المبحث الرابع

خصائص المواد النانوية وتطبيقاتها

تعد جميع المواد التقليدية بمثابة الخامات الأولية المستخدمة في تخليق المواد النانوية، ولكن تتميز المواد النانوية بخواص فيزيائية وكيمائية وميكانيكية فريدة عن المواد التقليدية[1]، وذلك بسبب اتساع مساحة السطح الخارجي للمواد النانوية، التي تعد أهم خاصية لها، وفيما يلي بعض خواص المواد النانوية:

- **الخواص الميكانيكية:** تأتي الخواص الميكانيكية على رأس الخواص المستفيدة من تصغير حجم حبيبات المادة، ووجود أعداد ضخمة من الذرات على أوجه سطحها الخارجي، حيث ترتفع درجة صلادة المواد الفلزية وسبائكها، وتزيد مقاومتها لمواجهة الأحمال الواقعة عليها.

(1) M. Al Hoshan, «Novel nanoarray structures formed by template based approach: characterization and electrochemistry» PhD Thesis,Minnesota University, (2007).

- **النشاط الكيمائي:** حيث تعمل بوصفها محفزات تتفاعل بقوة مع الغازات السامة، مما يرشحها لأن تؤدي الدور الأهم في الحد من التلوث البيئي.

- **الخواص الفيزيائية:** تتأثر درجة انصهار المادة بتصغير أبعاد حبيباتها، فدرجة انصهار الذهب في حجمه الطبيعي التي تصل إلى 1064 درجة حرارة، تقل إلى 500 درجة بعد تصغير حبيباته إلى نحو 1.35 نانومتر.

- **الخواص البصرية:** وهذه الخاصية تمكننا من صناعة شاشات عالية الدقة فائقة التباين ونقاء الألوان، مثل شاشات التلفاز والحاسبات والتليفون النقال الحديثة.

- **الخواص المغناطيسية:** كلما صغرت حبيبات المواد، وتضاعف وجود الذرات على أسطحها الخارجية، كلما ازدادت قوة وفاعلية قدرتها المغناطيسية.

- **الخواص الكهربية:** يؤدي تصغير أحجام حبيبات المواد إلى أقل من 100 نانومتر إلى تزايد قدرتها على توصيل التيار الكهربي.

- **الخواص البيولوجية:** زيادة قدرة المواد النانوية على النفاذ واختراق الموانع والحواجز البيولوجية، وتحسين

التلاؤم والتوافق البيولوجي، مما يسهل وصول العقاقير العلاجية والأغذية إلى خلايا معينة[1].

هذا، ويعتمد أساس عمل تقنية النانو على إعادة ترتيب الذرات لتصنيع جزيئات جديدة ذات مواصفات جديدة محددة ومخطط لها. و أفضل مثال على ذلك أن حجر الألماس والفحم كلاهما مصنوعان من الكربون، غير أن ترتيب الذرات في جزيء الألماس يختلف عن ترتيب الذرات في جزيئة الفحم..!!

يجب أن يتم تحقيق ثلاث خطوات لإنتاج بضائع بتقنية النانو:

1. يجب على العلماء أن يكونوا قادرين على معالجة الذرات المفردة.
2. تطوير آلات نانوية مجهرية تدعى: (المجمعات assemblers) يمكن أن تبرمج لمعالجة الذرات والجزيئات عند الرغبة.
3. القدرة على إيجاد مجمعات كافية لبناء سلم استهلاكية نانوية، وتسمى تلك الآلات: (المستنسخات replicators) و تبرمج لبناء مجمعات أكثر ويجب أن تعمل المجمعات والمستنسخات يدًا بيد، لبناء منتجات بشكل آلي.

---

(1) اللجنة الفرعية للتقنيات الهندسية والعلمية المتناهية الصغر.

The National Nanotechnology Initiative: Strategic Plan, National Science and Technology Council, December 2004.

ويتم التصنيع بواسطة طريقتين: الصعودية (buttom- up) والنزولية (top- down) وحاليًا تقنيات أعقد من ذلك.

ومن الطموحات في هذا المجال تصنيع جزيئات ترتب نفسها ذاتيًّا، تمامًا كما تفعل بعض الإنزيمات الطبيعية التي تعرف الكيفية والمكان اللذين تؤثر فيهما، ويأمل العلماء الحصول على مصنعات حيوية تشبه الطبيعية في عملها وهيكلها الجزيئي[1].

ويمكن تصنيع المواد النانوية على عدة أشكال، وذلك بناء على الاستخدام المقرر لهذه المواد، ومن أهم هذه 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 تقريبًا 100 إلى 100000 ذرة في حجم النقطة الكمية الواحدة. وتقوم النقطة الكمية بتقييد إلكترونات شريط التوصيل وثقوب شريط التكافؤ.

كما تبدي النقاط الكمية طبقًا طاقيًّا مكممًا متقطعًا، وتكون الدوال الموجية المقابلة متمركزة داخل النقطة الكمية.

(1) http://www.makphys.com/vb3/showthread.php.

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 تمامًا كرة القدم التي تحتوي على 12 شكلًا خماسيًّا و20 شكلًا سداسيًّا.

ومنذ اكتشاف كيفية تصنيع الفولورين عام 1990م وهو يحضر بكميات تجارية. كما أمكن الحصول على جزئيات بعدد مختلف من ذرات الكربون، مثل C36 وC48 وC70 إلا أن العلماء أبدوا اهتمامًا خاصًّا بالجزيء C60.

لقد سمي هذا التركيب بالفولورين نسبة للمخترع والمهندس المعماري وبكمنستر فولر (R. Buckminster Fuller).

وهكذا فقد نشأ فرع جديد يسمى كيمياء الفولورين، حيث عرف أكثر من 9000 مركب فولورين منذ عام 1997م، وظهرت تطبيقات مختلفة لكل من هذه المركبات، ومنها المركبات

K3C60 وRbcs2C60 و C60–CHBr3 التي أبدت توصيلية فائقة (superconductivity). كما امتشقت أشكال أخرى منها كالفولورين المخروطي والأنبوبي إضافة إلى الكروي[1].

3. الكرات النانوية Nanoballs:

من أهمها كرات الكربون النانوية التي تنتهي إلى فئة الفولورينات، من مادة C60، لكنها تختلف عنها قليلًا بالتركيب، حيث إنها 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 سماها العلماء (البصل) Bucky، وقد يصل قطر الكرات النانوية إلى 500 نانومتر أو أكثر[2].

4. الجسيمات النانوية Nanoparticles:

على الرغم من أن كلمة (الجسميات النانوية) (**شكل 8**)،

---

(1) محمد صالح الصالحي، وعبدالله صالح الضويان، مقدمة في تقنية النانو، مرجع سابق، ص 26–35.

(2) المرجع السابق نفسه.

حديثة الاستخدام إلا أن هذه الجسيمات كانت موجودة في المواد المصنعة أو الطبيعة منذ زمن قديم.

فعلى سبيل المثال، تبدو أحيانًا بعض الألوان الجميلة من نوافذ الزجاج الصدئة، وذلك بسبب وجود مجموعات عنقودية صغيرة جدًّا من الأكاسيد الفلزية في الزجاج، حيث يصل حجمها قريبًا من الطول الموجي للضوء.

ومن ثم، فإن الجسيمات ذات الأحجام المختلفة تقوم بتشتيت أطوال موجبة مختلفة من الضوء، مما ينتج عنه ظهور ألوان مختلفة من الزجاج.

يمكن تعريف الجسيمات النانوية على أنها عبارة عن تجمع ذري أو جزيء ميكروسوبي، يتراوح عددها من بضع ذرات (جزيء) إلى مليون ذرة، مرتبطة ببعضها بشكل كروي تقريبًا بنصف قطر أقل من 100 نانومتر.

فجسيم نصف قطري نانومتر واحد سوف يحتوي على 25 ذرة أغلبها على سطح الجسيم، وهذا يختلف عن الجزيء الذي قد يتضمن عددًا من الذرات بأن أبعاد الجسيم النانوي تقل عن أبعاد حرجة لازمة لحدوث ظواهر فيزيائية معينة، مثل: متوسط المسار الحر، الذي تقطعه الإلكترونات بين تصادمين متتالين

مع الذرات المهتزة، وهذا يحدد التوصيلية الكهربائية. وللتجمع الذري أعداد سحرية من الذرات لتكوين الجسيمات النانونية، فجسيمات السيلكون النانوية، مثلًا، تتكون من أعداد محددة من الذرات، وليس عند أي عدد، لينشأ جسيمات بأنصاف أقطار محددة 1، 1.67، 2.15، 2.9 نانومتر فقط.

عند تعرض هذه الجسيمات لأشعة فوق بنفسجية فإنها تبعث ضوءًا بلون مرئي طوله الموجي يتناسب عكسيًّا مع مربع قطر الجسيم، ومن ثم يمكن رؤية ألوان مرئية معينة.

عندما يصل حجم الجسيمات النانوية إلى مقياس النانو في بعد واحد، فإنها تسمى البئر الكمي (quantum well)، أما عندما يكون حجمها النانوي في بعدين فتسمي السلك الكمي (quantum wire)، وعندما تكون هذه الجسيمات بحجم النانو في ثلاثة أبعاد، فإنها تعرف بالنقاط الكمية (quantum dots).

ولا بد من الإشارة هنا إلى أن التغير في الأبعاد النانوية في التركيبات الثلاثة السالفة الذكر سوف يؤثر على الخصائص الإلكترونية لها، مما يؤدي إلى حدوث تغيير كبير في الخصائص الضوئية للتركيبات النانوية.

تكتسب الجسيمات النانوية أهمية علمية، حيث إنها تقع بين التركيب الحجمي الكبير للمادة، وبين التركيب الذري والجزيء،

حيث تحتوي هذه الجسيمات في العادة على 106 ذرة أو أقل، أما الجزئي فإنه يمكن أن يحتوي على 100 ذرة أو أقل، وقد يصل نصف قطره إلى أكثر من نانو متر واحد. ومن الخصائص المهمة وغير المتوقعة للجسيمات النانوية هو أن الخصائص السطحية للجسيمات تتغلب على الخصائص الحجمية للمادة.

وبينما تكون الخصائص الفيزيائية للمادة الحجمية ثابتة بغض النظر عن حجمها، فإن تلك الخصائص للمادة عندما تصل إلى مقياس النانو سوف تتغير، ومن ثم تعتمد على حجمها.

ويلاحظ كذلك أن النسبة المئوية للذرات السطحية للمادة تصبح ذات أهمية بالغة عندما يقترب حجم المادة من مقياس النانو، بينما عندما تكون المادة الحجمية أكبر من 1 ميكرومتر، فإن النسبة المئوية للذرات عند سطحها ستكون صغيرة جدًّا بالنسبة للعدد الكلي للذرات في المادة.

ومن الخصائص الأخرى للجسيمات النانوية هو إمكانية تعلقها داخل سائل أو محلول دون أن تطفو أو تنغمر، وذلك لأن التفاعل بين سطح الجسيمات والسائل يكون قويًّا، بحيث يتغلب على فرق الكثافة بينهما، لقد أمكن حديثًا تصنيع جسيمات

نانوية من الفلزات والعوازل وأشباه الموصلات والتركيبات المهجنة، (مثل الجسيمات النانوية المغلقة)، وكذلك تصنيع نماذج لجسيمات نانوية ذات طبيعة شبه صلبة وهي الليبوزومات.

ومن الصور الأخرى للجسيمات النانوية هي النقاط الكمية شبه الموصلة والبلورات النانوية.وتعد جسيمات النحاس النانوية التي يصل حجمها إلى أقل من 50 نانومتر ذات صلابة عالية، وغير قابلة للطرق أو السحب، وذلك عكس ما يحدث لمادة النحاس العادية، حيث يمكن ثنيها وطرقها وسحبها بسهولة[1].

الأنابيب النانوية Nanotubes:

تصنع الأنابيب النانوية، أحيانًا، من مواد غير عضوية مثل أكاسيد الفلزات (أكسيد الفاناديوم، أكسيد المنجنيز)، وهي شبيهة من ناحية تركيبها بأنابيب الكربون النانوية، ولكنها أثقل منها، وليست بالقوة نفسها مثل أنابيب الكربون.

وتعد أنابيب الكربون النانوية (**شكل 9**) التي اكتشفت عام 1991م أكثر أهمية، نظرًا لتركيبها المتماثل، وخصائصها

(1) محمد صالح الصالحي، وعبدالله صالح الضويان، مقدمة في تقنية النانو، مرجع سابق، ص 26-35.

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 طلبها حول محور ما، لتأخذ الشكل الأسطواني، 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 SWNT (single wall nanotube)، أو ثنائي أو أكثر وتسمى الأنابيب متعددة الجدار (MWNT) multi wall nanotube، ويتراوح قطر الأنبوب بين أقل من نانومتر واحد إلى 100 نانومتر (أصغر من عرض شعرة رأس بمقدار 50000 مرة)، أما طوله فقد يصل إلى 100 مايكرومتر، ليشكل سلكًا نانويًّا.

للأنابيب النانوية أشكال عدة، فقد تكون مستقيمة، لولبية، متعرجة، خيزرانية أو مخروطية وغير ذلك.

كما أن لهذه الأنابيب خصائص غير اعتيادية من حيث القوة والصلابة والتوصيلية الكهربائية وغيرها. كما أن للكربون النانوي أشكالًا أخرى مثل الكرات النانوية والألياف النانوية.

ويتم إنتاج أنابيب الكربون النانوية بتقنيات عدة، منها، التفريغ القوسي، الكحت الليزري، الترسيب بواسطة أول أكسيد الكربون ذي الضغط العالي، والترسيب بواسطة البخار الكيميائي[1].

5. ألياف النانوية Nanofibres:

لاقت الألياف النانوية اهتمامًا كبيرًا مؤخرًا لتطبيقاتها الصناعية. وقد اكتشف العديد من أشكالها كالألياف السداسية والحلزونية والألياف الشبيهة بحبة القمح (corn-shaped).

إن الجزء الجانبي لليف النانوي اللويحي أو الأنبوبي له شكل سداسي، مثلًا، وليس أسطوانيًّا، ومن أشهر الألياف النانوية تلك المصنوعة من ذرات البوليمرات. إن نسبة مساحة السطح إلى الحجم كبيرة في حالة الألياف النانوية، كما للأنابيب النانوية، حيث إن عدد ذرات السطح كبير مقارنًا 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، لا سيما بعد تطوير طرق التحضير.

---

(1) المرجع السابق نفسه، ص 26.

هناك أكثر من طريقة لتحضير الألياف البوليمرية، من أشهرها التدوير الكهربي (electrospinning) ولا زالت تواجه العديد من الصعوبات للتحكم بخصائص الألياف الناتجة كاستمرارها واستقامتها وتراصفها[1].

6. الأسلاك النانوية Nanowires:

هي أسلاك بقطر قد يقل عن نانومتر واحد، وبأطوال مختلفة، أي بنسبة طول إلى عرض تزيد عن 1000 مرة.

لذا فهي تلحق بالمواد ذات البعد الواحد، وكما هو متوقع، فهي تفوق على الأسلاك التقليدية (ثلاثية الأبعاد)، وذلك بسبب أن الإلكترونات تكون محصورة كميًّا باتجاه جانبي واحد، مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة، تختلف عن تلك المستويات العريضة الموجودة في المادة الحجمية.

وهنا تتضح أهمية الذرات السطحية مقارنة بالداخلية لظهور ما يعرف بالتأثير الحافي. وبسبب خضوعها للحصر الكمي المبني على ميكانيكا لكم، فسيكون لها توصيلية كهربية تأخذ قيمًا محددة، تساوي تقريبًا مضاعفات المقدر 12.9 كيلو أوم – 1. وهي لا توجد في الطبيعة، ولكنها تحضر في المختبر، حيث منها الفلزي: (كالنيكل والفضة والبلاتينيوم).

(1) المرجع السابق نفسه.

وشبه الموصل (كالسليكون ونترات الجاليوم وفوسفات الانديوم). والعازل (كالسليكات وأكسيد التيتانيوم)، ومنها الأسلاك الجزيئية العضوية (DNA) وغير العضوية (مثل Mo6S9-xlx Li2Mo6Se6 التي ينظر لها كتجمعات بوليمرية) ذات القطر 0.9 من النانومتر وبطول يصل لمئات من المايكرومتر. يمكن استخدامها، في المستقبل القريب، لربط مكونات إلكترونية دقيقة داخل دائرة صغيرة أو عمل وصلات ثنائية p-n، وكذلك بناء الدوائر الإلكترونية المنطقية، وقد تستخدم متقبلًا لتصنيع الكمبيوتر الرقمي.

لذا فتطبيقاتها الإلكترونية المتوقعة كثيرة جدًّا، مما سيقود إلى الحساسات الحيوية الجزئية النانوية، وللأسلاك النانوية أشكال عدة، 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 كميائي لسلك كبير، أو قذف سلك كبير بواسطة جسيمات ذات طاقة عالية[1].

(1) محمد صالح الصالحي، وعبدالله صالح الضويان، مقدمة في تقنية النانو، مرجع سابق، ص 26-35.

7. المركبات النانوية Nanocomposites:

هي عبارة عن مواد يضاف إليها جسيمات نانوية خلال تصنيع تلك المواد، ونتيجة لذلك فإن المادة النانوية تبدي تحسنًا كبيرًا في خصائصها.

فعلى سبيل المثال، يؤدي إضافة أنابيب الكربون النانوية إلى تغيير خصائص التوصيلية الكهربائية والحرارية للمادة.

وقد يؤدي إضافة أنواع أخرى من الجسيمات النانوية إلى تحسين الخصائص الضوئية وخصائص العزل الكهربي، وكذلك الخصائص الميكانيكية مثل الصلابة والقوة.

يجب أن تكون النسبة المئوية الحجمية للجسيمات النانوية المضافة منخفضة جدًّا (في حدود 0.5% إلى 5%)، وذلك بسبب أن النسبة بين المساحة السطحية إلى الحجم للجسيمات النانوية تكون عالية، تجري البحوث حاليًا للحصول على مركبات نانوية جديدة ذات خصائص تختلف عن المركبات الأصلية. ومن المركبات النانوية المعروفة الآن هي المركبات البوليمرية النانوية[1].

(1) المرجع السابق نفسه.