تطبيقات التقنية متناهية الصغر

د. عبدالرحمن بن علي المهنا
د. دحام اسماعيل العاني
م. حسين السلمان

يعود الفضل - بعد الله - للتطورات التقنية الحديثة إلى ثورة الدوائر المتكاملة، حين بدأ المهندسون والعلماء تناول موضوع تقنية النانو على أنه الثورة التقنية القادمة التي ستطال آثارها الصناعة والمجتمع بأسره، حتى أضحت تحتل المراتب الثلاث الاولى في بحوث الفيزياء، وفي الواقع: يوجد عدد من المنتجات التجارية في أسواق اليوم تستخدم ابتكارات واختراعات جديدة في مجال تقنية النانو.

يستفاد من المواد النانوية في الكثير من الصناعات حيث تدخل في مجالات لا حصر لها تتمثل في تحسين أداء المنتوجات وخفض تكلفتها،بالإضافة إلى مجالات أخرى محددة ومتنوعة .

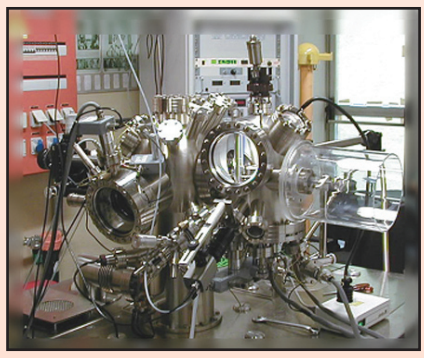
يستعرض هذا المقال بعض المجالات التي تم فيها تطبيق تقنية النانو والاستفادة منها وإفادتها.

الصناعات البتروكيميائية

فرضت على الصناعات البتروكيميائية - كغيرها من الصناعات - شروط صارمة لبلوغ معايير إنتاجية أفضل وأحدث، وذلك بسبب القوانين البيئية الجديدة والصارمة، واحتدام التنافس لاكتساب حصة جديدة من الأسواق ذات الصلة بها، دفع إلى استخدام تقنيات متقدمة لمواجهة هذه التحديات والقوانين المستحدثة،ومن هذا المنطلق لعبت تقنية النانو دوراً بالغ الأهمية لتحقيق هذه الغاية.

تُعد المملكة العربية السعودية من الدول الرائدة في مجال الصناعات البتروكيميائية، لذا فإن استثمارها للتقنيات الجديدة، مثل تقنية النانو مسألة حيوية لتتمكن من الحفاظ على موقعها الريادي بين كبار منافسيها.

يعد تصميم وصناعة المحفزات من أبرز أوجه استخدام تقنية النانو في صناعة البتروكيميائيات؛ لأنها من الأساليب المعتمدة والراسخة منذ زمن بعيد في الصناعة لتعزيز التفاعلات الكيميائية. وبناء عليه فإن التوجه العام اليوم ينبغي أن يقودنا لدمج تقنية العنصر المحفز - سبق تجريبها وثبتت فوائدها - مع التقنية الحديثة المتمثلة في: تقنية النانو، بحيث تكون المحصلة النهائية محفزات نانوية تعمل بفعالية مضاعفة، وتحد من التلوث وبكلفة منخفضة إلى حد بعيد. ورغم صعوبة تقديم تعريف دقيق للمحفز النانوي نظراً لاختلاف المفهوم باختلاف آراء الأفراد، فإن أفضل وأبسط تعريف للمحفز النانوي قد يكون هو: المحفز الذي تضّمن في أي مرحلة من مراحل تصميمه تطبيقاً لوسائل تقنية النانو. هذا يعدي أحد أسباب تقدم البحوث العلمية وإحرازها نتائج باهرة في مجال المحفزات النانوية إلى ماحققته تلك المحفزات من نجاح في قطاع الصناعة البتروكيميائية.



ومن الأمثلة على بعض تطبيقات تقنية النانو في هذا القطاع استخدام بعض الشركات محاكاة كيمياء الكم وعمليات التكوين لاستبدال بعض الفلزات العالية الكلفة من مجموعة البلاتينوم، في سبيل خفض التكلفة من ٣٠٪ إلى ٧٠٪.مما يقود إلى تحقيق أقصى فعالية ممكنة للعنصر المحفز، ويحسن أداءه، ويقلل من التكلفة ومن مدة دورة التصميم.

تستخدم شركات أخرى مواد نانوية من أكاسيد فلزات الأرض النادرة، وذلك لتحسين الأداء وتقليص استخدام الفلزات النفيسة، الأمر الذي يساهم بدوره في خفض التكلفة، كما تحاول بعض الشركات استخدام أنابيب النانو لدعم العناصر المحفزة عوضاً عن الكربون المنشط لإحداث تفاعلات بشكل انتقائي وأسرع.

ويعد مجال المحفزات النانوية مجال بالغ الإثارة والنشاط بشكل عام؛ لكون العناصر المحفزة بطبيعتها تعمل أصلاً على مقياس النانو. لذا فإن أي تقدم في هذه التقنية من شأنه أن يكون له تطبيق مباشر في المحفزات النانوية بشكل أو بآخر،مما يجعل سوق المحفزات النانوية سوقاً مزدهراً في الوقت الراهن ولمدة طويلة.

توجد بعض التقنيات التي يمكن استخدامها في الصناعة البتروكيميائية

بعيداً عن المحفزات النانوية مثل: تقنية الأنظمة الميكانيكية الميكروإلكترونية (Micro Electronic Mechanical Systems – MEMS) التي تعتمد على جهاز –مجس يدوي – استشعار الرائحة. والذي بإمكانه التعرف على مواد ومركبات بأسلوب أشبه ما يكون بالأنف البشري. ومما لاشك فيه أن تصب تقنية الأنظمة الميكانيكية الميكروإلكترونية (MEMS) في تقنية النانو يوماً ما، لتتطور وتتشكل تقنية الأنظمة الميكانيكية الإلكترونية النانوية (Nano Electronic Mechanical System).

الصناعات الطبية الأحيائية

يتوقع أن تشهد الصناعات الطبية الأحيائية ثورة كلية بتقنية النانو. ففي السابق، كان العمل في البنى الحيوية أمراً شاقاً جداً؛ نظراً لصغر أحجامها. لكن اليوم، الأفضل (بسبب) تقنية النانو، أصبح من الممكن الوصول بالطب الأحيائي إلى حدود غير مسبوقة، لدرجة تحقيق زيادة طول الحمض النووي منقوص الأكسجين (DNA) إلى مليمتر إضافي. ويعتبر هذا الإنجاز هائلاً لاسيما وأن الأحماض النووية لا تزيد سماكتها عن النانومتر الواحد وأطوالها قصيرة جداً.

ويعد استخدام أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار في صناعة مجسات الحمض النووي إحدى التطبيقات الأخرى في استخدام تقنية النانو في الطب الأحيائي.كما يمكن استعمال هذه المجسات ضمن مفهوم «مختبر على رقاقة»(water)، حيث يمكن تجميع عدد من الأجهزة الحيوية المختلفة في رقاقة واحدة صغيرة،والبحث في هذا المجال يتقدم باستمرار.

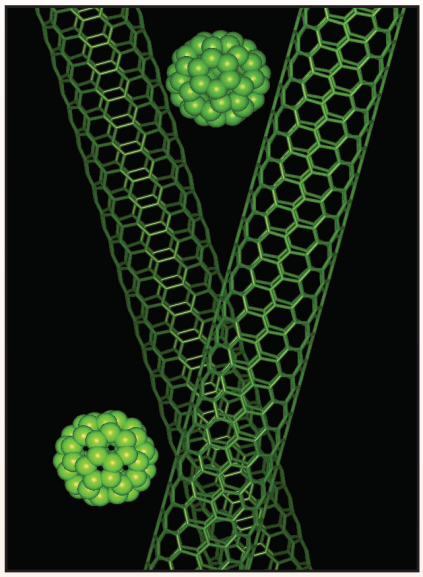
وقد بات من الواضح إمكانية تناول الطب الأحيائي بأسلوب جديد تماماً باستخدام تقنية النانو، حيث يحاول الباحثون إيجاد تطبيقات جديدة مثل تحرير المورث، وتهجين الحمض النووي،وإصلاح المورثات.

أثبتت بعض التقنيات فعالية في التطبيق بشكل غير متوقع، مما مكن الباحثين من استخدام نقاط الكم– وهي في الأساس بلورات شبه موصلة– في تطبيق الكشف عن فيروس المُخلاة التنفسي (Respiratory Syncytial Virus - RSV). وهو فيروس واسع الانتشار يصيب المسنين والأطفال تحت سن الخمس سنوات متسبباً في وفاة قرابة مليون فرد سنوياً. وتستغرق وسيلة الكشف الراهنة عن هذا الفيروس يومين إلى ثلاثة أيام. أما باستخدام نقاط الكم التي ترتبط بالبنية الجزيئية الخاصة بالفيروس، فقد أصبح من السهل الكشف عن الفيروس في وقت وجيز. وتعد فوائد هذه الوسيلة هائلة، لأنها ـ في الواقع ـ وسيلة أكثر دقة من الأساليب المعروفة السابقة، وهي تعطي الأطباء فرصة استخدام الأدوية المضادة للفيروسات في فترات مبكرة، وتقلل استخدام المضادات الحيوية غير الضرورية. ويدعي الباحثون العاملون على هذه الوسيلة أنها قد تكون إحدى أولى تطبيقات تقنية النانو في المجالات الطبية.

ومن المذهل أيضاً ما توصل إليه الباحثون عندما استخدموا أنابيب الكربون النانوية لتطويق العامل المغاير الشديد السمية لفلز الغادولينيوم المستخدم في التصوير بالرنين المغناطيسي، وذلك بهدف خفض سميته. فإذا بهم يكتشفون تحسن أداء التصوير بالرنين المغناطيسي على الأقل لأربعين ضعف. وقد علق البروفسور لون ويلسون على ذلك قائلاً: « في الواقع فاقت كل توقعاتنا، لدرجة أنه لا توجد أي نظرية اليوم لتفسير كيفية عملها» . وهذا مثال جيد يبين ما يمكن أن تحمله تقنية النانو من مفاجآت، كما يحمل إشارة ذات دلالة مهمة على ما يخفيه مستقبل هذه التقنية.

كما استخدمت أنابيب الكربون النانوية بطريقة أخرى للقضاء على الخلايا السرطانية،حيث وجد الباحثون طريقة لتكوين أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار التي لا تخترق سوى الخلايا المصابة بالسرطان. وتتميز هذه الأنابيب بخاصية فريدة وهي امتصاصها لموجات يتراوح طولها بين ١١٠٠–٧٠٠ نانو مير، وهي أطوال لا تؤثر على الكائنات الحية لشفافيتها، كذلك تمكن الباحثون من استعمال أشعة الليزر لتسخين الخلايا

● استخدام تقنية النانو في الطب الأحيائي.



● أنابيب الكربون النانوية.

السرطانية والقضاء عليها بشكل فعال دون المساس بالخلايا السليمة، وذلك بفضل قدرة الأنابيب النانوية على الامتصاص.

يمكن استعمال تقنية النانو لتعديل الوسائل المعتمدة في الطب الأحيائي لتحقيق أهداف محددة. وقد تكون هذه التعديلات في غاية البساطة، إلا أنها قد تحدث أثراً كبيراً، ففي حال الأنابيب الوعائية الدقيقة - تُستخدم في العادة في المجال الطبي الحيوي لمعالجة الأوعية الدموية المسدودة - استطاع عدد من الباحثين إجراء عملية توسيع الأوعية الدموية بإضافة «نتوءات نانوية» على جدران هذه الأنابيب التي عادة ما يتعرف الجسد عليها على أنها جسم غريب، مما يعيق التصاق الخلايا الغشائية بجدران هذه الأوعية، وهي مرحلة مهمة من مراحل شفاء المريض. ولكن باستخدام تقنية النانو لتكوين النتوءات النانوية على جدران الأنابيب النانوية، فقد تمكن الباحثون من زيادة عدد الخلايا الغشائية التي تلتصق بجدران الأنبوب، مؤكدين أنهم وجدوا بهذه الوسيلة عدداً من الخلايا الغشائية يساوي ثلاثة أضعاف ما يتم الحصول عليه باستخدام الأنابيب الوعائية البسيطة.

ومن أهم خصائص تقنية النانو - وربما أكثرها نفعاً للتطبيقات المتعلقة بالطب الأحيائي - القدرة على تصغير التقنيات لأحجام ملائمة. فعلى سبيل المثال، يمكن حمل أجهزة قياس الضغط التقليدية الشائعة اليوم، أو ابتلاع قرص رخيص يحتوي على أجهزة بمقياس النانو أو الميكرو لقياس ضغط الدم، وإرسال البيانات إلى جهاز استقبال لاسلكي لحاسوب مرتبط بشبكة لاسلكية.

إن تصغير الأجهزة العادية أو ما يطلق عليه البعض تسمية: «مختبر على رقاقة» من شأنه أن يخدم الطب الأحيائي، كما قد يتيح للمطّورين فرصة الإبداع في الأجهزة التي يقومون بابتكارها.

الجدير بالذكر أن تقنية النانو قد اخترقت بالفعل مجال الطب الأحيائي، لدرجة صدور سلسلة فصلية تعرف بتقارير بورن المتخصصة بتغطية جميع أوجه استخدام تقنية النانو والأنظمة الميكانيكية الميكروإلكترونية MEMS – وهما مجالان تقنيان وثيقا الارتباط – في مجال الطب الأحيائي. وكل هذا ليس سوى أولى قطرات الغيث القادم.

تحلية وترشيح المياه

يمثل توفر ماء نظيف وعذب خدمة مهمة لصحة الإنسان، وهو مجال صناعي بدأت تقنية النانو بترك بصماتها في تطويره. ونظراً لأن المملكة العربية السعودية تعد أحد أكبر المستثمرين في استخدام تقنية تحلية مياه البحر في العالم لافتقارها لموارد المياه العذبة الطبيعية فإن أي تقدم في التقنية الراهنة المكلفة من شأنه التأثير ليس فقط على المصالح الاقتصادية للبلد، وإنما على مصالح البلاد الاستراتيجية لتوفير مصدر مستمر من الماء العذب لأبنائها.

من المتوقع أن يكون لتقنية النانو دور مهم جداً في معالجة المياه، لاسيما وأن ٨٠٪ من الأمراض المعروفة في الوقت الراهن تنتقل عن طريق المياه. ونظراً لصغر حجم الجراثيم المسببة للأمراض، فإن أفضل وسيلة لمعالجتها هي تلك التي تعتمد على تقنية النانو، ولأجل ذلك قام بعض الباحثين بالعمل على صنع أصغر فرشاة في العالم، تكون أسنانها أرفع من شعرة الإنسان ألف مرة، وتستخدم في تطبيقات كثيرة، إحداها تنقية المياه. فمن شأن فرشاة بهذا الحجم صد الملوثات العالقة في الماء، بشكل لا يسمح سوى لجزيئات الماء النقية بالمرور.

● استخدام المرشح النانوي لتحلية وتنقية المياه.

من جهة أخرى، انضمت أنابيب الكربون النانوية إلى الخيارات المطروحة ضمن السعي لاستخدام تقنية النانو في تنقية المياه، لاسيما وأن هذه الأنابيب مجوفة وأقطارها صغيرة جداً بما لا يتسع لأكثر من ٧ قطرات من الماء داخلها، وهي الخاصية التي يأمل العلماء استثمارها في التطبيقات المتعلقة بتحلية مياه البحار. ومن شأن استخدام أنابيب النانو بدلاً من تقنية التناضح العكسي أن تخفض كلفة تحلية المياه بنسبة ٧٥٪، بالإضافة إلى كونها عملية سريعة.

تصنع الأنابيب الجاهزة لترشيح الماء بوضعها بشكل عمودي على رقاقة ، ثم تملئ الفراغات الكامنة بين هذه الأنابيب بنيتريد السيليكون لإعطائها دعامة، بحيث تكون النتيجة النهائية أشبه بغشاء ذي مسامات نانوية. ويكمن التحدي القادم في توفير هذه الأغشية بأحجام تجارية، والعمل جار بهذا الصدد.

كما يمكن استخدام تقنية النانو في تنقية المياه مع العمليات الراهنة، وذلك لإتمام مرحلة ما من العملية. فعلى سبيل المثال يقوم العلماء اليوم بالبحث عن تقنية جديدة تعرف بعملية التحفيز الضوئي النانوي بدلاً عن استخدام الكلور في المرحلة النهائية لمعالجة المياه المستعملة. وتعتمد هذه التقنية على استخدام أشعة الشمس والمحفزات الضوئية لتطهير الماء، دون طرح منتجات جانبية ضارة. وتعد هذه التقنية اقتصادية بالمقارنة مع استخدام الكلور المطبقة حالياً لكون هذه التقنية تقوم بدور مصدر الطاقة.

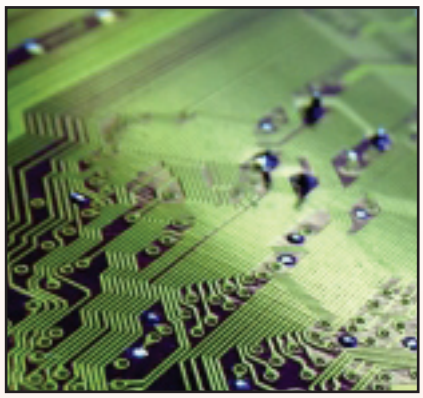
من جهة أخرى، يقوم مركز التقنية متناهية الصغر للأحياء والبيئة

Center for Biologicol & Enviro mental Nano technology - CBEN بتطوير المحفزات النانوية، والمحفزات النانوية الضوئية كطريقة لمعالجة وخفض الملوثات لمستويات متدنية جداً. ويحاول المركز إيجاد حل لقضية التلوث بالزرنيخ، باستخدام جسيمات نانوية لإزالة أنواع الزرنيخ التي لا يمكن التخلص منها بالمعالجة التحفيزية.

ومن المتوقع أن تطرح بعض هذه التقنيات النانوية لترشيح المياه في الأسواق العالمية في القريب العاجل، فقد ابتكرت مختبرات سيلدون ما يشبه عصا مائية تحتوي على غشاء مكون من أنابيب الكربون النانوية. ومن المتوقع أن يزيل هذا الغشاء النانوي البكتريا والفيروسات والرصاص والزرنيخ وغيرها من المواد الملوثة من أي مصدر مياه، باستثناء الماء المالح. حيث تقوم هذه العصا بامتصاص الماء مباشرة من خزان الماء، والحصول على ماء عذب دون استخدام الكهرباء أو الحرارة أو المواد الكيميائية، فضلاً عن كونها قادرة على ترشيح لتر واحد من الماء كل تسعين ثانية، ولازالت الجهود الجادة جارية للاستفادة من تقنية النانو في إنتاج واسع النطاق للمياه العذبة، حيث تشكل صناعة المياه العذبة ثالث أكبر صناعة، لا تتفوق عليها سوى صناعات النفط والكهرباء. ويقدر سوق المياه العذبة بحوالي ٢٨٧ بليون دولار.

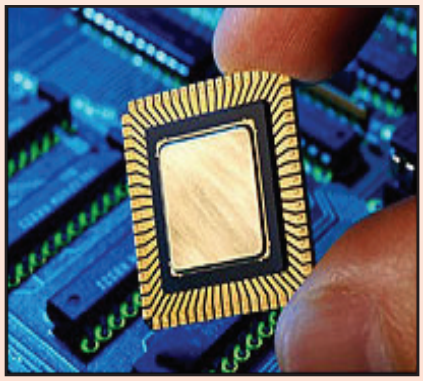
الإلكترونيات والفوتونات الإلكترونية

تعد هذه الصناعة القوة المحركة وراء تطوير المعدات المستخدمة اليوم في مجال تقنية النانو، والتي جعلت هذا المجال متاحاً لعدد أكبر من الناس.وقد أدت الجهود الحثيثة في مجال الإلكترونيات الرامية إلى إنتاج ترانزستورات أكثر صغراً، إلى زيادة الحاجة إلى تقنية النانو، ولاشك أن أكثر المجالات تأثراً بثورة تقنية النانو هو مجال الإلكترونيات.



● استخدام تقنية النانو في الإلكترونيات.

توظف تقنية النانو المعارف الراسخة بخصوص مادة ما في اتجاه جديد وغير متوقع ، فمثلاً يعرف أن الحديد مادة تتسم بالقوة، والزجاج مادة تتسم بالشفافية، بينما في تقنية النانو فإن هذه الخواص المتعارف عليها يمكن تغيرها، وقد استغل الباحثون في هذا المجال تميز هذه التقنية، فلطالما اعتُبر السليكون مادة شبه موصلة، أي أنه كما توحي هذه التسمية، ليس موصلاً جيداً. لكن الأمر يختلف تماماً عند تناول هذه المادة على مقياس النانو، فقد اكتشف العلماء أن طبقات السليكون الرقيقة بسماكة ١٠٠ نانومتر الفائقة النظافة والنعومة، قادرة على توصيل الكهرباء كأي موصل آخر. وهذه ليست سمة خاصة بالسليكون، وإنما تنطبق على جميع أشباه الموصلات الرقيقة. فعندما تكون طبقتها العلوية عالية النقاوة والصقل فإن سطحها سيظهر قدرة جيدة لتوصيل



● رقاقة نانوية من البلاتين تستخدم في صناعة الترانزستور.

الكهرباء. وما قام به العلماء هو إزالة طبقة أكسيد السليكون الرقيقة التي تتكون فوق السليكون دون إلحاق أي ضرر بالسليكون، ثم قاموا بترسيب طبقات إضافية، فكانت النتيجة النهائية عبارة عن سطح أملس ونظيف جداً من السليكون الموصل.

وقد عُرف عن السليكون أنه يمثل مادة غير مناسبة لإصدار إشعاعات منتظمة، مثل: الليزر نظراً لبنيته البلورية. لكن باستخدام تقنية النانو، فقد وجد الباحثون أنهم بحفر مليارات الثقوب النانوية من مادة السليكون، يستطيعون إعادة ترتيب تركيبه بحيث يصبح من الممكن لها إصدار أشعة الليزر. إن هذا الاكتشاف يبقى بالغ الأهمية لأن أشعة الليزر السليكونية تمهد الطريق لإمكانية دمج الليزر مع الأجهزة الإلكترونية في رقاقة سليكون واحدة، مما يعتبر في حال تحققه إنجازاً رائعاً، من شأنه خفض التكلفة الصناعية إلى حد بعيد.

كما استطاع فريق بحث علمي بجامعة هارفارد استخدام أسلاك الجرمينيوم السليكونية النانوية في تصميم نوع جديد من ترانزستورات تحت تأثير المجال المغناطيسي(FET) وهم يزعمون أنها أفضل بثلاث إلى أربع مرات من ترانسيستورات السليكون من نوع (CMOS)، وهم يأملون أن تحل تقنيتهم محلها مستقبلا.

كما استُخدمت أسلاك النانو لتصميم الصمامات الثنائية الباعثة للضوء (LED) الواسعة المجال.والنتائج واعدة جداً حتى الآن، ويمكن النظر فيها مستقبلاً لمختلف التطبيقات مثل أشعة الليزر.

وبعيداً عن الأسلاك النانوية، فقد أوجدت أنابيب النانو العديد من التطبيقات في صناعة الإلكترونيات، وما تزال هناك تطبيقات جديدة تتوارد مع تقدم هذه التقنية. مثل تصميم وتطوير القواطع الكهربائية

من حيث الحجم وسرعة العمل اعتماداً على أنابيب النانو. والتي من شأنها أن تحل محل رقاقة الصمامات.

من جانب آخر استُخدمت أنابيب الكربون النانوية لإدخال تعديلات على الصمام ثنائي القطبية العضوية الباعثة للضوء (OLED) التي تستخدم عادة إنديوم أكسيد القصدير كأكسيد موصل شفاف. حيث يسعى الباحثون لاستبدال طبقة الأكسيد هذه بأنابيب الكربون النانوية، وهي تقدم في الواقع أداءاً ينافس أداء الصمامات. كما سيكون للأنابيب النانوية دور في صناعة الذاكرة للإمكانات الهائلة الكامنة في أنابيب النانو لكونها سهلة التعديل، ولما لها من خواص كهربائية وحرارية وميكانيكية فريدة جداً. هذا وقد بدأ العلماء باستخدام البرامج الحاسوبية بشكل مكثف لمحاكاة الآثار المختلفة الناجمة عن معالجة هذه الأنابيب . وقد تُغير أساليب تقنية النانو أشعة الليزر التي تعد جزءاً ضرورياً من قطاع الاتصالات الضوئية.

ومن المقرر أن يحقق مجال الإلكترونيات فكرة «مختبر على رقاقة»، بمعنى تصغير أنواع التقنية حتى يصبح من الممكن دمجها جميعاً في رقاقة صغيرة، ومما لاشك فيه أن للإلكترونيات دوراً كبيراً في تحقيق هذه الفكرة.

وعند النظر بشكل مجمل إلى توجهات تقنية النانو في تطبيقاتها لمجال الإلكترونيات، فإنه يمكن للمرء أن يدرك بسهولة أن يصل التصغير يوماً ما إلى مستوى الجزيئات نفسها التي تتشكل منها المادة ، فهذه الأدوات،تتكون أساساً من جزيئات بغض النظر عن صغر أحجامها، ويجب على المرء ألا ينسى أموراً مثل: كون عرض أنابيب الكربون النانوية يساوي نحو خمسة جزيئات. وهذا يعني أنه يتم الاقتراب وبشكل سريع من مقياس الجزيء،وبذلك فلا عجب إذا أحرز العلماء تقدماً في هذا الاتجاه، ونجحوا في صنع أدوات من هذا المقياس في مجال الإلكترونيات الجزيئية.

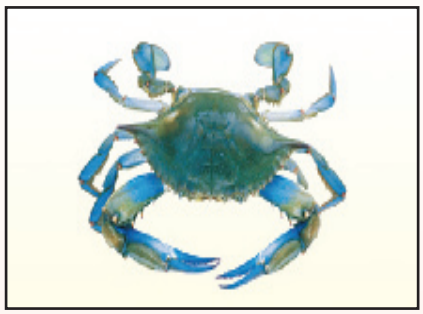
لقد تم صنع مفتاح كهربائي أحادي الجزيء على مقياس الجزيء، وذلك بزراعة جزيء ذي ثنائية قطبية كبيرة على قاعدة من ذهب. وقد صممت ثنائية القطب هذه خصيصاً لأن تكون إما إيجابية أو سلبية بطرف منتصب إلى الأعلى، وآخر منغمس في قاعدة الذهب. وفي أنواع أخرى من التقنية المثيرة للاهتمام التي تستخدم تقنية النانو في صناعة الإلكترونيات، قام الباحثون بتطوير إلكترونيات مرنة أطلقوا عليها اسم الجلود النانوية. يمكن استخدامها للأدوات الإلكترونية والمجسات.

تطبيقات أخرى

هناك تطبيقات أخرى لتقنية النانو في العديد من المجالات مثل علم الفضاء، حيث تستخدم لتطوير مواد قوية وخفيفة الوزن ومتعددة الاستعمالات لتعزيز أداء وخفض التكاليف التشغيلية للطائرات والمراكب الفضائية. كما تستخدم لإنتاج إلكترونيات أكثر سرعة على الرغم من كونها مضغوطة بشكل أكبر، من شأنها أن تمكن مركبات هوائية آلية وموجهة ذاتياً دون وجود بشري من الاستطلاع والمراقبة

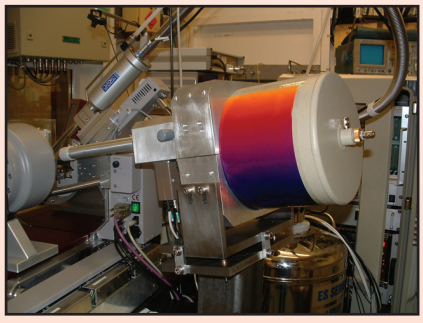
كما تستخدم تقنية النانو كذلك في إنتاج

● استخدام تقنية النانو في المركبات الفضائية.



● مجس نانوي للكشف عن المخاطر المختلفة.

ومعالجة وحفظ المنتجات الغذائية بشكل آمن. أما في الزراعة فتستخدم تقنية النانو في تعزيز الإنتاجية، مثل الزيوليتات ذات المسامات النانوية للإطلاق البطيء ولضخ الجرعات الفعالة من الماء والمواد المخصبة للزرع، ومن الغذاء والدواء للمواشي، والمجسات النانوية لمراقبة جودة التربة وسلامة المزروعات والمغناطيسات النانوية لإزالة ملوثات التربة. كما تستخدم تقنية النانو لتطوير أنظمة الدفاع والأمن القومي أكثر سرعة وقدرة، بما يسمح بالسيطرة على التحكم والاتصالات والمراقبة والاستطلاع والمعلومات. ويمكن استعمالها أيضاً في تطوير كاشفات المواد الكيميائية والحيوية والإشعاعية والمتفجرات،أما بالنسبة لتطبيقات البنية التحتية المدنية والنقل، فإن تقنية النانو توظف لتطوير مواد بناء ذات جودة وأداء عالي يفوق بكثير المنتجات المطروحة في الأسواق حالياً، وكذلك أنظمة آلية من شأنها الحد بشكل كبير من الحوادث،، فضلاً عن استعمالها في تطوير وسائل نقل فعالة باستخدام مواد ذات أداء أفضل.



● استخدام تقنية النانو في الكواشف الإشعاعية.