الفصل الثاني
أشكال المواد النانومترية

- أشكال المواد النانومترية:
- 1. النقاط الكمية
- 2. الفولورين
- 3. الكرات النانوية
- 4. الجسيمات النانوية
- 5. الأسلاك النانوية
- 6. الألياف النانوية
- 7. المركبات النانوية
- 8. الأنابيب النانوية
- أنابيب الكربون النانوية
- ما هي الأنابيب النانوية؟
- طرق تحضير أنابيب الكربون النانوية
- أشكال الأنابيب النانوية
- تطبيقات الأنابيب النانوية
- الخاتمة

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الثاني

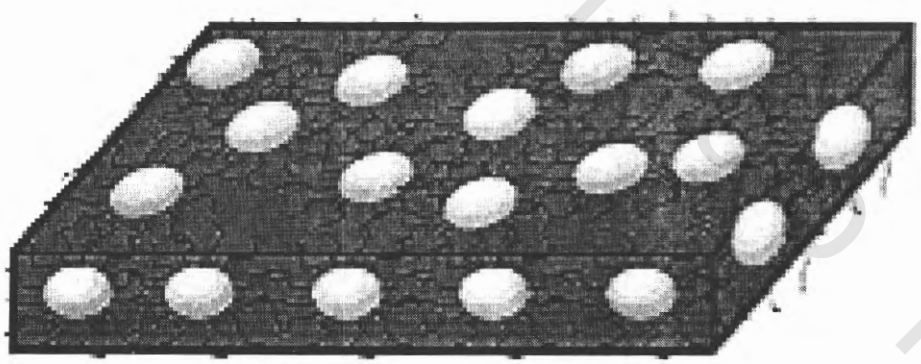
أشكال المواد النانومترية

أشكال المواد النانومترية:

تحضر المواد النانوية على أشكال مختلفة منها:

(1) النقاط الكمية Quantum Dots :

وهى عبارة عن نانوي شبه موصل ثلاثي البعد، تتراوح أبعاده ما بين 2 إلى 10 نانومتر. وعندما يكون قطر النقطة الكمية 10 نانومتر فإنه يمكن صف 3 ملايين نقطة كمية بجوار بعضها البعض بطول يساوى عرض إصبع إبهام الإنسان (شكل 1).



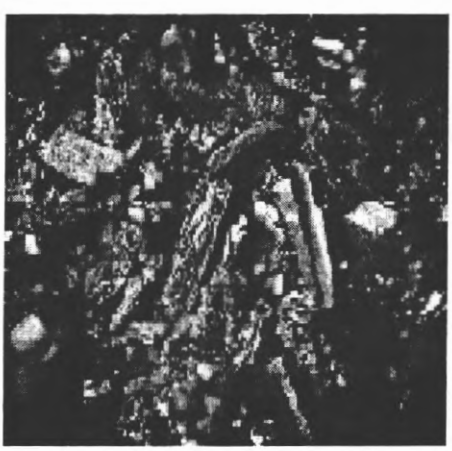
شكل (1) نقاط كمية متحدة مكونة فلم رقيق من البوليمر

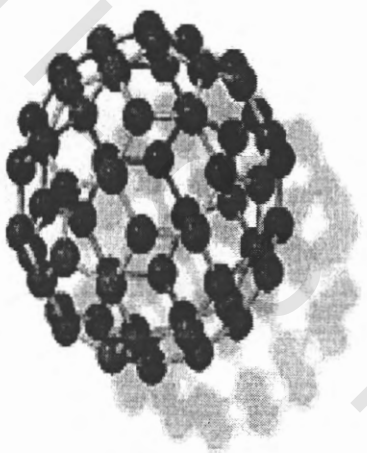
obeikandl.com

(2) **الفولورين Fullerene**:

جزيئات نانوية مكونة من ذرات كربون مترابطة ثلاثيا تعطي شكل كريات لها بناء يماثل الجرافيت، ولكن بدلًا من الشكل السداسي النقي، فإنها تحتوى على أشكال خماسية (و احتمال سباعية) من ذرات الكربون، مما يؤدى لانثناء الطبقات إلى كريات أو أسطوانات.

ويعد أكثر الفولورينات شهرة هو الجزيء C_{60} ، حيث تترتب الـ60 ذرة كربون على رؤوس مجسم عشريني ناقص . وشكل المجسم العشريني الناقص يشبه كرة القدم (شكل 2) ، و يتميز بأنه جزيء ممغنط وغير قابل للاحتكاك. وتم اكتشاف الفولورين قدرًا عام 1944م، عندما لاحظ "أوتوهان" وجود سلاسل من الكربون أثناء إجرائه لتجارب كانت تستهدف تكوين ذرات ثقيلة من ذرات أخف عن طريق امتصاصها للنيوترونات. إذ أن بحثه كان منصبًا في الكشف عن الفروق الصغيرة في الوزن بين بعض ذرات العناصر الثقيلة التي يقوم بتبخيرها في قوس كربوني.





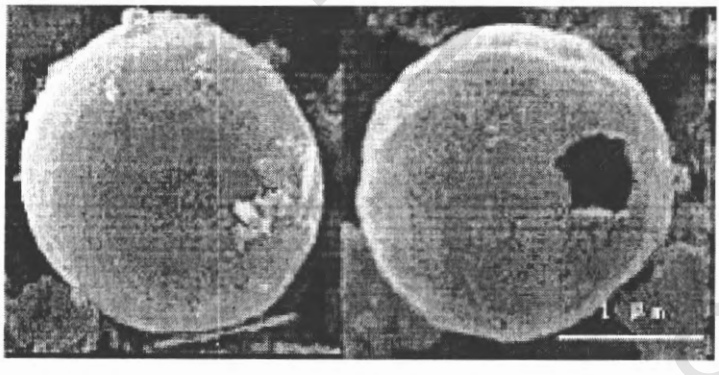
(ب) (أ)

شكل (2) (أ) فولورين C_{60} فى الصورة الجزيئية ؛ (ب) فولورين C_{60} فى الصورة البلورية

وأثناء مشاهدته لتلك النتائج، لاحظ أن القوس أنتج أيضا سلاسل من الكربون كان لها (قدرًا) نفس الوزن الجزيئي للمعدن، وحيث أنه لم يكن مهتما بسلاسل الكربون فقد دوَّن ملاحظاته بشأنها في نهاية تقريره، ثم انطلق وراء الهدف الرئيسي من بحثه. ولم تتم متابعة النتائج التي توصل إليها بشأن سلاسل الكربون إلا في عام 1985م عن طريق هارولد كروتو ومعه كل من روبرت كيرل وريتشارد سمالي الذين توصلوا إلى أن سلاسل الكربون تلك ما هي إلاّ صورة جديدة من صور الكربون.

(3) الكرات النانوية Nanoballs:

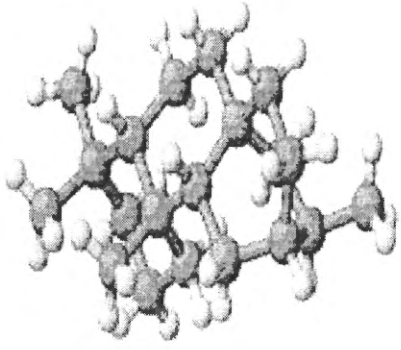
تنتمي الكرات النانوية إلى فئة الفلورينات (C_{60}) ، مع الاختلاف فى التركيب شيئًا قليلًا وذلك لأنها متعددة القشرة، وخاوية المركز ، وبسبب تركيبها الذي يشبه البصل فقد أطلق عليها العلماء اسم bucky أي البصل. وقد يصل قطرها إلى ما يزيد عن 500 نانومتر (شكل 3).



شكل (3) شكل توضيحي لكرة نانوية

(4) الجسيمات النانوية Nanoparticles:

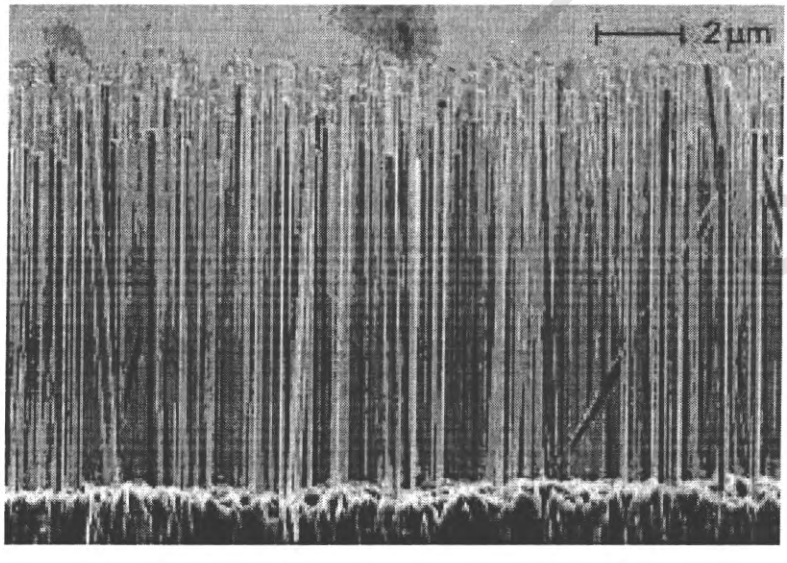
في تقنية النانو يعرف الجسيم بأنه أصغر وحدة (شيء) له الخواص الكيميائية والفيزيائية للمادة الحجمية. والجسيمات النانوية لها أبعاد تتراوح بين 1 إلى 100 نانومتر (شكل 4).



شكل (4) جسيم نانوى

(5) الأسلاك النانوية Nanowires:

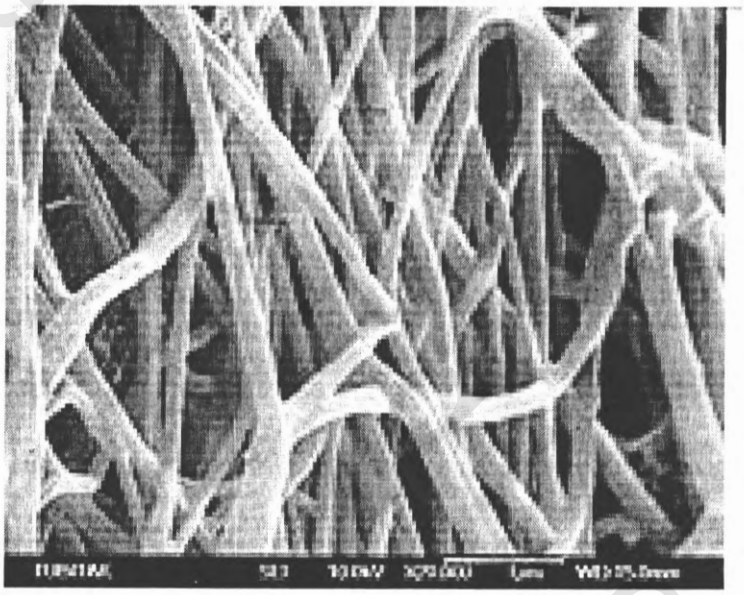
وهى عبارة عن أسلاك ذات بعد واحد (شكل 5)، أقطارها تقل عن نانومتر واحد وبأطوال مختلفة ، تكون في الغالب نسبة طولها إلى عرضها أكثر من 1000 مرة. وتتميز عن الأسلاك العادية (ثلاثية البعد) بقوة التوصيل الكهربي ، نتيجة لحصر الإلكترونات كميًا في اتجاه جانبي واحد مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة تختلف عن المستويات العريضة في المادة الحجمية.



شكل (5) صورة ميكروسكوبية لأسلاك نانوية

(6) الألياف النانوية Nanofibers:

من أشهر الألياف النانوية الألياف المصنوعة من البوليمرات. ويكون عدد ذرات سطح الألياف كبير مقارنة بالعدد الكلى ، وهذا يكسب الألياف خواص ميكانيكية (كالشدة، والصلابة،...) تؤهلها للاستخدام كمرشحات في تنقية السوائل والغازات ، وفى العديد من التطبيقات الطبية والعسكرية (شكل 6).

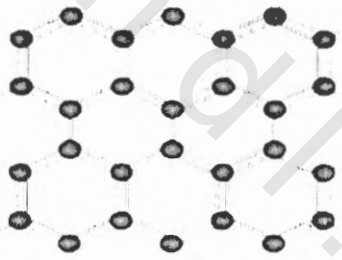


شكل (6) ألياف نانوية

(7) المركبات النانوية Nanocomposites:

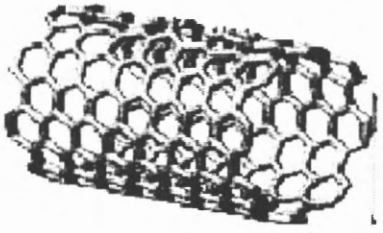
وهى عبارة عن مواد يضاف إليها جسيمات نانوية تكسبها خواصًا مميزة إضافية. فعند إضافة أنابيب نانوية (الكربون مثلًا) إلى مادة ما، تزداد خواص التوصيل الكهربي والحراري لتلك المادة نتيجة لإضافة أنابيب الكربون النانوية لها. وقد يحدث أيضًا تحسن فى الخصائص الضوئية والميكانيكية (الصلابة ، الشدة) نتيجة لإضافة مواد نانوية معينة لبعض المواد. ومن أشهر المركبات النانوية الموجودة الآن المركبات البوليمرية.

فارغة في شكل أنابيب بحجم النانومتر وتتكون من مجموعة ضخمة من الهياكل السداسية التي تتكون بدورها من ذرات الكربون. والكربون نانوتيوب ظاهرة فيزيائية تم رصدها أول مرة عام 1991م في شركة NEC للصناعات الإلكترونية في اليابان بواسطة العالم سوميو ليجيما (Sumio Lijima)، حينما كان يدرس الرماد الناتج عن عملية التفريغ الكهربي بين قطبين من الكربون باستخدام ميكروسكوب إلكتروني عالي الكفاءة (High-resolution transmission electron microscope) ، ولاحظ ليجيما أن هناك بعض اللمعان أو البريق داخل هذا الرماد فاعتقد أن الكربون تحول إلى ماس فقرر فحصة بطريقة جيدة ، استخدم سوميو ليجيما الميكروسكوب الإلكتروني لفحص الرماد ووجد أن جزيئات الكربون في وضع غير طبيعي حيث أنه من المفترض أن يكون ترتيب جزيئات الكربون كما في الشكل التالي (شكل 8):



شكل (8)

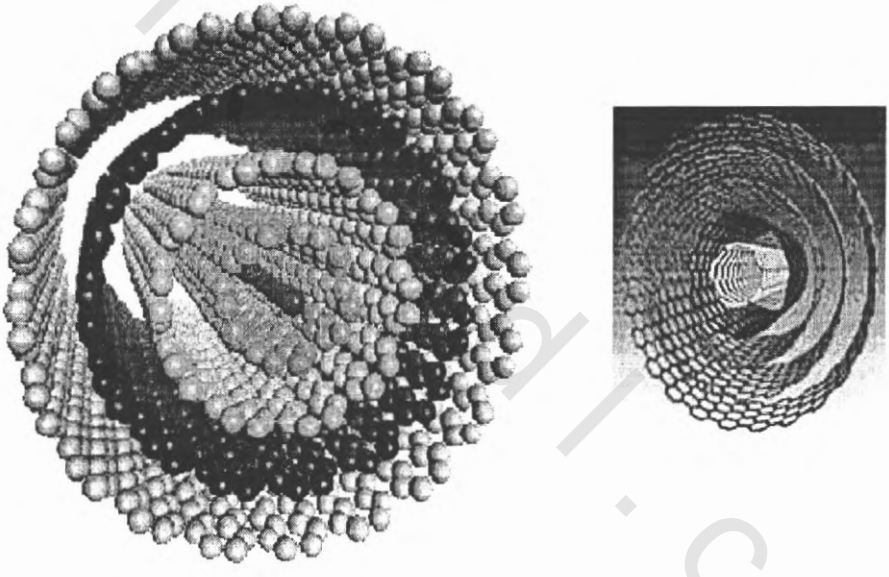
ولكن فوجئ ليجيما بشيء آخر وهو أن جزيئات الكربون قد التفت لتتصل ببعضها البعض مكونة ما يشبه الأنبوب (شكل 9).



شكل (9)

وتم تكرار التجربة عدة مرات وفى كل مرة كان هناك جديد بعد كل فحص وكان مجمل ما توصل إلية سوميو ليجيما هو أن:

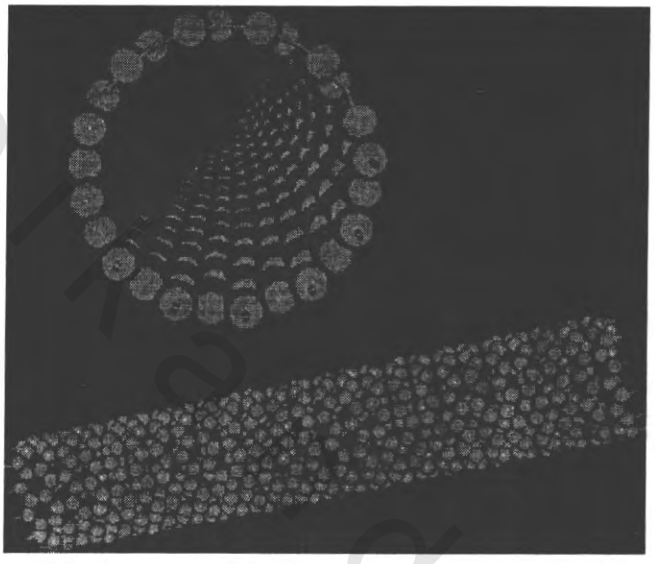
1- جزيئات الكربون تأخذ ترتيبًا يشبه الأنابيب.
2- أنابيب الكربون الناتجة غير متساوية في الحجم.
3- تنتج أنابيب متعددة الطبقات بمعنى أنها مجموعة من الأنابيب المتداخلة (Multi-Wall) ومختلفة في اللون والخواص(شكل 10).



شكل (10) مجموعة من الأنابيب النانوية المتداخلة والمختلفة الخواص.

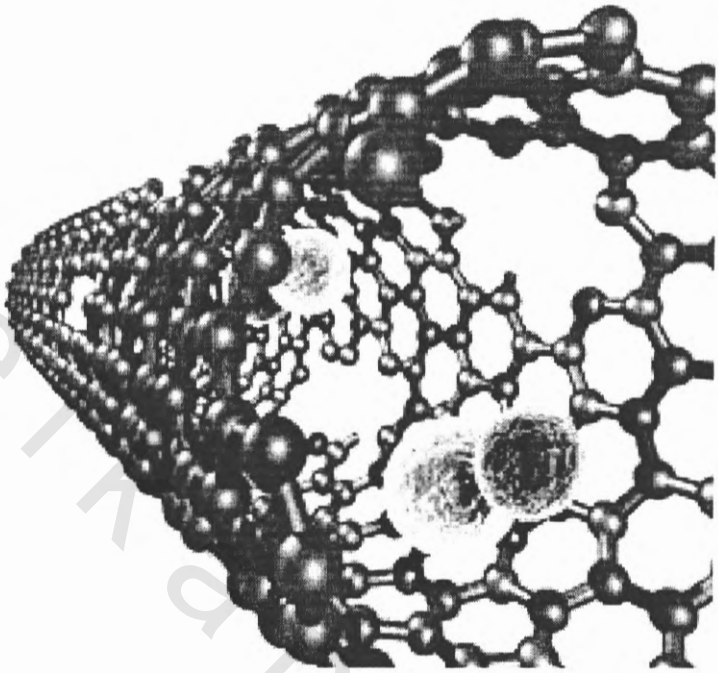
هذا الاكتشاف لفت انتباه شركة IBM فقررت الدخول إلى هذا المجال، ففي عام 1993 تمكن العالم دونالد بثيون (Donald Bethune) من شركة IBM لتكنولوجيا الحاسبات في الولايات المتحدة الأمريكية من رصد أنابيب كربون نانوية ذات جدار واحد (single-wall)، يبلغ قطر الأنبوب الواحد منها 12 نانومتر (شكل 11). ثم انطلق العلماء بعد ذلك في مجال النانوتيوب، حتى استطاع فريق من العلماء الصينيين من

رصد أصغر نانوتيوب في العالم الذي يصل قطره إلى 0.5 نانومتر فقط، مع العلم أن أقل قطر لأي شيء في العالم نظريًا هو 0.4 نانومتر. و تم رصد هذا الأنبوب الصغير جدًا بعد ما طَوَّر العلماء الصينيون طرق جديدة في تقنية النانو.



شكل (11) أنبوب كربوني ذو طبقة واحدة

وعند دراسة الخواص الفيزيائية لأنابيب الكربون النانوية، كانت النتائج مبشرة للغاية؛ فقد وجد أنها أقوى من الحديد بمقدار 100 مرة، وأخف منه في الوزن بمقدار 6 مرات، ولها خواص فيزيائية وميكانيكية فريدة ؛ فهي يمكن أن تكون موصلًا جيدًا جدًا للكهرباء، ويمكن أن تكون شبه موصل (Semi-conductor)، وهذا يعتمد على طريقة تصنيعها، وعلى ترتيب الذرات داخل الهيكل الذري. وعند قياس درجة التوصيل للكهرباء وجد أنها أعلى من النحاس في درجة حرارة الغرفة، أما توصيلها للحرارة فهو أعلى من درجة توصيل الماس. ويمكن دمج مواد أخرى (نحاس ، كوارتز،...) داخل أنابيب الكربون بهدف الحصول على خواص إضافية، أي تصنيع أنبوب واحد ذو وظائف متعددة (شكل 12).



شكل (12) مواد مدمجة داخل أنبوب نانوي كربوني

طرق تحضير أنابيب الكربون النانوية:

أنابيب الكربون الدقيقة ترابط فيها الذرات ثلاثيا في رقائق منحنية تشكل أسطوانات مفرغة يتم الحصول عليها بطريقة القوس الكربوني مع تغيير طاقته لكي يصبح التيار مستمرًا بدلا من المتردد ، و بالتالي يمكن الحصول على هياكل أنبوبية الشكل في أحد الرواسب على القطب. وهذه الأنابيب مكوَّنه بالكامل من الكربون، وتمَّت تسميتها الأنابيب النانومترية وذلك نظرا لقطرها الذي يبلغ عدة نانومترات.

وتوجد طرق عديدة لإنتاج جزيئات الكربون المكونة من الأنابيب النانومترية، وهي:

- عمل تحليل كهربي باستخدام أقطاب من الجرافيت في أملاح منصهرة .
- تحليل حراري مُحفِّز للهيدروكربونات .
- تبخير للجرافيت باستخدام الليزر.

وباختلاف طرق عمل الأنابيب النانومترية، تكون لها خواص إلكترونية مختلفة، فبعضها يُتوقَّع أن يكون معدنيا بينما يكون البعض الآخر أشباه موصلات. واتضح أن تلك الأنابيب النانومترية قويَّة بدرجة لا تُصدَّق فهي أقوى بمئات المرات من الصلب، ويرجع ذلك جزيئيًا إلى شكلها الهندسي السداسي، والذي يمكنه توزيع القوى والتشوهات بسبب قوة رابطة الكربون – كربون، وبالتالي فإن لها خواص إلكترونية غير عاديَّة.

أشكال الأنابيب النانوية

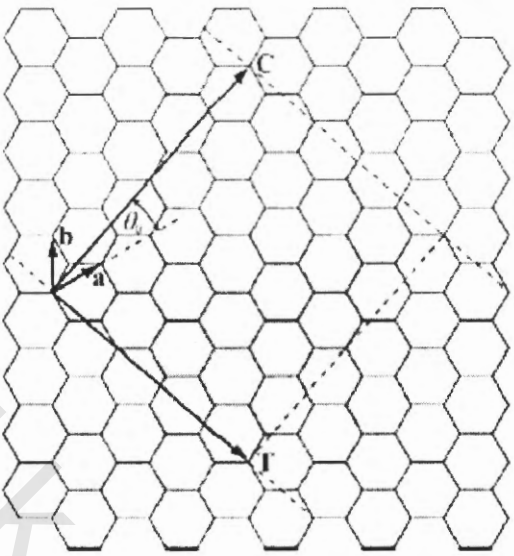
أنابيب الكربون النانوية هي عبارة عن ألواح من الجرافيت تم ثنيها لتأخذ الشكل الأسطواني المجوف، أبعاده الجانبية تبدأ من 0.2 إلى عدة نانومترات. وبالطبع سيكتسب الأنبوب النانوي خواصه الفيزيائية من خواص الجرافيت ذو البعدين (شكل 13).

وتوجد ثلاث أشكال هندسية لأنابيب الكربون النانوية (انظر الأشكال 14، 15)، تعتمد على طريقة ثنى (roll up) لوح الجرافيت للحصول على الشكل الأسطواني وهى:

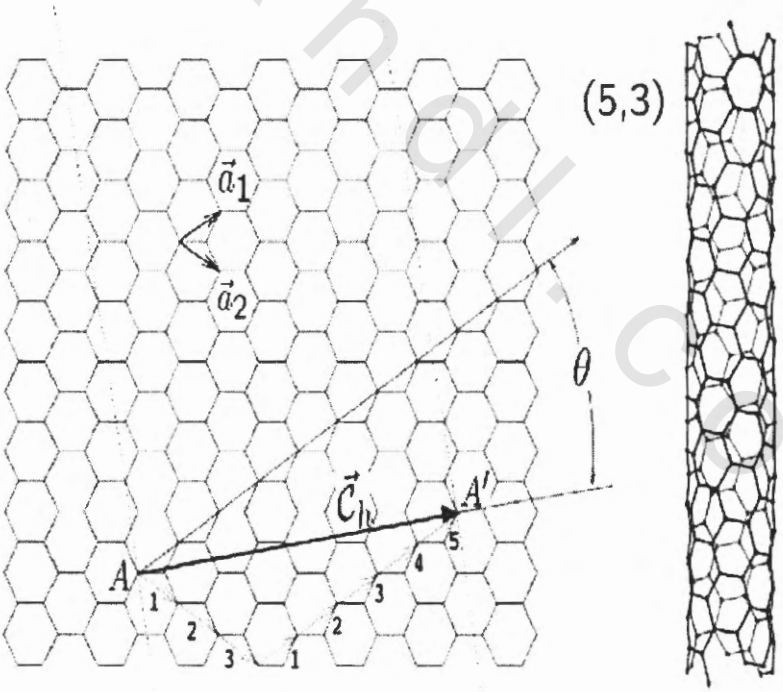
1- zig-zag وله الأبعاد .

2- chiral وله الأبعاد .

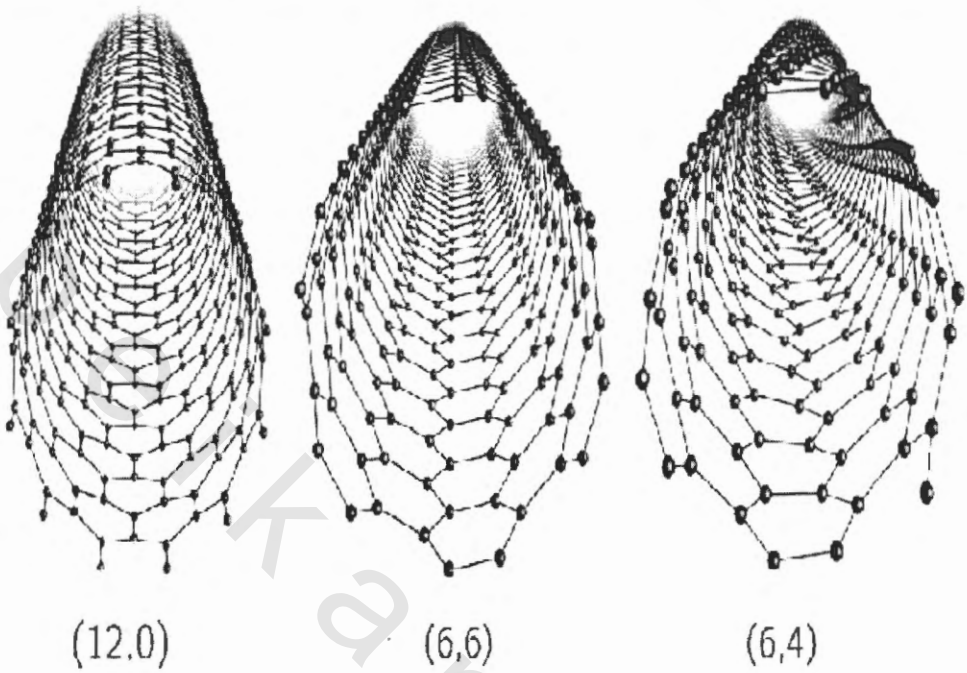
3- armchair وله الأبعاد .



شكل (13) لوح جرافيت ذو بعدين يمكن ثنيه في اتجاه معين للحصول الأنبوب النانوي



شكل (14) أنبوب كربون نانوي من نوع chiral ناتج من ثنى لوح جرافيت.



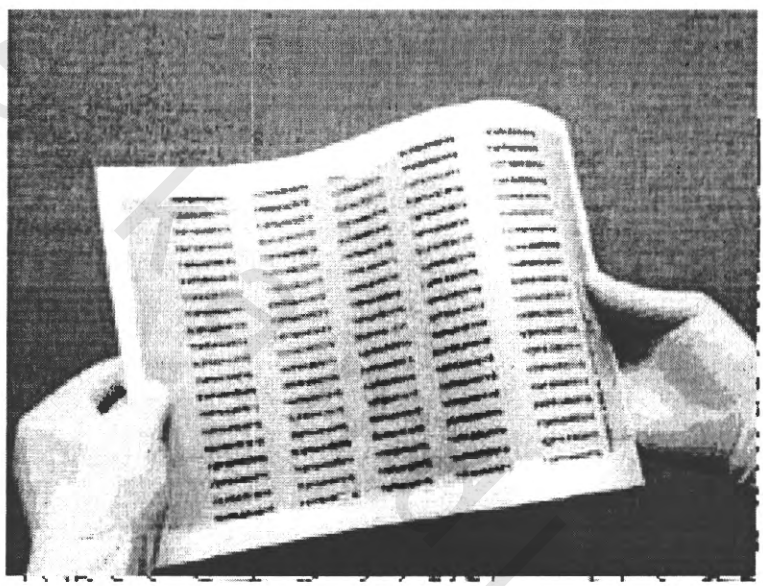
شكل (15) (يسار) zig-zag ؛ (وسط) armchair، (يمين) chiral.

تطبيقات الأنابيب النانوية

تقنية أنابيب الكربون النانوية تم استخدامها في العديد من المجالات، مثل: صناعة خزانات وقود السيارات، مضارب التنس والجولف، وعصي التزلج على الثلوج، وطلاء المواد العسكرية التي لا يكتشفها الرادار.

ومن التطبيقات الجديدة لتقنية النانو، أنبوب النانو الكربوني المكون من الحبر وهو عبارة عن حبر تم تطويره بواسطة الدكتور لي جن وونج من معهد كوريا للتكنولوجيا الكهربائية للبحوث. وهذه التقنية شديدة التطور تتضمن طلاء أسطح البلاستيك بذلك الحبر لجعل السطح الرقيق قادرًا على توصيل الكهرباء. ويمكن تطبيق هذه التقنية على مجالات متنوعة منها شاشات اللمس وشاشات العرض القابلة للثنيّ وإن

كان الدكتور لي قد اختار مجال شاشات اللمس، بسبب عدم وجود تقنية خاصة بالطلاء الدائم لأسطح البلاستيك. وتطوير أنبوب كربوني من الحبر (شكل 16)، يمثّل بداية مرحلة جديدة من التفوّق المذهل في مجال تقنية النانو وسيكون ذلك بمثابة ثورة تكنولوجية هائلة.



شكل (16) شكل توضيحي لحبر كربوني نانوي.

وليس من المعروف حتى الآن إلى أي مدى سيؤثر اكتشاف الفولورين والأنابيب النانومترية في حياتنا، ومع إمكانية استخدامها في الدوائر الإلكترونية، تصبح الاحتمالات هائلة. وقد تم التوصل إلى الأجهزة الإلكترونية البسيطة مثل الأقطاب الثنائية والمفاتيح والترانزستورات باستخدام الأنابيب النانومترية التي كانت أصغر بكثير من مكافئاتها من السيلكون المستخدم في تصنيع شرائح الحاسب الآلي. وفى المجال الطبي تم استخدام أنابيب الكربون النانوية في الحصول على صور للأغشية الحية مثل تصوير الأوعية الدموية والمعدة. وكما هو معلوم لدينا أن استخدام أشعة اكس

للحصول على صور تشخيصية لجسم الإنسان تظهر صور العظام بدون الأنسجة الحية وذلك بسبب التباين الكبير بين مادة العظام والأنسجة في جسم الإنسان بالنسبة لأشعة اكس. وتستخدم مواد ذات تباين عالي مثل الأيودين iodine ، تحقن في جسم الإنسان للحصول على صور للأغشية الحية مثل تصوير المعدة أو الأوعية الدموية أو في أي مكان يكون هناك توقع لوجود خلايا سرطانية. ولكن مادة الأيودين تتحرك في الأوعية الدموية لجسم الإنسان مما يجعل توجيهها إلى منطقة بدقة في جسم الإنسان أمرا صعبًا. وباستخدام النانوتيوب تم اكتشاف وسيلة جديدة بواسطة لون ويلسون Lon Wilson من جامعة رايس في هيوستون بالولايات المتحدة الأمريكية وفريقه البحثي. وتعتمد فكرتهم على زرع أنابيب كربون نانوية معبأة بالأيودين في الخلايا الحية ووضعها على غشاء رقيق من البروتين يتحد هذا البروتين مع خلايا محددة في جسم الإنسان، وبهذا تصبح أنابيب الكربون النانوية بداخلها الأيودين داخل الخلية الحية المراد تشخيصها. فالإضافة إلى دقة توجيه الأيودين بهذه الطريقة لخلايا محددة فإنها تمكث فترة اكبر لمزيد من الفحوصات إن تطلب الأمر، وذلك لأن الأيودين أصبح الآن في داخل الخلية وليس مارا بجانبها عبر الأوعية الدموية.وفي مجال الصناعة يمكن أن يدخل النانوتيوب في تكوين المواد المركبة (composite materials) للرفع من كفاءتها في توصيل الكهرباء والحرارة، وكذلك في تصنيع خلايا تخزين الوقود الهيدروجيني الذي يستخدم في المركبات الفضائية .

الخاتمة

تقنية أنابيب الكربون النانوية ما زالت في مهدها، وهي حتى الآن تحت الدراسة لمعرفة المزيد من خواصها الفيزيائية وقدراتها المثيرة، ولكن الطريقة المستخدمة حاليًا للحصول على النانوتيوب مرتفعة التكاليف؛ حيث يشكل سعر الأنابيب النانومترية المرتفع جدا (15000 دولار للأونصة الواحدة) العقبة الأولى في استخدام هذا النسيج.

كما أن رماد النانوتيوب التجاري يكلف 10 أضعاف سعر الذهب. فالأبحاث فى هذه التقنية تحتاج لتكاليف عالية مما يتطلب دعمًا كبيرًا من الحكومات والهيئات العلمية الكبرى، لاستمرار البحث والتطوير في هذا المجال. ومن المتوقع أن تشعل تكنولوجيا النانوتيوب سلسلة من الثورات الصناعية في خلال العقدين القادمين والتي سوف تؤثر على حياتنا بشكل كبير وتفتح أمامنا عالمًا جديدًا لم نكن نعلم عنه شيئًا من قبل.

obeikandl.com