



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة بابل

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

# أنابيب الكربون النانوية وتطبيقاتها

بحث

مقدم إلى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة وهو جزء من  
متطلبات نيل درجة البكالوريوس في قسم الفيزياء

مقدم من قبل الطالبه

فاطمه أسماعيل طه حمد

إشراف الدكتور ه/أ.م.د هدى بخيت حسن

٥١٤٤٥ هـ

٢٠٢٤ م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(وَلَسَوْفَ يُعْطِيكَ رَبُّكَ فَتَرْضَى)

صدق الله العظيم

سورة الضحى إيه ( ٥ )

# الإهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

الى خالق الروح والقلم وبارئ الذر والنسم وخالق كل شي من العدم الى من بلغ الرساله وادى الامانه .. ونصح الأمة .. الى نبي الرحمه ونور العالمين الى السادة الاطهار وعروته الوتقى .. اهل بيت النبوة ال مراد قلبي والاقرب لي من نفسي المغيب عن الابصار والكامن بعين البصيرة الى بقية الله الاعضم ... صاحب العصر والزمان (عجل الله تعالى

فرجه) الى من علمني ان الدنيا كفاح... وسلاحها العلم والمعرفة الى الذي لم عني بأي شئ الى من سعى لاجل راحتي ونجاحي الى اعضم واعز رجل في الكون... ابي العزيز

الى تلك الحبيبة ذات القلب النقي الى من اوصاني الرحمن بها برا واحسان من سعت وعانت من اجلي الى من كان دعائها سر نجاحي ... امي الحبيبة.. الى من اشاركهم لحضاتي... الى من يفرحون لنجاحي وكانه نجاحهم.

اخوتي واصدقائي بكل حب اهديكم هذا جهدي المتواضع

ب

## الخلاصة

إن العلماء لا يعرفون كل شيء عن الكربون الأنابيب النانوية أو الأنابيب النانوية وخفيفة الوزن تتكون من ذرات الكربون A الكربون أنابيب مثل ورقة من الجرافيت التي دخلت اسطوانة مع شبك سداسية مميزة يشكلون الورقة الأنابيب النانوية الكربونية صغيرة للغاية : قطر الأنابيب النانوية الكربوني هو نانومتر واحد ، أي واحد على عشرة آلاف (1/10000) قطر شعرة الإنسان يمكن إنتاج الأنابيب النانوية الكربونية بأطوال متفاوتة. وتوفر الأنابيب النانوية الكربونية فرضا مثيرة للبحث العلمي والتطبيقات الصناعية والتجارية نظرا لخصائصها الميكانيكية والكهربائية والحرارية الفريدة. الكربونية لفترة قصيرة، ولكنهم يعرفون أنهم جعلت رقيقة جدا أنابيب مجوفة ويهدف البحث الى رصد هذه التقنية الجديدة وتحدد ملامحها المستقبلية والوقوف على تطبيقاتها الحالية والمتوقعة . ذلك من خلال ثلاثة فصول حيث

يهدف الفصل الأول الى اعطاء فكرة عامة عن تقنية النانو مفهومها وتاريخها. كما تناول هذا الفصل مفهوم علم النانو وتاريخ النانو والتعرف على المواد النانوية وتصنيفها من حيث الابعاد بالاضافة الى خواصها واشكالها وطرق تحضيرها كما يقدم الفصل الثاني إلى دراسة الأنابيب النانوية الكربونية من خلال تعريفها واكتشاف ظهورها وأساليب تحضير هذه الأنابيب وأنواعها كما ويبحث الفصل الثالث عن تطبيقات تقنية النانو في مختلف المجالات منها في المجال الصناعة والزراعة والالكترونيات والحاسبات ونقل المعلومات والاتصالات والهندسة ، بالاضافة الى التطبيقات الأخرى في مجال الطب وتنقية المياه ونستنتج من البحث أن الأنابيب النانوية الكربونية هي متأصلات كربونية ذات تركيبات ثنوية تجعلها مفيدة في العديد من التطبيقات ويجب الاهتمام بها واعطاءها اولوية متقدمة في البحوث . خاصة وانها في بدايتها الأولى وان من يملك ناصيتها هو من يملك تقنية المستقبل

# الشكر وتقدير

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

شكر وتقديرا لحمد لله حمد كثيرا حتى يبلغ الحمد منتهاه والصلاة والسلام على أشرف مخلوق أناره الله بنوره واصطفاه وانطلاقا من باب من لم يشكر الناس لم يشكر الله أتقدم بخالص الشكر والتقدير للدكتور المشرفه «هدى بخيت حسن» على إرشاداتها وتوجيهاتها التي لم تبخل بها علينا يوما، كما أتقدم بجزيل الشكر والعطاء إلى كل يد رافقتنا في هذا العمل سواء من قريب أو من بعيد والشكر موصول كذلك إلى أوليائنا الذين سهروا على تقديم لنا كل الظروف الملائمة لانجاز هذا العمل كما لا أنسى أن أشكر جميع الأساتذة والمؤطرين الذين قدموا لنا يد المساعدة وإلى كل الزملاء والأساتذة الذين تتلمذنا على أيديهم وأخذنا منهم الكثير

ج

## المحتويات

رقم الصفحة	العنوان	م.
1	عنوان البحث	.1
1	الأيه الكريمه	.2
1	الإهداء	.3
1	الشكر والتقدير	.4
1	الخلاصه	.5
1	قائمه المحتويات	.6
رقم الصفحة	العنوان	م.
11-1	<b>الفصل الأول :مقدمه</b>	.1
2	تقنيه النانو	.2
3	تاريخ تقنيات النانو	.3
3	أشكال المواد النانويه	.4
8	المواد النانويه	.5
10	طرق تحضير المواد النانو	.6
رقم الصفحة	العنوان	م.
24-12	<b>الفصل الثاني : الأنابيب النانويه إلكاربونيه</b>	.1
13	ماهي الأنابيب النانويه الكاربونيه	.2
13	إكتشاف الأنابيب النانويه الكاربونيه	.3
14	طرق تحضير الأنابيب النانويه الكاربونيه	.4
16	خصائص الأنابيب النانويه الكاربونيه	.5
21	أنواع الأنابيب النانويه الكاربونيه	.6
رقم الصفحة	العنوان	م.
35-24	<b>الفصل الثالث : تطبيقات الأنابيب النانويه الكاربونيه</b>	.1
25	تطبيقات بنويه	.2
26	تطبيقات كهرومغناطيسية	.3
28	تطبيقات كهروصوتيه	.4
28	تطبيقات كيميائيه	.5
29	تطبيقات ميكانيكيه	.6
29	الدرات الكهربائيه	.7
30	التوصيلات الداخليه	.8
31	الترانزستورات	.9
31	التصميم الالكتروني واثمنه التصميم	.10

# الفصل الأول: المقدمة

## ١.١- ماهي تقنية النانو:

- قبل البدء ببيان تقنية النانو ال بد من تحديد بعض المفاهيم التالية:
- **تعريف النانو (بالإنجليزية: Nano)** هو عبارة عن بادئة (جزء نبدأ به الكلمة) مشتقة من الكلمة الإغريقية "nanos" والتي تعني قزم، ويستخدم النانو للتعبير عن جزء من مليار من الشيء؛ فمثلاً نقول نانومتر، أو نانو ثانية، وهذا يدل على جزء من مليار جزء من المتر، وجزء من مليار جزء من الثانية. ويمكن كتابة النانو بالأرقام على أنه ١٠-٩. [١] وحدات القياس بالنانو كما ذكرنا سابقاً، إن النانو هو ليس إلا بادئة تُستخدم للتعبير عن جزء من مليار جزء من وحدة القياس، والنانو ليس حصراً فقط على وحدة معينة دون وحدة أخرى، إنما يجوز استخدامه كبادئة لأي وحدة قياس. بالرغم من ذلك إلا أن هذه البادئة عادةً تظهر بشكل عملي متكرر في وحدات قياس الطول، ووحدات قياس الزمن، ووحدات قياس الكتلة، والوحدات الكبيرة جداً مثل وحدة الشحنة الكهربائية وهي الكولوم، ووحدة السعة الخاصة بالمواسعة الكهربائية. وفي ما يأتي سوف نذكر بعض الوحدات التي نستخدم معها النانو بشكل متكرر.
  - **علم النانو :** تكنولوجيا النانو في طريقها إلى تغيير حياتنا؛ فها نحن نعيش بعصر تكنولوجيا وعلوم النانو. هل يُمكنك التخيل أن مواد متناهية في الصغر تنفرد بقدرات مذهشة وتتميز بخصائص استثنائية؟ لهذا أعدت منصة فرصة مقالاً حول كل الأمور التي تود معرفتها حول تخصص علوم النانو Nano Science أو ما يُمكن الإشارة إليه أيضاً بتكنولوجيا النانو أو Nano Technology. بدأت تكنولوجيا وعلوم النانو في مطلع ظهورها بتصنيع مواد متناهية جداً في الصغر لدرجة أن أبعادها تُقاس بالنانومتر. لكن ما هي وحدة قياس النانومتر؟ حسناً، النانومتر هي وحدة لقياس الأطوال وهو جزء من مليار جزء من المتر حيث تستعمل لقياس الأطوال القصيرة جداً ومقدارها -

٩١٠ من المتر. لهذا السبب يُطلق على علوم النانو اسمين آخرين مثل تقنية الجزيئات متناهية الصغر أو حتى تقنية الصغائر. يُمكن تعريف علوم النانو أنه العلم التطبيقي الذي يدرس معالجة المواد على المقياس الجزيئي والمقياس الذري كذلك وبهذا يُعد علم النانو إحدى مجالات علم المواد مثل الفيزياء والهندسة الميكانيكية بالإضافة إلى الهندسة الكيميائية أو الهندسة الطبية الحيوية. لعل تخصص علم النانو هو التخصص الذي يُعنى بدراسة المبادئ الأساسية للجزيئات والمركبات التي لا يتجاوز طولها أو قياسها ١٠٠ نانومتر ومن الجدير بالذكر أن تقنية النانو كانت تُستخدم في صناعة الصلب والمطاط منذ آلاف سنين. لا نستطيع حصر الفوائد والابتكارات التي توصلت لها تقنية النانو وما زالت تتوصل لها في المستقبل لكن يُمكن ذكر بعض الأمور المهمة في مجال الطاقة مثلًا حيث تُسهم تكنولوجيا النانو في إنتاج بطاريات بوسعها تخزين كميات هائلة من الطاقة بالإضافة إلى الألبسة الذكية القادرة على إنتاج الطاقة وإزالة الميكروبات أو الأوساخ أو الجراثيم عن الملابس ذاتيًا. أما بالنسبة لمجال الطب، سوف تلعب تقنية النانو دور هام ومحوري جدًا في الأطراف الاصطناعية من حيث تعويضات أعضاء الجسم البشري الجلد أو اليدين والعين وما إلى ذلك أصبحت تقنية النانو في طليعه المجالات الأكثر اهمية واثاره في الفيزياء والكيمياء، الأحياء والهندسة ومجالات عديدة أخرى. فقد أعطت أملاً كبيراً لثورات علمية في المستقبل القريب ستغير وجهة التقنية في العديد من التطبيقات. لذا فمن المهم إعطاء فكرة عامة وموجزة لغير المختصين عن هذه التقنية. ويعود الاهتمام الواسع بتقنية النانو إلى الفترة ما بين ١٩٩٦ إلى ١٩٩٨م عندما قام مركز تقييم التقنية العالمي الأمريكي (WTEC) بدراسة تفويمية لأبحاث النانو وأهميتها في الإبداع التقني. وخلصت الدراسة إلى نقاط من أهمها أن لتقنية النانو مستقبلًا عظيمًا في جميع المجالات الطبية والعسكرية والمعلوماتية والإلكترونية والحاسوبية والبيروكيميائية والزراعية والحيوية وغيرها، وأن تقنية النانو متعددة الخلفيات فهي تعتمد على مبادئ الفيزياء والكيمياء والهندسة الكهربائية والكيميائية وغيرها إضافة لتخصص الأحياء والصيدلة. ولذا فإن الباحثين في مجال ما لا بد أن يتواصلوا مع الآخرين في مجالات أخرى من أجل الحصول على خلفية عريضة عن تقنية النانو

ومشاركة فعالة في هذا المجال المثير. كما أن المدراء الفنيين وداعمي هذه الأبحاث لابد من أن يلمّوا بإيجاز عن عموم هذه المجالات

## ٢.١ تاريخ تقنيات النانو:

منذ حوالي النصف قرن لم تكن تقنية النانو أكثر من مجرد خيال علمي، ثم في عام ١٩٥٩ قدم الفيزيائي ريتشارد فاينمان الحائز على جائزة نوبل في الفيزياء خلال اجتماع للجمعية الفيزيائية الأميركية في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (CalTech) محاضرة عن مفهوم التلاعب بالمادة والتحكم بها على المستوى الذري. خلق فاينمان بذلك نهجاً جديداً للتفكير وبدأت رحلة إثبات صحة فرضياته منذ ذلك الحين. ولهذا السبب يعتبر المؤسس الأول لتقنية النانو

ريتشارد فاينمان

بعد أكثر من عقد من الزمان، صاغ البروفيسور " Norio Taniguchi " مصطلح تقنية النانو (nano-technology) ومع ذلك، فإن العصر الذهبي لتقنية النانو بدأ فقط في عام ١٩٨١، عندما تم تطوير واستخدام مجهر المسح النفقي الذي مكننا من رؤية الذرات الفردية. وشهدت بداية القرن الحادي والعشرين اهتماماً متزايداً بالمجالات الناشئة في علم وتقنيات النانو. ففي الولايات المتحدة دعا الرئيس السابق بيل كلينتون إلى تمويل الأبحاث في هذه التقنيات الناشئة خلال خطاب ألقاه في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في ٢١ يناير ٢٠٠٠.

وبعد ثلاث سنوات وقع الرئيس جورج بوش على قانون البحث والتطوير في مجال تكنولوجيا النانو للقرن الحادي والعشرين. وقد جعل هذا التشريع لأبحاث تقنيات النانو أولوية وطنية وخلق مبادرة تقنية النانو الوطنية ( National Nanotechnology Initiative) (NNI) والتي لا زالت قائمة حتى اليوم.

## ٣.١ أشكال المواد النانوية:

عند تصنيع المواد بحجم النانو فإن التركيب الفيزيائي والتركيب الكيميائي للمواد الخام المستخدمة في التصنيع تلعب دوراً مهماً

في خصائص المادة النانوية الناتجة، وهذا خلافاً لما يحدث عند تصنيع المواد العادية، وتتركب المواد عادة من مجموعة من الحبيبات والتي تحتوي على عدد من الذرات وقد تكون هذه الحبيبات مرئية أو غير مرئية للعين المجردة بناءً على حجمها، ويمكن ملاحظتها بواسطة الميكروسكوب، ففي هذه المواد يتفاوت حجم الحبيبات من مئات الميكرومترات إلى سنتيمترات، أما في المواد النانوية فإن حجم الحبيبات يكون في حدود 1 - 100 نانومتر. من التت المستخدمة في ذلك الحفر الضوئي والقطع والكحت وقد استخدمت هذه التقنيات للوصول إلى مركبات إلكترونية مجهرية كشرائح الكمبيوتر وغيرها، يمكن فحص ودراسة خصائص المواد النانوية والتأكد من تركيبها باستخدام عدد من الأجهزة والتقنيات العلمية من أهمها: المجهر الإلكتروني الإنفاذي (TEM)، المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، مجهر القوى الذرية (AFM). يمكن تصنيع المواد النانوية على عدة أشكال وذلك بناءً على الاستخدام المقرر لهذه المواد، ومن أهم الأشكال ما يلي:

### 1- النقاط 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 100,000 ذرة في حجم النقطة الكمية الواحدة، وتقوم النقطة الكمية بتقييد إلكترونات شريط التوصيل وثقوب شريط التكافؤ أو الأكسيتونات (وهي عبارة عن زوج مرتبط من إلكترونات التوصيل وثقوب التكافؤ). كما تُبدي النقاط الكمية طيفاً طاقياً مكمّماً منقطعاً وتكون الدوال الموجية المقابلة متمركزة داخل النقطة الكمية، وعندما يكون قطر النقطة الكمية يساوي 10 نانومتر فإنه يمكن رصف 3 ملايين نقطة كمية بجانب بعضها البعض بطول يساوي عرض إصبع إبهام الإنسان.

### 2- الفولورين Fullerene

تركيب نانوي غريب آخر للكربون وهو عبارة عن جزيء مكون من 60 ذرة من ذرات الكربون ويرمز له بالرمز C60، وقد اكتشف عام 1985م. إن جزيء الفولورين كروي المظهر ويشبه تماماً كرة القدم التي تحتوي على 12 شكلاً خماسياً و 20 شكلاً سداسياً. ومنذ اكتشاف كيفية تصنيع الفولورين عام 1990م

وهو يُحضر بكميات تجارية. كما أمكن الحصول على جزيئات بعدد مختلف من ذرات الكربون مثل C36 و C48 و C70 إلا أن العلماء أبدوا اهتماماً خاصاً بالجزيء C60. لقد سمّي هذا التركيب بالفولورين نسبة

للمختبر والمهندس المعماري ر. بكنمستر فولر (R. Buckminster Fuller). وهكذا فقد نشأ فرع جديد يُسمّى كيمياء الفولورين حيث عُرف أكثر من ٩٠٠٠ مركب فولورين منذ عام ١٩٩٧م، وظهرت تطبيقات مختلفة لكل من هذه المركبات، ومنها المركبات K3C60 و RbCs2C60 و C60- CHBr3 التي أبدت توصيلية فائقة (superconductivity). كما اكتشفت أشكال أخرى منها كالفولورين المخروطي والأنبوبي إضافةً إلى الكروي.

### ٣- الكرات النانوية Nanoballs

من أهمها كرات الكربون النانوية والتي تنتمي إلى فئة الفولورينات، من مادة C60، لكنها تختلف عنها قليلاً بالتركيب حيث أنها متعددة القشرة. كما أنها حاوية 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 سماها العلماء (البصل) (Bucky)، وقد يصل قطر الكرات النانوية إلى ٥٠٠ نانومتر أو أكثر

### ٤- الجسيمات النانوية Nanoparticles

على الرغم من أن كلمة (الجسيمات النانوية) حديثة الاستخدام، إلا أن هذه الجسيمات كانت موجودة في المواد المصنوعة أو الطبيعية منذ زمن قديم. فعلى سبيل المثال، تبدو أحياناً بعض الألوان الجميلة من نوافذ الزجاج الصدئة وذلك بسبب وجود مجموعات عنقودية صغيرة جداً من الأكاسيد الفلزية في الزجاج حيث يصل حجمها قريباً من الطول الموجي للضوء. وبالتالي فإن الجسيمات ذات الأحجام المختلفة تقوم بتشتيت أطوال موجية مختلفة من الضوء مما ينتج عنه ظهور ألوان مختلفة من الزجاج.

يمكن تعريف الجسيمات النانوية على أنها عبارة عن تجمع ذري أو جزيئي ميكروسكوبي يتراوح عددها من بضع ذرات (جزيء)

إلى مليون ذرة، مرتبطة ببعضها بشكل كروي تقريباً بنصف قطر أقل من ١٠٠ نانومتر.

#### ٥- الأنابيب النانوية Nanotubes

تصنع الأنابيب النانوية، أحياناً، من مواد غير عضوية مثل أكاسيد الفلزات (أكسيد الفاناديوم، أكسيد المنجنيز)، نيتريد البورون والموليبيدينوم، وهي شبيهة من ناحية تركيبها بأنابيب الكربون النانوية، ولكنها أثقل منها وليست بنفس القوة مثل أنابيب الكربون. وتعد أنابيب الكربون النانوية التي اكتشفت عام ١٩٩١م أكثر أهمية نظراً لتركيبها المتماثل وخصائصها المثيرة واستخداماتها الواسعة في التطبيقات الصناعية، والعلمية، وفي الأجهزة الإلكترونية الدقيقة، والأجهزة الطبية الحيوية. يمكن وصف أنابيب الكربون على أنها عبارة عن شرائح من الجرافيت يتم طيها حول محور ما لتأخذ الشكل الاسطواني حيث ترتبط ذرات نهايتي الشريحة مع بعضها لتغلق الأنبوب. تكون إحدى نهايتي الأنبوب في الغالب مفتوحة والأخرى مغلقة على شكل نصف كرة، كما قد يكون جدار الأنبوب فردي الذرات وتسمى في هذه الحالة بالأنابيب النانوية وحيدة الجدار (single wall nanotube)

#### ٦- الألياف النانوية Nanofibres

لاقت الألياف النانوية اهتماماً كبيراً مؤخراً لتطبيقاتها الصناعية. وقد أكتشف العديد من أشكالها كالألياف السداسية والحلزونية والألياف الشبيهة بحبة القمح (corn-shaped). إن الجزء الجانبي للألياف النانوية اللويحي أو الأنبوبي له شكل سداسي، مثلاً، وليس أسطوانياً. من أشهر الألياف النانوية تلك المصنوعة من ذرات البوليمرات. إن نسبة مساحة السطح إلى الحجم كبيرة في حالة الألياف النانوية، كما للأنابيب النانوية، حيث أن عدد ذرات السطح كبير مقارنة 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 كتقليل مقاومة الهواء إلى آخره من التطبيقات لاسيما بعد تطوير طرق التحضير. هناك أكثر من طريقة لتحضير الألياف البوليمرية، من أشهرها التدوير الكهربائي

(electrospinning)، ولازالست تواجهه العديد من الصعوبات للتحكم بخصائص الألياف الناتجة كاستمراريتها واستقامتها وتراسفها

#### ٧- الأسلاك النانوية Nanowires

هي أسلاك بقطر قد يقل عن نانومتر واحد وبأطوال مختلفة، أي بنسبة طول إلى عرض تزيد عن ١٠٠٠ مرة، لذا فهي تُلحق بالمواد ذات البعد الواحد، وكما هو متوقع، فهي تتفوق على الأسلاك التقليدية (ثلاثية الأبعاد)، وذلك بسبب أن الإلكترونات تكون محصورة كميأً باتجاه جانبي واحد مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة تختلف عن تلك المستويات العريضة الموجودة في المادة الحجمية للأسلاك النانوية عدة أشكال فقد تكون حلزونية (spiral) أو تكون متماثلة خماسية الشكل. وقد تكون الأسلاك النانوية عند تحضيرها في المختبر على شكل أسلاك متعلقة من طرفها العلوي أو تكون مترسبة على سطح آخر، ومن الطرق المستخدمة لإنتاج الأسلاك المتعلقة عمل كحت كيميائي لسلك كبير أو قذف سلك كبير بواسطة جسيمات ذات طاقة عالية.

#### ٨- 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 الكهربائية والحرارية للمادة

#### ١-٤ المواد النانوية:

المواد التي تتألف من مكون واحد أو أكثر له بعد واحد على الأقل يبلغ ما يتراوح بين ١ و ١٠٠ نانومتر، وتحتوي على جسيمات نانوية، وألياف نانوية وأنابيب نانوية، ومواد مركبة، وسطوح بنى نانوية. وتشمل هذه المواد الجسيمات النانوية كمجموعة فرعية من المواد النانوية، التي تعرف حالياً بتوافق الآراء على أنها جسيمات أحادية يبلغ قطرها  $> 100$  نانومتر. ويمكن أن

تكون كتل الجسيمات النانوية أكبر من ١٠٠ نانومتر من حيث قطرها. ويمكن تصنيف المواد النانوية إلى مايلي.

### ١. المواد النانوية أحادية الأبعاد:

تقع تحت هذه الفئة جميع المواد التي يقل أحد مقاييس أبعادها عن ٣١١ نانومتر. وسميت هذه الفئة بالمواد النانوية أحادية الأبعاد. (أي التي لها بعد نانوي واحد فقط). ومن أمثلة هذه المواد الرقائق أو الأغشية **Thin Layers** مثل المواد النانوية الموظفة في أعمال طلاء الأسطح **Surface Nanocoating** كمثال التي تستخدم في طلاء أسطح المنتجات الفلزية بفرض حمايتها من التآكل بالصدأ، أو تلك الأفلام رقيقة السمك **Thin Films** المستخدمة في تغليف المنتجات الغذائية بهدف وقايتها من التلوث والتلف. كذلك تصنع مواد أشباه الموصلات المختلفة مثل رقائق السليكون لتوظيفها في صناعة الخلايا الشمسية.

### ٢. المواد النانوية ثنائية الأبعاد:

يشترط في مجموعة هذه الفئة من المواد النانوية أن يقل مقياس بعدين من أبعادها عن ٣١١ نانومتر. وتعد الأنابيب أو الأسطوانات النانوية (**Nanotubes**) ومنها أنابيب الكربون النانوية والألياف النانوية، وكذلك الأسلاك النانوية (**Nanowires**) نماذج مهمة لتلك الفئة من المواد. ولم يكن غريبا أن ترشح ترشيح أنابيب الكربون النانوية، لأن توظف كمواد داعمة ومقوية لقوالب الفلزات لرفع قيم صلابتها، وتحسين خواصها الميكانيكية،

### ٣-المواد النانوية ثلاثية الأبعاد

تمثل الكريات **Spheres** نانوية الأبعاد، مثل الحبيبات النانوية، وكذلك مساحيق الفلزات والمواد الديناميكية فانقة النعومة أمثلة لهذه الفئة من المواد التكنولوجية المهمة التي نعتت بأنها ثلاثية نظراً إلى مقاييس أبعادها على المحاور الثلاثة X Y Z تقل عن ٣١١ نانومتر. هذه الفئة من المواد النانوية ثلاثية الأبعاد، سواء كانت على هيئة حبيبات أم مساحيق فانقة النعومة، تنصدر قائمة الإنتاج العالمي من المواد النانوية بوجه عام، وذلك نظراً لتعدد استخداماتها في المجالات والتطبيقات التكنولوجية الحديثة فعلى سبيل المثال تتوافر الآن في الأسواق مساحيق حبيبات نانوية لأكاسيد الفلزات ذات أهمية اقتصادية كبيرة، حيث تدخل أكاسيد

الفلزات مثل أكسيد السيميكون)  $SiO_2$  (أكسيد التيتانيوم)  $TiO_2$ ، أكسيد الألمنيوم  $AlO$  (وكذلك أكسيد الحديد  $Fe$ ) في قطاع صناعة الإلكترونيات ومواد البناء صناعة الطلاء، وكذلك في صناعة الأدوية والأجهزة الطبية الحديثة لتحل بذلك محل المواد التقليدية، ولتساهم في رفع كفاءة وجودة المنتجات

### 1- طرق تحضير مواد النانو

#### 1- الطرق الفيزيائية:

يتم تحضيرها ابتداءً من الحالة البخارية للمادة بتسخين المادة أو بقذفها بحزمة من الإلكترونات أو حلها حرارياً باستخدام أشعة الليزر، ثم يتم تبريد البخار من خلال صدمه بغاز محايد ليصبح أكثر إشباعاً وبعد ذلك يتم وضعه على سطح بارد بسرعة لتجنب حدوث بناء بلوري، ثم يتم تحضير مواد النانو باستخدام الموجات أو باستخدام الليزر أو عن طريق PVD أو Epitaxie.

#### 2- الطرق الكيميائية:

1- التفاعلات في الحالة البخارية: يدخل بخار المادة المراد تحضيرها في مفاعل CVD، ثم تمتزج جزيئات المادة على سطح أساس بدرجة حرارة معينة وتتفاعل مع غازات أخرى لتكوين شريط صلب على سطح الأساس، وتستخدم هذه الطريقة لتحضير مواد النانو مثل كميمات أشباه النواقل

2- التفاعلات في وسط سائل: يعتبر الماء أو السوائل العضوية الأكثر استخداماً، ويتم تحضير مواد النانو من خلال تغيير شروط التوازن الكيميائي فيزيائي من خلال تفاعلات الترسيب الكيميائي المزدوج أو التحليل بالماء للحصول على جزيئات كروية يمكن التحكم بأبعادها، أو من خلال استخدام تقنيات sol gel باستخدام محاليل غروية على درجات حرارة منخفضة.

#### 3- الطرق الميكانيكية

1- التركيب الميكانيكي: من خلال سحق مادة مكونة من جزيئات ميكرومترية من (1 إلى 30) إلى عدة خلائط ومزجها، وتتميز هذه التقنية بأنها تسمح بتحضير مواد نانو متجانسة، كما تسمح بإنتاج مواد ضخمة من عدة أطنان.

- 2 - عملية الرصد والتزجيج الأولى: من خلال تحويل المادة الذرية إلى قطعة ضخمة خلال مرحلتين، مرحلة الرصد الميكانيكي، ومرحلة إذابة مسحوق المعادن لتشكيله بعد التبريد.
- 3 - تقنيات التشوهات القوية: من خلال تشويه مادة بلورية بقوة كالمعدن أو الخزف بهدف تحسين خصائص التصليب واللدانة للمواد
- 4 - طريقة الطحن: تستخدم لإنتاج مواد نانو على شكل مسحوق حيث يتم تعريض المادة الأساسية لطاقة عالية جداً، ثم طحنها باستخدام كرات مصنوعة من الفولاذ تتحرك بشكل اهتزازي أو كوكبي أو رأسي، ويتراوح حجم مواد ناتو التي يتم تصنيعها ما بين 3 إلى 25 نانومتراً.
- 5 - طريقة الحك: من خلال وضع شرائح السيلكون النحيفة جداً في مواد كيميائية مثل HF، وحك شرائح السيلكون للحصول على جزيئات السيلكون على سطح الشرائح، ووضع هذه الشرائح في محلول مثل الأيزوبروبانول وبعد ذلك في جهاز الموجات فوق الصوتية لإسقاط الجزيئات داخل المحلول.
- 6 - الطريقة الإلكترونية كيميائية: من خلال وضع شريحة السيلكون في القطب الموجب وشريحة البوليكاربونات في القطب السالب في محلول كيميائي، وتعريض الشرائح إلى تيار كهربائي.
- 7 - طريقة الاستئصال الليزري: من خلال تعريض المادة إلى ليزر نبضي ذي طاقة عالية جداً، بحيث يتفاعل شعاع الليزر مع الهدف مما يؤدي إلى تطاير جزيئات المادة وتكوين البلازما التي تترسب على القاعدة وتكون أفلام رقيقة.
- 8 - طريقة التنفيل: من خلال تعريض المادة إلى ضغط منخفض جداً مفرغ من الهواء وبقاعدة باردة يتم تعريضها إلى مجال مغناطيسي، مما يؤدي إلى انتزاع جزيئات المادة وترسبها في القاعدة مكونة فلماً رقيقاً.

## الفصل الثاني

### الأنابيب النانويه الكربونيه

## ١.٢- ما هي الأنابيب النانوية الكربونية

تعريفها: هي متصلات كربونية ذات تركيبات نانوية أسطوانية الشكل. ويلاحظ أن نسبة طول الأنابيب النانوية الكربونية إلى قطرها تصل إلى ١٣٢,٠٠٠,٠٠٠ (١٥) والتي تبدو أطول بدرجة واضحة من أي مادة أخرى. وتتملك الجزيئات الكربونية سمات جديدة، تجعلها مفيدة في العديد من التطبيقات في مجال تقانة الصغائر، الإلكترونيات البصريات، بالإضافة إلى العديد من المجالات الأخرى ذات الصلة بعلم المود، وكذلك مجموعة أخرى من الاستخدامات المتوقعة في مجالات الهندسة المعمارية. كما أنه قد يكون لها بعض الاستخدامات في بناء الدروع الواقية للبدن



حيث أنها تظهر قوة استثنائية، وخصائصا كهربائية فريدة، كما أنها تعمل كموصلات جيدة للحرارة. وتمثل الأنابيب النانوية أحد أعضاء أسرة البنى الفوليرينية، والتي تشمل أيضاً كريات باكي. هذا وقد يُغطى الأنابيب النانوي بنصف كرة (من التركيبة الفوليرينية باكي) بول). كما تلاحظ أن اسمها اشتق من حجمها، حيث أن قطر الأنابيب الثانوي تبلغ بضعة نانومترات فقط مما يعادل ١/٥٠,٠٠٠ تقريباً من عرض شعرة بشرية)، في حين

أنه من الممكن أن يتزايد طولها إلى ١٨ سنتيمترًا (كما ظهر في سنة ٢٠١٠ (١٦)). ومن ثم تصنف الأنابيب النانوية على أنها أنابيب نانوية أحادية الجدار وأنابيب ثنائية متعددة الجدران

## ٢.٢- إكتشاف الأنابيب النانوية الكربونية

منذ إكتشاف أنابيب الكربون عام ١٩٩١ م بمدينة تسكوبا باليابان بواسطة العالم سوميو لوجيما (Sumio Iijima)، والأبحاث لم تتوقف؛ لمعرفة أسرار هذه الأنابيب، حيث إنها تتميز بصلابتها وخواصها الكهربائية غير العادية ومازالت

الأبحاث تتوالى؛ لمعرفة المزيد عن الخواص الميكانيكية لتلك الأنابيب. وتعد أنابيب الكربون المتناهية في الصغر من أهم المواد النانوية. ومع اكتشاف الأنابيب الكربونية النانومترية شددت الإمكانيات الكبيرة التي تقدمها هذه الأنابيب انتباه العلماء العاملين في مجال أبحاث تقنية النانو؛ لخفة وزنها ومرونتها وقوتها، وصلابتها في الوقت نفسه.

كما تعد أنابيب الكربون النانوية شكلاً من أشكال الكربون، فالأنابيب أحادية الجدار (SWCNTs) بمنزلة صفيحة من الكربون مستوية، يبلغ سمكها ذرة واحدة ملتفة؛ لتشكل أسطوانة قطرها بمقدار قياس نانومتري، ولها نسبة طول إلى قطر يتراوح ما بين ١٠٠ إلى ١٠٠٠٠٠. ولهذه الأسطوانات خواص فريدة لا تتوافر في الأشكال الأخرى من الكربون، أو المواد الأخرى؛ مما جعلها تترجع على قمة التطبيقات المستقبلية المهمة لتقنية النانو في مجالات الإلكترونيات، والبصريات وعلوم المواد ومن هذه الخواص خاصية الصلابة الهائلة التي تفوق صلابة الحديد بحوالي ٣٠ إلى ١٠٠ مرة على الرغم من أنّ كثافة الكربون أقل من كثافة الحديد بست مرات. ولهذه الأنابيب أيضاً خواص كهربائية مميزة، إضافة إلى كونها موصلاً جيداً للحرارة، بحيث يفوق معدن النحاس ذي التوصيل الحراري العالي.

### ٣.٢- طرق تحضير الأنابيب النانوية الكربونية

تطورت الأساليب المستخدمة لإنتاج الأنابيب النانوية ذات الأحجام المتناسبة والمعقولة، وكان من بينها؛ تفريغ القوس الكهربائي والتذرية الليزرية، أول أكسيد الكربون عالي الضغط، والترسيب الكيميائي للبخار، مع ملاحظة أن معظم تلك العمليات تقع تحت الفراغ أو مصاحبة مع غازات نبيلة، حيث يمكن إنتاج الأنابيب الثانوية الكربونية من تنامي الترسيب الكيميائي للبخار في الفراغ أو تحت الضغط الجوي.

#### ١- تفريغ القوس الكهربائي

لوحظ تواجد الأنابيب النانوية الكربونية عام ١٩٩١ في سخام الكربون أقطاب الجرافيت أثناء عملية تفريغ القوس من خلال استخدام تيار شدته ١٠٠ أسبير، والتي قصد منها إنتاج الفلورين (٣٣). على الرغم من ذلك، قام باحثان بأول عملية إنتاج للأنابيب النانوية الكربونية المجهرية تمت خلال عام ١٩٩٢ في معمل الأبحاث الرئيسي التابع لشركة إن إي سي (٣٤). وكانت الطريقة المستخدمة مثلها مثل

الطريقة التي استخدمت قبل ذلك في عام ١٩٩١. حيث تسامى الكربون الداخلى في تركيب أقطاب الغرافيت السالبة بسبب درجة حرارة التفريغ العالية. ويسبب أن ذلك الأسلوب يمثل الطريقة المستخدمة في اكتشاف تواجد الأنابيب النانوية الكربونية ، فقد أصبح أكثر طريقة واسعة الانتشار في تركيب وتصنيع الأنابيب النانوية

## ٢- تدرية ليزريه

يختر الليزر النابض في أثناء عملية التدرية الليزرية الغرافيت الهدف مفاعل ذو درجة حرارة مرتفعة، في حين يضخ الغاز الحامل عبر أرجاء حجرة المفاعل. وهنا نلاحظ أن الأنابيب النانوية الكربونية تنمو وتتطور على الأسطح الأبرد للمفاعل حيث يتكثف الكربون المتبخر، ومن ثم، يمكن دمج سطح مبرد بالماء ضمن النظام بهدف تجميع الأنابيب النانوية. طور د ريتشارد سمولي تلك العملية بمعاونة مساعديه في جامعة رايس، والذين في أثناء وقت اكتشاف الأنابيب النانوية الكربونية ، كانوا يقومون بتسليط الليزر على المعادن لإنتاج جزيئات معدنية متنوعة. وعندما سمعوا بوجود ما يسمى الأنابيب النانوية، قاموا باستخدام الغرافيت بدلا من المعادن الإنتاج أنابيب ثانوية كربونية متعددة الجنران (٣٩) . وفي وقت لاحق من هذا العام، استخدم الفريق مركباً من الغرافيت وجسيمات حفاز معدنية وكان أفضل منتج يتم الحصول عليه من خليط الكوبات والتبكل بهدف تركيب الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار (٥٠).

## ٣-الترسيب الكيميائي للبخار.

أفادت التقارير حدوث أول عملية لمرحلة الترسيب الكيميائي للبخار في عام ١٩٥٩ (٣٧) إلا أنه لم تتكون الأنابيب النانوية الكربونية بواسطة تلك العملية إلا في عام ٣٨١٩٩٣) وفي أثناء عملية التوضع الكيميائي للبخار ، يتم ركيزة مع طبقة من جسيمات حفاز معدنية والتي غالباً ما تكون النيكل، الكوبلت (٣٩) ، الحديد أو مزيجاً منها (١٠). هذا ومن الممكن إنتاج الجسيمات الثانوية المعدنية بطرق أخرى، منها اختزال الأكاسيد أو محاليل الأكاسيد الصلبة. وترتبط أقطار الأنابيب النانوية التي تنمو بحجم الجسيمات المعدنية. ويمكن ضبط هذا من خلال ترسيب المعدن المنقوش أو (المغطى)، تخمير المعادن حرارياً، أو من خلال خرط البلازما لطبقة المعدن. ويتم تسخين الركيزة إلى نحو ٧٠٠ درجة مئوية تقريباً. ولبدء عملية نمو الأنابيب الثانوية، يتم ضخ غازين إلى داخل المفاعل : وهما غاز معالج (على سبيل المثال؛ غاز الأمونيا، النيتروجين أو الهيدروجين) مع غاز حاوي على الكربون (ومنه) على سبيل المثال؛ غاز الأسيتيلين، الإيثيلين، الإيثان أو الميثان)، ثم الآلية في تنمو الأنابيب النانوية الكربونية في مواقع البلورة المعدنية؛ حيث يكثر الغاز المحتوي على الكربون على سطح الجسيم المخفر، ثم ينتقل الكربون إلى حواف الجسيم، حيث يُشكل الأنابيب النانوية. وما زالت هذه الدراسة ونلاحظ أن الجسيمات

المحفزة قد تظل باقية على أطراف الأنبوب النانوي النامي خلال عملية النمو أو الإنتاج، أو نذك عند قاعدة الأنبوب الثانوي، وذلك وفقاً للالتصاق أو الالتحام فيما بين الجسيم المحفز والركيزة. كما أن عملية التحلل التحفيزي الحراري للهيدروكربون أصبحت مساحة نشطة للبحث والتجريب، بالإضافة إلى أنها تعد مجالاً واعداً لإنتاج النسيب الأكبر من الأنابيب الثانوية الكربونية . هذا ويلعب مفاعل المهد المسيل المفاعل الأوسع استخداماً لتجهيز الأنابيب الثانوية الكربونية . إن تحويل المفاعل على النطاق الصناعي يمثل تحدياً رئيسياً في هذا المجال (٤١) (٤٢). ومن ثم تُعد عملية الترسيب الكيميائي للبخر طريقة شائعة للإنتاج التجاري للأنابيب الثانوية الكربونية . ومن أجل ذلك الغرض، يتم خلط الجسيمات المعدنية الثانوية مع المنعم المحفز مثل MgO أو A1203 لزيادة مساحة السطح لتحقيق عائد (مردود) أعلى من التفاعل التحفيزي لمواد التلقيم الكربونية مع الجسيمات المعدنية. ومن إحدى القضايا المتجسدة في مسار التركيب هذا تتمثل في إزالة التدعيم المحفز من خلال المعالجة الحمضية، والتي قد تدمر في بعض الأحيان البنية الأصلية للأنابيب الثانوية الكربونية . على الرغم من ذلك، فقد أثبتت المدعمات التحفيزية البديلة، والقابلة للذوبان في الماء، أنها فعالة في عملية نمو الأنابيب الثانوية (١٣).

## ٤.٢- خصائص الأنابيب الثانوية الكربونية

١ -**القوة:** تتسم الأنابيب الثانوية الكربونية بأنها الأقوى الأكثر صلابة، وحمودية بين المواد التي تم اكتشافها من حيث مقاومة الشد ومعامل المرونة على التوالي. وتنتج تلك القوة والصلابة من روابط sp التساهمية والمكونة فيما بين ذرات الكربون الفردية. حيث تم اختبار أنبوب نانوي كربوني متعدد الجدران في عام ٢٠٠٠ بهدف الحصول على درجة مقاومته للشد التي وصلت إلى ٦٣ غيغا باسكال وتحت شد الالتواء المفرط، تخضع الأنابيب للتشوه اللدن مما يعني حدوث تشوه دائم. ويبدأ التشوه عند عمليات التواء تصل تقريبا إلى ٥% ويمكن زيادة الحد الأقصى لالتواء الأنابيب قبل الكسر عن طريق إطلاق طاقة الالتواء. وهنا نلاحظ أن الأنابيب الثانوية الكربونية ليست قوية تقريبا تحت وبسبب بنيتهم الجوفاء وارتفاع نسبة العرض إلى الارتفاع، فهي تميل إلى الانبعاج عندما تخضع لظروف الضغط الالتواء أو الانحناء .

٢ -**الصلادة:** يُعتبر الألماس أكثر المواد صلادة، ويتحول الغرافيت تحت ظروف الحرارة العالية والضغط العالي إلى الألماس نجحت إحدى الدراسات في تركيب أو تصنيع مادة عالية الصلادة من خلال ضغط الأنابيب الثانوية أحادية الجدار إلى ما فوق ٢٤ غيغا باسكال في درجة حرارة الغرفة. كما تم قياس صلادة تلك المادة الجديدة بالمثلث النانوي لما بين ٦٢-١٥٢ غيغا باسكال. في حين أن صلادة عينات

الألماس و نتريد الدورون المرجعية تتراوح بين ١٥٠-٦٢ باسكال على التوالي. في حين يفوق معامل المرونة الحجمية للأنايبب النانوية الكربونية أحادية الجدار المضغوطة والذي يقدر ب ٤٦٢-٥٤٦ باسكال، معامل الألماس الذي يصل إلى ٤٢٠ باسكال .

**٣- الحركية:** تتسم الأنايبب النانوية الكربونية متعددة الجدران بأنها أنابيب ثانوية كربونية متعددة و متمركزة بدقة وبصورة متداخلة مع بعضها البعض. وتظهر هذه الأنايبب خاصية انزلاق الأسطوانات فوق بعضها البعض كما في المقرب (التليسكوب)، والتي بموجبها قد ينزلق محور الأنبوب الثانوي الداخلي، غالبا بدون احتكاك داخل غلاف الأنبوب الثانوي الخارجي، مما يخلق أو ينتج محامل ذرية خطية أو دورانية. ومن ثم، فيُعد هذا النموذج من الأمثلة الأولى الحقيقية للثقافة النانوية الجزيئية، والمتمثلة في التوضع الدقيق للذرات لإنتاج آلات مفيدة. وقد استخدمت تلك الخاصية بالفعل لإنتاج أصغر محرك دوار في العالم أجمع. كما تم وضع تصورات للتطبيقات المستقبلية ومنها المذبذبات الميكانيكية الغيغاهرتزية

**٤- الكهربائية** بسبب التناظر والتركيب الإلكتروني الفريد للجرافين، فإن بنية الأنبوب الثانوي تؤثر بصورة قوية على خصائصها الكهربائية. فلو كانت قيمة  $m$  في حالة الأنبوب الثانوي الذي تم ذكره مسبقا  $(n-m)$ ، فإن الأنبوب الثانوي يكون فلزي شبه بناقلية الفلزات؛ أما لو كانت قيمة  $n-m$  هي ثلاثة أضعاف من ٣ فإن الأنبوب الثانوي يكون شبه موصلًا ذا فجوة نطاق صغيرة ودون ذلك يكون الأنبوب الثانوي شبه موصل موجب معتدل، ومن ثم فإن كل الأنايبب النانوية أريكية الشكل  $(m) -$  (هي معدنية، في حين تكون الأنايبب النانوية  $(٦.٤)$ ،  $(٩.١)$ ، إلخ أشباه موصلات. في حين تظهر الأنايبب النانوية الكربونية متعددة الجدران ذات القشور الداخلية المتداخلة معا موصلية فائقة مع درجة حرارة انتقالية عالية نسبياً ١٢ - MTC درجة حرارة مطلقة. وعلى النقيض، فإن TC قيمة أسية أقل بالنسبة للحبال المكونة للأنايبب النانوية الكربونية أحادية الجدار أو تلك الخاصة بالأنايبب النانوية متعددة الجدران ذات القشور أو الأغلفة العادية غير المتداخلة مع بعضها البعض .

**٥- البصرية:** تشير الخصائص البصرية لأنايبب النانوية الكربونية إلى الامتصاص والضيائية الضوئية ومطيافية رامان للأنايبب النانوية الكربونية . تعد الخصائص البصرية ذات أهمية كبيرة، من منطلق صناعي، إذ أنها يمكن أن تساهم في تحديد نوعية الأنايبب النانوية الكربونية المنتجة، وذلك في تحديد المحتوى الكربوني، والبنية (اليدوانية) والكشف عن العيوب البنيوية. من المتوقع أن تسخر الخصائص البصرية للأنايبب النانوية الكربونية في مجال الصمامات الثنائية الباعثة للضوء وفي المكاشيف الضوئية أن الخاصة المميزة لهذه التطبيقات ليست في كفاءتها، إذ لا

تزال ضعيفة، إنما في انتقائيتها لطول موجة الإصدار والكشف، وبإمكانية تحسينها عن طريق بنية الأنابيب النانوية.

**٦- الحرارية:** من المتوقع أن تكون الأنابيب النانوية جميعها موصلات جيدة للحرارة على طول الأنبوب مما يظهر خاصية معروفة باسم التوصيل الباليستي، إلا أنها في الوقت ذاته تلعب دور عوازل جيدة المحور الأنبوب بصورة أفقية. هذا وقد أظهرت التجارب أن للأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار القدرة على توصيل درجة حرارة الغرفة على طول محورها لما يصل إلى ١٣٥٠٠-K-1-m-W ؛ ولنقارن هذا بالنحاس وهو فلز معروف بأنه موصل جيدة للحرارة، حيث ينقل ١٣٨٥-K-1-m.. حيث أن للأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار خاصية نقل أو توصيل درجة حرارة الغرفة عبر محورها لما يقارب ١.٥٢ ١٠-1-W.m، والذي هو تقريبا موصل حرارنا كالتربة. كما تقدر ثباتيه درجة الحرارة للأنابيب النانوية الكربونية بما قد يصل إلى ٢٨٠٠ س في الفراغ وإلى ما يصل إلى ٧٥٠ أمن في الهواء.

**٧- العيوب:** والتشوهات كما هو الحال مع المواد جميعها، فإن وجود أي تشوه بلوري يؤثر على خصائص المادة، حيث قد تقع التشوهات على صورة فجوات ذرية. كما أن المستويات العليا لمثل تلك التشوهات قد تقلص من قوة الشد بمقدار يصل إلى ٨٥ وتمثل تشوهات ستون ويلز صورة أخرى للتشوهات المتواجدة بالأنابيب النانوية الكربونية ، والتي تخلق زوج خماسي وسباعي من خلال إعادة ترتيب الروابط. وبسبب البنية متناهية الصغر للأنابيب النانوية الكربونية ، فإن قوة الشد للأنبوب تعتمد على القطاع الأضعف في سمة مماثلة للسلسلة، حيث تصبح قوة أضعف وصلة هي القوة القصوى للسلسلة. ما تؤثر العيوب البلورية كذلك على الخصائص الكهربائية للأنبوب النتائج ومن ضمن النتائج الشائعة قدرة منخفضة على التوصيل عبر المنطقة المعيبة بالأنبوب كما أن وجود تشوه في الأنبوب الثانوي أريكي الشكل (والذي له القدرة على توصيل الكهرباء ) قد يتسبب في أن تصبح المنطقة المحيطة شبه موصلة بدلا من كونها موصلة للكهرباء ، كما أن للفجوات أحادية الذرة خصائصاً مغناطيسية. هذا وتؤثر التشوهات البلورية بصورة واضحة قوية على الخصائص الحرارية للأنبوب. فقد تؤدي مثل تلك التشوهات إلى تشتت الفونون والذي بدوره يزيد من معدل استرخاء هذه الفونونات، مما يؤدي إلى تقليل متوسط المسار الحر وتقلص كذلك من القدرة على التوصيل الحراري لبنى الأنابيب النانوية الكربونية . وتشير محاكاة أو تمثيلات انتقال الفونون إلى أن العيوب البديلة كالنيتروجين أو البورون تؤدي بصورة أساسية إلى تشتيت الفونونات البصرية عالية التردد على الرغم من ذلك، فإن التشوهات الكبيرة مثل تشوهات

ستون ويلز تُسبب تشتت للفونون على نطاق واسع من الترددات مما يؤدي إلى تقلص أكبر للقدرة على التوصيل الحراري. محور

**٨- النقل:** أحادي البعد بسبب الأبعاد النانوية لا تنتشر الإلكترونات إلا على طول الأنابيب ويتضمن نقل الإلكترون العديد من التأثيرات الكمومية. ونتيجة لهذا، فإنه كثيراً ما يُشار إلى الأنابيب النانوية الكربونية بصورة متكررة بأحادية البعد.

**٩- السمية:** شغلت قضية تحديد شقية الأنابيب النانوية الكربونية واحدة من التساؤلات الملحة . مجال التقانة النانوية. ولسوء الحظ، فإن الأبحاث المقررة لتلك المسألة قد بدأت لتوها. ومن ثم، فما زالت البيانات التي يتم تجميعها متفرقة ومشتتة بالإضافة إلى أنها تخضع للكثير من الانتقادات، إلا أن النتائج الأولية أبرزت صعوبات تقويم شعبة هذه المادة المتغيرة غير المتجانسة، وهنا يلاحظ أن لبعض المعايير أو العوامل كالبنية وتوزيع الحجم ومساحة السطح وكيمياء السطح وشحنة السطح، وكذلك حالة التكتل بالإضافة إلى نقاء العينات تأثيرات واضحة ملموسة على تفاعلية الأنابيب النانوية الكربونية . على الرغم من ذلك، أظهرت البيانات المتاحة بوضوح أنه تحت ظروف معينة، تعبر الأنابيب النانوية الحواجز الغشائية، والتي تفترض أنه في حال وصول المواد الخام إلى الأعضاء فمن الممكن أن يكون لها تأثيرات ضارة كالتفاعلات الانتهاجية والتفجية. كما أظهرت دراسة أجرتها أليكسندرا بورثر من جامعة كامبريدج أن الأنابيب النانوية الكربونية لها القدرة على دخول الخلايا البشرية وتتجمع في الهيولي أو هيولي الخلية، مما يسفر عن موت الخلية.

كما أوضحت الدراسات التي أجريت على القوارض بصورة جماعية أنه بغض النظر عن العملية والتي من خلالها يتم تركيب وتصنيع الأنابيب النانوية الكربونية وأنواع وكميات المعادن التي تحتوي عليها، فإن للأنابيب النانوية الكربونية القدرة على التسبب في الانتهاجات الأورام الحبيبية شبه الظهارية أو العقيدات المجهرية، التليف، والتغيرات الكيميائية الحيوية الشعبية في الرئتين. هذا وقد أظهرت الدراسات التي أُخريت على السمية المقارنة والتي أعطيت فيها الفئران أوزان متساوية من مواد اختبارية، أن الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار كانت أكثر سمية من معدن المرو، والذي يمثل تهديداً صحياً مهيناً خطيراً عندما يتم استنشاقه بصورة مزمنة (الفترة زمنية طويلة). وكمجموعة ضابطة، أظهر استخدام أسود الكربون متناهي الصغر تسببها في وقوع تأثيرات ضئيلة بالرئة. مع ملاحظة أن الأنابيب النانوية الكربونية إبرية الشكل، والشبيهة بألياف الأسبوستوس النسيجية، تثير المخاوف من أن الانتشار العريض لاستخدام الأنابيب النانوية الكربونية قد يؤدي إلى الإصابة أورام المتوسطة، وهي عبارة عن سرطان يصيب بطانة الرئتين

وغالباً ما يكون السبب ورائه التعرض لألياف الأسبستوس. هذا وقد أيدت دراسة استطلاعية حديثة هذا التنبؤ كما عرض العلماء البطانة الظهرية لتجويف جسم الفار، كبدل للبطانة الظهرية لتجويف صدر القارة إلى أنابيب ثنائية كاربونية متعددة الجدران طويلة ولاحظوا وجود رد فعل شبيه بالأسبستوس معتمداً على الطول وممرضاً، والذي تضمن التهابات وتكون جروح أو أضرار معروفة باسم الأورام الحبيبية. واختتم مؤلفوا تلك الدراسة أن: تمثل تلك النتائج أهمية كبيرة لا يمكن إغفالها، بسبب أن المجتمعات البحثية وقطاعات الأعمال تستمر في عمليات الاستثمار بصورة ضخمة في مجال تصنيع الأنابيب النانوية الكاربونية وتطبيقها على

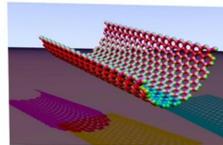
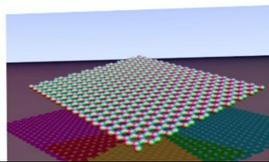
نطاق واسع من المنتجات تحت شعار أنها لا تتسبب في أية مخاطر تفوق مخاطر الغرافيت. كما أظهرت نتائجنا ضرورة الحاجة إلى إجراء المزيد من الأبحاث والحذر التام قبيل توفير مثل تلك المنتجات في السوق إن أمكن تجنب الأذى طويل المدى".

وعلى الرغم من ضرورة الحاجة إلى المزيد من الأبحاث الإضافية في المجال، إلا أن النتائج التي تم تقديمها اليوم تظهر بوضوح أنه، تحت ظروف محددة، وخاصة تلك المرتبطة بالتعرض المزمن، فإن الأنابيب النانوية الكاربونية قد تسفر عن وقوع أضرار خطيرة للصحة البشرية.

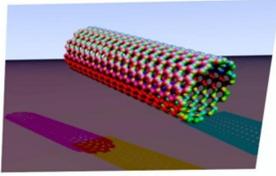
## ٥.٢-أنواع الأنابيب النانوية الكاربونية

### 1 - أحادي الجدار

يكون لغالبية الأنابيب النانوية أحادية الجدار قطراً يقترب من النانومتر الواحد، مع طول أنبوب قد يصل إلى أطول من ذلك بملايين المرات. كما يمكن تصور بنية الأنبوب النانوي الكربوني أحادي الجدار من خلال لف طبقة رقيقة أحادية الذرة من الغرافيت يُطلق عليها غرافين لنحصل على شكل إسطوانة سلسلة بعد ذلك. ويتم التعبير عن الطريقة التي يتم بها لف الغرافين بزواج من المؤشرات  $(m,n)$  واللتين يُطلقُ عليهما المتجه اليدواني، أو الكايرالي، (بالإنجليزية: Chiral vector). حيث يشير الرقم الصحيح  $n$  و  $m$  إلى عدد متجهات الوحدة على طول اتجاهين في شبكة الغرافين البلورية والتي تكون على شكل قرص عسل النحل،



المتجه الدواني أو الكايرالي يكون مقوساً في حين

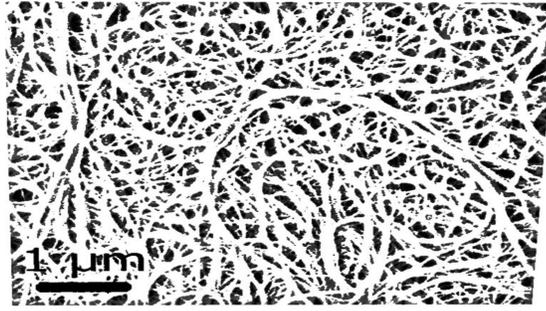


أريكية المنظر  $(n,n)$

فلو كانت  $m = 0$ ، يطلق على الأنابيب النانوي «زيغ زاغ» أو «الخط المتعرج». أما لو كانت  $m = n$ ، فإن الأنابيب النانوي يطلق عليه حينئذٍ «أريكي». وما دون ذلك، يُطلق علي باقي الأنابيب النانوية الكربونية «الدوانية أو الكايرالية». وتمثل الأنابيب النانوية أحادية الجدار تنوعاً هاماً للأنابيب النانوية الكربونية بسبب أنها تعرض الخصائص الكهربائية التي لا تتوافر في تنوعات الأنابيب النانوية متعددة الجدران. وعلى الخصوص، تتراوح فجوة النطاق الخاصة بها من الصفر إلى ما يقارب ٢ إلكترون فولت، كما تظهر قدرتها على التوصيل الكهربائي سماتها المعدنية الفلزية أو شبيهة التوصيل، في حين تكون الأنابيب النانوية الكربونية متعددة الجدران معادن صفيرية الفجوة. مما يجعل الأنابيب النانوية الكربونية أحادية النطاق مرشحاً جيداً لتصغير الإلكترونيات إلى ما وراء المقياس الإلكتروني ميكانيكي الدقيق والمستخدم حالياً في الإلكترونيات. ولعل أكثر حزمة بنائية أساسية لهذه الأنظمة تتمثل في السلك الكهربائي، مما يجعل الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار قد تكون موصلة ممتازة. ولعل أحد التطبيقات المفيدة للأنابيب النانوية أحادية الجدار تمثل في تطوير أول المقاحل (ترانزستورات) المتأثرة بالحقل بين الجزيئية. كما أن إنتاج أول بوابة منطقية ضمن جزيئية باستخدام (مقاحل الأنابيب النانوية الكربونية أحادية الجدار المتأثرة بالحقل ضمن جزيئية) قد أصبحت متاحة في الوقت الحاضر. فلكي تتمكن من إنشاء بوابة منطقية، يجب عليك أن يكون عندك كلٌّ من (مقاحل أو ترانزستورات p المتأثرة بالحقل) p-FET و (مقاحل أو ترانزستورات n المتأثرة بالحقل) n-FET. ذلك بسبب أن الأنابيب النانوية أحادية الجدار هي p-FETs عندما تعرضت للأكسجين و n-FETs دون ذلك، ومن ثم فمن الممكن هنا حماية نصف الأنبوب النانوي أحادي الجدار من التعرض للأكسجين. وهذا يسفر عن أن الأنبوب النانوي أحادي الجدار يكون بمثابة عاكس مع كلٍ من نمطي p و n للترانزستورات المتأثرة بالمجال داخل نفس الجزيء

## ٢-متعدد الجدران

تتكون الأنابيب النانوية متعددة الجدران من طبقاتٍ عديدةٍ مطويةٍ أو ملفوفةٍ (أنابيب متراكزة) من الغرافيت. ويوجد هناك نموذجان يمكن استخدامهما لوصف هياكل وبنى الأنابيب النانوية متعددة الجدران. ففي نموذج الدمية الروسية (ماتريوشكا) ، تم ترتيب صفائح الغرافين على شكل أسطوانات متمركزة. على سبيل المثال أنبوب نانوي أحادي الجدار (٠.٨) داخل أنبوب نانوي أحادي الجدار أكبر حجماً (٠.١٧). أما في نموذج لفيفة الرق، يتم طي صفيحة من الغرافين حول بعضها البعض، ممثلةً شكل لفيفةٍ من الرق أو جريدةٍ ملفوفةٍ. مع ملاحظة أن المسافة تتقارب في



صورة مجهرية باستخدام مجهر المسح النفقي  
لحزم الأنابيب النانوية الكربونية.

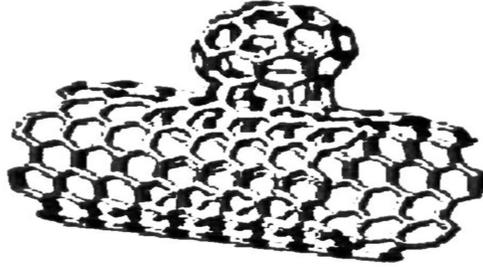
ما بين الطبقات الداخلية للأنبوب النانوي متعدد الجدران من تلك المسافة الموجودة بين طبقات الغرافين في الغرافيت، تقريباً  $3.4 \text{ \AA}$ .

وهنا يجب التأكيد على مكان أنابيب النانو الكربونية مزدوجة الجدران الخاص بسبب تركيبها وخواصها الشبيهة بالأنابيب النانوية أحادية الجدران، إلا أن مقاومتها للمواد الكيميائية تم تحسينها بصورة كبيرة. ويصبح هذا من الضرورة عندما تكون الوظيفة المطلوبة (وهذا يعني تطعيم وتحنين الوظائف الكيميائية على سطح الأنابيب النانوية) بهدف إضافة خصائص جديدة للأنابيب النانوية الكربونية. وفي حالة الأنابيب النانوية أحادية الجدران، تقوم الوظيفة التساهمية بكسر بعضاً من الروابط التساهمية (المزدوجة)  $C=C$ ، مخلفةً ورائها «ثقوباً» في تركيب على سطح الأنبوب النانوي ومن ثم تعديل كلاً من خصائصها الميكانيكية والكهربائية. أما في حالة الأنابيب النانوية مزدوجة الجدران، يتم تعديل الجدار الخارجي فقط. هذا وقد أُقترح تركيب الأنبوب النانوي مزدوج الجدران على مقياس الغرام لأول مرة في عام ٢٠٠٣ بواسطة تقنية الترسيب الكيميائي للبخار بالاشتعال (بالإنجليزية:

الاختزال بالاختزال (Combustion Chemical Vapor Deposition CCVD)، وذلك باختزال الانتقائي لمحاليل الأكسيد في كلٍ من الميثان والهيدروجين.

### ٣- الطارة أو الطرق

يوصف البرعم النانوي الكربوني نظرياً على أنه أنبوب نانوي كربوني مطوي داخل طارةٍ أو طوقٍ (حيث يأخذ شكل الدونات أو الكعكة المحلاة). ومن المتوقع أن يكون للأطواق النانوية العديد من الخصائص الفريدة، ومنها يكون العزم المغناطيسي أكبر ١٠٠٠ مرة عما كان متوقعاً مسبقاً لأنصاف أقطارٍ خاصةٍ معينة. كما تتنوع بعضاً من الخصائص ومنها العزم المغناطيسي، الثباتية الحرارية، إلخ



بنية برعم نانوي كربوني مستقرة.

وفقاً لنصف قطر الطوق أو الطارة وطاقات الأنابيب جميعها.

### ٤- البرعم النانوي

تُعَدُّ البراعم النانوية الكربونية موادَّ مُنتَجَةً حديثاً، حيث تجمع متآصلات الكربون المكتشفة مسبقاً: وهي أنابيب النانو الكربونية وال فوليرينات. يتم ربط «البراعم» الشبيهة بالفوليرين بصورةٍ تساهميةٍ مع الجدران الجانبية الخارجية للأنبوب النانوي الكربوني الداخلي. وتنسم تلك المادة المهجنة بأنها تجمع خصائصاً مفيدةً لكلٍ من الفوليرينات والأنابيب النانوية الكربونية. وعلى الأخص، وُجِدَ أنها بواعثُ استثنائيةٍ جيدةٍ للمواد. كما قد تلعب جزيئات الفوليرين، في المواد المركبة، وظيفة المثبتات الجزيئية والتي تمنع وتقي من انزلاق الأنابيب النانوية، ومن ثم تساعد في تحسين الخصائص الميكانيكية للمركب.

## الفصل الثالث

### تطبيقات الأنابيب النانوية الكربونية

## الفصل الثالث

### تطبيقات الأنابيب النانوية الكربونية

إن التطبيقات المحتملة للأنابيب النانوية الكربونية متنوعة، وإن الأنابيب النانوية الكربونية يمكن استخدامها في عدة مجالات مثل تقنية النانو، الإلكترونيات، التطبيقات البصرية، علم المواد، والبناء. خلال سنوات قادت العديد من الاكتشافات إلى تطبيقات جديدة، يتم فيها الاستفادة من خواصها الكهربائية الفريدة، وقوتها غير العادية، وكفاءتها في نقل الحرارة.

### ١.٣- تطبيقات بنوية

للأنابيب النانوية الكربونية العديد من المزايا القيمة لتستخدم كمادة انشائية، ومن الاستخدامات المحتملة

١- المنسوجات: بتصنيع أقمشة مقاومة للتمزق والمياه.

٢- سترات حماية: يتم العمل في معهد ماساتشوستس للتقانة معهد ماساتشوستس للتقنية على تصنيع دروع واقية باستخدام الأنابيب النانوية الكربونية كألياف فائقة القوة يمكنها التصدي للرصاص وفحص شروط ارتدائها. قامت جامعة كامبردج بتطوير الألياف وإعطاء رخصة لشركة لتصنيعها

٣- الخرسانات: حيث يتم في الخرسانات زيادة قوة الشد وإيقاف انتشار الكسر.

٤- بولي إيثيلين: وجد الباحثون أن إضافة الأنابيب النانوية الكربونية إلى البولي إيثيلين يزيد من معامل اللدونة للبوليمر بمقدار ٣٠%.

٥- المعدات الرياضية: تستخدم الأنابيب النانوية الكربونية في صنع مضارب التنس، وأجزاء الدراجة الهوائية، وكرات الغولف، ومضارب البيسبول والجولف بشكل أقوى وأخف وزناً.

٦- مصعد الفضاء: يتم دراسة الأنابيب النانوية الكربونية كمكون محتمل لحبل الشد الذي يمكن لمصعد الفضاء تسلقه وهذا يتطلب الحصول على قوة شد أعلى من ٧٠ غيغاسكال.

٧- العضلات الاصطناعية: بسبب معدل الانقباض/التمدد الكبير للأنابيب النانوية الكربونية مولدة بذلك تياراً كهربائياً، تعتبر الأنابيب مناسبة للاستخدام في العضلات الاصطناعية.

٨-ألياف ذات قوة شد عالية: تتطلب الألياف المنتجة باستخدام كحول البولي فينيل ٦٠٠ جول/غرام لكسرها. وعلى سبيل المقارنة فإن الألياف ذات مقاومة الرصاص كيلر (بالإنجليزية: Kevlar) تحتاج ٢٧-٣٣ جول/غرام.

٩-الجسور: يمكن للأنايبب النانوية الكربونية أن تستخدم بدلاً من الفولاذ في الجسور المعلقة.

١٠-حافات فائقة السرعة: إن نسبة القوة إلى الوزن العالية تمكّن من الحصول على سرعة دوران عالية.

١١-الحماية من الحرائق: إن طلي المواد بطبقة رقيقة من ورق البوكين (بالإنجليزية: Buckypaper) يحسّن من مقاومتها للحريق بشكل كبير وذلك يعود إلى الانعكاس الفعال للحرارة عبر كثافة طبقات مضغوطة من الأنايبب النانوية الكربونية أو ألياف الكربون.

## ٣.٢-تطبيقات كهرومغناطيسية

يمكن للأنايبب النانوية الكربونية أن تستخدم في تصنيع النواقل الكهربائية، العوازل، أنصاف النواقل. وتشمل التطبيقات

١-العضلات الاصطناعية: للأنايبب النانوية الكربونية قدرة جيدة على التمدد والتقلص يجعلها بديل مناسب عن الانسجة العضلية. [٧]

٢-ورق البوكي: وهي شريحة رقيقة مصنعة من الأنايبب النانوية وهي أقوى من الفولاذ بأكثر من ٢٥٠ مرة وأخف منه بأكثر من ١٠ مرات، ويمكن أن تستخدم كمصرف حراري الألواح الرقائق أو كإضاءة خلفية لشاشات الكريستال السائل LCD أو كقفص فأر اداي لحماية الأجهزة الكهربائية / الطائرات.

٣-لأسلاك النانوية الكيميائية: وإضافة لما سبق يمكن استخدام الأنايبب النانوية الكربونية لإنتاج أسلاك نانوية مصنعة من مواد كيميائية أخرى كالذهب أو أكسيد الزنك. وهذه الأسلاك النانوية ستستخدم بدورها لتصنيع أنابيب نانوية من مواد كيميائية أخرى كالتريد الغاليوم. وتكون هذه الأنايبب مختلفة بخواصها عن الأنايبب النانوية الكربونية، فعلى سبيل المثال تكون الأنايبب النانوية المصنعة من نتريد الغاليوم محبة للماء بينما تكون الأنايبب النانوية الكربونية كارهة للماء، مما يجعلها مناسبة أكثر للاستخدام في الكيمياء العضوية.

٤- الأغشية الناقلة : إن رسم مساحات شفافة وذات قوة كبيرة من أنابيب النانو أحادية الجدار تعتبر طريقة إنتاج وظيفية . [٨] وهي تستخدم في شركة كاناتو [٩] Canatu، هلنسكي، فنلندا. شركة إيكوس Eikos فرانكلين ماساتشوستس. وشركة ويندايم [١٠] Unidym ، وادي السيلكون، كاليفورنيا حيث يتم العمل على تطوير أغشية شفافة ناقلة كهربائياً من الأنابيب النانوية الكربونية وكذلك أغشية عديدة الجدر يمكن استخدامها بدلاً من أكسيد الإنديوم القصديري (ITO) في شاشات الكريستال السائل LCD الشاشات اللمسية، والأجهزة الكهروضوئية. كما يمكن استخدامها في شاشات الحواسيب الهواتف النقالة، والمساعدات الرقمية الشخصية PDA وآلات الصراف الآلي ATM

٥-فرشاة المحرك الكهربائي : تستخدم الأنابيب النانوية الكربونية الناقلة في الفرشاة الكهربائية المستخدمة في المحركات الكهربائية التجارية. وباستخدامها تم الاستعاضة عن الكربون الأسود التقليدي الذي غالباً ما يلوث الفوليرين الكربوني الكروي. تعمل الأنابيب النانوية على تحسين الناقلية الكهربائية والحرارية، وذلك بسبب تمددها في المصفوفة البلاستيكية للفرشاة. مما يسمح بتناقص الحشو الكربوني من ٣٠% وحتى ٣.٦%. وبذلك يمكن إضافة مصفوفات أكثر في الفرشاة. تعد فرشاة المحركات الكهربائية المكونة من الأنابيب النانوية أفضل تشحيماً من حيث المصفوفة)، أكثر ترطيباً عند العمل (من حيث التشحيم الأفضل والناقلية الحرارية الأعلى، أقل هشاشة مصفوفات أكثر وتعزيز للألياف، وكذلك فهي أقوى وأكثر دقة في التعديل (مصفوفات أكثر. وبما أن الفرشاة تعد نقطة حرجة للفشل في المحركات الكهربائية إلا أنها تحتاج مواداً أكثر مما يجعلها مهمة اقتصادياً أكثر من أي تطبيقات أخرى.

٦- فتيل المصباح الضوئي: تستخدم الأنابيب النانوية الكربونية كبديل عن فتيل التنغستن في المصابيح المتوهجة . المغناطيس: يمكن للأنابيب النانوية عديدة الجدر MWNTالمغطاة بمادة المغنيتيت أن تولد حقولاً مغناطيسية أقوى.

٧- الاشتعال الضوئي: يمكن وضع طبقة من الأنابيب النانوية أحادية الجدار SWNT المغذاة بالحديد بنسبة ٢٩% فوق طبقة من المواد المتفجرة مثل مادة البيتن PETN ويمكن اشعالها باستخدام فلاش الكاميرا التقليدي. [١١]

٨- الخلايا الشمسية : إن الثنائيات المصنعة باستخدام الأنابيب النانوية الكربونية من قبل شركة الكهربائيات العامة GE تعتمد على الأثر الكهروضوئي. ويمكن استخدام الأنابيب النانوية كبديل عن أكسيد الإنديوم القصديري ITO في بعض الخلايا

الشمسية حيث تعمل كغشاء ناقل شفاف في الخلايا الشمسية يسمح بعبور الضوء إلى الطبقات الفعالة وتوليد التيار الضوئي.

نواقل عالية : فقد ثبت أن الأنابيب النانوية ذات ناقلية عالية عند درجات الحرارة المنخفضة [١٢]

٩- مكثفات فائقة : يجري البحث في معهد ماساتشوستس على استخدام الأنابيب النانوية وضمها إلى أسطح الشحنات للمكثفات وذلك لزيادة مساحة السطح وبالتالي قابلية تخزين الطاقة. [١٣]

١٠- الشاشات: يمكن استخدام الأنابيب النانوية الكربونية كمدافع الكترونية دقيقة يمكن استخدامها كأنابيب الأشعة المهبطية مصغرة في الشاشات الرقيقة، ذات الوزن الخفيف، والطاقة المنخفضة، والسطوع العالي. هذا النوع من الشاشات يتألف من مجموعة من أنابيب الأشعة المهبطية المصغرة، يقوم كل منها بتأمين الإلكترونات التي تصطدم مع الفوسفور لكل بيكسل، عوضاً عن وجود أنبوب أشعة مهبطية واحد كبير الحجم توجه الإلكترونات فيه باستخدام الحقل المغناطيسي والحقل الكهربائي. تعرف هذه الشاشات بشاشات الانبعاث الحثلي الفيدريالين

١١- الترانزستور: يجري تطوير ترانزستورات الأنابيب النانوية الكربونية في شركات ديلفت Delft، أي بي ام IBM، ونيك إن إي سي . الهوائي الكهرومغناطيسي: يمكن استخدام الأنابيب النانوية الكربونية كهوائيات لأجهزة الراديو وغيرها من الأجهزة الكهرومغناطيسية. [١٤]

### ٣.٣-تطبيقات كهروصوتية

مكبر الصوت: في شهر تشرين الثاني عام ٢٠٠٨، أعلن مركز أبحاث التقانة النانوية في تسينغوا Tsinghua – فوكسكون Foxconn في بكين أنه قام بتصنيع مكبرات صوت من شرائح من الأنابيب النانوية الكربونية المتوازية، وهي تولد الصوت بشكل مشابه لكيفية توليد البرق للرعده. ومن التطبيقات التجارية الممكنة استخدامها في مكبرات الصوت الكهروضغطية المستخدمة في بطاقات المعايدة.

### ٤.٣-تطبيقات كيميائية

مرشح لتلوث الهواء: يمكن لأغشية الأنابيب النانوية الكربونية أن ترشح ثاني أكسيد الكربون المنبعث من محطات الطاقة. حافظات تقنية حيوية: يمكن ملء الأنابيب النانوية الكربونية بجزيئات بيولوجية حيوية تساعد في التقنية الحيوية

تخزين الهيدروجين: إن الأنابيب النانوية الكربونية لديها القدرة على تخزين ما بين ٤.٢ - ٦٥ % من وزنها من الهيدروجين، وإن تم إنتاجه بشكل كبير واقتصادي فإن ١٣.٢ لتر من الأنابيب النانوية الكربونية تحوي نفس الكمية من الطاقة الموجودة في ٥٠ لتر من خزان الوقود. انظر أيضاً اقتصاد الهيدروجين

ترشيح الماء: يمكن لأغشية الأنابيب النانوية الكربونية أن تستخدم في عملية الترشيح، وهذا من شأنه أن يقلل من كلفة تحلية المياه بمقدار ٧٥ %، وتكون الأنابيب رقيقة جداً بحيث تسمح للجزيئات الصغيرة (كجزيئات الماء) بالمرور عبرها، بينما تمنع الجزيئات الأكبر (كأيونات الكلوريد في الملح) من المرور

### ٥.٣ - تطبيقات ميكانيكية

١- المذبذب: فالمذبذبات المعتمدة على الأنابيب النانوية الكربونية وصلت إلى سرع أعلى من غيرها من التقنيات (< ٥٠ غيغاهرتز).

٢- غشاء الأنابيب النانوية: حيث يتدفق السائل بشكل أسرع بمقدار خمسة أمثال عما كان متوقعاً بواسطة ديناميكا السوائل التقليدي.

٣- أسطح ملساء: فقد أظهرت بعض الأقمشة المعتمدة على الأنابيب النانوية الكربونية أنها أقل احتكاكاً من التيفلون.

٤- مقاومة نفاذية الماء: حيث تكون بعض الأقمشة المعتمدة على الأنابيب النانوية الكربونية مقاومة لنفاذية الماء.

مركبات الأنابيب النانوية الكربونية

٥- كواشف الأشعة تحت الحمراء: تكون انعكاسية ورق البوكي المنتج وفق طريقة ترسب البخار الكيميائي «فائق النماء» ٠.٠٣ أو أقل مما يجعل الأداء الأفضل لصالح كاشف الأشعة تحت الحمراء الكهربائي الحراري

٦- المقياس المعياري الراديومتري: كمقياس معياري للسواد.

٧- الإشعاع الحراري: وذلك للانبعاثات الحرارية في الفضاء كالأقمار الصناعية

التخفي: يكون الامتصاص عالياً ضمن مجال كبير من أقصى الأشعة فوق البنفسجية FUV إلى أقصى الأشعة تحت الحمراء FIR.

### ٣ - الدارات الكهربائية

يمكن للأنابيب النانوية المشكّلة عبر وصل نهايتي اثنين من الأنابيب النانوية ذات أقطار مختلفة أن يعمل كثنائي، مما يتيح إمكانية بناء دارات الحاسب بشكل كامل من

الأنابيب النانوية. وبسبب خصائصها الجيدة في نقل الحرارة يمكن للأنابيب النانوية الكربونية أن تبديد الحرارة الناتجة عن شرائح الحاسب. ويعادل طول أطول دارة ناقلة للكهرباء أجزاء من الإنش.

تشكل صعوبات التصنيع عقبة كبيرة أمام الأنابيب النانوية الكربونية. تستخدم عمليات تصنيع الدارات المتكاملة القياسية ترسب البخار الكيميائي لإضافة طبقات إلى الرقاقة. ولكن لم يتم إنتاج الأنابيب النانوية الكربونية بشكل كبير باستخدام هذه الطرق بعد.

يمكن للباحثين التعامل مع الأنابيب النانوية بشكل افرادي باستخدام مجهر قوة ذرية في عملية تستغرق وقتاً طويلاً. ولا يزال استخدام طرائق التصنيع القياسية يتطلب من المصممين وضع إحدى نهايتي الأنبوب النانوي، وخلال عملية الترسب يمكن لحقل كهربائي أن يوجه نمو الأنابيب النانوية، والتي بدورها تميل إلى النمو على طول خطوط الحقل من القطبية السالبة إلى القطبية الموجبة. كطريقة أخرى للتجميع الذاتي يمكن استخدام طرق كيميائية أو حيوية لتحريك الأنابيب النانوية الكربونية كحل لتحديد الأماكن على الطبقة الأساسية. ولكن حتى لو كان توضع الأنابيب النانوية بدقة ممكناً، يبقى المهندسون غير قادرين على التحكم بأنواع الأنابيب النانوية الناتجة (ناقلة، شبه موصل، أحادية الجدار، عديدة الجدر).

### ٧.٣- التوصيلات الداخلية

أثارت الأنابيب النانوية الكربونية المعدنية اهتمام الباحثين بما تملكه من تطبيقات، ومن هذه التطبيقات التوصيلات ذات تكامل النطاق الواسع جدا VLSI وذلك لما تملكه من استقرار حراري كبير، ناقلة حرارية عالية، وسعة نقل التيار الكبيرة. يمكن لأنبوب نانوي كربوني معزول أن ينقل كثافة تيار تتجاوز ١٠٠٠ ميلي أمبير / سنتيمتر مربع دون أي خسائر حتى في درجات الحرارة المرتفعة ٥٢٥٠ درجة سلسيوس، مما يحد من مخاوف الوثوقية المتعلقة بالارتحال الكهربائي التي تعاني منها توصيلات النحاس. وقد أظهرت نماذج عمل حديثة بعد مقارنتها للطريقتين أن توصيلات حزم الأنابيب النانوية الكربونية تقدم مزايا أفضل من توصيلات النحاس. وقد أظهرت تجارب حديثة مقاومة منخفضة تصل إلى ٢٠ أوم باستخدام بنى مختلفة كما أظهرت قياسات مفصلة للناقلية أجريت على نطاق واسع من الحرارة توافقاً مع نظرية ناقل شبه أحادي البعد غير منتظم. توفر التوصيلات المختلطة التي توظف الأنابيب النانوية الكربونية بالإضافة إلى توصيلات النحاس مزايا من حيث الوثوقية والإدارة الحرارية.

### ٨.٣- الترانزستورات

تم استخدام الأنابيب النانوية الكربونية شبه الموصلة في تصنيع ترانزستورات المفعول المجالي CNTFET، والتي أظهرت بعض المزايا تعود إلى خصائصها الكهربائية الجيدة مقارنة مع ترانزستورات المفعول المجالي نو شبه موصل من أكسيد ومعدن MOSFET المعتمدة على السيليكون. وبما أن متوسط المسار الحر للإلكترون في الأنابيب النانوية الكربونية احادية الجدار يمكن أن يتجاوز ١ ميكرومتر، وترانزستورات المفعول المجالي ذات الأنابيب النانوية الكربونية طويلة القناة تبدي خصائص قريبة من النقل القذفي، مما ينتج أجهزة عالية السرعة. ومن المتوقع أن تعمل أجهزة الأنابيب النانوية الكربونية مجال ترددي من مئات الغيغا هرتز. كما أظهرت بعض الدراسات الحديثة التي أوضحت مزايا ومساوئ الأشكال المختلفة من ترانزستورات المفعول المجالي ذات الأنابيب النانوية الكربونية أن ترانزستورات المفعول المجالي ذات الأنابيب النانوية الكربونية النفقية توفر خصائص أفضل بالمقارنة مع البنى الأخرى. وقد وجد أن هذا الجهاز يتفوق من حيث منحنى العتبة الفرعية- وهي خاصية مهمة في التطبيقات ذات الطاقة المنخفضة. تنمو الأنابيب النانوية عادة على جزيئات نانوية من معدن مغناطيسي (حديد Fe، كوبلت Co) مما يسهل إنتاج أجهزة دورانية الكترونية spintronic. وقد أجري تحكم بالتيار عبر ترانزستور مفعول مجالي باستخدام حقل مغناطيسي في بنية نانوية أحادية الأنبوب.

### ٩.٣- التصميم الإلكتروني وأتمة التصميم

على الرغم أن أجهزة الأنابيب النانوية الكربونية وتوصيلاتها قد أثبتت جودتها كل على حدا حسب خواص كل منها، إلا أن القليل من الجهود التي حاولت ربطهم ضمن دارة حقيقية. معظم بنى ترانزستورات المفعول المجالي ذات الأنابيب النانوية الكربونية تستخدم أساس من السيليكون كبوابة خلفية. وإن تطبيق جهود مختلفة على البوابة الخلفية يمكن أن يسبب بعض المخاوف عند تصميم دارات كبيرة من هذه العناصر. لذلك فقد طرحت العديد من البنى ذات البوابة العليا لتجنب هذه المخاوف. وقد أبلغ حديثاً عن بناء دارة منطقية متكاملة بشكل كامل على أنبوب نانوي واحد تم فيها استخدام البوابة الخلفية. ينبغي دراسة العديد من التحديات المرتبطة بالعمليات قبل أن تدخل الأجهزة والتوصيلات المعتمدة على الأنابيب النانوية الكربونية خط تصنيع تكامل النطاق الواسع جداً الأساسي. وتشمل المشاكل المتبقية عمليات التنقية، الفصل، التحكم عبر الطول، الكايرالية أو اليدوانية chirality والمحاذاة المطلوبة، الموازنة الحرارية المنخفضة، ومقاومة نقاط الاتصال العالية. وقد طرحت العديد من الأفكار المبتكرة لبناء ترانزستورات عملية من شبكات نانوية. وحيث أن ضعف

التحكم بالكايرالية ينتج خليطاً من أنابيب نانوية كربونية معدنية وشبه موصلة من أي عملية تصنيع، وأنه من الصعب التحكم باتجاه نمو الأنابيب النانوية الكربونية، فيمكن طرح مصفوفات عشوائية سهلة الإنتاج من الأنابيب النانوية أحادية الجدار لبناء ترانزستورات غشائية رقيقة. ويمكن استخدام هذه الطريقة لبناء ترانزستورات ودارات عملية تعتمد على الأنابيب النانوية الكربونية دون الحاجة لنمو وتجميع دقيق.

## (الخاتمة)

الحمد لله تعالى الذي وفقنا في تقديم هذا البحث وها هي القطرات الأخيرة في مشوار هذا البحث، وقد كان البحث يتكلم عن انابيب الكربون النانوية وتطبيقاتها)، وقد بذلنا كل الجهد والبذل لكي يخرج هذا البحث في هذا الشكل. ونرجو من الله أن تكون رحلة ممتعة وشيقة وكذلك نرجو أن تكون قد ارتقت بدرجات العقل الفكر، حيث لم يكن هذا الجهد بالجهد اليسير، ونحن لا ندعى الكمال فإن الكمال الله عز وجل فقط، ونحن قدمنا كل الجهد لهذا البحث، فإن وفقنا فمن الله عز وجل وإن أخفقنا فمن أنفسنا، وكفانا نحن شرف المحاولة، واخيراً ومن الله التوفيق

## المصادر

- ١\_ الأنابيب النانوية الكربونية - اشراف الدكتور قحطان عدنان يوسف \_ سنة ٢٠١٧
- ٢\_ تقنية النانو وعصر علمي جديد الموافق \_ أ.د. محمد سليم صالح \_ سنة ٢٠٢٣
- ٣\_ الأنابيب النانوية الكربونية في الطب \_ سنة ٢٠٠٨ بوابه الطب
- ٤\_ ١- علم الأنابيب النانوية الكربونية الكاتب هاريس \_ سنة ٢٠٠٩ جامعه كامبريدج
- ٢- كتاب الأنابيب النانوية الكربونية - ماده التصنع تأليف براكش سوماني واومنيو
- ٣- تطبيق الأنابيب النانوية الكربونية في مجال الالكترونيات
- ٥\_ تطبيقات محتمله للأنابيب النانوية الكربونية
- ١- معهد MIT لتقانه النانو العسكري سنة ٢٠١٠
- ٢- رينكون بول (٢٠٠٧-١٠-٢٣) العلم الطبيعه دروع فائقه القوه
- ٣- عضلات الايروجيل باستخدام الأنابيب النانوية الكربونية اللدونه كبيره النبضه اوليف ٢٦ مارس سنة ٢٠٠٩ على موقع واي باك مشين
- ٥- ألياف الأنابيب النانوية الكربونية فائقه الصلابه سنة ٢٠٠٣
- ٦\_ ما هو النانو؟ تأليف غادة الحلايقه ٢٠٢١
- ٧\_ علوم النانو
- ٨\_ ما هي تقنية النانو و كيف بدأت \_ موقع الاكاديميه بوست (٢٠١٣ haick, p.h.)
- السموم البشريه والتجريبيه ٢٠٢١
- تكنولوجيا النانو وموسوعة صخاري ٢٠٢٢
- تطبيقات تقنيه النانو في العلوم والتكنولوجيا
- ٩\_ اشكال المواد النانويه \_ معهد الملك عبدالله للتقنيه النانويه
- ١٠\_ الطب النانوي \_ د. أحمد عوض عبد الرحمن

المراقع الإلكترونية

<https://mail.almerja.com/reading.php?idm=>

[207658](https://mail.almerja.com/reading.php?idm=207658)

<https://www.for9a.com/specialities/%D%8B%9D>

[84%9D9](https://www.for9a.com/specialities/%D%8B%9D84%9D9)