السنة الثالثة فيزياء اساسية

جامعة محمد خيضر بسكرة

نانو تكنولوجي
Nanotechnology

2022/2023

الفصل الاول

مفاهيم عامة حول النانو تكنولوجي

المقدمة

تكنولوجيا النانو (بالإنجليزية: Nanotechnology) هي تقنية تعمل على دراسة المادة وفهمها ومراقبتها بأبعاد تتراوح ما بين 1 و 100 نانومتر، والتي يمكن استخدامها في جميع المجالات العلمية المختلفة، مثل: الفيزياء، والكيمياء، والبيولوجيا، وعلوم المواد، والهندسة. الجدير بالذكر أنّ مصطلح تقنية النانو أو تكنولوجيا النانو يتعلق بالفهم الأساسي للخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية على المقاييس الذرية والجزيئية، والتحكم بهذه الخصائص الخاضعة للرقابة لإنشاء مواد وأنظمة وظيفية ذات قدرات فريدة.

1. اكتشاف تكنولوجيا النانو :

بدأت الأفكار والمفاهيم تتكون لعلم نانوتكنولوجي اقبل فترة طويلة من استخدامه، وذلك عندما اقترح الفيزيائي ريتشارد فاينمان (Richard Feynman) في اجتماع الجمعية الأمريكية للفيزياء في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في عام 1959، موضوعاً بعنوان "هناك مساحة واسعة في الاسفل " (بالإنجليزية: There's Plenty of Room at the Bottom) حيث قام فاينمان بوصف عملية يتمكن فيها العلماء من التحكم والتأثير على الذرات الفردية والجزيئات، وبعد عقد من استكشافه للمعالجة الآلية فائقة الدقة، قام العالم نوريو تانيجوتشي (Norio Taniguchi) بابتكار مصطلح تكنولوجيا النانو، وحتى عام 1981 بدأت التكنولوجيا النانوية مع تطوير مجهر الماسح النفقي (بالإنجليزية: Scanning Tunneling Microscope)الذي يمكن من خلاله رؤية الذرات الفردية الصغيرة.

العالم الأمريكي ريتشارد فينمان (R. Feynman)

العالم الياباني نوريو تانقيشي (Norio Taniguchi)

2- مصطلحات النانوتكنولوجي :

- **النانو :**

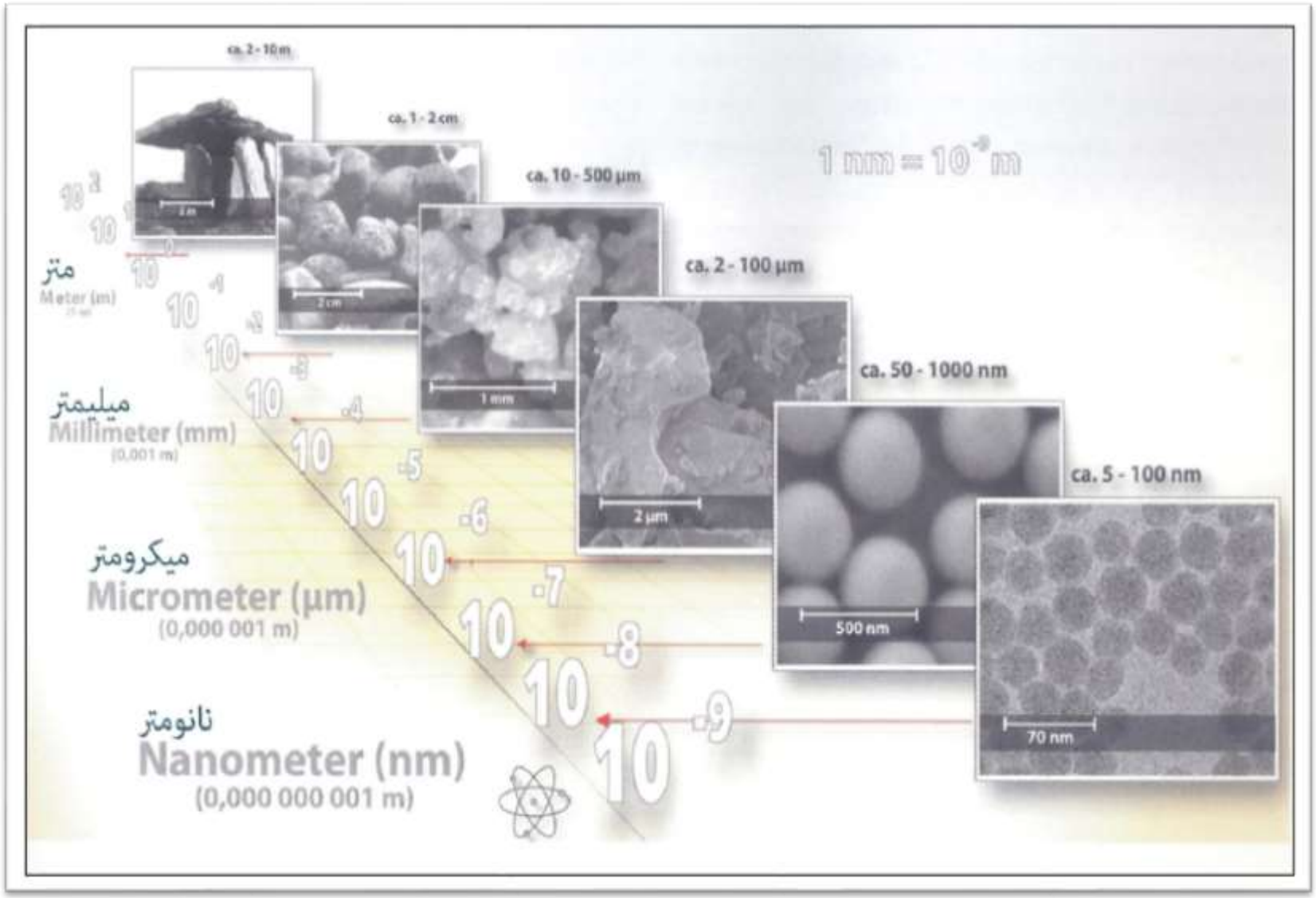
يقصد بالنانو الشيء الصغير جدا أو الدقيق بحجمه (الأشياء المتناهية فى الصغر) ، ظهرت كلمة نانو Nano فى بداية العصر اليونانى ، حيث إنها مشتقة من كلمة " نانوس Nanos " باللغة اليونانية القديمة وتعنى القزم ، وفى مجال العلوم يعنى النانو جزء ا من المليار من متر وبلغة الأرقام 10^{-9}

- **مقياس النانو :**

يقصد بالنانومتر " NanoMeter " هو وحدة قياس طولية كباقى وحدات القياس المعترف بها، ويختص النانومتر بقياس الأشياء الصغيرة جدا التى لا ترى إلا تحت المجهر الإلكترونى "Electron Microscope"

وهو غالبا ما يكون من أبعاد الذرة ، ويرمز لها ب (NanoMeter NM))

ويستخدم مصطلح النانو حاليا من أجل الدلالة على إختصاصات التقنية التي تعمل ضمن هذا المجال والتي تسمى تقنية النانو والتي غالبا ما تكون في كيمياء السطوح أو صناعة شبه الموصلات ، وتستخدم هذه الوحدة أيضا لوصف أطوال الموجة في المجال المرئي الذي يتراوح بين (380 : 700) نانومتر، وكذلك في قياس الجزيئات والإلكترونات في النواة الصغيرة جد ا ، ويوضح شكل (**مقياس النانو من المتر إلى** النانومتر.)



مقياس النانو من المتر إلى النانومتر

الحقائق التالية تساعدك على تخيل مدى صغر النانومتر :

✓قطر شعرة الانسان = 80000 نانومتر !

✓خلية الدم الحمراء = 2000 نانومتر تقريبا !

✓ عرض غشاء نواة الخلية = من 10الى 30نانومتر !

✓طول 10ذرات الهيدروجين متراصة = 1 نانومتر !

▪علم النانو وتقنية النانو:

يرجع اهتمام العالم بعلم النانو في القرن الواحد والعشرين إلى أنه الأمل نحو التطور التكنولوجى في مختلف المجالات، لأنه يعد ثورة بالقرن الحالى والقرون القادمة .

علم النانو : هو العلم الذى يدرس ويهتم بالتعامل مع المواد على مستواها الذري والجزيئى بمقياس لا يتعدى 100 نانومتر ، ويهتم بتصنيف الجزيئات والذرات و دراسة خصائصها

لمميزة لمواد النانو ، و دراسة الظواهر المرتبطة في تصغير حجمها بهدف تفسيرها ، ويعتبر علم النانو علم القرن الواحد والعشرين لأنه يكشف اسرار المواد وتفاعلاتها وسبب امتلاكها لخصائص ومواصفات مختلفة.

تقنية النانو : هى التقنية التى تعطينا القدرة على التحكم المباشر فى المواد ، ويعتمد مفهومها أيضا على الجسيمات التى يقل حجمها عن مائة نانومتر التي تعطى للمادة خصائص وسلوكيات جديدة، وهذا بسبب أن هذه الجسيمات (هى أصغر من الأطوال المميزة المصاحبة لبعض الظواهر) ، وذلك بتصنيعها ومراقبتها وقياسها ودراسة خصائصها ، **تقنية النانو** أو **النانو تكنولوجى** التى تتعامل مع الذرات والجزيئات المنفردة والمكونة للمواد وذلك باستخدام أدوات دقيقة لبناء مع تكرار عملية البناء وصولا إلى الحجم المطلوب، وبشكل عام تهدف هذه التقنية إلى تطبيق **علم النانو** بغرض ابتكار وانتاج وسائل وتقنيات ومخترعات ومنتجات مفيدة تمتاز بحجمها المتناهى فى الصغر. ولتقنية النانو مبادئ و ممزات نلخصها في الجدول الأتي :

المبدأ	الميزة
امكانية التحكم بتحريك الذرات منفرد بدقة وإعادة ترتيبها .	امكانية بناء أي مادة لأن الذرة هي وحدة البناء لكل المواد .
الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة عند مقياس النانو متر تختلف عن خصائص نفس المادة عند مقياسها الطبيعي .	اكتشاف خصائص مميزة للمواد يستفاد منها في الكثير من الاختراعات والمجالات التطبيقية .
تعتمد تقنية النانو علي مبادئ الفيزياء والكيمياء والأحياء والهندسة الكهربية والإلكترونية .	ربط العلوم وتشجيع الجميع باختلاف تخصصاتهم العلمية علي الدخول في مجالها والتعامل فيما بينهم.
امكانية التحكم بالذرات المنفردة بدقة وإعادة ترتيبها في صنع المواد والآت وتنقيتها من الشوائب وتخليصها من العيوب .	تصبح خصائص الآلات والمواد أفضل فهي أصغر وأخف وأقوي وأسرع وأرخص وأقل استهلاكاً للطاقة.
تعتمد تقنية النانو علي الأبحاث العلمية التي تتصف في امكانية تطبيقها في اختراعات و مفيدة .	تحول الخيال العلمي إلى واقع حقيقي .

3 - طرق الوصول إلى حجم النانو :

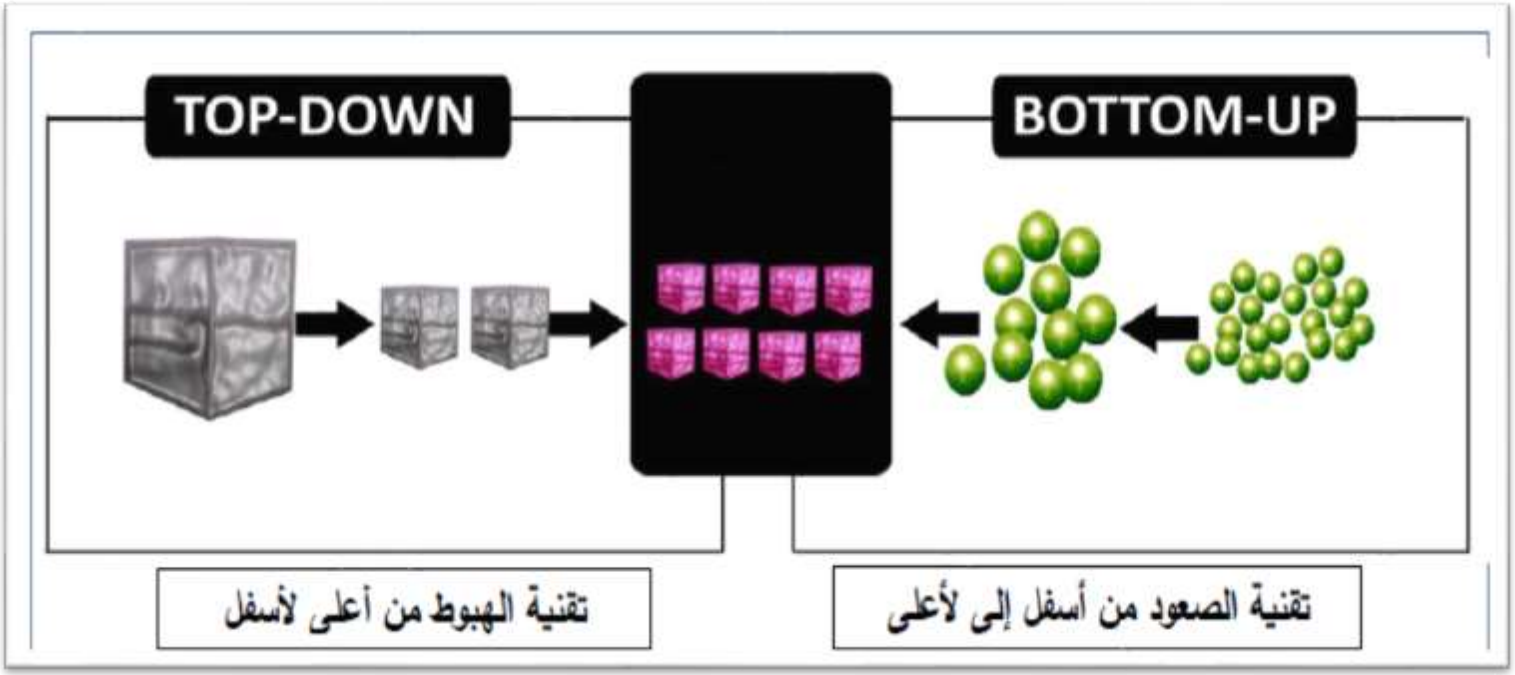
أشهر طرق تصنيع مواد النانو تكنولوجى ، تقنية الهبوط من أعلى لأسفل ، وتقنية الصعود من أسفل إلى لأعلى .

3- 1 تقنية الهبوط من أعلى الأسفل (Top -Down Approach):

تعتمد هده التقنية على تكسير المادة الأصلية شيئا فشيئا حتى الوصول الى الحجم النانوي وذلك باستعمال عدة طرق مثل النحت أو الطحن أوالتفتيت أو غيرها من التقنيات , و استخدمت هده التقنيات في الحصول على مركبات الكترونية مجهريه كشرائح الحاسوب

3- 2 تقنية الصعود من الأسفل الى الأعلى (Bottom -up Approach):

بعكس الطريقة الأولى , حيث تبنى المادة النانوية انطلاقا من الذارت و الجزيئات ترتب للوصول إلى الشكل و الحجم النانوي المطلوب .و تدخل هده الطريقة في الغالب ضمن طرق كيميائية ,وتتميز بصغر حجم المواد المنتجة و قلة الفاقد ,و الحصول على روابط قوية للمادة النانوية المنتجة .



الطرق المختلفة لإعداد جسيمات النانو

تقنية الهبوط من أعلى لأسفل (Top-down)	تقنية الصعود من أسفل إلى لأعلى (Bottom-up)
تبدأ من حجم محسوس من المواد .	تبدأ بذرة أو جزئ من المادة .
تستخدم تقنيات كالحفر الضوئي الطاحن الإستئصال الليزري.	تستخدم طرق كيميائية كطريقة السائل الهلامي.
يتم تقيسمها إلى أجزاء أصغر فأصغر.	يتم تجميعها فى تركيب أكبر فأكبر.
تصل لحجم ١٠٠ نانو متر تقريباً.	تصل الطريقة من أسفل لأعلى إلى حجم ١ نانو متر.
تكتسب المادة الناتجة خصائص جديدة غير موجودة فى المادة بحجمها الطبيعي .	

4 - خصائص بعض الجسيمات النانوية :

✓ **الخصائص الفيزيائية :** لبعض الجسيمات النانوية صلابة عالية مع قلة وزنها.

✓**الخصائص الكيميائية** : اذا كانت الجسيمات النانوية متجانسة و بنفس الحجم فأن تفاعلها يزداد .

✓ **الخصائص الكهربائية** : يمكن التحكم بالطاقة الكامنة للأيون بالتحكم بحجم الجسيم النانوي و طبيعته الكيميائية .

✓**الخصائص الحرارية :** كلما قل حجم الجسيم النانوي قلت درجة حرارة اذابته

✓**الخصائص المغناطيسية :** كلما قل حجم الجسيم النانوي زادت مغناطيسيتها .

✓**الخصائص الضوئية :** اذا كان حجم الجسيم النانوي اقل من الطول الموجي للضوء الجسيم النانوي يصبح .

- 5 - تصنيف المواد النانوية :

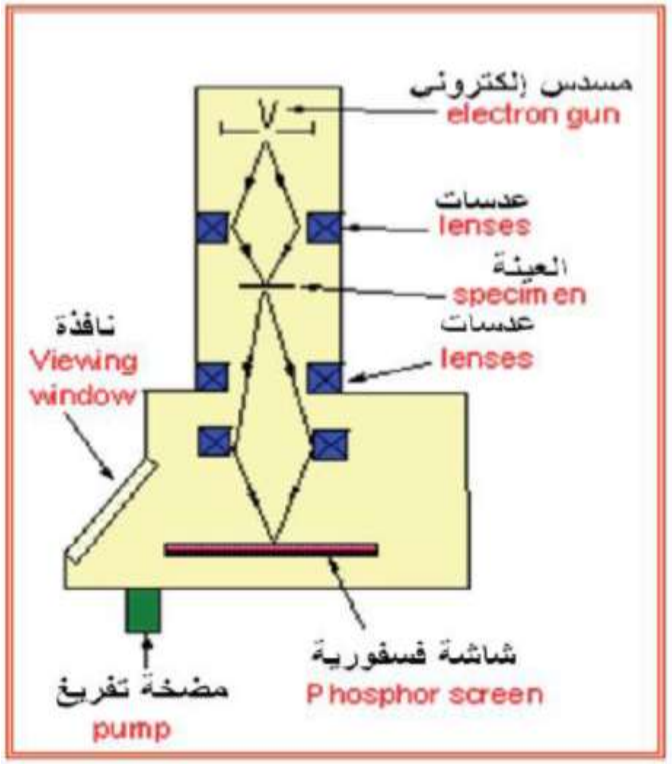
- **المواد النانوية احادية البعد :** هي المواد ذات البعد النانوي الواحد الذي يتراوح ما بين (1 -100) nm، ومن امثلتها الأغشية الرقيقة Thin Films التي تستخدم في طلاء الأسطح لحمايتها من الصدأ والتآكل ، وفي تغليف المنتجات الغذائية بهدف وقايتها من التلوث والتلف . والأسلاك النانوية Nano wires التي تستخدم في الدوائر الالكترونية والألياف النانوية التي تستخدم في عمل مرشحات الماء.
- **المواد النانوية ثنائية الابعاد :** وهي المواد النانوية التي تمتلك بعدين يتراوح ما بين (1-100nm) ومن امثلتها أنابيب الكربون النانوية .
- **المواد النانوية ثلاثية الإبعاد :** وهي المواد التي تمتلك ثلاثة أبعاد نانوية يتراوح ما بين (1-100) nm، مثل الكرات النانوية (كرات البوكي. Bucky Balls)

6- المجاهر الالكترونية المستخدمة في تشخيص المواد النانوية :

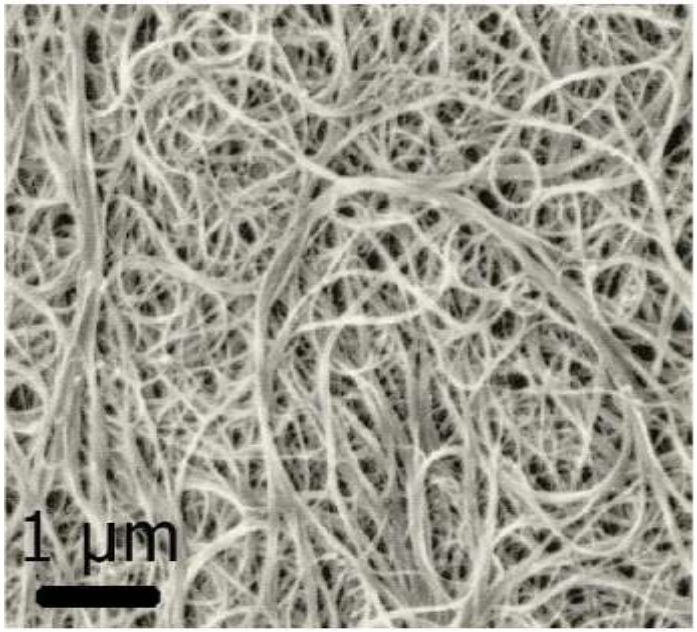
تستخدم في الوقت الحاضر عدد من المجاهر الالكترونية في تطبيقات كثيرة خاصة بمجال تقنية النانو و بواسطة هذه المجاهر يمكن رؤية المواد النانوية , وفحصها وتصويرها في مقاسات نانوية . وسنعرض هنا بعض المجاهر الأساسية التي لابد أن تتوفر في مختبرات المهتمة بتقنيات النانو و منها على سبيل المثال .

. المجهر الالكتروني النافذ (Transmission Electron Microscope TEM)

يمثل هذا المجهر تقنية ميكروسكوبية يستخدم فيها شعاع من الالكترونات لفحص العينات واختبارها. تتكون الصورة بواسطة الالكترونات النافذة خلال العينة , حيث تسرع الالكترونات بواسطة جهد كهربائي ويركز على العينة بواسطة عدسات كهروستاتيكية اوكهرومغناطيسية. الشعاع النافذ من العينة يحتوي على معلومات واضحة عن تلك الاختلافات التي تستخدم في تكوين صورة العينة وكما هو الحال في المجهر الضوئي . ان دقة المجاهر النافذة اصبحت اقل من واحد نانوميتر وبذلك فبالإمكان تحديد نوع المادة النانوية وحجمها.



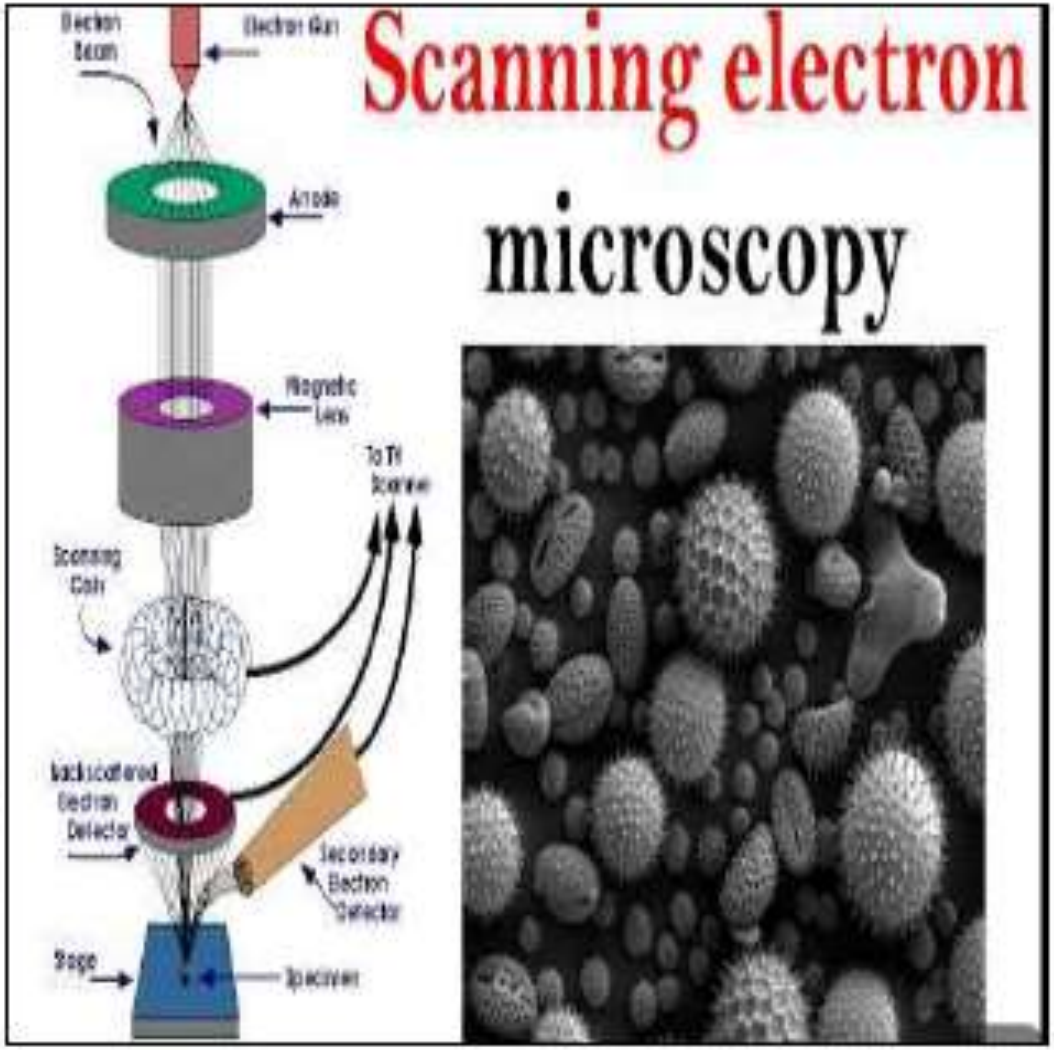
المجهر الإلكتروني النفّاذ (TEM)



صورة مأخوذة بواسطة المجهر الإلكتروني النفّاذ (TEM)

المجهر الالكتروني الماسح (Scanning Electcron Microscope -SEM)

وهو من المجاهر الحديثة و تركيب المجهر الالكتروني الماسح يشبه المجهر الالكتروني النافذ من حيث مصدر الإضاءة والعدسات المستخدمة إلا أنه يختلف عن النافذ في كيفية إظهار صورة العينة حيث يعتمد إظهار الصورة في هذا النوع من المجاهر الالكترونية على الالكترونات المرتدة من على سطح العينة لتظهر على شاشة تلفزيونية وعادة ما يستخدم المجهر الالكتروني الماسح في دراسة العينة كاملة أو جزء منها. و تظهر تفاصيل دقيقة عن السطح تصل الى الحجم يتراوح بين 2-5 nm.



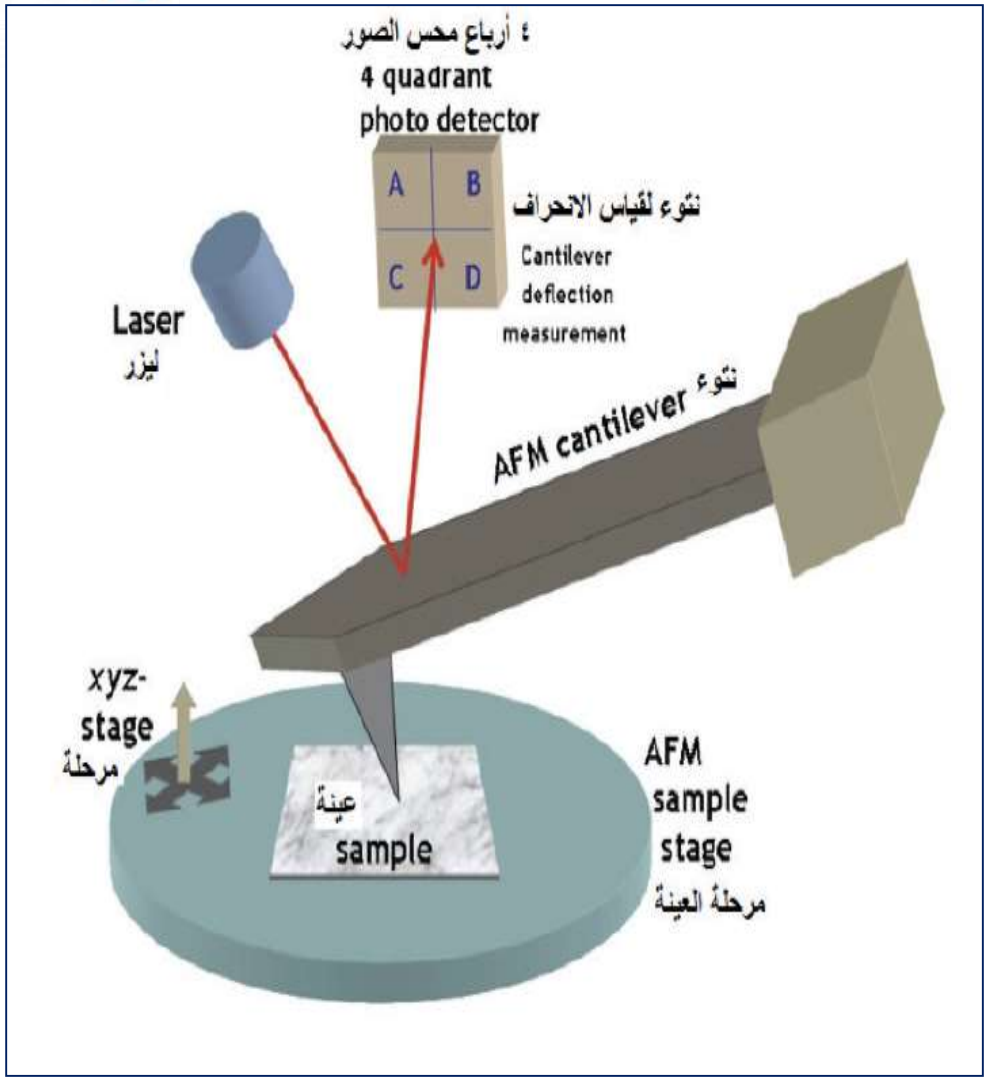
صورة للمجهر الإلكتروني الماسح (SEM)

. مجهر القوة الذرية (Atomic Force Microscopy AFM):

إن دقة وكفاءة مجاهر القوة الذرية التي تعد إحدى مجاهر المجسات الماسحة ذات التحليل العالي جدا , و لها قدرة تحليل تصل إلى أجزاء من النانومتر . و بواسطته يمكن الحصول على صور ثلاثية الإبعاد للعينة المدروسة .

كما يعد من الأدوات الرئيسية في تصوير و تحريك المادة عند مستويات النانو . و يحتوي مجهر AFM على ذراع طوله في حدود الميكرو و في نهايته يوجد مجس حاد نصف قطره في حدود نانومتر و يصنع عادة من السيليكون او نترات السيليكون و عندما يقترب المجس ليتلامس من سطح العينة المدروسة تنشأ قوى بين مجس و السطح فيؤدي ذلك الى انحراف الذراع طبقا لقانون هوك . و تقاس هذه القوة عن طريق انعكاس شعاع الليزر على الذراع و من ثم يسقط على شبكة من الكاشفات الضوئية لتكوين الصورة دقيقة للسطح .

كما لا يحتاج مجهر AFM الى خطوات معينة لتجهيز العينات و تحضيرها , و انما توضع مباشرة تحت المجس و العينات المدروسة تكون من المعادن و المركبات و المواد البلاستيكية و البيولوجية

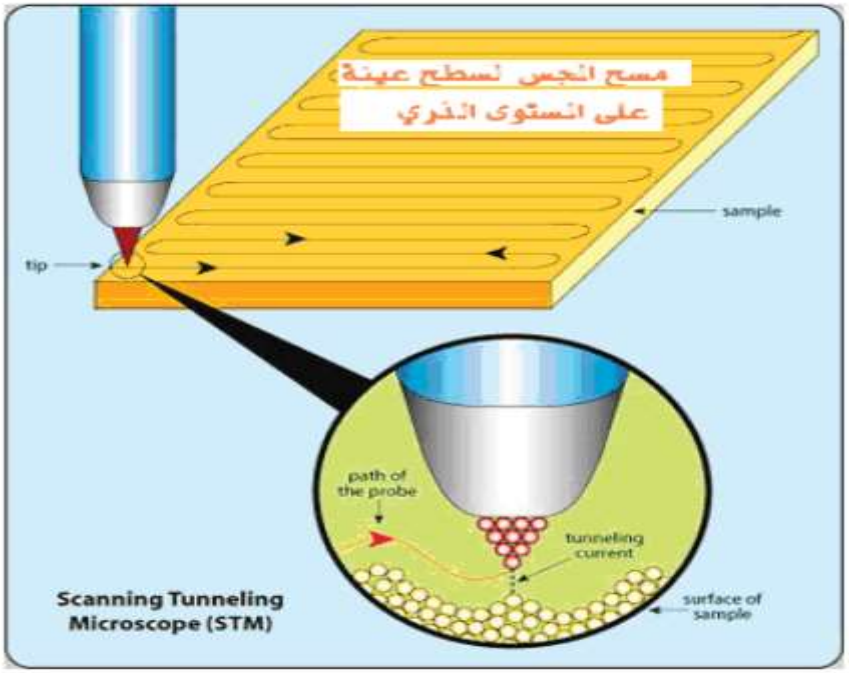


صورة توضيحية: لطريقة عمل مجهر القوة الذرية

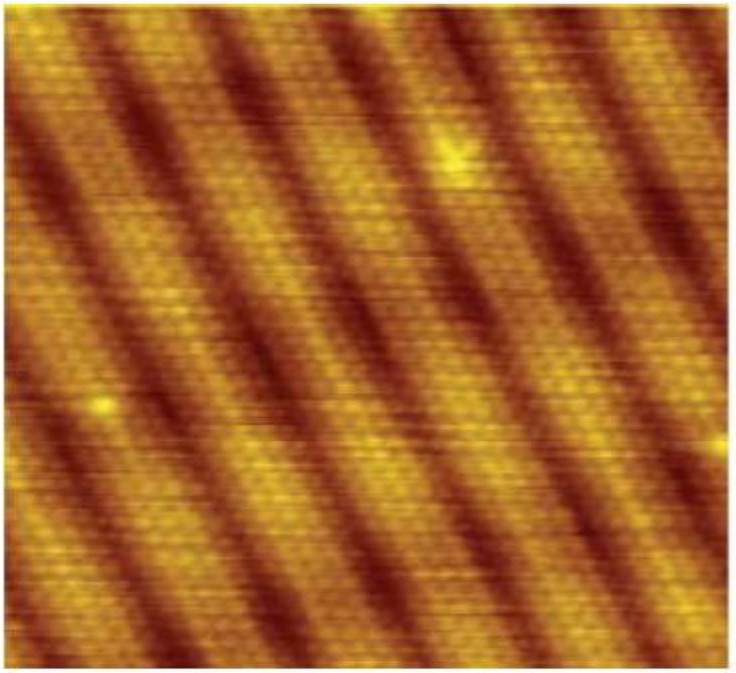
مجهر القوة الذرية (AFM)

. مجهر النفقي الماسح الذرية (Scanning Tunneling Microscopy STM):

ان المجهر النفقي الماسح اداة قوية للحصول على صور خاصة بأسطح المواد على مستوى الذري .و قد اخترع هذا الجهاز سنة1981 على يد العالمانBinning Gerd et Heinrich Rohrer في شركة IBM الذي سمح لأول مرة برؤية الذرة في ابعادها الثلاثة و يتمتع المجهر بقدرته التحليلية العالية تصل الى 0,1 nm بالاضافة الى التحكم في الذرات و تحريكها .معلومات كما ان المعلومات التي نحصل عليها من STM ناتجة عن تغير في التيار النفقي عند مسح سطح العينة بالمجس .و من ثم عرض البيانات في شكل صورة . ويتطلب تشغيل الجهاز درجة عالية من النظافة سطح العينة و استقرارها , و يكون المجس حادا جدا بحيث يكون طرفه بسمك ذرة او ذرتين و يتصل المجس بأجهزة تحكم دقيقة لتحريكه في الابعاد الثلاثة و تحويل التغيرات الى صورة . و العينة يجب ان تكون ناقلة او مطلية بطلاء ناقل للتيار الكهربائي



مسح المجسّ سطح العينة على المستوى الذري في جهاز (STM)



صورة لسطح من الذهب ماخوذة بالمجهر STM

الفرق بين AFM و STM

يقوم مبدأ عمل الميكروسكوب النفقي الماسح STMعلى وجود مجس على شكل ابرة سمك رأسها يساوي سمك ذرة او ذرتين, ومثبت على حامل, ويتم معايرة المسافة بين رأس المجس والعينة, بحيث لا تزيد عن بضعة انجستروم, ويتم تسليط تيار كهربائي نفقي بين العينة ورأس المجس, وعندما يتحرك المجس على العينة تتغير قيمة التيار النفقي حسب تضاريس العينة, فيتم من خلال ذلك رسم صورة ثلاثية الأبعاد للعينة, اما المجهر الذري AFMفيتشابه مبدأ عمله مع المجهر النفقي, غير ان المجهر النفقي يستخدم للعينات الموصلة والشبه موصلة للتيار الكهربائي فقط, بينما يمكن استعمال المجهر الذري لفحص العينات الغير موصلة للتيار الكهربائي مثل البروتينات, كما تعتمد طريقة عمل المجهر الذري على ملامسة العينة برأس المجس وحساب القوة الناتجة عن ذلك لرسم الصورة, بينما يتم رسم الصورة في المجهر الماسح من خلال تغير قيمة التيار النفقي, يذكر ان كلا النوعين من المجاهر تم تطويرهما في مطلع الثمانينات من القرن الماضي لتصوير فائق الدقة للذرات والفيروسات.

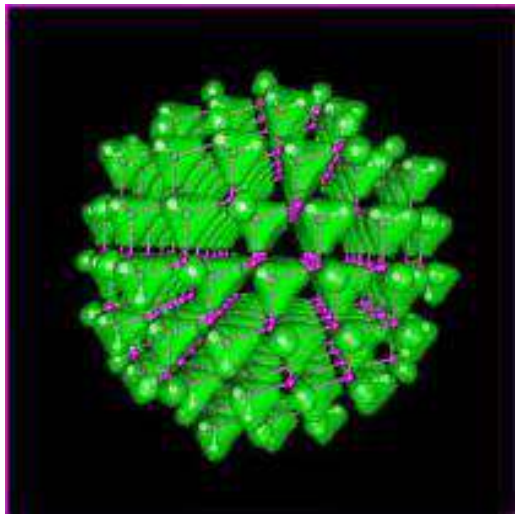
الفصل الثاني

أشكال المواد النانوية

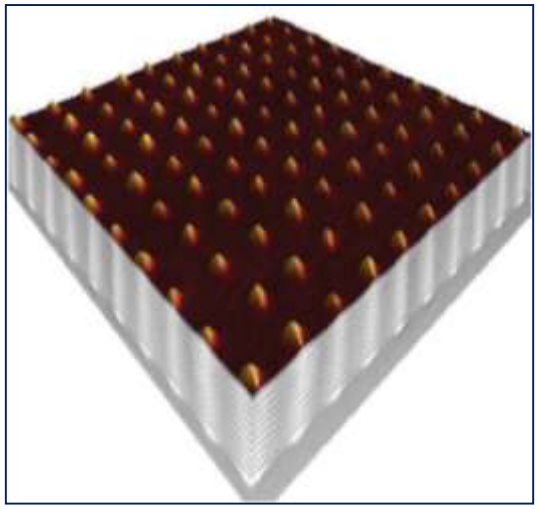
1. اشكال المواد النانوية :

1- 1النقاط الكمية Quantum dots

عبارة عن تركيب نانوي شبه موصل ثلاثي الأبعاد يتراوح أبعاده بين 2 إلى 10 نانومتر، وهذا يقابل 10 إلى 50 ذرة في القطر الواحد أو تقريباً 100 إلى 100000 ذرة في حجم النقطة الكمية الواحدة، وعندما يكون قطر النقطة الكمية يساوي 10 نانومتر فإنه يمكن صف 3 ملايين نقطة كمية بجانب بعضها البعض بطول يساوي عرض إصبع إبهام الإنسان



نقطة كمية

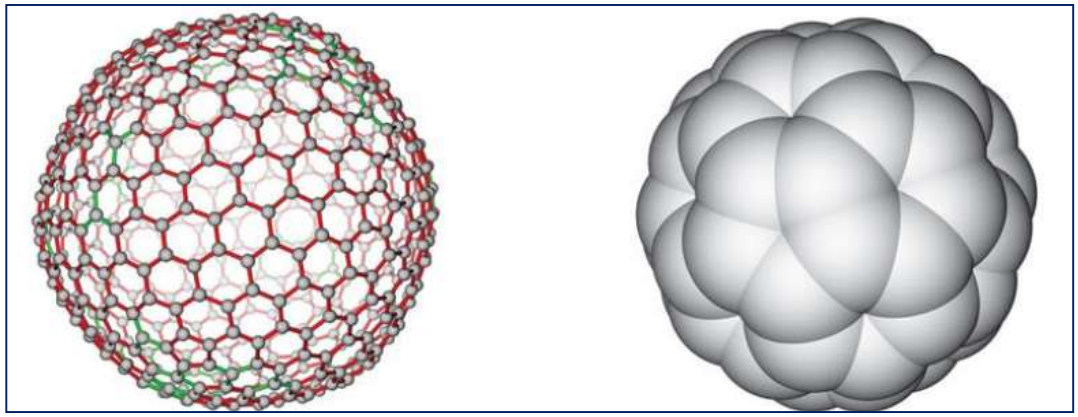


نقط كمية ثلاثية الابعاد من الكريستال

1- 2- الكرات النانوية Nanoballs

من أهمها كرات الكربون النانوية والتي تنتمي إلي فئة الفولورينات، من مادة C60، لكنها تختلف عنها قليلاً بالتركيب حيث أنها متعددة القشرة. كما أنها خاوية المركز، على خلاف الجسيمات النانوية، بينما لا يوجد على السطح فجوات كما هي الحال في الأنابيب النانوية متعددة الغلاف. وبسبب أن تركيبها يشبه البصل فقد سمّاها العلماء (كرات Bucky)، وقد يصل قطر الكرات النانوية إلى 500 نانومتر أو أكثر.

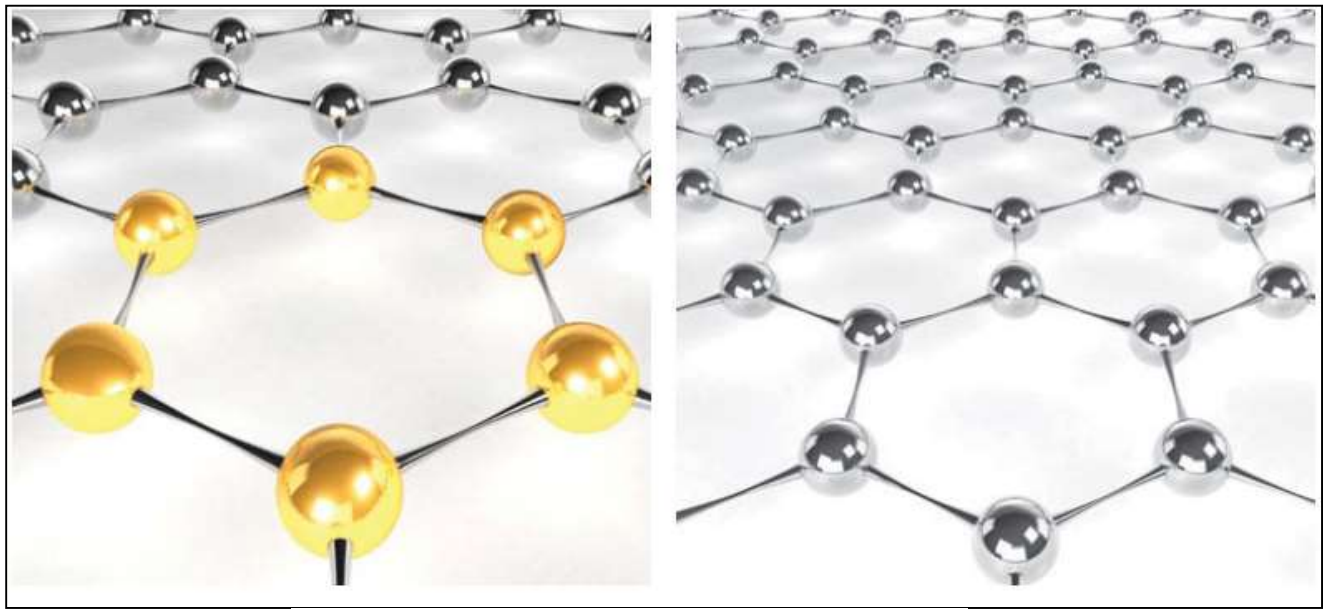
ملاحظة: كرات الكربون النانوية و تسمى الفوليرين



رسم توضيحي لكرة نانوية

1- 3الجسيمات النانوية Nanoparticles

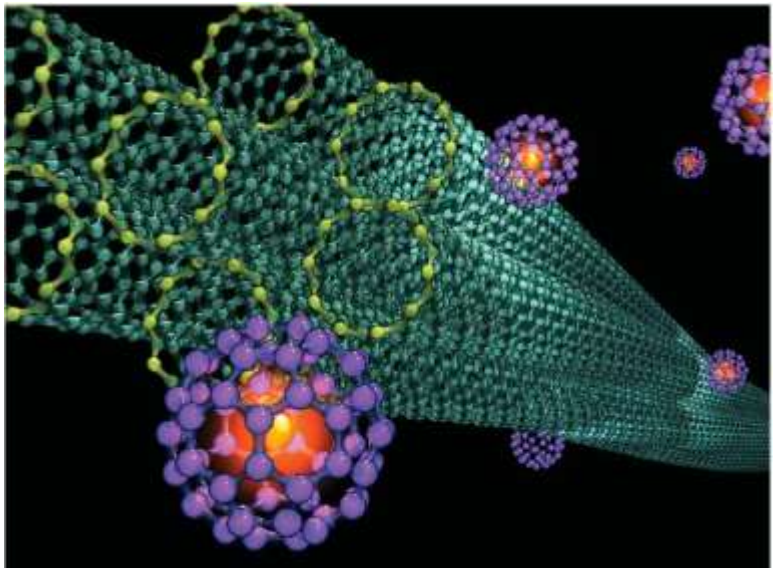
يمكن تعريف الجسيمات النانوية على أنها عبارة عن تجمع ذري أو جزيئي ميكروسكوبي يتراوح عددها من بضع ذرات (جزيء) إلي مليون ذرة، مرتبطة ببعضها بشكل كروي تقريبا بنصف قطر أقل من 100 نانومتر. و يعرف الجسيم في تقنية النانو بأنه اصغر وحدة لها الخواص الكيميائية و الفيزيائية للمادة الحجمية.



أشكال مختلفة لجسيمات نانوية

1- 4 الأنابيب النانوية Nanotubes

تصنَع الأنابيب النانوية، أحياناً، من مواد غير عضوية مثل أكاسيد المعادن (أكسيد الفاناديوم، أكسيد المنغنيز، نيتريد البورون والموليبدينوم .....)، وهي شبيهة من ناحية تركيبها بأنابيب الكربون النانوية تتمتع هذه الأنابيب بالقوة والصلابة والناقلية الكهربائية, ولكن أكاسيد المعادن تكون أثقل وأضعف من أنابيب الكربون. ويتراوح قطر الأنبوب النانوي بين 1 نانومتر و 100 نانومتر وطولها يبلغ 100 ميكرومتر ليشكل سلك نانوي. للأنابيب النانوية عدة أشكال، فقد تكون مستقيمة، لولبية، متعرجة، ومخروطية وغير ذلك.



مجموعة من الأنابيب النانوية المتداخلة ذات الخواص المختلفة

و كل انبوب من هذه الانابيب يؤدي وظيفة مختلفة عن الاخرى . و اشهر الانابيب النانوية انابيب الكربون النانوية (Carbon Nanotubes) . و لاهمية هذه الانابيب في التطبيقات الطبية و العلمية سنقوم بشرحها لاحقا .

1-5- الأسلاك النانوية Nanowires

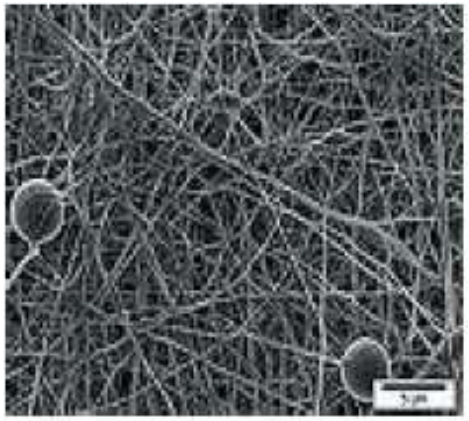
هي أسلاك بقطر قد يقل عن نانومتر واحد وبأطوال مختلفة، أي بنسبة طول إلى عرض تزيد عن 1000 مرة، لذا فهي تُلحق بالمواد ذات البعد الواحد، وكما هو متوقع، فهي تتفوق على الأسلاك التقليدية (ثلاثية الأبعاد).

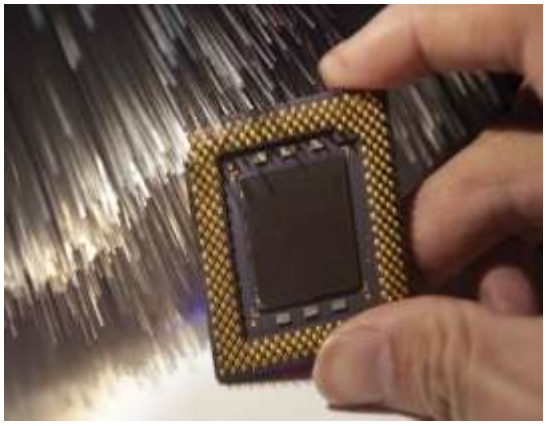
للأسلاك النانوية العديد من الاستخدامات المستقبلية كربط مكونات الكترونية داخل دائرة صغيرة وبناء الدوائر الالكترونية وقد تستخدم مستقبلاً لتصنيع الكمبيوتر الرقمي.

صورة ميكروسكوبية لأسلاك نانوية مصنوعة من السليكون

6-1- الألياف النانوية Nanofibre s

لاقت الألياف النانوية اهتماماً كبيراً مؤخراً لتطبيقاتها الصناعية. من أشهر الألياف النانوية تلك المصنوعة من ذرات البوليمرات. و يكون عدد ذرات السطح كبير مقارنا بالعدد الكلي، وهذا يكسب تلك الألياف خواص ميكانيكية مميزة كالصلابة وقوة الشد وغيرها مما يؤهلها بلا منافس لاستخدامها كمرشحات في تنقية السوائل أو الغازات، وفي الطب الحيوي وزراعة الأعضاء كالمفاصل ونقل الأدوية في الجسم وفي التطبيقات العسكرية.

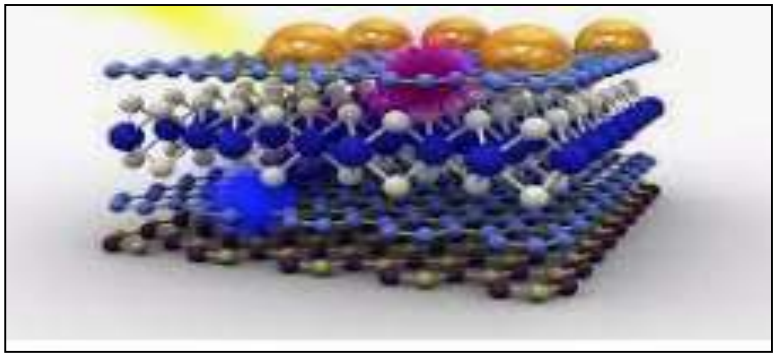




الألياف النانوية

7-1- المركبات النانوية Nanocomposites:

هي عبارة عن مواد يضاف إليها جسيمات نانوية خلال تصنيع تلك المواد، ونتيجة لذلك فإن المادة النانوية تُبدي تحسناً كبيراً في خصائصها. فعلى سبيل المثال، يؤدي إضافة أنابيب الكربون النانوية إلى تغيير خصائص التوصيلية الكهربية والحرارية للمادة. وقد يؤدي إضافة أنواع أخرى من الجسيمات النانوية إلى تحسين الخصائص الضوئية وخصائص العزل الكهربي وكذلك الخصائص الميكانيكية مثل الصلابة والقوة



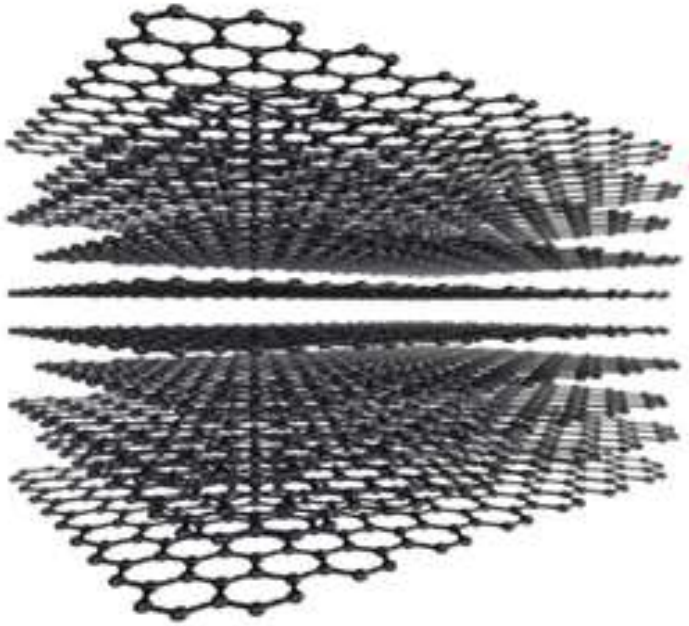
2 صور كربون (Carbon forms)

❑الجرافيت (Graphite)

كان يُعتقد سابقًا أنّ الجرافيت صورة من صور عنصر الرصاص، وظل هذا الاعتقاد سائدًا حتى عام1779 م، وذلك حين أعلن كارل سشيل (Carl Scheele) أن ناتج احتراق الجرافيت هو ثاني أكسيد الكربون كما هو الحال في احتراق الكربون غير المتبلور، ومنذ ذلك التاريخ عدّ الجرافيت صورة أخرى من صور الكربون

ويأخذ الكربون في الضغط الجوي العادي شكل الجرافيت، وفيه ترتبط كل ذرة بثلاث ذرات في مستوى يتكوّن من شكل سداسي في كل الحلقات، مثل: الحلقات الموجودة في الهيدروكربونات

ويعدّ الجرافيت من أكثر المواد ليونة، حيث ترتبط فيه ذرات الكربون بثلاثة إلكترونات في مدار SP2، ويكون شكلها مسطحًا في بُعدين؛ ممّا يشكل ما يشبه الصفائح الممتدة، والمتراصة فوق بعضها بعضًا. وحلقات الكربون هذه متصلة ببعضها بعضًا على شكل صفائح مسطحة تنزلق فوق بعضها بعضًا (انظر: الشكل المقابل). ولهذا السبب يكون الجرافيت طريًّا وزيتيًّا من حيث المظهر والملمس.



الجرافيت على شكل طبقات مستوية و متوازية و مرتبة الواحدة فوق الاخرى

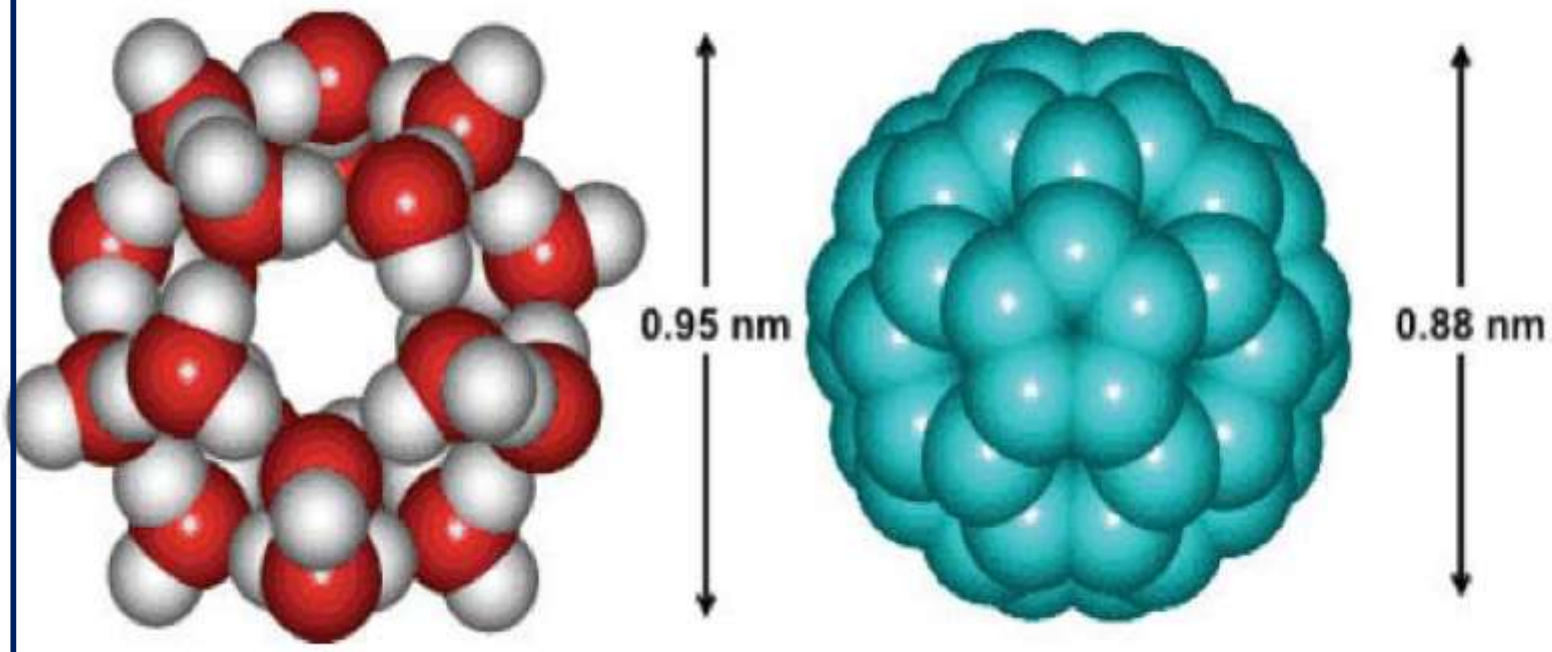
ارتباط ذرات الكربون ببعضها
بعضا مكونة صفائح الجرافيت

وللجرافيت خواص تعتمد على تركيبته الذرية؛ لأنّ كل ذرة كربون تتصل فقط بثلاث ذرات أخرى في حلقة تاركة إلكتروناً حرًّا بين هذه الذرات؛ لحمل التيار الكهربائي، ومن ثمّ فإنّ هذه المادة الصلبة قاتمة اللون من بين غير المعادن وفي الوقت نفسه قادرة على إيصال التيار الكهربائي .

وللجرافيت استخدامات كثيرة في الصناعة، حيث يستعمل كزيت التزليق (مخفف الاحتكاك) ؛ لأنه طريّ وزلق. كما يستخدم الجرافيت في صناعة أقلام الرصاص الخشبية، وذلك بمزجه بمادة طينية. كما يستخدم مسحوق الجرافيت أيضًا في الطبخ كالفحم، وكذلك في الأعمال الفنية، وذلك بعد إعادة قولبته.

❑ الفولورين Fullerene

تركيب نانوي غريب آخر للكربون وهو عبارة عن جزيء مكون من 60 ذرة من ذرات الكربون ويرمز له بالرمز C60، وقد أُكتشف عام 1985م. إن جزيء الفولورين كروي المظهر ويشبه تماماً كرة القدم التي تحتوي على 12 شكلاً خماسياً و20 شكلاً سداسياً. ومنذ اكتشاف كيفية تصنيع الفولورين عام 1990م وهو يُحضر بكميات تجارية. كما أمكن الحصول على جزيئات بعدد مختلف من ذرات الكربون مثل C36وC48 وC70إلا أن العلماء أبدوا اهتماماً خاصاً بالجزيء C60. لقد سمّي هذا التركيب بالفولورين نسبة للمخترع والمهندس المعماري ر بكمنستر فولر (R. Buckminster Fuller).وهكذا فقد نشأ فرع جديد يُسمَى كيمياء الفولورين حيث عُرف أكثر من 9000 مركب فولورين منذ عام 1997م، وظهرت تطبيقات مختلفة لكل من هذه المركبات، ومنها المركبات K3C60, RbCs2C60وC60-CHBr3 التي أبدت توصيلية فائقة (superconductivity) كما اكتشفت أشكال أخرى منها كالفولورين المخروطي والأنبوبي إضافةً إلي الكروي.



فوليرين C_{60} في الصورة الجزيئية

❑ الانابيب الكربونية Carbon nanotubes

تعرّف أنابيب النانو الكربونية (Carbon nanotubes) التي يرمز لها اختصارًا بـ (CNT) بأنها: " جزيئات كربون، وهي كيميائيًا من عائلة الجرافيت والماس». وهذه الأنابيب الكربونية شأنها شأن جسيمات النانو الأخرى، حيث تظهر الكثير من الخواص الكهربائية، والضوئية، والميكانيكية الاستثنائية والمميزة. ومن أهم خواص هذه الجسيمات قوتها الميكانيكية العالية جدًّا، والتي يتوقع استخدامها استخدامًا كبيرًا جدًّا في تطبيقات إلكترونيات النانو (Nano-electronics)، مثل: الأسلاك الكمية (quantum wire) أحادية البعد (one-dimensional)، وكذلك في تقنيات تقوية مواد البوليمر.

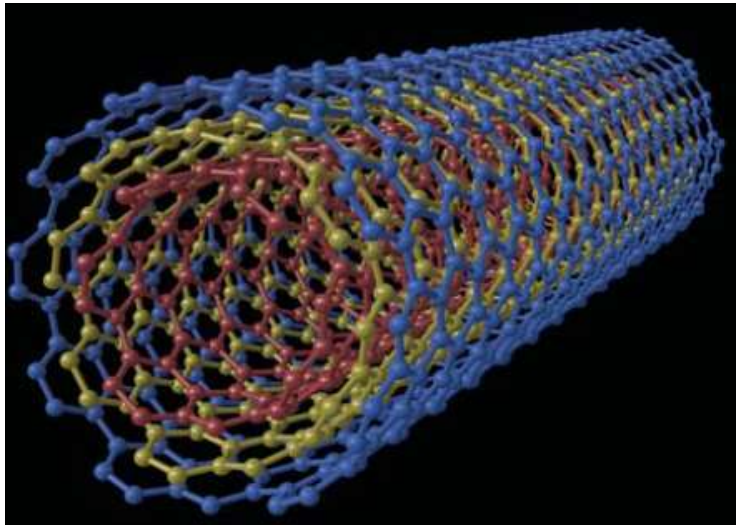
كما تعدّ أنابيب الكربون النانوية ظاهرة فيزيائية رصدت أول مرة في عام ١٩٩١م في شركة (NEC) للصناعات الإلكترونية في اليابان، وذلك بواسطة العالم سوميو إيجيما (Sumio Iijima)، حينما كان يدرس الرماد الناتج عن عملية التفريغ الكهربي بين قطبين من الكربون

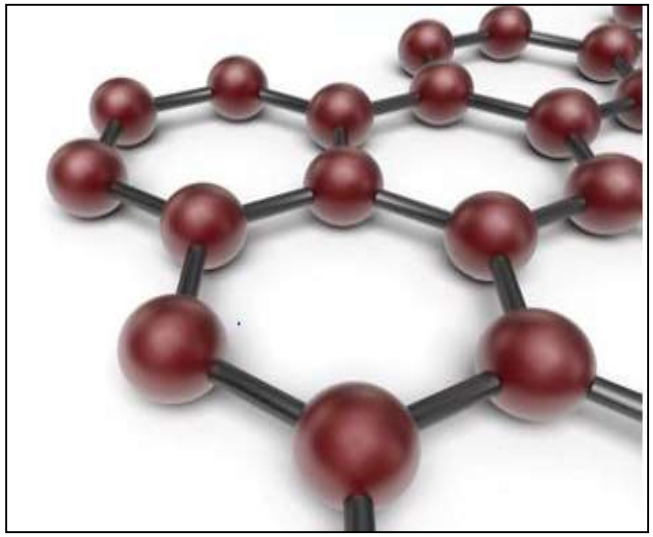
وكان مجمل ما توصل إليه سوميو ليجيما على النحو التالي:

١- جزيئات الكربون تأخذ ترتيبًا يشبه الأنابيب.

٢- أنابيب الكربون الناتجة غير متساوية في الحجم.

٣-إنتاج أنابيب متعددة الطبقات (انظر:الشكل المقابل)، بمعنى أنها مجموعة من الأنابيب المتداخلة (Multi-Wall) ذات الخواص المختلفة.



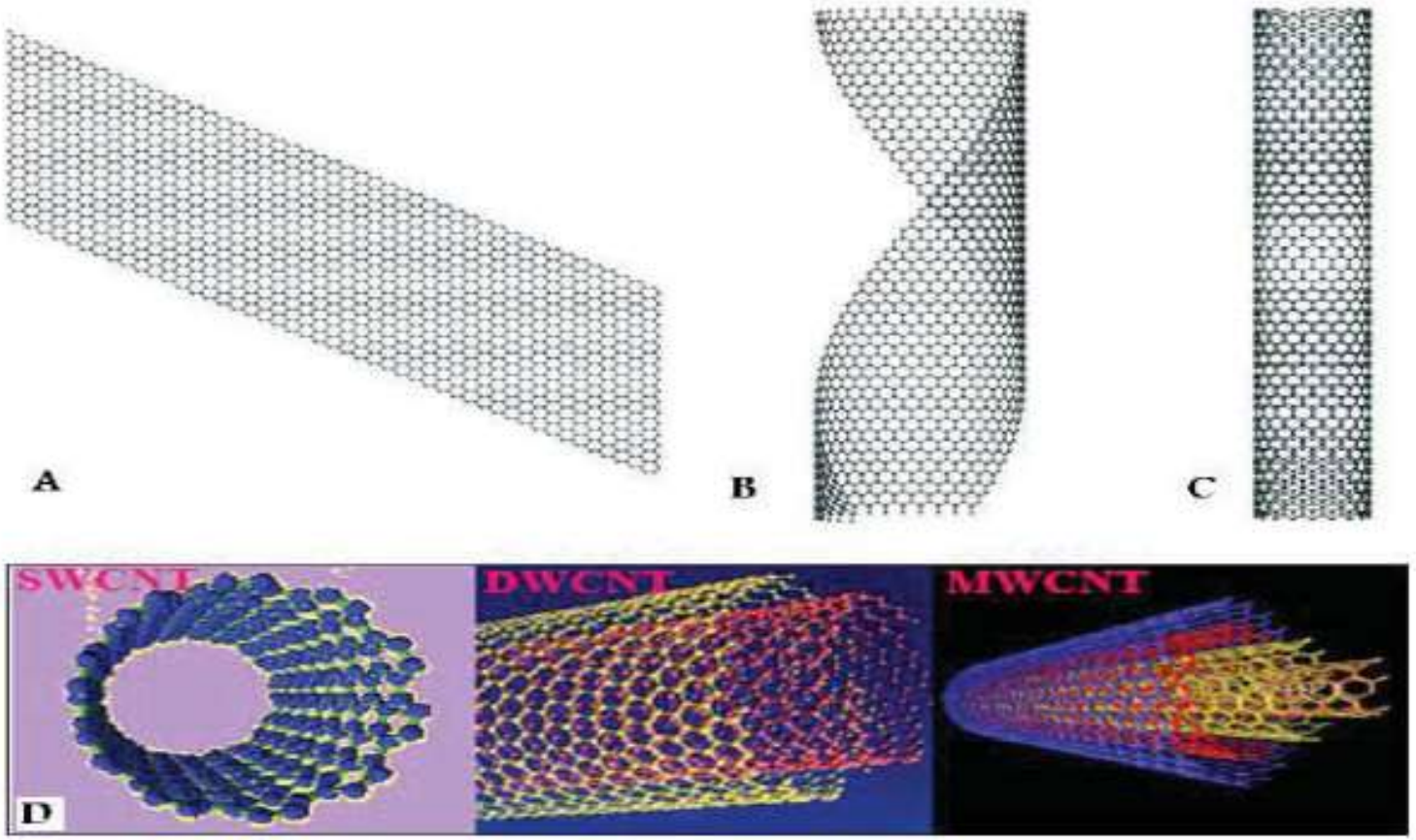


ترتيب جزيئات الكربون

انواع أنابيب الكربون النانوية Types of carbon nanotubes

هناك نوعان من أنابيب النانو الكربونية، وهما- كما ذكرنا سابقاً- أنابيب النانو الكربونية وحيدة الجدار (Single-walled Carbon Nanotubes) ، وأنابيب النانو الكربونية متعددة الجدار (Multi-walled Carbon Nanotubes).

يتراوح قطره أنبوب النانو الكربوني وحيد الجدار ما بين 0.8 nm إلى 10 nm ، وفي أغلب الحالات يكون معدل قطره في حدود نانومترين، في حين يصل طوله إلى عدة ميكرومترات، وله نهاية واحدة مغلقة على الأقل، وذلك بتركيب نصف كروي يشبه القبعة، وسمك جدار هذا الأنبوب بمقدار ذرة كربون واحدة، فهو بمنزلة شريحة كربون (شريحة جرافين) بسمك ذرة واحدة تطوى على شكل أسطوانة. أمّا أنبوب النانو الكربوني متعدد الجدار فهو بمنزلة مجموعة من أنابيب النانو المتداخلة وحيدة الجدار، وذات المركز المتحد، ويتراوح قطر هذا الأنبوب ه بين 10 نانومترات إلى 20 نانومتر، في حين يتراوح عدد الأنابيب وحيدة الجدار المكونة له في الغالب بين 8الى20 أنبوبًا



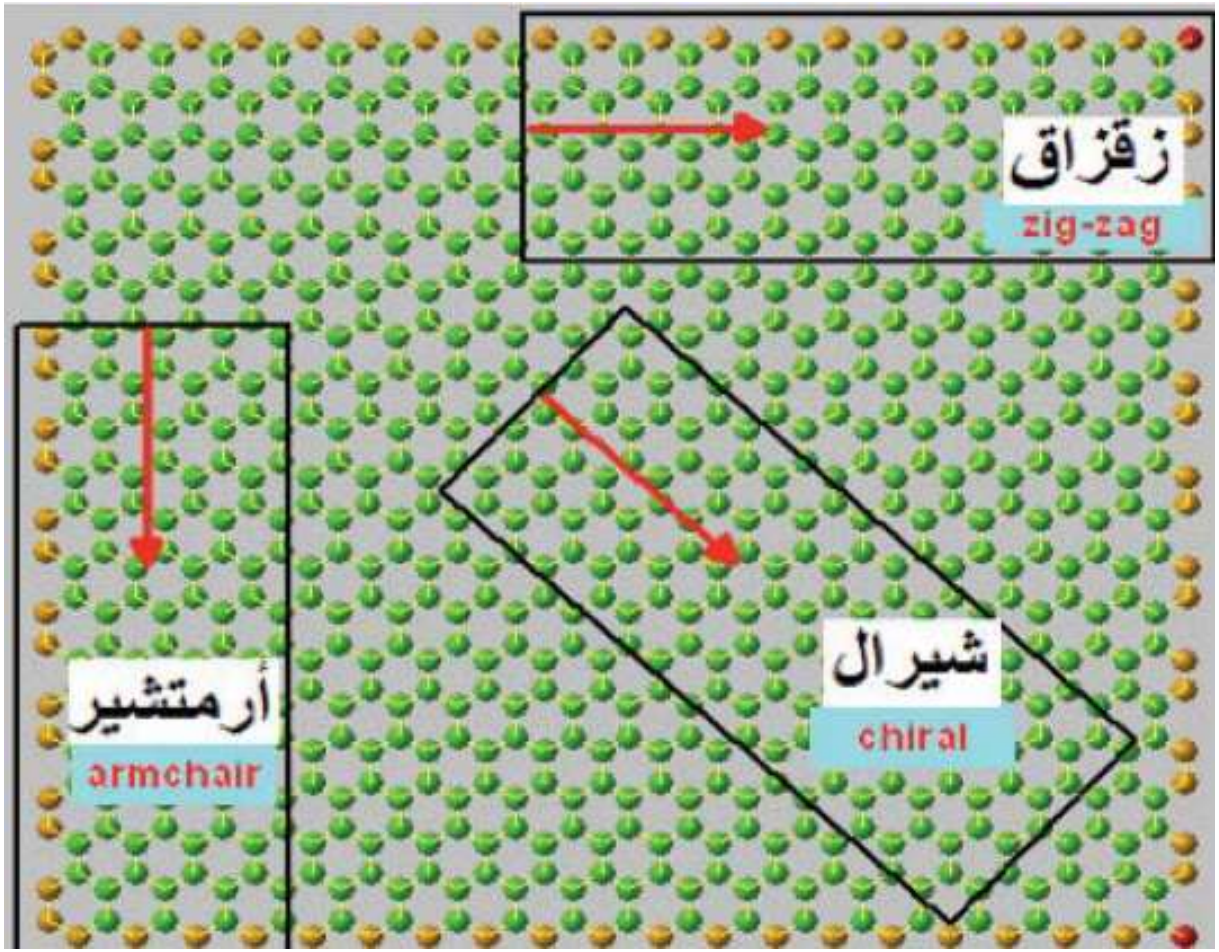
رسم توضيحي يوضح أنواع أنابيب الكربون المختلفة

بنية أنابيب الكربون النانوية Structures of carbon nanotubes

أنابيب الكربون النانوية بمنزلة صفائح مطوية من الجرافيت، ولها شكل أسطواني مجوف، وأبعاده الجانبية تصل إلى عدة نانوميترات. وبالطبع سيكتسب الأنبوب النانوي خواصه الفيزيائية من خواص الجرافيت ذي البعدين.

وبالنظر إلى التركيب المجهري على مستوى التركيب البنائي الدقيق لأنبوب النانو الكربوني، نجد أنّ هذا الأنبوب له وحدة بناء (شبيكة) سداسية الشكل (Hexagonal lattices)، وهي مكوّنة من ست ذرات كربون تتخذ الشكل السداسي.

وجدير بالذكر أنّ أنابيب النانو الكربونية تنقسم إلى ثلاثة أنواع هي: تركيب كتف الكرسي(Armchair) والتركيب المتعرج (Zigzag) و تركيب تشرال (Chiral) ويعود السبب في تكوّن هذه الأنواع الثلاثة إلى عاملين مهمين هما :


زقزاق
zig-zag
أرمتشير
armchair
شيرال
chiral

خواص انابيب الكربون النانوية

- الخواص الميكانيكية

✓تعتبر أنابيب الكربون الثانوية من أقوى المواد المعروفة على الإطلاق.وتنشأ هذه القوة بسبب وجود الروابط التساهمية القوية بين ذرات الكربون وبعضها البعض.

✓تمتلك مقاومة شد عالية جدا، وهذا يعني قوة مقاومتها لأي ضغط أو جهد عليها.

✓قوية جدا ومن الصعب جدا كسرها، كما أن لها معامل مرونة عاليا جدا، ويعني هذا مقاومتها لأي تغير في طولها أو مساحة مقطعها عند تحميلها بوزن كبير.

✓تبلغ كثافة أنابيب الكربون الثانوية حوالي 1.4 – 33 g/cm^3 ، وهذا يعني أنها خفيفة جدا مقارنة بمواد مثل الألمونيوم والحديد.

✓لانابيب الكربون النانوية قوة نوعية عالية جدا، والقوة النوعية تربط القوة بالوزن، فكلما كانت المادة أقوي وأخف كان لها قوة نوعية أعلى.

- الخواص الحرارية

انابيب الكربون النانوية موصلات حرارية ممتازة على طول الأنبوبة وتقريبا عازلة عموديا على محور الأنبوبة مما يسمى التوصيل القذفي. ومن المتوقع أن تبلغ قدرة انابيب الكربون النانوية على توصيل الحرارة حوالي 6000 واط / متر / كلفن في درجة حرارة الغرفة العادية،مقارنة بالنحاس الذي يبلغ قدرته على التوصيل 385 واط / متر / كلفن. والثبات الحراري (thermal stability)لأنابيب الكربون النانوية حوالي 2800 درجة مئوية في الفراغ وحوالي 750 درجة مئوية في الهواء،وهذا يعني أنها تظل محتفظة بخواصها وبناء مادتها حتى تصل لدرجات الحرارة المرتفعة تلك.

- الخواص الكهربية

كما ذكرنا من قبل يؤثر ترتيب الذرات على قدرة الأنبوبة على توصيل الكهرباء ، فنجد أن انابيب الكربون النانوية ذات التركيب Armchair لها خواص الموصلات المعادن بينما التركيب zigzag و Chiral تعتبر أشباه موصلات. وتمتلك أنابيب الكربون النانوية خاصية تسمى النقل الإلكتروني القذفي ، وهذا يعني أنها موصلات ممتازة على طول الأنبوبة. وتستطيع انابيب الكربون المعدنية أن تحمل تيارا كهربا أعلى 1000 مرة من قدرة ناقل جيد للكهرباء مثل النحاس.

تصنيع انابيب الكربون النانوية

تلك الأنابيب النانومترية قوية بدرجة لا تصدق فهي أقوى بمئات المرات من الصلب، ويرجع ذلك جزيئية إلى شكلها الهندسي السداسي.وبالتالي فهي مواد صعبة التصنيع تحتاج

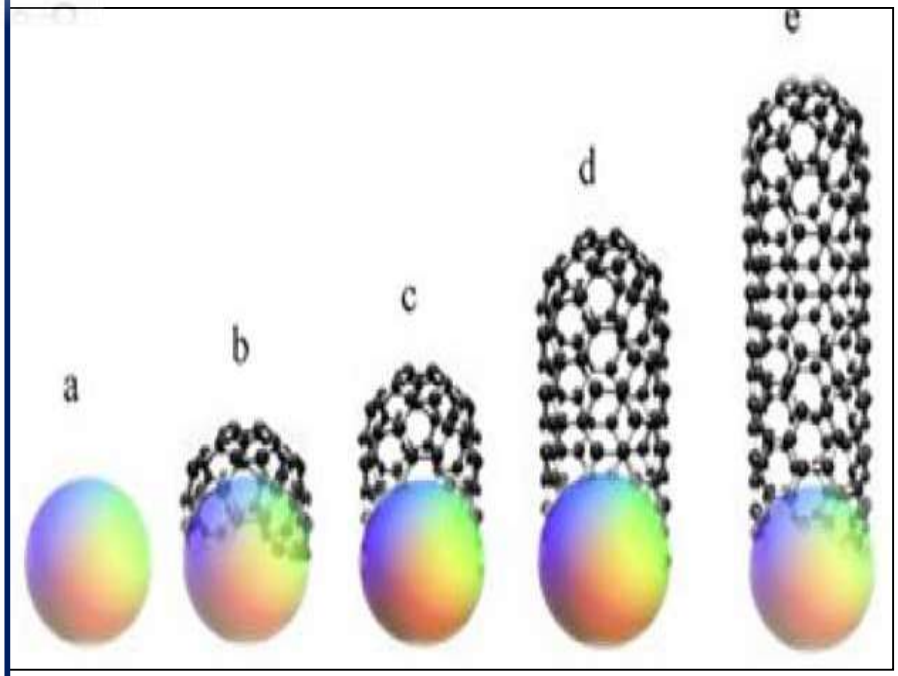
إلى تقنيات مخصصة ،ومهندسين متخصصين في علوم **النانو تكنولوجي**.وبالرغم من ذلك هناك عددا من التقنيات يتم اختبارها واستخدامها من اجل توفير طرق غير مكلفة لتصنيع هذه الأنابيب واستخدامها بشكل أكبر وأوسع.

باختلاف طرق عمل الأنابيب النانومترية، تكون لها خواص إلكترونية مختلفة. فبعضها يتوقع أن يكون معدنيا بينما يكون البعض الآخر أشباه موصلات.توجد طرق عديدة لإنتاج جزيئات الكربون المكونة من الأنابيب النانومترية، وهي تتلخص في :

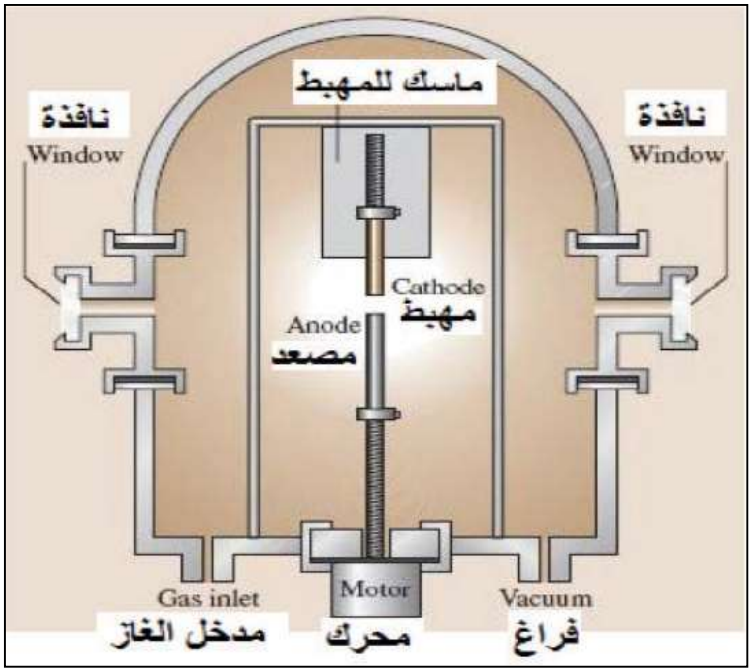
- **عمل تحليل كهربي باستخدام أقطاب من الجرافيت في أملاح منصهرة (طريقة القوس التفريغ الكهربي)**
- **تحليل حراري محفز للهيدروكربونات.(طريقة CVD)**
- **تبخير للجرافيت باستخدام الليزر. طريقة الاستئصال الليزري**

طريقة قوس التفريغ الكهربائي (Arc discharge Method)

إن تقنية قوس التفريغ هي من أول التقنيات استخداما في تصنيع و تحضير تركيبات الكربون (الفوليرين) حيث طورت على يد الباحث كريتشمر و فريقه . و في عام م 1991استخدمت استخدمت هده الطريقة في إنتاج أول أنبوب من أنابيب CNTs , و يستعمل في هذه الطريقة قطبان من الجرافيت احدهما يمثل الانود و الأخر يمثل الكاثود حيث يوضعان في حيز مغلق و يطبق جهد كهربائي 20 فولط (انظر الشكل), مما يسمح بحدوث تفريغ كهربائي تتراوح شدة تياره بين A 50-200 في القوس الكهربائي تصل درجة الحرارة إلى أكثر من C° 3000 من أجل تبخير (Evaporation)ذرات الكربون إلى حالة البلازما وتتم بذلك عملية بناء الأنبوب النانوي (Root Growth) حتى طول معين وذلك بواسطة المواد المساعدة.



عملية بناء الانبوب النانوي احادي الجدار (Root Growth)



تقنية الفريغ الكهربائي

طريقة الترسيب البخاري الكيميائي (Chemical Vapor Deposition method -CVD)

إن تقنية ترسيب الأبخرة الكيميائية تعد من احدث الطرق التي طورت لتتغلب على عيوب الطريقة السابقة من حيث انخفاض تكلفتها و استخدام درجة اقل في تصنيع الانابيب , كما تتميز بوفرة الإنتاج و بقدرتها على إنتاج كلا النوعين SWCNTs و MWCNTs . و توضع في هذه الطريقة ركيزة من السيليكون في وسط حيز التفاعل يشبه الفرن و ترفع درجة الحرارة الى 600 C° , ثم يضاف غاز الهيدروكربون أو اي غازات كربونية الى نظام التفاعل الذى ينتج عنه فصل الكربون ثم تشكل أنابيب الكربون على ركيزة السيلكون و تشكل معا تركيبات أخرى مثل مسحوق الكربون و شرائح سميكة و رقيقة و غيرها . و على الرغم من بعض العيوب فأن هذه الطريقة تعد من أكثر الطرق انتشارا في المخابر العلمية و ذلك لسهولة عملها .

ومن أجل دراسة صفات الأنابيب النانوية بعد إنتاجها يجب أن تتوفر لدينا بعض الأجهزة المساعدة مثل المجهر الالكتروني الماسح SEM ويستخدم للدراسة السطحية وكذلك المجهر الالكتروني STM

لدراسة الموصلية. كذلك تستخدم أجهزة مساعدة أخرى ثانوية مثل جهاز حيود الأشعة السينية XRD: (X-Ray Diffraction) من أجل معرفة نسب وكمية العناصر المعدنية في عينة الأنابيب النانوية المنتجة أثناء تنظيفها وجهاز رامان لقياس قطر الأنبوب النانوي بدقة.

استعمالات انابيب الكربون النانوية CNTs

- التطبيقات الطبية و بيولوجية كثيرة وتشمل علاج السرطان، توصيل الدواء والنسخ الجيني للـ (ADN)، تطبيقات الاستشعار.
- النقل الكهربائي و توليد الهيدروجين وتخزين الطاقة
- أغشية تصفية المياه
- هياكل الطائرات، والسفن، والصواريخ والمركبات الفضائية - الأسلحة الثقيلة -المركبات والطلاءات
- تحسين مردودية الخلايا الشمسية
- صناعة الروبوتات النانوية، .....

الفصل الثالث

تطبيقات نانو تكنولوجي

تطبيقات النانو تكنولوجي

عندما يتم معالجة بعض المواد على المستوى الذرى فإنها تكتسب خصائص فريدة ومهمة، وقد تكون خصائص مرئية، أو خصائص كهربائية، أو مغناطيسية، وغيرها من الخصائص المتنوعة(هُنا تكمن أهمية النانوتكنولوجي). ولذلك تتنوع تطبيقات النانو تكنولوجي فى مجالات الحياة المختلفة كالطاقة والطب والزراعة والإلكترونيات وغيرها، وسوف نستعرض الآن بعض **استخدامات النانو تكنولوجي** :

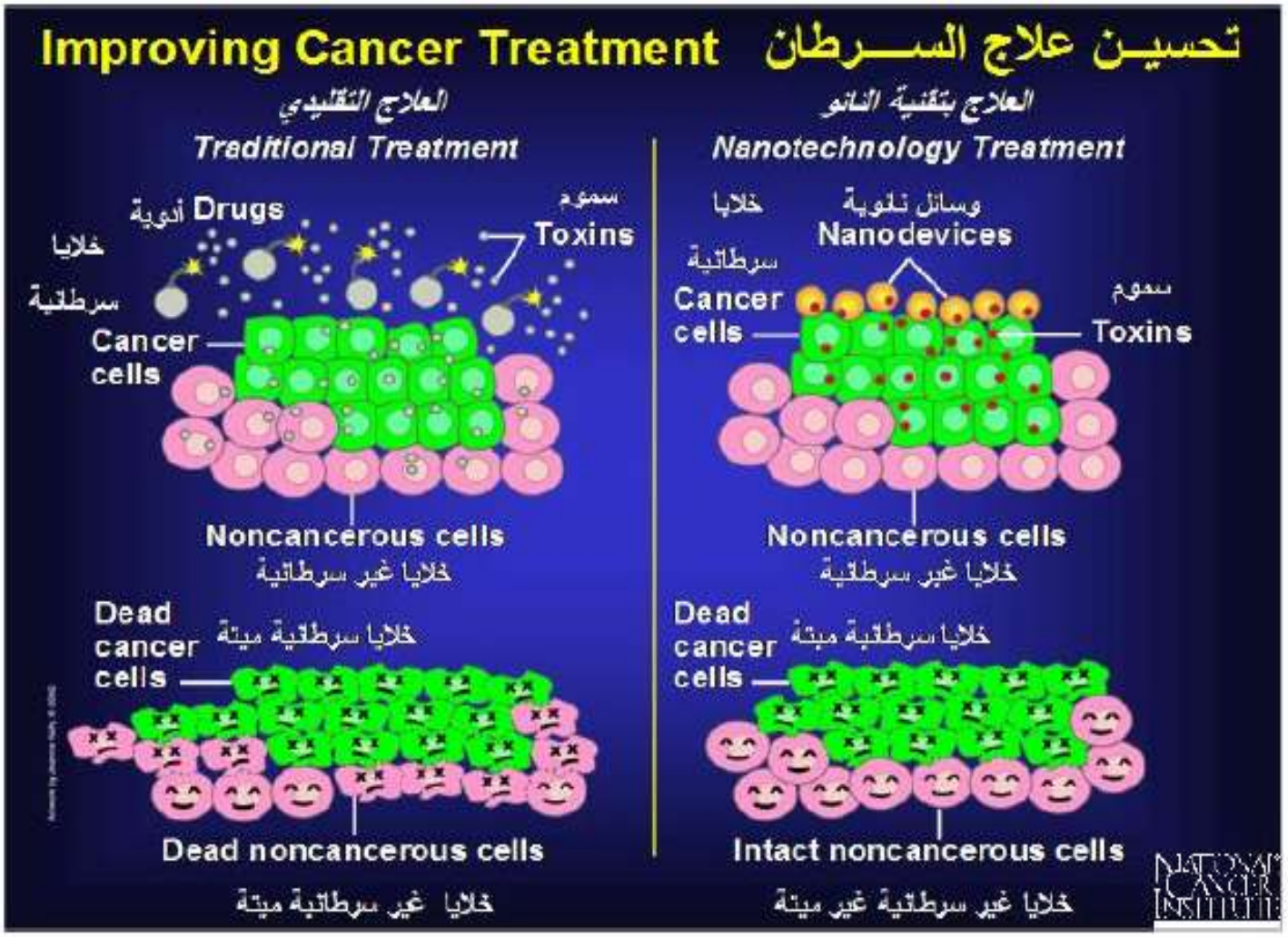
1. التطبيقات الطبية لتقنية النانو (Medical applications)

- التشخيص المبكر للأمراض وتصوير الأعضاء والانسجة.
- توصيل الدواء بدقة الى الانسجة والخلايا المصابة مما يزيد من فرص الشفاء ويقلل من الأضرار الجانبية للعلاج التقليدي الذي لا يفرق بين الخلايا المصابة والخلايا السليمة.
- إنتاج أجهزة متناهية الصغر للغسيل الكلوي يتم زراعتها في جسم المريض .

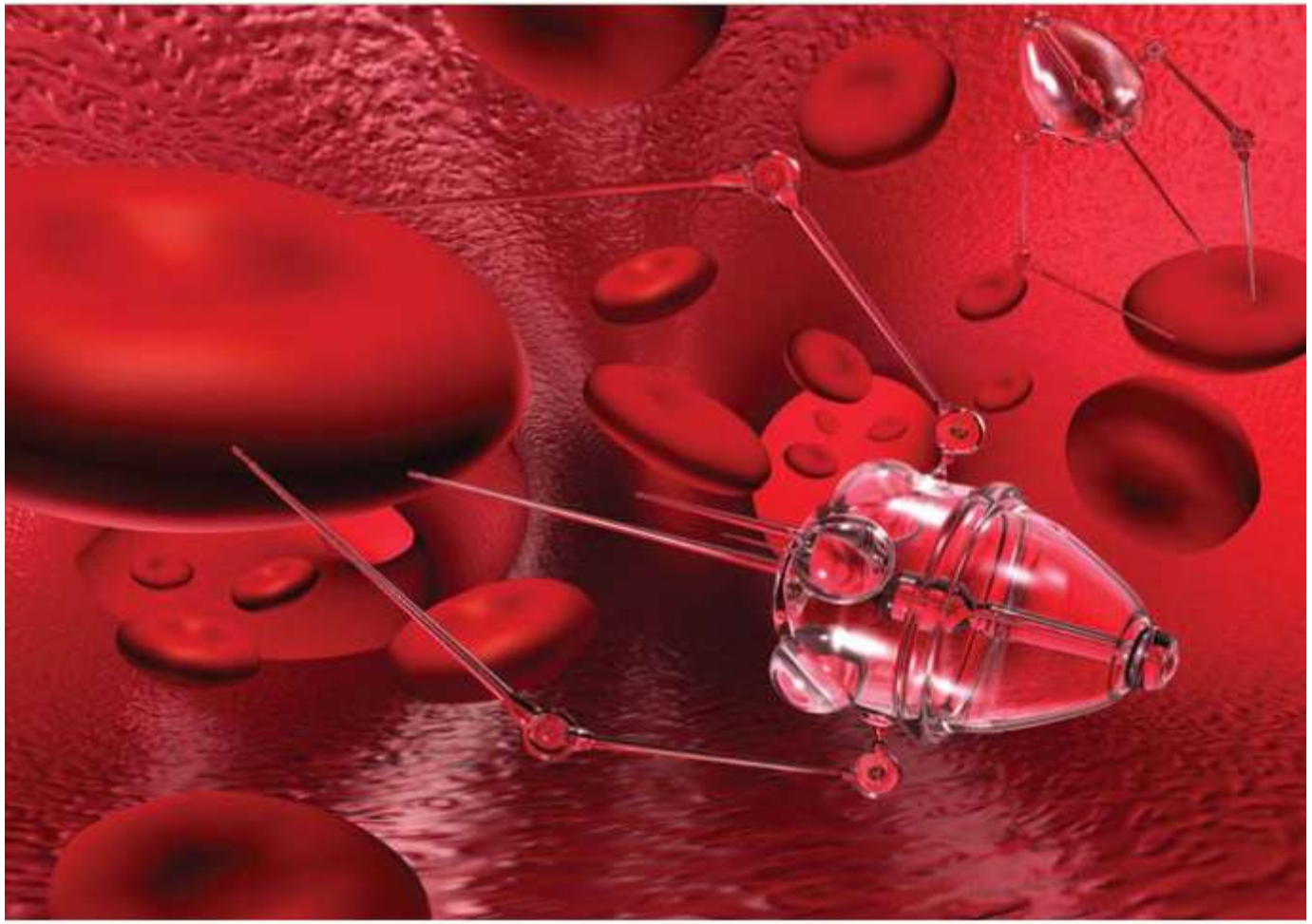
- إنتاج ربوتات نانوية يتم إرسالها الى الدم حيث تقوم بإزالة الجلطات الدموية من جدار الشرايين دون تدخل جراحي

1.1 علاج السرطان بتقنية النانو

- ✓ تحقن أغلفة نانوية مطلية من الذهب في الجسم لتلتصق بالخلايا السرطانية و تدمرها
- ✓ روبوتات نانوية تدخل الجسم لتسد منافذ تغذية الورم أو هروبه ثم تطلق المواد الكيميائية و تفتك بالخلايا السرطانية فقط .
- ✓ استطاع الباحثون تكرين أنابيب كربون النانوية أحادية الجدار التي لا تخترق إلا الخلايا السرطانية و تمتص موجات من 700 إلى 1100 نانومتر و هي أطوال لا تؤثر على الكائنات الحية لشفافيتها و تسليط أشعة الليزر تمتصها الأنابيب فنسخن الخلايا السرطانية وتقضى عليها .
- ✓ قام الباحثون باستخدام نانو أكسيد الحديد المغناطيسي فساهمت الخصائص المغناطيسية للجسيمات النانوية في اكتشاف الورم و توصيل الدواء لعلاجه .



رسم يوضح العلاج بتقنية النانو دون ضرر الخلايا غير السرطانية.



Nano robot ربوت نانوي

2.تقنية النانو و الزراعة (Nano and agriculture):

تؤدي تقنية النانو دورا كبيرا في هذا القطاع و ذلك بتوفير عدد ضخم من المواد النانوية متعددة تستخدم كأسمدة كيميائية تعمل على زيادة نمو المحاصيل و تحسين التربة مما ينعكس إيجابا على جودة المحاصيل . كما تستخدم تقنية النانو في تصنيع أنواع من المبيدات الحشرية الآمنة بيئيا و بيولوجيا ، تطورت تكنولوجيا النانو بشكل أكبر إلى صناعة الأغذية. ومعالجتها وحفظها وتعبئتها وأمانها .

1.2 صلاحية الغذاء

سيستفيد المنتجون والتجار والمجتمع ككل من الأساليب التي تلغي الحاجة إلى التخلص من المنتجات التي لا تزال جيدة بسبب تواريخ انتهاء الصلاحية. تتمثل إحدى السبل في دمج مستشعرات تكنولوجيا النانو في أغذية محكمة الغلق أو عبوات صيدلانية توفر معلومات مرئية عن حالة المحتوى أو نضارته أو حتى حالة المنتج، مع الإشارة إلى ما إذا كان قد تم تخزينه في درجة الحرارة المناسبة. أو في حالة تلفها، وما إلى ذلك.

2.2 تغليف الطعام

تستخدم تقنية النانو أيضًا في بعض عبوات الطعام والحاويات على وجه الخصوص. كما تستخدم أيضاً جزيئات الفضة النانوية لخصائصها المضادة للبكتيريا.

3.تكنولوجيا النانو و الصناعة

يمكن تطبيق تقنية النانو والمواد النانوية في جميع أنواع القطاعات الصناعية. سنذكر بعضاً منها فيما يلي:

- **إلكترونات**

تقترب الأنابيب النانوية الكربونية من استبدال السيليكون كمواد لصنع رقاقات وأجهزة أصغر حجمًا وأسرع وأكثر كفاءة، كذلك الترانسيتورات المصغرة بتقنية النانو التي أقامت ثورة في مجال الإعلام الآلي و المعالجات خاصة فخفضت من حجمها، و زادت سرعتها بأضعاف كبيرة. مما أنتج ما نراه اليوم من حواسيب خارقة و هواتف محمولة مصغرة تدخل جيوبنا.

• الطاقة

ان تقنية النانو تعد بتقديم حلول جذرية في استغلال الطاقة الشمسية فعلى سبيل المثال تعد رقائق النانو Nano-flakes احدي تراكيب النانو البلورية التي ستكون قادرة على تحويل أكثر من 30% من الطاقة الشمسية إلى كهرباء و السبب الأبعاد الدقيقة التي تتميز بها هذه التراكيب .

و من التطبيقات المستقبلية الفريدة التى تعد بها تقنية النانو تحويل أكثر من 66% من الطاقة الشمسية إلى كهرباء , و ذلك حسب ما صرحت به الحسابات النظرية و باستخدام النقاط الكمية التي تتميز بقدرتها على تحويل الطيف الكهرومغناطيسي إلى كهرباء .