الفصل الثانى

النانو إلكترونيات

يشير مصطلح النانو إلكترونيات إلى إستخدام تكنولوجيا النانو[١] في المكونات الإلكترونية. ويشمل مجموعة متنوعة من العناصر والمواد، مع سمة مشتركة أنها ذات حجم صغير بحيث أن التفاعلات الذرية الداخلية وخصائص ميكانيكا الكم[٢] تحتاج إلى دراسة على نطاق واسع. الإلكترونيات الجزيئية المتقدمة[٣] وأخيرا أجيال تكنولوجيا السيليكون مكملة التماثل (المعدن – أكسيد– شبه موصل)[٤]، مثل الهيكل ٢٢ نانومتر ، هي بالفعل داخل هذا

---

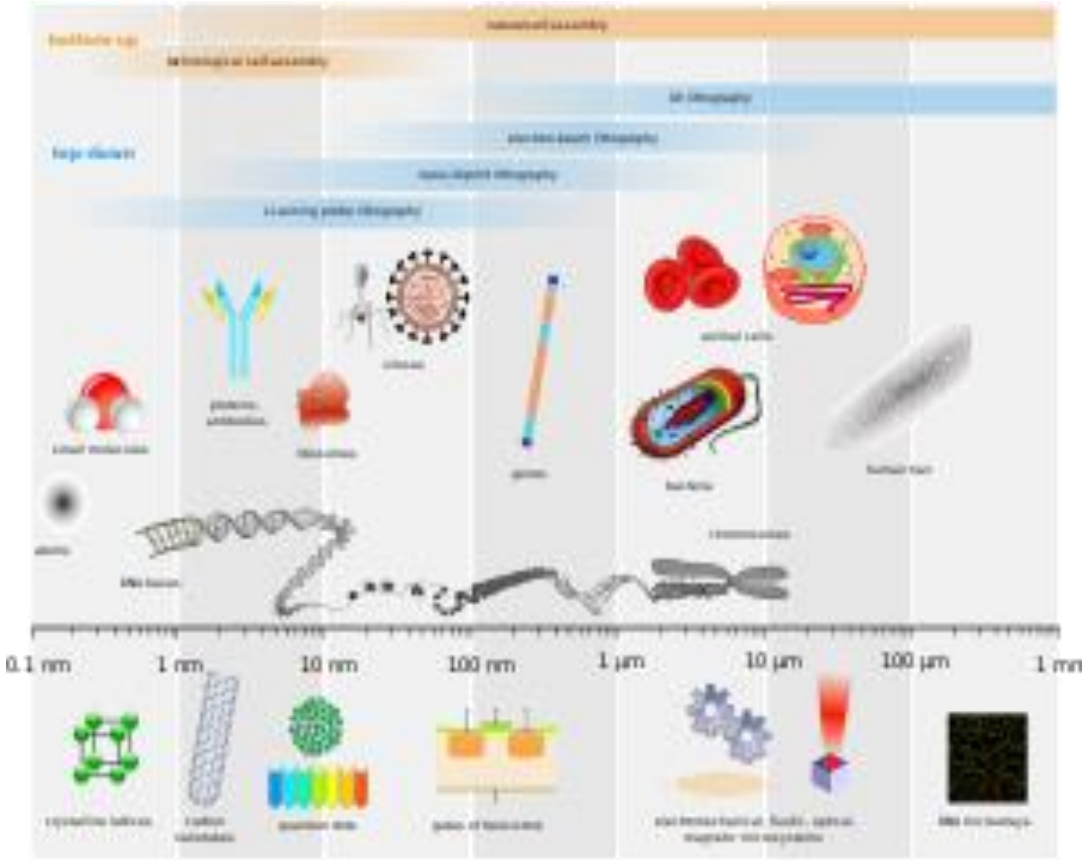
١ تكنولوجيا النانو Nanotechnology ("nanotech") is manipulation of matter on an atomic, molecular, and supramolecular scale. The earliest, widespread description of nanotechnology referred to the particular technological goal of precisely manipulating atoms and molecules for fabrication of macro scale products, also now referred to as molecular nanotechnology. A more generalized description of nanotechnology defines nanotechnology as the manipulation of matter with at least one dimension sized from 1 to 100 nanometers. This definition reflects the fact that quantum mechanical effects are important at this quantum-realm scale

٢ ميكانيكا الكم Quantum mechanics (QM; also quantum physics or quantum theory)، including quantum field theory, is a fundamental branch of physics concerned with processes involving, for example, atoms and photons. Systems such as these which obey quantum mechanics can be in a quantum superposition of different states, unlike in classical physics

٣ الإلكترونيات الجزيئية المتقدمة Molecular electronics is the study and application of molecular building blocks for the fabrication of electronic components. It is an interdisciplinary area that spans physics, chemistry, and materials science. The unifying feature is the use of molecular building blocks for the fabrication of electronic components. Due to the prospect of size reduction in electronics offered by molecular-level control of properties, molecular electronics has generated much excitement. Molecular electronics provides a potential means to extend Moore's Law beyond the foreseen limits of small-scale silicon integrated circuits

٤ تكنولوجيا السيليكون مكملة التماثل (المعدن – أكسيد–شبه موصل) CMOS is complementary-symmetry metal–oxide–semiconductor (or COS-MOS). The words "complementary-symmetry" refer to the fact that the typical design style with CMOS uses complementary and symmetrical pairs of p-type and n-type metal oxide semiconductor field effect transistors(MOSFETs) for logic functions

النظام. تعتبر الإلكترونيات النانوية في بعض الأحيان تكنولوجيا ثورية بإعتبارها تختلف إختلافا كبيرا عن تكنولوجيات الإلكترونيات والدوائر المتكاملة التقليدية.



الشكل (٢ – ١) مقارنة بين قياسات الكائنات البيولوجية والتكنولوجية المختلفة.

٢ – ١ المفاهيم الأساسية

لاحظ جوردون مور في عام ١٩٦٥ معاناة ترانزستورات السيليكون من إنخفاض جودة مستواها المستمر، وهي الملاحظة التي دونت فيما بعد بإسم قانون مور[٥] حيث أن أحجام الترانزستور تتناقص من ١٠ ميكرومتر إلى حوالى ٢٢–٢٨ نانومتر في العام ٢٠١١ .

٥ قانون مور Moore's law is the observation that the number of transistors in a dense integrated circuit doubles approximately every two years, and projected this rate of growth would continue for at least another decade. In 1975, predicted that chip performance would double every 18 months (being a combination of the effect of more transistors and the transistors being faster)

يهدف مجال الإلكترونيات النانوية إلى تحقيق إستمرار هذا القانون بإستخدام أساليب ومواد جديدة لبناء العناصر الإلكترونية مع ميزة نانومترية الحجم [٦]. يتناقص حجم الترانزستور بقيمة مرفوعة للأس (٣) لأبعاده الخطية ، ولكن المساحة التى يشغلها الترانزستور تتناقص بتربيع مساحتها في كل فترة زمنية حددها قانون مور.

٢ – ١ – ١ نهج إلكترونيات النانو وتصنيع العناصر

على سبيل المثال، تندرج ترانزستورات الإلكترون الواحد[٧] ، والتي تنطوي على تشغيل الترانزستور بالإعتماد على إلكترون واحد لفئة إلكترونيات النانو وكذلك تندرج أنظمة الإلكتروميكانيك النانو[٨] أيضا تحت هذه الفئة. تصنيع عناصر النانو يمكن إستخدامها لبناء صفوف متوازية فى غاية الكثافة من أسلاك النانو [٩]، كبديل لتجميع أسلاك نانو بشكل فردي.

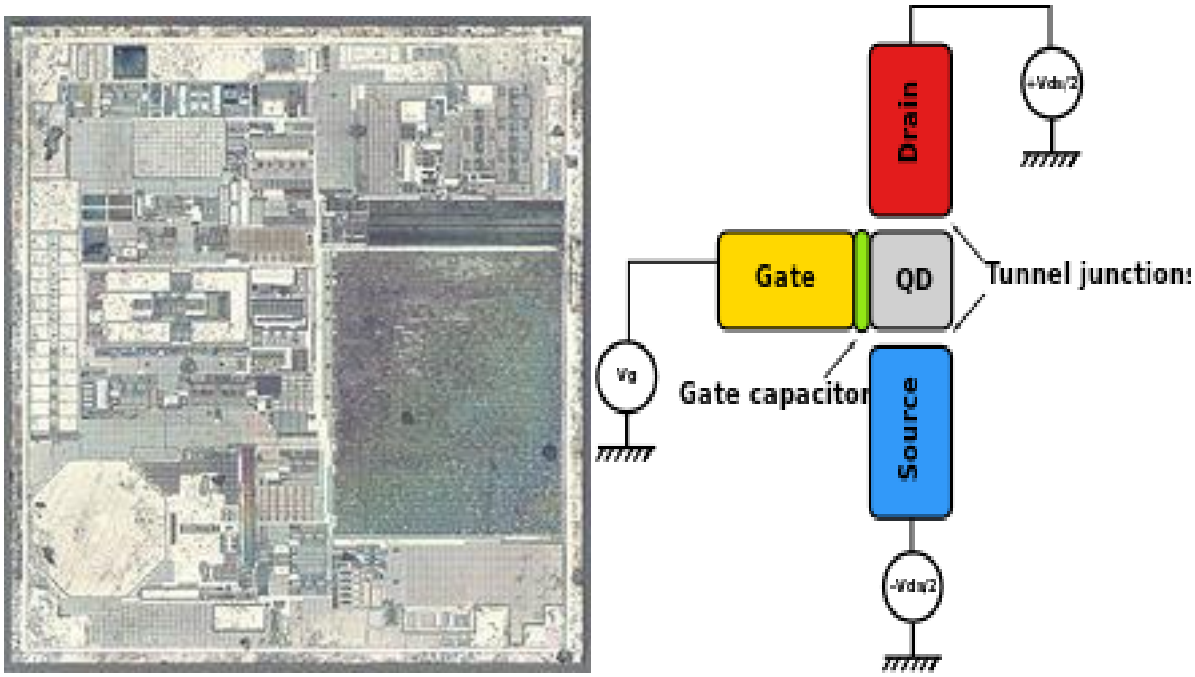
---

٦ النانومترية الحجم The nanoscopic scale (or nanoscale) usually refers to structures with a length scale applicable to nanotechnology, usually cited as $1–100$ nanometers. A nanometer is a billionth of a meter. The nanoscopic scale is a lower bound to the mesoscopic scale for most solids. For technical purposes, the nanoscopic scale is the size at which fluctuations in the averaged properties (due to the motion and behavior of individual particles) begin to have a significant effect

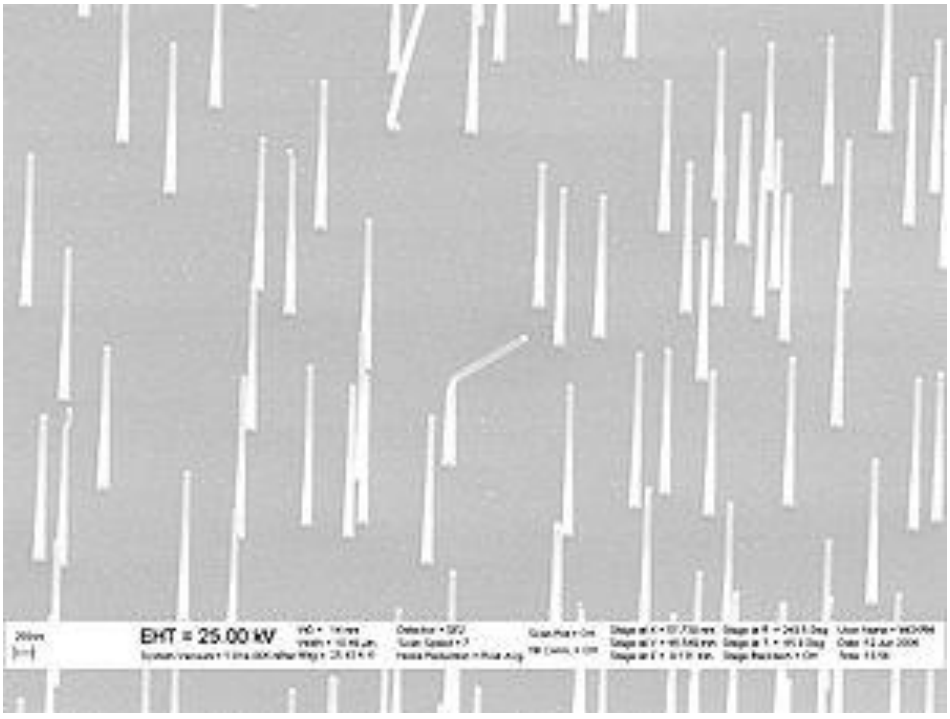
٧ ترانزستورات الإلكترون الواحد single-electron transistor. It consists of two electrodes known as the drain and the source, connected through tunnel junctions to one common electrode with a low self-capacitance, known as the island. The electrical potential of the island be tuned by a third electrode, as the gate, which is capacitively coupled to the island.

٨ أنظمة الإلكتروميكانيك النانو Nanoelectromechanical systems (NEMS) are a class of devices integrating electrical and mechanical functionality on the nanoscale. NEMS form the logical next miniaturization step from so-called microelectromechanical systems, or MEMS devices. NEMS typically integrate transistor-like nanoelectronics with mechanical actuators, pumps, or motors, and may thereby form physical, biological, and chemical sensors.

٩ أسلاك النانو A nanowire is a nanostructure, with the diameter of the order of a nanometer (10^{-9} meters). It can also be defined as the ratio of the length to width being greater than 1000. Alternatively, nanowires can be defined as structures that have a thickness or diameter constrained to tens of nanometers or less and an unconstrained length.



الشكل (٢ – ٢ على اليمين) التخطيط لترانزستور إلكترون واحد. الشكل (على اليسار) النانو ترانزستور (على اليسار) ومكونات النانو الميكانيكية (على اليمين) تتكامل على نفس الرقاقة



الشكل (٢ – ٣) صورة هياكل أسلاك متناهية الصغر نمت من جسيمات نانوية من الذهب

٢ – ١ – ٢ إلكترونيات المواد النانوية

تسمح بزيادة كثافة الترانزستورات في الشريحة الواحدة بالإضافة لصغر الحجم ، كما يسمح الهيكل الموحد والمتناسق للأنابيب النانوية[١٠] بحركية أعلى للإلكترون (تسريع حركة الإلكترون في المادة)، وذو ثابت عزل كبير (يساعد على تسريع التردد)، كما يتميز بخواص متناظرة للإلكترونات والثقوب وأيضا، يمكن أن تستخدم الجزيئات النانوية[١١] كنقاط كم[١٢] .

❖ الإلكترونيات الجزيئية [٣]

تمكن العناصر أحادية الجزيء إحتمال آخر لمواد نانوية جديدة للإستخدام المكثف للتجميع الذاتي الجزيئي[١٣] ، تصميم مكونات الجهاز لبناء هيكل أكبر أو حتى نظام كامل من تلقاء نفسها وهذا يمكن أن يكون مفيدا جدا لحوسبة إعادة التشكيل[١٤] ، وربما حتى تحل تماما محل التكنولوجيا الحالية لمصفوفات البوابات القابلة للبرمجة في الميدان[١٥]. الإلكترونيات

---

١٠ للأنابيب النانوية (Nanotubes have been constructed with length–to–diameter ratio of up to 132,000,000:1)

١١ الجزيئات النانوية .Nanoparticles are particles between 1 and 100 nanometers in size In nanotechnology, a particle is defined as a small object that behaves unit with respect to its transport and properties.

١٢ نقاط كم Quantum dots (QD) are very small particles, so small that their optical and electronic properties differ from those of larger particles

١٣ التجميع الذاتي الجزيئي Molecular self–assembly is the process by which molecules adopt an arrangement without guidance or management from an outside source. There are two types of self–assembly. These are intramolecular self–assembly and intermolecular self–assembly. Commonly, the term molecular self–assembly refers to intermolecular self–assembly, while the intramolecular analog is more commonly called folding.

١٤ لحوسبة إعادة التشكيل Reconfigurable computing is a computer architecture combining some of the flexibility of software with the high performance of hardware by processing with very flexible high speed computing fabrics like field–programmable gate arrays (FPGAs).

١٥ مصفوفات البوابات القابلة للبرمجة في الميدان A field–programmable gate array (FPGA) is an integrated circuit designed to be configured by a customer or a designer after manufacturing

الجزيئية هي تكنولوجيا جديدة لا تزال في مهدها، ولكن أيضا تجلب الأمل للأنظمة الإلكترونية بالحجم الذري في المستقبل. أحد التطبيقات الواعدة أكثر للإلكترونيات الجزيئية فى مجالات الجزيئات للذاكرة، والمنطق والتضخيم، مقوم أحادي الجزيئية [١٦]. العديد من الطرق الممكنة تمكن من توليف الثنائى الجزيئي/الترانزستور بالكيمياء العضوية. أقترح إنشاء نظام نموذجي يمكن أن يحقق تنفيذ صمام ثنائي جزيئي بحجم نصف نانومتر بربط أسلاك جزيئية من بوليثيوفيني وأظهرت الحسابات النظرية أن التصميم جيد من حيث المبدأ ولا يزال هناك أمل أن مثل هذا النظام يمكن تنفيذه.

مقاربات أخرى

- مجال النانوأيونيك [١٧] لنقل الأيونات بدلا من الإلكترونات في الأنظمة النانوية.
- بصريات النانو[١٨] لدراسة سلوك الضوء على الأبعاد النانوية، ولها هدف تطوير العناصر التي تستفيد من هذا السلوك.

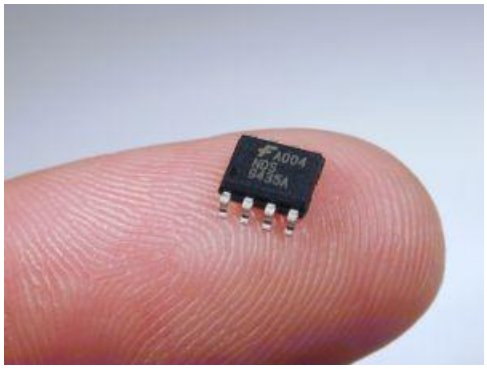
---

١٦ مقوم أحادي الجزيئية A uni molecular rectifier is a single organic molecule which functions as a rectifier (one-way conductor) of electric current., it was the first serious and concrete theoretical proposal in the new field of molecular electronics .

١٧ النانوأيونيك Nanoionics is the study and application of phenomena, properties, effects and mechanisms of processes connected with fast ion transport (FIT) in all-solid-state nanoscale systems. The topics of interest include fundamental properties of oxide ceramics at nanometer length scales, and fast ion conductor (advanced super ionic conductor) / electronic conductor heterostructures. Potential applications are in electrochemical devices (electrical double layer devices) for conversion and storage of energy, charge and information. The term and conception of nanoionics (as a new branch of science)

١٨ بصريات النانو Nanophotonics or Nano-optics is the study of the behavior of light on the nanometer scale, and of the interaction of nanometer-scale objects with light. It is a branch of optics, optical engineering, electrical engineering, and nanotechnology. It often (but not exclusively) involves metallic components, which can transport and focus light via surface plasmon polaritons. The term "nano-optics", just like the term "optics", usually concerns ultraviolet,visible, and near-infrared light (free-space wavelength around 300-1200 nanometers).

❖ **النانو إلكترونيات**



الشكل (٢ – ٣) حجم شريحة نانو نسبة الى إصبع إنسان

تستند إلكترونيات النانو على تطبيق تكنولوجيا النانو فى مجال الإلكترونيات والمكونات الإلكترونية ويولى إهتمام خاص للترانزستورات ذات حجم أقل من ١٠٠ نانومتر. يجب أن يكون هناك دراسات منفصلة لمعرفة خصائص ميكانيكا الكم والتصميم الداخلى للذرة حيث أن تصميم الترانزستورات فى نطاق النانو يختلف كثيرا عن الترانزستورات التقليدية حيث يندرج فى فئة الأنابيب والأسلاك نانوية الأبعاد والإلكترونيات الجزيئية الهجينة أو الإلكترونيات الجزيئية المتقدمة ويقال أن هذه التكنولوجيا ستكون فى المستقبل القريب ولكن التطبيق العملى ما زال أقرب الى المستحيل.

- **المفهوم الأساسي لإلكترونيات النانو**

على الرغم من أنه يمكن التوظيف الكامل لعناصر إلكترونيات النانو ويقتصر البحث فقط على حجم عناصر النانو. والتي تحقق المبدأ الأساسى أن الطاقة المستهلكة لعنصر تزيد بزيادة حجمها ولكن مقدار الإحتكاك التي تتحمله محامل العناصر سيعتمد على المساحة السطحية لتكدس العناصر. صغر حجم عناصر إلكترونيات النانو لا يمكن أن تستخدم لتحريك حمل ثقيل كآله ميكانيكية فإذا أستخدمت أجهزة النانو لمثل هذه المهمة، فسوف تفشل كما سيتم تجاوز الطاقة المتوفرة بسهولة من قوي الاحتكاك لذا، فمن المؤكد أن أجهزة النانو تعاني من قيود في التطبيقات في العالم الحقيقي.

- **تصنيع النانو**

يتم تصميم صفائف أو طبقات من عناصر إلكترونيات النانو للإستخدام من أجل عملية واحدة وأن النظم الكهروميكانيكية النانو هى جزء من تصنيع النانو. تصنع الترانزستورات فى إلكترونيات النانو كصفائف على شريحة واحدة لتظل موحدة ومتناظرة ومن المعروف أن سرعة حركة الإلكترونات أكثر في مواد النانو مع زيادة معامل العزل الكهربائى وتماثل خواص الإلكترونات والثقوب. حيث سبق أن ظهرت تكنولوجيا النانو بصمت فهى تعتمد عمليات إنتاج التكنولوجيا العالية الحالية على الإستراتيجيات التقليدية من أعلى إلى أسفل ، مقياس الطول الحرج للدوائر المتكاملة وطول بوابة الترانزستورات في وحدات المعالجة المركزية[١٩] أو ذاكرة الوصول العشوائي الديناميكية[٢٠] فهى بأبعاد النانو (٥٠ نانومتر وأقل) . تبشر الكترونيات النانو بتصنيع معالجات الكمبيوتر بقوة أكثر مما هو ممكن مع تقنيات أشباه الموصلات التقليدية ويجري حاليا بحث عدد من الطرق، بما في ذلك أشكال جديدة للطباعة الحجرية النانوية[٢١] ، فضلا عن إستخدام المواد النانوية مثل أسلاك أو جزيئات صغيرة بدلا من الترانزستورات التقليدية . يستخدم ترانزستور تأثير المجال كلا من أنابيب الكربون النانوية شبه الموصلة مع أسلاك نانو أشباه موصلات متجانسة . في العام ١٩٩٩، تم تطوير

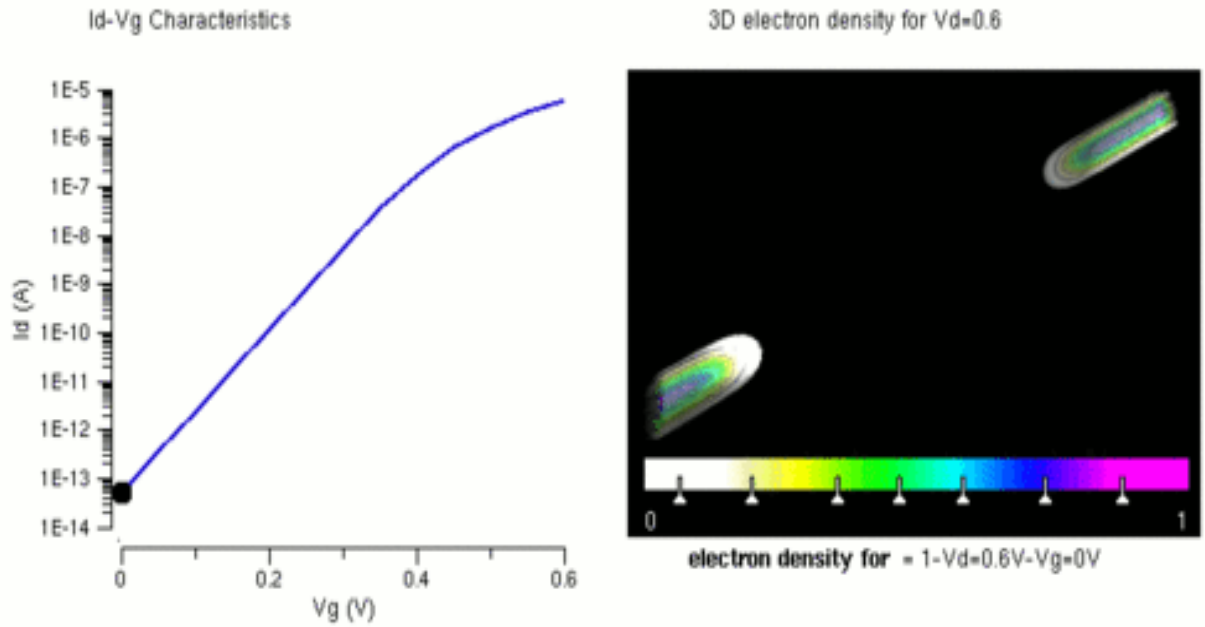
---

١٩ وحدات المعالجة المركزية **A central processing unit (CPU) is the electronic circuitry within a computer that carries out the instructions of a computer program by performing the basic arithmetic, logical, control and input/output (I/O) operations specified by the instructions.**

٢٠ ذاكرة الوصول العشوائي الديناميكية **Dynamic random-access memory (DRAM) is a type of random-access memory that stores each bit of data in a separate capacitor within an integrated circuit**

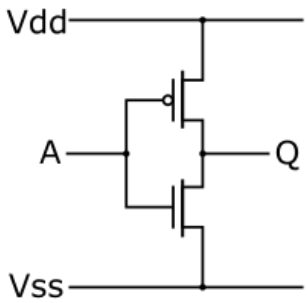
٢١ الطباعة الحجرية النانوية **Nanolithography is the branch of nanotechnology concerned with the study and application of fabricating nanometer-scale structures, meaning patterns with at least one lateral dimension between 1 and 100 nm. Different approaches can be categorized in serial or parallel, mask or mask less/direct-write, top-down or bottom-up, beam or tip-based, resist-based or resist-less methods.**

ترانزستور مكمل التماثل (المعدن – أكسيد– أشباه الموصلات) [٤] يبلغ قطره ١٨ نانومتر (ما يقرب من ٧٠ ذرة لو وضعت جنبا إلى جنب) وكان هذا ما يقارب ١٠/١ من حجم أصغر ترانزستور صناعي في ٢٠٠٣ (١٣٠ نانومتر في عام ٢٠٠٣، ٩٠ نانومتر في عام ٢٠٠٤، ٦٥ نانومتر في عام ٢٠٠٥ و٤٥ نانومتر في عام ٢٠٠٧). مقدرة التكامل النظري لكثافة الترانزستورات تبلغ بالتقريب سبعة مليارات وصلة ثنائية (عنصر) على مساحة عملة معدنية فئة الجنية.



الشكل (٢ – ٤) نتيجة محاكاة لتشكيل قناة إنعكاس (كثافة الإلكترونات) وتحقيق عتبة الجهد (الرابع) في أسلاك نانو للترانزستور المتأثر بالمجال (معدن – أكسيد – شبه موصل) ٠لاحظ أن عتبة الجهد لهذا الترانزستور حوالي ٠٤٥و٠ فولت٠

في عام ١٩٩٩، أجريت تجربة بحثية بسيطة لدراسة الخواص التكنولوجية للترانزستور المتأثر بالمجال (المعدن – أكسيد–أشباه الموصلات)، دليلا على كيفية عمل هذه التكنولوجيا الآن فالبحوث تقترب من أي وقت مضى إلى العمل على المستوى الجزيئي، اليوم، قد يكون من المستحيل السيطرة على تجميع عدد كبير من هذه الترانزستورات فى دائرة وأنه سيكون من المستحيل تنفيذ هذا على المستوى الصناعي.



الشكل (٢ – ٥) مقلوب الترانزستور المتأثر بالمجال (المعدن – أكسيد–أشباه الموصلات) كبوابة منطق

إعتمدت تصاميم الذاكرة الإلكترونية في الماضي إلى حد كبير على تشكيل الترانزستورات ومع ذلك، فإن البحث في تصميم مفتاح التبديل العارض[٢٢] بتكنولوجيا إلكترونيات النانو أوجد بديل بإستخدام ترابط التشكيل بين صفوف الأسلاك الداخلية لصفوف التوصيل الأفقية والعمودية لتشكيل ذاكرات فائقة الكثافة . تم تطوير أنبوب نانوي من الكربون على أساس الذاكرة العارضة وتم تسميته ذاكرة الوصول العشوائي نانو [٢٣] كما أستخدمت مقاومة ممرستور[٢٤] كبديل في المستقبل لذاكرة فلاش [٢٥] (مخزن للكمبيوتر غير متطاير).

---

٢٢ مفتاح التبديل العارض In electronics, a crossbar switch (cross–point switch, matrix switch) is a collection of switches arranged in a matrix configuration? A crossbar switch has multiple input and output lines that form a crossed pattern of interconnecting lines between which a connection may be established by closing a switch located at each intersection, the elements of the matrix

٢٣ ذاكرة الوصول العشوائي نانو Nano–RAM is a proprietary computer memory technology from the company Nantero. It is a type of nonvolatile random access memory based on the position of carbon nanotubes deposited on a chip–like substrate. In theory, the small size of the nanotubes allows for very high density memories

٢٤ عنصر ممرستور A memristor (a portmanteau of memory resistor) is a hypothetical non–linear passive two–terminal electrical component relating electric charge and magnetic flux linkage.

٢٥ ذاكرة فلاش Flash memory is an electronic (solid–state) non–volatile computer storage medium that can be electrically erased and reprogrammed.

الشكل (٢ – ٦) الرمز الإلكترونى لمقاومة ممرستور

تعتمد هذه العناصر الجديدة على الإلكترونيات الدورانية[٢٦] حيث تعتمد قيمة المقاومة على المادة (بسبب دوران الإلكترونات) فى مجال خارجي يسمى المقاومة المغناطيسية[٢٧] .

هذا المعنى يمكن تعظيمه بشكل كبير (المقاومة المغناطيسية العملاقة) [٢٨] للمكونات ذات الأبعاد النانو، على سبيل المثال عندما يتم فصل طبقتين من مواد مغناطيسية بواسطة طبقة غير مغناطيسية بسمك عدة نانومترات (على سبيل المثال كوبلت – نحاس – كوبلت). أدى تأثير المقاومة المغناطيسية العملاقة إلى زيادة قوية في كثافة تخزين البيانات على الأقراص الصلبة ومكنت من الوصول الى كثافة تخزين بيانات فى نطاق الجيجا بايت بما يسمى مقاومة النفق المغناطيسية [٢٩] وهي مشابهة جدا الى المقاومة المغناطيسية العملاقة، وإستنادا إلى الزيادة والنقصان النفقي للإلكترونات خلال الطبقات المغناطيسية المجاورة. كلا من تأثير

---

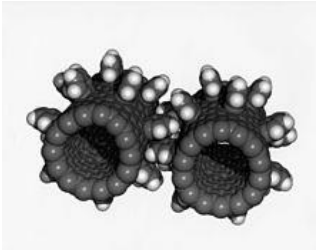
٢٦ الإلكترونيات الدورانية Spintronics meaning spin transport electronics, also known as fluxtronics, is the study of the intrinsic spin of the electron and its associated magnetic moment, in addition to its fundamental electronic charge, in solid-state devices. Spintronics differs from the older magnetoelectronics, in that spins are manipulated by both magnetic and electrical fields.

٢٧ المقاومة المغناطيسية Magnetoresistance is the tendency of a material to change the value of its electrical resistance in an externally-applied magnetic field. There are a variety of effects that can be called magnetoresistance: some occur in bulk non-magnetic metals and semiconductors (e.g. geometrical magnetoresistance,

٢٨ المقاومة المغناطيسية العملاقة Giant magnetoresistance (GMR) is a quantum mechanical magnetoresistance effect observed in thin-film structures composed of alternating ferromagnetic and non-magnetic conductive layers.

٢٩ مقاومة النفق المغناطيسية Tunnel magnetoresistance (TMR) is a magnetoresistive effect that occurs in a magnetic tunnel junction (MTJ), which is a component consisting of two ferromagnets

المقاومة المغناطيسية العملاقة ومقاومة النفق المغناطيسية يستخدمان لإنشاء الذاكرة الرئيسية الغير متطايرة لأجهزة الكمبيوتر، مثل ما يسمى ذاكرة الوصول العشوائي المغناطيسية [٣٠].في تكنولوجيا الإتصالات الحديثة يتم إستبدال العناصر الكهربائية التناظرية التقليدية بشكل متزايد بعناصر بصرية أو إلكترونية بصرية[٣١] نظرا لعرض النطاق الترددي الكبير. مثالين واعدين هما البلورات الضوئية[٣٢] والنقاط الكمومية[٣٣] .



الشكل (٢ – ٧) نقاط كمومية

البلورات الضوئية هي بعض المواد مع اختلاف دوري في معامل الإنكسار مع ثابت شعرية وهو نصف الطول الموجي للضوء المستخدم ولها فجوة طاقية قابلة للتحديد لإنتشار طول موجي معين، وبالتالي فإنها تشبه أشباه الموصلات، ولكن للضوء أو الفوتونات بدلا

---

٣٠ ذاكرة الوصول العشوائي المغناطيسية Magnetoresistive random-access memory (MRAM) is a a non-volatile random-access memory technology increases in density of existing memory technologies – notably flash RAM and DRAM eventually become dominant for all types of memory, becoming a universal memory

٣١ الإلكترونية البصرية Optoelectronics is the study and application of electronic devices that source, detect and control light, usually considered a sub-field of photonics. In this context, light often includes invisible forms of radiation such as gamma rays, X-rays, ultraviolet and infrared, in addition to visible light. Optoelectronic devices are electrical-to-optical or optical-to-electrical transducers, or instruments that use such devices in their operation.

٣٢ البلورات الضوئية *A photonic crystal is a periodic optical nanostructure that affects the motion of photons in much the same way that ionic lattices affect electrons in solids. Photonic crystals occur in nature in the form of structural coloration—and, in different forms, promise to be useful in a range of applications.

٣٣ النقاط الكمومية Quantum dots (QD) are very small particles, so small that their optical and electronic properties differ from those of larger particles

من الإلكترونات . النقاط الكمومية هى مكونات بأبعاد النانو، والتي يمكن إستخدامها، من بين أمور أخرى كثيرة لتكوين مكونات الليزر. من مزايا نقطة ليزر الكم بالمقارنة بعناصر الليزر من أشباه الموصلات التقليدية هي أن الطول الموجي المنبعث منها يعتمد على قطر النقطة، ليزر نقطة الكم أرخص وتوفر جودة شعاع أعلى من ثنائيات الليزر التقليدية. كما يمكن تصنيع شاشات العرض بطاقة إستهلاك منخفضة بإستخدام أنابيب الكربون النانوية[٣٤] .أنابيب الكربون النانوية هي موصل كهربائى وبسبب قطرها الصغير الذى يتراوح عدة نانومتر، فيمكن أن تستخدم كبواعث مجال بكفاءة عالية للغاية لشاشات عرض إنبعاثات المجال[٣٥] . أسس التشغيل يشبه أنبوب أشعة الكاثود ، ولكن على نطاق طول أصغر من ذلك بكثير وفيما يلي بعض هذه الأجهزة التى تم تطويرها بمساعدة إلكترونيات النانو وتطبيقاتها المستقبلية.

- مناهج جديدة تماما للحوسبة تستغل قوانين ميكانيكا الكم لأجهزة الكمبيوتر [٣٦]، والتي تمكن من استخدام الخوارزميات الكمومية السريعة وهي أجهزة كمبيوتر ذات فاصل ذاكرة كم صغيرة

---

٣٤ أنابيب الكربون النانوية Carbon nanotubes (CNTs) are allotropes of carbon with a cylindrical nanostructure. Nanotubes have been constructed with length-to-diameter ratio of up to 132,000,000:1

٣٥ شاشات عرض إنبعاثات المجال A field emission display (FED) is a flat panel display technology that uses large-area field electron emission sources to provide electrons that strike colored phosphor to produce a color image. In a general sense, an FED consists of a matrix of cathode ray tubes, each tube producing a single sub-pixel, grouped in threes to form red-green-blue (RGB) pixels. FEDs combine the advantages of CRTs, namely their high contrast levels and very fast response times, with the packaging advantages of LCD and other flat panel technologies.

٣٦ أجهزة كمبيوتر الكم Quantum computing studies theoretical computation systems (quantum computers) that make direct use of quantum-mechanical phenomena, such as superposition and entanglement, to perform operations on data.[Quantum computers are different from binary digital electronic computers based on transistors. Whereas common digital computing requires that the data are encoded into binary digits (bits), each of which is always in one of two definite states (0 or 1), quantum computation uses quantum bits, which can be in super positions of states.

يطلق عليها "كيوبت"[٣٧] لعدة حسابات في نفس الوقت والذي يحسن من أداء الأنظمة القديمة.

- سيتم استبدال أجهزة الكمبيوتر التقليدية بالمعالجات الكبيرة بكمبيوترات نانو لها سرعة أداء أعلى من الأداء والسرعة فى أجهزة الكمبيوتر التقليدية. تم إجراء تجارب لإستخدام أساليب النانوليثوجرافيك لتصميم أفضل لمعالجات نانو وأيضا فى إحلال مكونات الترانزستور (م – أ – ش) المكملة فى المعالجات التقليدية بأسلاك نانو وإستبدال الترانزستورات المتأثرة بالمجال بأنابيب نانو كربونية.
- راديوهات النانو تم تطوير هيكلها بإحلال الأنابيب النانوية الكربونية .
- البحث جار لإستخدام أسلاك والمواد ذات البنية النانومترية الأخرى على أمل الحصول على خلايا شمسية أرخص وأكثر كفاءة مما هو متاح مع الخلايا الشمسية المستوية التقليدية من السيليكون ويعتقد أن إختراع خلايا الطاقة الشمسية أكثر كفاءة سيكون له تأثير كبير على احتياجات الطاقة العالمية المرضية وهناك أيضا بحوث في إنتاج الطاقة لأجهزة التي من شأنها أن تعمل في الجسم الحي[٣٨] ، وتسمى مولدات نانو الحيوية .
- هناك إهتمام كبير في بناء أجهزة الكترونيات النانو والتي تتمكن من كشف تركيزات الجزيئات الحيوية في الوقت الحقيقي لإستخدامها فى التشخيص الطبي، وبالتالي تقع في فئة النانو . خط مواز للبحث يسعى إلى إنشاء عناصر الكترونيات النانو التي يمكن أن تتفاعل مع الخلايا الواحدة لإستخدامها في الأبحاث البيولوجية الأساسية وتسمى هذه

---

٣٧ "كيوبت" In quantum computing, a qubit or quantum bit (sometimes qbit) is a unit of quantum information—the quantum analogue of the classical bit. A qubit is a two-state quantum-mechanical system, such as the polarization of a single photon: here the two states are vertical polarization and horizontal polarization.

٣٨ الجسم الحي vivo (Latin for "within the living";) are those in which the effects of various biological entities are tested on whole, living organisms usually animals including humans, and plants as opposed to a partial or dead organism, or those done *in vitro* ("within the glass"), i.e., in a laboratory environment using test tubes

العناصر مستشعرات نانوي[٣٩] . تصغير الإلكترونيات النانوية فى إتجاه إستشعار البروتين في الجسم يقدم نهج جديد لمراقبة وسلامة، وتكنولوجيا الدفاع فى جسم الإنسان.

- مولد النانو الحيوي هو جهاز نانو كهروكيميائية[٤٠] ، مثل خلايا الوقود أو خلايا كلفاني[٤١] ، ويستمد الطاقة من جلوكوز الدم[٤٢] في الجسم الحي، إلى حد كبير هو نفس ما يولده الجسم من الطاقة من الغذاء ولتحقيق هذا التأثير، يستخدم انزيم قادر على تجريد الجلوكوز من الإلكترونات ، واطلاق الإلكترونات لاستخدامها في الأجهزة الكهربائية. جسم الشخص العادي يمكن، من الناحية النظرية، توليد ١٠٠ وات من الكهرباء (نحو ٢٠٠٠ سعر حراري غذائي في اليوم) بإستخدام مولد النانو الحيوية. ومع ذلك، هذا التقدير صحيحا فى حالة تحويل جميع المواد الغذائية إلى الكهرباء، وجسم الإنسان يحتاج بعض الطاقة بإستمرار، لذلك فإن الطاقة الممكنة المتولدة على الأرجح أقل من ذلك بكثير. الكهرباء التي يولدها مثل هذا الجهاز داخل الجسم لتشغيل (أجهزة ضبط نبضات القلب)، أو الروبوتات النانو[٤٣] لتغذية السكر . الكثير من الأبحاث التي أجريت على مولدات النانو الحيوية لا تزال فى التجريب المعملى.

---

٣٩ مستشعرات نانوي Nanosensors are any biological, chemical, or surgical sensory points to convey information about nano particles to the macroscopic world. Their use mainly includes various medicinal purposes and as gateways to building other nano products, such as computer chips that work at the nano scale and nano robots.

٤٠ كهروكيميائية Electrochemistry is the branch of physical chemistry that studies the relationship between electricity, as a measurable and quantitative phenomenon, and identifiable chemical change, with either electricity considered an outcome of a particular chemical change

٤١ خلايا كلفاني that derives electrical A galvanic cell, or voltaic cell, is an electrochemical cell A galvanic cell, or voltaic cell, is an electrochemical cell that derives electrical energy from spontaneous redox reactions taking place within the cell. It generally consists of two different metals connected by a salt bridge, or individual half-cells separated by a porous membrane.

٤٢ جلوكوز الدم is the amount of The blood sugar concentration or blood glucose level glucose (sugar) present in the blood of a human or animal. The body naturally tightly regulates blood glucose levels as a part of metabolic homeostasis.

٤٣ الروبوتات النانو Nano robotics is the emerging technology field creating machines

❖ **المايكرو والنانو إلكترونيات**

على مدى السنوات الأربعون الماضية، كان الدافع وراء صناعة أشباه موصلات السيليكون بواسطة "قانون مور"[٥] الذي ينص على أن عدد الترانزستورات على رقاقة السيليكون سيتضاعف تقريبا كل عامين. تم التمكن من تحقيق ذلك عن طريق التصنيع الحجمى الكبير بتقليص الهياكل الهندسية مما أدى إلى تصنيع الدوائر الرقمية ذات أبعاد حاسمة في نطاق حجم النانومتر، ومع زيادة الخواص والوظائف النسبية للدوائر الرقمية حتى قبل بضع سنوات. يتطلب التطور المستمر للحلول المتكاملة لإلكترونيات الميكرو والنانو تقدما كبيرا في المواد والتكنولوجيا للتغلب على قيود الأبعاد التي تفرضها التكنولوجيات الحالية مما أدى الى تقليص الهياكل الهندسية في نطاق حجم النانومتر، مما يتيح التعريف والسيطرة على الهياكل والعناصر بأبعاد النانو وتشمل المجالات الرئيسية فى بحوث إلكترونيات المايكرو والنانو ما يلي:

- **التكامل الغير متجانس من مواد النانو في أجهزة التشغيل لصناعة الإلكترونيات.**
- **تصنيع وتوصيف هياكل عناصر النانو الجديدة على ركائز السيليكون وتم تصميم هذا العمل لمساعدة الصناعة لمواصلة السير في المسار الذي حدده قانون مور.**
- **تكامل المواد الفنية الجديدة مع عناصر السيليكون النشطة، تهدف إلى إتاحة تطبيق الوظائف الإضافية للأنظمة على رقاقة (سليكون كربيد) بما في ذلك تشغيل رقاقة الطاقة، والإستشعار عن بعد.**
- **الهدف على المدى الطويل هو تقديم قدرات مرحلة ما بعد المعالجة المتكاملة للمواد الجديدة فى تكنولوجيا الترانزستور (م – أ – ش) مكمل التماثل [٤] من السيليكون التي من شأنها أن تكون متوافقة مع تقنيات معالجة الرقاقات الحالية والمستقبلية.**

---

meters). More whose components are at or close to the scale of a nanometre (10^{-9} or robots engineering discipline of designing and technology specifically, nanorobotics refers to the nano meters and constructed building nanorobots, with devices ranging in size from 0.1–10 micro molecular components. of nanoscale or

- **يتطلب تطوير ترانزستورات الدوائر المتكاملة في المستقبل تغييرات جذرية للمواد التي تصنع منها حيث أن الجمع بين السماحية العالية ومعامل العزل (K) [٤٤] لأكاسيد بوابات الترانزستورات وركائز أشباه الموصلات ذات الشحنات عالية الحركية أمر ضروري لمواصلة تحجيم الترانزستور في العقد القادم. ظهر مؤخرا نهجا جديدا لتشكيل المواد عالية العزل [٤٤] على السيليكون وعلى ركائز ذات شحنات حركية عالية، والتي سوف تكون العنصر الأساسي في إنتاج الدوائر المتكاملة في المستقبل مع إنخفاض الطاقة وزيادة السرعة.**
- **تنطوى تقنية النانو على توصيف المواد أو الأجهزة أو غيرها من الهياكل ذات البعد الواحد بأقل من ١٠٠ نانومتر. تركز مجموعة تقنية النانو، على تطوير أساليب التجميع والتصنيع والتفاعل الكهربائي للمواد النانوية وهياكل العناصر من أجل إستغلال خصائصها الفريدة لتطبيقها ضمن تكنولوجيا المعلومات والإتصالات، والطاقة، والصحة والمجالات الأمنية. الإمكانات الهائلة لتطوير تكنولوجيات جديدة موجودة من خلال التقارب من التخصصات المختلفة تقليديا على مقياس النانو، بحيث يتم وضع تركيز خاص داخل المجموعة على تطوير طرق متعددة لتخصصات جديدة لمعالجة وتصنيع وتكامل المواد للعناصر.**
- **تستلزم كابلات النانو المغناطيسية المزيد من التصغير للدوائر الإلكترونية بناء عناصر من طبقات متعددة نانوية ذات أبعاد أقل من ١٠٠ نانومتر. تم أنتاج مصفوفات ذات الكثافة العالية من كابلات نانو المحورية [٤٥] التى تتكون من أسلاك من الكوبالت محاطة بمادة**

---

٤٤ المواد عالية العزل على السيلكون **dielectric The term high-κ dielectric refers to a material with a high constant κ (as compared to silicon dioxide). High-κ dielectrics are used in semiconductor manufacturing processes where they are usually used to replace a silicon dioxide gate dielectric or another dielectric layer of a device. The implementation of high-κ gate dielectrics is one of several strategies developed to allow further miniaturization of microelectronic components, colloquially referred to as extending Moore's Law.**

٤٥ كابلات نانو المحورية **The nanocables consist of magnetite nanowires surrounded by cobalt nanotube sheaths and cobalt nanowires surrounded by magnetite nanotube sheaths. These materials are a combination of separate hard (Co) and soft (Fe3O4) magnetic materials in a single nanocable structure**

المجناتيت (أكسيد الحديد) مغلفة بأنابيب النانوية. خلط الكوبالت المنفصل ومواد الحديد المغناطيسى (أكسيد الحديد) الناعم في مثل هذا الهيكل الشعاعي من المحتمل أن يكون أداة قوية جدا لصنع عناصر متعددة الوظائف الجديدة، مثل تدوير الصمامات وأجهزة التخزين المغناطيسي عالية الكثافة.

- البلورات الغير متجانسة الضوئية هي هياكل نانو بصرية دورية تهدف إلى السيطرة والتأثير على إنتشار الضوء. المواد ومجموعة الأسطح المتقدمة أدى الى مركب غير متجانس من البلورات الضوئية من جسيمات السيليكا من حجمين مختلفين. الضبط الدقيق للأحجام النسبية للجسيمات الناتجة لها تأثير "الصمام الثنائي الضوئي"، حيث تعتمد على شدة الضوء الذي ينعكس من الأمام أو الخلف وهذا يمكن أن يجد التطبيق في مجموعة واسعة من االعناصر بما في ذلك المرشحات الخفيفة، والدليل الموجي أو حتى في عناصر حبس الضوء لتحسين الخلايا الشمسية.

❖ التطبيقات الصناعية لإلكترونيات النانو قيد التطوير:

كيف يمكن لتكنولوجيا النانو تحسين قدرات المكونات الإلكترونية؟ يتم ذلك عن طريق تخفيض الوزن وإستهلاك الطاقة للعناصر الإلكترونية منها:

- تطوير شاشات عرض الأجهزة بتخفيض إستهلاك الطاقة وتخفيض وزنها وسمكها.
- زيادة مكونات رقائق الذاكرة للوصول الى كثافة أعلى من واحد تيرابايت لكل بوصة مربعة.
- تقليص حجم الترانزستورات المستخدمة فى الدوائر المتكاملة.
- ترسيب بلورات نانو من الكادميوم سلينيد على ركائز مسطحة فى سمك الورق مصنوعة من البلاستيك لتشكيل الدوائر الإلكترونية بهدف تحقيق ركائز مرنة بعملية تصنيع بسيطة ومنخفضة الطاقة.
- دمج مكونات نانو بصرية من السيلكون فى تصنيع الترانزستور (م – أ – ش) مكمل التماثل [٤] بهدف توفير سرعة نقل أعلى للبيانات بين الدوائر المتكاملة.
- إستخدام المغناطيسيات النانو كمفاتيح فتح وقطع للترانزستور بهدف إستهلاك طاقة أقل من الدوئر الترانزستور التقليدية.

- **تطوير وسائل طباعة نماذج لوحات الدوائر الإلكترونية بإستخدام الطابعات النافثة للأحبار لجسيمات متناهية الصغر من الفضة لتشكيل خطوط التوصيل فى لوحات الدوائر.**
- **إنتاج شعاع ضوئى بالتحكم فى الترددات المتقاربة بإستخدام الليزر للنقش على سطح سليكون نانو لزيادة معدلات نقل بيانات أعلى بكثير عبر الألياف الضوئية.**
- **تصنيع الترانزستورات من أنابيب نانو كربونية لتقليل أبعاد الترانزستورات لبضعة نانومتر وتطوير تكنولوجيا الدوائر المتكاملة بتقنيات ترانزستورات أنابيب النانو الكربونية.**
- **تطوير تكنولوجيا الدوائر المتكاملة بتقنيات أنابيب النانو الكربونية لإزالة أنابيب النانو المعدنية والإبقاء على أنابيب النانو الشبه موصل فقط.**
- **تطوير مادة لحام خالية من الرصاص بإستخدام جسيمات النحاس النانو للإستخدام بتكنولوجيا الفضاء والبيئات عالية الإجهاد.**
- **تجميع جزيئات من الذهب مع جزيئات عضوية لتكوين الترانزستور المعروف بإسم ترانزستور الجسيمات لذاكرة النانو العضوية بتأثير المجال [٤٦].**
- **تطوير أقطاب كهربائية من أسلاك النانو تمكن من تطوير شاشات العرض المسطحة المرنة وبسمك أقل.**
- **تطوير خوارزمية التعامل مع أنابيب النانو المنحرفة.**

---

٤٦ ذاكرة النانو العضوية بتأثير المجال . **NOMFET is a nanoparticle organic memory field-effect transistor. The transistor is designed to mimic the feature of the human synapse known as plasticity, or the variation of the speed and strength of the signal going from neuron to neuron. The device uses gold nano-particles of about 5—20 nm set with pentacene to emulate the change in voltages and speed within the signal.. A compact model was developed, and these organic synapstors were used to demonstrate an associative memory, which can be trained to present a pavlovian response. A recent report showed that these organic synapse-transistors (synapstor) are working at 1 volt and with a plasticity typical response time in the range 100-200 ms When the NOMFET is used in a neuromorphic circuit it can replicate the functionality of plasticity that previously required groups of several transistors to emulate and thus continue to decrease the size of the processor that would be attempting to utilize the computational advantages of a pseudo-synaptic operation.**

- **تطوير أسلاك نانو من أشباه الموصلات فى تكوينات الترانزستور والدوائر المتكاملة.**
- **تطوير ترانزستورات الذرة الواحدة بتكنولوجيا الأفلام السميكة من الجرافين لزيادة السرعات.**
- **تطوير تصنيع ثنائيات شبه الموصل من الجرافين بتنميط جزئى لثنائى (ن و ب) على ركيزة بتكنولوجيا الأفلام السميكة بإضافة الإلكترونات أو أخذها من الجرافين – إلا أنها تتوقف على نوع المواد المنشطة فى الركيزة.**
- **تطوير أنابيب كربون النانو لتوجيه الإلكترونات لإضاءة وحدات البكسل الناتجة لتطوير شاشات عرض بسمك الميلمتر وخفيفة الوزن.**
- **تطوير إنتاج بوابات الترانزستور فى الدوائر المتكاملة بسمك أقل.**
- **تطوير النقاط الكمومية لإستبدال النقاط الفلورية المستخدمة فى شاشات العرض لتبسيطها وتقليل الطاقة المطلوبة.**
- **إستخدام الحلقات المغناطيسية لتصنيع مقاومات مغناطيسية بأبعاد النانو لتشكيل ذاكرة الوصول العشوائى لتسمح بزيادة كثافة الذاكرة الى ٤٠٠ جيجابايت لكل بوصة مربعة.**
- **تطوير مغناطيس نانو لتشكيل ذاكرة الوصول العشوائى الكهرومغناطيسية [٤٧] لتخفيض الطاقة وزيادة الكثافة.**
- **تطوير الترانزستورات جزيئية الحجم لتقليص عرض بوابات الترانزستور الى ما يقرب من نانومتر واحد لرفع كثافة الترانزستورات فى الدوائر المتكاملة.**
- **تطوير مادة لصق نانو عضوية لتشكيل فيلم سميك بسمك نانومتر بين رقائق الكومبيوتر لإمتصاص الحرارة من رقائق الكومبيوتر للحفاظ على برودة حرارة رقائق الكومبيوتر والمكونات الأخرى.**
- **إستخدام النانو ذاتية المحاذاة لتصنيع دوائر نانو متكاملة.**
- **إستخدام أسلاك النانو لبناء ترانزستورات دون الوصلات الثنائية (ب – ن)**
- **إستخدام أسلاك الفضة لترسيب طبقات موصلة مرنة دون الإضرار بالموصلية.**

---

٤٧ ذاكرة الوصول العشوائى الكهرومغناطيسية(MeRAM)Magenetoelectric random access memory

- **تكوينات بنية جزيئية متكوّرة [٤٨] لبناء وحدات الذاكرة بكثافة عالية وطاقة منخفضة.**
- **إستخدام نقاط الكم المغناطيسى فى تكنولوجيا أشباه الموصلات من النوع الإلكترونى الدورانى [٤٩] لتصنيع العناصر ذات الكثافة الأعلى والطاقة المنخفضة نظراً لأنها تقيس دوران الإلكترونيات لتحديد قيم العدد (واحد) وقيم العدد (صفر) بدلا من قياس مجموعة من العناصر الكترونية كما هو الحال مع عناصر أشباه الموصلات الحالية.**
- **إستخدام أسلاك نانو مصنوعة من سبيكة الحديد والنيكل لتكوين عناصر ذاكرة كثيفة عن طريق إستخدام أجزاء ممغنطة على طول السلك كلما تتحرك تتم قراءة البيانات عن طريق جهاز إستشعار ثابت ويسمى هذا العنصر ذاكرة سباق المسار [٥٠].**
- **تطوير رقائق الذاكرة التى تستخدم أنابيب النانو الكربونية والتى تعرف بذاكرة الوصول العشوائى الغير متطاير [٥١] بدلا من رقاقة فلاش عالية الكثافة.**

---

٤٨ بنية جزيئية متكوّرة **Buckyballs, called fullerenes, were one of the first nano particles discovered. Buckyballs composed of carbon atoms linked to three other carbon atoms by covalent bonds. However, the carbon atoms are connected in the same pattern of hexagons and pentagons you find on a soccer ball, giving a buckyball the spherical structure as shown in the following figure.**

٤٩ النوع الإلكترونى الدورانى **Spintronics (a portmanteau meaning spin transport electronics)، also known as spinelectronics or fluxtronics, is the study of the intrinsic spin of the electron and its associated magnetic moment, in addition to its fundamental electronic electronics, in Spintronics differs from the older magneto charge, in solid-state devices. that spins are manipulated by both magnetic and electrical fields..**

٥٠ ذاكرة سباق المسار **Racetrack Memory writes magnetic information onto nano scale Wires out of a special alloy, each storing hundreds of bits. The bits are then transported along the wires to the read-write heads using 'spin polarized' electric current, produced by a transistor. Racetrack memory is still in the research**

٥١ ذاكرة الوصول العشوائى الغير متطاير **Nano-RAM is a proprietary computer memory technology from the companyNantero. It is a type of nonvolatile random access memory based on the position of carbon nanotubes deposited on a chip-like substrate. In theory, the small size of the nanotubes allows for very high density memories. Nantero also refers to it as NRAM**

صناعة أشباه الموصلات هي المحرك الرئيسي للإقتصاد الأمريكي الحديث، وشكلت جزء كبير من المكاسب الإنتاجية التي إتسم بها الاقتصاد العالمي منذ العام ١٩٩٠م. وقد إكتسبت التطورات الحديثة في هذا المجال من خلال ما يعرف بإسم قانون مور للتحجيم، الذي تنبأ بنجاح زيادة هائلة في أداء أجهزة الكمبيوتر على مدى السنوات الأربعون الماضية وقد تم تحقيق هذا المكسب بسبب التزايد المستمر لتصغير حجم معالجات أشباه الموصلات وذاكرة الأجهزة (بإستخدام مفاتيح فتح وقطع وترانزستورات أصغر فى الحجم وأسرع). الإستمرار في تقليص أبعاد العناصر الإلكترونية مهم من أجل زيادة سرعة المعالج ، والحد من جهاز تبديل الطاقة، وزيادة وظائف النظام ، وخفض تكلفة التصنيع لكل بت ومع ذلك ، وكلما إقتربت أبعاد العناصر الحاسمة من الحجم الذري، تقلل عمليات إنتاج الأجهزة التقليدية. ولذلك تتبع الباحثون نهج أكثر تطرفاً للتغلب على هذه القيود الفيزياء الأساسية وشملت البحوث أنواع مختلفة من المنطق باستخدام الآلات الخلوية[٥٢] أو تشابك الكم[٥٣] والتراكب أو التداخل[٥٤] والتكوين المكانى ثلاثى الأبعاد[٥٥] وغيرها من المتغيرات التي تحمل معلومات مختلفة بخلاف شحنة

---

٥٢ الآلات الخلوية cellular automata, is a discrete model studied in computability theory, mathematics, physics, complexity science ،theoretical biology and microstructure modeling. Cellular automata are also called cellular spaces, tessellation automata, homogeneous structures, cellular structures, tessellation structures, and iterative arrays

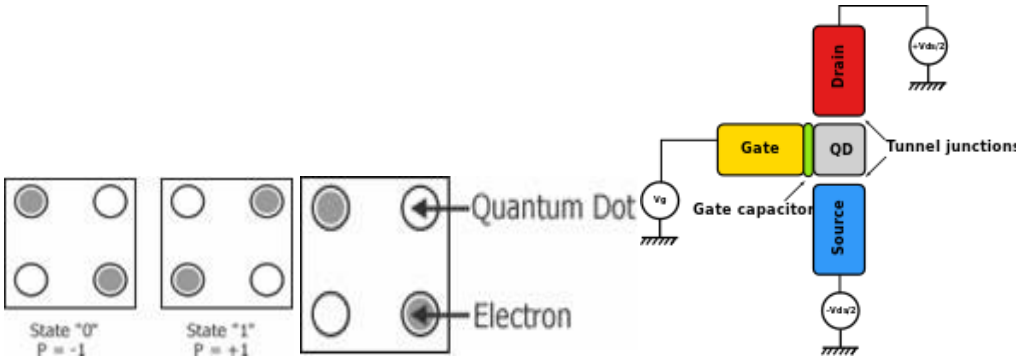
٥٣ تشابك الكم Quantum entanglement is a physical phenomenon that occurs when pairs or groups of particles are generated or interact in ways such that the quantum state of each particle cannot be described independently — instead, a quantum state must be described for the system as a whole.

٥٤ التراكب أو التداخل Superposition principle in physics, mathematics, and engineering, describes the overlapping of waves.

٥٥ التكوين المكانى ثلاثى الأبعاد Spatial design is a relatively new conceptual design discipline that crosses the boundaries of traditional design specialisms such as architecture, landscape architecture, landscape design, interior design and service design as well as certain areas of public art.

الإلكترون ، مثل إستقطاب الفوتون، تدوير الإلكترونات، ووضع وحالة الذرات والجزيئات. النهج القائم على علوم النانو ، والهندسة، والتكنولوجيا هي الأكثر رؤية لتحقيق هذه التغييرات الجذرية، ويتوقع تغيير طبيعة الإلكترونيات وجوهرها وكيف يمكن تصنيع الأجهزة الإلكترونية بسرعة فإن تعزيز ونجاح البحث والتطوير في هذه المجالات من شأنه أن يرسخ قاعدة التصنيع الداخلية في الولايات المتحدة التي تهيمن على التجارة الإلكترونية في القرن الواحد والعشرون والهدف من هذه المبادرة هو الإسراع في إكتشاف واستخدام عمليات تصنيع نانو جديدة ومفاهيم مبتكرة لإنتاج المواد والأجهزة والنظم، في مجال الإلكترونيات النانوية.

٢ – ٢ الدائرة النانوية

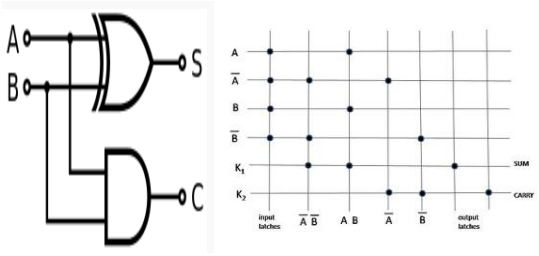


الشكل (٢ – ٨) تخطيط للترانزستور مفرد الإلكترون – تخطيط مبسط لخلية ذات أربع نقاط كمومية – الحالتين الممكنين لخلية ذات أربع نقاط كمومية

الدوائر النانوية هي دوائر كهربائية على مقياس النانومتر والذي يعتبر تطور في عالم الكم[٥٦]، حيث تصبح تأثيرات ميكانيكا الكم مهمة. من المعروف أن النانومتر الواحد يساوي ١٠ $^{-٩}$ متر أو ما يوازى صف من ١٠ ذرات هيدروجين. يمكن تنفيذ هذه الدوائر الصغيرة المتقدمة على شريحة كمبيوتر مما يسمح بزيادة السرعة وإستخدام طاقة أقل ولها وظائف

٥٦ عالم الكم quantum realm, called the quantum scale, is a term of art in physics referring to scales where quantum mechanical effects become important as an isolated system, means distances of 100 nanometers (10^{-9}meters) or less or at very low temperature. More precisely, it is where the action or angular momentum is quantized.

أخرى. تتكون الدوائر النانوية من ثلاثة مكونات أساسية مختلفة وهي الترانزستورات ، الترابطات الداخلية ، والهيكل الهندسى ، وكلها مصنعة بأبعاد النانومتر.



الشكل (٢ – ٩) تكوين لمزالج النانو العارضة كنصف مجمع [٥٧] – تخطيط لنصف مجمع منطقى

بذلت مجموعة متنوعة من المقترحات لتنفيذ دائرة النانو في أشكال مختلفة وتشمل الترانزستورات أحادية الإلكترون[٥٨]، نقطة الكم الخلوي الآلي[٥٩] ، والمزالج العارضة النانو[٦٠] . ومع ذلك، فإن النهج المرجح القريب يشمل إدماج المواد النانوية

---

٥٧ كنصف مجمع An adder,called summer, is a digital circuit that performs addition of numbers.In many computers and other kinds of processors, adders are used not only in the arithmetic logic units, but also in other parts of the processor, where they are used to calculate addresses, table The half adder adds two indices, increment and decrement operators, and similar operations. single binary digits *A* and *B*. It has two outputs, sum (*S*) and carry (*C*). The carry signal represents an overflow into the next digit of a multi-digit addition. The value of the sum is $2C + S$. The simplest half-adder design, incorporates an XOR gate for *S* and an AND gate for *C*. With the addition of an OR gate to combine their carry outputs, two half adders can be combined to make a full adder.

٥٨ الترانزستورات أحادية الإلكترون The simplest device in which the effect of Coulomb blockade can be observed is the so-called single-electron transistor. It consists of two electrodes known as the drainand the source, connected through tunnel junctions to one common electrode with a low self-capacitance, known as the island. The electrical potential of the island can be tuned by a third electrode, known as the gate, which is capacitively coupled to the island.

٥٩ نقطة الكم الخلوي الآلي Quantum dot cellular automata (or QCA) are proposed models of quantum computation, which have been devised in analogy to conventional models of cellular automata

٦٠ المزالج العارضة النانو The Crossbar Latch is a technology that could replace transistors in some applications. This would allow the construction of integrated circuits made entirely from memristors, t it is possible for memristors to eventually replace transistors in the way that transistors replaced the vacuum tube.

لتحسين الدوائر المتكاملة منخفضة المقاومة والتى تشكل حاليا أسس تصميم الدوائر المتكاملة التناظرية والرقمية وقانون مور للتحجيم .

الجدول (٢ – ١) هيكل لترانزستور المجال من السيلكون وموصلية القناة (من النوع ن)

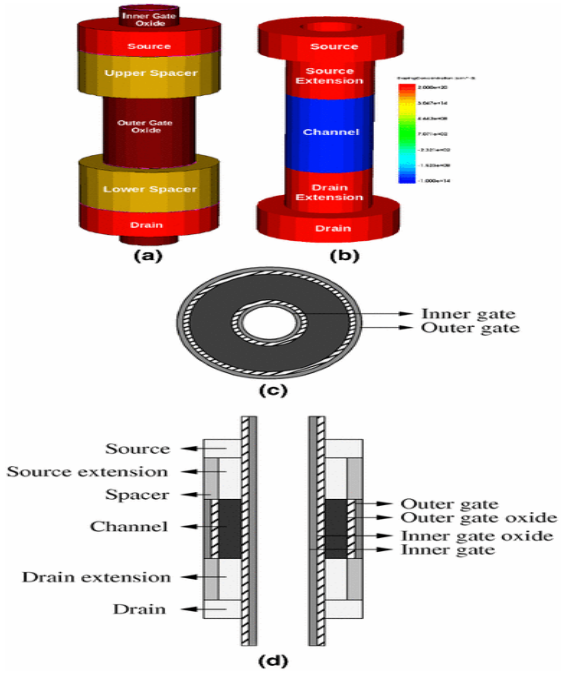
مسلسل	البيان	الأبعاد
١	طول البوابة	٤٥ نانو متر
٢	سمك جدار الأنبوب	٥ نانو متر
٣	القطر الخارجى للأنبوب	٣٢ نانو متر
٤	القطر الداخلى للأنبوب	٢٢ نانو متر
٥	سمك طبقة الأكسيد	١ نانو متر
٦	طول كل من المنبع والمستنزف	١٥ نانو متر
٧	سمك جدار المنبع والمستنزف	١٥ نانو متر
٨	طول الفاصل	٢٥ نانو متر
٩	تركيز الشوائب فى المنبع والمستنزف	٢ x ١٠^{٢٠} سم$^{-٣}$
١٠	تركيز الشوائب فى القناة	١ x ١٠^{١٤} سم$^{-٣}$
١١	طاقة إلكترود البوابة	٤و٥٥٦ إلكترون فولت
١٢	مصدر الجهد	١ فولت

في عام ٢٠٠٤ نشر بحث يشتمل على تصميم ترانزستورات المجال (م – أ – ش) ومستقبلها فى الدوائر المتكاملة منخفضة المقاومة على أساس تخفيض الحجم وتم الأشارة إلى أن قناة دائرية المقطع العرضي العمودي لترانزستور المجال [٦١] هي الأمثل للحد من التحجيم. هذا التكوين قادر على التنفيذ مع كثافة عالية بإستخدام قنوات أشباه الموصلات الأسطوانية الرأسية بأقطار النانو وتكنولوجيا إفينيون[٦٢] وبدأ البحث والتطوير في هذا الإتجاه

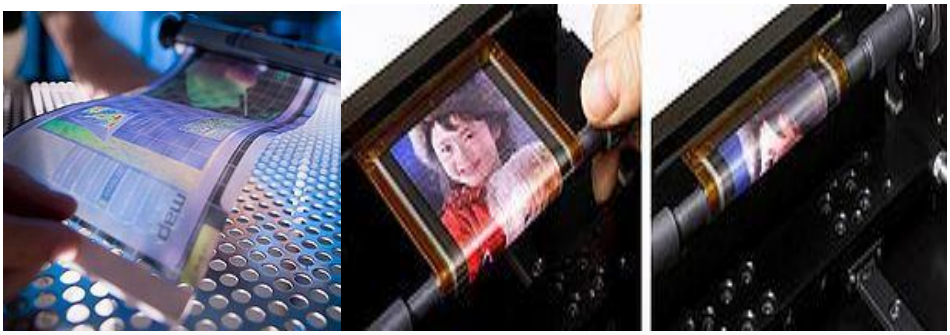
٦١ قناة دائرية المقطع العرضي العمودي لترانزستور المجال circular cross-section vertical channel FETs

٦٢ تكنولوجيا إفينيون Infineon Technologies offers semiconductors and systems for automotive, industrial, and multimarket sectors, as well as chipcard and security products. With a global presence,

مما أدى لتسجيل براءات الإختراع الأساسية بإستخدام أسلاك وأنابيب الكربون النانوية في تصاميم ترانزستورات المجال (م – أ – ش) كنهج بديل ، في نهج بديل آخر إستخدام عمليات الترسيب والمواءمة لتصنيع نمط صفائف من أسلاك النانو معدة مسبقا على ركيزة لتكون بمثابة قناة جانبية لترانزستور المجال .



الشكل (٢ – ١٠) هيكل ثلاثي الأبعاد لترانزستور المجال من السيلكون وموصلية القناة (من النوع ن)؛ (b) هيكل الترانزستور من السيليكون؛ (c) مقطع عرضي دائري؛ (d) المقطع العرضي العمودي



(الشكل ٢ – ١١) نموذج شاشة عرض ملفوفة من ترانزستورات المجال العضوية

إستخدام أسلاك متعددة سابقة التجهيز للقناة تزيد من الموثوقية وتقلل من تكاليف الإنتاج منذ أستخدمت عمليات الطباعة بحجم إنتاج كبير وذلك بترسيب أسلاك النانو عند درجة حرارة أقل من عمليات التصنيع التقليدية بالإضافة إلى ترسيب أسلاك النانو عند درجات حرارة

منخفضة، لمجموعة متنوعة من المواد مثل البوليمرات التى يمكن إستخدامها بوصفها ركيزة ناقله لشحنات الترانزستورات ساهم فى تطور التطبيقات الإلكترونية المرنة [٦٣] مثل الورق الإلكتروني، إنحناء شاشات العرض المسطحة [٦٤]، والخلايا الشمسية ذات المساحة الواسعة.

❖ طرق الإنتاج

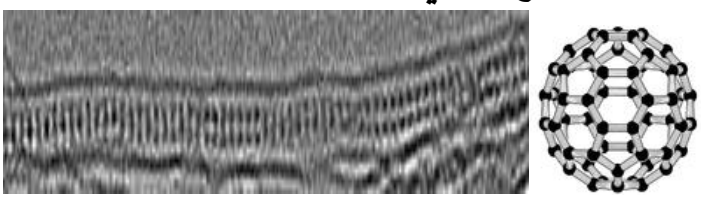
أحد أكثر المفاهيم الأساسية لفهم الدوائر النانوية هو صياغة قانون مور . نشأ هذا المفهوم عندما كان هناك الرغبة في تخفيض تكلفة الترانزستورات ومحاولة زيادة عدد الترانزستورات فى الرقاقة الواحدة. إرتباط عدد الترانزستورات فى دائرة متكاملة أمكن من إنتاج رقاقة من السيليكون تمكن من مضاعفة قدرات الحوسبة لمثل هذه الدوائر المتكاملة كل ١٨ إلى ٢٤ شهرا بزيادة عدد الترانزستورات التى يمكن إحتواؤها فى دائرة واحدة مما يزيد القدرات الحسابية للكمبيوتر وهذا هو السبب في محاولة لإنتاج الدوائر النانوية بالملايين وربما بمليارات الترانزستورات التى تحتويها الرقاقة وعلى الرغم من أن هذا قد يبدو حل جيد ، إلا أن هناك العديد من المشاكل التي تنشأ عندما يكتظ العديد من الترانزستورات معا فى دوائر النانو الصغيرة جدا، هناك مشاكل أكثر بالمقارنة بالدوائر الكبيرة ، وعلى الأخص فيما يخص درجات الحرارة –

---

٦٣ التطبيقات الإلكترونية المرنة Flexible electronics, also known as flex circuits, is a Technology for assemblingelectronic circuits by mounting electronic devices on flexible plastic A flexible display is an electronic visual display which is flexible in nature; differentiable from the more prevalent traditional flat screen displays Many electronic paper technologies hold static text and images indefinitely without electricity. Flexible electronic paper uses plastic

٦٤ إنحناء شاشات العرض المسطحة Rollable displays have many advantages over glass: better durability, lighter weight, thinner dimensions, and can be perfectly curved and used in many devices. Moreover, the major difference between glass and rollable display is that the display area of a rollable display can be bigger than the device itself; If a flexible device measuring, for example, 5 inches in diagonal and a roll of 7.5mm, it can be stored in a device smaller than the screen itself and close to 15mm in thickness. Another example of the benefits of being able to roll up your T.V are being able to easily transport your T.V to places you would never normally have expected to take a T.V, i.e. to a friends house, or even to work.

كمية الطاقة المستخدمة على مساحة أصغر يجعل من الصعب تبديد الحرارة كما تتسبب الحرارة الزائدة في حدوث أخطاء ، ويمكن أن تدمر الرقاقة. الدوائر النانوية هي أكثر حساسية لتغيرات درجة الحرارة والأشعة الكونية[٦٥] والتداخل الكهرومغناطيسي بالمقارنة بالدوائر المستخدم اليوم. إكتظاظ الترانزستورات فى شريحة واحدة يتسبب فى ظواهر مثل الإشارات الشاردة على الرقاقة، الحاجة لتبديد الحرارة من الكثير من العناصر المعبأة بشكل متلاصق، يحدث إختراق نفقى عبر حواجز العزل بسبب صغر الحجم مما أوقف حلول تعقيدات التصنيع وبطء التقدم. يعتقد الكثيرون أن سوق دوائر النانو سوف تصل إلى حالة التوازن قريبا وفي هذا الوقت يعتقد أن تكلفة وسائل التصنيع ستزداد لتصبح حوالي ٥٠٠ مليار دولار.



الشكل (٢ – ١٢) نمط **الأنابيب النانوية الكربونية – أسلاك النانو من بلورات سلانيد القصدير نمت داخل أنبوب نانوى قطرها واحد نانومتر ذو جدار واحد من الكربون**

سيكون هناك وقت عندما تنخفض تكلفة صنع الدوائر، وسوف تصل سرعة أجهزة الكمبيوتر إلى الحد الأقصى. لهذا السبب يعتقد العديد أن قانون مور لن يصمد إلى الأبد، وسرعان ما سيصل الى الذروة، منذ التنبأ بقانون مور فهناك مكاسب حسابية الناجمة بإدخال تحسينات في مجال تكنولوجيات الحفر الميكروووية الحجرية.

---

٦٥ الأشعة الكونية **Cosmic rays are immensely high-energy radiation, mainly originating outside the Solar System.[1] They may produce showers of secondary particles that penetrate and impact the Earth's atmosphere and sometimes even reach the surface. Composed primarily of high-energy protons and atomic nuclei, they are of mysterious origin. Data from the *Fermi* space telescope (2013) have been interpreted as evidence that a significant fraction of primary cosmic rays originate from the supernovae of massive stars. However, this is not thought to be their only source. Active galactic nuclei probably also produce cosmic rays**

في إنتاج دوائر النانو، هناك العديد من الجوانب ذات الصلة. الجزء الأول منها يبدأ بالترانزستورات. تستخدم الآن معظم الإلكترونيات الترانزستورات القائمة على السيليكون. الترانزستورات هي جزء لا يتجزأ من الدوائر لأنها تتحكم في تدفق الكهرباء وتحويل الإشارات الكهربائية الضعيفة إلى إشارات قوية كما أنها تعمل كمفتاح فتح وقطع تتحكم فى التيار الكهربائي كما يمكنها إيقاف تشغيله، أو حتى تضخيم الإشارات. تستخدم الدوائر الآن مادة السيليكون فى الترانزستور لأنه يمكن بسهولة أن تنتقل بين حالتى التوصيل وعدم التوصيل ومع ذلك، في الكترونيات النانو، قد تصنع الترانزستورات من الجزيئات العضوية أو من الهياكل النانوية غير العضوية. تصنع الترانزستورات، حاليا من الجزيئات العضوية بأبعاد النانو. الجانب الثاني من تكوين دوائر النانو هى الروابط الداخلية والتى تنطوي على العمليات المنطقية والرياضية والأسلاك التي تجعل من الممكن ربط الترانزستورات معا. تستخدم في دوائر نانو الأنابيب النانوية[٦٦] والأسلاك بأبعاد نانومتر واحد لربط الترانزستورات معا. تصنع أسلاك النانو[٦٧] من أنابيب الكربون النانوية منذ بضع سنوات. حتى سنوات قليلة مضت، تم وضع الترانزستورات والأسلاك معا لإنتاج الدائرة ومع ذلك، كان من الممكن إنتاج أسلاك نانو داخل الترانزستورات. في عام ٢٠٠٤، ظهرت أسلاك نانو يصل سمكها الى ١٠،٠٠٠ مرة أرق من ورقة تحتوي على سلسلة من الترانزستورات. في الأساس، تعتبر الترانزستورات والأسلاك النانوية مرحلة للقضاء بالفعل في محاولة توصيل الترانزستورات بأسلاك النانو. الجزء الأخير

---

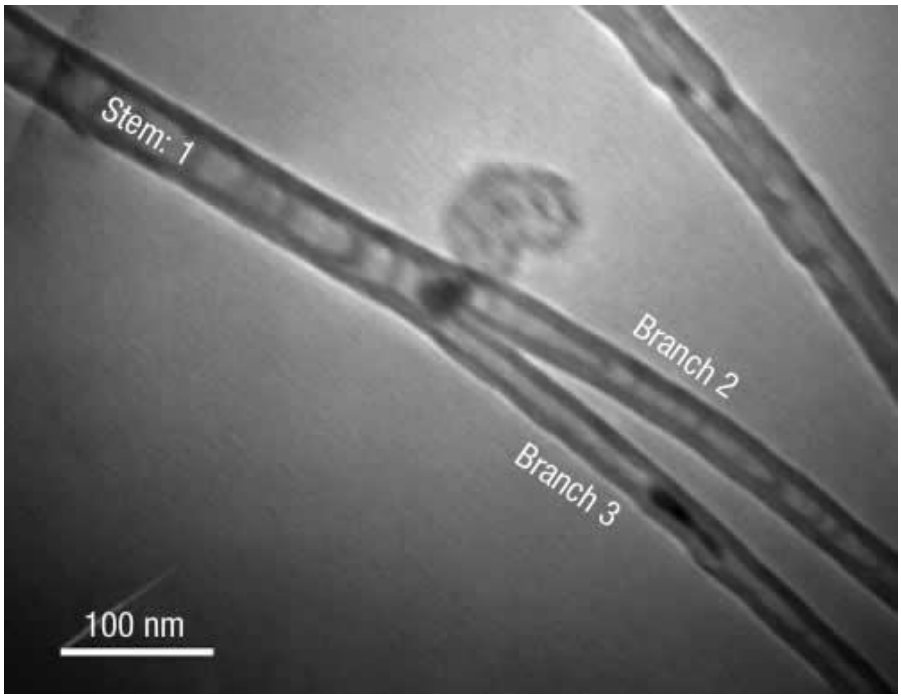
٦٦ الأنابيب النانوية. Carbon nanotubes (CNTs) are allotropes of carbon with a cylindrical nanostructure. Nanotubes have been constructed with length-to-diameter ratio of up to $132,000,000:1$

٦٧ أسلاك النانو. A nanowire is a nanostructure, with diameter of nanometer (10^{-9} meters). It can also be defined as the ratio of the length to width being greater than 1000. Alternatively, nanowires can be defined as structures that have a thickness or diameter constrained to tens of nanometers or less and an unconstrained length. At these scales, quantum mechanical effects are important — which coined the term "quantum wires". Many different types of nanowires exist, including superconducting (e.g., YBCO[1]), metallic (e.g., Ni, Pt,Au), semiconducting (e.g., Si, InP, GaN, etc.), and insulating (e.g., SiO_2, TiO_2).Molecular nanowires are composed of repeating molecular units either organic (e.g. DNA) or inorganic (e.g. $Mo_6S_{9-x}I_x$).

من تكوين الدوائر النانوية هو الهيكل الهندسى وقد سبق التوضيح أن هذا هو السبيل الشامل للترابطات الداخلية للترانزستورات، حيث يمكن توصيل الدائرة بجهاز كمبيوتر أو بنظام آخر وتعمل بشكل مستقل عن تفاصيل المستوى الأدنى. مع كون الدوائر النانوية صغيرة جدا، إلا أن لها بعض الأخطاء والعيوب. يتم تجميع هيكل الدوائر ذات البوابات المنطقية الزائدة والترابطات الداخلية مع إعادة تكوين الهياكل على عدة مستويات على الرقاقة. يتيح التكرار تحديد المشاكل وعلاجها حتى تتمكن الدائرة من تجنب المزيد من المشاكل كما أنه يسمح للأخطاء داخل بوابة المنطق والتي لا تزال تعمل بشكل صحيح من دون أن تعطي نتيجة خاطئة.

❖ التطبيقات والإختراقات المحتملة

طور علماء في الهند أصغر ترانزستور في العالم والذي سيتم إستخدامه للدوائر النانوية ويتكون من الأنابيب النانوية الكربونية. طويت صفائف أنابيب النانو الورقية المصنعة من ذرات الكربون وهي أرق بأكثر من ألف مرة من شعرة فى جسم الإنسان فقريبا ستحل الترانزستورات من الأنابيب النانوية الكربونية محل الدوائر التى تستخدم الترانزستورات القائمة على السيليكون.



الشكل (٢ – ١٣) هيكل ترانزستور نانو على شكل Y

يشتمل الترانزستور على فرعين مختلفين ولكنهما يلتقيان في نقطة واحدة، ومن ثم يعطيها شكل حرف الواى فى اللغة الإنجليزية (Y) [٦٨] حيث يمكن أن يتدفق التيار في الفرعين، ويتم التحكم فى التيار من قبل الفرع الثالث الذي يعمل كمفتاح تحويل لتشغيل الجهد أو إيقاف تشغيله وهذا يمكن أن يمثل إنطلاقة جديدة الآن لدوائر النانو بتصنيعها بالكامل من الأنابيب النانوية. قبل هذا الإكتشاف، إستخدمت دوائر المنطق الأنابيب النانوية [٦٩]، ولكن هناك حاجة للبوابات المعدنية لتكون قادرة على التحكم فى تدفق التيار الكهربائي . يمكن القول بإن أكبر إمكانية تطبيق للدوائر النانوية هى التعامل مع أجهزة الكمبيوتر والإلكترونيات وتهدف لرفع سرعات تشغيل أجهزة الكمبيوتر. يعتقد البعض أنه في المدى القريب، يمكننا أن نرى تكنولوجيا التهجين بين المايكرو والنانو سيليكون . مع دوائر النانو الأساسية ربما نحصل على ذاكرة كمبيوتر عالية الكثافة التي تحتفظ بمحتوياتها إلى الأبد. خلافا لتصميم الدوائر التقليدية، التي تنطلق من نمط تخطيطى الى نمط التصوير الفوتوغرافي للرقاقة، من المحتمل أن يبدأ تصميم الدوائر النانوية بالرقاقة من خليط عشوائي لما يصل الى ١٠٢٤ عنصر من مكونات وأسلاك ، وليس يالضرورة أن تعمل كلها ويتم تحويلها تدريجيا إلى عناصر مفيدة وبدلا من تطبيق خطوات نهج التصميم التقليدي من أعلى إلى أسفل ، فإن نهج التصميم من أسفل إلى

---

٦٨ الترانزستور على شكل حرف الواى فى اللغة الإنجليزية (Y) Tiny tubes of carbon, crafted into the shape of a Y, could revolutionise the computer industry. The work has shown that Y-shaped carbon nanotubes are easily made and act as remarkably efficient electronic transistors – the toggles used to control the flow of electrons through computer circuits. But the nanotransistors are just a few hundred millionths of a metre in size –roughly 100 times smaller than the components used in today's microprocessors. They could, therefore, be used to create microchips several orders of magnitude more powerful than the ones used in computers today, with no increase in chip size.

٦٩ دوائر المنطق الأنابيب النانوية logic circuits with field-effect transistors based on single carbon nanotubes. the device layout features local gates that provide excellent capacitive coupling between the gate and nanotube, enabling strong electrostatic doping of the nanotube from *p*-doping to *n*-doping and the study of the nonconventional long-range screening of charge along the one-dimensional nanotubes

أعلى على الأرجح سيتم تطبيقه قريبا بسبب الحجم الهائل لهذه الدوائر النانوية[٧٠] , ليس كل العناصر في دوائر النانو سوف تعمل على الأرجح بسبب إكتظاظ العناصر بها . تم تطوير كافة المكونات الأساسية للدوائر النانوية مثل الترانزستورات، البوابات المنطقية والثنائيات من الجزيئات العضوية[٧١]، وأنابيب الكربون النانوية وأسلاك النانو شبه الموصل. المجال الذي ترك ولم يتم القيام به هو إيجاد وسيلة للقضاء على الأخطاء التي تظهر مع مثل هذا العناصر الصغيرة وسوف تصبح دوائر النانو وسيلة لكل فروع الإلكترونيات ومع ذلك، في نهاية المطاف سيكون هناك حد لمدى صغر دوائر النانو التى يمكن أن تصبح عليها وسوف تصل أجهزة الكمبيوتر والإلكترونيات لسرعات توازنها.

٢ – ٣ الطباعة الحجرية النانوية

الطباعة الحجرية النانوية هي فرع من فروع تكنولوجيا النانو والتى تهتم بدراسة وتطبيق وتصنيع الهياكل فى نطاق النانومتر ، وهذا يعني أنماط بأبعاد أفقية تتراوح بين ١ و ١٠٠

---

٧٠ نهج التصميم من أعلى إلى أسفل ، ومن أسفل إلى أعلى Top-down and bottom-up are two approaches for the manufacture of products. These terms were first applied to the field of nanotechnology to distinguish between molecular manufacturing (to mass-produce large atomically precise objects) and conventional manufacturing (which can mass-produce large objects that are not atomically precise). Bottom-up approaches seek smaller (usually molecular) components built up into more complex assemblies, while top-down approaches seek to create nanoscale devices by using top-down approach often uses the larger, externally controlled ones to direct their assembly. traditional workshop or microfabrication methods where externally controlled tools are used to cut, mill, and shape materials into the desired shape and order.

٧١ الجزيئات العضوية An organic compound is any member of a large class of gaseous, liquid, or solid chemical compounds whose molecules contain carbon. a few types of carbon-containing compounds, such as carbides, carbonates, simple oxides of carbon (such as CO and CO_2), and cyanides are considered inorganic. The distinction between organic and inorganic carbon compounds, while "useful in organizing the vast subject of chemistry... is somewhat arbitrary Organic chemistry is the science concerned with all aspects of organic compounds. Organic synthesis is the methodology of their preparation.

نانومتر على الأقل . مقاربات مختلفة يمكن تصنيفها على التوالى أو التوازي – قناع أو بدون قناع – الكتابة المباشرة، من أعلى إلى أسفل أو من أسفل إلى أعلى – شعاع أو أطراف مستندة إلى مقاومة أو بدون مقاومة. إعتبارا من عام ٢٠١٥، تعتبر الطباعة الحجرية النانوية مجال بحثى نشط جدا في الأوساط الأكاديمية والصناعية كما تشمل تطبيقات الطباعة الحجرية النانوية أمور أخرى منها : العناصر متعددة البوابات مثل ترانزستورات المجال[٧٢] ، نقاط الكم ، المشابك[٧٣] ، عناصر تركيز الضوء[٧٤] والأقنعة الضوئية[٧٥] ، نظم النانو الكهروميكانيكية، أو دوائر أشباه الموصلات المتكاملة (دائرة النانو)٠

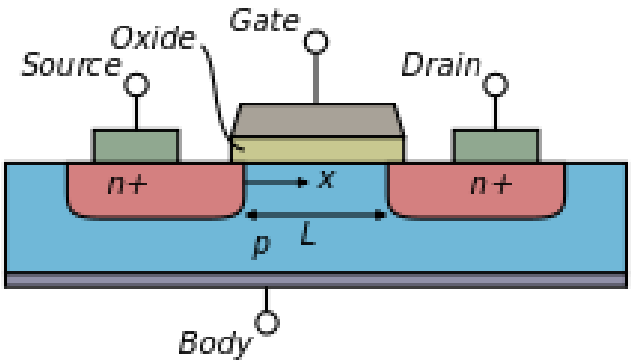
---

٧٢ ترانزستورات المجال field-effect transistor (FET) is a transistor that uses an electric field to control the shape and hence the electricalconductivity of a channel of one type of charge carrier in a semiconductor material. FETs are also known as unipolar transistors as they involve single-carrier-type operation. The FET has several forms, but all have high input impedance., a FET's conductivity is regulated by a voltage applied to a terminal (the gate) which is insulated from the device. The applied gate voltage imposes electric field into the device, which attracts or repels charge carriers to or from the region between a source terminal and a drain terminal. The density of charge carriers in turn influences the conductivity between the source and drain.

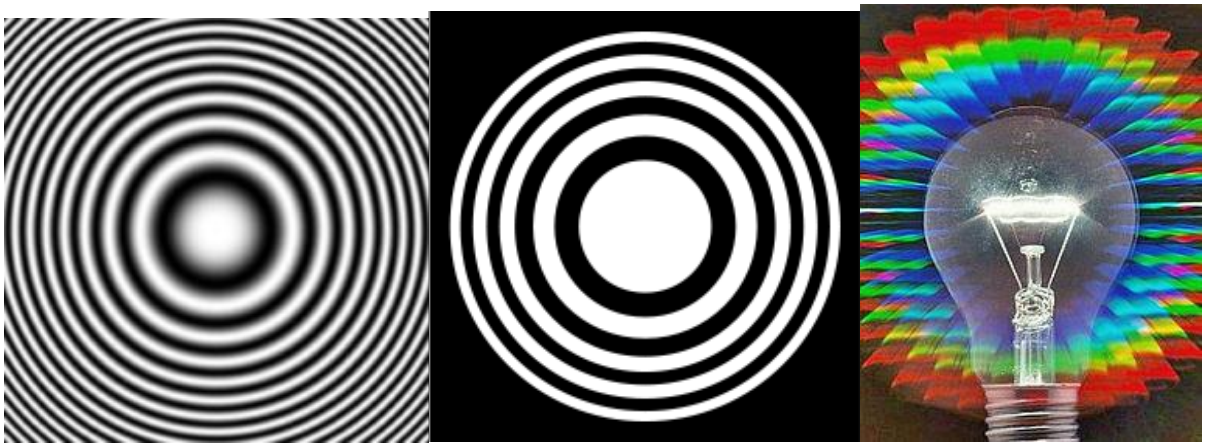
٧٣ المشابك In optics, a diffraction grating is an optical component with a periodic structure, which splits and diffracts light into several beams travelling in different directions. The emerging coloration is a form of structural coloration. The directions of these beams depend on the spacing of the grating and the wavelength of the light so that the grating acts as the dispersive element. Because of this, gratings are commonly used in mono chromators and spectrometers

٧٤ عناصر تركيز الضوء A zone plate is a device used to focus light or other things exhibiting wave character. Unlike lenses or curved mirrors however, zone plates use diffraction instead of refraction or reflection. The zone plate's focusing ability is an extension of the Arago spot phenomenon caused by diffraction from an opaque disc.

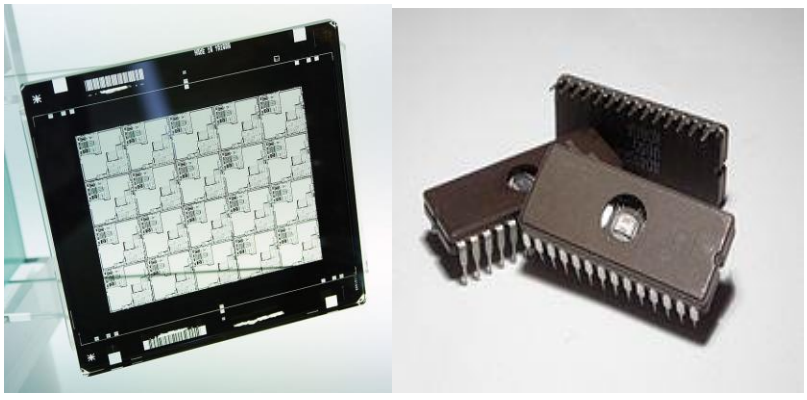
٧٥ الأقنعة الضوئية A photomask is an opaque plate with holes or transparencies that allow light to shine through in a defined pattern. They are commonly used inphotolithography.



الشكل (٢ – ١٤) مقطع عرضى لترانزستور المجال (م – أ – ش) بقناه موصلية (ن)



الشكل (٢ – ١٥) مصباح المتوهج ينظر إليها من خلال حيود النقل –الشكل (٢ – ١٦) لوحة ثنائي تركيز الضوء: مساحة كل حلقة، الضوء والظلام، متساويين – الشكل (٢ – ١٧) لوحة ثنائي تركيز الضوء الجيبية، هذا النوع له نقطة إتصال واحدة.



الشكل (٢ – ١٨) قناع ضوئى – الدوائر المتكاملة لذاكرة برمجة القراءة فقط قابل للمسح، هذه الحزمة لها نافذة شفافة – تسمح النافذة لمحو الذاكرة بتعريض الرقاقة للأشعة فوق البنفسجية.

❖ **الطباعة الحجرية الضوئية**

كانت الطباعة الحجرية الضوئية تقنية للزخرفة السائدة منذ ظهور أشباه الموصلات، قادرة على إنتاج أنماط فرعية بسمك ١٠٠ نانومتر بإستخدام الأطوال الموجية[٧٦] البصرية القصيرة جدا. يتطلب العديد من تقنيات الطباعة الحجرية الضوئية إستخدام الغمر السائل المعزز بتكنولوجيا المحاليل المضيفة مثل أقنعة مرحلة التحول[٧٧] وتصحيح التقريب البصرى[٧٨]. الزخرفة المتعددة هى وسيلة لزيادة الدقة عن طريق ميزات الطباعة على نفس الطبقة المطبوعة من قبل الحفر أو إنشاء جدار الفواصل ، وأستخدمت في الإنتاج التجاري من المعالجات منذ تقنية شرائح ٣٢ نانومتر على سبيل المثال عن طريق التجمع

---

٧٦ الأطوال الموجية — **the wavelength of a sinusoidal wave is spatial period of the wave the distance over which the wave's shape repeats, and the inverse of the spatial frequency. It is usually determined by considering the distance between consecutive corresponding points of the same phase, such as crests, troughs, or zero crossings and is a characteristic of both traveling waves and standing waves, as well as other spatial wave patterns. Wavelength is commonly designated lambda (λ). for transparent transport of services over optical wavelengths in DWDM systems. It is also known as Optical Transport Hierarchy (OTH)**

٧٧ أقنعة مرحلة التحول **Phase-shift masks (PSM) are photomasks that take advantage of the interference generated by phase differences to improve image resolution in photolithography. There exist alternating and attenuated phase shift masks. A conventional photomask is a transparent plate with the same thickness everywhere, parts of which are covered with non-transmitting material in order to create a pattern on the semiconductor wafer when illuminated.**

٧٨ تصحيح التقريب البصري **Optical proximity correction (OPC) is a photolithography enhancement technique commonly used to compensate for image errors due to diffraction or process effects. The need for OPC is seen mainly in the making of semiconductor devices and is due to the limitations of light to maintain the edge placement integrity of the original design, after processing, into the etched image on the silicon wafer. These projected images appear with irregularities such as line widths that are narrower or wider than designed, these are amenable to compensation by changing the pattern on the photomask used for imaging.**

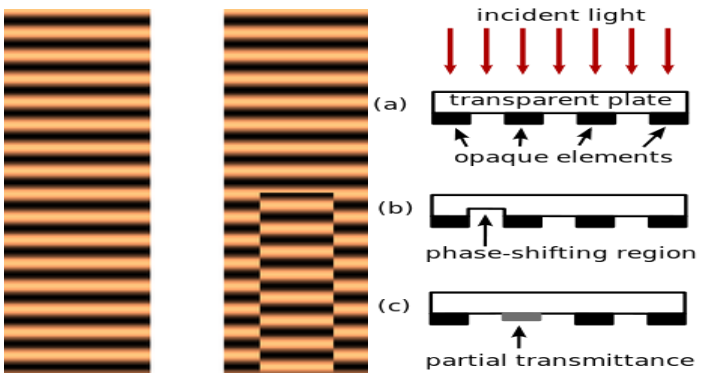
ذاتي الموجه[٧٩]. تستخدم الطباعة الحجرية فوق البنفسجية المتطرفة[٨٠] الموجات فائقة القصر (١٣,٥ نانومتر) وإعتبارا من عام ٢٠١٥، تعتبر الأكثر إنتشارا فى الجيل المقبل من الطباعة الحجرية[٨١] للتصنيع بالجملة.

---

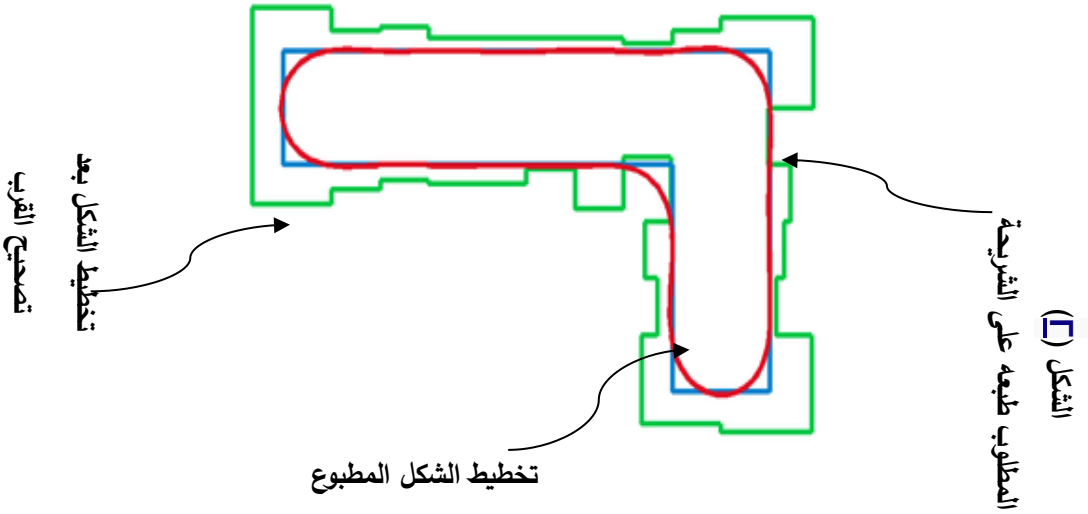
٧٩ التجمع الذاتي الموجه Directed self-assembly (DSA) As of 2010, much progress was reported on the use of PMMA-PS block copolymers to define sub-20 nm patterns by means of self-assembly, guided by surface topography (graphoepitaxy) and/or surface chemical patterning (chemoepitaxy).[36] The key benefit is the relatively simple processing, compared to multiple exposures or multiple depositions and etching.

٨٠ الطباعة الحجرية فوق البنفسجية المتطرفة Extreme ultraviolet lithography (or *EUVL*) is a next-generation lithography technology using an extreme ultraviolet (EUV) wavelength, currently expected to be 13.5 nm. EUV is currently being developed for possible future high volume use in 2020 The primary EUV tool maker, ASML, projects EUV at 5 nm node to require a higher numerical aperture than currently available and multiple patterning to a greater degree than immersion lithography at 20 nm node. Immersion lithography is still more than 4 times faster than EUV, due to source power limitations; hence, multiple patterning with immersion lithography has already been used where EUV had previously been expected to be used. However, it is currently recognized that EUV cannot practically realize 40-50 nm pitch, due to stochastic effects in resist exposure, so even 10 nm node is currently off limits.

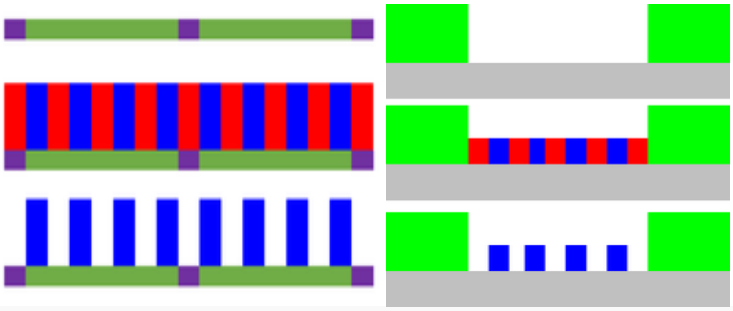
٨١ تعتبر الأكثر إنتشارا فى الجيل المقبل من الطباعة الحجرية Next-generation lithography or NGL is a termused in integrated circuit manufacturing to describe the lithography technologies slated to replace photolithography. As of 2016 the most advanced form of photolithography is immersion lithography, in which water is used as an immersion medium for the final lens. It is being applied to the 16 nm and 14 nmnodes, with the required use of multiple patterning. The increasing costs of multiple patterning have motivated the continued search for a next-generation technology that can flexibly achieve the required resolution in a single processing step.



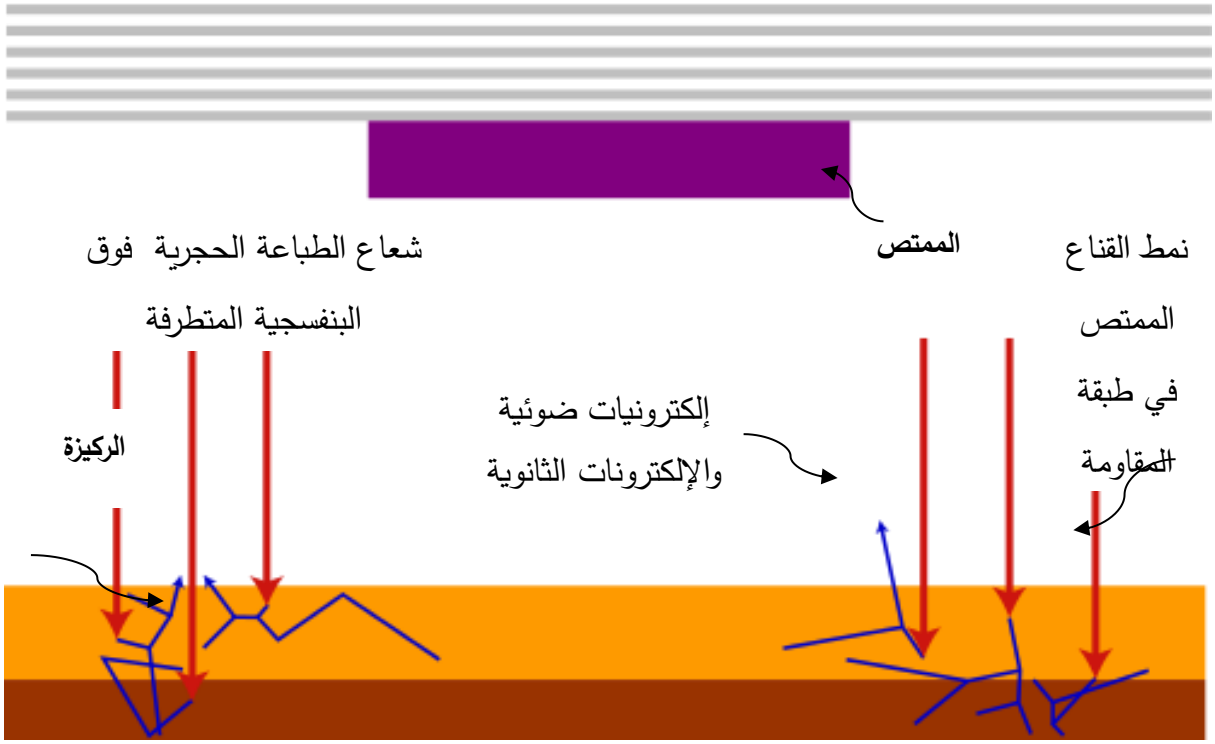
الشكل (٢ – ١٩) مثالاً تخطيطي لأنواع مختلفة من الأقنعة: (أ) قناع تقليدي (ثنائي)؛ (ب) قناع مرحلة تحول بالتناوب؛ (ج)) قناع تخفيف مرحلة تحول٠ الشكل () جزءا حقيقيا من موجه طائرة مرسلة إلى أسفل (على يسار الشكل)٠ (على يمين الشكل) تأثير إدخال في مسار موجة القناع الشفاف مع منطقة مرحلة تحول ١٨٠°.



الشكل (٢ – ٢٠) مثال لتصحيح القرب البصري.



الشكل (٢ – ٢١) التجميع الذاتي المباشر بالتنضيد الكميائى: نمط السطح المحدد مسبقاً؛ ترسيب كتلة بوليمر مركب؛ إزالة مكون واحد من البوليمر المركب.



الشكل (٢ – ٢٢) آلية تشكيل الصورة في الطباعة الحجرية فوق البنفسجية المتطرفة أعلى: الطباعة الحجرية فوق البنفسجية المتطرفة متعددة الطبقات والممتص (أرجواني) التي تشكل نمط القناع للتصوير خط٠ أسفل: ينعكس شعاع الطباعة الحجرية فوق البنفسجية المتطرفة (أحمر) من نمط القناع الممتص في طبقة المقاومة (أصفر) والركيزة (البنى) تنتج إلكترونيات ضوئية والإلكترونات الثانوية (أزرق). هذه الإلكترونات تزيد مدى التفاعلات الكيميائية في المقاوم، تنقش الإلكترونات الثانوية التي تتم بشكل عشوائي في الطبيعة يتم فرضه على الصورة الضوئية، تعرض الإلكترونات الثانوية الغير مرغوب فيها بفقد التباين وخشونة خط الحافة الذي يمكن ملاحظته.

❖ الطباعة الحجرية بشعاع الإلكترون

الطباعة الحجرية بشعاع الإلكترون أو الكتابة بالطباعة الحجرية على سطح مغطى بفيلم حساس أو مقاوم للحساسية لرسم الأشكال الخاصة بشعاع الإلكترون بمسح حزمة مركزة من الإلكترونات عن طريق تغيير معدل الذوبان المقاوم وإزالة إنتقائية المواد عن طريق الغمر في المذيبات ، وقد تم تحقيق مذيبات ١٠ نانومتر. هذا الشكل من أشكال الكتابة، والطباعة الحجرية المباشرة بدون قناع ذات دقة عالية وإنخفاض معدل الإنتاجية، مما يحد الحزم

الإلكترونية من عمود واحد فى تصنيع القناع ويقلل الإنتاج الكمي من عناصر أشباه الموصلات ، نهج حزمة شعاع الإلكترون المتعدد كهدف لزيادة معدل الإنتاجية للإنتاج الكمى لأشباه الموصلات .

❖ الطباعة الحجرية لبصمة النانو

الطباعة الحجرية لبصمة النانو[٨٢] ومشتقاتها، تعتبر تقنيات النسخ المتماثل نمط نانو واعد حيث يتم إنشاء أنماط من التشوه الميكانيكي لمقاومة البصمة ، صيغة مونومير أو البوليمر[٨٣] التي تم علاجها عن طريق الحرارة أو ضوء الأشعة فوق البنفسجية خلال طبع البصمة, هذه التقنية يمكن دمجها مع الطباعة الحجرية الضوئية[٨٤] لوصلة لحام على البارد[٨٥] .

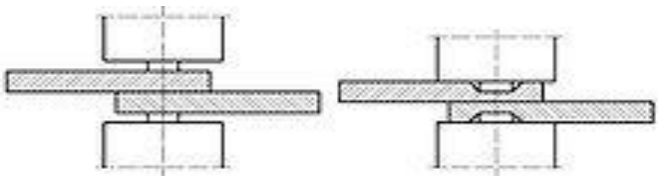
---

٨٢ الطباعة الحجرية لبصمة النانو Nanoimprint lithography is a method of fabricating nanometer scale patterns. It is a simple nanolithography process with low cost, high throughput and high resolution. It creates patterns by mechanical deformation of imprint resist and subsequent processes. The imprint resist is typically a monomer or polymer formulation that is cured by heat or UV light during the imprinting. Adhesion between the resist and the template is controlled to allow proper release.

٨٣ صيغة مونومير A monomer is a molecule that may bind chemically or supramolecularly to other molecules to form a (supramolecular) polymer. The process by which monomers combine end to end to form a polymer is called polymerization. Molecules made of a small number of monomer units (up to a few dozen) are called oligomers.

٨٤ الطباعة الحجرية الضوئية Contact lithography, also known as contact printing, is a form of photolithography whereby the image to be printed is obtained by illumination of a photomask in direct contact with a substrate coated with an imaging photoresist layer.

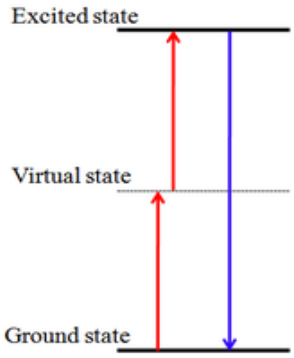
٨٥ وصلة لحام البارد Cold welding or contact welding is a solid-state welding process in Cold welding or contact welding is a solid-state welding process in which joining takes place without fusion/heating at the interface of the two parts to be welded. Unlike in the fusion-welding processes, no liquid or molten phase is present in the joint. Newly discovered micro- and nano-scale cold welding has already shown great potential in the latest nanofabrication processes.



الشكل (٢ – ٢٣) الشكل وصلة لحام على البارد

❖ **الطباعة الحجرية متعددة الفوتونات**

الطباعة الحجرية متعددة الفوتونات[٨٦] (المعروفة أيضا بإسم الطباعة الحجرية بالليزر المباشر أو الكتابة بالليزر مباشرة) على أنماط من السطوح دون إستخدام أقنعة ضوئية ، حيث يستخدم إمتصاص الفوتونين[٨٧] للحث على التغيير في ذوبان المقاومة.



الشكل (٢ = ٢٤) مخطط لطاقة إثارة بفوتونين عملية تحويل الى

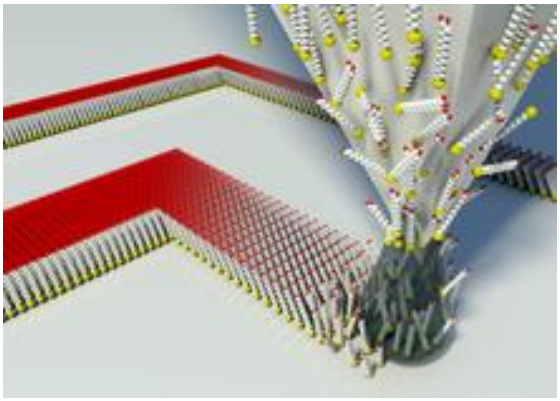
---

٨٦ الطباعة الحجرية متعددة الفوتونات **Multiphoton lithography (also direct laser lithography or direct laser writing) of polymer templates has been known for years by the photonic crystal community. Similar to standard photolithography techniques, structuring is accomplished by illuminating negative-tone or positive-tone photoresists via light of a well-defined wavelength. The fundamental difference is, however, the avoidance of reticles. Instead, two-photon absorption is utilized to induce a dramatic change in the solubility of the resist for appropriate developers.**

٨٧ إمتصاص الفوتونين **Two-photon absorption (TPA) is the simultaneous absorption of two photons of identical or different frequencies in order to excite a molecule from one state (usually the ground state) to a higher energy electronic state. The energy difference between the involved lower and upper states of the molecule is equal to the sum of the energies of the two photons. Two-photon absorption is a third-order process several orders of magnitude weaker than linear absorption at low light intensities.**

❖ **الطباعة الحجرية بمسبار المسح الضوئي**

الطباعة الحجرية بمسبار المسح الضوئي [٨٨] هي أداة للتنميط بمقياس النانو وصولا الى الذرات الفردية بإستخدام مسبار المسح الضوئي. الطباعة الحجرية النانوية بضغط القلم[٨٩] المضافة، طريقة الإنتشارية ، الطباعة الحجرية النانوية الكيماوية الحرارية تجنب التفاعلات الكيميائية، تنشأ السطوح ثلاثية الأبعاد من البوليمرات ، والطباعة الحجرية النانوية محلية الأكسدة تعمل على تفاعل الأكسدة المحلية لأغراض الزخرفة.



الشكل (٢ – ٢٥) تقنية ضغط القلم: ينتشر الحبر الجزيئي من طرف نانو إلى السطح من خلال أنبوب

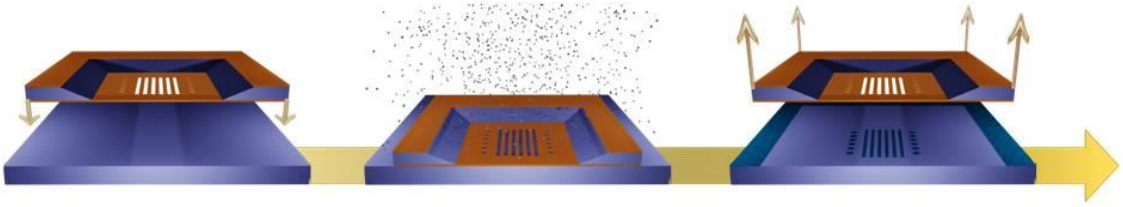
---

٨٨ الطباعة الحجرية بمسبار المسح الضوئي **Scanning probe lithography (SPL) describes a set of nanolithographic methods to pattern material on the nanoscale using scanning probes. It is a direct-write, mask-less approach which bypasses the diffraction limit and can reach resolutions below 10 nm. It is considered an alternative lithographic technology often used in academic and research environments. The term scanning probe lithography was coined after the first patterning experiments with scanning probe microscopes (SPM) in the late 1980s**

٨٩ طباعة حجرية نانوية بضغط القلم **Dip pen nanolithography (DPN) is a scanning probe lithography technique where an atomic force microscope (AFM) tip is used to create patterns directly on a range of substances with a variety of inks. A common example of this technique is exemplified using alkane thiolates to imprint onto a gold surface. This technique allows surface patterning on scales of under 100 nanometers.**

❖ **تقنيات أخرى**

التكوين الذاتي الجزيئي (النهج من أسفل إلى أعلى) للخطوط الكثيفة ذات عرض أقل من ٢٠ نانومتر في الخنادق الكبيرة السابق نقشها والمتجلية، درجة السيطرة من بعد والتوجيه لا تزال بحاجة إلى التركيز على هذه التقنية. يعتبر أسلوب الزخرفة أكثر فاعليه إلا أن خشونة خط الحافة من عيوب هذه التقنية. التكوين الذاتي لأنماط التموج وتشكيل نقاط الصفائف بإستخدام شعاع الأيونات المتناثر ذو الطاقة المنخفضة هو شكل آخر من الأشكال الناشئة للطباعة الحجرية من أسفل إلى أعلى. يتم ترسيب صفائف إنحياز كم البلازما [٩٠] والأسلاك المغناطيسية والجسيمات النانوية على هذه القوالب عن طريق تقنية التبخير المنحرف ويتم إنتاج القوالب بسهولة على مساحات واسعة وصولا الى ٢٥ نانومتر.



الشكل (٢ – ٢٦) الطباعة الحجرية الإستنسل

- **الطباعة الحجرية الإستنسل[٩١] هو أسلوب مقاومة أقل وموازي لتصنيع أنماط بمقياس النانومتر بإستخدام فتحات بحجم نانومتر كقناع الظل [٩٢]**

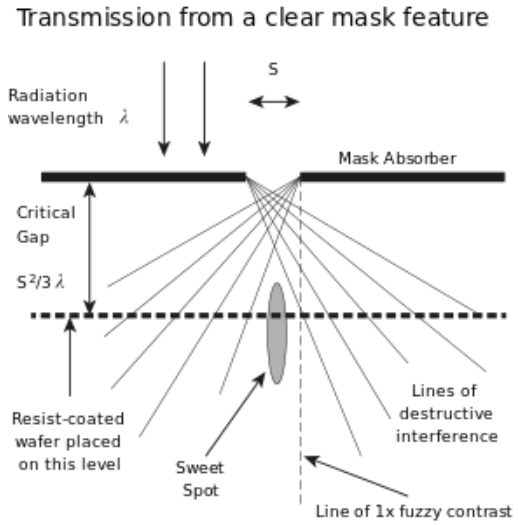
---

٩٠ كم تذبذب البلازما **a plasmon is a quantum of plasma oscillation. As light consists of photons, the plasma oscillation consists of plasmons. The plasmon can be considered as a quasiparticle since it arises from the quantization of plasma oscillations, just like phonons are quantizations of mechanical vibrations. Thus, plasmons are collective (a discrete number) oscillations of the free electron gas density. For example, at optical frequencies, plasmons can couple with a photon to create another quasi particle called a plasmon polariton.**

٩١ الطباعة الحجرية الإستنسل **Stencil lithography is a novel method of fabricating nanometer scale patterns using nanostencils, stencils (shadow mask). It is a resist-less, simple, parallel nanolithography process, and it does not involve any heat or chemical treatment of the substrates (unlike resist-based techniques).**

٩٢ قناع الظل **Stencils are also used in micro/nanotechnology, as miniature shadow masks**

- **الطباعة الحجرية بالأشعة السينية [٩٣]، يمكن تمديدها لتباين من ١٥ نانومتر بإستخدام الطول الموجى للأشعة السينية من ١ نانومتر كما فى الإضاءة من خلال نهج الطباعة المباشرة وتطويرها لتعتمد على قرب حقل الأشعة السينية من حيود فريسنل [٩٤] . ميزة القناع واضحة حسب قربها من الرقاقة المجاورة إلى "الحالة الحرجة". تحدد هذه الحالة الفجوة بين القناع والرقاقة وتعتمد على كل من وضوح حجم خواص القناع وعلى الطول الموجي، الطريقة بسيطة لأنها لا تتطلب أي عدسات.**



الشكل (٢ – ٢٧) الطباعة الحجرية بالأشعة السينية

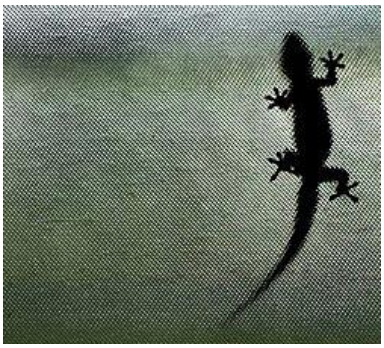
---

through which material can be deposited, etched or ions implanted onto a substrate. These stencils are usually made from thin (100–500 nm) low–stress SiN in which apertures are defined by various lithographic techniques (e. g. electron beam, photolithography).

٩٣ الطباعة الحجرية بالأشعة السينية X–ray lithography, is process used in electronic industry to selectively remove parts of a thin film. It uses X–rays to transfer a geometric pattern from a mask to a light–sensitive chemical photoresist, or simply "resist," on the substrate. A series of chemical treatments then engraves produced pattern into material underneath the photoresist.

٩٤ حيود فريسنل the Fresnel diffraction equation for near–field diffraction, is an approximation of Kirchhoff–Fresnel diffraction that can be applied to the propagation of waves in the near field It is used to calculate the diffraction pattern created by waves passing through an aperture or around an object, when viewed from relatively close to the object. In contrast the diffraction pattern in the far field region is given by the Fraunhofer diffraction equation.

- **طباعة ليزر الجزيئات النانوية المفردة[٩٥]: تستخدم هذه الطريقة القوة البصرية التي يسببها التناثر وإمتصاص الفوتونات على الجسيمات النانوية لتوجيه الجسيمات النانوية إلى مواقع محددة على الركائز وإرفاقها من خلال قوى فان- دير فال[٩٦]. وقد تجلى هذا الأسلوب فى الجزيئات الفلزية النانوية ، وهي أسهل للطباعة بسبب إنحياز كم تذبذب البلازما [٣٦] الكبير التي يسببها مقطع التناثر والإمتصاص، في كل من أساليب الطباعة على التوالى وبالتوازي.**



الشكل (٢ - ٢٨) يمكن للأبراص أن تتمسك بالجدران والسقوف بسبب قوي فان دير فال

- **تعتمد الطباعة الحجرية المغناطيسية [٩٧] على أساس تطبيق المجال المغناطيسي على الركيزة بإستخدام أقنعة ممغنطة معدنية تعرف بإسم "قناع مغناطيسي", وهو يناظر القناع**

---

٩٥ طباعة ليزر الجزيئات النانوية المفردة The laser printing of single nanoparticles is a method of applying optical forces that direct single nanoparticles to targeted substrate regions. Van der Waals interactions cause attachment of the single nanoparticles to the substrate areas. This has been accomplished with gold and silicon nanoparticles.

٩٦ قوى فان- دير فال In physical chemistry, the van der Waals' forces , are the residual attractive or repulsive forces between molecules or atomic groups that do not arise from a covalent bond, or electrostatic interaction of ions or of ionic groups with one another or with neutral molecules. The resulting van der Waals forces can be attractive or repulsive.

٩٧ الطباعة الحجرية المغناطيسية Magnetolithography (ML) is a method for pattern surfaces. ML based on applying a magnetic field on the substrate using paramagnetic metal masks named "magnetic mask". Magnetic masks are analogous to a photomask in photolithography, in that they define the spatial distribution and shape of the applied magnetic field. The second component of the process is ferromagnetic nanoparticles (analogous to the photoresist in photolithography) that are assembled onto the substrate according to the field induced by the magnetic mask.

الضوئى الذي يحدد التوزيع المكاني وشكل تطبيق الحقل المغناطيسي. والعنصر الثاني هو الجزيئات النانوية المغناطيسية (المناظرة إلى الواقي الضوئى) التي تم تجميعها على الركيزة وفقا للمجال الناجم عن القناع المغناطيسي.

- تستخدم الطباعة الحجرية لمجال النانو التجميع الذاتى [٩٨] للمجالات (عادة مصنوعة من البوليستيرين) مثل أقنعة التبخر وقد أستخدم هذا الأسلوب لتصنيع صفائف نقاط نانو من الذهب مع دقة المباعدة التي تسيطر عليها.
- تستخدم الكتابة بشعاع البروتون [٩٩] المركز عالي الطاقة (ميجا إلكترون فولت) لتنميط مقاومة المواد بالأبعاد النانوية.
- الطباعة الحجرية بالجسيمات المشحونة، مثل الطباعة الحجرية بإسقاط الأيون أو الإلكترون، هي أيضا قادرة على الزخرفة بدقة عالية. تستخدم الطباعة الحجرية بشعاع الأيون [١٠٠] بتركيز الشعاع أو حزمة من الأيونات الخفيفة الحيوية لنقل النمط الى السطح بإستخدام الطباعة الحجرية بتقريب شعاع الأيون يمكن نقل خواص الأبعاد نانوية النطاق على أسطح غير مستوية.
- تستخدم الطباعة الحجرية بالجسيمات المحايدة شعاع واسع من الجسيمات المحايدة الحيوية لنقل النمط على السطح.

---

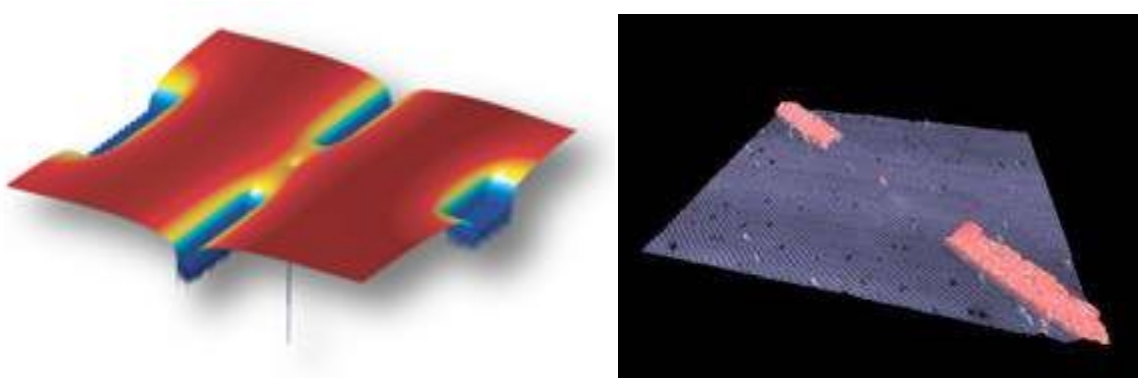
٩٨ النانو التجميع الذاتي Self-assembled monolayers (SAM) of organic molecules are molecular assemblies formed spontaneously on surfaces by adsorption and are organized into large ordered domains.

٩٩ الكتابة بشعاع البروتون Proton beam writing (p-beam writing) is direct-lithography process write

١٠٠ الطباعة الحجرية بشعاع الأيون Ion beam lithography is the practice of scanning a focused beam of ions in a patterned fashion across a surface in order to create very small structures such as integrated circuits or other nanostructures

٢ – ٤ الترانزستورات مفردة الذرة

يعتبر الترانزستور مفرد الذرة [١٠١] أحد العناصر التى تتمكن من فتح وإغلاق الدائرة الكهربائية عن طريق التحكم من خلال عكس موضع الذرة الواحدة المفردة. تم إختراع وظهور الترانزستور مفرد الذرة فى عام ٢٠٠٤ عن طريق توصيل جهد كهربائى صغير الى قطب تحكم يسمى قطب البوابة، يتم تحريك ذرة واحدة عكسية فى الدخول والخروج من وصلة صغيرة، بهذه الطريقة يتم غلق وفتح الوصلة الكهربائية.



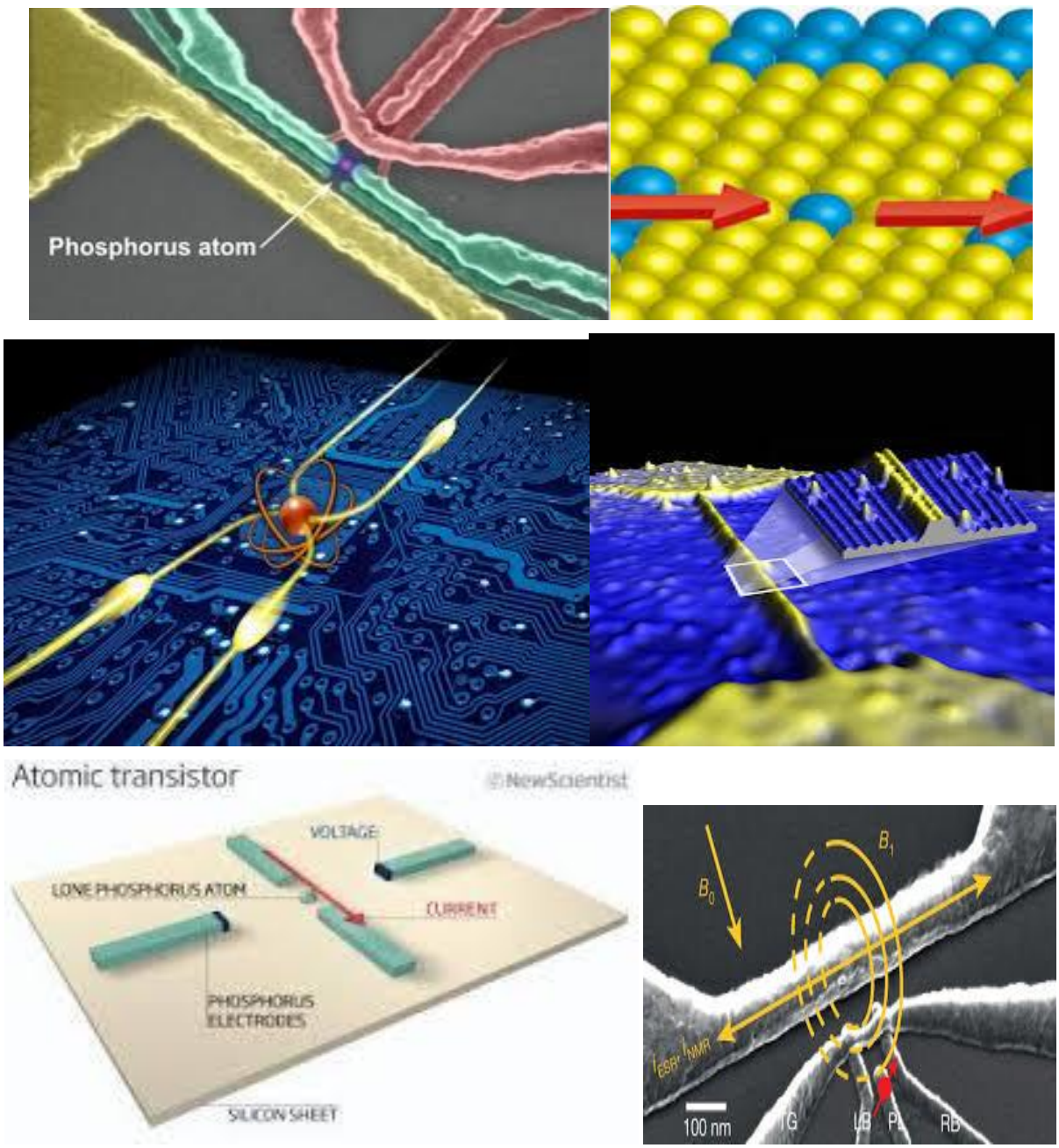
الشكل (٢ – ٢٩) ترانزستور من ذرة واحدة من الفوسفور يمكن السيطرة عليه هندسيا٠ الذرة الواضحة في وسط الصورة من طراز كمبيوتر، مستقرة في قناة بلورة سيليكون٠ الترانزستور ذو الحجم الذري والأسلاك قد تسمح للباحثين التحكم عن طريق بوابة للمعلومات في المستقبل فى أجهزة الكم٠ – صورة لترانزستور مفرد الذرة ثلاثية الأبعاد لسطح سليكون مهدرج ٠ سيتضمن الفسفور في المناطق الحمراء المظللة مع تحقيق الاستقرار والانتساب إلى نموذج الكهربائي ٠

ولذلك، فإن الترانزستور أحادي الذرة يعمل كمحول ذري أو مفتاح ذري، حيث تقوم الذرة بفتح وإغلاق الفجوة بين قطبين صغيرين يسميان المصدر والمستنزف , يفتح الترانزستور أحادي الذرة وجهات النظر لتطوير إلكترونيات المنطق وإلكترونيات الكم فى المستقبل وفي الوقت

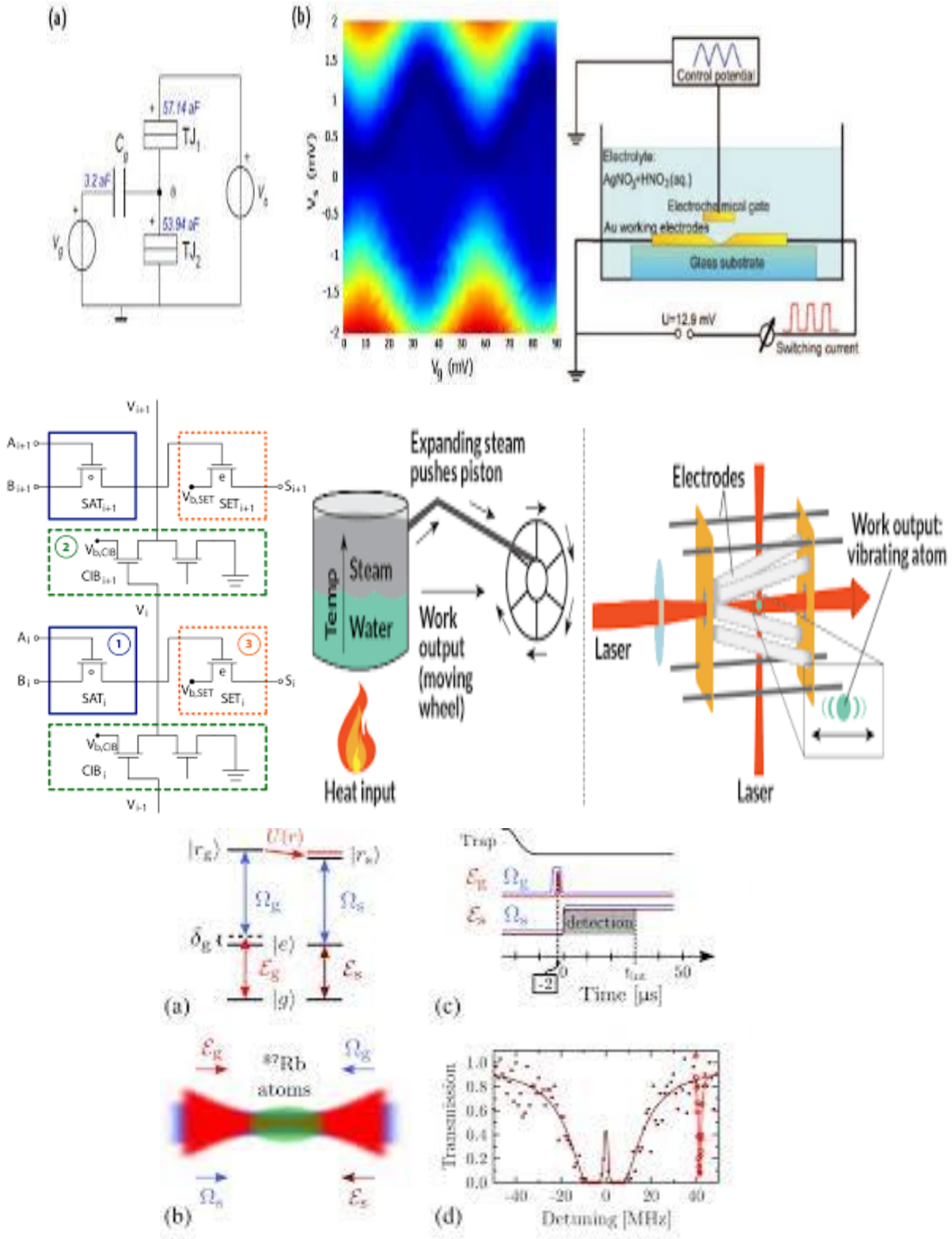
---

١٠١ الترانزستور مفرد الذرة A functional transistor recently discovered has an active region composed of a single atom. this transistor would be difficult to incorporate into your DIY project, its discovery means that a new generation of atom-scale processors could be close at hand, leading eventually to nano-scale computers and devices.

نفسه، فإن الترانزستور مفرد الذرة يمثل الحد الأدنى من التصغير، لا يمكن أن تنتج طباعة حجرية لأحجام أصغر من الذرة الواحدة ويمثل هذا العنصر ما يعرف بترانزستور الكم، وموصلية قناة المصدر والمستنزف يتم تعريفها وفقا لقواعد ميكانيكا الكم ويمكن أن تعمل في درجة حرارة الغرفة ، وبالتالى لا تتطلب تقنيات تبريد أو تقنيات تفريغ تبريد.

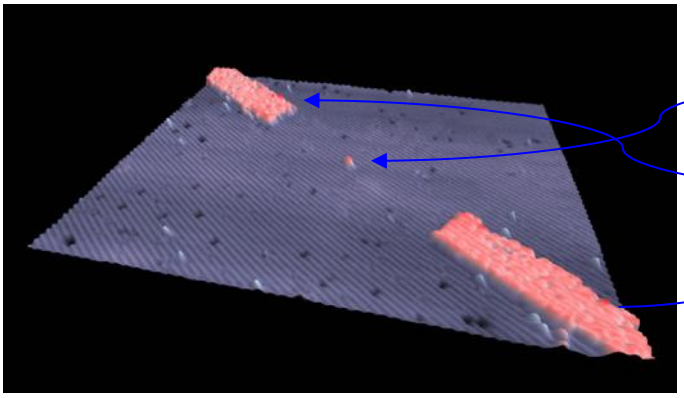


الشكل (٢ – ٣٠) مجموعة صور منتقاة من مصادر مختلفة لتوضيح تكوين الترانزستورات مفردة الذرة



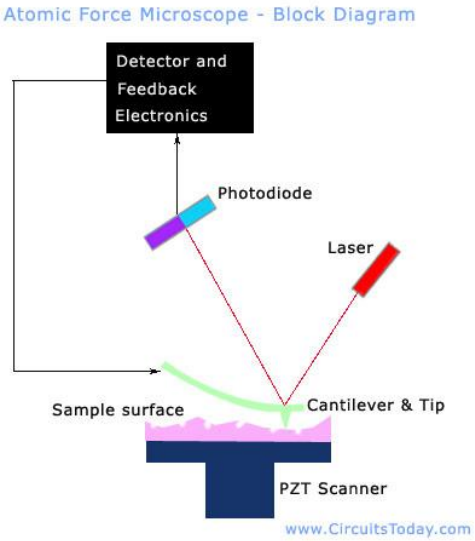
الشكل (٢ – ٣١) صور منتقاة من مصادر مختلفة لتوضيح تكوين دوائر الترانزستورات مفردة الذرة

مفهوم الترانزستور مفرد الذرة



الشكل (٢ – ٣٢) الترانزستور مفرد الذرة الأصغر فى العالم

تطور ترانزستور مفرد الذرة من ذرة الفوسفور بإستخدام ميكرسكوب المسح النفقى [١٠٢] – يوضح الشكل (٢ – ٣٢) منظور ثلاثي الأبعاد للترانزستور.

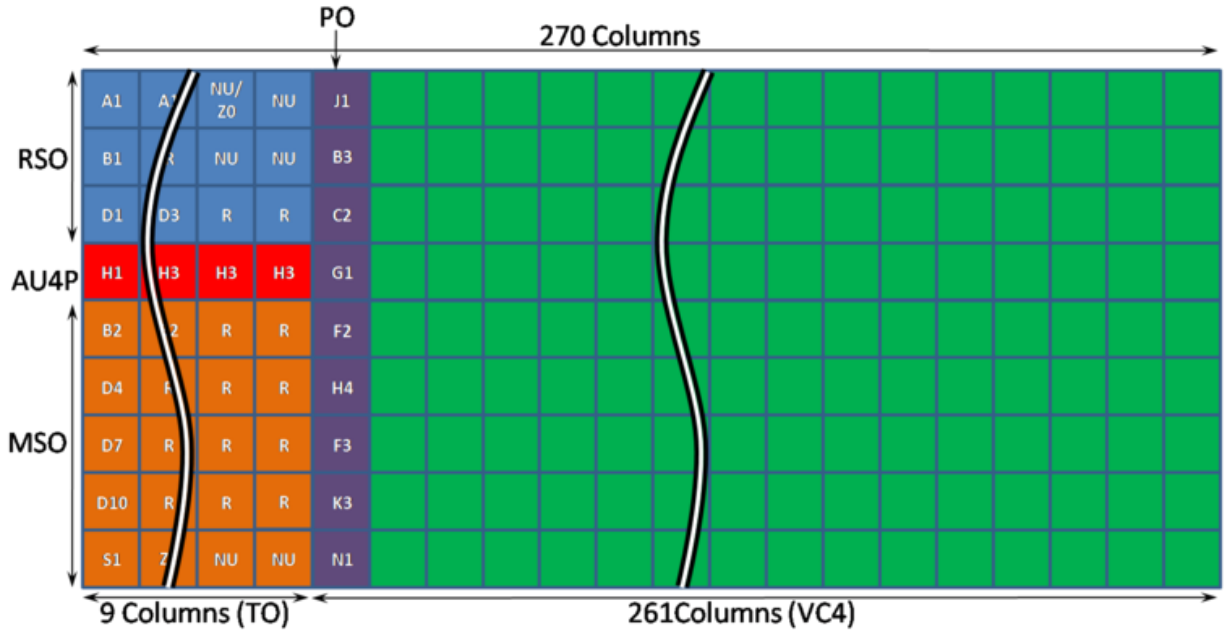


الشكل (٢ – ٣٣) رسم تخطيطي مجهر القوة الذرية

---

١٠٢ ميكرسكوب المسح النفقى Atomic force microscopy (AFM) is also known as Scanning force microscopy (SFM). This device is used to visualizing, imaging, taking measures and for manipulating objects that are in nanometre scale. The resolution of such a device is said to be in the order of fractions of a nanometre. The earlier version of the AFM was called the Scanning Tunneling Microscope, developed in the early 1980's. The AFM was developed in the year 1986 .

حتى الآن ترانزستور مفرد الذرة معروف بأنه أصغر ترانزستور تم تكوينه من أي وقت مضى وقد يبني في المستقبل وهكذا، سيكون هذا الترانزستور حجر الأساس لأجهزة كمبيوتر الكم. تم التلاعب بالترانزستور مفرد الذرة من الفوسفور بإستخدام إطار تنسيق الإرسال الأساسي [١٠٣]. من الصعب بإستخدام إطار تنسيق الإرسال الأساسي التصميم والتحكم فى الدوائر بالأبعاد النانوية ولكن تم إستخدام عدد من تركيبات إطر تنسيق الإرسال جنبا الى جنب مع مهارات النقش الفريدة لصنع ترانزستور فى موقع دقيق محدد على سطح السيلكون بالرغم من أنه سبق تطوير العديد من الترانزستورات مفردة الذرة ٠ هذه المرة الأولى لتطبيق جهد صغير بطريقة يمكن السيطرة عليها– كما هو موضح فى الشكل (٢ – ٣٢) وضعت الذرة المفردة فى الوسط والمناطق المظللة باللون الأحمر تمثل الأطراف الكهربائية. تم تبديل ذرة السيلكون الخارجة من مجموعة الست ذرات بذرة واحدة من الفوسفور.



الشكل (٢ – ٣٤) إطار تنسيق الإرسال الأساسي

---

١٠٣ إطار تنسيق الإرسال الأساسي STM-1 frame is the basic transmission format for SDH (Synchronous Digital Hierarchy). A STM-1 frame has a byte-oriented structure with 9 rows and 270 columns of bytes, for a total of 2,430 bytes (9 rows * 270 columns = 2430 bytes). Each byte corresponds to a 64kbit/s channel

وضعت ذرة الفوسفور بين طرفى المصدر والمستنزف والمسافة بينهما أقل من ٢٠ نانومتر وأبعاد أقطاب البوابة ما يقرب من ١٠٠ نانومتر. تم دراسة التغيرات فى حالة الإلكترون بعد تطبيق جهد صغير بين مجموعة الأقطاب الكهربائية. يوضح الخرج المنتج خواص ترانزستور المجال حيث أن التيار الناتج يعتمد على الجهد المطبق وقد ثبت إمكانية التحكم فى الترانزستور بأسلاك نانوية ويمكن أن تكون الترانزستورات معبأة قريبة من بعضها البعض لبناء المعالجات القوية. ولكن السلبية الوحيدة تظهر أن خواص الترانزستور كانت ناجحة فقط فى درجات الحرارة الباردة جدا القريبة من درجة حرارة الهليوم السائل (- ٣٩ درجة حرارة مطلقة) ومازال البحث جارى لحل هذه المعضلة.

٢ – ٥ المستشعرات النانوية

المستشعر النانوي هو المستشعر البيولوجى ، الكيميائي ، أو الجراحي لنقاط الحس المستخدمة لنقل المعلومات حول الجزيئات النانوية إلى الماكروبصرية[١٠٤]. يشتمل إستخدامها أساسا الأغراض الطبية المختلفة كبوابات لبناء منتجات نانوية أخرى، مثل رقائق الكمبيوتر التي تعمل على مقياس النانو وروبوتات النانو[١٠٥]. هناك عدة طرق مقترحة لتصتيع مستشعر نانوي وتشمل تكنولوجيا الطباعة الحجرية من أعلى إلى أسفل، والتجمع من أسفل إلى أعلى ، والتجميع الذاتي الجزيئي[١٠٦] .

---

١٠٤ الجزيئات الماكروبصرية macroscopic scale is the length on which objects or phenomena are large to be visible practically with the naked eye, without magnifying devices.

١٠٥ روبوتات النانو Nanorobotics is the emerging technology field creating machines or robots whose components are at or close to the scale of a nanometre (10^{-9}meters). More specifically, nanorobotics refers to the nanotechnologyengineering discipline of designing and building nanorobots, with devices ranging in size from $0.1–10$ micrometres and constructed of nanoscale ormolecular components

١٠٦ التجميع الذاتي الجزيئي Molecular self–assembly is the process by which molecules adopt a defined arrangement without guidance or management from an outside source. There are two types of self–assembly. These are intramolecular self–assembly and intermolecularself–assembly. Commonly, the term molecular self–assembly refers to intermolecular self–assembly, while the intramolecular analog is more commonly called folding.

تدور الإستخدامات الطبية للمستشعر النانوي حول إمكانية مستشعر نانوي التحديد بدقة الخلايا أو أماكن معينة في الجسم التى في حاجة إليها عن طريق قياس التغيرات في الحجم ، التركيز ، التشريد والسرعة ، الجاذبية ، والقوى الكهربائية ، والمغناطيسية ، الضغط ، أو درجة حرارة الخلايا في الجسم، قد يكون المستشعر النانوي قادرا على التمييز والتعرف على خلايا معينة، وأبرزها تلك الخلايا السرطانية[١٠٧] ، عند المستوى الجزيئي من أجل إيصال الدواء أو مراقبة تطور الخلايا السرطانية إلى أماكن محددة في الجسم على سبيل المثال، يمكن تصميم مستشعر نانوي حساس للضوء لتحديد النشاط البروتيني[١٠٨] المحلي في الجسم للكشف عن الإستجابة المناعية[١٠٩] أو السرطانية . وبالإضافة إلى ذلك ، فإنها قد تكون قادرة على الكشف عن الاختلافات الماكروبصرية من خارج الجسم وتواصل هذه التغييرات إلى المنتجات النانوية الأخرى التى تعمل داخل الجسم. تنطوى أحد أمثلة إستخدمات المستشعر النانوي على خصائص ومضات نقاط الكم[١١٠] من الكادميوم سيلينيد كعناصر إستشعار للكشف عن الأورام داخل الجسم عن طريق حقن الجسم بهذه النقاط الكمومية، يمكن للطبيب رؤية أين تكون خلية الورم أو السرطان من خلال إيجاد نقاط الكم السابق حقنها، وهى عملية

---

١٠٧ الخلايا السرطانية Cancer is a group of diseases involving abnormal cell growth with the potential to invade or spread to other parts of the body. Not all tumors are cancerous; benign tumors do not spread to other parts of the body.

١٠٨ النشاط البروتيني A protease is any enzyme that performsproteolysis, that is, begins protein catabolism by hydrolysis of the peptide bondsthat link amino acids together in a polypeptide chain. Proteases have evolved multiple times, and different classes of protease can perform the same reaction by completely different catalytic mechanisms. Proteases can be found inanimals, plants, fungi, bacteria, archaea and viruses.

١٠٩ الإستجابة المناعية The immune system is a host defense system comprising many biological structures and processes within an organism that protects against disease.

١١٠ نقاط الكم Quantum dots (QD) are very small semiconductor particles, only several nanometresin size, so small that their optical and electronic properties differ from those of larger particles.

سهلة بسبب ومضات نقاط الكم. ٠ سيتم بناء مستشعرات نقاط الكم المتقدمة النانوية خصيصا للتعرف على خلية معينة والتي تمثل خطر فى الجسم والجانب السلبي إلى نقاط كم الكادميوم سيلينيد، أنها شديدة السمية في الجسم ونتيجة لذلك، يعكف الباحثون على تطوير نقاط بديلة مصنوعة من مواد مختلفة، أقل سمية مع الإبقاء على خصائص الومضات . على وجه الخصوص، فقد تم تحقيق فوائد خاصة من نقاط كم كبريتيد الزنك وهى ليست تماما بشدة الومضات كنقاط كم الكادميوم سيلينيد ، ويمكن زيادتها مع معادن أخرى بما في ذلك المانجنيز وعناصر اللانثينيدات المختلفة وبالإضافة إلى ذلك، فإن النقاط الكمومية الجديدة تصبح أكثر ومضان عندما ترتبط بالخلايا المستهدفة ويمكن أن تشمل الوظائف المتوقعة المحتملة أيضا مستشعرات تستخدم بالتحديد للكشف عن **الحمض النووي**[١١١] للتعرف على العيوب الوراثية الواضحة، خاصة بالنسبة للأفراد المعرضين لخطر عالى وأجهزة الإستشعار المزروعة يمكنها الكشف عن مستويات الجلوكوز تلقائيا لمرضى السكر بأكثر بساطة من أجهزة الكشف الحالية. يمكن أيضا أن يخدم الحمض النووي لتكوين طبقة فى تصنيع الدوائر المتكاملة تكنولوجيا (م أ ش) المتأثرة بالمجال من خلال تكامل المستشعرات مع قدرات الاستشعار عن بعد لذلك، بإستخدام أنماط البروتين والمواد المختلطة الجديدة، يمكن أن تستخدم مستشعرات حيوية نانوية أيضا لتكوين عناصر فى ركيزة أشباه الموصلات هجينة كجزء من دائرة. ينبغي أن يوفر تطوير وتصغير المستشعرات النانوية فرصا جديدة مثيرة للإهتمام. **تشتمل المنتجات المتوقعة الأخرى الأكثر شيوعا باستخدام مستشعرات نانوية لبناء أصغر الدوائر المتكاملة ، وكذلك دمجها مع غيرها من المواد المختلفة التي تستخدم لتكوين أشكال أخرى من تكنولوجيا النانو لاستخدامها في مجموعة متنوعة من الحالات بما في ذلك النقل ، الإتصالات**[١١٢] ،

---

١١١ الحمض النووي **Deoxyribonucleic acid (DNA) is a molecule that carries the genetic instructions used in the growth, development, functioning and reproduction of all known living organisms and many viruses.**

١١٢ الإتصالات **Communication is the act of conveying intended meanings from one entity or group to another through the use of mutually understood signs and semiotic rules.**

وتحسين السلامة الهيكلية، والروبوتات . ويمكن أيضا أن تكون المستشعرات النانوية في نهاية المطاف ذو قيمة كمراقبين أكثر دقة للمواد المستخدمة في النظم حيث يتم التقييد بالحجم والوزن، كما هو الحال في الأقمار الصناعية وغيرها من أنظمة الملاحة الجوية .

❖ المستشعرات النانوية القائمة

حاليا، تتواجد مستشعرات النانو الأكثر شيوعا ذات الإنتاج الكبير في العالم البيولوجي كمستقبلات طبيعية للتحفيز الخارجي, على سبيل المثال، حاسة الشم[١١٣] ، وخاصة في الحيوانات التي تتمتع بحاسة شم قوية بشكل خاص، مثل الكلاب، الوظائف باستخدام المستقبلات هى جزيئات بحجم النانو . بعض النباتات، أيضا، تستخدم كمستشعرات نانوي للكشف عن أشعة الشمس، تستخدم أسماك مختلفة مستشعرات نانوي للكشف عن الإهتزازات الضئيلة في المياه المحيطة بها والعديد من الحشرات تستخدم مستشعرات نانوي. أحد الأمثلة الأولية لمستشعرات إصطناعية تم تصنيعها من قبل باحثين في معهد جورجيا للتكنولوجيا في

The basic steps of communication are: The forming of communicative intent., Message composition. Message encoding and decoding. , Transmission of the encoded message as a sequence of signals using a specific channel or medium., Reception of signals. Reconstruction of the original message. Interpretation and making sense of the reconstructed message. The study of communication can be divided into:Information theory which studies the quantification, storage, and communication of information in general; Communication studies which concerns human communication; Biosemiotics which examines the communication of organisms in general. The channel of communication can be visual, auditory, tactile (such as in Braille) and haptic, olfactory, Kinesics, electromagnetic, or biochemical. Human communication is unique for its extensive use of abstract language.

١١٣ حاسة الشم Olfaction, also known as olfactics, is the sense of smell. This sense is mediated by specialized sensory cells of the nasal cavity of vertebrates, which can be considered analogous to sensory cells of the antennae of invertebrates. In humans, olfaction occurs when odorant molecules bind to specific sites on the olfactory receptors.

عام ١٩٩٩ وتشمل إرفاق جسيم واحد فى نهاية أنبوب نانو كربوني[١١٤] وقياس تردد الذبذبات من الأنابيب النانوية مع وبدون الجسيمات, التناقض بين الترددين سمح للباحثين قياس كتلة الجسيمات المرفقة. تم تصنيع أجهزة إستشعار كيميائية، أيضا، باستخدام الأنابيب النانوية للكشف عن خصائص مختلفة من الجزيئات الغازية وقد استخدمت أنابيب الكربون النانوية لاستشعار تأين الجزيئات الغازية في حين أن الأنابيب النانوية مصنوعة من التيتانيوم قد استخدمت للكشف عن تركيز الهيدروجين في الغلاف الجوي على المستوى الجزيئي وكثير من هذه تنطوي على النظم التى يتم بناؤها كمستشعرات نانوي كجيب محدد لجزيء آخر. عندما يناسب جزيء معين ومحدد داخل مستشعر نانوي من خلال ومضات ضوئية ، والتى تعكس موجات مختلفة من الضوء، وبالتالي، بألوان مختلفة وعلى نحو مماثل، أظهرت الفيضانات جزيئات كيميائية[١١٥] توضح الإستشعار الكمي باستخدام ضوء رامان المتناثر[١١٦] وكذلك أسطح رامان المتناثرة المعززة[١١٧] . يمكن أن تستخدم العناصر

---

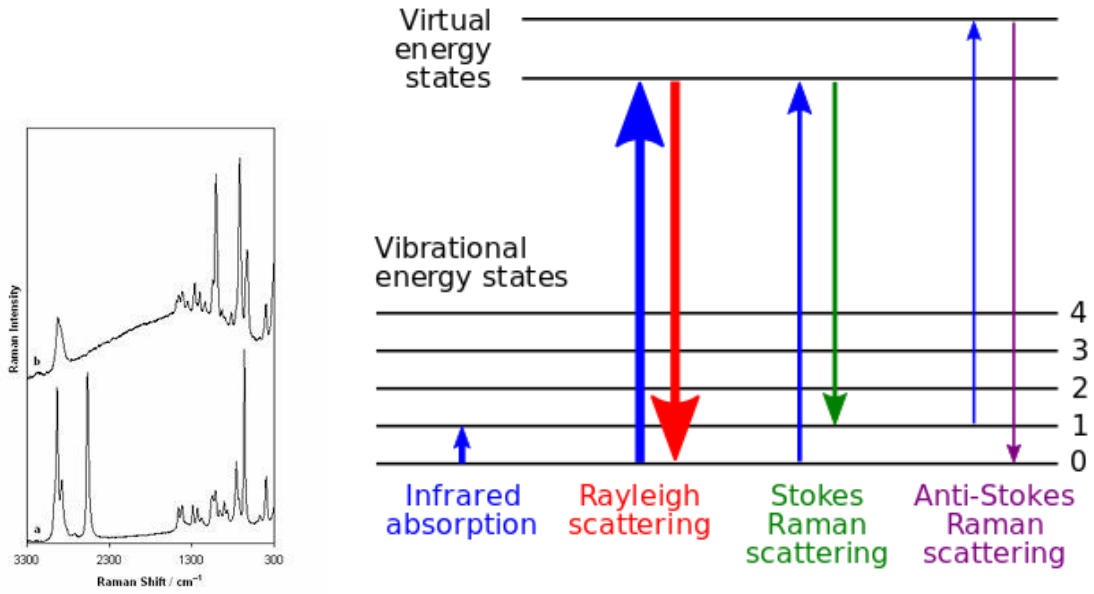
١١٤ أنبوب النانو كربوني Carbon nanotubes (CNTs) are allotropes of carbon with a cylindrical nanostructure. cylindrical carbon molecules have unusual properties, valuable for nanotechnology, electronics, optics and other fields of science and technology.

١١٥ جزيئات كيميائية Supramolecular chemistry is the domain of chemistry beyond that of molecules and focuses on the chemical systems made up of a discrete number of assembled molecular subunits or components. The forces responsible for the spatial organization may vary from weak (intermolecular forces, electrostatic or hydrogen bonding) to strong (covalent bonding), provided that the degree of electronic coupling between the molecular component remains small with respect to relevant energy parameters of the component

١١٦ ضوء رامان المتناثر Raman spectroscopy (named after Sir C. V. Raman) is a spectroscopic technique used to observe vibrational, rotational, and other low-frequency modes in a system. Raman spectroscopy is commonly used in chemistry to provide a fingerprint by which molecules can be identified.

١١٧ أسطح رامان المتناثرة المعززة Surface-enhanced Raman spectroscopy or surface-enhanced Raman scattering (SERS) is a surface-sensitive technique that enhances Raman scattering by molecules adsorbed on rough metal surfaces or by nanostructures such as plasmonic-magnetic silica nanotubes. The enhancement factor can be as much as 10^{10} to 10^{11}, which means the technique may detect single molecules.

الضوئية كمستشعرات نانوي لقياس تركيزات عينات ذات الصلة سريريا ويستند مبدأ عمل هذه المجسات على التشكيل الكيميائي لفيلم هيدروجيل[١١٨] حيث يتضخم الهيدروجيل أو ينكمش تبعا للتحفيز الكيميائي، يتغير اللون وينعكس الضوء بأطوال موجية مختلفة, الضوء المنعكس يمكن ربطه مع تركيز المحاليل المستهدفة.



الشكل (٢ – ٣٥) رسم تخطيطي يوضح مستوى الطاقة في أطياف رامان

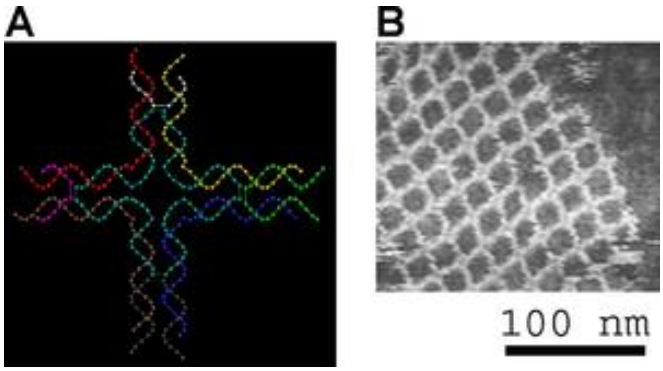
❖ أساليب الإنتاج

هناك حاليا عدة طرق مفترضة لإنتاج المستشعر النانوي، الطباعة الحجرية من أعلى إلى أسفل هي الطريقة المستخدمة الآن فى تصنيع الدوائر المتكاملة وتنطوي هذه الطريقة بالبدء بكتلة أكبر من بعض المواد ونحت النموذج المطلوب. وضعت العناصر المستقطعة لإستخدامها

---

١١٨ هيدروجيل A hydrogel is a network of polymer chains that are hydrophilic, sometimes found as acolloidal gel in which water is the dispersion medium. Hydrogels are highly absorbent (they can contain over 90% water) natural or synthetic polymeric networks. Hydrogels also possess a degree of flexibility very like natural tissue, due to their significant water content

في أنظمة كهروميكانيكية ميكروووية [١١٩] محددة منها المستشعرات االميكروية عموما لا تصل إلا لحجم الميكرو ، ولكن بدأت في دمج مكونات فى حجم النانو وهناك طريقة أخرى لإنتاج مستشعر نانوي بطريقة من أسفل إلى أعلى، والذي ينطوي على تجميع أجهزة الاستشعار حتى من مكونات ضئيلة جداً ، الجزيئات أو الذرات الفردية الأكثر احتمالاً .



الشكل (٢ – ٣٦أ) مثال يستخدم جزيء الحمض النووي كبداية لتجميع الذاتي أكبر(ب) صورة لمجهر القوة الذرية للتجميع الذاتى لشبكة الحمض النووي

وينطوي ذلك على تحريك ذرات من مادة معينة واحدة بعد الأخرى في أماكن معينة ، على الرغم من أنه قد تحقق في الاختبارات المعملية باستخدام أدوات مثل مجهر القوة الذرية[١٢٠] ،

---

١١٩ أنظمة كهروميكانيكية ميكروووية MEMS sensor generations represent the progress made in micro sensor technology and can be categorized as follows: 1st Generation, MEMS sensor element mostly based on a silicon structure, sometimes combined with analog amplification on a micro chip.. 2nd Generation, MEMS sensor element combined with analog amplification and analog-to-digital converter on one micro chip.3rd Generation , Fusion of the sensor element with analog amplification, analog-to-digital converter and digital intelligence for linearization and temperature compensation on the same micro chip. 4th Generation Memory cells for calibration- and temperature compensation data are added to the elements of the 3rd MEMS sensor generation.

١٢٠ مجهر القوة الذرية Atomic-force microscopy (AFM) or scanning-force Microscopy (SFM) is a very-high-resolution type of scanning probe microscopy (SPM), with demonstrated resolution on the order of fractions of a nanometer, more than 1000 times better than the optical diffraction limit.

لا يزال هناك صعوبة كبيرة، وخاصة الإنتاج الكمى ، سواء لأسباب لوجيستية أو إقتصادية وعلى الأرجح، فإن هذه العملية سوف تستخدم أساسا لبناء الجزيئات بداية لتجميع أجهزة الإستشعار الذاتي. الطريق الثالث، الذي يعد بأسرع النتائج حتى الآن، وتشمل التجميع الذاتي، أو "نمو" هياكل نانو معينة لاستخدامها كأجهزة إستشعار غالبا ما ينطوي على واحد من نوعين من التجمع. يتضمن أولا إستخدام قطعة من بنية نانوية سبق إنشاؤها أو شكلت طبيعي وغمرها في ذرات حرة من نوع خاص بها وبعد فترة معينة، الهيكل، وجود سطح غير منتظم من شأنه جذب المزيد من جزيئات إستمرارا للنمط الحالي، ويستمر لتشكيل أكثر من نفسها لجعل المكونات أكبر من مستشعر نانوي. أما النوع الثاني من التجميع الذاتي يبدأ بمجموعة كاملة من المكونات التي من شأنها أن تجمع نفسها تلقائيا إلى المنتج النهائي. على الرغم من هذا كان ذلك ناجحا حتى الآن فقط في تجميع رقائق الكمبيوتر في الحجم الصغير، ويأمل الباحثون أن تكون في نهاية المطاف قادرة على القيام بذلك في حجم النانومتر للعديد من المنتجات، بما في ذلك مستشعر نانوي. يجري بدقة على إعادة إنتاج هذا التأثير لاستشعار المطلوب في المختبر يعني ضمنا أن يتمكن العلماء من تصنيع مستشعر نانوي بسرعة أكبر بكثير، وربما أكثر بكثير بأسعار رخيصة عن طريق السماح العديد من الجزيئات بتجميع بعضها دون التأثير الخارجي، بدلا من الاضطرار إلى تجميع كل أجهزة الاستشعار يدويا.

❖ **الآثار الاقتصادية**

على الرغم من أن تكنولوجيا المستشعر النانوي تعتبر حقل جديد نسبيا، فإن التوقعات العالمية لمبيعات المنتجات التي تشتمل على مستشعر نانوي تتراوح بين ٦و٠ إلى ٢,٧ مليار دولار في الثلاث سنوات القادمة. من المرجح أن تندرج في معظم الدوائر الحديثة المستخدمة في أنظمة الحوسبة المتقدمة، لأن إمكاناتها توفير الربط بين أشكال أخرى من تكنولوجيا النانو والمجالات البصرية الميكروووية تسمح للمطورين الاستغلال الكامل لإمكانات تكنولوجيا النانو لتصغير رقائق الكمبيوتر والتوسع إلى حد كبير فى سعة التخزين .

أولا، ومع ذلك، فإن مطوري المستشعر النانوي عليهم التغلب على ارتفاع تكاليف الإنتاج الراهنة لكي تصبح جديرة بالاهتمام للتنفيذ في المنتجات الاستهلاكية بالإضافة إلى ذلك، موثوقية المستشعر النانوي ليست بعد مناسبة للاستخدام على نطاق واسع، بسبب ندرتها، وبعد أن يتم تسويق المستشعرات النانوية وتصنيعها خارج المعامل البحثية ونتيجة لذلك، ما زال يتعين بذل جهد لجعلها متوافقة مع معظم تقنيات المستهلك المتوقع لها.

❖ الآثار الاجتماعية

يصعب تحديد الآثار الأخلاقية والاجتماعية وتصنيفها ما بين جيدة أو سيئة مقارنة بالتأثيرات الصحية والبيئية. التقدم في اكتشاف واستشعار الأنواع البيولوجية والكيميائية المختلفة مع زيادة القدرات والدقة قد تحول الآليات المجتمعية التي كانت مصممة أصلا لها الى عدم التيقن بدقة المعلومات على سبيل المثال، القدرة على قياس كميات قليلة للغاية من ملوثات الهواء أو المواد السامة في المياه تثير تساؤلات ومعضلات لتقدم هذه التكنولوجيات التى يفوق قدرة المسنخدمين وكمثال آخر، فإن أجهزة الاستشعار الطبية التي لا تساعد فقط في التشخيص والعلاج ولكن يمكنها أيضا التنبؤ لمستقبل الفرد وهذا يضبف إلى المعلومات التي تستخدمها شركات التأمين الصحي لمنح أو رفض التغطية الصحية لبعض الأفراد وتشمل القضايا الاجتماعية الأخرى الناجمة عن الاستخدام واسع النطاق للمستشعر نانوي وأجهزة المراقبة غزو الخصوصية والقضايا الأمنية.

٢ – ٦ موصلات الأيون السريع [١٢١]

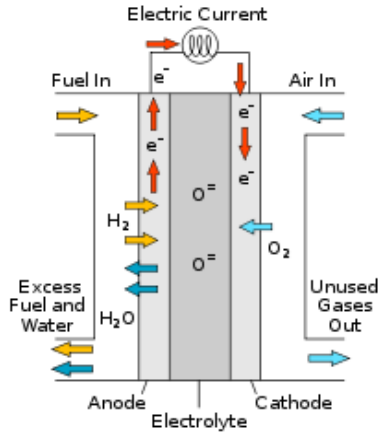
في علم المواد ، موصلات الأيون السريع مواد صلبة ذات الأيونات المتحركة السريعة, هذه المواد مهمة في مجال الحالة الصلبة الأيونية[١٢٢]، والمعروف أيضا بإسم الشوارد الصلبة أو

---

١٢١ موصل الأيون السريع Fast ion conductor

١٢٢ الحالة الصلبة الأيونية Solid-state ionics is the study of solid electrolytes and their uses. Some materials that fall into this category include inorganic crystalline and polycrystalline solids, ceramics, glasses, polymers, and composites. Solid-state ionic devices, such as solid oxide fuel cells can be much more reliable and long-lasting, especially under harsh conditions, than comparable devices with fluid electrolytes.

الأملاح الصلبة[١٢٣] والموصلات قائقة الأيونية , هذه المواد مفيدة في البطاريات وأجهزة الإستشعار المختلفة وتستخدم الموصلات الأيون السريع في المقام الأول في خلايا وقود الأكسيد الصلبة[١٢٤] كالأملاح الصلبة التي تسمح بحركة الأيونات دون الحاجة إلى وجود سائل أو غشاء لين يفصل بين الأقطاب الكهربائية وتعتمد هذه الظاهرة على تنقل الأيونات خلال تركيب بلوري[١٢٥]جامد. موصلات الأيون السريع هي الوسيطة في الطبيعة بين المواد الصلبة البلورية التي تمتلك بنية منتظمة مع الأيونات الغير متحركة، ولسوائل الأملاح الصلبة التي ليس لها هيكل منتظم وأيونات متحركة بشكل كامل.



الشكل (٢ – ٣٧) مخطط لخلية وقود الأكسيد الصلب

---

١٢٣ الشوارد الصلبة أو الأملاح الصلبة solid electrolytes

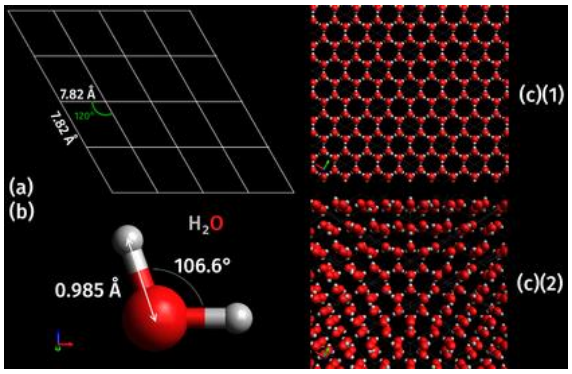
١٢٤ خلايا وقود الأكسيد الصلبة A solid oxide fuel cell (or SOFC) is an electrochemical conversion device that produces electricity directly from oxidizing a fuel. Fuel cells are characterized by their electrolyte material; the SOFC has a solid oxide or ceramic electrolyte. Advantages of this class of fuel cells include high efficiency, long-term stability, fuel flexibility, low emissions, and relatively low cost. The largest disadvantage is the high operating temperature which results in longer start-up times and mechanical and chemical compatibility issues.

١٢٥ التركيب البلوري In crystallography, crystal structure is a description of the ordered arrangement of atoms, ions ormolecules in a crystalline material.[3] Ordered structures occur from the intrinsic nature of the constituent particles to form symmetric patterns that repeat along the principal directions of three-dimensional space in matter.

تستخدم الأملاح الصلبة في كل مكثفات الحالة الصلبة الفائقة[١٢٦] ، البطاريات ، وخلايا الوقود ، وأنواع مختلفة من أجهزة الاستشعار الكيميائية . في حالة الأملاح الصلبة (الزجاجية أو البلورية)، يمكن أن تكون مقاومة التوصيل الأيوني (Ω_i) أي قيمة أكبر بكثير من الموصلية الإلكترونية عادة، تسمى المواد الصلبة ذات موصلية (Ω_i) تتراوح بين ٠،٠٠٠١ – ٠،١ أوم $^{-}$ ^{١} سم $^{-١}$ عند درجة حرارة (٣٠٠ K) بالموصلات السوبر أيونيك.

❖ موصلات البروتون

موصلات البروتون[١٢٧] هي فئة خاصة من الأملاح الصلبة، حيث تكون أيونات الهيدروجين[١٢٨] بمثابة حاملات الشحنات.



شكل (٢ – ٣٨) هيكل بلورة الجليد (ثلاثي الأبعاد)

---

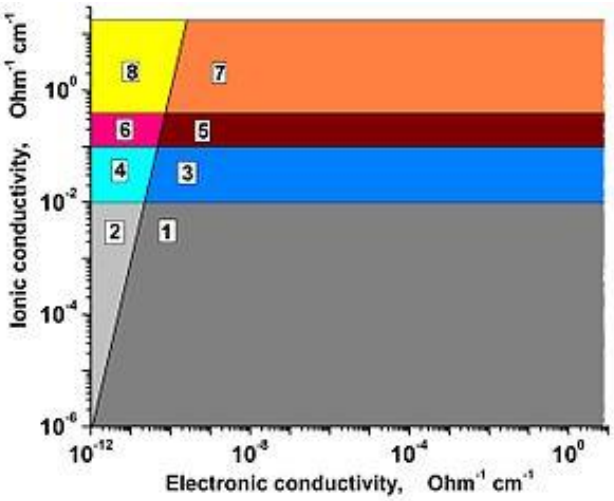
١٢٦ مكثفات الحالة الصلبة الفائقة, formerly A supercapacitor (SC) (sometimes ultracapacitor, formerly electric double-layer capacitor (EDLC)) is a high-capacity electrochemical capacitor with capacitance values much higher than other capacitors (but lower voltage limits) that bridge the gap between electrolytic capacitors and rechargeable batteries.

١٢٧ موصلات البروتون, A proton conductor is an electrolyte, typically a solid electrolyte, in which H^+ are the primary charge carriers. For practical applications, proton conductors are usually solid materials. Typical materials are polymers or ceramic. Typically, the pores in practical materials are small such that protons dominate direct current and transport of bulk solvent is prevented.Ice is a proton conductor through the Grotthuss mechanism, albeit a relatively poor one

١٢٨ أيونات الهيدروجين. A hydrogen ion is created when a hydrogen atom loses its electron. A lone hydrogen ion (or proton) can readily combine with other particles and therefore is only seen isolated when it is in a gaseous state or a nearly particle free space

❖ **الموصلات سوبيريونيك**

على عكس الأملاح الصلبة التقليدية فان الموصلات السوبيريونيك حيث تكون المقاومة الأيونية (Ω_i) أكبر من ١و٠ أوم$^{-١}$ سم$^{-١}$ (٣٠٠ K) وطاقة التنشيط لنقل أيون (E_i) صغيرة (حوالي ١و٠ إلكترون فولت)، وتسمى الموصلات السوبيريونيك المتقدمة[١٢٩]. المثال الأكثر شهرة للموصلات السوبيريونيك المتقدمة من الأملاح الصلبة هي أملاح أيدونات الفضة والربديوم[١٣٠] حيث مقاومتها الأيونية أكبر من ٢٥و٠ أوم$^{-١}$ سم$^{-١}$ ومقامتها الألكترونية حوالى ~ ١٠$^{-٩}$ أوم$^{-١}$ سم$^{-١}$ في درجة حرارة ٣٠٠ ك والحركية الأيونية والمعروفة بإسم إنجراف هال حوالى ٢ × ١٠$^{-٤}$ سم^{٢}/(فولت ثانية) في درجة حرارة الغرفة . الرسم التخطيطي لمنهجية كل من المقاومة الأيونية والمقاومة الإلكترونية [١٣١] يميز الأنواع المختلفة من الموصلات الأيونية فى الحالة الصلبة كما هو موضح بالشكل (٢ – ٣٩).



الشكل (٢ – ٣٩) تصنيف الموصلات الأيونية

---

١٢٩ الموصلات السوبيريونيك المتقدمة The term advanced superionic conductors (AdSIC) was first introduced in a paper by A.L. Despotuli, A.V. Andreeva and B. Rambaby.[1]AdSICs are fast ion conductors that have a crystal structure close to optimal for fast ion transport (FIT). The rigid ion sublattice of AdSIC has structure channels where mobile ions of opposite sign migrate

١٣٠ أملاح أيدونات الفضة والربديوم ($RbAg_4I_5$)

١٣١ المقاومة الأيونية و المقاومة الإلكترونية ويرمز لهما ($\Omega_e - \Omega_i$)

تصنيف الموصلات الأيونية الحالة الصلبة من خلال الرسم التخطيطى للموصلية الإلكترونية والموصلية [١٣٢] فى المناطق ٢ و٤ و٦ – فى الشكل السابق والمعروفة بالأملاح الصلبة، المواد ذات المقاومة الأيونية أكبر من المقاومة الإلكترونية فى المناطق ١ و ٣ و ٥ – فى الشكل السابق تسمى الموصلات الأيوننة الإلكترونية المختلطة والمواد فى المناطق ٣و٤ تسمى موصلات سوبر أيونيك، والمواد بمقاومة أيونية أكبر من ٠,٠٠١ أوم$^{-١}$ سم$^{-١}$ Ω بالقيمة التعسفية والمواد فى المنطقة ٤ هى موصلات سوبر أيونيك وفى نفس الوقت هى أملاح صلبة.

❖ المواد المستندة الى زركونيا

أحد الأملاح الصلبة الشائعة مثل اليتريا زركونيا[١٣٣] ، التى يتم إعدادها عن طريق المنشطات مثل أكسيد اليتريوم مع أكسيد الزركنيوم[١٣٤] , عادة تنتقل أيونات الأكسيد ببطء في أكسيد اليتريوم الصلب وفى أكسيد الزركنيوم وتستخدم هذه المواد للسماح للأكسيد للتحرك من خلال المادة الصلبة في أنواع معينة من خلايا الوقود. ويمكن أيضا التطعيم بمادة ثاني أكسيد الزركونيوم مع أكسيد الكالسيوم لتكوين موصل أكسيد يتم إستخدامه في أجهزة استشعار الأكسوجين[١٣٥] في التحكم فى السيارات. يرتفع ثابت إنتشار الأكسيد بمعدل ~

---

١٣٢ تصنيف الموصلات الأيونية الحالة الصلبة من خلال الرسم التخطيطى للموصلية الإلكترونية والموصلية فى المناطق ٢ و٤ و ٦ – فى الشكل (٢ – ٣٩) والمعروفة بالأملاح الصلبة، المواد ذات المقاومة الأيونية أكبر من المقاومة الإلكترونية فى المناطق ١ و ٣ و ٥ – فى الشكل السابق () تسمى الموصلات الأيوننة الإلكترونية المختلطة ٠ والمواد فى المناطق ٣ و ٤ تسمى موصلات سوبر أيونيك ٠

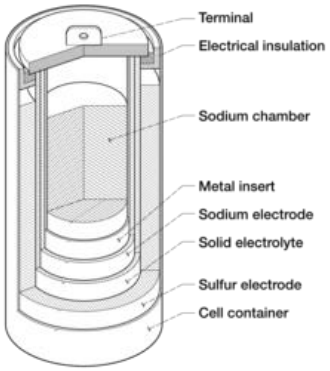
Classification of solid–state ionic conductors by the *lg* (electronic conductivity, Ω_e) – *lg* (ionic conductivity, Ω_i) diagram. 2, 4, and 6 – known solid electrolytes (SEs), materials with $\Omega_i >> \Omega_e$; 1, 3, and 5 – known mixed ion–electron conductors; 3 and 4 – superionic conductors (SICs),

١٣٣ الأملاح الصلبة الشائعة مثل اليتريا زركونيا Yttria–stabilized zirconia (YSZ) is a ceramic in which the crystal structure of zirconium dioxide is made stable at room temperature by an addition of yttrium oxide. These oxides are commonly called "zirconia" (ZrO_2) and "yttria" (Y_2O_3),.

١٣٤ إعداد هذه المواد عن طريق المنشطات مثل أكسيد اليتريوم مع أكسيد الزركنيوم prepared by doping Y_2O_3 into ZrO_2

١٣٥ أجهزة استشعار الاوكسجين oxygen sensor (or *lambda sensor*) is an electronic device that measures the proportion of oxygen (O_2) in the gas or liquid being analysed

١٠٠٠مرة بمنشطات بنسبة ضئيلة، يستخدم السيراميك الموصل كموصل أيونى. أحد الأمثلة المعروفة بإسم ناسيكون [١٣٦] (أكسيد السيلكون زركانيوم صوديوم فوسفور) ويعرف بإسم موصل الصوديوم فائق الأيونية.



الشكل (٢ – ٤٠) الرسم التخطيطي لبطارية الصوديوم – الكبريت.

مثال آخر لموصل أيون سريع شائع هو من الأملاح الصلبة والمعروف بإسم بيتا ألومينا[١٣٧] وعلى عكس المعتاد شكل من أشكال الألومينا[١٣٨] ، هذا التعديل له بنية طبقية مع صالات مفتوحة مفصولة بأعمدة. تنتقل أيونات الصوديوم من خلال هذه المواد بسهولة حيث أن إطار أكسيد يوفر إيونوفيليك وهو وسط غير قابل للاختزال وتعتبر هذه المادة، كموصل أيون الصوديوم لبطاريات الصوديوم والكبريت[١٣٩].

---

١٣٦ ناسيكون NASICON, ($Na_3Zr_2Si_2PO_{12}$) , a sodium super-ionic conductor One example is

١٣٧ موصل أيون سريع شائع هو من الأملاح الصلبة والمعروف بلإسم بيتا ألومينا

Beta-alumina solid electrolyte (BASE) is a fast ion conductor material used as a membrane in several types of molten saltelectrochemical cell. Currently there is no known substitute available

١٣٨ شكل من أشكال الألومينا The most common form of crystalline aluminium oxide is known corundum, which is the thermodynamically stable form. The oxygen ions nearly form a hexagonal close-packed structure with aluminium ions filling two-thirds of the octahedral interstices.

١٣٩ كموصل أيون الصوديوم لبطاريات الصوديوم والكبريت A sodium–sulfur battery is a type of molten-salt battery constructed from liquidsodium (Na) and sulfur (S).[1][2] This type of battery has a high energy density, high efficiency of charge/discharge (89–92%) and long cycle life, and is fabricated from inexpensive materials. The operating temperatures of 300 to 350 °C and the highlycorrosive nature of the sodium polysulfides, primarily make them suitable for stationary energy storage applications. The cell becomes more economical with increasing size.

❖ **الموصلات أيون الفلوريد**

ثلاثى اللانثنيوم فلوريد[١٤٠] موصل لأيونات الفلورين ، ويستخدم في بعض أقطاب انتقائية أيونية[١٤١] وتزداد بإستمرار موصلية مادة بيتا من الرصاص فلوريد بزيادة درجة الحرارة . هناك مثال لموصل أيون سريع هو أيودين الفضة ،عند تسخين المادة الصلبة إلى ١٤٦ درجة مئوية تتكون مادة بوليمر ألفا. في هذا النموذج، تشكل أيونات الأيودين إطار مكعب جامد مع إنصهار مادة الفضة وتزداد الموصلية الكهربائية للمادة الصلبة ٤٠٠٠ مرة ولوحظ سلوك مماثل لأيودين النحاس، وأيودين الروبيديوم الفضة وأيودين الفضة والزئبق.

❖ **المواد غير العضوية الأخرى**

- **كبريتيد الفضة ، موصل لأيونات الفضة، وتستخدم في بعض أقطاب أيون انتقائية**
- **الثاني كلوريد الرصاص، موصل عند ارتفاع درجات الحرارة**
- **بعض أكاسيد كالسيوم تيتانيوم والمعروفة بإسم سيراميك (برفسكيت) – ومواد تيتانات السترونتيوم ، ستانات السترونتيوم – وهى موصلة أيونات الهيدروجين[١٤٢]**

❖ **المواد العضوية**

- **العديد من المواد الهلامية ، مثل بولي أكريلمد ، أجار ، وهي موصلات أيون سريع**
- **الملح المذاب في البوليمر – مثل بيركلورات الليثيوم في اكسيد البولي ايثيلين**
- **أملاح بولى الصلبة والأيونومرات – مثل نافيون ، وهو موصل هيدروجين**

---

١٤٠ ثلاثى اللانثنيوم فلوريد Lanthanum trifluoride (LaF_3) is conductive for F^- ions,

١٤١ أقطاب انتقائية أيونية ion selective electrodes

١٤٢بعض أكاسيد كالسيوم تيتانيوم والمعروفة بإسم سيراميك (برفسكيت) – ومواد تيتانات السترونتيوم ، ستانات السترونتيوم – وهى موصلة أيونات الهيدروجين

Some perovskite ceramics – strontium titanate, strontium stannate – conductive for O^{2-} ions

٢ – ٧ بصريات النانو

تعتبر بصريات النانو أو النانو البصريات مجال دراسة سلوك الضوء على نطاق نانومتر ، وتفاعل الأجسام نطاق فى نانومتر مع الضوء. وهو فرع من علم البصريات ، الهندسة البصرية[١٤٣] ، الهندسة الكهربائية ، وتكنولوجيا النانو . في كثير من الأحيان (وليس حصرا) تنطوي على مكونات معدنية، والتي يمكن نقل وتركيز الضوء عبر قطبية بلازما السطح[١٤٤]. مصطلح "نانو البصريات"، تماما مثل مصطلح "البصريات"، عادة ما يتعلق بالأشعة فوق البنفسجية ، مرئى ، وقريبا من ضوء الأشعة تحت الحمراء[١٤٥] (طولها الموجى في الفضاء الحر حول ٣٠٠–١٢٠٠ نانومتر). المكونات البصرية العادية، مثل العدسات والميكروسكوبات ، لا تتمكن عادة من تركيز الضوء لوحدات النانو متر (وحدة الطول الموجى الفرعى)[١٤٦] ،

---

١٤٣ الهندسة البصرية. Optical engineering is field of study focuses on applications of optics. Optical engineers design components of optical instruments such as lenses, microscopes, telescopes, and other equipment that utilizes the properties of light. Other devices include optical sensors and measurement systems, lasers, fiber optic communication systems, optical disc systems (e.g. CD, DVD), etc.

١٤٤ قطبية بلازما السطح Surface plasmon polaritons (SPPs), are infrared or visible-frequency electro magnetic waves, which travel along a metal–dielectric or metal–air interface. The term "surface plasmon polariton" explains that the wave involves both charge motion in metal ("surface plasmon") and electromagnetic waves in the air or dielectric ("polariton").

١٤٥ ضوء الأشعة تحت الحمراء In general, objects emit infrared radiation across a spectrum of wavelengths, but sometimes only a limited region of the spectrum is of interest because sensors usually collect radiation only within a specific bandwidth. Thermal infrared radiation also has a maximum emission wavelength, which is inversely proportional to the absolute temperature of object, in accordance with Wien's displacement law. Therefore, the infrared band is often subdivided into smaller sections.

١٤٦ (وحدة الطول الموجى الفرعى) The term *subwavelength* is used to describe an object having one or more dimensions smaller than the length of the wave with which the object interacts. For example, the term *subwavelength-diameter optical fibre* means an optical fibre whose diameter is less than the wavelength of light propagating through it.

بسبب حد الحيود[١٤٧] (معيار رايلي)[١٤٨] ومع ذلك، فمن الممكن لضغط الضوء في نطاق نانومتر باستخدام تقنيات أخرى مثل، على سبيل المثال، بلازمونات السطح[١٤٩] ، البلازمونات السطحية المحلية[١٥٠] حول الأجسام النانوية المعدنية، وفتحات النانو والتلميحات الحادة النانوية المستخدمة في مجهر مسح المجال الضوئي القريب[١٥١] وميكرسكوب المسح المجهرى النفقي[١٥٢] . متابعة الباحثين لبصريات النانو لها مجموعة واسعة جدا من

---

١٤٧ حد الحيود –Diffraction limit, resolution of an optical imaging system a microscope telescope, or camera – can be limited by factors such as imperfections in the lenses or misalignment. However, there is a fundamental maximum to the resolution of any optical system which is due to diffraction. An optical system with the ability to produce images withangular resolution as good as the instrument's theoretical limit is diffraction limited.

١٤٨ معيار رايلي (Rayleigh criterion) Angular resolution or spatial resolution describes the ability of any image-forming device such as an optical or radio telescope, a microscope, a camera, or an eye, to distinguish small details of an object, thereby making it a major determinant of image resolution.

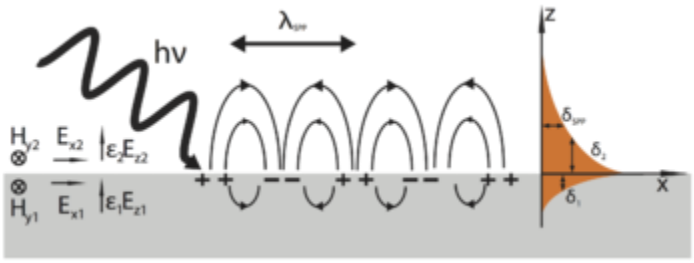
١٤٩ البلازمونات السطح Surface plasmons (SPs) are coherent delocalized electronoscillations that exist at the interface between any two materials where the real part of dielectric function changes sign across the interface (e.g. a metal-dielectric interface, such as a metal sheet in air).

١٥٠ البلازمونات السطحية المحلية A Localized Surface Plasmon (LSP) is the result of the confinement of a surface plasmon in a nanoparticle of size comparable to or smaller than the wavelength of light used to excite the plasmon. The LSP has two important effects: ١- Electric fields near the particle's surface are greatly enhanced. This enhancement falls off quickly with distance from the surface.- ٢ The particle's optical absorption has a maximum at the plasmon resonant frequency. For noble metal nanoparticles, this occurs at visible wavelengths.[1] For semiconductor nanoparticles, the maximum optical absorption is often in the near-infrared and mid-infrared region.

١٥١ مجهر مسح المجال الضوئي القريب Near-field scanning optical microscopy (NSOM/SNOM) is a microscopy technique for nanostructure investigation that breaks the far field resolution limit by exploiting the properties of evanescent waves.

١٥٢ وميكرسكوب المسح المجهرى النفقي A scanning tunneling microscope (STM) is an instrument for imaging surfaces at the atomic level.

الأهداف، في مجالات تتراوح بين الكيمياء الحيوية والهندسة الكهربائية وهناك عدد قليل من هذه الأهداف ملخصة أدناه.



الشكل (٢ – ٤١) التمثيل التخطيطي لموجة كثافة الإلكترونات على طول واجهة معدن–عازل.

٢ – ٨ الإلكترونيات الضوئية والالكترونيات الدقيقة

إذا أمكن أن يتقلص الضوء إلى حجم صغير، ويمكن استيعابه والكشف عنه بواسطة كاشف صغير يعرف باسم جهاز **الاستشعار البصري** الصغير وله مجموعة متنوعة من الخصائص المرغوبة بما في ذلك انخفاض مستوى الضجيج، والسرعة العالية، وانخفاض الجهد والطاقة. نبضات الليزر الصغيرة لها خصائص مرغوبة فى الاتصالات البصرية بما في ذلك انخفاض الحد الأدنى للتيار (الذي يساعد في كفاءة الطاقة) ومعدل تعديل سريع والذي يعني المزيد من نقل البيانات. تتطلب نبضات الليزر الصغيرة جدا تجاويف البصرية بأطوال موجات فرعية. مثال على ذلك (سباسيرس) [١٥٣] وهو نوع من تصنيفات وحدات ليزر بلازما السطح. الدوائر المتكاملة المصنوعة بإستخدام الطباعة الضوئية، بمعنى التعرض للضوء لتصنيع الترانزستورات الصغيرة جدا، يحتاج الضوء إلى تركيز في صور واضحة

---

١٥٣ (سباسيرس) A spaser is the nanoplasmonic counterpart of a laser, but it (ideally) does not emit photons. It is analogous to the conventional laser, but in a spaser photons are replaced by surface plasmons and the resonant cavity is replaced by a nanoparticle, which supports the plasmonic modes. Similarly, to a laser, the energy source for the spasing mechanism is an active (gain) medium that is excited externally. This excitation field may be optical and unrelated to the spaser's operating frequency; for instance, a spaser can operate in the near–infrared but the excitation of the gain medium can be achieved using an ultraviolet pulse

للغاية. باستخدام تقنيات مختلفة مثل الطباعة الحجرية بالغمر بالقناعات الضوئية، في الواقع من الممكن الحصول على صور أدق بكثير من الطول الموجي على سبيل المثال، رسم خطوط سمك ٣٠ نانومتر باستخدام ضوء ١٩٣ نانومتر. كما تم اقتراح أساليب بلازمونية لهذه التطبيقات. التسجيل المغناطيسي بمساعدة الحرارة[١٥٤] هو نهج بصريات النانو لزيادة كمية البيانات التي يمكن لمحرك الأقراص المغناطيسية تخزينها فإنه يتطلب تسخين عنصر الليزر قليلا، مساحة الطول الموجى الفرعى للمادة المغناطيسية قبل كتابة البيانات. يشتمل عنصر الكتابة المغناطيسي على مكونات بصرية معدنية لتركيز الضوء في المكان الصحيح. التصغير في الإلكترونيات الضوئية ، على سبيل المثال تصغير الترانزستورات في الدوائر المتكاملة ، زادت من سرعتها وتكلفتها ومع ذلك، فإن الدوائر الإلكترونية الضوئية يمكن فقط تصغيرها فقط إذا تقلصت المكونات البصرية جنبا إلى جنب مع المكونات الإلكترونية. وهذا هو المعنى من رقاقة الاتصالات البصرية (أي نقل المعلومات من جزء من الرقاقة إلى آخر عن طريق إرسال الضوء من خلال الدليل الموجي البصري، بدلا من تغيير الجهد على الأسلاك).

❖ الخلايا الشمسية

غالبا ما تعمل الخلايا الشمسية بشكل أفضل عندما يكون إمتصاص الضوء قريب جدا من السطح، على حد سواء لأن الإلكترونات بالقرب من السطح لديها فرصة أفضل لتجميعها، حيث يمكن أن تكون الخلية الشمسية ذو سمك رقيق، مما يقلل من التكلفة وقد حقق الباحثون مجموعة متنوعة من تقنيات بصريات النانو لتكثيف الضوء في المواقع المثلى داخل الخلية الشمسية.

---

١٥٤ التسجيل المغناطيسي بمساعدة الحرارة Heat-assisted magnetic recording (HAMR) is a magnetic storage technology for hard drives in which a small laser is used to heat the part of the disk that is being written to. The heat changes the magnetic properties (its "coercivity") of the disk for a short time, reducing or removing the superparamagnetic effect while writing takes place. This magnetic effect sets a limit on the areal density of magnetic recording (how much data can be stored in each area of a disk).

❖ **التحليل الطيفي**

استخدام بصريات النانو لزيادة كثافة ذروة عالية: في حالة تقلص كمية معينة من الطاقة الضوئية إلى حجم أصغر وأصغر والمعروفة بمصطلح (النقطة "الساخنة")، شدة الضوء في البقعة الساخنة يصبح أكبر وأكبر ، وهذا مفيد خاصة في البصريات غير الخطية[١٥٥] ومن الأمثلة على سطح التناثر المعزز لرامان[١٥٦] . كما يسمح بالقياسات الحساسة الطيفية حتى من جزيئ واحد من الجزيئات التى تقع في البقعة الساخنة، على عكس طرق التحليل الطيفي التقليدية التي تقوم على حساب المتوسط على مدى ملايين أو بلايين الجزيئات.

❖ **المجهر**

هدف واحد من بصريات النانو هو بناء ما يسمى " العدسة الفائقة[١٥٧] "، والتي سوف تستخدم فيما يتعلق بالمواد الغير مرئية[١٥٨] أو تقنيات أخرى لإنشاء الصور التي هي أكثر دقة

---

١٥٥ البصريات غير الخطية Nonlinear optics (NLO) is the branch of optics that describes behavior of light in *nonlinear media*, that is, in which dielectric polarization P responds nonlinearly to the electric field E of the light. This nonlinearity is typically only observed at very high light intensities (values of the electric field comparable to interatomic electric fields, typically 10^8 V/m) such as those provided by lasers.

١٥٦ سطح التناثر المعزز لرامان Surface-enhanced Raman spectroscopy or surface-enhanced Raman scattering (SERS) is a surface-sensitive technique that enhances Raman scattering by molecules adsorbed on rough metal surfaces or by nanostructures such as plasmonic-magnetic silica nanotubes.

١٥٧ العدسة الفائقة A practical superlens, or super lens, is a lens which uses metamaterials to go beyond the diffraction limit. The diffraction limit is a feature of conventional lenses and microscopes that limits the fineness of their resolution. Many lens designs have been proposed that go beyond the diffraction limit in some way, but there are constraints and obstacles involved in realizing each of them.

١٥٨ يتعلق بما بالمواد الغير مرئية A metamaterial (meaning "beyond") is a material engineered to have a property that is not found in nature. They are made from assemblies of multiple elements fashioned from composite materials such as metals or plastics. The materials are usually arranged in repeating patterns, at scales that are smaller than the wavelengths of the phenomena they influence.

من الحد حيود (الطول الموجى الفرعى العميق) [١٥٩] . مجهر المسح الضوئي بالقرب من المجال [٩٦] هي تقنية بصريات النانو مختلفة تحقق الهدف من التقاط الصور مع دقة أصغر بكثير من الطول الموجي. أنه ينطوي على طرف حاد جدا أو فتحة صغيرة جدا على سطح المسح النقطي للتصوير. يشير المجهر بالقرب من المجال بشكل عام إلى أي أسلوب استخدام المجال القريب لتحقيق المقياس النانوي، دقة الطول الموجى الفرعى. على سبيل المثال، ثنائي استقطاب التداخل[١٦٠] له دقة بيكو متر في الطائرة العمودية فوق سطح الدليل الموجي.

❖ مبادئ البلازمونات والبصريات المعدنية

المعادن هي وسيلة فعالة لحصر الضوء أقل بكثير من الطول الموجي واستخدم هذا في تقنيات الراديو وهندسة الموجات الدقيقة ، حيث الهوائيات المعدنية والدلائل الموجية قد تكون مئات المرات أصغر من الطول الموجى في الفضاء الحر. لسبب مماثل، الضوء المرئي يمكن أن يقتصر على مقياس النانو عن طريق الهياكل المعدنية نانوية الحجم، مثل الهياكل بحجم النانو، الحواف، والفراغات، وما إلى ذلك وهذا التأثير مشابه إلى حد ما الى مانعة الصواعق، حيث يركز هذا المجال على الحافة. ويستند هذا التأثير أساسا على حقيقة أن السماحية في المعدن كبيرة جدا وسلبية عند الترددات العالية جدا (قرب أو أعلى من تردد البلازما[١٦١] ،

---

١٥٩ الطول الموجى الفرعى العميق The term *subwavelength* is used to describe an object having one or more dimensions smaller than the length of the wave with which the object interacts. For example, the term *subwavelength-diameter optical fibre* means an optical fibre whose diameter is less than the wavelength of light propagating through it.

١٦٠ ثنائي استقطاب التداخل Dual-polarization interferometry (DPI) is an analytical technique that probes molecular layers adsorbed to the surface of awaveguide using the evanescent wave of a laser beam. It is used to measure the conformational change in proteins, or other biomolecules, as they function (referred to as the conformation activity relationship).

١٦١ تردد البلازما Plasma oscillations, known as "Langmuir waves",are rapid oscillations of the electron densityin conducting media such as plasmas or metals. The oscillations can be described as an instability in the dielectric function of a free electron gas. The frequency only depends weakly on the wavelength of the oscillation. The quasiparticle resulting from the quantization of these oscillations is the plasmon

وعادة ما تكون فوق البنفسجية)، سماحية المعدن ليست كبيرة جدا، ويتوقف تأثير المعدن فى المجالات الأكثر تركيز. يبدو العديد من تصاميم نانو البصريات مثل دوائر الموجات الميكروووية أو موجات الراديو، ولكنها تقلصت بنسبة ١٠٠،٠٠٠ مرة أو أكثر٠ بعد كل شيء، الموجات الميكروووية أو موجات الراديو والضوء المرئي كلها إشعاعات كهرومغناطيسية لكنها تختلف فقط في التردد. من الأمور الأخرى فهى متساوية، تقلصت دائرة الموجات الميكروووية بنسبة ١٠٠،٠٠٠ وتتصرف بنفس الطريقة ولكن بتردد أعلى ١٠٠،٠٠٠ مرة.

الشكل (٢ – ٤٢ أ) الهوائي كسب عالي حديث للترددات الفائقة. ويضم ١٧ موجهه وأربعة عاكسات على شكل عاكس زاوية. (ب) جزء من الدليل الموجي المرن مع شفة مضغوطة

على سبيل المثال، تم تصنيع هوائيات بصرية نانو معروفة بإسم هوائيات ياغي–عوده بنفس التصميم الذي يستخدم للإذاعة بهوائيات ياغي–عوده[١٦٢] وهو عبارة عن دلائل موجية[١٦٣] من لوحين متوازيين من المعدن ، عناصر الدائرة ثابتة ومجمعة مثل الحث والسعة (عند ترددات الضوء المرئي ، تتراوح قيمة الحث والسعة بمقدار فيمتو هنرى وفيمتو فراد على التوالي)، ومقاومة المطابقة لهوائى ثنائي القطب لخطوط النقل ، وجميع التقنيات المألوفة في الترددات

---

١٦٢ هوائيات ياغي–عوده A Yagi–Uda antenna, commonly known as a Yagi antenna, is a directional antennaconsisting of multiple parallel elements in a line, usually half–wave dipoles made of metal rods. Yagi–Uda antennas consist of a single driven element connected to thetransmitter or receiver with a transmission line, and additional parasitic elements: a so–called *reflector* and one or more *directors*.

١٦٣ دلائل موجية A waveguide is a structure that guides waves, such as electromagnetic waves orsound waves. They enable a signal to propagate with minimal loss of energy by restricting expansion to one dimension or two

الميكروية، تنمو بعض مناطق تيار البصريات النانو وقيل ان هناك عددا من الاختلافات الهامة جدا بين نانو البصريات وتقليص حجم الدوائر الميكروية على سبيل المثال، تتصرف المعادن في التردد البصري أقل بكثير من الموصلات المثالية، وأيضا تحمل تأثيرات بلازمون مثيرة للاهتمام المتعلقة مثل الحث الحركي[١٦٤] والرنين السطحى للبلازمون[١٦٥] وبالمثل، المجالات البصرية التى تتفاعل مع أشباه الموصلات بطريقة مختلفة جذريا عن الموجات الميكروية .

❖ البصريات قريبة المجال

إذا أستخدم تحويل فورييه[١٦٦] لكائن، فهو يتكون من الترددات المكانية[١٦٧] المختلفة. تتوافق الترددات العالية مع الملامح الدقيقة جدا والحواف الحادة. عندما ينبعث الضوء من

---

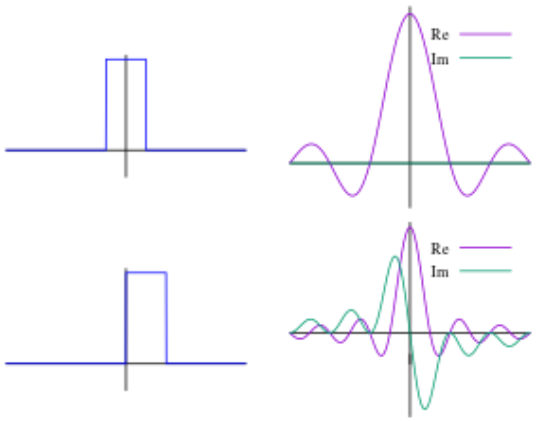
١٦٤ الحث الحركي **Kinetic inductance is the manifestation of the inertial mass of mobile inertial charge carriers in alternating electric fields as equivalent series inductance. Kinetic inductance is observed in high carrier mobility conductors (e.g. superconductors) and at very high frequencies.**

١٦٥ الرنين السطحى للبلازمون **Surface plasmon resonance (SPR) is the resonant oscillation of conduction electrons at the interface between a negative and positive permittivity material stimulated by incident light. The resonance condition is established when the frequency of incident photonsmatches the natural frequency of surface electrons oscillating against the restoring force of positive nuclei. SPR in subwavelength scale nanostructures can bepolaritonic or plasmonic in nature.**

١٦٦ تحويل فورييه **The Fourier transform decomposes a function of time (a *signal*) into the frequencies that make it up, in a way like how a musical chord can be expressed as the amplitude (or loudness) of its constituent notes. The Fourier transform of a function of time itself is a complex-valued function of frequency, whose absolute value represents the amount of that frequency present in the original function, and whose complex argument is the phase offset of the basic sinusoid in that frequency. The Fourier transform is called the *frequency domain representation* of the original signal. The term *Fourier transform* refers to both the frequency domain**

١٦٧ الترددات المكانية **spatial frequency is a characteristic of any structure that is periodic across position in space. The spatial frequency is a measure of how often sinusoidal components (as determined by the Fourier transform) of the structure repeat per unit of distance.**

خلال مثل هذا الكائن، يشكل الضوء مع الترددات المكانية العالية جدا موجة زائلة[١٦٨] ، والتي لا توجد إلا في المجال القريب (قريبة جدا من الكائن، ضمن الطول الموجي الواحد أو اثنين) ويختفي في المجال البعيد . هذا هو أصل حد الحيود ، التي تقول عندما تصور عدسة كائن، فمعلومات الطول الموجى الفرعى تكون غير واضحة. تهتم النانو الضوئية في المقام الأول مع الموجات الزائلة قرب المجال على سبيل المثال، تمنع العدسة الفائقة إضمحلال الموجة الزائلة، مما يتيح دقة عالية التصوير.



الشكل (٢ – ٤٣) في الصف الأول من الرسم وحدة نبض الدالة وتحويل فوريه لها، تترجم دالة تردد.. في الصف الثاني يظهر نبض وحدة تأخر، بجانب الأجزاء الحقيقية والتخيلية لتحويل فوريه. تحلل دالة تحويل فوريي لمجموعة الترجمات.

❖ **فيما يتعلق وراء المواد (المادة الخارقة)**[١٠٣]

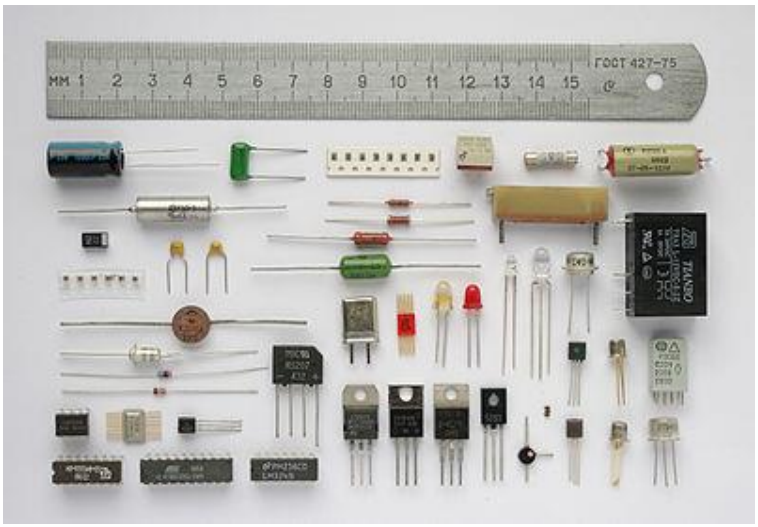
هي مواد اصطناعية صممت ليكون لها الخصائص التي قد لا تكون موجودة في الطبيعة. يتم إنشاؤها من خلال تصنيع مجموعة من هياكل أصغر بكثير من الطول الموجي. صغر الهياكل بحجم النانو مهم: وبهذه الطريقة، يتفاعل الضوء معها كما لو أنها تتكون من مادة موحدة متوسطة الإستمرارية، بدلا من تبعثرها لهياكل فردية.

---

١٦٨ موجة زائلة an evanescent field, or evanescent wave, is an oscillating electric and/or magnetic field which does not propagate as an electromagnetic wave but whose energy is spatially concentrated in the vicinity of the source (oscillating charges and currents)

٢ – ٩ الإلكترونيات الجزيئية [١٦٩]

الإلكترونيات الجزيئية هي دراسة وتطبيق اللبنات الجزيئية لتصنيع المكونات الإلكترونية وهي منطقة متعددة التخصصات التي تمتد الى الفيزياء، والكيمياء، وعلوم المواد. الميزة توحيد استخدام اللبنات الجزيئية لتصنيع المكونات الإلكترونية ويرجع ذلك إلى احتمال تقليص الحجوم في مجال الالكترونيات التي تقدمها التحكم فى ضبط المستوى الجزيئي للخواص وقد نتج عن الإلكترونيات الجزيئية الكثير من الإثارة. تقدم الإلكترونيات الجزيئية الإمكانية لتمديد قانون مور[١٧٠] خارج حدود المتوقع من السيليكون التقليدية على نطاق تصغير الدوائر المتكاملة .



الشكل (٢ – ٤٤) المكونات الإلكترونية المختلفة بالمقارنة لحجم المسطرة في الأعلى.

---

١٦٩ الإلكترونيات الجزيئية Molecular electronics is the study and application of molecular building blocks for the fabrication of electronic components. It is an interdisciplinary area that spans physics, chemistry, and materials science. The unifying feature is use of molecular building blocks to fabricate electronic components. Due to the prospect of size reduction in electronics offered by molecular-level control of properties, molecular electronics generated much excitement. It provides a potential means to extend Moore's Law beyond the foreseen limits of small-scale conventional silicon integrated circuits

١٧٠ قانون مور Moore's law is the observation that number of transistors in a dense integrated circuit doubles approximately every two years.

نظرية عناصر الجزيء الواحد مثيرة للاهتمام بشكل خاص لأن النظام قيد النظر هو نظام الكم المفتوح في حالة عدم الإتزان (بجهد تغذية). في نظام تحيز الجهد المنخفض، فإن طبيعة عدم الإتزان للوصلات الجزيئية يمكن تجاهلها، ويمكن حساب خصائص الجهد والتيار للعنصر باستخدام بنية التوازن الإلكتروني للنظام. ومع ذلك، في أنظمة التحيز القوية مطلوب طرق أكثر تطورا، كما لم يعد هناك مبدأ التغاير أو التباين [١٧١]. في حالة النفق المرن (حيث لا يغير مرور الإلكترون الطاقة مع النظام)، ويمكن استخدام فرض رولف لاندور[١٧٢] لحساب الإنتقال عن طريق النظام بوصفها وظيفة إنحياز الجهد، وبالتالي التيار. عادة ما تصنع العناصر الإلكترونية التقليدية من المواد الصلبة. ينطوي النهج بالجملة على أوجه قصور بالإضافة إلى أن تكلفة التصنيع على نحو متزايد وهكذا، ولدت فكرة أن المكونات يمكن بدلا من تراكمها ذرة لذرة في مختبر الكيمياء (أسفل إلى أعلى[١٧٣]) بدلا من النحت خارج كتلة المادة (أعلى إلى أسفل). مع نهاية المطاف إشتمل على تصغير المكونات في الجزيئات الواحدة. في مجال إلكترونيات الجزيء الواحد، يتم إستبدال كتلة المادة بالجزيء الواحد، بدلا

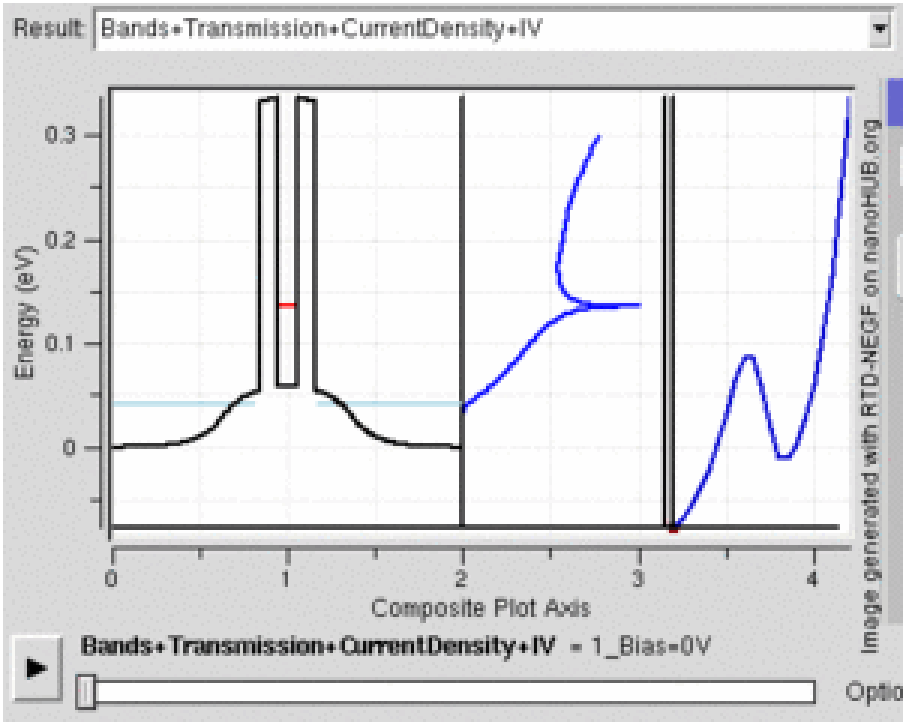
---

١٧١ مبدأ التغاير أو التباين variational principle is a scientific principle used within the calculus of variations , which develops general methods for finding functions which extremize the value of quantities that depend upon those functions.

١٧٢ فرض رولف لاندور Rolf William Landauer who made important contributions in diverse areas of the thermodynamics of information processing, condensed matter physics, and the conductivity of disordered media. [1] In 1961 he discovered Landauer's principle , that in any logically irreversible operation that manipulates information , such as erasing a bit of memory, entropy increases and an associated amount of energy is dissipated as heat . [1] This principle is relevant to reversible computing , quantum information andquantum computing . He also is responsible for the Landauer formula relating the electrical resistance of a conductor to its scattering properties.

١٧٣ أسفل إلى أعلى Top-down and bottom-up are both strategies of information processing and knowledge ordering, used in a variety of fields including software, humanistic and scientific theories (see systemics), and management and organization. In practice, they be a style of thinking, teaching, or leadership

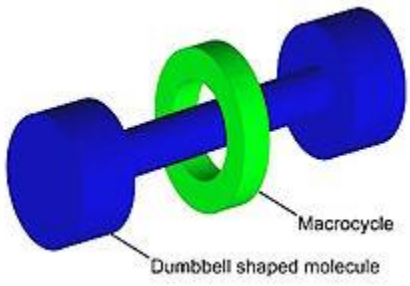
من إنشاء الهياكل عن طريق إزالة أو ترسيب المواد، من خلال قناع نمط توضع الذرات معا في مختبر الكيمياء وبهذه الطريقة يتم تصنيع مليارات المليارات النسخ في نفس الوقت (عادة يتم تكوين أكثر من ٢٠١٠ جزيء في وقت واحد) بينما يتم التحكم في تكوين الجزيئات وصولا الى ذرة أخيرة. الجزيئات المستخدمة لها خصائص تشبه المكونات الإلكترونية التقليدية مثل الأسلاك ، الترانزستور أو موحدات التيار.



الشكل (٢ – ٤٥) عمل صمام ثنائي النفق، استناداً إلى ظاهرة الكم النفقي من خلال الحواجز المحتملة (على اليسار: رسم تخطيطي للطاقة؛ فى الوسط: معامل انتقال؛ على اليمين: خصائص الجهد والتيار)

إلكترونيات الجزيء الواحد هو حقل ناشئ، تتكون الدوائر الإلكترونية بأكملها حصرا من مركبات جزيئية الحجم ما زالت بعيدة جدا عن التحقيق. ومع ذلك، فإن الطلب المستمر لحوسبة أكثر قوة مع القيود المتأصلة في وقتنا الحاضر منها أساليب الطباعة الحجرية التى تجعل الانتقال يبدو لا يمكن تجنبه. حاليا، يتم التركيز على إكتشاف الجزيئات ذات خصائص مثيرة للاهتمام، وإيجاد طرق الحصول على طرق إنتاجية موثوقة وقابلة للتكرار بين المكونات الجزيئية وكتل المواد من الأقطاب الكهربائية. تعمل الإلكترونيات الجزيئية في مجال

الكم[١٧٤] من مسافات أقل من ١٠٠ نانومتر. التصغير وصولا الى جزيئات واحدة وصولا الى نظام حيث تكون التأثيرات الكمومية[١٧٥] هامة.



الشكل (٢ – ٤٦) تمثيل للتبديل الجزيئي.

وعلى عكس الحال في المكونات الإلكترونية التقليدية، حيث الالكترونات يمكن شحنها أو سحبها للخارج أكثر أو أقل مثل التدفق المستمر للشحنات ، نقل الإلكترون الواحد يغير النظام بشكل ملحوظ وهذا يعني أنه عندما تم نقل الإلكترون من القطب المصدر إلى جزيء، ويحصل على تحمل الجزيء صعودا ويجعل من الصعب جدا النقل ويجب أن يؤخذ في الاعتبار الكمية الكبيرة من الطاقة بسبب الشحن عند تقدير الحسابات حول الخصائص الإلكترونية لمسافات الأسطح القريبة. أحد أكبر المشاكل القياسات للجزيئات الواحدة حيث تكوين وصلة توصيل

---

١٧٤ مجال الكم The quantum realm, also called the quantum scale, is a term of art in physics referring to scales where quantum mechanicaleffects become important when studied as an isolated system. Typically, this means distances of 100 nanometers (10^{-9}meters) or less or at very low temperature. More precisely, it is where the action or angular momentum is quantized. While originating on the nanometer scale, such effects can operate on a macro level generating some paradoxes .

١٧٥ التأثيرات الكمومية Many modern electronic devices are designed using quantum mechanics.Examples include the laser, the transistor (and thus the microchip), the electron microscope, and magnetic resonance imaging (MRI). The study of semiconductors led to the electronics invention of the diode and the transistor, which are indispensable parts of modern telecommunication devices. Another application is the light emitting computer and systems, diode which is a high-efficiency source of light Many electronic devices operate under effect of Quantum tunneling

كهربائية مع جزيء واحد فقط، دون قصر الأقطاب لأن الطباعة التصويرية في التكنولوجيا الحالية غير قادرة على إنتاج الثغرات لأقطاب صغيرة بما يكفي للاتصال بين طرفي الجزيئات (بقياس نانومتر) ويتم وضع استراتيجيات بديلة للاستخدام. وتشمل هذه الثغرات جزيئية الحجم تسمى تقاطعات الوصلات، فيها تتمدد قطب رقيق حتى يتم كسره. طريقة أخرى هي استخدام شفة من مجهر المسح النفقي[٩٧] في إتصال الجزيئات وتقييد الطرف الآخر إلى الركيزة المعدنية. وهناك طريقة أخرى شعبية لترسيخ الجزيئات إلى الأقطاب هو الاستفادة من الكبريت عالي الإنجذاب إلى الذهب . على الرغم من ذلك، غير محددة المكان، وبالتالي أماكن الجزيئات بشكل عشوائي على أسطح الذهب، ومقاومة الإتصال تعتمد إلى حد كبير على هندسة ذرية دقيقة حول موقع رسو الجزئ وبالتالي يهدد بطبيعته استنساخ الاتصال. للالتفاف على المسألة الأخيرة، أظهرت التجارب أن الفلورين[١٧٦] يمكن أن يكون مرشحا جيدا للاستخدام بدلا من الكبريت بسبب كبر نظام π المترافق[١٧٧] الذى يمكنه الاتصال كهربائيا بالعديد من الذرات في وقت واحد بدلا من ذرة واحدة فى حالة إستخدام الكبريت والتحول من الأقطاب المعدنية لأقطاب أشباه الموصلات يسمح لخصائص أكثر ملاءمة، وبالتالي لتطبيقات أكثر إثارة للاهتمام. هناك بعض المفاهيم لاتصال الجزيئات العضوية باستخدام أقطاب أشباه الموصلات فقط، على سبيل المثال باستخدام أسلاك الزرنيخ الإنديوم مع شريحة جزءا لا يتجزأ من أوسع فجوة للحزمة المادية لفوسفيد الإنديوم تستخدم بمثابة حاجز الكتروني لسدها عن طريق الجزيئات. أحد أكبر العوائق لإلكترونيات الجزيء الواحد يمكن استغلالها تجاريا هو عدم وجود تقنيات وصلات لدائرة جزيئية الحجم لأقطاب الأكبر بالطريقة التي تعطي نتائج قابلة للتكرار وأيضا إشكالية هو أن تتم بعض القياسات على جزيئات واحدة في درجات الحرارة

---

١٧٦ الفلورين A fullerene is a molecule of carbon in the form of a hollow sphere, ellipsoid, tube, and many other shapes. Spherical fullerenes are also called Buckminsterfullerenes (buckyballs),

١٧٧ نظام π المترافق covalently bound atoms with specific characteristics: A delocalized conjugated πsystem, commonly an arrangement of alternating single and double bonds

المبردة[١٧٨] (قريبة من الصفر المطلق) وهو ذاته مستهلك للطاقة. في نفق غير مرن، تظهر شكلية جيدة مبنية على عدم التوازن فى وظائف جرين[١٧٩]. وقد استخدمت بنجاح كبير في مجال الإلكترونيات الجزيئية لدراسة الحالات الأكثر صعوبة والحالات المثيرة للاهتمام حيث تتبادل الإلكترونات العابرة الطاقة مع النظام الجزيئي (على سبيل المثال من خلال اقتران الإلكترون – فونون أو الإثارة الإلكترونية). وعلاوة على ذلك، ربط الجزيئات الواحدة موثوق بها فى الدوائر الأوسع نطاقا وقد ثبت تحديا كبيرا، ويشكل عائقا كبيرا للتسويق.

❖ الإلكترونيات بالمقياس الجزيئي

الإلكترونيات بالمقياس الجزيئي، تسمى أيضا إلكترونيات الجزيء الواحد ، وهو فرع من تكنولوجيا النانو التي تستخدم الجزيئات الواحدة، أو مجموعات النانو للجزيء الواحد ، مثل المكونات الإلكترونية[١٨٠] . لأن الجزيئات الواحدة تشكل أصغر الهياكل المستقرة الممكنة، وهذا التصغير هو الهدف النهائي لتقليص حجم الدوائر الكهربائية . وغالبا ما يشار الى هذا المجال يشكل مجرد " الإلكترونيات الجزيئية "، لكن يستخدم المصطلح أيضا للإشارة إلى مجال آخر ذي صلة بعيدة من البوليمرات الموصلة والالكترونيات العضوية ، والذي يستخدم خصائص الجزيئات للتأثير على خصائص المواد السائبة[١٨١] وقد اقترح لتمييز التسميات بحيث المواد

---

١٧٨ درجات الحرارة المبردة In physics, cryogenics is the study of the production and behaviour of materials at very low temperatures.It is not well-defined at what point on the temperature scale refrigeration ends and cryogenics begins, but assume it starts below −150 °C (123 K; −238 °F).

١٧٩ وظائف جرين Green's functions used to solve inhomogeneous differential equations, to which they are loosely related. (Specifically, only two-point 'Green's functions'

١٨٠ المكونات الإلكترونية An electronic component is any basic discrete deviceor physical entity in an electronic system used to affectelectrons or their associated fields. Electronic components are mostly industrial products, available in a singular form and are not to be confused with electrical elements, which are conceptual abstractions representing idealized electronic components.

١٨١ خصائص المواد السائبة bulk properties of a material

الجزيئية للإلكترونيات تشير إلى هذا المجال الأخير من التطبيقات بكميات كبيرة، في حين تشير الإلكترونيات بالمقياس الجزيئي للتطبيقات نانو الجزيء الواحد.

❖ المفاهيم الأساسية

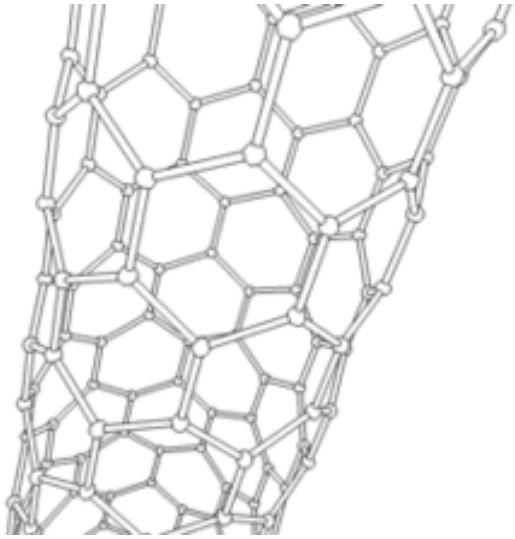
يتم تصنيع الالكترونيات التقليدية من المواد السائبة. يتزايد الأداء وتعقيد الدوائر المتكاملة منذ إختراعها في عام ١٩٥٨ (ويمثل الاتجاه المعروف باسم قانون مور) كسمة تقلصت أحجام المكونات المضمنة تبعا لذلك , كلما تقلصت الهياكل ، زادت الحساسية للإنحرافات وفي بضعة أجيال، عندما وصلت سمات الأحجام الحد الأدنى ١٣ نانومتر، يجب التحكم فى مكونات العناصر إلى دقة عدد قليل من الذرات حتى يمكن تشغيل العناصر ومع اقتراب الجزء زاد الطلب والتكاليف على نحو متزايد كما لو إقتربت من الحدود الأصلية . العامل المشترك للجزيئات المستخدمة في مجال الإلكترونيات الجزيئية هو أن الهياكل تحتوي على الكثير من تناوب الروابط المزدوجة والروابط المفردة والسبب في ذلك هو أن مثل هذا النمط يحدد المدارات الجزيئية مما يجعل من الممكن للإلكترونات بالتحرك بحرية فوق المنطقة المترافقة. الغرض الوحيد من **الأسلاك الجزيئية**[١٨٢] هو ربط أجزاء مختلفة من الدوائر الكهربائية الجزيئية كهربائيا لتجميع هذه المكونات ووصلتها الكهربائية لدائرة ميكروسبوكية ما زالت لم تقنن ، والتركيز على البحوث في مجال الكترونيات الجزيء الواحد هو في المقام الأول توظيف الجزيئات: تتميز الأسلاك الجزيئية بأنها لا تحتوي على **المجموعات الوظيفية**[١٨٣] وبالتالي

---

١٨٢ الأسلاك الجزيئية Molecular wires (or sometimes called molecular nanowires) are molecular chains that conduct electric current. They are the proposed building blocks for molecular electronic devices. Their typical diameters are less than three nanometers, while their lengths may be macroscopic, extending to centimeters or more.

١٨٣ المجموعات الوظيفية (moieties) In organic chemistry, functional groups are specific groups of atoms or bonds within molecules that are responsible for the characteristic chemical reactions of those molecules. The same functional group will undergo the same or similar chemical reaction(s) regardless of the size of the molecule it is a part of. However, its relative reactivity can be modified by other functional groups nearby. The atoms of functional groups are linked to each other and to the rest of the molecule by covalent bonds.

تتكون من التكرار العادي من لبنات مترافقة ومن بين هذه **الأنابيب النانوية الكربونية**[١٨٤] التي تكون كبيرة جدا بالمقارنة مع غيرها لكنها تظهر خواص كهربائية واعدة جدا. المشكلة الرئيسية مع الأسلاك الجزيئية للحصول على الاتصال الكهربائية جيدة مع الأقطاب بحيث تستطيع الإلكترونات التحرك بحرية داخل وخارج السلك.



الشكل (٢ – ٤٧) هيكل ثلاثى الأبعاد لأنابيب الكربون الدورية

تختلف ترانزستورات الجزيء الواحد اختلافا جوهريا عن تلك المعروفة من الالكترونيات السائبة. تحدد البوابة في الترانزستور التقليدية المتأثرة بالمجال الموصلية بين قطبى المنبع والمستنزف عن طريق التحكم في كثافة حاملات الشحنة بينهما، في حين أن البوابة في ترانزستور الجزيء الواحد تسيطر على جدوى إلكترون واحد للقفز أو عدم حركة الجزيء عن طريق تعديل الطاقة في المدارات الجزيئية. أحد آثار هذا الاختلاف هو أن ترانزستور الجزيء الواحد هو ثنائي تقريبا: فهو إما يقوم بالتوصيل أو إيقاف التشغيل وهذا يتعارض مع نظيراتها، والتي لها ردود من الدرجة الثانية لبوابة الجهد وهو تكميم الشحنة داخل الإلكترونات والتي هي المسؤولة عن السلوك المختلف بشكل ملحوظ مقارنة بالالكترونيات السائبة . بسبب حجم

---

١٨٤ الأنابيب النانوية الكربونية Carbon nanotubes (CNTs) are allotropes of carbon with a cylindrical nanostructure. These cylindrical carbon molecules have unusual properties, which are valuable for nanotechnology, electronics, optics and other fields ofmaterials science and technology.

الجزيء الواحد، الشحن بسبب الإلكترون الواحد هو جوهري، ويوفر وسيلة لتحويل تشغيل أو عدم تشغيل الترانزستور (**حصار كولوم**[١٨٥]) حتى يتم العمل، فإن المدارات الإلكترونية على جزيء الترانزستور لا يمكن أن تكون متكاملة بشكل جيد للغاية مع المدارات على الأقطاب. إذا كانت كذلك، لا يمكن أن يقال إن إلكترون موجودا على الجزيء أو على الأقطاب ويعمل الجزيء كسلك. مجموعة شائعة من الجزيئات، التي يمكن أن تعمل بوصفها قناة مواد **شبه موصلة** في الترانزستور الجزيئي، هو عدسة فينيلينيفيني لإحتكار القلة الذي يعمل عن طريق آلية حصار كولوم عند وضعه بين قطبى المنبع والمستنزف الكهربائي بطريقة مناسبة. يعمل **الفلورين**[١٨٦] **بنفس الآلية**، وله استخدمات أيضا. كما أظهرت أنابيب الكربون النانوية شبه الموصلة العمل كمادة قناة ولكن على الرغم من الجزيئ، هذه الجزيئات كبيرة بما فيه الكفاية لتتصرف تقريبا كما فى **أشباه الموصلات** . تجرى القياسات حجم الجزيئات ودرجة الحرارة المنخفضة في جعل ميكانيكية الكم واضحة المعالم ولذلك يجري بحثها إذا كانت الخواص الميكانيكية الكمومية يمكن أن تستخدم لأغراض متقدمة أكثر من الترانزستورات البسيطة (مثل

---

١٨٥ حصار كولوم **Coulomb blockade (CB), is the increased resistance at small bias voltages of an electronic device comprising at least one low-capacitance tunnel junction. Because of the CB, the resistances of devices are not constant at low bias voltages, but increase to infinity for biases under a certain threshold** (i.e. no current flows). When few **electrons are involved and an external static magnetic field is applied, Coulomb blockade provides the ground for spin blockade (also called Pauli blockade) and valley blockade[1][2] which includes quantum mechanical effects due to spin and orbital interactions respectively between the electrons.**

١٨٦ الفلورين **A fullerene is a molecule of carbon in the form of a hollow sphere, ellipsoid, tube, and many other shapes. Spherical fullerenes are also called Buckminster fullerenes (buckyballs), and they resemble the balls used in football (soccer). Cylindrical ones are called carbon nanotubes or buckytubes. Fullerenes are similar in structure tographite, which is composed of stacked graphenesheets of linked hexagonal rings; but they may also contain pentagonal (or sometimes heptagonal) rings.**

الإلكترونيات الدورانية[١٨٧]). تم تصميم ترانزستور الجزيء الواحد باستخدام جزيئات على شكل حلقة على غرار **البنزين**[١٨٨]. صمم الترانزستور الجزيء الواحد باستخدام الستايرين[١٨٩]. تتوقع كل منها (بعد التحقق تجريبيا) لتعمل في درجة حرارة الغرفة، ويمكن السيطرة عليها من قبل إلكترون واحد.

❖ المواد الجزيئية للإلكترونيات

أكبر ميزة فى البوليمرات الموصلة [١٩٠] فى إعدادها بتقنيات **التشتت**[١٩١]. البوليمرات الموصلة ليست مواد بلاستيكية، أي أنها ليست مواد تتأثر بالحرارة، لكنها بوليمرات عضوية،

---

١٨٧ الإلكترونيات الدورانية (Spintronics (a portmanteau meaning spin transport electronics، also known as spinelectronics or fluxtronics, is the study of the intrinsic spin of the electron and its associated magnetic moment, in addition to its fundamental electronic charge, in solid-state devices.

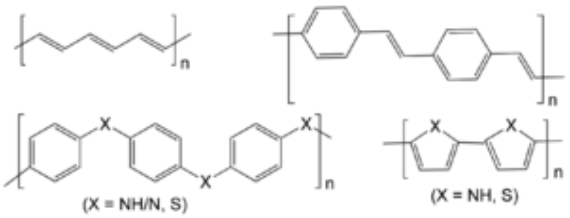
١٨٨ البنزين Benzene is an important organic chemical compound with the chemical formula C_6H_6. The benzene molecule is composed of 6 carbon atoms joined in a ring with 1 hydrogen atom attached to each. Because it contains only carbon and hydrogen atoms, benzene is classed as a hydrocarbon.

١٨٩ الستايرين Styrene, also known as ethenylbenzene, vinylbenzene, and phenylethene, is an organic compound with the chemical formula $C_6H_5CH=CH_2$. This derivative of benzene is a colorless oily liquid that evaporates easily and has a sweet smell, although high concentrations have a less pleasant odor. Styrene is the precursor to polystyrene and several copolymers.

١٩٠ البوليمرات الموصلة Conductive polymers or, more precisely, intrinsically conducting polymers (ICPs) are organic polymers thatconduct electricity. Such compounds may have metallic conductivity or can be semiconductors.

١٩١ التشتت A dispersion is a system in which particles are dispersed in a continuous phase of a different composition (or state). See alsoemulsion. A dispersion is classified in a number of different ways, including how large the particles are in relation to the particles of the continuous phase, whether or not precipitation occurs, and the presence of Brownian motion

مثل البوليمرات (العازلة). تتميز بموصلية كهربائية عالية ولكنها لا تظهر الخواص الميكانيكية كما فى البوليمرات المستخدمة تجاريا ويمكن التحكم فى الخواص الكهربائية باستخدام أساليب التركيب العضوي[١٩٢] وتقنيات التشتت المتقدمة.



الشكل (٢ – ٤٨) التركيب الكيميائي لبعض البوليمرات الموصلة

البوليمرات خطية العمود الفقري مثل بوليأكتلين [١٩٣] ، بوليبيرولي [١٩٤] ، وبولي آنلين[١٩٥] فهي فئات رئيسية من البوليمرات الموصلة [١٩٦]. تستخدم البوليمرات (بولي الكيلثيوفينيس –٣) [١٩٧] فى الخلايا الشمسية والترانزستورات. مراكز الكربون متجاورة

---

١٩٢ أساليب التركيب العضوي Organic synthesis is a special branch of chemical synthesis and i is concerned with the construction of organic compoundsvia organic reactions. Organic molecules often contain a higher level of complexity than purely inorganic compounds, so that the synthesis of organic compounds has developed into one of the most important branches of organic chemistry

١٩٣ بوليأكتلين with the Polyacetylene (polyethyne) usually refers to an organic polymer with the repeating unit $(C_2H_2)_n$. The name refers to its conceptual construction from polymerization of acetylene to give a chain with repeating olefin groups

١٩٤ بوليبيرولي Polypyrrole (PPy) is a type of organic polymer formed by polymerization of pyrrole. Polypyrroles are conducting polymers, related members being polythiophene, polyaniline, and polyacetylene.

١٩٥ وبولي آنلين Polyaniline (PANI) is a conducting polymer of the semi-flexible rod polymer family.

١٩٦ البوليمرات الموصلة Polythiophenes (PTs)are polymerized thiophenes,a sulfur heterocycle . They can become conducting when oxidized.

١٩٧ (بولي الكيلثيوفينيس –٣) semiconducting polymers. Today, poly(3-alkylthiophenes) are archetypicalmaterials for solar cells and transistors. The following table presents some

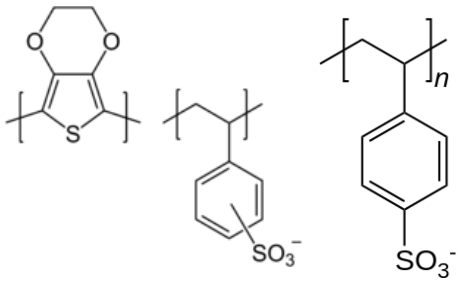
ويوجد إلكترون واحد حر في كل مركز موجود في المدار (ب) وهو متعامد إلى ثلاثة سندات سيجما أخرى. الإلكترونات في هذه المدارات ضلت موضعها الصحيح ولها حركية عالية عندما تكون المادة "مخدرة" عن طريق الأكسدة، والتي تزيل بعض من هذه الإلكترونات التى ضلت موضعها الصحيح وهكذا فإن **المدارات المترافقة**[١٩٨] **تشكل بعد واحد فى النطاق الإلكتروني** ، والإلكترونات داخل هذا النطاق أصبحت متحركة عندما يتم تفريغها جزئيا. رغم البحث المكثف، والعلاقة بين مورفولوجيا، هيكل سلسلة والتوصيل غير مفهومة حتى الآن بسبب سوء التجهيز، تستخدم البوليمرات الموصلة فى بعض التطبيقات واسعة النطاق وهناك بعض الأمل في المواد الغير استاتيكيه والتي أدرجت في شاشات العرض التجارية والبطاريات، ولكن هناك قيود بسبب تكاليف التصنيع، التناقضات المادية، سمية، وضعف القابلية للذوبان في المذيبات، وعدم القدرة على عملية إذابة مباشرة. ومع ذلك، تكتسب البوليمرات بسرعة الجذب في تطبيقات جديدة مع زيادة المواد للمعالجة على نحو متزايد مع الخصائص الكهربائية والمادية أفضل مع تخفيض التكاليف. **مع توافر الإتزان وقابلة التكرار، أستخدم البوليمر بولي آنلين**[١٣٠] **فى بعض التطبيقات على نطاق واسع في حين أن البوليمر (بولي ٣، ٤ اثيلينيديوكسيثيوفيني) والمعروف بإسم (بيدوت)**[١٩٩] **يستخدم أساسا في التطبيقات الغير ثابته وكطبقة موصلة شفافة:**

---

١٩٨ المدارات المترافقة conjugated system is a system of connected p-orbitals with delocalized electrons in molecules with alternating single and multiple bonds, which in general may lower the overall energy of the molecule and increase stability.

١٩٩ البوليمر (بولي ٣، ٤ اثيلينيديوكسيثيوفيني) والمعروف بإسم (بيدوت)PEDOT: PSS or poly (3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate is apolymer mixture of two ionomers. One component in this mixture is made up ofsodium polystyrene sulfonate which is a sulfonated polystyrene. Part of the sulfonylgroups are deprotonated and carry a negative charge. The other component poly(3,4-ethylenedioxythiophene) or PEDOT is a conjugated polymer and carries positive charges and is based on polythiophene. Together the charged macromolecules form a macromolecular salt

وتشتت حامض السلفونيك البوليستيرين[٢٠٠] ، ويستخدم البوليمر بولي آنلين على نطاق واسع لتصنيع لوحات الدوائر المطبوعة – وفي التشطيب النهائي، لحماية النحاس من الصدأ ومنع قابلية لحامة. أشكال البنية النانومترية الجديدة للبوليمرات الموصلة بشكل خاص، توفر الهواء النقي فى مساحة السطح العلوي وتعطى أفضل توزيع.



الشكل (٢ – ٤٩) على اليمين – البنية النانومترية لبوليمر (بولي ٣، ٤ اثيلينيديوكسيثيوفيني) والمعروف بإسم (بيدوت) – على اليسار – البنية النانومترية لبوليمر البوليسترين فلورو أوكتان المشبع بولي (حمض فينيلبينزينيسولفونيك ٤)

❖ الموحدات (الثنائيات)

يمكن إزالة الهيدروجين من الجزيئات الفردية لمادة تيترافينيلبورفيرين[٢٠١] من خلال تطبيق الجهد الزائد إلى فيض من مجهر المسح النفقي[٩٧] ,هذه الإزالة تغير منحنى الجهد – التيار من جزيئات تيترافينيلبورفيرين، وتقاس باستخدام نفس طرف مجهر المسح النفقي. الموحدات الجزيئية تحاكى مثيلاتها من الأجزاء النظيرة، ولها بناء غير متماثل بحيث يقبل الجزيء الإلكترونات في أحد النهايات ولكن ليست فى النهاية الأخرى. الجزيئات لها إلكترون مانح[٢٠٢]

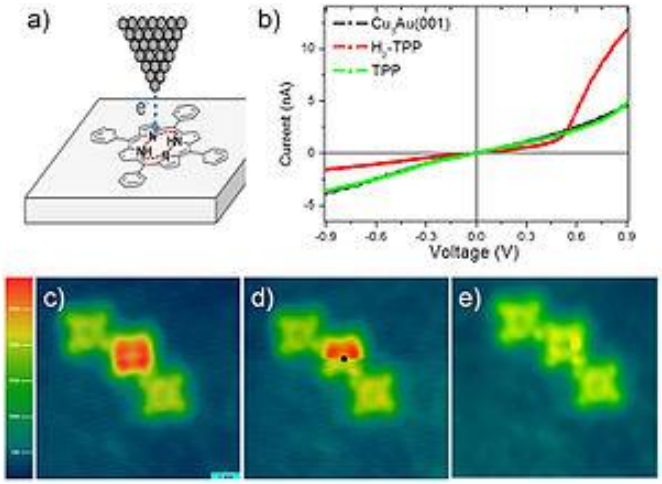
---

٢٠٠ حامض السلفونيك البوليستيرين PSS Polystyrene sulfonates are polymers derived from polystyrene but containingsulfonate functional groups. They used to remove ions such aspotassium, calcium and sodium from solutions in technical or medical applications.

٢٠١ تيترافينيلبورفيرين Tetraphenylporphyrin, abbreviated TPP or H_2TPP, is a synthetic heterocyclic compound that resembles naturally occurring porphyrins.

٢٠٢ إلكترون مانح An electron donor is a chemical entity that donates electrons to another compound. It is a reducing agent that, by virtue of its donating electrons, is itself oxidized in the process.

في أحد النهايات وإلكترون مستقبل[٢٠٣] فى النهاية الأخرى وبهذه الطريقة، تكون حالة الإلكترون المانح$^{+}$ والإلكترون المستقبل$^{-}$ غير مستقرة سوف تكون مصنعة بسهولة أكبر من الإلكترون المانح$^{-}$ والإلكترون المستقبل$^{+}$ ، والنتيجة بمكن استخلاص التيار الكهربائي من خلال الجزيء إذا تم إضافة الإلكترونات من خلال نهاية المستقبل ، ولكن ليس بهذه السهولة إذا ما تمت المحاولة فى الاتجاه المعاكس.



الشكل (٢ – ٥٠) الموحدات الثنائية

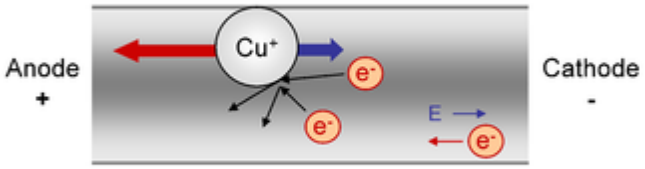
أحد أكبر المشاكل للقياس على الجزيئات الواحدة هي عمل وصلة اتصال كهربائي مع جزيء واحد فقط، وذلك دون قصر الأقطاب لأن التيار لتكنولوجيا **الطباعة التصويرية** غير قادر على إنتاج ثغرات قطب صغيرة بما يكفي لاتصال طرفي جزيئات تحت الإختبار (بقياس نانومتر) وتم وضع استراتيجيات بديلة للاستخدام. أحد الطرق لإنتاج الأقطاب لفجوة بالحجم الجزيئي هى بكسر الوصلات، يتمدد قطب رقيق حتى ينكسر. طريقة آخرى هى الهجرة الكهربية [٢٠٤]. بتوجيه تيار من خلال أسلاك رقيقة حتى يذوب وتهاجر الذرات لإنتاج هذه الفجوة وعلاوة على ذلك،

---

٢٠٣ إلكترون مستقبل An electron acceptor is a chemical entity that accepts electrons transferred to it from another compound. It is an oxidizing agent that, by virtue of its accepting electrons, is itself reduced in the process.[1] Electron acceptors are sometimes mistakenly called electron receptors.

٢٠٤ الهجرة الكهربية Electromigration is the transport of material caused by the gradual movement of the ions in a conductor due to themomentum transfer between conducting electrons and diffusing metal atoms.

وصول الطباعة التصويرية التقليدية يمكن أن يعزز بالإزالة كيميائيا أو بترسيب معدن على الأقطاب. ربما تكون أسهل طريقة لإجراء قياسات على عدة جزيئات هي استخدام فيض من مجهر المسح النفقي لملامسة الجزيئات والتقيد في الطرف الآخر إلى الركيزة المعدنية. وهناك طريقة شائعة لترسيخ الجزيئات إلى الأقطاب هو الاستفادة من الكبريت عالي الإنجذاب إلى الذهب .



الشكل (٢ – ٥١) الهجرة الكهربية بسبب نقل زخم الإلكترونات المتحركة في سلك

في هذه الاجهزة، تصنع الجزيئات بحيث يتم وضع ذرات الكبريت استراتيجيا لوظيفة مقطع التمساح[٢٠٥] الذي يربط الجزيئات إلى أقطاب الذهب وعلى الرغم من جودتها، فإن الرسو أو الترسيخ غير محدد ووضع الجزيئات بشكل عشوائي لجميع أسطح الذهب وعلاوة على ذلك، فإن مقاومة الاتصال تعتمد بشكل كبير على هندسة ذرية دقيقة حول موقع الرسو وبالتالي فإن إمكانية تكرار النتائج بطبيعتها توافقية.

الشكل (٢ – ٥٢) مقطع التمساح للتوصيل الكهربائي

٢٠٥ مقطع التمساح A crocodile clip (also alligator clip or spring clip[1]) is a sprung metal clip with long, serrated jaws which is used for creating a temporary electrical connection

للالتفاف على المسألة الأخيرة، أظهرت التجارب أن الفلورين يمكن أن يكون مرشحا جيدا للاستخدام بدلا من الكبريت بسبب كبر النظام المترافق الذي يمكن الاتصال كهربائيا بالعديد من الذرات في وقت واحد بالمقارنة لذرة واحدة من الكبريت. في البوليمرات[٢٠٦]، تتكون الجزيئات العضوية الكلاسيكية لكل من الكربون والهيدروجين (وأحيانا مركبات إضافية مثل النيتروجين والكلور أو الكبريت). يتم الحصول عليها من البترول (البنزين) وكثيرا ما يمكن تصنيعه بكميات كبيرة. معظم هذه الجزيئات عازلة عندما يتجاوز طولها بضعة نانومتر ومع ذلك، يحدث بشكل طبيعي الكربون الموصل ولا سيما الجرافيت الموصل (المستخرج من الفحم). من الناحية النظرية، الجرافيت هو شبه معدنى ، وهي فئة بين المعادن وأشباه الموصلات. هذه الفئة لها بنية طبقات، كل سطح منها بسمك ذرة واحدة بين كل سطح، التفاعلات ضعيفة بما فيه الكفاية للسماح بالتقسيم اليدوي. خياطة أسطح الجرافيت للحصول على معالم واضحة لكائنات بحجم نانومتر لا يزال يشكل تحديا ومع ذلك، قبل نهاية القرن العشرين، بحث الكيميائيين عن طرق لصنع أشياء صغيرة للغاية من الجرافيت التي يمكن إعتبارها الجزيئات الواحدة. بعد دراسة الإنقسام الداخلى الذى يعرف بموجبها الكربون لتكوين مجموعات، تمت تجربة تبخير الجرافيت باستخدام أشعة الليزر. كشف الطيف الكتلي أن المجموعات تحتوي على "أرقام سحرية" محددة من ذرات كانت مستقرة، على وجه الخصوص تلك المجموعات المكونة من ٦٠ ذرة , بعد ذلك ، تم إقتراح تكوين هندسى ممكن لهذه المجموعات – الذرات المرتبطة تساهميا مع التماثل الدقيق بالضبط والإبقاء على كتل بعض الخصائص من الجرافيت، مثل التوصيل وتصور هذه الكائنات بسرعة لبنات البناء الممكنة للإلكترونيات الجزيئية. عند محاولة قياس الخصائص الإلكترونية للجزيئات، يمكن حدوث ظواهر اصطناعية من الصعب تمييزها عن السلوك الجزيئي وقد نشر عن طريق الخطأ الميزات المتعلقة بالجزيئات. بتطبيق جهد كهربائى في حدود عدة فولت عبر وصلات بحجم نانومتر نتج مجال كهربائي قوي جدا تسبب فى هجرة ذرات

---

٢٠٦ البوليمرات A polymer is a large molecule, or macromolecule, composed of many repeated subunits. Because of their broad range of properties,[4] both synthetic and natural polymers play an essential and ubiquitous role in everyday life.

المعدن وبالتالى إغلاق الفجوة بخيط رقيق، والذي يمكن كسره مرة أخرى عندما يحمل تيار. مستويين الموصلية تقليد للتحول الجزيئي بين موصل والحالة العازلة للجزيء. مثال آخر – عندما تخضع الأقطاب لتفاعلات كيميائية بسبب شدة المجال في الفجوة يتم عكس التحيز الكهربائى الذى يؤدي الى التباطؤ في القياسات والتي يمكن أن تفسر على أنها من أصل الجزيئي. لو تم وضع حبة معدنية بين الأقطاب يمكن أن تكون بمثابة الترانزستور الإلكترون الواحد من خلال الآلية المذكورة أعلاه وبالتالي تشبه خصائص الترانزستور الجزيئي. هذه الأداة شائعة خصوصا مع فجوات النانو التي تنتجها تقنية الهجرة الكهربية. أحد أكبر العوائق لإلكترونيات الجزيء الواحد استغلالها تجاريا وهو عدم وجود تقنيات لتوصيل دائرة جزيئية الحجم لأقطاب معدنية أكبر بطريقة تعطي نتائج قابلة للتكرار. في الحالة الراهنة، صعوبة ربط الجزيئات الواحدة إلى حد كبير يفوق أي زيادة في الأداء المحتمل الذى يمكن الحصول عليه من هذا التصغيروبالتالى تصبح الصورة أكثر سوءا إذا كانت الجزيئات لها التوجه المكاني المعين و / أو لها أقطاب متعددة للاتصال وأيضا إشكالية أن بعض القياسات تتم على جزيئات واحدة في درجات الحرارة المبردة (قريبة من الصفر المطلق)، والمستهلكة للطاقة ويتم ذلك للحد من إشارة الضوضاء كافية لقياس التيارات الضعيفة من الجزيئات الواحدة.

٢ – ١٠ النانو أيونية [٢٠٧]

هى دراسة وتطبيق الظواهر والخصائص حيث أن الآثار وآليات العمليات مرتبطة بنقل أيون[٢٠٨] سريع في كل الحالة الصلبة للنظم النانومترية الحجم وتشمل الموضوعات التي تهم الخصائص الأساسية من أكسيد السيراميك في جداول طول نانومتر، وموصل أيون

---

٢٠٧ النانو أيونية Nanoionics is the study and application of phenomena, properties, effects and mechanisms of processes connected with fast ion transport (FIT) in all-solid-state nanoscale systems.

٢٠٨ أيون An ion is an atom or a molecule in which the total number of electrons is not equal to the total number ofprotons, giving the atom or molecule a net positive or negative electrical charge. Ions created, by chemical or physical means, via ionization.

سريع[٢٠٩] (موصل سوبيريونيك متقدم[٢١٠]) والموصلات الإلكترونية ذات المزيج المتعدد من طبقات الوصلات[٢١١] التطبيقات المحتملة في الأجهزة الكهروكيميائية (العناصر مزدوجة الطبقة الكهربائية[٢١٢]) لتحويل وتخزين الطاقة ، والشحنات والمعلومات. تم إدخال مصطلح ومفهوم نانو أيونيك (كفرع جديد من العلم) لأول مرة فى العام ١٩٩٢ .

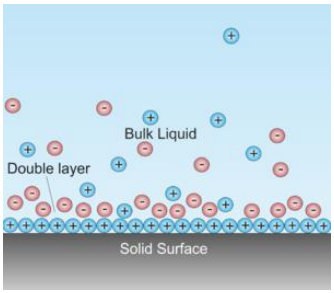
---

٢٠٩ موصل أيون سريع. Fast ion conductors are solids in which ions are highly mobile. These materials are important in solid-state ionics, and are also known as solid electrolytes and superionic conductors.

٢١٠ موصل سوبيريونيك متقدم Advanced superionic conductors (AdSIC) are fast ion conductors that have a crystal structure close to optimal for fast ion transport (FIT). The rigid ion sublattice of AdSIC has structure channels where mobile ions of opposite sign migrate.

٢١١ المزيج المتعدد من طبقات الوصلات Heterojunction is the interface that occurs between two layers or regions of dissimilar crystalline semiconductors. These semiconducting materials have unequal band gaps as opposed to a homojunction. It is often advantageous to engineer the electronic energy bands in many solid-state device applications including semiconductor lasers, solar cells and transistors ("heterotransistors") to name a few. combination of multiple heterojunctions in a device is called anheterostructure although the two terms are commonly used interchangeably.

٢١٢ العناصر مزدوجة الطبقة الكهربائية double layer (DL, electrical double layer, EDL) is structure that appears on the surface of an object when it is exposed to a fluid. The object might be a solid particle, a gas bubble, a liquid droplet, or a porous body. The DL refers to two parallel layers of charge surrounding the object. The first layer, the surface charge (either positive or negative), comprises ions adsorbed onto the object due to chemical interactions. The second layer is composed of ions attracted to the surface charge via the Coulomb force, electrically screening the first layer. This second layer is loosely associated with the object. It is made of free ions that move in the fluid under the influence of electric attraction and thermal motion rather than being firmly anchored. It is thus called the "diffuse layer".



الشكل (٢ – ٥٣) تخطيط لطبقة مزدوجة لسائل على مادة صلبة مشحونة سلبا.

المجال العلمي والصناعي متعدد التخصصات للحالة الصلبة الأيونية [٢١٣]، والتعامل مع ظواهر النقل الأيونية في المواد الصلبة، ويعتبر مجال النانو أيونيك كما لو كان تقسيم جديد. محاولة وصف النانو أيونيك، على سبيل المثال، الإنتشار والتفاعلات العكسية وردود الفعل هى الشروط في المقياس النانوي، على سبيل المثال، في مصطلحات ذات المعنى فقط (في مقياس النانو) هى مناظرة الجهد. هناك نوعان من نظم نانو الحالة الصلبة الأيونية[٢١٤] ونوعين مختلفين اختلافا جوهريا: الأول نظم النانو على أساس المواد الصلبة ذات الموصلية الأيونية المنخفضة ، و(الثاني) نظم النانو على أساس الموصلات السوبر أيونيك المتقدمة (مثل ألفا يوديد الفضة[٢١٥] وهو مركب غير عضوي ، ومجموعة الروبيديوم

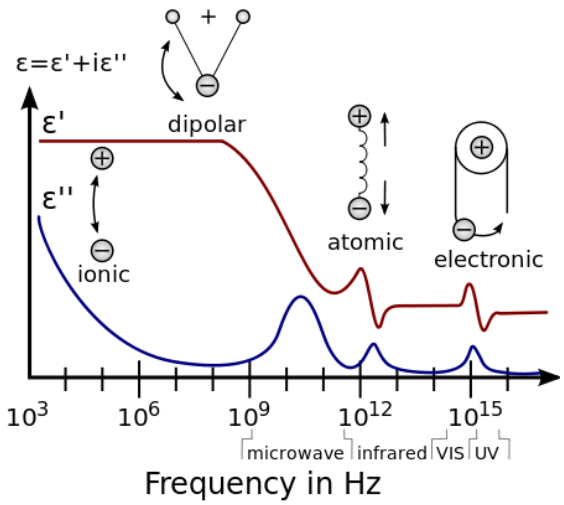
---

٢١٣ للحالة الصلبة الأيونية. Solid-state ionics is the study of solid electrolytes and their uses. Some materials that fall into this category include inorganic crystalline and polycrystalline solids, ceramics, glasses, polymers, and composites. Solid-state ionic devices, such as solid oxide fuel cells can be much more reliable and long-lasting, especially under harsh conditions, than comparable devices with fluid electrolytes.

٢١٤ نظم نانو الحالة الصلبة الأيونية The Technology Roadmap for Productive Nanosystems defines "productive nanosystems" as functional nanometer-scale systems that make atomically-specified structures and devices structures and devices under programmatic control, i.e. they perform manufacturing to atomic precision.Such devices are presently only hypothetical

٢١٥ ألفا يوديد الفضة. Silver iodide is an inorganic compound with the formula AgI. The compound is a bright yellow solid, but samples almost always contain impurities of metallic silver that give a gray coloration. The silver contamination arises because AgI is highly photosensitive

يوديد الفضة[٢١٦]). تختلف النظم الأيونية الأولى والثانية عن بعضها البعض في تصميم الواجهات. دور الحدود في النظم الأيونية الأولى هو تهيئة الظروف لتركيزات عالية من عيوب مشحونة فى بنية المادة (الشواغر والزوائد)[٢١٧] في الطبقة المفرغة ولكن في النظم الأيونية الثانية ، فمن الضروري الحفاظ على الهياكل البلورية الأصلية عالية التوصيل الأيوني للموصلات السوبر أيونيك المتقدمة بالترتيب (المطابقة للشعرية) حدود الطبقات يمكن أن يعزز النظام الأيوني الأول إلى حد كبير (يصل إلى ١٠ ^{٨} مرات) موصلية النظام الأيوني الثانى في المواد ذات البنية النانومترية المتماسكة هيكليا، لكنها تبقى ١٠ ^{٣} مرات أصغر نسبيا من الموصلية الأيونية للموصلات السوبرأيونيك المتقدمة .



الشكل (٢ – ٥٤) طيف سماحية عازل على نطاق واسع من الترددات. يتم عرض أجزاء السماحية الحقيقية والتخيلية، وهي تصور لمختلف العمليات: الاسترخاء الأيونية والحلقيه، والاصداء الذرية والإلكترونية في طاقات الأعلى.

---

٢١٦ الروبيديوم يوديد الفضة Rubidium silver iodide is a ternary inorganic compound with the formula $RbAg_4I_5$. It is an unusual solid where the conductivity involves movement of silver ions within the crystal lattice. It was discovered while searching for chemicals which had the ionic conductivity properties of alpha-phase silver iodide at temperatures below the 146 °C for AgI

٢١٧ عيوب مشحونة فى بنية المادة (الشواغر والزوائد)

Charged defects (vacancies and interstitials) in a disordered space-charge layer.

تستند النظرية الكلاسيكية للإنتشار والهجرة في المواد الصلبة على فكرة وجود معامل انتشار، طاقة التنشيط وجهد الكهروكيميائية وهذا يعني القبول بصورة إنتقال الأيون في ساحة الجهد حيث تكون كل الحواجز بنفس الارتفاع (الجهد المنتظم) وعلى الرغم من الإختلاف الواضح لأجسام الحالة الصلبة الأيونية والنظم الأيونية الأولى والثانية ، والمشكلة الجديدة الحقيقية لنقل أيون سريع وشحن وتخزين الطاقة أو تحويلها لهذه الأجسام (موصلات الأيون السريع) لها أساس مشترك : الجهد الغير منتظم على مقياس النانو على سبيل المثال الذي يحدد طبيعة استجابة النظام الفرعى للأيون المتحرك الى نبضة أو للتأثير الخارجي المتناسق ، على سبيل المثال تأثير ضعيف في التحليل الطيفي العازل (المقاومة الطيفية)[٢١٨]

❖ الأجهزة النانو أيونية

إستخدام محركات الأقراص الصلبة لتكنولوجيا النانو أيونية تسمح للأجهزة صغيرة الحجم التخلص من الأجزاء والأعطال المتحركة والميكانيكية التي ترتبط مع محركات الأقراص الصلبة السابقة, محركات الأقراص الصلبة الأيونية حاليا هى أفضل محركات الأقراص فنيا في السوق ولم تستخدم تكنولوجيا النانو أيونيك في محركات الأقراص الصلبة حتى فبراير ٢٠١٤ ٠ أقترحت أجهزة النانوأيونيك في عام ١٩٩٢: أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أنه من الممكن تشكيل المصفوفات من أجهزة الكهروكيميائية مع عنصر واحد حجمة حوالى ١٠ نانومتر في الأفلام . أساس تصميم أجهزة النانوأيونيك هو تخليق هياكل النانو بمعامل النانوأيونيك بالمعادلة حجم منطقة معينة مقسوم على حجم هيكل الجهاز يساوى تقريبا واحد [٢١٩]، حيث

---

٢١٨ التحليل الطيفي العازل (المقاومة الطيفية) impedance Dielectric spectroscopy (sometimes called impedance spectroscopy), and also known aselectrochemical impedance spectroscopy (EIS), measures thedielectric properties of a medium as a function offrequency. It is based on the interaction of an external field with the electric dipole moment of the sample, often expressed bypermittivity.

٢١٩ بمعامل النانوأيونيك بالمعادلة حجم منطقة معينة مقسوم على حجم هيكل الجهاز يساوى تقريبا واحد

the creation of nanostructures with nanoionic parameter $\lambda / L \sim 1$, where L is the size of device structure, and λ is the characteristic size of specific region

يتم تحقيق خاصية النقل الأيوني السريع. الإمكانيات للتأثير على هذه المناطق المحددة < حجم منطقة معينة > بطريقة يمكن السيطرة عليها قد تظهر في أجهزة قصيرة الحجم. يجب مراعاة الأجهزة الأيونية والأجهزة الهجينة الإلكترونية كخطوة على الطريق إلى مستقبل النانو إلكترونيات– والنانو أيونية (نانو اليونيك) [٢٢٠] السابق إقتراحها في عام ١٩٩٦.

تم تصنيع أول قرص صلب[٢٢١] في عام ١٩٥٦ من قبل شركة آي بي إم . قيمته ما تقارب ٢٠٠٠ جنيه وسعته فقط خمسة ميجا بايت. وكان طوله ٦٠ بوصة، وعرضة ٢٩ بوصة وتم إستخدامه فى جهاز كمبيوتر راماك ٣٠٥ [٢٢٢] وهو أول كمبيوتر يستخدم محركات الأقراص الصلبة. منذ عام ١٩٥٦ مبدأ تخزين المعلومات عن طريق المجالات المغناطيسية لم يتغير كثيرا ومع تقدم الوقت كانت محركات الأقراص الصلبة قادرة على تخزين المزيد من المعلومات وأصبحت أصغر بكثير، ولكن الأجزاء المتحركة التي تستخدم في محركات الأقراص الصلبة لم تتغير حتى بدأت تقنيات النانو أيونية لاستخدامها في محركات الأقراص الصلبة. في عام ١٩٧٦ أول عناصر الحالة الصلبة ويمكنه تخزين ما يصل إلى ٢ ميجابايت ولم يشيع إستخدامه حتى عام ٢٠٠١ عندما وصل إستثماره ٢٥ مليون دولار في السنة، وكان السبب في هذا النمو البطيء إرتفاع ثمن محرك أقراص الحالة الصلبة . فى العام ١٩٩٦ كان أول مكثف سوبر نانو أيونيك [٢٢٣] يستخدم تقنيات النانو أيونيك الذي إستخدم فى محرك الأقراص

---

٢٢٠ (نانو اليونيك) of close intersection of nanoelectronics and nanoionics can be called nanoelionics. Now, the vision of future nanoelectronics constrained solely by fundamental

٢٢١ أول قرص صلب A hard disk drive (HDD), hard disk, hard drive orfixed disk is a data storage device used for storing and retrieving digital information using one or more rigid rapidly rotating disks (platters) coated with magnetic material. The platters are paired withmagnetic heads arranged on a moving actuator arm, which read and write data to the platter surfaces.

٢٢٢ كمبيوتر راماك ٣٠٥ IBM 305 RAMAC,the first commercial computer to use a hard disk drive 305, an area code and nickname for Miami 305 (film), 758 bytes (100 words) –

٢٢٣ مكثف سوبر نانو أيونيك Nanoionic supercapacitors belong to new class of nanoionic

الأول الذي إستخدم هذه التكنولوجيا وأستخدمت هذه التكنولوجيا بعد ذلك في جامعات متعددة في جميع أنحاء العالم، ولكن لم تصبح متوفرة بسبب حظر الانتشار النووي حتى فبراير ٢٠١٤. محركات الأقراص الصلبة التقليدية تعمل على الأجزاء الميكانيكية، والتى تستخدم قرص دائم لتخزين البيانات الشخصية الخاصة وعادة يبلغ قطر محركات الأقراص الصلبة ١٠ سنتيمترا وسمكها سنتيمتر واحد. تستخدم الأقراص تقنيات تسجيل مغناطيسية[٢٢٤] ويمكن للمستخدمين لهذه التقنية، التلاعب بالبيانات أي إضافة أو نسخ، قص أو لصق بيانات عليها من خلال هذه التقنية. يستخدم مبدأ الفيض المغناطيسي[٢٢٥] لمثل هذه العمليات. في الأساس يتذكر القرص الصلب البيانات التي يشتملها، وكيفية التعامل معها وفقا لتفضيل المستخدم بتذكر أنماط التدفق وتحتوي معظم محركات الأقراص الصلبة على أجزاء معينة:

- غلاف القرص على شكل مستطيل (الجزء الرئيسي من محرك الأقراص) الذي يحتوي على جميع العناصر مرتبطة معا.
- المغزل الدوار – هذا المكون يحمل أنماط المغناطيسية معا وهو المسؤول عن دوران طبق القرص عند الحاجة.

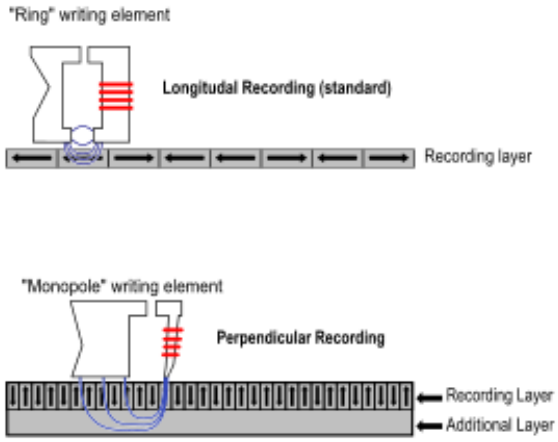
---

devices, i.e. devices operating due to fast ion transport at nano-scale. An example of such a device is a nanoionic switch with quantum conductance. All solid state micrometre sized supercapacitors; based on advanced superionic conductors i.e. nanoionic supercapacitors, have of late gained recognition as critical electron components of future sub-voltage and deep sub-voltage nanoelectronics and related technologies.

٢٢٤ تقنيات تسجيل مغناطيسية Magnetic storage or magnetic recording is the storage of data on amagnetised medium. Magnetic storage uses different patterns of magnetisation in a magnetisable material to store data and is a form of non-volatile memory. The information is accessed using one or moreread/write heads.

٢٢٥ الفيض المغناطيسي Electromagnetism, the magnetic flux (denoted Φ orΦ_B) through a surface is the surface integral of the normal component of the magnetic field B passing through that surface. The SI unit of magnetic flux is theweber (Wb) (volt-seconds), and the CGS unit is the maxwell. Magnetic flux is usually measured with a fluxmeter, which contains measuring coils and electronics, that evaluates the change of voltage in the measuring coils to calculate the magnetic flux.

- **ذراع قراءة / كتابة – هذا المكون يمثل الملاح ويتنقل من خلال أنماط المغناطيسية للبحث عن بيانات معينة.**
- **طبق القرص**[٢٢٦] **– هو القرص الفعلي حيث يتم تسجيل بيانات المستخدم عليه ويتكون من أنماط تسمح بتنقل الكمبيوتر من خلال البيانات باستخدام مبدأ الفيض المغناطيسي.**



الشكل (٢ – ٥٥) التسجيل الطولي والتسجيل العمودي، وهناك نوعان من رؤوس الكتابة على القرص

الشكل (٢ – ٥٦) القرص الثابت مع اسطوانة

يعتبر محرك الأقراص من عناصر الحالة الصلبة في المستقبل لتخزين البيانات ، وهي التكنولوجيا المتاحة مؤخرا للمستهلكين ولكنها مكلفة وهي أصغر بكثير. بيانات هذه المحركات بشكل ثابت أكثر أمنا. هذه الأقراص لا تنطوي على مبادئ المغناطيسية وتستخدم أشباه

---

٢٢٦ طبق القرص **A hard disk drive platter (or disk) is the circular disk on which magnetic data is stored in a hard disk drive. The rigid nature of the platters in a hard drive is what gives them their name (as opposed to the flexible materials which are used to make floppy disks). Hard drives typically have several platters which are mounted on the same spindle. A platter can store information on both sides, requiring two heads per platter.**

الموصلات لتخزين البيانات على عكس طبق القرص المستخدمة في الأقراص الصلبة وهى أساس استخدام مبدأ محرك أقراص وحدة التخزين (فلاش) وهى لا تشتمل أجزاء ميكانيكية فعلية، عادة ما يشار إلى بيانات الأقراص الصلبة إلى ذاكرة مؤقته ، وهذا يعني في الواقع عندما يفقد الكمبيوتر الطاقة، يتم فقدان كافة الذاكرة. ومع ذلك، في حالة محركات أقراص الحالة الصلبة ، وهناك رقائق التي توفر ذاكرة غير متطايرة[٢٢٧] بمعنى أن البيانات يتم تخزينها حتى عندما يكون هناك فقدان الطاقة مع الجهاز. تعتمد أجهزة النانو أيونيك على أساسيات الكيمياء الكهربائية . حاليا تصنع محركات الأقراص الصلبة من المواد الصلبة قليلة الوزن وتوليد المزيد من الطاقة؛ المواد الصلبة لها أحد الأقطاب للأيونات التي تتحرك. الأيونات هي التى صنعت الأقطاب والأقطاب الكهربائية هي المكونات الرئيسية في أجهزة النانو أيونيك, تلك الأقطاب يمكن تصنيعها من ثانى أكسيد الزركيوم وهو معدن مغلف بمواد مثل أكسيد لانثيوم نيكل – أكسيد لانثيوم نحاس أو أكسيد بتيمون فانديوم[٢٢٨] ,حيث "المعدن" هو أي معدن موجود في مجموعة الانتقال المعدنية[٢٢٩] مثل النحاس. تصنع أجهزة النانو أيونيك من عناصر أصغر متباعدة بأقل من عشر نانومتر ، نظرا لصغر مسافات التباعد بين المواد في الجهاز النانو أيونيك فإن الأيونات الصغيرة لازمة فى المسار. المعادن في المجموعة

---

٢٢٧ ذاكرة غير متطايرة Non-volatile memory, nonvolatile memory, NVM or non-volatile storage is a type of computer memory that can retrieve stored information even after having been power cycled (turned off and back on). Examples of non-volatile memory include read-only memory, flash memory, ferroelectric RAM (F-RAM), most types of magnetic computer storage devices (e.g. hard disk drives, floppy disks, and magnetic tape), optical discs, and early computer storage methods such aspaper tape and punched cards.

٢٢٨ الأقطاب يمكن تصنيعها من ثانى أكسيد الزركيوم وهو معدن مغلف بمواد مثل أكسيد لانثيوم نيكل – أكسيد لانثيوم نحاس أو أكسيد بتيمون فانديوم Those electrodes can be made out of ZrO_2, a metal which is coated in La_2NiO_4/La_2CuO_4, or $Bi_{10}V_4(metal)O_{26}$.

٢٢٩ الانتقال المعدنية Many scientists describe a "transition metal" as any element in the d-block of the periodic table, which includes groups 3 to 12 on the periodic table. In actual practice, the f-block lanthanide and actinide series are also considered transition metals and are called "inner transition metals".

الأولى من الجدول الدوري هي صغيرة، لكنها شديدة التفاعل ولذلك يجب أن يكون هناك حلا وسطا بين تفاعل المواد الكيميائية والحجم وهذا هو السبب في مواد مثل النحاس أو الفضة تلبي احتياجات محركات الأقراص النانو أيونيك. في جهاز النانو أيونيك سيكون هناك زجاج تشالكوجينيدي[٢٣٠] لديه المعادن مثل الذهب وعناصر المجموعة السادسة التي غرست في الزجاج، هذا الزجاج الكهربائي هو الأقطاب للنانو أيونيك. في تفاعلات تفقد الفضة الإلكترون ويحدث التفاعل فقط عندما يتأكد حدوث التبديل ، تستخدم هذه كمفاتيح لتخزين المعلومات الثنائية. تخزين المعلومات الثنائية حيث يتم حفظ كافة البيانات الموجودة على القرص الصلب وكل هذا يعتمد على تيار صغير من الأيونات، للسماح بحدوث التفاعل. جميع مكونات مفتاح التبديل معدنية، وصلبة تعمل معا لتحدث ظاهرة النانو أيونيك بشكل صحيح. وحيث أن الأجهزة النانو أيونيك تعتبر التكنولوجيا الجديدة، إلا أنها تفتقر إلى سعة ذاكرة . تستغرق المحركات الأصغر شحنات أقل لتغيير الشوارد أو الأملاح الصلبة في الحالة الغير مستقرة [٢٣١]. الحجم الأصغر لتكون الأجهزة النانو أيونيك هو السبيل الوحيد لأن تكون قابلة للتنفيذ مع التكنولوجيا اليوم حيث تحتاج إلى انخفاض في المقاومة ويمكن أن تعقد الأحجام الأصغر الكثير من الذاكرة، ولا تزال تعمل في الكمبيوتر .

---

٢٣٠ زجاج تشالكوجينيدي Chalcogenide glassis a glass containing one or more chalcogens (sulfur, selenium andtellurium, but excluding oxygen). Such glasses are covalently bonded materials and may be classified as covalent network solids. Polonium is also a chalcogen but is not used because of its strong radioactivity.

٢٣١ الحالة الغير مستقرة Volatility is the tendency of a substance to vaporize. Volatility is directly related to a substance's vapor pressure. At a given temperature, a substance with higher vapor pressure vaporizes more readily than a substance with a lower vapor pressure.The term is primarily written to be applied to liquids; however, it may be used to describe the process of sublimation which is associated with solid substances, such as dry ice (solid carbon dioxide) and osmium tetroxide (OsO_4), which can change directly from the solid state to a vapor, without becoming liquid.

٢ – ١١ تطور مواد النانو فى المجال الطبى

أثبتت تكنولوجيا النانو مرة أخرى جدارتها فى المجال الطبى حيث أبتكرت مراهم لدهن جلد الإنسان لإزالة كل البكتريا التى لا يمكن قتلها بواسطة المضادات الحيوية والأدوية الموجودة وقادت البحوث الجديدة الى إكتشاف مضاد ميكروبي يمكن حقنه مباشرة فى الجسم لقتل البكتريا القوية وأستخدمت أسس تصنيع أشباه الموصلات لتصنيع المضاد الميكروبى.

المنتج المتطور يشتمل على مميزات طبيعية مثل المغناطيس تنجذب الى البكتريا مثل المكونات العنقودية المقاومة للمثلين المذهبة [٢٣٢] ولا تنجذب الى الخلايا السليمة داخل الجسم وبالتالى يمكن إنتقاء الميكروبات الضارة وتدميرها. البكتريا العنقودية المقاومة للمثلين المذهبة شائعة جدا فى الأماكن المزدحمة مثل المدارس والمكاتب والمستشفيات ومن الصعب تتبعها ويصعب تدميرها بشكل دائم بمساعدة المضادات الحيوية والمستحضرات الدوائية وحتى يمكن تدميرها تحتاج الى الى تناول جرعات عالية من المضادات الحيوية إلا أن لها آثار جانبية غير مرغوب فيها للمريض وقد أثبتت التقارير أن ما يقرب من وفاة مليون شخص سنويا بسبب عدوى البكتريا العنقودية المقاومة للمثلين المذهبة.

الشكل (٢ – ٥٧) جسيمات متناهية الصغر فى تكوين الوشم

أكبر ميزة للمواد النانوية أنه يمكنها إقتحام غشاء الخلية وتدمير البكتريا مباشرة ووفقا الى البحوث المنشورة أن عدد البكتريا الموجودة فى كف الإنسان أكبر من مجموع عدد السكان

---

٢٣٢ المكونات العنقودية المقاومة للمثلين المذهبة Antibiotic bleomycin. Vancomycin is used if infection with methicillin- resistantStaphylococcus aureus (MRSA) is suspected. Some members of this class of drugs

ومن خلال هذا الإختراع فإن البحث لآلية إيصال الأدوية الدقيقة وصلت إلى نهايتها. إذا نجحت الأبحاث بعد إختبارها والأثار الجانبية للمضاد على الجسم سيكون هناك مستقبل عند خلط هذه المواد مع المستحضرات الطبية والصابون ومزيلات العرق وأيضا عن طريق الحقن كما يمكن أن تثبت فاعليتها لشفاء الجروح الداخلية وإلتهابات الرئة. الجسيمات المتناهية الصغر القائمة على الوشم فى المساعدة في تشخيص الأمراض المزمنة. سيأتى الوقت عندما يتم تحديث الحالة الطبية للمريض ولكن لإستكمال العمل يجب وجود جهاز يرتديه الشخص لمتابعة الإختلالات الكيميائية فى الجسم والأمراض المزمنة ومرض السكري ومعدل ضربات القلب، ومستويات الجلوكوز. تم إكتشاف نوع جديد من الوشم متضمن جسيمات نانووية. الوشم متصل بمواد موصلة أو فلورية مما يجعل التشخيص أسهل بكثير لخفة وزنة وصغر حجم الوشم. تطور إنتاج وشم بجسيمات متناهية الصغر وغير مرئية لها خاصية الاستشعاع فى الضوء. مع هذا الوشم على الجلد قادر على تتبع الصوديوم ومستويات الجلوكوز فى الدم، تتكون الجسيمات المتناهية الصغر عرضها ١٢٠ نانو متر مخلوطة بصبغة فلورسنتية ومستشعرات جزيئية المتصلة ببعض المواد الكيميائية الخاصة. يتكون الضوء المستخدم لإنتاج الخاصية الفلورسنتية بإضافة مرشح على جهاز موبايل [٢٣٣]. يزيد عدد الجزيئات للحصول على ومضات فلورسنت قوية ويتم إلتقاط صورة من الومضات عن طريق كاميرا المحمول وبحساب مستويات العلامات البيولوجية وتحليلها من خلال جهاز كمبيوتر وهناك بحوث حتى يمكن أن لجهاز المحمول قادر على قراءة النتائج. إذا تم تطوير هذه التقنية بشكل صحيح لن يكون هناك داعي للحقن لسحب عينات الدم والإختبارات المرتفعة القيمة حيث أن الوشم مؤلم يحاول الباحثون تحويل نفس التقنية الى زرعها فى الجلد بطريقة بسيطة.

---

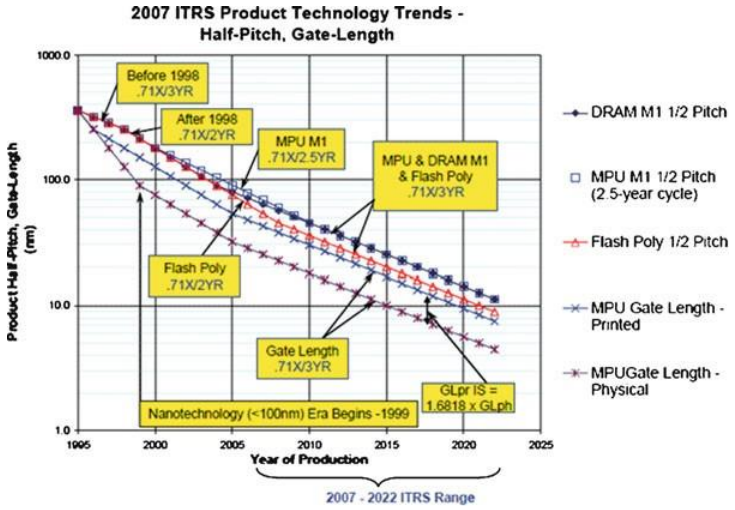
٢٣٣ جهاز موبايل.iPhone is a line of smartphones designed and marketed by Apple Inc. They run Apple's iOS mobile operating system. The first generation iPhone was released on June 29, 2007; the most recent iPhone model is the iPhone 7, which was unveiled at a special event on September 7, 2016

٢ – ١٢ الطائرات ومواد النانو

كما سبق توضيح أن المواد النانوية خفيفة الوزن وقوية وطويلة الأمد بالمقارنة بالمواد الأخرى. أختبرت هذه المميزات بإحلال الجسم الألومنيوم للطائرات بمواد مركبة منها المواد النانوية والأنابيب الجزيئية الكربونية المركبة وحيث أن المواد المركبة أقل وزنا فإن وزن جسم الطائرة يقل الى النصف مما يساعد فى الحد من إستهلاك وقود الطائرة. ميزة أخرى حول التغير فى الشكل عند التعرض لحادث، يحدث تغير فى شكل الطائرة المصنوعة من الألمنيوم عندما تصطدم بحاجز والذي يتسبب فى أضرار خطيرة داخلية ولكن عندما تصطدم الطائرة المصنوعة من مواد مركبة بحاجز أولاً سوف يتشوه جسم الطائرة وفجأة تسترجع شكلها الأصلى. يحاول الباحثون تفعيل عدة تجارب لمعرفة مدى صمود المواد ويشمل أحد الإختبارات كمية نقل الحرارة الناشئة من مواد جسم الطائرة ولتنفيذ ذلك تم الإستعانة بأنظمة إنتاج الحرارة الكبيرة لعديد من أجزاء الطائرة. تم تطبيق كمية حرارة عالية وتحديد التغيرات الناشئة بواسطة كميرات حرارية حساسة. التكلفة لمثل هذه التجربة مرتفعة حيث يتطلب معدات ضخمة ومعقدة. إذا تضمنت المواد المركبة المصتع منها جسم الطائرة أنابيب كربون نانوية تتغير إستجابة المواد للحرارة جوهريا حيث أن مرور تيار كهربائى صغير سوف يسبب إرتفاع كبير فى درجات حرارة الأنابيب الكربونية النانوية. أي أضرار داخلية لا تزال تغيير تدفق الحرارة، والتى يمكن إلتقاطها بواسطة الكاميرات الحرارية. إذا نجحت التجربة يمكن تصنيع الطائرات كليا من مواد جديدة مع أداء وأمان أفضل.

٢ – ١٣ تطور الكترونيات النانو

نمت صناعة أشباه الموصلات نمو أسي مذهل في عدد الترانزستورات لكل دائرة متكاملة لعدة عقود، كما تنبأ قانون مور. يوضح الشكل (٢ – ٥٨) التوقعات باتجاه التكنولوجيا المستقبلية كما جاء في خريطة الطريق الدولية لأشباه الموصلات [٢٣٤].



الشكل (٢ – ٥٨) اتجاه التكنولوجيا المستقبلية كما جاء في خريطة الطريق الدولية لأشباه الموصلات

الجدول (٢ – ٢) الحلول الإنتاجية المتوقعة الغير معروفة بعد العام ٢٠١٦

Year of Production	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
DRAM ½ pitch (nm) (contacted)	22	20	18	16	14	13	11
DRAM and Flash							
DRAM ½ pitch (nm)	23	20	18	16	14	13	11
Flash ½ pitch (nm) (un-contacted poly)	18	16	14	13	11	10	9
Contact in resist (nm)	25	22	20	18	16	14	12
Contact after etch (nm)	23	20	18	16	14	13	11
Overlay [A] (3 sigma) (nm)	4.5	4.0	3.6	3.2	2.8	2.5	2.3
CD control (3 sigma) (nm) [B]	1.9	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.9

بحلول عام ٢٠٢٣، يتوقع ان ينخفض طول بوابة الترانزستورات إلى ٤,٥ نانو متر. في المستقبل يمكن أن تتناقص طول بوابة الترانزستورات إلى ١,٥ نانومتر مع سرعة تبديل ٠,٤ بيكو ثانية واستهلاك طاقة يصل الى ٠,٠١٧ الكترون فولت. ومع ذلك، الحفاظ على معدل نمو أسي لتكنولوجيات المستقبل تحديا كبيرا حيث أن الأبعاد المادية والقيود الالكتروستاتيكية

٢٣٤ خريطة الطريق الدولية لأشباه الموصلات (ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors

التي تواجهها التكنولوجيات العملية والتصنيع التقليدية سوف ترجح إحباط تحجيم أبعاد ترانزستورات أشباه الموصلات المعدنية المؤكسدة التكميلية (م أ ش ت) [٢٣٥] خلال العقد القادم. يوضح الجدول (٢ – ٢) المستمد من خريطة الطريق الدولية لأشباه الموصلات عدم وضوح الحلول الإنتاجية بعد العام ٢٠١٦ (المساحة المهشرة في الشكل).

الشكل (٢ – ٥٩) رسم تخطيطي يظهر أن أنبوب نانو من الكربون هو أساسا طوى الجرافين

اقترحت هياكل عناصر جديدة للجيل المقبل من التكنولوجيا لتوسيع نطاق التكنولوجيا في المستقبل، الأكثر تبشيرا بالنجاح حتى الآن الترانزستورات مؤثرة المجال المستندة الى تقنية أنابيب نانو من الكربون (ت م م ك ن) [٢٣٦]، الترانزستورات مؤثرة المجال ذو بوابة قطب كهربائي [٢٣٧]، الترانزستورات مؤثرة المجال المستندة الى تقنية أسلاك نانو [٢٣٨]، العناصر

---

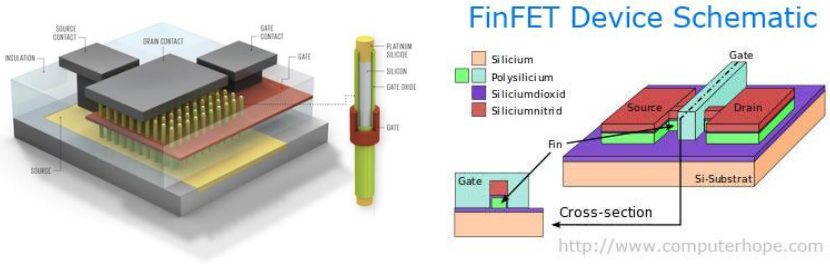
٢٣٥ ترانزستورات أشباه الموصلات المعدنية المؤكسدة التكميلية (م أ ش ت)
complementary metal–oxide–semiconductor (CMOS) devices

٢٣٦ الترانزستورات مؤثرة المجال من أنبوب نانو من الكربون (ت م م ك ن)
carbon nanotube field–effect transistors (CNFETs), FinFETs

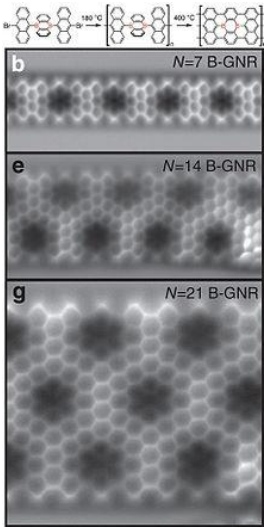
٢٣٧ الترانزستورات مؤثرة المجال بوابة قطب كهربائي,FinFET, also known as Fin Field Effect Transistor
is a type of non–planar or "3D" transistor used in the design of modern processors. As in earlier, planar designs, it is built on an SOI (silicon on insulator) substrate. However, FinFET designs also use a conducting channel that rises above the level of the insulator, creating a thin silicon structure, shaped like a fin, which is called a gate electrode. This fin–shaped electrode allows multiple gates to operate on a single transistor.

٢٣٨ الترانزستورات مؤثرة المجال بأسلاك نانو A nanowire is a nanostructure, with the diameter of the of order a nanometer (10^{-9} meters). It can also be defined as the ratio of the length to width being greater than 1000. Alternatively, nanowires can be defined as structures that have a thickness or diameter constrained to tens of nanometers or less and an unconstrained length.

المستندة إلى مركبات العمود الثالث والخامس، وأربطة نانو من الجرافين [٢٣٩]، ثنائيات النفق الرنانة [٢٤٠] وعناصر نقاط الكم [٢٤١]. العديد من هذه العناصر قد ثبت أن لها خصائص جيدة وميزات عناصر جديدة، وتتطلب تقنيات جديدة للتصنيع.



الشكل (٢ – ٦٠) ترانزستورات مؤثرة المجال بوابة قطب كهربائي – ومؤثرة المجال بأسلاك نانو



الشكل (٢ – ٦١) أربطة نانو من الجرافين

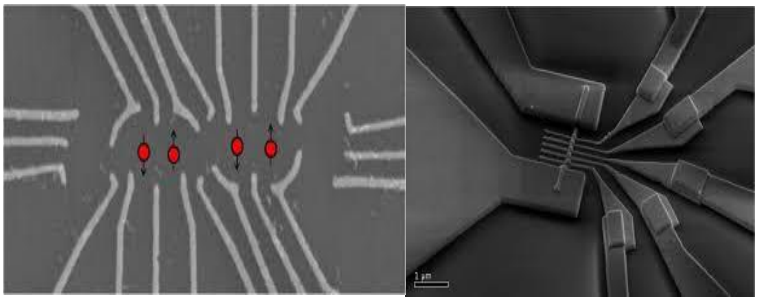
---

٢٣٩ أربطة نانو من الجرافين Graphene nanoribbons (GNRs, also called Nano–graphene ribbons or Nano–graphite ribbons), are strips of graphene with <50 nm width.

٢٤٠ ثنائيات النفق الرنانة A resonant–tunneling diode (RTD) is a diode with a resonant–tunneling structure in which electrons can tunnel through some resonant states at certain energy levels. The current–voltage characteristic often exhibits negative differential resistance regions.

٢٤١ عناصر نقاط الكم Quantum dots (QD) are very small semiconductor particles, only several nanometers in size, so small that their optical and electronic properties differ from those of larger

العناصر نانومترية الحجم لديها إمكانيات كبيرة لإحداث ثورة في التصنيع والتكامل بين الأنظمة الإلكترونية وتتجاوز نطاق حدود القياس المتصورة للترانزستورات مؤثرة المجال التقليدية. حين تنشأ الابتكارات في تكنولوجيا النانو على مستوى العناصر الفردية، تحقق الهدف الحقيقي لمتطلبات النظم الإلكترونية التي تترجم القدرات مستوى العناصر إلى فوائد مستوى النظام.



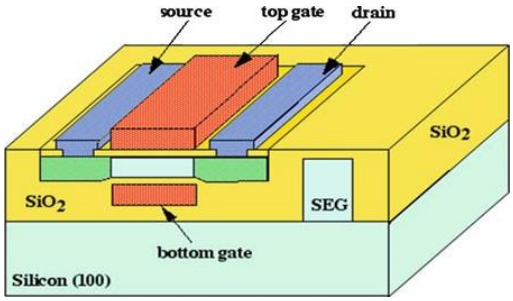
الشكل (٢ – ٦٢) عناصر نقاط الكم

٢ – ١٣ – ١ الترانزستورات مؤثرة المجال ذات بوابة قطب كهربائي [٤]

تكنولوجيا ترانزستورات أشباه الموصلات المعدنية المؤكسدة التكميلية (م أ ش ت) [٢٣٥] أدت إلى تصغير مستمر للترانزستور مع كل جيل جديد، مما أسفر عن تحسين الأداء المستمر. ومع ذلك، وفقا لخريطة الطريق الدولية لأشباه الموصلات [٢٣٤]، وفقا للأبعاد المادية لترانزستورات أشباه الموصلات المعدنية المؤكسدة التكميلية تعرضت أطوال بوابة الترانزستور ٢٢ نانو متر تواجه تحديات كبيرة عدة: آثار قصرة القناة، تسرب جهد العتبة العالي، التغيرات الناشئة لعنصر عن عنصر آخر --، إلخ. من المرجح أن تحقق ترانزستورات مؤثر المجال مزدوج البوابة [٢٤٢] التغلب على هذه التحديات كما يوفر ترانزستور مؤثر المجال مزدوج البوابة تحكم أفضل لتأثير قصر القناة وتسرب أقل وعائد وجودة أفضل في تحجيم أبعاد عمليات انتاج ترانزستورات أشباه الموصلات المعدنية المؤكسدة التكميلية. يوضح الشكل (٢ –٦٣) تخطيط لترانزستور مؤثر المجال مزدوج البوابة.

---

٢٤٢ ترانزستور مؤثر المجال مزدوج البوابة double-gate field-effect transistors (DG-FETs)



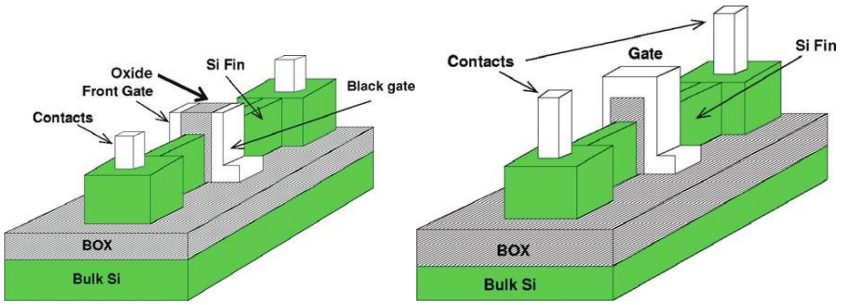
الشكل (٢ –٦٣) تخطيط لترانزستور مؤثر المجال مزدوج البوابة.

يشتمل الترانزستور على بوابتين في أعلى وأسفل الترانزستور تتحكم في القناة. نظراً لصعوبة التوفيق بين البوابات العلوية والسفلية، تطور نوع معين من ترانزستور مؤثر المجال مزدوج البوابة ويسمى الترانزستورات مؤثرة المجال ذات بوابة قطب كهربائي [٢٣٧]، وهي الأكثر انتشارا لتنفيذ ترانزستور مؤثر المجال مزدوج البوابة نظراً لأن تصنيع الترانزستورات مؤثرة المجال ذات بوابة قطب كهربائي سهلة نسبيا وخالية من مشاكل المحاذاة التي يعانى منها العديد من هندسة ترانزستور مؤثر المجال مزدوج البوابة. أيضا، استخدام مادة القناة بموصلية أقل من خلال بقدر قليل من المطعمات (الشوائب) في الترانزستورات مؤثرة المجال بوابة قطب كهربائي يجعلها مقاومة للتغيرات العشوائية لنسب المطعمات. يوضح الشكل (٢ –٧) تخطيط لترانزستور مؤثر المجال ذو بوابة قطب كهربائي. ترانزستور مؤثر المجال ذو بوابة قطب كهربائي هو ترانزستور مؤثر المجال التي تحولت القناة على حافته وأصبحت قائمة الى أعلى بدلا من ان تكون أفقية. يمكن السيطرة على بوابتين الترانزستور مؤثر المجال ذات بوابة قطب كهربائي بشكل مستقل بإزالة الجزء العلوي، كما هو مبين في الشكل (٢ –٦٤) ويسمى الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي ذات بوابة غير مستقلة [٢٤٣]، عندما يتم قصر البوابتين كما هو موضح بالشكل (٢ –٦٤) يسمى الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي مقصور البوابة وأيضا الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي مربوط البوابة [٢٤٤]

---

٢٤٣ الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي غير مستقلةindependent-gate (IG) FinFET

٢٤٤ الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي مقصورة وأيضا الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي مربوطة shorted-gate (SG) FinFET, or sometimes tied-gate FinFET.



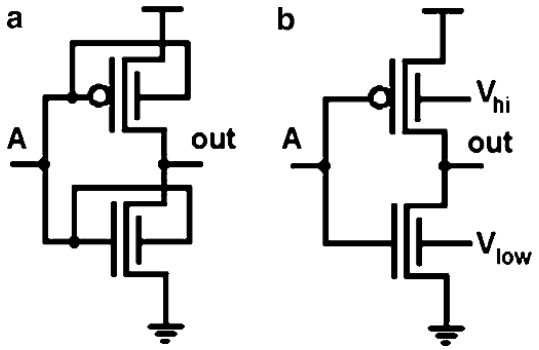
(ب) (أ)

الشكل (٢ –٦٤) تخطيط لترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي

يحقق الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي مقصورة توفير قدرة تشغيل وتحكم أفضل على القناة. وهكذا، فان بوابات المنطق المستندة على الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي مقصورة هي الأسرع. من ناحية أخرى يمكن استخدام جهد التغذية في الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي غير مستقلة أن يعدل خطيا جهد العتبة للبوابة الأمامية. يمكن استخدام هذه الظاهرة للحد من تسرب القدرة من بوابة المنطق المستندة على الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي غير مستقلة بضعف أو ضعفين قيمة التغذية العكسية على البوابات الخلفية. ومع ذلك، يتناسب هذا، على تكلفة زيادة زمن تأخير بوابة المنطق. يوضح الشكل (٢ –٦٥ أ وب) العاكسات [٢٤٥] المستندة على الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي مقصورة والترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي غير مستقلة على التوالي، في الشكل (٢ –٦٥ ب) يصور التحيز المرتفع والمنخفض جهد البوابة الخلفية. إذا كان جهد البوابة المرتفع أعلى من جهد التغذية وجهد البوابة المنخفض أقل من الجهد المتصل بالأرض فان الترانزستور المعنى ذو تحيز في الاتجاه العكسي، وهذا يقلل التسرب على حساب زيادة التأخير. من جهة أخرى، إذا كان جهد البوابة المرتفع اقل من جهد التغذية وجهد البوابة المنخفض أعلى من الجهد المتصل بالأرض فان الترانزستور المعنى ذو تحيز في الاتجاه الأمامي. وهذا يقلل من التأخير على حساب التسرب.

---

٢٤٥ العاكسات Inverters

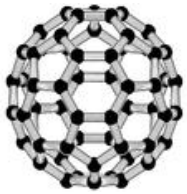


الشكل (٢ –٦٥ أ وب) العاكسات المستندة على الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي مقصورة والترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي غير مستقلة على التوالي

يمكن استخدام الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي غير مستقلة وأيضا نماذج دائرة جديدة في تصميم المنطق الرقمي، والقدرة على التحكم بشكل مستقل في بوابتين الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي بعدة طرق: (١) دمج أزواج الترانزستورات على التوازي للحد من مساحة الدائرة والسعة، (٢) استخدام جهد التحيز للبوابة الخلفية لتعديل جهد عتبة الترانزستور، إلخ. يتألف زوج ترانزستور على التوازي من اثنان من الترانزستورات مع ربط أطراف المنبع والمستنزف مع بعضهما. دمج الترانزستورات يقلل من السعة الطفيلية. حيث أن جهد العتبة للترانزستور يؤثر على كل من تسرب القدرة والتأخير، من المهم النظر في جهد التغذية للبوابة الخلفية للترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي خلال خريطة التكنولوجيا أو جنبا إلى جنب مع خطوة تحديد قياس أبعاد الرسم التخطيطي لتكنولوجيا الدائرة. بالتزامن مع أبعاد البوابات وجهود التغذية للبوابة الخلفية للترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي، حيث أن حجم وتغذية دوائر الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي بالمقارنة بدوائر الترانزستور مؤثر المجال بنفس طول القناة يظهر أن التسرب أقل ومساحة أفضل وخصائص تأخير أيضا على نحو أفضل. تضع خصائص الترانزستور مؤثر المجال بوابة قطب كهربائي على السطح، أساسا لهيكل مزدوج البوابة، الإمكانية لتصميم الدوائر جديدة وحبيبات دقيقة جدا وقت تشغيل لإعاقة القدرة (في وضع التفاصيل لبضع دورات على مدار الساعة) التي كانت حتى الآن غير ممكن.

٢ – ١٣ – ٢ عناصر أنبوب نانو الكربون

الكربون هو عنصر من المجموعة ١٤ الموجودة أعلى السليكون في الجدول الدوري ويشبه السليكون والجرمانيوم، يشتمل الكربون على أربعة إلكترونات في مستوى التكافؤ. في حالته الأكثر شيوعاً، هو فلز غير معدني وغير متبلور، مثل الفحم أو السخام. في الحالة البلورية، عند ترابط ذرات في الشكل لهيكل البلوري الرباعي، يتحول الكربون الى الماس، والذي يعتبر عازل ذو فجوة طاقية كبيرة نسبيا. ومع ذلك، عندما يتم ترتيب ذرات الكربون في هياكل بلورية سداسية مثل حلقات البنزين، فإنها تشكل عددا من التأصل التي توفر خصائص كهربائية استثنائية. لاستبدال السيليكون في قنوات الترانزستور المستقبلية، الأكثر تبشيرا بالنجاح لهذا التأصل هما الأنبوب النانو الكربوني [٢٤٦] والجرافين. في أشكالها الشبه موصلة، تظهر المواد النانوية الكربونية عند درجة حرارة الغرفة حركية حوامل الشحنات أكبر من عشر مرات من حركية حوامل الشحنات في السيليكون. وهذا يترجم إلى العناصر مع تحسينات كبيرة في الأداء وتوفير الطاقة، مما يتيح تكامل أعلى عند نفس الطاقة. وبالإضافة إلى ذلك، أنه يمكن أن تكون ذات أحجام مميزة أصغر من السيليكون مع الحفاظ على خصائصها الكهربائية.



الشكل (٢ – ٦٦) الأنبوب النانو الكربوني

ولهذه الأسباب، أوصت مجموعات العمل لخريطة أشباه الموصلات الدولية [٢٣٤] في مجالات بحوث العناصر والمواد الناشئة باستخدام الكترونيات النانو الكربون وأوصت بتطوير تكنولوجيا النانو الكربوني الى "ما وراء ترانزستورات أشباه الموصلات المعدنية المؤكسدة التكميلية (م أ

---

٢٤٦ الأنبوب النانو الكربوني Carbon nanotubes (CNTs) are allotropes of carbon with a cylindrical nanostructure. These cylindrical carbon molecules have unusual properties, which are valuable for nanotechnology, electronics, optics and other fields of materials science and technology.

ش ت) [٢٣٥]. ويمكن تصنيف الأنبوب النانو الكربوني إلى مجموعتين: الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران [٢٤٧] والأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران [٢٤٨] الشكل (٢ – ٦٧). الأنبوب النانو الكربوني أحادي الجدران عبارة عن اسطوانة مجوفة يبلغ قطرها حوالي ١–٤ نانومتر، ويمكن اعتبارها مثل ورقة من الجرافين أحادي الطبقة. والأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران مؤلفة من عدد من الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران متداخلة بعضها البعض في ترتيب قطري، ويمكن اعتبارها ورقة من الجرافين متعدد الطبقات. الأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران لها أبعاد أكبر من الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران، وهي عادة من أربعة إلى عدة عشرات من نانومتر في القطر. الأنابيب النانوية الكربونية تختلف في الطول، وقد انتجت في أطوال تصل إلى ١ مم. مع قطر أقل من ١٠ نانومتر، وهذا ما يسمح لنسب عالية بشكل استثنائي، مما يجعل الأنابيب النانوية أساسا مادة أحادي الأبعاد. نظراً للتماثل الأسطواني، هناك مجموعة محددة من الاتجاهات التي تساعد في تحويل ورقة الجرافين المستوية الى أشكال أسطوانية حتى تكون في شكل الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران. لوصف كل اتجاه، يتم اختيار ذرتين في ورقة الجرافين، تستخدم إحداها كنقطة بدء اللف. ويتم لف الورقة حتى تتزامن الذرتين بجوار بعضهما. ناقل الإشارة من الذرة الأولى إلى الثانية يسمى متجه شيرال[٢٤٩]، وطوله يساوي محيط أنبوب النانو. اتجاه محور أنبوب النانو

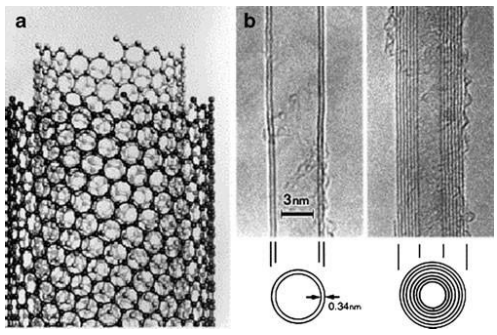
---

٢٤٧ الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران single–walled carbon nanotubes (SWCNTs)

٢٤٨ والأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs)

٢٤٩ متجه شيرال Definition of chiral vectors in the hexagonal lattice is Definition of chiral vectors in the hexagonal lattice is Chiral vector is defined as $C_h = na_1 + ma_2$ using the vectors a_1 and a_2 for the hexagonal lattice. Note that for the hexagonal lattice a unit cell is made of 2 atoms. Note also depending on textbook, a_1 and a_2 are defined as 2 vectors with 120 deg. openings.

عمودي على متجه شيرال. اعتماداً على أسلوب التدوير المتداول، يمكن أن تكون الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران أما من مادة معدنية أو شبه موصلة. المسار الحر في الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران في نطاق المايكرومتر. داخل هذا الطول، لوحظ التوصيل البالستي[٢٥٠] في الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران. وبالتالي، فان مقاومتها ثابتة دون آثار نثر عشوائية.



الشكل (٢ – ٦٧) الأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران أ – الهيكل ب – صورة من ميكروسكوب ارسال الكترونات [٢٥١]

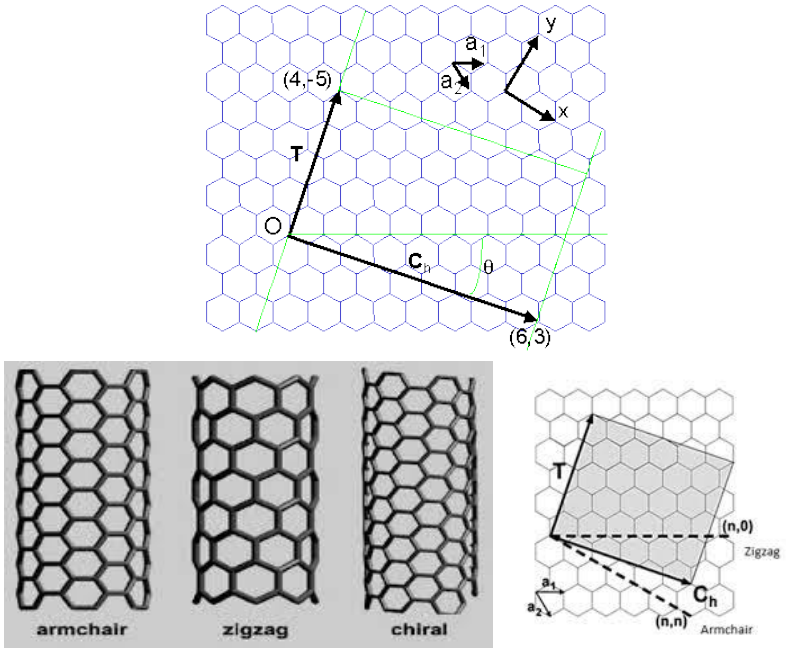
في الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران المعدنية لها حركية الكترونات عالية وذات متانة ويمكنها أن تحمل كثافة التيار ١,٠٠٠ مرة أكبر من النحاس، يجعلها جذابة للاستخدام في وصلات النانو الداخلية والنظم الكهرو ميكانيكية النانو [٢٥٢].

---

٢٥٠ التوصيل البالستية Ballistic conduction or Ballistic transport is the transport of electrons ina medium having negligible electrical resistivity caused by scattering. Without scattering, electrons obey Newton's second law of motion at non-relativistic speeds

٢٥١ ميكروسكوب ارسال الكترونات Transmission electron microscopy (TEM) is a microscopy techniquein which a beam of electrons is transmitted through an ultra-thin specimen, interacting with the specimen as it passes through it. An image is formed from the interaction of the electrons transmitted through the specimen; the image is magnified and focused onto an imaging device, such as a fluorescent screen, on a layer of photographic film, or to be detected by a sensor such as a charge-coupled device

٢٥٢ النظم الكهرو ميكانيكية النانو Nano-electromechanical systems (NEMS)



الشكل (٢ – ٦٨) أسلوب تشكيل الأنبوب النانو من ورقة جرافين

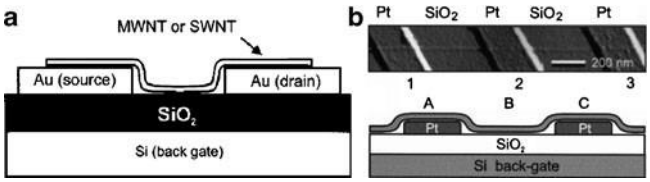
من ناحية أخرى، الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران من أشباه الموصلات، لها خصائص مثالية للاستخدام في الترانزستورات مؤثرة المجال. العناصر المستندة للترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية أحادية الجدار [٢٥٣] يمكن أن تكون أسرع من ٦ الى ١٣ ضعف بالمقارنة مع سرعات الترانزستورات مؤثرة المجال ذات الموصلية (ب) و (ن) لها نفس طول البوابة، استناداً إلى الخواص الجوهرية لتأخير جهد وتيار البوابة [٢٥٤]، عند عدم اعتبار ربط السعات المحلية والعيوب في انابيب النانو الكربونية.

---

٢٥٣ الترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية أحادية الجدار **single CNFET devices**

٢٥٤ الخواص الجوهرية لتأخير جهد وتيار البوابة **International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) has adopted $C_{gate} * V_{dd} / I_{dsat}$ (CV/I) as a metric. CV/I is a process-neutral, 0th order approximation to measure transistor performance across different process generations and process technologies from different manufacturers. In the formula $C_{gate} * V_{dd} / I_{dsat}$, C_{gate} is the junction and input capacitance of the transistor gate, V_{dd} is the value of the supply voltage, and I_{dsat} is the saturation current of the transistor. For fundamental improvements in process speed, each successive process generation can decrease gate capacitance, decrease supply voltage, increase transistor saturation drive current, or any combination of the three factors.**

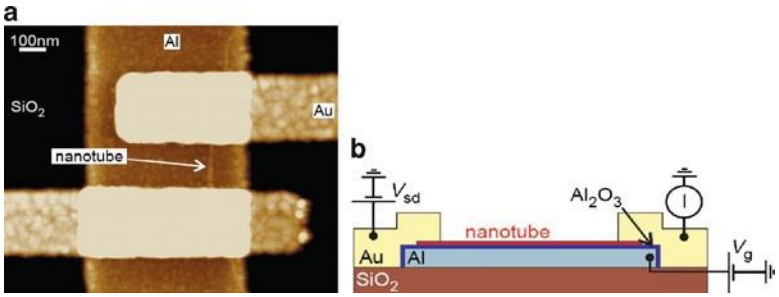
في الماضي، كان من الصعب انتاج كمي للدوائر المستندة الى انابيب النانو الكربونية بسبب عدم القدرة على التحكم بدقة النمو ومكان الأنبوب النانو. ومع ذلك، أظهرت البحوث الأخيرة كثافة الإنتاج، التي تمت بمحاذاة صفوف الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدران بشكل خطى، في نطاق أبعاد ركيزة العناصر المنطقية المستندة الى أنابيب النانو الكربونية. التقارير الأولية في العام ١٩٩٨ من المجموعات البحثية في جامعة دلفت للتكنولوجيا لتشغيل لترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية فى درجات حرارة الغرفة. يوضح الشكل (٢ – ٦٩).



الشكل (٢ – ٦٩) هيكلين لترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية. (أ) وصلات منبع ومستنزف من الذهب (ب) وصلات منبع ومستنزف من البلاتين

هيكلين لترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية. هذه التصاميم ذات هياكل مماثلة: أنبوب نانو واحد (أما ذو جدار واحد أو متعدد الجدران) لها سلوك منطقة القناة وتقع على أقطاب المنبع/المستنزف المعدنية. يستخدم كلا التصميمين مادة ثاني أكسيد السيلكون كعازل على السطح العلوي والخلفي للبوابة. وتستخدم وصلات من الذهب أو البلاتين لكل من المنبع والمستنزف كأقطاب لأن دالة تشغيلهما تقترب من دالة تشغيل أنبوب النانو الكربوني لتحسين سرعة الترانزستور. في عام ٢٠٠١، عززت المجموعة البحثية من "جامعة دلفت للتكنولوجيا" تصميم هيكل ترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية السابقة باستخدام البوابات من الألومنيوم للتحكم لكل ترانزستور منفرد، كما هو موضح في الشكل (٢ –٧٠ أ وب). استخدم هذا التصميم بوابة ضيقة من الألومنيوم ومعزولة بطبقة رقيقة من ثالث أكسيد الألمنيوم. تم

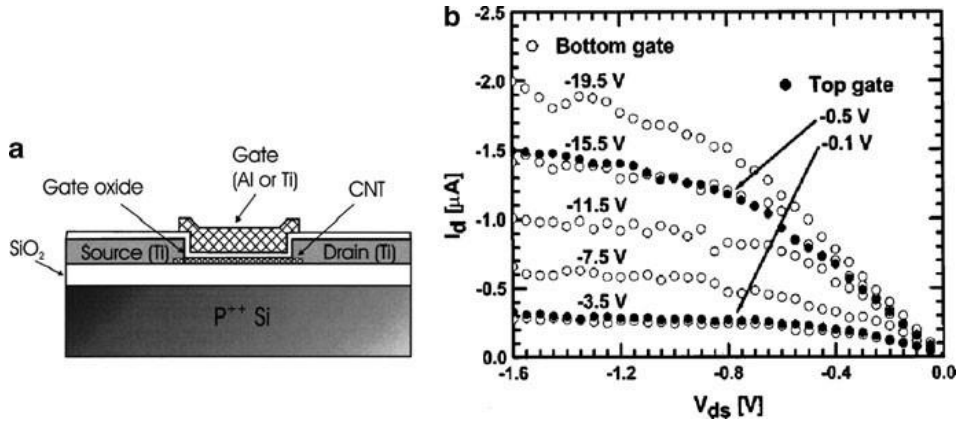
تحديد البوابة الألمنيوم بأسلوب الطباعة الحجرية بشعاع إلكتروني على أكسيد السيليكون، وزرع عازل البوابة بتعريض البوابة الألمنيوم للهواء. ثم ترسيب أنابيب النانو الكربوني مفردة الجدار على الركيزة أعلى البوابات السابق تحديدها. وأخيراً، يتم إنشاء وصلات المنبع والمستنزف للترانزستورات بأسلوب الطباعة الحجرية بشعاع إلكتروني.



الشكل (٢ –٧٠) (أ) صورة من ميكروسكوب طاقة ذرية لترانزستور أنبوب نانو مفرد (ب). ترانزستور مؤثرة المجال النانو الكربونية ذو بوابة خلفية واحدة من الألمنيوم

أوضحت خواص الفولت والتيار للعناصر أن هذه الترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية الجديدة تعمل كنموذج محسن للعناصر ذات الموصلية (ب). من أجل بناء وظائف المنطق، من الضروري أن يتاح كلا نوعي الترانزستور من النوع (ن) والنوع (ب). ومع ذلك، كل من الترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية السالفة الذكر من النوع (ب). يمكن الحصول على الترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية من النوع (ن) برفع درجة حرارة الترانزستور النوع (ب) الى حوالي ٧٠٠ مo أو عن طريق إضافة شوائب من مواد من العمود الخامس في الجدول الدوري. حدث في عام ٢٠٠٢ تحسين جوهري لعناصر ترانزستورات نانو الكربونية من خلال إنشاء بنية (م أ ش) مع قطب بوابة على رأس القناة أنبوب نانو ومفصولة بطبقة رقيقة من ثاني أكسيد السيلكون كعازل. هيكل هذا التصميم عن طريق بوابة علوية يشبه تصاميم هياكل الترانزستورات السائدة (م أ ش) من السيليكون كما الشكل (٢ –٧١). ساهمت تصاميم بوابات

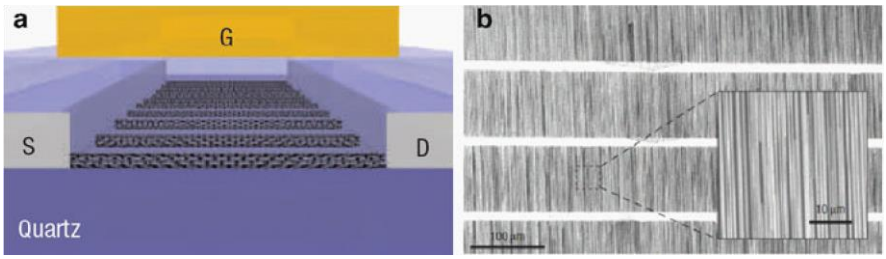
علوية في العديد من التحسينات الهامة لعناصر البوابات الخلفية، بما في ذلك التشغيل عند جهد أقل وتشغيل عند الترددات العالية، وموثوقية أعلى.



الشكل (٢ –٧١) الترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية (أ) هيكل الترانزستور (ب) مقارنة خواص الجهد – التيار مع ترانزستورات البوابة الخلفية

توفر عناصر الأنبوب النانو الواحد تحسينات كبيرة في الأداء بالمقارنة بالحلول الموجودة. ومع ذلك، إدماج أنبوب نانو واحد في الدوائر المتكاملة القائمة لا يزال تحديا كبيرا. نظراً لسيطرة التصنيع المحدودة على خصائص الأنبوب النانو، عنصر الأنبوب النانو الكربوني الواحد عالي الحساسية للتقلبات الكبيرة في الأداء. أحد الحلول الممكنة تعبئة الصفوف الأفقية الغير متداخلة في الأنبوب النانو الكربوني أحادي الجدار في القناة. يؤدي هذا إلى إنشاء مسارات توصيل متوازية التي يمكن أن توفر تيار أكبر مما في أنبوب نانو كربوني وحيد. أيضا الأنابيب النانو الكربونية متعددة الجدران في القناة إحصائيا هي متوسطات التغيرات من عنصر الى عنصر وتظهر زيادة في الموثوقية ضد فشل الأنبوب الواحد. ومع ذلك، كيف يمكن إنشاء صفوف أنبوب نانو واسعة النطاق وعالية الكثافة والمنحازة تماما للإنتاج الكمي ما تزال تشكل تحديا. التحدي الثاني أن ثلث الأنابيب النانوية الكربونية المنتجة معدنية. الأنابيب النانوية الكربونية المعدنية لا يمكن التحكم في جهد البوابة والموصلية دائماً، التي تتسبب في تدهور نسبة

تشغيل/إيقاف تشغيل الترانزستور. يمكن إزالة الأنابيب النانوية المعدنية باستخدام تقنيات مثل الانهيار الكهربائي. وقد أظهرت الجهود الأولية المبذولة لحل هذه المشاكل وعود كبيرة. على سبيل المثال، استخدم الباحثين تعريف الطباعة التصويرية لأنماط متوازية على سطح شريحة كوارتز وانماء الأنابيب النانوية الكربونية بتقنية الترسيب بالتبخير الكيميائي [٢٥٥]على طول الأنماط المحددة مسبقاً.



الشكل (٢ –٧٢) (أ) مقطع عرضي في الترانزستورات مؤثرة المجال النانو الكربونية بقناه أنابيب نانو متوازية متعددة (ب) كثافة صفوف أنابيب نانو كربونية مفردة الجدار

باستخدام هذا الأسلوب، يمكن تصنيع صفوف أنبوب نانو بنجاح بأقطار متوسطة ١ نانومتر وأطوال أكثر من ٣٠٠ مم، مع محاذاة ٩٩,٩% كما هو موضح بالشكل (٢ –٧٢) ويمكن نقل الأنابيب النانوية للركيزة المرغوبة، مثل السيليكون أو حتى ركائز من البلاستيك المرن. المقاومة النوعية للنحاس المستخدمة حاليا في الوصلات الداخلية ترتفع مع تصغير الأبعاد بسبب تشتت الإلكترونات من السطح. وفي الوقت نفسه، من المتوقع أن تصبح شدة التيار أكبر في المستقبل في تكنولوجيات الدوائر المتكاملة. تتطلب تحفيز هذه المتطلبات دراسات مكثفة عن حلول جديدة لمواد الوصلات الداخلية النانو وهياكل الوصلات. حزمة الأنابيب النانوية الكربونية هي عادة مجموعة من الأنابيب النانوية الكربونية مفردة الجدار، فيها تكون خطوط الأنابيب موازية لبعضها البعض. حبل أو حزمة من الأنابيب النانوية الكربونية مفردة الجدار تقوم بتوصيل التيار الكهربائي على التوازي مما يقلل من قيمة المقاومة كثيرا. وهكذا، يمكن أن

٢٥٥ تقنية الترسيب بالتبخير الكيميائي chemical vapor deposition (CVD)

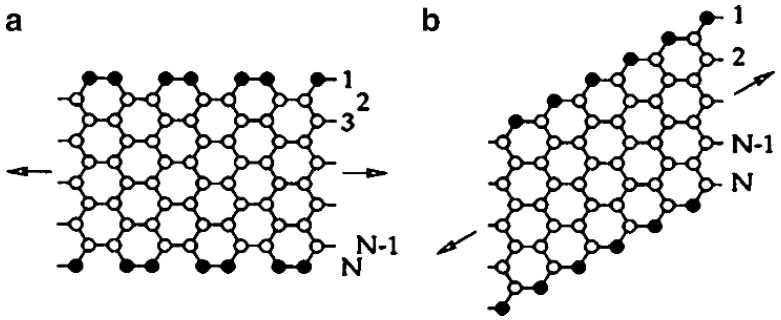
تتفوق الوصلات الداخلية للأنابيب النانوية الكربونية مفردة الجدار على الوصلات الداخلية من النحاس في تأخير الإرسال، خاصة بالنسبة للوصلات الداخلية المتوسطة والطويلة. بالإضافة إلى ذلك، نقدم حزمة الأنابيب النانوية الكربونية مفردة الجدار أداء عالي وموصلية حرارية عالية (أكثر من خمس عشرة ضعف أعلى من النحاس. هذه الخاصية الحرارية لحزمة من الأنابيب النانوية الكربونية مفردة الجدار مفيدة على وجه التحديد في تكنولوجيات الدوائر المتكاملة ثلاثية الأبعاد للتغلب على المشاكل الحرارية.

٢ – ١٣ – ٣ عناصر أربطة أو أشرطة (ريبون) نانو من الجرافين

مثل الأنابيب النانوية الكربونية، يتواجد الجرافين في عدد من الأشكال. يصنع الجرافين أحادي الطبقة من ورقة من الكربون بسمك ذرة واحدة بالضبط، مما يجعلها مادة ثنائية الأبعاد نقية. لأن الجرافين لا يلتف حول نفسه ويتصل مرة أخرى لنفسه مثل أنابيب النانو الكربونية، حواف الأربطة حرة لترتبط مع الذرات الأخرى. لأن الحواف الغير مقيدة غير مستقرة، عادة ما توجد الحواف خاملة بامتصاص الهيدروجين. يمكن نمذجة الجرافين المستوى بالطباعة الحجرية لعمل شرائح ضيقة تسمى أربطة أو أشرطة جرافين نانو [٢٥٦]. كما يمكن إنشاء مثل هذه الأربطة أو الأشرطة من خلال تقنيات مثل التوليف الكيميائي وفتح الأنابيب النانوية الكربونية. الأصغر عرض من الأربطة أو الأشرطة وهيكل الحافة له تأثير أكبر على خصائص الأشرطة. اتجاه الحواف البلورية مهم بشكل خاص. يوضح الشكل (٢ –٧٣) أن هناك اتجاهان لتنظيم حالة الحواف، المعروفة باسم رباط ذراع كرسي ورباط متعرج، ولكل منها اتساع.

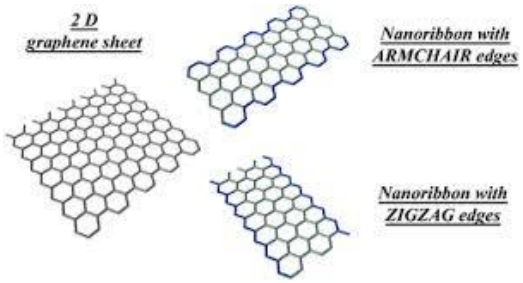
---

٢٥٦ أربطة أو أشرطة جرافين نانو Graphene nanoribbons (GNRs, also called Nano-graphene ribbons or Nano-graphite ribbons) , are strips of graphene with <50 nm width. Graphene ribbons were introduced as a theoretical model by Mitsutaka Fujita and coauthors to examine the edge and nanoscale size effect in graphene.



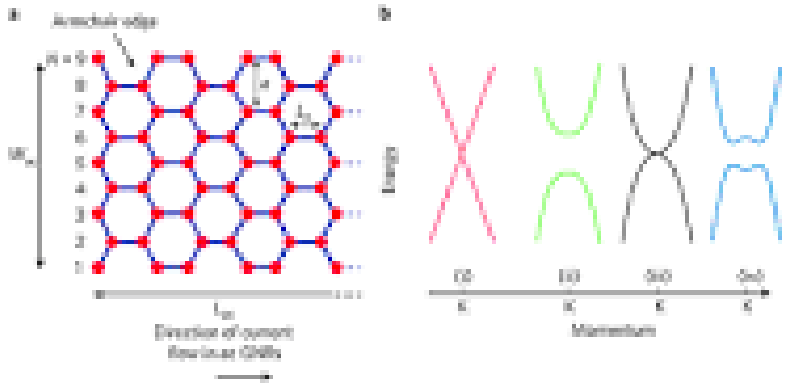
الشكل (٢ –٧٣) توصيف أربطة أو أشرطة الجرافين (أ) ذراع كرسي (ب) متعرج

يوضح الشكل (٢ –٧٣) (أ)، شريط جرافين نانو ذراع كرسي بحجم ن = ١٠، حيث (ن) هو عدد ذرات الكربون في العرض. في الشكل (ب)، شريط جرافين نانو متعرج بحجم ن = ٥، حيث (ن) هو عدد السلاسل المتعرجة في العرض.



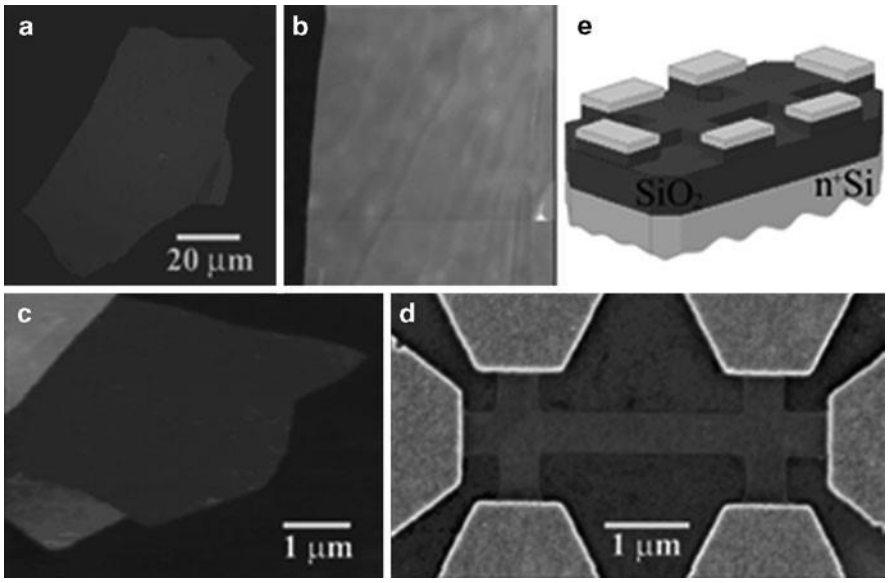
الشكل (٢ –٧٤) أشرطة نانو جرافين كورقة مستوية السطح وتنميطها بهيكل ذراع كرسى ومتعرج

الخصائص الفيزيائية والكهربائية الجوهرية تجعل الجرافين مرغوب لعدد كبير من التطبيقات المحتملة، تتراوح من عناصر استشعار العوامل البيولوجية وحتى الإلكترونيات المرنة وكذلك استخدامه لأقطاب الخلايا الشمسية. تقدم أربطة نانو جرافين مسار حر بطول ٢٥ ضعف من طول المسار الحر للنحاس، وحركية حوامل الشحنات في أربطة نانو جرافين أكثر من ١٠ أضعاف حركتها في السليكون. وعلاوة على ذلك، فان حد الحركة الجوهرية لأربطة نانو جرافين حوالي ٢ x ١٠^٥ سم^٢/فولت ثانية. وهكذا، أحد التطبيقات الأكثر إثارة هو استخدام قنوات الجرافين في المستقبل لتقنيات الترانزستورات عالية الأداء. وتحقيقا لهذه الغاية، يعمل علماء الفيزياء وعلماء المواد بتجريب الجرافين لفهم كيف يمكن استخدامه لتحقيق مثل هذه العناصر إلى حقيقة واقعة.



الشكل (٢ – ٧٥) أشرطة نانو جرافين وسلوكها كمعدن أو شبة موصل علاقة سمك الشريط ومقدار الفجوة الطاقية

اكتشفت في البداية طبقات قليلة من الجرافين في جامعة مانشستر في عام ٢٠٠٤ الشكل (٢ –٧٦) أ، ب , ج. تم تنفيذ أول عنصر يشبه الترانزستور من الجرافين بعد ذلك بوقت قصير. أيضا، قد صممت بنية اختبار بسيط لقياس تأثير المجال على السلوك والخواص في الجرافين الشكل (٢ –٧٦ د – هـ).



الشكل (٢ –٧٦) أ، ب، ج الصور الأولى لطبقات جرافين قليلة (د، هـ) تجربة قياس

التحدي الرئيسي الذي يشكله الجرافين في حالته الأصلية كورقة مسطحة كبيرة، وخصائصه تشبه شبه الموصل له فجوة طاقة تساوى صفر، أو كمادة شبه معدنية، مما يعني أن تسري

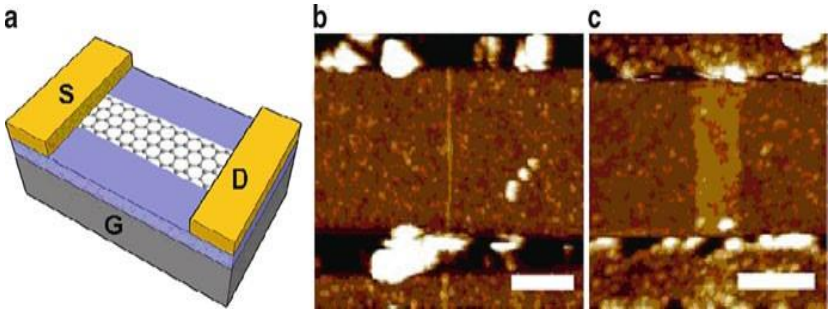
الإلكترونات فيه بحرية. وهذا مرغوب فيه إذا استخدم الجرافين كوصلة داخلية، وبالطبع كثير من الباحثين اكتشف هذه الإمكانية. ومع ذلك، لكي تكون فعالة لاستخدامها في الترانزستور، يحتاج الجرافين تحويله إلى شبه موصل واظهار ارتفاع نسبة التشغيل/ الى / إيقاف تشغيل. للحصول على حالة إيقاف التشغيل اللازمة، يجب أن يكون له قيمة فجوة طاقية والتي لا تساوى صفر. أحد الطرق لفتح فجوة طاقية هي تنميط ونمذجة الجرافين على شكل شريط ضيق جانبي لحصر حاملات الشحنات في نظام ذات بعد واحد، مشابهة إلى حد ما الى أنبوب نانو كربوني. اتضحت هذه الفكرة تجريبيا، حيث استخدم الباحثون في جامعة كولومبيا الطباعة الحجرية بشعاع الكترون لتحديد مجموعتين (حوالي عشرون) من أشرطة نانو جرافين بعرض يتراوح بين ١٠ إلى ١٠٠ نانومتر باتجاهات بلورية متفاوتة. وتم قياس الموصلية لهذه الأشرطة وتبين القياسات وجود اتجاه معين بلوري، تعتمد فجوة الطاقة اعتماداً كبيرا على عرض شريط النانو الجرافين. كلما كانت الشرائط أصغر، تنخفض الموصلية، مما يشير إلى سلوك شبه موصل أقوى. استنتجت تجربة مماثلة نفس النتيجة. وفي كلتا الحالتين، لاحظ الباحثين أيضا اعتماد واضح في السلوك الكهربائي على حالة الحافة في شريط النانو الجرافين. أظهر أحد الأعمال الأولى لترانزستور مؤثر المجال مستندا الى شريط نانو جرافين [٢٥٧] بعرض حتى ١٠ نانو متر. فقد بدأ الباحثين بشريط نانو جرافين استمد كيميائيا بأبعاد أصغر. في هذه العملية، تم تنظيف الجرافين بغمسه في محلول كيميائي بهذا التوحيد، تم إنشاء أجزاء صغيرة جداً. ثم ترسيب المحلول على شريحة وتجفيفها، وتم تحديد أشرطة النانو جرافين بواسطة ميكروسكوب القوة الذرية [٢٥٨]. تراوحت هياكل أشرطة النانو جرافين من أحادية الطبقة إلى ثلاثية الطبقات، وتم

---

٢٥٧ ترانزستور مؤثر المجال مستندا الى شريط نانو جافين GNRFETs

٢٥٨ ميكروسكوب القوة الذرية atomic force microscope (AFM)

ترسيبها على عازل ثاني أكسيد السيلكون على طبقة سيليكون عالية التخدير كبوابة خلفية، وتم توصيلها بأقطاب المنبع والمستنزف من البلاديوم [٢٥٩].



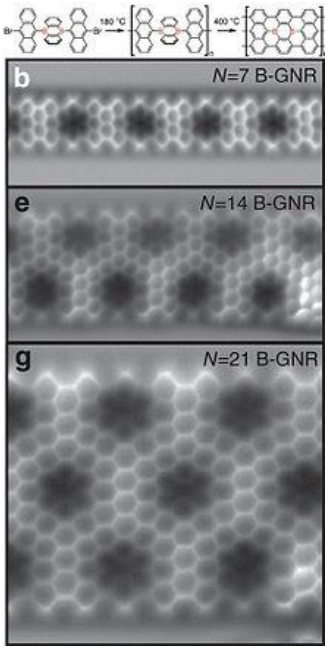
الشكل (٢ –٧٧) ترانزستور مؤثر المجال مستندا الى شريط نانو جرافين ببوابة خلفية (أ) تخطيط لهيكل الترانزستور (ب) صورة من ميكروسكوب القوة الذرية بعرض ٢ ± ٥و٠نانو متر (ج) صورة من ميكروسكوب القوة الذرية بعرض ٦٠ ± ٥و٠نانو متر

ويبين الشكل (٢ –٧٧ أ) تخطيط لهذا التصميم. عدد من العناصر تم إنشاؤها باستخدام أشرطة نانو جرافين ثنائية الطبقة، تشتمل على عرضين (١٠ – ٦٠ نانو متر) وترانزستور مؤثر المجال شريط نانو جرافين صغير (< ١٠ نانومتر). عند اختباره، أظهرت كل من شرائط النانو جرافين الكبيرة سلوك معدني بسبب زوال الفجوة الطاقية الصغيرة، في حين وجد كل من شرائط النانو جرافين الأقل من ١٠ نانومتر أنها تشتمل على سلوك الشبه موصل. يوضح الشكل (٢ –٧٧ ب، ج) صور لعنصرين بمساعدة ميكروسكوب القوة الذرية. تم التعرف بأهمية حالة الحافة لشرائط النانو جرافين بمبادئ أسس الحسابات الفيزيائية. أجريت تجارب مؤخرا باستخدام الفحص المجهري بميكروسكوب النفق [٢٦٠] للتحقق من هذه التوقعات، مما أكد أن اتجاه الحواف البلورية يؤثر إلى حد كبير على الخصائص الإلكترونية للجرافين ذات أحجام النانو.

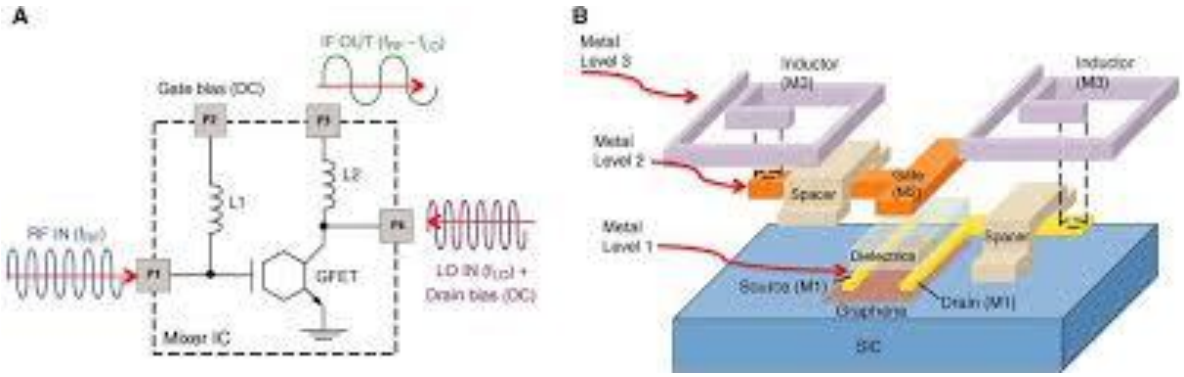
---

٢٥٩ البلاديوم .Palladium is a chemical element with symbol Pd and atomic number 46 It is a rare and lustrous silvery–white metal discovered

٢٦٠ الفحص المجهري بميكروسكوب النفق scanning tunneling microscopy



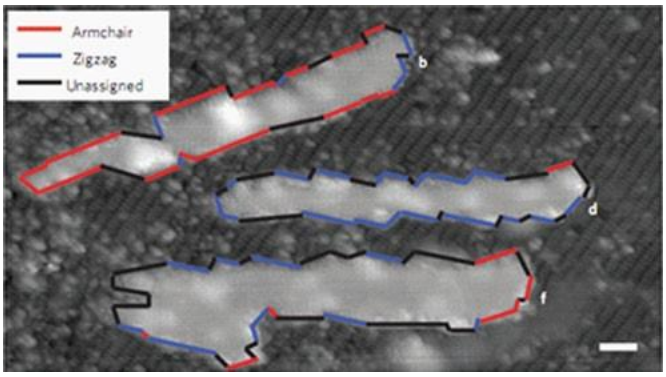
الشكل (٢ – ٧٨) صور بميكروسكوب القوة الذرية لشرائط جرافين نانو



الشكل (٢ – ٧٩) ترانزستور مؤثر المجال مستندا الى شريط نانو جرافين

بقياس الفجوة الطاقية لعينات من الجرافين، وجد عدم التطابق على حالة حافة الغالبة، وقد لوحظ أن شرائط الجرافين النانو بحواف متعرجة غالباً معدنية السلوك، بينما حواف الغالب من شرائط الجرافين النانو بحواف كرسي هي شبه موصلة الشكل (٢ –٧٣). لكل ترانزستورات شرائط الجرافين النانو، فان كل حواف التي لها شكل ذراع كرسي هي الأكثر استصوبا. ومع ذلك، في الأشرطة التي أنتجت حتى الآن، فان الحواف ليست ذات ملمس ناعم ذريا، وغالباً ما تحتوي على خليط أنواع من الهيكلين، كما هو مبين في الشكل (٢ –٨٠). وفي هذه الحالات،

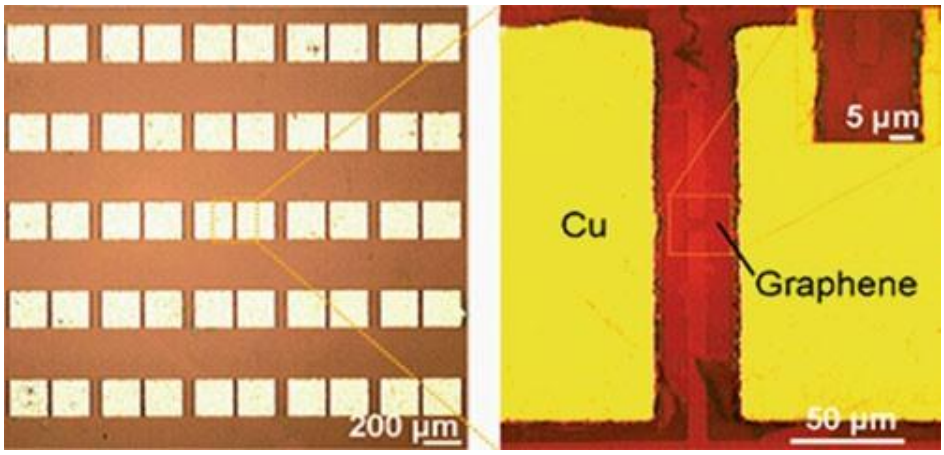
فان خصائص الشبه موصل أضعف، وتصبح الفجوة الطاقية تعتمد على نسبة الأجزاء التي لها هيكل ذراع كرسي الى نسبة الأجزاء التي لها هيكل متعرج.



الشكل (٢ –٨٠) شرائط جرافين نانو مع حواف مهيمنة مختلفة – في الأعلى هيكل ذراع كرسي بفجوة طاقية ٣٨و٠ الكترون فولت – في الوسط هيكل متعرج بفجوة طاقية ١٤و٠ الكترون فولت – في الأسفل هيكل متعرج بفجوة طاقية ١٢و٠ الكترون فولت

بالإضافة إلى التطبيقات التناظرية، ترانزستورات مؤثرة المجال شرائط الجرافين النانو مؤهلة جيدا لتحقيق ترانزستورات تناظرية فائقة التردد. صنعت ترانزستورات الجرافين ذات بوابات سطحية بأطوال بوابة مختلفة مع ترددات قطع تصل إلى ٢٦ جيجا هرتز لبوابة ١٥٠ نانومتر. كما تشير النتائج إلى أنه إذا كان يمكن الحفاظ على حركية حوامل الشحنات في الجرافين أثناء عملية تصنيع العناصر، يمكن تحقيق تردد قطع يقترب من تيرا هيرتز لترانزستورات مؤثرة المجال الجرافين بطول بوابة فقط ٥٠ نانومتر وحركية حوامل الشحنات ٢٠٠٠ سم٢/فولت ثانية.

التطورات الأخيرة في استخدام النمو على رقائق وأفلام النحاس أدت الى نتائج واعدة. وتطورت تقنية، يمكن بها انتاج طبقة واحدة ١ سم من الجرافين على أفلام نحاس، وتنميط نماذج ترانزستورات مؤثرة المجال شرائط الجرافين النانو على هذه الطبقة. يسمح هذا بإنتاج مباشر لصفوف من الترانزستور منتظمة باستخدام تكنولوجيا الأفلام الرقيقة المعروفة، دون الحاجة إلى عمليات نقل العناصر كما في الشكل (٢ –٨١).



الشكل (٢ –٨١) تصنيع صفوف من ترانزستورات مؤثرة المجال على طبقة جرافين مفردة

وهذا يمثل ميزة أفضل على تكنولوجيا تصنيع ترانزستورات مؤثرة المجال المستندة الى أنابيب كربون النانو حيث يجب نقل أنابيب كربون النانو من الشريحة التي نمت عليها الى ركيزة العنصر. بيد للحصول على أداء منتظم وموحد وتحقيق ميزة التحجيم لترانزستورات مؤثرة المجال شرائط جرافين النانو، يتطلب تقنيات نمذجة وتنميط متقدمة لتحديد عرض شرائط الجرافين النانو المحددة مع ضرورة نعومة الحواف وعدم التطابق. في حالة ضرورة نعومة الحواف شرائط جرافين النانو، ستكون هناك تقنيات تنميط عالية الدقة على نطاق واسع لا تتوفر اليوم. بعد كل شيء، تسهم الاختلافات في حواف التخدير، والعيوب البلورية، وسمك الأكسيد، والتموجات في صفوف الجرافين في اختلاف سلوك العناصر. ولذلك، تدارك مثل هذه الاختلافات وتلافى الخطأ في تقنيات نسب التسامح في التصميم سوف تحتاج إلى المزيد من التطبيق بشكل كبير. تكمن فرصة كبيرة في تطوير النمذجة المتقدمة وتقنيات التصميم بمساعدة الكمبيوتر. مع دقة نماذج الترانزستورات مؤثرة المجال شرائط جرافين النانو ومحاكاة سريعة وتمركز شرائط جرافين النانو التي تتبع التصميم بمساعدة الكمبيوتر، وتصميم الدوائر عالية المستوى وتصميم فراغات الهياكل يمكن استكشافها بسرعة أكبر. يمكن استخدام هذه النتائج لتحديد الاتجاهات الواعدة للتطوير في المستقبل ويساعد دليل البحوث المتعلقة بتصنيع العناصر.

٢ – ١٣ – ٤ عناصر أسلاك نانو

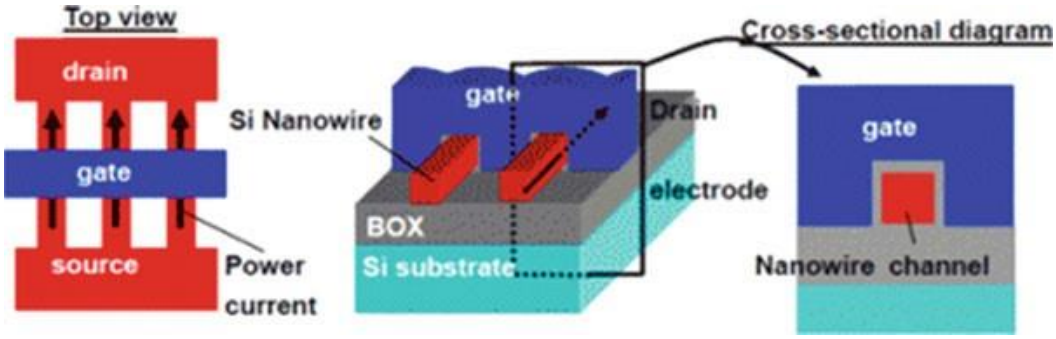
أسلاك متناهية الصغر ذات هيكل نانو مع قطر مقيد لعشرات نانومتر أو أقل وعلى طول غير مقيد. وتوجد العديد من أنواع مختلفة من أسلاك النانو، بما في ذلك المعادن الفلزية مثل أسلاك نانو نيكل أو ذهب، وأيضا من مواد شبه موصلة مثل أسلاك نانو سليكون، كما يوجد أسلاك من مواد عازلة مثل أسلاك نانو ثاني أكسيد السيلكون. ترانزستورات مؤثرة المجال السليكون أسلاك نانو سيلكون [٢٦١] تمثل بديلاً واعداً لترانزستورات مؤثرة المجال المكملة التقليدية استنادا الى ما ورد في نهاية خارطة الطريق لأشباه الموصلات بسبب زيادة التحكم في السلوك الكهرو إستاتيكي في قناة الترانزستور عبر جهد البوابة وقمع ما يترتب عليها من آثار صغر طول القناة. يتمثل إنشاء العناصر الإلكترونية النشطة في خطوتين، الخطوة الأولى تطعيم أسلاك شبه موصل نانو فردية كيمائيا للحصول على أسلاك نانو شبه موصلات بموصلية من النوع (ب) ومن النوع (ن). الخطوة التالية العثور على طريقة لإنشاء وصلة ثنائية ب – ن. ويمكن تحقيق هذا بطريقتين. الطريقة الأولى فعلياً تقاطع سلك نوع من النوع (ب) عبر سلك من النوع (ن). والطريقة الثانية هو تطعيم سلك واحد بشوائب مختلفة الموصلية على طول السلك كيميائيا للحصول على وصلة ب – ن في سلك واحد فقط. أظهرت دراسات التوصيل الأولى في ترانزستورات مؤثرة المجال السليكون أسلاك نانو سيلكون انخفاض الموصلية وانخفاض حركية حوامل الشحنات نسبيا. وهذا يرجع أساسا إلى ضعف الوصلات بين أقطاب المنبع والمستنزف للترانزستورات مؤثرة المجال السليكون أسلاك نانو سيلكون. وفي وقت لاحق استكشف الباحثون الحدود في ترانزستورات مؤثرة المجال السليكون أسلاك نانو سيلكون بدراسة تأثير تسخين وصلة المنبع – المستنزف وتخميل السطح [٢٦٢] على خصائص الترانزستور. تسخين وصلة المنبع – المستنزف وتخميل عيوب الأكسدة بالتعديل الكيميائي تسبب في زيادة متوسط الموصلية من ٤٥ إلى ٨٠٠ نانو ثانية ومتوسط حركية حوامل الشحنة من ٣٠ إلى

---

٢٦١ ترانزستورات مؤثرة المجال السليكون أسلاك نانو سيلكون Silicon nanowire field–effect transistors (SiNW FETs)

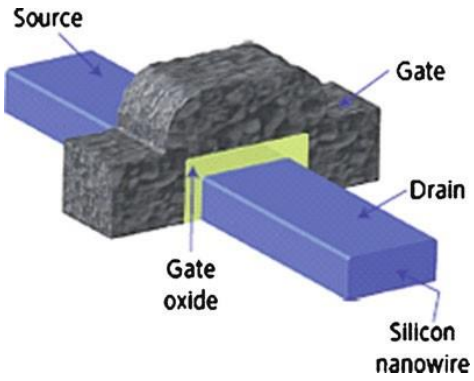
٢٦٢ تخميل السطح surface passivation

٥٦٠ سم٢/فولت ثانية مع قيم الذروة من ٢ ٠٠٠ نانو ثانية و١,٣٥٠ سم٢/فولت ثانية، على التوالي. يمكن لترانزستور أسلاك النانو السليكون قمع إيقاف التسرب نظراً لقلة سمك قناة سلك السيلكون ذو الشكل الرفيع (قناة أسلاك نانو) الذي يتحكم بالبوابة المحيطة به (تكنولوجيا حول كل البوابة). تم انتاج ترانزستور أسلاك نانو سليكون ١٦ نانو متر باستخدام أسلاك نانو متعددة في القناة. وتصنيع أمثل للبوابة وتقليل سمك جدار البوابة لتحسين تشغيل التيار ويوضح الشكل (٢ –٨٢) تخطيط للترانزستور.



الشكل (٢ –٨٢) تخطيط لترانزستور أسلاك النانو السليكون

تم مؤخرا تطوير ترانزستور أسلاك نانو بدون وصلات. ويبين الشكل (٢ –٨٣) تخطيط للترانزستور أسلاك نانو قناة موصلية (ن).



الشكل (٢ –٨٣) تخطيط للترانزستور أسلاك أنبوب قناة موصلية (ن) بدون وصلات

طبقة العازل الكامنة (أكسيد مدفون) غير ظاهرة. تركيز الشوائب في القناة مطابق للمنبع والمستنزف. في العناصر ثلاثية البوابة الكلاسيكية فان كل من المنبع والمستنزف عالي التخدير

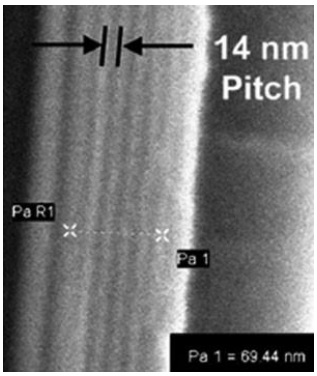
موصلية (ن) ومنطقة القناة تحت البوابة خفيفة التخدير موصلية (ب). في مقاومة البوابة بدون وصلة فان نسبة التخدير في أسلاك النانو السيلكون منتظمة التوزيع من النوع (ن) ومادة البوابة سليكون غير متبلور من النوع (ب). تستخدم قطبية عكسية للترانزستورات قناة موصلية (ب) . أساس انشاء مقاومة بوابة بدون وصلة هو تشكيل طبقة شبه موصلة رقيقة وضيقة بما يكفي للسماح لاستنفاد كل حوامل الشحنات عند إيقاف تشغيل العنصر. كما تحتاج أشباه الموصلات أيضا أن تكون عالية التخدير للسماح لتدفق التيار بقدر معقول عند تشغيل العنصر. ويفرض استخدام أبعاد النانو وتركيزات عالية من المنشطات، ومن ثم تحفيز استخدام أسلاك النانو بفرض الشرطين معا. يسلك الترانزستور تقريبا منحدر عتبة مثالية وتيارات التسرب منخفضة للغاية، وتدهور أقل فى حركية حوامل الشحنات بالمقارنة بالترانزستورات الكلاسيكية عند زيادة جهد البوابة. وهناك نهجان أساسيان لتصنيع مجموعة أسلاك النانو: نهج من أسفل إلى أعلى ومن أعلى إلى أسفل. في النهج من أعلى إلى أسفل، يتم تقطيع قطعة كبيرة من المادة إلى أسلاك نانو. بتقنية بصمة النانو [٢٦٣]، وهو نوع من الطباعة الحجرية التي تقوم بإنشاء أنماط بتشوهات ميكانيكية لبصمة مقاومة بتقنية التعفن، المحدد مسبقاً أنماطه الطوبولوجية. عادة ما تكون مقاومة البصمة من مادة ذات صيغة مركبة أو من البوليمر يتم علاجها عن طريق الحرارة أو الأشعة فوق البنفسجية أثناء عملية طباعة البصمة [٢٦٤]. استخدام الطباعة الحجرية لبصمة نانو، بتصنيع سلكين متوازيين بأبعاد النانو من ٥ نانومتر

---

٢٦٣ بصمة نانو A popular method is nanoimprint, a type of lithography that creates patternsby mechanical deformation of imprint resist through a mold, which has predefined topological patterns

٢٦٤ مقاومة البصمة مادة ذات صيغة مركبة أو من البوليمر يتم علاجها عن طريق الحرارة أو الأشعة فوق البنفسجية أثناء عملية طباعة البصمة The imprint resist is typically a monomer or polymer formulation that iscured by heat or ultraviolet light during the imprinting process. Using nanoimprint lithography

عرض والمسافة بينهما ١٤ نانومتر. ويبين الشكل (٢ –٨٤) صورة ميكروسكوبية لمجهر المسح الضوئي الإلكتروني [٢٦٥] لطبقة البوليمر المنقوشة.



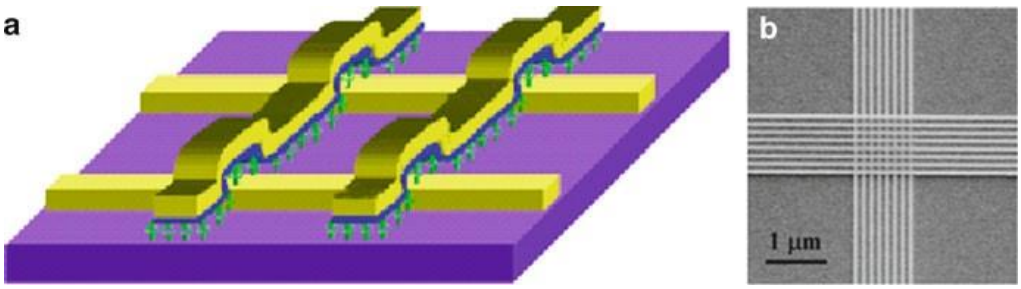
الشكل (٢ –٨٤) صورة نموذج لبصمة منقوشة عالية الكثافة لمجهر المسح الضوئي الإلكتروني لنمط بوليمر عن طريق العفن لسلكين متوازيين المسافة بينهما ١٤ نانومتر وعرض السلك ٧ نانومتر

ثم يمكن استخدام هذه الأنماط لإنتاج أسلاك نانو معدنية متوازية عالية الكثافة من خلال خطوات النقش والترسيب. يمكن استخدام بصمة نانو لتصنيع عناصر الذاكرات العارضة أو هياكل التوجيه للدوائر المتكاملة الكبيرة جدا. طورت مجموعات بحثية عديدة عناصر الذاكرات العارضة واختبارها باستخدام أسلاك معدنية نانو وعناصر تبديل جزيئية عضوية. يوضح الشكل (٢ –٨٤ أ) تخطيط للدوائر العارضة تم تصنيعها بتقنية نقش بصمة نانو. طبقة أحادية من جزيئات روتا كساني توسطت أعلى وأسفل اسلاك النانو [٢٦٦]. العنصر الأساسي في الدائرة هو وصلة بلاتين /روتا كساني/ تيتانيوم عند كل نقطة تقاطع، وتعمل كعنصر تبديل غير متطايرة وعكسها وتم توصيل عدد ٦٤ عنصر تبديل لتكوين دائرة عارضة ٨ x ٨ بمساحة ١ نانومتر مربع. يوضح الشكل (٢ –٨٥ ب) صورة لمجهر المسح الضوئي الإلكتروني لذاكرة عارضة. تنمو

٢٦٥صورة ميكروسكوبية لمجهر المسح الضوئي الإلكتروني a scanning electron microscope (SEM) image

٢٦٦ طبقة أحادية من جزيئات روتا كساني توسطت أعلى وأسفل اسلاك النانوA monolayer of the rotaxane molecules were sandwiched between bottom and top nanowires

أسلاك النانو من بذرة بلورية بنهج من أسفل إلى أعلى بالأقطار المطلوبة. ثم يتم تجميع هذه الأسلاك في مع محاذاة الصفوف باستخدام محاذاة التدفق و/أو تقنيات لانجموير– بلودجيت.



الشكل (٢ –٨٥ أ) تخطيط لتكوين ذاكرة عارضة، طبقة أحادية من روتا كساني توسطت طبقات البلاتين والتيتانيوم في الأسفل وصفوف طبقات البلاتين والتيتانيوم في الأعلى أسلاك النانو من أعلى وأسفل اسلاك النانو (ب) صورة لمجهر المسح الضوئي الإلكتروني توضح مجموعتين من اسلاك نانو متقاطعين في وسط المساحة

تم التوصل الى أسلوب حل عام وفعال مستند للسيطرة على التنظيم والتسلسل الهرمي لهياكل أسلاك النانو على مناطق واسعة. ثم نقلها إلى ركائز مستوية بأسلوب طبقة بطبقة لتشكيل تكوينات متوازية ومتقاطعة. تم نقش اسلاك النانو المتوازية والمتقاطعة بكفاءة في صفوف متكررة بأبعاد ومسافات دقيقة باستخدام الطباعة الحجرية التصويرية بهياكل هرمية بالترتيب المحدد بالنانومتر من خلال أبعاد الطول السنتيمترية. تحديا كبيرا للعناصر المستندة إلى أسلاك النانو أو هياكل الدائرة هو ارتفاع معدل العيوب مقارنة بالترانزستورات مؤثرة المجال المكملة التقليدية (هذا أيضا يمثل مشكلة بالنسبة لدوائر الترانزستورات مؤثرة المجال المستندة الى أنابيب الكربون النانو وكذلك المستندة الى شرائط الجرافين النانو على سبيل المثال، الذاكرة العارضة، فنجد فقط ٥٠ في المائة من عناصر التبديل المتقاطعة تعمل. وهكذا، فان تقنيات تصنيع جديدة لتحسين نسبة العائد ومنهجيات تصميم الدوائر تمثل أنشطة بحثية نشطة الآن.

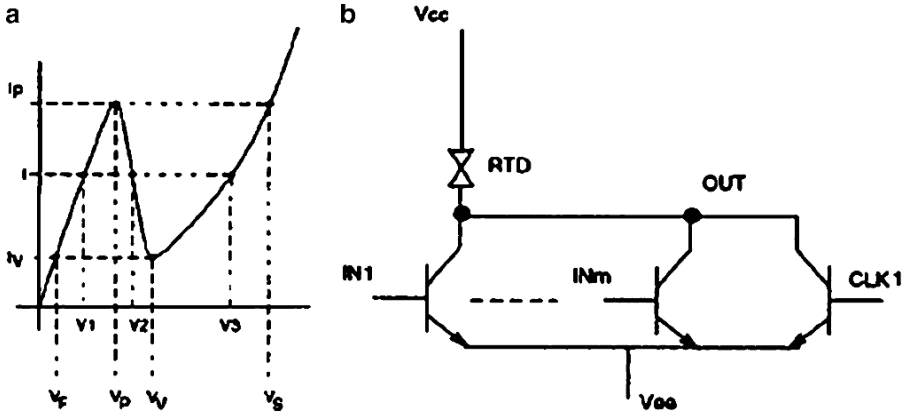
٢ – ١٣ – ٥ ثنائيات النفق الرنانة

ثنائي نفق [٢٦٧] " نوع من صمامات أشباه الموصلات الثنائية القادرة على التشغيل السريع جداً عن طريق استخدام التأثيرات الميكانيكية والكم. هذه الثنائيات بها وصلة (ب – ن) عالية التخدير مع منطقة نضوب ضيقة (< ١٠ نانومتر في السمك). بالتشغيل العادي بالتحيز الأمامي، كلما يبدأ الجهد في الزيادة، فان الإلكترونات في منطقة نطاق التوصيل (ن) تنحاز طاقيا الى الشحنات الموجبة (الثقوب) في نطاق التكافؤ للمنطقة (ب). يحدث اتصال نفقي ويتدفق تيار أمامي. كلما يزيد الجهد أكثر، تصبح حالة الإلكترونات والثقوب منحرفة أكثر ويتناقص التيار. وهذا ما يسمى المقاومة السلبية لتناقص التيار مع زيادة الجهد. كلما يزيد الجهد أكثر من ذلك، يبدأ الصمام الثنائي في التشغيل كصمام ثنائي عادي، حيث تنتقل الإلكترونات بالتوصيل خلال الوصلة (ب – ن) ولم يعد يعمل كصمام نفق. تتطلب ثنائيات النفق الرنانة أن تكون الإلكترونات ذات طاقة أعلى من مستوى حالة الطاقة في بئر الكم من أجل حدوث التوصيل النفقي. وبمجرد ان يكون جهد التحيز كبير بما يكفي لتوفير طاقة كافية، تبدو ثنائيات النفق الرنانة وكأنها صمام ثنائي نفق عادي. الثنائيات النفق الرنانة تلقي قدرا كبيرا من الاهتمام. يوضح الشكل (٢ –٨٦ أ) منحنى خواص الفولت والتبار لثنائيات النفق الرنانة. بزيادة الجهد المطبق خلال أطراف ثنائي النفق الرنان من الصفر، يرتفع التيار حتى قيمة جهد الذروة (V_p) لثنائي النفق الرنان، التيار المقابل يسمى تيار الذروة (I_p). بزيادة الجهد عبر ثنائي النفق الرنان أكبر من جهد الذروة، ينخفض التيار الكهربائي فجأة حتى يصل الجهد الى قيمة جهد الذروة. وهو الجهد في الوادي (V_V) كما في المنحنى، بعد جهد الذروة

---

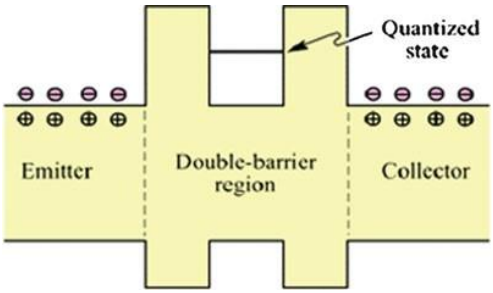
٢٦٧ ثنائيات النفق الرنانة Resonant tunneling diodes (RTDs)

يبدأ التيار في الزيادة مرة أخرى. للتيار في الوادي وتيار الذروة (I_v, I_p)، هناك احتمالين لجهد منتظم ($V_1 < V_p$, or $V_3 > V_v$).



الشكل (٢ –٨٦ أ) منحنى خواص الفولت والتيار لثنائيات النفق الرنانة – ب تشغيل ثنائي النفق الرنان ثنائي الانتظام

حتى تكون ثنائيات النفق الرنانة مفيدة في الدوائر ذات الأداء العالي، من الضروري ظهور وادى عميق وضيق (أي نسبة تيار الوادي الى تيار الذروة). وهذا يسمح للتبديل في زمن بيكو ثانية وحاد الانتقال. عادة، يتم تشكيل ثنائيات النفق الرنانة كهيكل بئر كم واحد محاط بطبقة عوائق رقيقة جداً. ويسمى هذا الهيكل هيكل مزدوج – العائق [٢٦٨]. يمكن أن تكون حوامل الشحنات مثل الإلكترونات والثقوب ذات قيم طاقة منفصلة داخل بئر الكم. ويوضح الشكل (٢ –٨٧) هذا المفهوم.



الشكل (٢ –٨٧) تخطيط لهيكل ثنائي النفق الرنان بعتبتين

٢٦٨ هيكل مزدوج–العائق double–barrier structure

يمكن تصنيع ثنائيات النفق الرنانة باستخدام العديد من أنواع مختلفة من مواد أشباه الموصلات (مثل مواد العمود الثالث – الخامس، أو مواد العمود الرابع، أو مواد العمود الثاني – السادس) وأنواع مختلفة من هياكل النفق الرنان. تتحقق عادة ثنائيات النفق الرنانة من مركبات مواد العمود الثالث – الخامس. حيث المواد الهجينة مصنعة من مركبات أشباه موصلات من العمود الثالث والخامس لتصنيع عوائق الجهد الثنائية أو عوائق الجهد المتعددة في نطاق التوصيل أو نطاق التكافؤ. ويمكن تحقيقها أيضا باستخدام منظومة مواد السيلكون / سليكون – جرمانيوم. وقد طور الباحثون الدوائر الرقمية باستخدام ثنائيات النفق الرنانة جنبا إلى جنب مع الترانزستور ثنائي القطبية المهجن [٢٦٩] والترانزستور مؤثر المجال بتخدير معدل [٢٧٠]، وغيرها من التكنولوجيات. ويبين الشكل (٢ –٨٦ ب) مثال، حيث ثنائيات النفق الرنانة والترانزستور ثنائي القطبية المهجن معا يمكن تطبيق وظيفة مانع تناظري غير مرجح. يتلقى نطاق التردد تيرا هيرتز قدرا كبيرا من الاهتمام مؤخرا بسبب ما له العديد من التطبيقات، مثل الاتصالات اللاسلكية عالية السرعة والتصوير. تستخدم ثنائيات النفق الرنانة كمصادر تردد تيرا هيرتز محكمة ومتماسكة. على سبيل المثال، مذبذبات تردد تيرا هيرتز وثنائيات النفق الرنانة مع الدوائر المتكاملة المستوية. ثنائيات النفق الرنانة التي لها هيكل ثنائي المانع جاليوم انديوم خراصين/ المونيوم خراصين على ركيزة شبه عازلة من فوسفيد الإنديوم [٢٧١]. تم الحصول على

---

٢٦٩ الترانزستور ثنائي القطبية المهجن HBTs heterojunction bipolar transistors

٢٧٠ الترانزستور مؤثر المجال بتخدير معدلMODFETs modulation-doped field-effect transistors

٢٧١ ثنائيات النفق الرنانة التي لها هيكل ثنائي المانع جاليوم الديوم خراصين/ المنيوم خراصين على ركيزة شبه عازلة من فوسفيد الإنديوم The RTD has a GaInAs/AlAs double barrier structure on a semi-insulating InP substrate

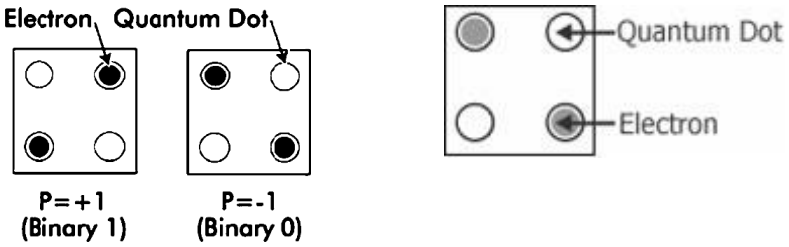
تردد تذبذبات أساسية حتى تهز ٠,٦٥ تيرا هيرتز وتذبذبات توافقية حتى ١,٠٢ تيرا هيرتز في درجة حرارة الغرفة. وهذا يمثل أحد أفضل الترددات التي تحققت من خلال العناصر الإلكترونية. والتحدي الرئيسي لثنائيات النفق الرنانة هي إدماجها في الدوائر ذات الأبعاد الكبيرة في أرقام مفيدة وكثافة العناصر. وتشمل التحديات الأخرى الاختلاف في خصائص التيار – الجهد لثنائيات النفق الرنانة عبر الرقاقة ومن رقاقة الى أخرى والتصنيع المعتمد على الممانعات الطفيلية، وتأثيرات الحواف. يهتم الباحثون بتحسين تصاميم ثنائيات النفق الرنانة بنشاط والتعامل مع هذه القضايا ومواصلة تطوير ثنائيات النفق الرنانة على ركيزة من السليكون. على سبيل المثال، استخدام عملية أكسدة لتصنيع ثنائيات النفق الرنانة من الفلوريد على ركائز سيلكون، الذي يحقق تسرب منخفض ونسبة عالية كبيرة لتيار الذروة بالنسبة الى تيار الوادى. مثل هذه الجهود ستزيد إمكانية تنفيذ التكنولوجيا على نطاق واسع لثنائيات النفق الرنانة في المستقبل.

٢ – ١٣ –٦ آلات الكم "الخلوية

آلات الكم "الخلوية [٢٧٢] تشير إلى نموذج لحوسبة الكم. التي تطورت على النقيض من النماذج التقليدية للآلات الخلوية .آلات الكم "الخلوية هي تكنولوجيا نانو والمعروفة بأنها واحدة من أعلى التكنولوجيات مع تطبيقات محتملة لأجهزة الكمبيوتر في المستقبل.

---

٢٧٢ آلات الكم "الخلوية(QCA) Quantum dot cellular automata (sometimes referred to simply as quantum cellular automata, or QCA) are a proposed improvement on conventional computer design (CMOS), which have been devised in analogy to conventional models of cellular automata .Any device designed to represent data and perform computation, regardless of the physics principles it exploits and materials used to build it, must have two fundamental properties: distinguishability and conditional change of state, the latter implying the former. This means that such a device must have barriers that make it possible to distinguish between states, and that it must have the ability to control these barriers to perform conditional change of state. For example,



الشكل (٢ –٨٨) خلايا آلات الكم "الخلوية توضح مدى ترميز المعلومات التناظرية في قطري الخلية المشحونين بالكامل

وقد أفادت عدة دراسات أن آلات الكم "الخلوية يمكن استخدامها لتصميم حوسبة للأغراض العامة ودوائر الذاكرة. اقترح لأول مرة في عام ١٩٩٣، يتوقع أن تحقق آلات الكم "الخلوية عناصر عالية الكثافة وسرعة عالية، وانخفاض استهلاك الطاقة. نقاط الكم هي هياكل نانو على غرار أبار الكم. وبمجرد محاصرة الإلكترونات داخل نقطة الكم، فإن الالكترونات تحتاج الى طاقة عالية للهروب. ترتكز تكنولوجيا آلات الكم "الخلوية على تفاعل خلايا آلات الكم "الخلوية ثنائية الاستقرار المبنية من أربع نقاط الكم [٢٧٣]. تشحن الخلية بإلكترونين حرين

---

in a digital electronic system, transistors play the role of such controllable energy barriers, making it extremely practical to perform computing with them. A cellular automata (CA) is a finite state machine consisting of a uniform (finite or infinite) grid of cells. Each cell can be in only one of a finite number of states at a discrete time. As time moves forward, the state of each cell in the grid is determined by a transformation rule that factors in its previous state and the states of the immediately adjacent cells (the cell's "neighborhood").

٢٧٣ تفاعل خلايا آلات الكم "الخلوية ثنائية الاستقرار المبنية من أربع نقاط الكم

Cellular automata are commonly implemented as software programs. However, in 1993, Lent et al. proposed a physical implementation of an automaton using quantum-dot cells. The automaton quickly gained popularity and it was first fabricated in 1997. Lent combined the discrete nature of both cellular automata and quantum mechanics, to create Nano-scale devices capable of performing computation at very high switching speeds (order of Terahertz) and consuming extremely small amounts of electrical power. Today, standard solid state QCA cell design considers the distance between quantum dots to be about 20 nm, and a distance between cells

وهما، قادرين لاختراق نفقي بين النقاط المتجاورة. وبسبب التنافر الالكتروستاتيكي المتبادلة بينهما، يميل الالكترونين لشغل مواقع قطرية. وهكذا، يوجد ترتيبيين متساويان للإلكترونين في خلية آلات الكم "الخلوية بحد أدنى من الطاقة. كما هو مبين في الشكل (٢ –٨٨). يحدد الترتبين قطبية الخلية (P =+1) و (P = −1). باستخدام قطبية الخلية (P =+1) للتمثيل التناظري في الوضع "١" و (P =−1) للتمثيل التناظري في الوضع "٠"، يتم ترميز المعلومات الثنائية في هيكل شحنة خلية آلات الكم "الخلوية. أوليات أسس آلات الكم "الخلوية المنطقية الأساسية تتضمن أسلاك آلات الكم "الخلوية [٢٧٤], وعاكس [٢٧٥] آلات الكم "الخلوية، بوابة الأغلبية آلات الكم "الخلوية [٢٧٦]. استناداً إلى هذه العناصر، يمكن استخدام آلات الكم "الخلوية

---

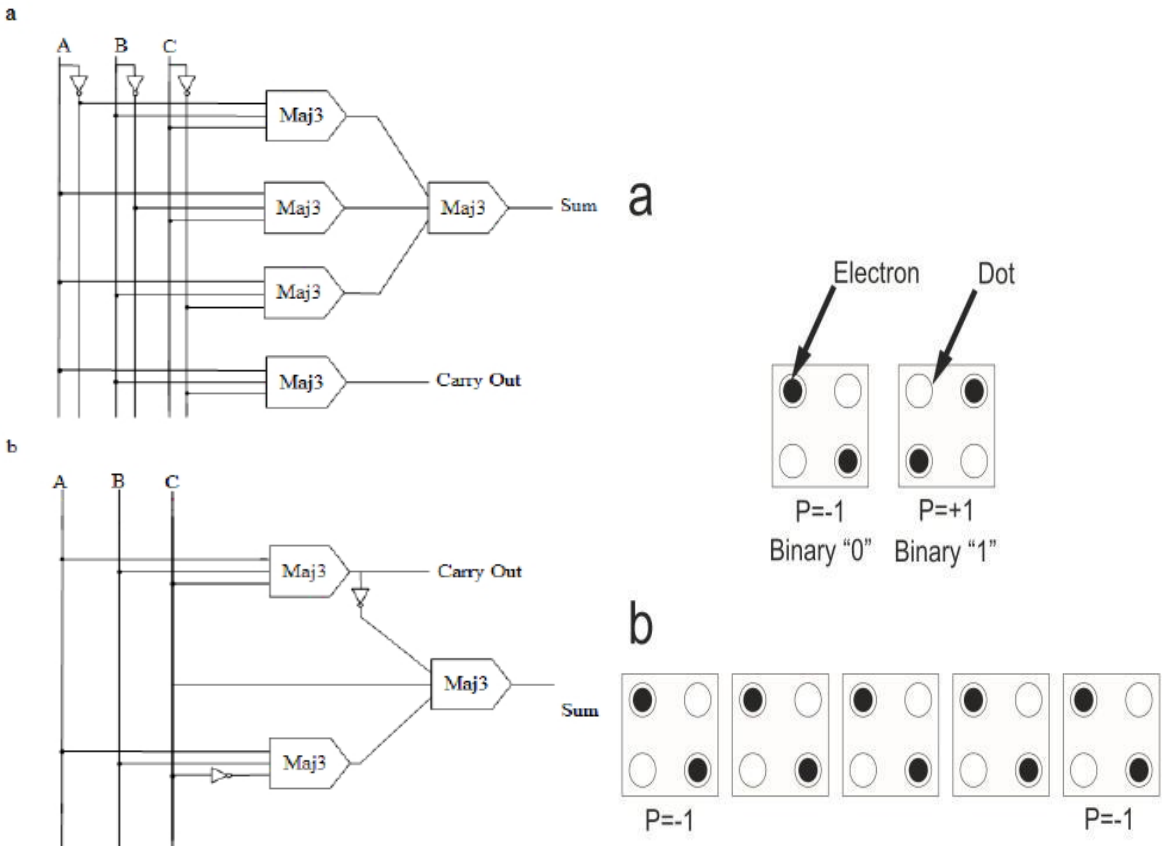
of about 60 nm. Just like any CA, Quantum (-dot) Cellular Automata are based on the simple interaction rules between cells placed on a grid. A QCA cell is constructed from four quantum dots arranged in a square pattern. These quantum dots are sites electrons can occupy by tunneling to them.

٢٧٤ أسلاك آلات الكم "الخلويةQCA Wire is Grid arrangements of quantum-dot cells behave in ways that allow for computation. The simplest practical cell arrangement is given by placing quantum-dot cells in series, to the side of each other. Figure 4 shows such an arrangement of four quantum-dot cells. The bounding boxes in the figure do not represent physical implementation, but are shown as means to identify individual cells.

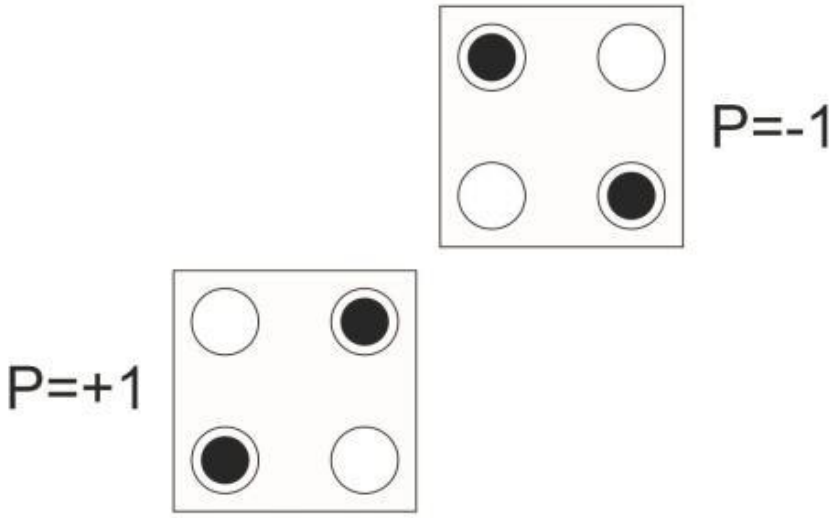
٢٧٥ العاكسInverters for Every Situation the Inverter Store is ready to offer solutions to any off-grid or on-grid need. Whether you have a Solar System, Gas Generator,

٢٧٦ بوابة الأغلبية آلات الكم "الخلويةMajority gate and inverter (NOT) gate are considered as the two most fundamental building blocks of QCA. Figure 5 shows a majority gate with three inputs and one output. In this structure, the electrical field effect of each input on the output is identical and additive, with the result that whichever input state ("binary 0" or "binary 1") is in the majority becomes the state of the output cell — hence the gate's name. For example, if inputs A and B exist in a "binary 0" state and input C exists in a "binary 1" state, the output will exist in a "binary 0" state since the combined electrical field effect of inputs A and B together is greater than that of input C alone

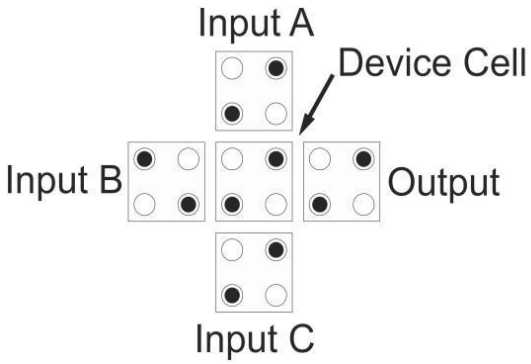
لبناء بوابات تناظرية عالمية الكم. توجد أشباه الموصلات مستندة الى آلات الكم "الخلوية أو (معدن – نقطة الكم "الخلوية) وآلات الكم "الخلوية الجزيئية. مزايا أشباه الموصلات مستندة الى آلات الكم "الخلوية هي تصنيع أشباه الموصلات قوية باستخدام الأدوات الموجودة، والتقنيات، والبنية التحتية لتطوير آلات الكم "الخلوية وعلاوة على ذلك، فمن السهل تطبيق المدخلات ومراقبة النواتج.



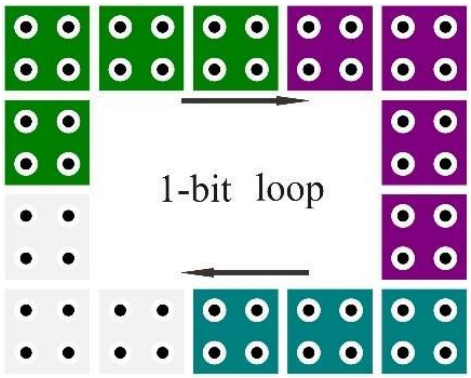
الشكل (٢ –٨٩) أ – الخلية الأساسية ب – أسلاك آلات الكم "الخلوية – تصاميم المستندة إلى بوابة الأغلبية لخلية كاملة تجميع بت واحد (أ) تصميم خمسة بوابة الأغلبية بثلاثة مدخلات وثلاث عاكس (ب) تصميم ثلاث بوابة الأغلبية مع ثلاثة مدخلات وعاكسين.



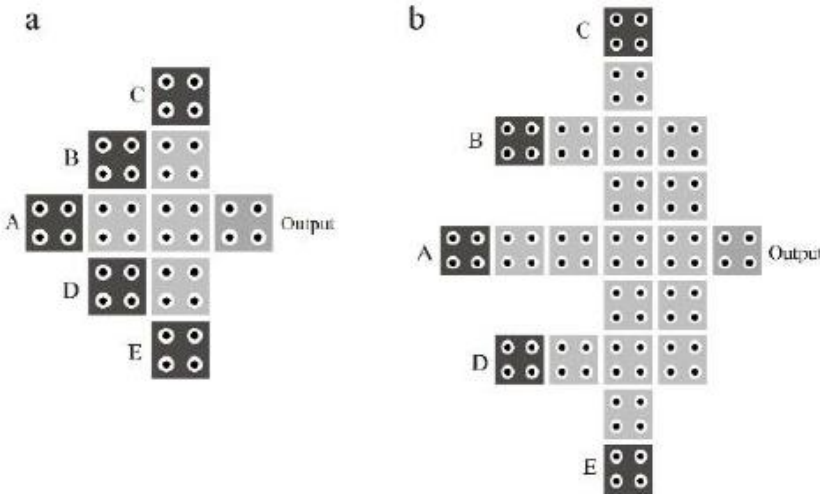
الشكل (٢ –٩٠) عاكس آلات الكم "الخلوية



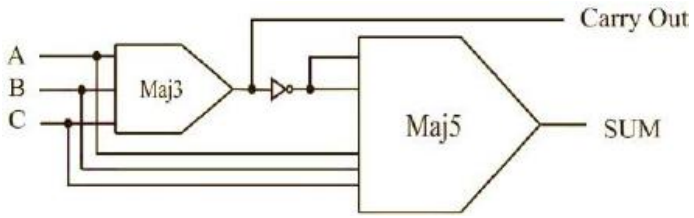
الشكل (٢ –٩١) أ – بوابة اغلبية آلات الكم "الخلوية بثلاث مداخل



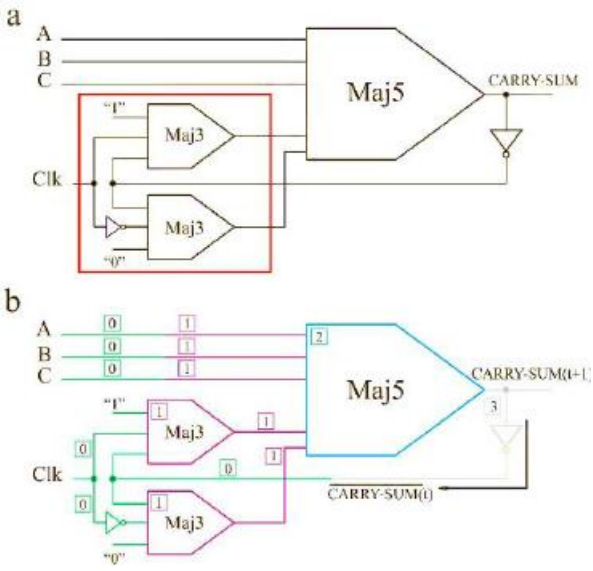
الشكل (٢ –٩٢) عنصر الذاكرة لحفظ بت واحد



الشكل (٢ –٩٣) نموذج التغذية المرتدة أو عنصر الذاكرة حلقة لتخزين بت واحد مستندة لآلات الكم الخلوية"



الشكل (٢ –٩٤) تصميم للخلية الكاملة–التجميع بت واحد

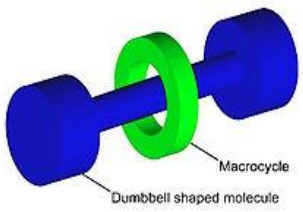


الشكل (٢ –٩٥) الخلية تجميع كاملة واحدة بت استناداً إلى نموذج تغذية عكسية (أ) مخطط (ب) تخطيط تزامن

من جهة أخرى، تكوين خلايا آلات الكم "الخلوية من الجزيئات يسمح لنا بقياس ما يتجاوز تحقيقه بالطباعة التصويرية والحصول على كثافة تناظرية عالية تصل الى ١و٠١٣ عنصر/سم٢). أيضا، يمكن تصنيع الخلايا آلات الكم "الخلوية متجانسة باستخدام تقنيات التوليف الكيميائي والتجميع الذاتي. هذا الأفضل من الطباعة التصويرية، التي ينتج عنها الاختلافات في خصائص العناصر بمقياس نانومتر. وأخيراً، آلات الكم "الخلوية الجزيئية لها إمكانيات كبيرة لتوفير تسريع كبير ملحوظ لأشباه موصلات آلات الكم "الخلوية. التحدي الفريد لآلات الكم "الخلوية الجزيئية، سواء كانت بالمئات أو بالآلاف من الذرات فانه يمكن توليفها بدقة وتوجيهها نحو عمل حسابات آلات الكم "الخلوية واضحة. في حين ان آلات الكم "الخلوية تعتبر منطقة بحث مثيرة، فإنها تواجه تحديات كبيرة قبل اعتمادها على نطاق واسع. وتشمل هذه التحديات تطوير تقنيات تصنيع جديدة واسعة النطاق لآلات الكم "الخلوية لتصنيع الدوائر، والتحقق من خلوها من العيوب ودوائر أخطاء التسامح وتكوين الهياكل، الاتصالات الفعالة في الأجواء الخارجية، وتطوير أدوات التصميم بمساعدة الحاسب مركزية آلات الكم "الخلوية.

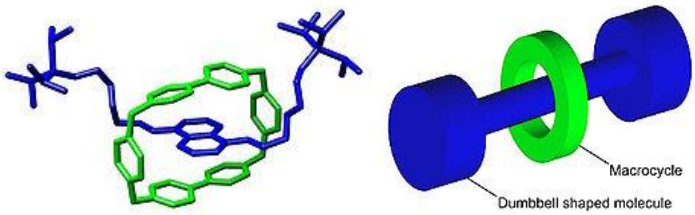
٢ – ١٤ التاريخ والتقدم الذي أحرز مؤخرا

عند مناقشة تعقيدات ما يسمى حاملات الشحنات المانحة والمستقبلة في العام ١٩٤٠م، إستعرض الباحثون آن ذلك مفهوم إنتقال الشحنات في الجزيئات وفي وقت لاحق تمت دراسة إنتقال الشحنتين المانحة والمستقبلة ونقل الطاقة في الجزيئات وبالمثل، فى العام ١٩٧٤ تم التوضيح نظريا ما يتعلق بموحدات التيار الجزيئية.



الشكل (٢ – ٥٨) تمثيل رسومي أروتاكساني، مفيد كرمز لمفتاح تبديل جزيئي.

وفي عام ١٩٨٨، تم التوصيف النظرى لترانزستور الجزئ الواحد المتأثر بالمجال [٢٧٧] وأقترحت المفاهيم الأخرى، بما في ذلك بوابات الجزيء الواحد المنطقية[٢٧٨] وقدمت مجموعة واسعة من الأفكار النظرية للأجهزة الإلكترونية الجزيئية في عام ١٩٨٨. تأجلت القياسات المباشرة للخصائص الإلكترونية للجزيئات المفردة وهذه كلها ثوابت نظرية لتطوير الوصلات الكهربائية بالأبعاد الجزيئية والتى لم تكن مهمة سهلة وهكذا، كانت أول تجربة مباشرة لقياس الموصلية من جزيء واحد في عام ١٩٩٥ وفي وقت لاحق في عام ١٩٩٧ تمت على بضع مئات من الجزيئات.



الشكل (٢ – ٥٩) على الشمال تمثيل رسومي روتاكساني وعلى اليمين بنية بلورية من روتاكساني مع أسيكلوبيس (باراكوات–p–الفينيلين) ماكروسيكلي.

ومنذ ذلك الحين، تطور هذا الفرع من التخصص بسرعة وبالمثل، أصبح من الممكن قياس هذه الخصائص مباشرة، وقد تأكدت التوقعات النظرية في وقت مبكر إلى حد كبير.

---

٢٧٧ ترانزستور الجزئ الواحد المتأثر بالمجال The field–effect transistor (FET) is a transistor that uses an electric field to control the shape and hence the electricalconductivity of a channel of one type of charge carrier in a semiconductor material. FETs are also known as unipolar transistors and as they involve single–carrier–type operation. The FET has several forms, but all have high input impedance. While the conductivity of a non–FET transistor is regulated by the input current (the emitter to base current) and so has a low input impedance, a FET's conductivity is regulated by a voltage applied to a terminal (the gate) which is insulated from the device.

٢٧٨ البوابات الجزيء الواحد المنطقية a logic gate is an idealized or physical device implementing a Boolean function; that is, it performs a logical operation on one or more logical inputs, and produces a single logical output. Depending on the context, the term may refer to an ideal logic gate, one that has for instance zero rise time and unlimited fan–out, or it may refer to a non–ideal physical device[1] (see Ideal and real op–amps for comparison).

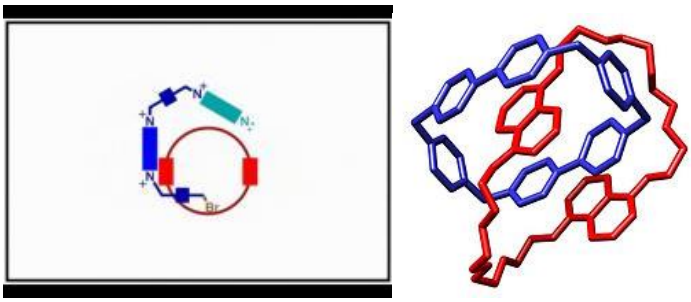
قد ساهم التقدم الذي أحرز مؤخرا في تكنولوجيا النانو وعلوم النانو كلا الدراسات التجريبية والنظرية للإلكترونيات الجزيئية وعلى وجه الخصوص، بعد تطوير مجهر المسح النفقي[٢٧٩] ومجهر القوة الذرية[٢٨٠] . قد سهل التلاعب بإلكترونيات الجزيء الواحد وبالإضافة، الى التقدم النظري في الإلكترونيات الجزيئية ساهم فى المزيد من الفهم لإنتقال حرارة الشحنات الغير ثابتة للقطب ووجهات الإنحلال الكهربائى. نشر مفهوم الإلكترونيات الجزيئية لأول مرة في عام ١٩٧٤ عندما أعلن أن جزيء عضوي يمكن أن يعمل بوصفه موحد للتيار وبعد كل المزايا التجارية والأساسية الضخمة بذل الكثير من الجهد لإثبات جدواه وبعد ١٦ عاما في عام ١٩٩٠ تحقق أول موحد تيار جزيئي بتقنية الأفلام الرقيقة من الجزيئات. أول تجربة لقياس الموصلية لجزيء واحد في عام ١٩٩٤ ونشرت في عام ١٩٩٥ وكان هذا نتيجة ١٠ سنوات من البحث وذلك بإستخدام رأس مجهر المسح النفقي كطرف لتبديل الجزيء الواحد كما أستكشفت في نهاية الثمانينات. كان لإستخدام مجهر المسح الفائق لحفر نفق للسماح لرأس الطرف للمس بلطف الجزء العلوي من واحد من ٦٠ جزيء ترسبت على سطح من الذهب وسجلت المقاومة ٥٥ ميلى أوم جنبا إلى جنب مع تغير الجهد المنخفض الخطي والتيار. أعتمد التوصيل عن طريق تسجيل خواص التيار، مما يسمح لقياس التشوهات فى حركة الستين جزيئ المتصلة وأعقب التجربة الأولى بإستخدام نهج كسر التقاطع الميكانيكية لتوصيل قطبين

---

٢٨١ مجهر المسح النفقي A scanning tunneling microscope (STM) is an instrument for imaging surfaces at the atomic level. Its development in 1981 earned its inventors, Gerd Binnig and Heinrich Rohrer (at IBMZürich), the Nobel Prize in Physics in 1986.[1][2] For an STM, good resolution is considered to be 0.1 nm lateral resolution and 0.01 nm depth resolution.[3] With this resolution, individual atoms within materials are routinely imaged and manipulated. The STM can be used not only in ultra-high vacuum but also in air, water, and various other liquid or gas ambients, and at temperatures ranging from near zero kelvin to a few hundred degrees Celsius

٢٨٢ مجهر القوة الذرية Atomic-force microscopy (AFM) or scanning-force Microscopy (SFM) is a very-high-resolution type of scanning probe microscopy (SPM), with demonstrated resolution on the order of fractions of a nanometer, more than 1000 times better than the optical diffraction limit.

من الذهب إلى نهاية الأسلاك الجزيئية[٢٨١] الطرفية من الكبريت في عام ١٩٩٧, وقد تم تنفيذ مكبر الجزيء الواحد للصوت.



الشكل (٢ – ٦٠) بنية بلورية من كاتيناني مع أسيكلوبيس

تنطوي هذه التجربة على مصفوفة من ٦٠ جزيء يمكن لأحداها أن توفر كسب في الدائرة فقط من خلال التلاعب مع ٦٠ جزيئ داخلى عن طريق التدخل الكمى لضم جزيئي ٠ وقاد تعاون الباحثين لتطوير الإلكترونيات الجزيئية على أساس روتاكسانيس [٢٨٢] وكاتينانيس [٢٨٣]، كما يجري العمل على إستخدام أنابيب الكربون النانوية كترانزستورات مجال التأثير.

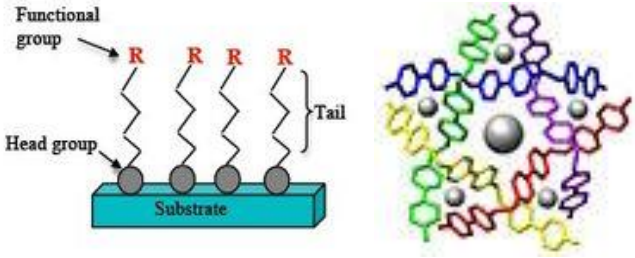
---

٢٨١ لأسلاك الجزيئية Molecular wires (molecular nanowires) are molecular chains that conduct electric current. They are the proposed building blocks for molecular electronic devices. Their typical diameters are less than three nanometers, while their lengths may be macroscopic, extending to centimeters or more.

٢٨٢ روتاكسانيس A rotaxane is a mechanically interlocked molecular architecture consisting of a "dumbbell shaped molecule" which is threaded through a "macrocycle" (see graphical representation). The name is derived from the Latin for wheel (rota) and axle (axis). The two components of a rotaxane are kinetically trapped since the ends of the dumbbell (often called stoppers) are larger than the internal diameter of the ring and prevent dissociation (unthreading) of the components since this would require significant distortion of the covalent bonds.

٢٨٣ كاتينانيس A catenane is a mechanically-interlocked molecular architecture consisting of two or more interlocked macrocycles. The interlocked rings cannot be separated without breaking the covalent bonds of the macrocycles. Catenane is derived from the Latin *catena* meaning "chain". They are conceptually related to other mechanically interlocked molecular architectures, such as rotaxanes, molecular knots ormolecular Borromean rings. Recently the terminology "mechanical bond" has been coined that describes the connection between the macrocycles of a catenane.

ظهرت بعض التقارير المحددة عن ترانزستور مجال التأثير على أساس جزيئية الطبقات الأحادية المجمعة الذاتية[٢٨٤] حتى وقت قريب نظريا, تم تأكيد لا لبس فيه أنه لم يحدد بعد العديد من موحدات التيارالجزيئية[٢٨٥] وأن عدد وجودة هذه النظم يتطور سريعا.



الشكل (٢ – ٦١) تمثيل البنية الجزيئية للطبقات الأحادية المجمعة الذاتية

إلكترونيات السوبراموليكولار [٢٨٦] هو مجال جديد يتناول الالكترونيات في مستوى السوبراموليكولار. أحد الصعوبات في مجال الإلكترونيات الجزيئية هي تحديد مقاومة الجزيء

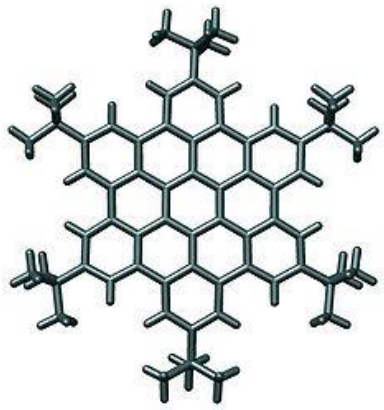
---

٢٨٤ جزيئية الطبقات الأحادية المجمعة الذاتية Self-assembled monolayers (SAM) of organic molecules are molecular assemblies formed spontaneously on surfaces by adsorption and are organized into more or less large ordered domains.[1][2] In some cases molecules that form the monolayer do not interact strongly with the substrate.

٢٨٥ موحدات التيارالجزيئية A unimolecular rectifier is a single organic molecule which functions as a rectifier (one-way conductor) of electric current. The idea was first proposed in 1974 by Arieh (later Ari) Aviram, then at IBM, and Mark Ratner, then at New York University. Their publication was the first serious and concrete theoretical proposal in the new field of molecular electronics (UE).

٢٨٦ إلكترونيات السوبراموليكولار Supramolecular electronics is the experimental field of supramolecular chemistry that bridges the gap between molecular electronics and bulk plastics in the construction of electronic circuitry at the nanoscale . In supramolecular electronics, assemblies of pi-conjugated systems on the 5 to 100 nanometerlength scale are prepared by molecular self-assembly with the aim to fit these structures between electrodes. With single-molecules as researched in molecular electronics at the 5 nanometers scale this would be impractical. Nanofibers can be prepared from polymers such as polyaniline and polyacetylene . Chiral oligo(p-phenylenevinylene) s self-assemble in a controlled fashion into (helical) wires. An example of actively researched compounds in this field are certaincoronenes.

الواحد (النظرية والعملية على حد سواء). على سبيل المثال، أستخدم مجهر المسح النفقي[٢٧٩] لتحليل كيفية عمل مفتاح التحول الجزيئى الواحد فى طبقة أحادية مجمعة ذاتيا لتحديد كيفية التوصيل لجزيئ وهناك مشكلة أخرى وهى صعوبة إجراء توصيف مباشر منذ التصوير على المستوى الجزيئي وغالبا ما تكون صعبة فى العديد من الأجهزة التجريبية.



الشكل (٢ – ٦٢) بنية بلورية هيكسا–تيرت –بوتيل–هيكسا–بيري–هيكسابينزوكورونيني

الاستنتاجات

كانت تكنولوجيا (م أ ش) المكملة الدعامة الأساسية لصناعة أشباه الموصلات على مدى العقود الثلاثة الماضية. ومع ذلك، يأتي عصر تكنولوجيا (م أ ش) المكملة إلى نهايته. وأدي ذلك إلى تحقيق طموحات نشطة جداً في تكنولوجيا النانو البديلة. بينما شهد العقدين الماضيين تطوير العديد من عناصر نانو الجديدة المثيرة، سيشهد العقد القادم الاهتمام المتنامي في البحوث دوائر النانو. حيث عادة ما يستغرق عشر سنوات قبل أن يأتي البحث الأكاديمي لتؤتي ثمارها في المنتجات الفعلية، وصل بالفعل إلى الوقت لبدء استكشاف دوائر وهياكل نانو جديدة. نظراً لأنه لا توجد تكنولوجيا نانو واحدة تهيمن على جميع قطاعات السوق..

References

1. **"MEMS Overview". Retrieved 2009-06-06.**
2. **Melosh, N.; Boukai, Abram; Diana, Frederic; Gerardot, Brian; Badolato, Antonio; Petroff, Pierre & Heath, James R. (2003). "Ultrahigh density nanowire lattices and circuits". Science 300 (5616):**
3. **Postma, Henk W. Ch.; Teepen, Tijs; Yao, Zhen; Grifoni, Milena; Dekker, Cees (2001). "Carbon nanotube single-electron transistors at room temperature". Science 293(5527): 76–79.**
4. **Xiang, Jie; Lu, Wei; Hu, Yongjie; Wu, Yue; Yan; Hao & Lieber, Charles M. (2006). "Ge/Si nanowire heterostructures as highperformance field-effect transistors". Nature 441(7092): 489–493**
5. **Waldner, Jean-Baptiste (2007). Nano computers and Swarm Intelligence. London: ISTE. p. 26. ISBN 1-84704-002-0.**
6. **Jensen, K.; Jensen, K.; Weldon, J.; Garcia, H. & Zettl A. (2007). "Nanotube Radio". Nano Lett. 7 (11): 3508–3511.**
7. **Tian, Bozhi; Zheng, Xiaolin; Kempa, Thomas J.; Fang, Ying; Yu, Nanfang; Yu, Guihua; Huang, Jinlin & Lieber, Charles M. (2007). "Coaxial silicon nanowires as solar cells and nanoelectronic power sources". Nature 449 (7164): 885–889.**
8. **"Power from blood could lead to 'human batteries'".Sydney Morning Herald. August 4, 2003. Retrieved2008-10-08. Sundrani D, Darling SB, Sibener SJ (June 2004). "Hierarchical assembly and compliance of aligned nanoscale polymer cylinders in confinement" (PDF). Langmuir. 20 (12):**
9. ***Themistoklis P. H. Sidiropoulos, Robert Röder, Sebastian Geburt, Ortwin Hess, Stefan A. Maier, Carsten Ronning, Rupert F. Oulton (2014). "Ultrafast plasmonic nanowire lasers near the surface plasmon frequency". Nature Physics. Bibcode:2014NatPh..10..870S.doi:10.1038/nphys3103.* Press release**
10. **Spas Nedev, Alexander S. Urban, Andrey A. Lutich, and Jochen Feldmann, "Optical Force Stamping Lithography", Nano Letters, VOL. 11, NO. 11, OCTOBER 2011**
11. **Sørensen, J.K.. (2006). "Synthesis of new components, functionalized with (60) fullerene, for molecular electronics". 4th Annual meeting - CONT 2006, University of Copenhagen.**
12. **Nanoscience. Dhara Parikh, Barry Craver, Hatem N. Nounu, Fu-On Fong, and John C. Wolfe, "Nanoscale Pattern Definition on Nonplanar Surfaces Using Ion Beam Proximity Lithography and Conformal Plasma-Deposited Resist", Journal of Microelectromechanical Systems, VOL. 17, NO. 3, JUNE 2008**
13. ***Petty, M.C.; Bryce, M.R. & Bloor, D. (1995). Introduction to Molecular Electronics. New York: Oxford University Press. pp. 1–25.***

14. *Ratner MA; Ratner D; Ratner M. (2003). "Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea". Upper Saddle River: Prentice Hall. ISBN 0-13-101400-5.*
15. *Cavalcanti A; Shirinzadeh B; Freitas RA Jr.; Kretly LC (2007). "Medical Nanorobot Architecture Based on Nanobioelectronics".Recent Patents on Nanotechnology. 1 (1): 1–10*
16. *Stuhrmann C.H.J.; Kreiterling H.; Funke K (2002). "Ionic Hall effect measured in rubidium silver iodide". Solid State Ionics. 154–155: 109–112. doi:10.1016/S0167-2738(02)00470-8.*
17. *"IBM Research | IBM Research | Silicon Integrated Nanophotonics". Domino.research.ibm.com. 2010-03-04. Retrieved2010-03-15.*
18. *Vivian E. Ferry, Jeremy N. Munday, Harry A. Atwater (2010-11). "Design Considerations for Plasmonic Photovoltaics". Advanced Materials. 22 (43): 4794–4808. doi:10.1002/adma.201000488.*
19. **"Enhancing single-molecule fluorescence with nanophotonics", DOI: 10.1016/j.febslet.2014.06.016**
20. **International Technology Roadmap for Semiconductors,** http://www.itrs.net/
21. **Toshiba Corporation, "Toshiba develops silicon nanowire transistor for 16-nm generation and beyond," press release, June 15, 2010.** http://www.physorg.com/news195834466.html
22. **Kawabata et al., "Carbon nanotube vias for future LSI interconnects," Proc. IEEE Int. Interconnect Tech. Conf., pp. 251–253, June 2004.**
23. **Naeemi, R. Sarvari, and J.D. Meindl, "Performance comparison between carbon nanotube and copper interconnects for giga scale integration (GSI)," IEEE Electron. Device Lett. 26:84–86, 2005.**
24. **Vetteth et al., "RAM design using quantum-dot cellular automata," Proc. Nanotechnol. Conf. Tradeshow 2:160–163, 2003.**
25. **K.A. Ritter and J.W. Lyding, "The influence of edge structure on the electronic properties of graphene quantum dots and nanoribbons," Nat. Mater. 8(3):235–242, 2009.**
26. **S.J. Kang, C. Kocabas, T. Ozel, M. Shim, N. Pimparkar, M.A. Alam, S.V. Rotkin, and J.A.Rogers, "High-performance electronics using dense, perfectly aligned arrays of single-walled carbon nanotubes," Nat. Nanotechnol. 2(4):230–236, 2007.**
27. **S.J. Wind, J. Appenzeller, R. Martel, V. Derycke, and P. Avouris, "Vertical scaling of carbon Nano tube field-effect transistors using top gate electrodes," Appl. Phys. Lett. 80 (20):3817–3819, 2002.**

28. J.P. Colinge, C.W. Lee, A. Afzalian, N.D. Akhavan, R. Yan, I. Ferain, P. Razavi, B. O'Neill, A. Blake, M. White, A.M. Kelleher, B. McCarthy, and R. Murphy, "Nanowire transistors without junctions," Nat. Nanotechnol. 5:225–229, 2010.
29. N. Patil, A. Lin, J. Zhang, H. Wei, K. Anderson, H.-S.P. Wong, and S. Mitra, "VMR: VLSI compatible metallic carbon nanotube removal for imperfection-immune cascaded multi-stage digital logic circuits using carbon nanotube FETs," Proc. IEEE Int. Electron Devices Meeting, pp. 573–576, 2009.
30. W. Zhou, C. Rutherglen, and P. Burke, "Wafer-scale synthesis of dense aligned arrays of single-walled carbon nanotubes," Nano Res. 1:158–165, 2008.
31. L. Jiao, L. Zhang, X. Wang, G. Diankov, and H. Dai, "Narrow graphene nanoribbons from carbon nanotubes," Nature 458(7240):877–880, 2009.
32. X. Li et al., "Chemically derived, ultra-smooth graphene nanoribbon semiconductors," Science 319(5867):1229–1232, 2008.
33. H. Li, C. Xu, N. Srivastava, and K. Banerjee, "Carbon nanomaterials for next-generation interconnects and passives: Physics, status, and prospects," IEEE Trans. Electron Devices: Special Issue on Compact Interconnect Models for Giga scale Integration 56(9):1799–1821, 2009.
34. M.D. Austin et al., "Fabrication of 5-nm linewidth and 14-nm pitch features by nanoimprint lithography," Appl. Phys. Lett. 84(26):5299–5301, 2004.
35. R. Zhang, K. Walus, W. Wang, and G.A. Jullien, "A method of majority logic reduction for quantum cellular automata," IEEE Trans. Nanotechnol. 3(4):443–450, 2004.
36. Y. Chen et al., "Nanoscale molecular-switch crossbar circuits," Nanotechnology 14:462–468, 2003.
37. Y. Lin et al., "Operation of graphene transistors at gigahertz frequencies," Nano Lett. 9 (1):422–426, 2009.
38. S. Watanabe, M. Maeda, T. Sugisaki, and K. Tsutsui, "Fluoride resonant tunneling diodes on Si substrates improved by additional thermal oxidation process," Jpn. J. Appl. Phys. 44 (4B):2637–2641, 2005.
39. E.N. Ganesh, L. Kishore, and M. Rangachar, "Implementation of quantum cellular automata combinational and sequential circuits using majority logic reduction method," Int. J. Nanotechnol. Appl. 2(1):89–106, 2008.