

علم النانو Nanoscience

(١,١) مقدمة

Introduction

لقد اعتقدنا أنه لم يكن بالإمكان أن ننهي هذا الكتاب بدون نظرة موجزة على الموضوع الساخن الأحدث. المقطع المستخدم على لسان كل فرد Nano نانو- كما في علوم النانو، تكنولوجيا النانو، تراكيب نانو، بلورات نانو... إلخ. في المحاضرة المشهورة في عام 1959 تحت عنوان *There's plenty of Room at the Bottom*، هناك وفرة من الحيز عند القاع" قال الفيزيائي ريتشارد فينمان Richard Feynman الحائز على جائزة نوبل في الفيزياء "إن مبادئ الفيزياء، كما يمكن أن أشاهد بقدر الإمكان لا تتحدث ضد احتمالية مناورة الأشياء ذرة بذرة وهذه هي العقدة التي يحاول العلماء الآن فكها. يكون الهدف الرئيس الوصول إلى القمة في كيمياء التصميم: أن نكون قادرين على تجميع جزيء أو مادة صلبة ذرة بذرة. بدأ الحلم يتحقق حالياً وبعض من هذه العلوم إن لم يكن الكل يقع في نطاق كيمياء الحالة الصلبة.

في عام 1905 قام أينشتين بقياس حجم جزيء السكر كجزء من رسالة الدكتوراه باستخدام تقنيات الانتشار وقد وجد أنه حوالي 1 nm في القطر. ذرة الهيدروجين حوالي 0.1 nm في القطر. هكذا عندما يفكر الكيميائيون في نطاق النانومتر فإنهم يفكرون على القياس الذري أو الجزيئي الذي تعودنا على استخدامه. لهذا، ما هو الفرق بين علم النانو وتكنولوجيا النانو وبين ما قد فعله الكيميائيون؟ دائماً للبحث الحالي محوران، الأول هو أن نفحص ونستغل خواص دقائق صغيرة جداً، التي وجد أنها تختلف اختلافاً كبيراً في خواصها عن المادة الصلبة الكتلية. يكون للكيميائيين هنا قواعد في تشييد هذه الدقائق، فحص خواصها وتطوير طرق جديدة لها: إنها تعطى الموضوعات مثل أنابيب النانو، الطلاء، سبائك جديدة، مركبات، دقائق لشاشات شمسية، حفازات، غرويات

ونقاط كمية على سبيل الذكر. الثاني هو أن نكون قادرين على معالجة أو تصنيع أشياء بدقة شديدة على مقياس النانومتر. بعض التقنيات والطرق مثل الطباعة الحجرية التصويرية لطباعة شرائح السليكون يطلق عليها طرق قمة- قاع top-down processes بسبب أنها النقش أو التنميش لتراكيب بحجم النانو؛ تكون هذه معتمدة بشكل واضح في التكنولوجيا رغم أن العمليات تكون غالباً كيميائية. إن بناء التراكيب، خواص التجميع الذاتي والمعالجة المباشرة للذرات في تراكيب نانو يطلق عليها طرق أسفل- أعلى، تقع مرة أخرى في نطاق الكيمياء.

يكون لدقائق النانو عادة على الأقل بعد واحد أقل من 100 nm، رغم أن هذا ليس تعريفاً جامداً ويمكن لأبعاد بعدة مئات من النانومتر أن تقع بداخل هذا البحث. يكون لمثل تلك الدقائق نسبة مساحة سطح إلى حجم أكبر من الدقائق الأكبر، تؤثر على الطريقة التي تتفاعل بها مع بعضها البعض ومع المواد الأخرى. يكون لجسيم نانو بقطر 10 nm حوالي 15% من الذرات على السطح بالمقارنة يقل هذا إلى 1% للمادة الصلبة الكتلية. بسبب أن دقيقة النانو ربما تتكون فقط من بضع ذرات، فإن مستويات الطاقة المتلازمة مع المواد الصلبة الممتدة، مثل النطاقات في الفلزات، لم تعد قابلة للتطبيق وتكون مستويات الطاقة الإلكترونية أكثر مشابهة للمستويات الكمية أو المكتملة الموجودة في الذرات المنفردة، يؤثر هذا على توصيلها والطريقة التي تتداخل بها مع الضوء وصور الطاقة الأخرى.

لسوء الحظ بسبب أن كلمة nano أصبحت إلى حد ما كلمة شائعة الاستعمال وتجذب في الوقت الحاضر كثيراً من الدعم المالي البحثي، فإن الحد أصبح مستخدماً بشكل عام لتغطية نطاق ضخم من الموضوعات والتقنيات للتفاعل مع أي شيء يكون صغيراً، ويكون من الصعب أن نفصل ما هو المهم. لقد أتت الجمعية الملكية بتعريفي عمل:

علم النانو Nanoscience: وهو دراسة الظواهر ومعالجة المواد. على النطاق الذري، الجزيئي، ونطاق الجزيئات الضخمة، حيث تختلف الخواص بشكل مميز عن تلك للمقاييس الأكبر.

تكنولوجيا النانو Nanotechnology: وهو إنتاج وتطبيق التراكيب، الأدوات والأنظمة للتحكم في الشكل والحجم على نطاق النانومتر.

بتركيز كثير من البحث على المساحة عضوية/ عضوية حيوية وتشمل استخدام طرق التجميع- الذاتي لبناء جزيئات كبيرة بخواص معينة مثل الآلات الجزيئية. لن نناقش هذا النوع من العمل هنا، لكن سوف نركز من

القطاعات التالية على المناطق التي لها علاقة بكيمياء الحالة الصلبة. سوف ندرس أولاً التأثيرات الفيزيائية والإلكترونية لمقياس النانو، ومن ثم ناقش أمثلة قد تكون مفيدة. لكي نحضر بعض ما هو ضروري للمناقشة، فقد قمنا بتقسيم الأمثلة إلى مجموعات لنظام في بعد واحد (1-D)، بعدين (2-D) وثلاثة أبعاد (3-D). أخيراً ننظر إلى مجهرية القوة الذرية، التقنية المغطاة في الفصل الثاني والتي يمكن أن تستخدم أيضاً لتحريك الذرات بشكل منفرد هنا وهناك، وبالتالي يكون له احتمالية بناء تراكيب ذرية و جزيئية من أسفل - أعلى.

(١١,٢) نتائج مقياس النانو

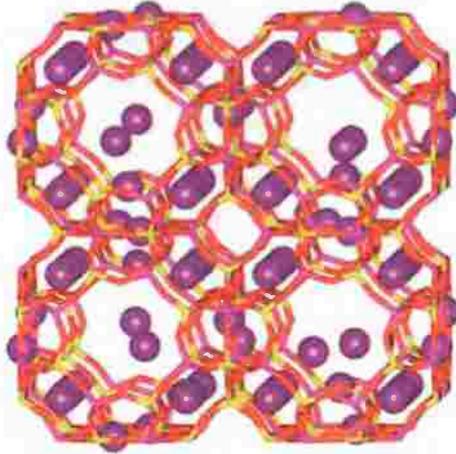
Consequences of the Nanoscale

إن خواص المواد على مقياس النانو قد تكون مختلفة تماماً عن تلك التي للمادة الكتلية. على سبيل المثال، قد تنصهر الدقائق الصغيرة عند درجات حرارة أقل بكثير من الكتلية وتكون أشد قساوة: إن حبيبات نحاس 6 nm تكون أكثر قساوة بخمس مرات مثل النحاس الكتلتي.

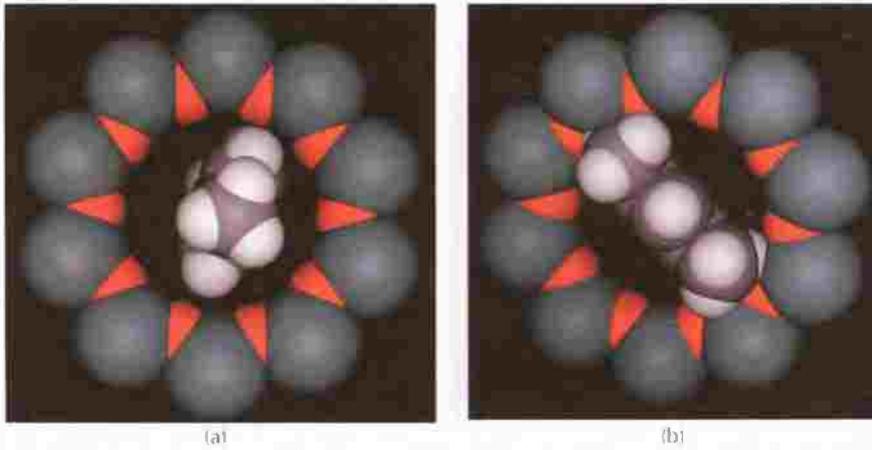
(١١,٢,١) مورفولوجية دقيقة النانو Nanoparticle Morphology

تعني نسبة السطح - إلى الحجم المرتفعة في تراكيب النانو أن التركيب البلوري للنانو يتحدد عن طريق توازن بين الحدود الكتلية مثل طاقة شبكية، طاقة سطح، والحدود التي تعود إلى الأخطاء (مثل الانخلاعات) حيث تصبح كل هذه الحدود الآن مهمة. قد يؤدي هذا إلى تراكيب بلورية مثل أغشية رقيقة من نحاس bcc، مقارنة مع التركيب الكتلتي العادي ccp.

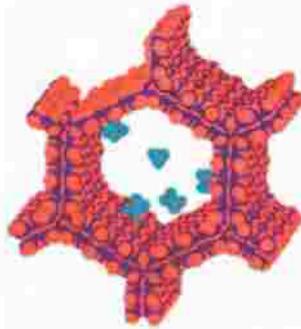
يكون لأشباه الموصلات II-VI مثل CdSe و CdS عادة تركيب ورتزيت (انظر الفصل الأول) حيث يكون كل عنصر متناسق رباعياً. تحت ضغوط عالية (2 GPa)، يتحول هذا إلى تركيب التناسق-6 NaCl (ملح الصخر). من ناحية ثانية، لو تم تطبيق ضغط على بلورة CdSe بحجم النانو بحوالي 4 nm في القطر، فإنها تأخذ الآن ضغطاً أكثر بكثير حوالي 6 GPa لكي تتحول إلى تركيب ملح الصخر. من المعتقد أن هذا ربما يكون نوعاً من المقاومة للتعرض للمستويات البلورية ذات الترميز العالي في البلورات الجديدة المتكونة بحجم النانو والتي لن يكون لها مورفولوجية ثابتة من الناحية الثرموديناميكية.



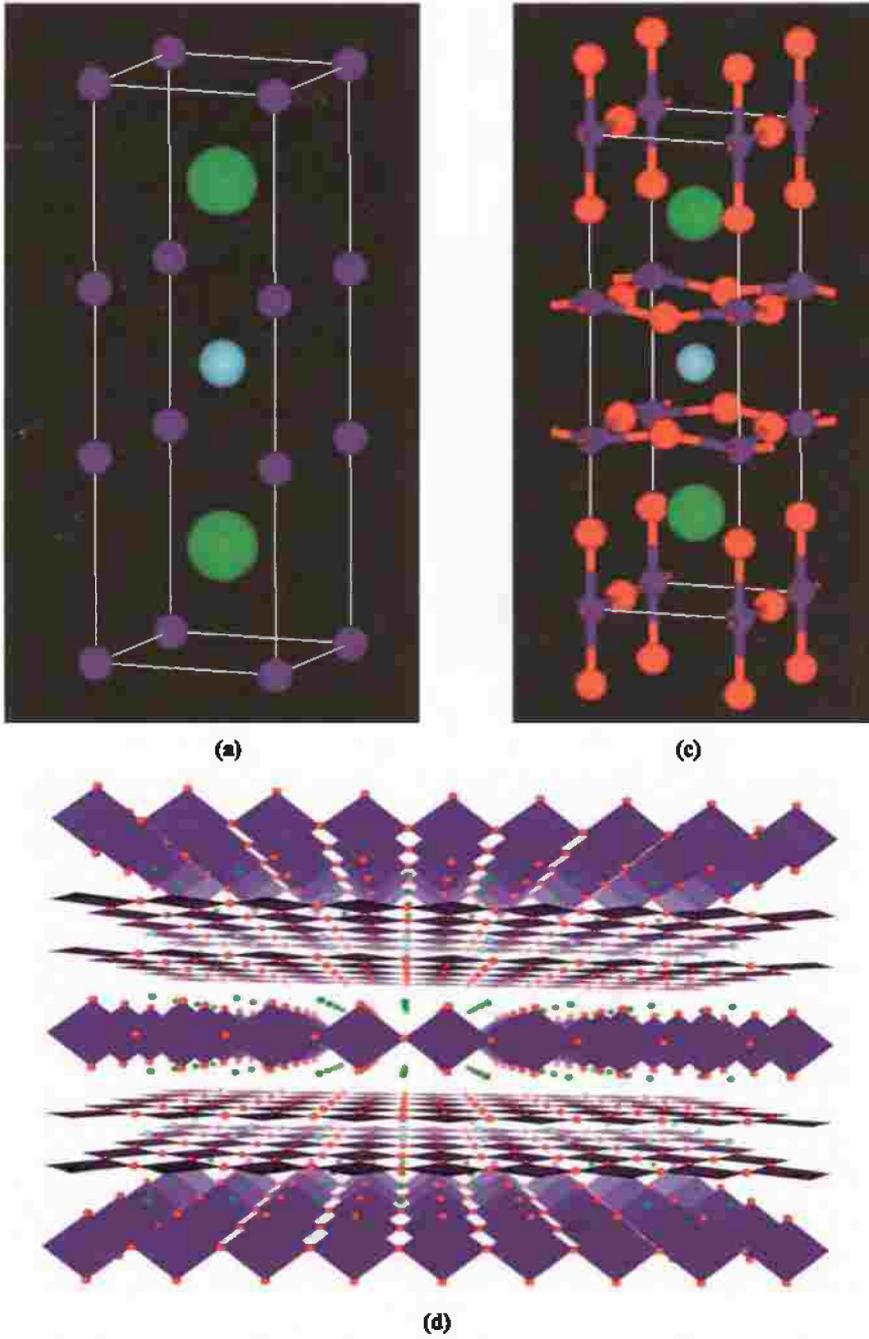
الشكل رقم (٧,٨). إطار ومواضع كاتيونية من الشكل Na^+ من الزيوليت A(LTA). (Courtesy of Dr. Robert Bell, Royal Institution) (of Great Britain, London).



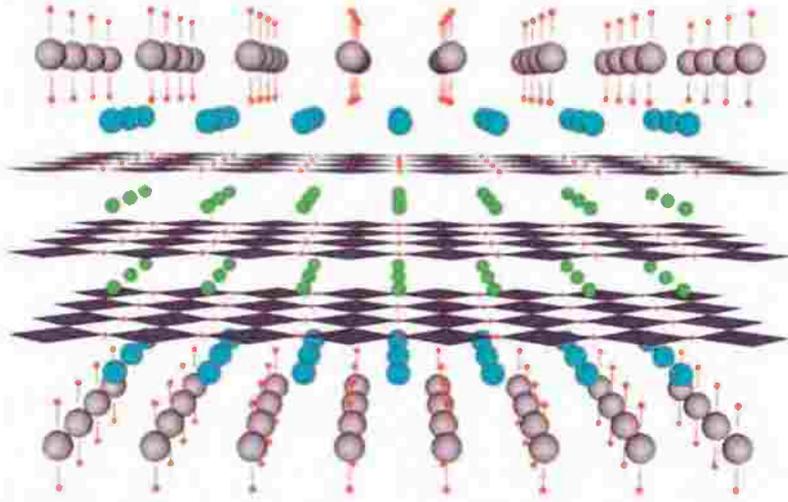
الشكل رقم (٧,٢٠). نماذج بالحاسوب توضح كيف (a) يتلاءم البار-زيلين تماماً في مسام ZSM-5 (b) يكون الميتا-زيلين كبيراً جداً للانتشار.



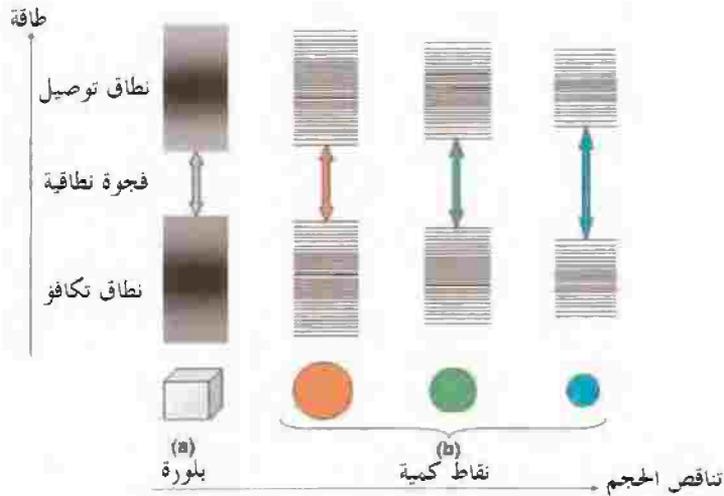
الشكل رقم (٧,٢١). (b) رسم بالحاسوب لجزيئات الإيثان والميثان بداخل واحد من المسام السداسية لـ MCM-41.



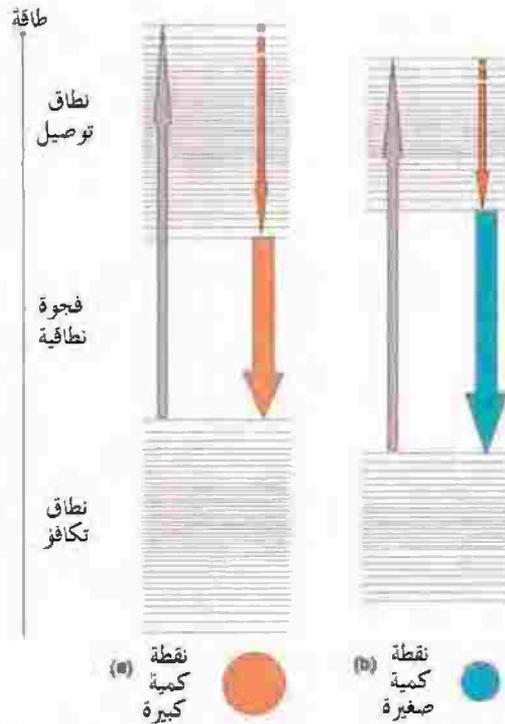
الشكل رقم (٨، ١٠). التركيب 1-2-3 (a) مواضع الفلز (c) تركيب $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ مثالي و (d) التركيب الممتد من $YBa_2Cu_3O_7$ واصفاً مستويات النحاس-الأكسجين بينها. مفتاح: Cu أزرق؛ Ba أخضر؛ Y مائي و O أحمر.



الشكل رقم (١٠،٩). تركيب $HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$ واصفاً معينات نحاس أكسجين بين طبقات Ca وطبقات نحاس أكسجين مكوناً قواعد الأهرامات. تكون قمم الأهرامات في طبقات باريوم أكسجين. في الموصل فائق التوصيل $Hg_{0.8}Tl_{0.2}Ba_2Ca_2Cu_3O_{8+0.33}$ يكون خمس أيونات Hg^{2+} مستبدلة بأيونات Tl^{3+} وتوجد أيونات أكسجين إضافية في طبقة الزيتق. مفتاح: Cu رمادي؛ Ca أحمر؛ Ba أزرق؛ Hg/Tl أخضر و O مائي.



الشكل رقم (١١،٢). فجوة نطاقية لشبه موصل تعتمد على حجمها.

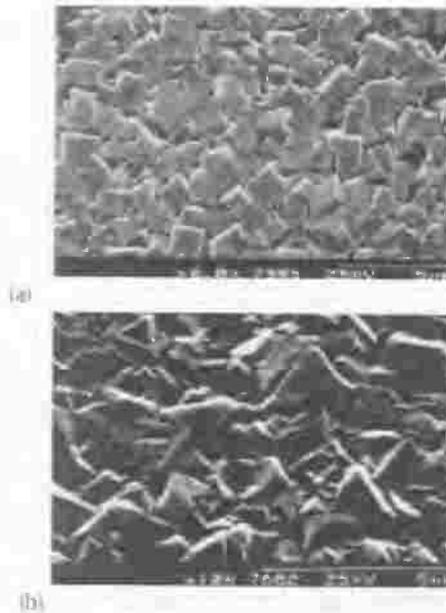


الشكل رقم (١١،٧). لون الفلورة من دقيقة بحجم النانو تعتمد على أبعادها.

إن تغيير ظروف ترسيب غشاء في CVD يمكنه أن يغير مورفولوجية بلورات النانو المتكونة؛ تبين الشكل رقم (١١،١) (a) والشكل رقم (١١،١) (b) بلورات ألماس بحجم النانو في أغشية الألماس النامية مع وجهي 111 (ثماني)، و 100 (مكعبي). أن التقنيات لإنتاج مورفولوجيات معينة يمكن أن يكون مهماً جداً في إنتاج حفازات بسبب أن أوجه بلورية مختلفة بإمكانها أن تحفز تفاعلات خاصة جداً.

يمكن عمل عديد من مواد النانو في أشكال مختلفة. نحن على بينة بالكربون على سبيل المثال، الذي بإمكانه أن يتواجد كأغشية ألماس، كربون أسود، فوليرينات وأنابيب نانو عديدة أو أحادية الجدار. يمكن عمل MoS_2 على هيئة أنابيب نانو "بصليات" Oninos (تراكيب نمط فوليرين عديدة الجدار)، وأغشية رقيقة.

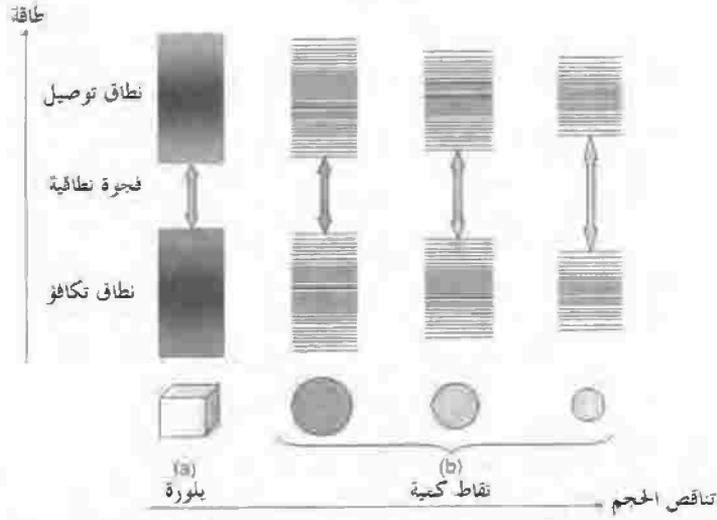
إن وسائل وظروف تصنيع تركيب النانو تكون محورية، كما سوف نشاهد باعتبار الخواص بدقة على حجم وشكل الدقيقة الناتجة. من ناحية ثانية، تكون تقنيات التشييد المستخدمة خاصة جداً لكل نظام بحيث تكون موضوعاً مستقلاً في حد ذاته ولكننا لن نتعرض إليها هنا.



الشكل رقم (١١,١). صور SEM لـ (a) غشاء معيني تم إنشاؤه مع الميثان، الهيدروجين و 0.2% PH₃، مظهراً السطوحات المربعة (100) و (b) غشاء معيني تم إنشاؤه عند درجة حرارة منخفضة للركيزة- تصبح البلورة الآن بشكل سائد بسطوحات ثلاثية (111). (Courtesy of Dr. P.D. May and Professor M.N.R. Ashfold, Bristol University).

(١١,٢,٢) تركيب إلكتروني Electronic Structure

ناقشنا في الفصل الرابع كيف يمكن لمستويات الطاقة في البلورة أن يتم الحصول عليها بالتفكير في البلورة على أنها جزيء كبير. للحفازات بأبعاد الميكرومتر، على سبيل المثال، يكون عدد مستويات الطاقة كبيراً جداً أو تكون الفجوة بينهما بحيث يمكن معاملتها كمواد صلبة دقيقة جداً بنطاقات متصلة من طاقة مسموح بها. على نطاق النانومتر مازال بالإمكان أن نفكر في الدقائق على أنها جزيئات ضخمة، لكن تحتوي دقيقة النانو من 10^2 - 10^4 ذرة، كبير جداً للجزيء ولكن ليس كبيراً بالدرجة الكافية لعمل مادة صلبة لانهائية تقريب جيد. تكون النتيجة هي أنه في دقائق النانو مازال بالإمكان أن نميز نطاقات طاقة، لكن قد تختلف الفجوات بين النطاقات عن تلك الموجودة في بلورات أكبر وخلال النطاقات لا تكون مستويات الطاقة متصلة بحيث يمكننا ملاحظة التأثيرات الراجعة إلى الطبيعة الكمية للمستويات داخل النطاقات. يوضح الشكل رقم (١١,٢) البلورات بحجم النانو من شبه موصل (نقاط كمية).

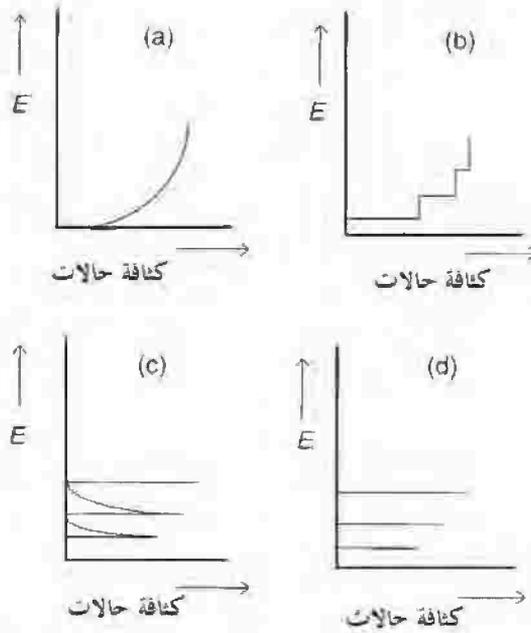


الشكل رقم (١١،٢). فجوة نطاقية لشبه موصل تعتمد على حجمها. شاهد إدراج اللون صفحة 552.

يصف الشكل رقم (١١،٢) (a) مخطط النطاق لشبه موصل. تشد إلكترونات الترابط في نطاق تكافؤ منخفض مكون من مجموعة متصلة من مستويات طاقة عديدة ويمكن للإلكترونين أن يشغلا كل مستوى طاقة. توضح الكثافة المدارية لمخططات الحالات أنه بصفة عامة، توجد كثافة حالات منخفضة أعلى وأسفل النطاق وتوجد كثافة حالات أعلى في المنتصف (المشار إليها بالتظليل). فوق نطاق التكافؤ عند طاقات أعلى يوجد نطاق توصيل، وعند الفاصل بين الاثنين نشاهد فجوة نطاقية يمكن أن تتغير في الحجم. لو ارتفعت الإلكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل الفارغ بإمداد طاقة كافية لها لكي تقفز أو تعبر عن الفجوة النطاقية (بالحرارة أو الضوء، على سبيل المثال) من ثم تكون المادة الصلبة موصلة.

كلما أصبحت بلورة شبه الموصل أصغر، يكون هناك عدد أقل من المدارات الذرية متاحاً للإسهام في النطاقات. يتم إزالة المدارات من كل حواف النطاق (انظر الفصل الرابع، الشكل رقم ٤،٦) حتى نقطة تكون عندها البلورة صغيرة جداً "نقطة" - لا تصبح النطاقات سلسلة متصلة من المدارات، لكن مستويات طاقة مدارية مكممة منفردة (الشكل رقم ١١،٢ (b))، هكذا يكون الاسم نقاط كمية. في نفس الوقت يمكنك مشاهدة أن هذا كان له تأثير في زيادة الفجوة النطاقية. كلما استمر حجم البلورة في التقلص، بالمثل يقل عدد مستويات الطاقة المدارية وتزيد الفجوة النطاقية. كلما تناقص حجم دقائق النانو لمعظم أشباه الموصلات تزيد الفجوة النطاقية. تكون الفجوة النطاقية في بلورات CdSe على سبيل المثال حوالي 1.8 eV للبلورات بقطر 11.5 nm ولكن تكون تقريبا 3 eV للبلورات بقطر 1.2 nm.

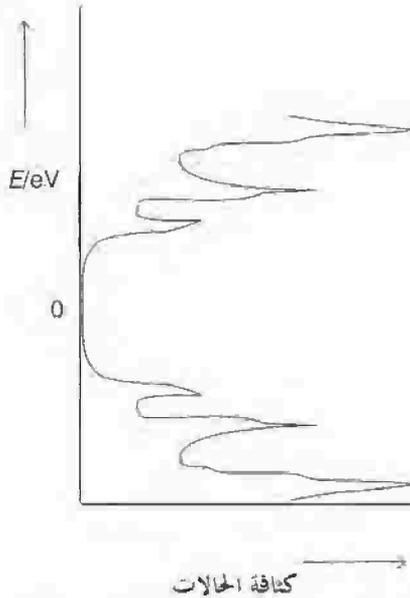
تكون النقاط الكمية على مقياس النانو في ثلاثة أبعاد، لكن تظهر التراكيب التي تكون فقط على مقياس النانو متر في بعدين (أسلاك كمية) أو بعد واحد (أحواض كمية أو أغشية) خواص مثيرة. يصف الشكل رقم (١١,٣) تخطيطاً لكثافة الحالات النظرية لمادة كتلية، أحواض كمية، أسلاك كمية ونقاط كمية.



الشكل رقم (١١,٣). مخططات كثافة حالات نظرية لـ (a) مادة كتلية (b) حوض كمي (c) سلك كمي (d) نقطة كمية.

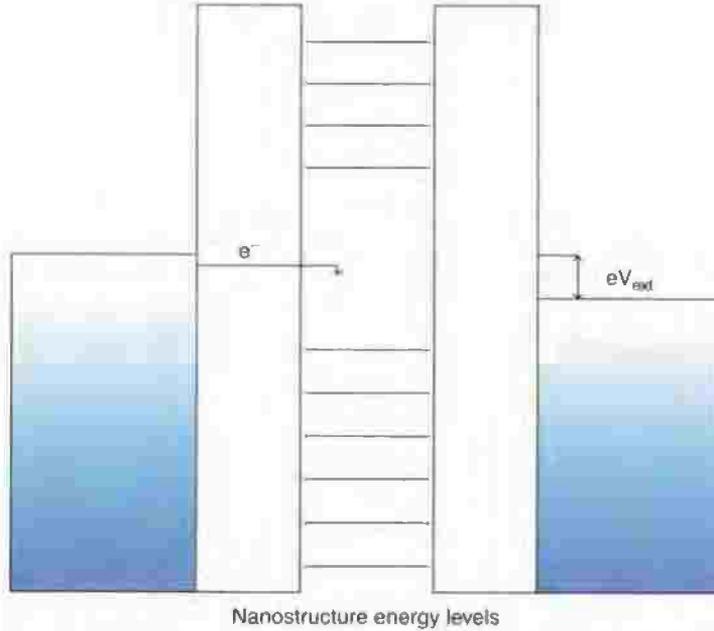
يمثل الشكل رقم (١١,٤) كثافة الحالات لمثال خاص: أنبوب نانو من شبة موصل. من المتوقع لكثافة الحالات لأنابيب النانو من الكربون أن تظهر قمم حادة (تعرف على أنها فرديات فان هوف Van Hove) مقابلة لمستويات طاقة محددة. يمكن مشاهدة هذه في الشكل وقد تم إثباتها بتجارب مجهرية التنفق الماسح (STM scanning tunnel microscopy) في الشكل رقم (١١,٤) توجد فجوة بكثافة صفر حول طاقة فرمي ($E = 0$ على الشكل). لقد ربطنا هذه الفجوة النطاقية بأشباه الموصلات. لأنابيب النانو من الكربون شبه الموصل تزيد الفجوة النطاقية بصفة عامة مع تناقص القطر، لكن لبعض تراكيب من أنبوب النانو تصبح الفجوة النطاقية صفراً وتكون أنابيب النانو من ثم موصلات فلزية مشابهة للجرافيت.

تعتمد الموصلية الكهربائية في المواد الصلبة (مفضلاً عن موصلات أيونية) على إمكانية تقارب المدارات اللامركزية في الطاقة بالدرجة الكافية لعمل نطاقات.



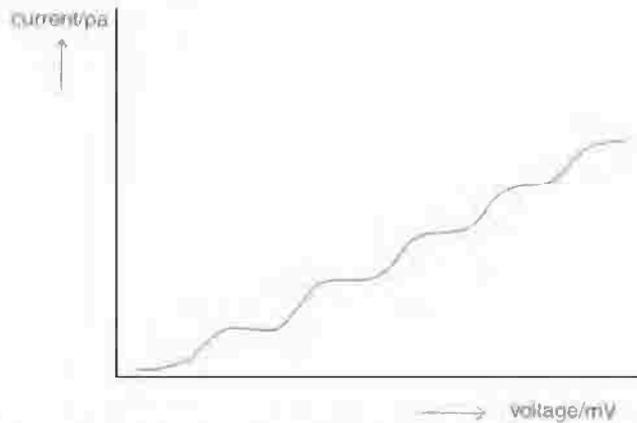
الشكل رقم (١١،٤). كثافة الحالات لأنبوب نانو شبه موصل.

عندما يكون لدينا تراكيب على مقياس النانو حيث لا تكون المستويات عند قمم النطاقات المشغولة متقاربة في الطاقة كما سوف نرى، إن هذا يمكنه أن يؤثر على التوصيل. عند ظروف معينة يكون التوصيل الكهربائي خلال تركيب نانو مكملاً ويزيد بطريقة منهجية مع تزايد الجهد. وتشق الإلكترونات نفقاً في التركيب وتملأ المستويات الأدنى الفارغة المكتملة حتى تكون كل المستويات دون المستوى الممتلئ الأعلى ممتلئة (الشكل رقم ١١،٥). لو أن الطاقة الحرارية تكون غير كافية لعودة الإلكترونات إلى مستوى الطاقات المنفردة التالي، من ثم لا يكون هناك إلكترونات أكثر يمكنها أن تشق نفقاً للدخول. هكذا تهبط الموصلية حتى يزداد الجهد إلى قيمة V بحيث تكون المادة الطاقة $e \times V$ كافية لرفع طاقة الإلكترونات في المادة الصلبة المجاورة بحيث يمكنها أن تصل إلى مستوى الطاقة التالي، عندما يزداد التيار مرة ثانية. يصف الشكل رقم (١١،٦) على سبيل المثال، زيادة التوصيل مع جهد البوابة على طول سلك كمي يربط اثنين من الأسطح البينية GaAs/AlGaAs في ترانزستور.



Nanostructure energy levels

الشكل رقم (١١,٥). إلكترونات تملأ المستويات الكمية الفارغة الأخفض حتى تكون كل المستويات أسفل المستوى الممتلئ الأعلى الذي يوفر الإلكترونات ممتلئة.

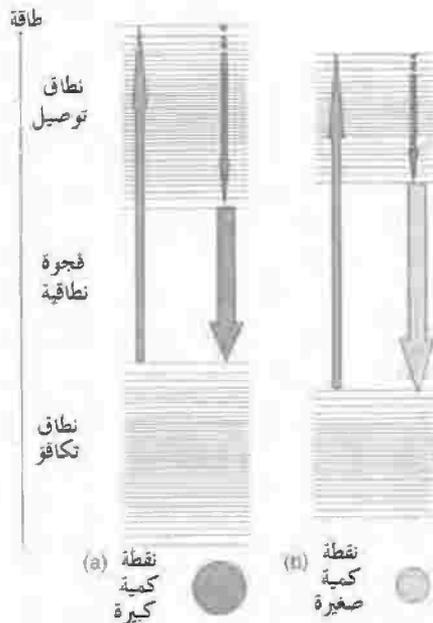


الشكل رقم (١١,٦). زيادة التوصيل مع جهد بوابة على طول سلك كمي يصل سطحي التلامس Ga/As/AlGaAs في ترانزستور.

(١١,٢,٣) خواص بصرية Optical Properties

يدرس هذا القطاع نوعين من تداخل الضوء مع تراكيب النانو. الفروق عن الخواص البصرية للمواد الصلبة الكتلية التي تنشأ بسبب مستويات الطاقة المختلفة لتراكيب النانو والتغيرات في خواص التشتت.

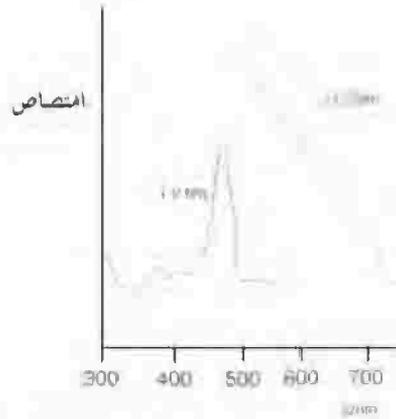
يوضح القطاع الأخير أن فجوات شبه الموصل النطاقية لتراكيب النانو تتغير بتغير حجم التراكيب. لهذا سوف يتغير أيضاً الطول الموجي للضوء المنبعث عندما يعود إلكترون من نطاق التوصيل إلى نطاق التكافؤ. هكذا يمكن الحصول على انبعاث فلوري مختلف اللون من دقائق مختلفة الحجم من نفس المادة (تثبت النقاط الكمية مختلفة الحجم من CdSe المشععة بـ UV ضوءاً مختلف الألوان). لكي ننتج ضوءاً فلورياً يتم إسقاط ضوء بطاقة فوتون أعلى من الفجوة النطاقية على بلورة النانو. يتم إثارة الإلكترون إلى مستوى في نطاق التوصيل حيث يصل منه إلى مستوى الطاقة الأقل في نطاق التوصيل خلال سلسلة من الخطوات بفقد الطاقة على هيئة حرارة. من ثم يعود الإلكترون إلى نطاق التكافؤ، باعثاً ضوءاً (الشكل رقم ١١,٧). يصف الشكل رقم (a) ١١,٧ تشعيع نقطة كمية أكبر (فجوة نطاقية أصغر). من ثم فإنه يعود إلى نطاق التكافؤ باعثاً لفوتون من الضوء، الذي هو الفلورية ملونة المشاهدة. لو خفضت نقطة كمية أصغر (فجوة نطاقية أكبر) (الشكل رقم ١١,٧ (b)) إلى نفس العملية، يمكننا أن نشاهد بأن الفوتون المنبعث عندما ينحل خلفاً في نطاق التكافؤ يكون له طاقة أكبر. من معادلة أينشتاين $E = h\nu$ ، سيكون لطاقة الفوتون الأعلى التردد الأعلى وهكذا تكون أقرب إلى النهاية الزرقاء من الطيف، مفسراً الفرق في اللون. كلما كان تركيب النانو أصغر كلما كبرت الفجوة النطاقية، ومن ثم يقصر الطول الموجي للضوء المنبعث. هكذا يشع دقائق CdSe بقطر 5.5 nm ضوءاً برتقالياً بينما تشع دقائق النانو بقطر 2.3 nm ضوءاً تركوازياً.



الشكل رقم (١١,٧). لون الفلورية من دقيقة بحجم النانو تعتمد على أبعادها. شاهد إدراج اللون في صفحة 552.

في أطيف الامتصاص لدقائق النانو من CdSe وأشباه الموصلات الأخرى، لا تكون الإزاحة في الطول الموجي هي فقط التي يمكن ملاحظتها، لكن يكون هناك أيضاً نطاقات مقابلة لامتصاص يرجع إلى مستويات طاقة منفصلة في نطاق التوصيل. على سبيل المثال، يكون لدقائق CdSe بقطر 11.5 nm طيف امتصاص يظهر حافة لا سمة لها في الغالب، لكن تظهر الدقائق بقطر 1.2 nm سيات مشابهة لنطاقات الامتصاص الجزيئية مزاحة بحوالي 200 nm لأطوال موجية أقصر، كما هو موصوف في الشكل رقم (١١،٨).

لقد استخدمت الألوان الناتجة بواسطة دقائق النانو من الذهب (ذهب غرواني) منذ العصور الرومانية حيث وجدوها في كأس ليكورجيس Lycugus الزجاجي المشهور (متحف بريطانيا)، الذي يظهر أخضر من الضوء المنعكس وأحمر في النفاذية. درس فرادي Farady هذه الحالات بالتفصيل في منتصف القرن التاسع عشر ومازالت بعض العينات الأصلية الخاصة به معلقة في المعهد الملكي في لندن. في الفلزات يتداخل الضوء مع إلكترونات السطح ومن ثم ينعكس. يتم حث إلكترونات السطح في دقائق النانو بالضوء لكي تهتز عند تردد معين؛ يكون الامتصاص عند هذا التردد باعثاً على الضوء. إن تردد الاهتزاز ومن ثم اللون يعتمد على حجم الدقيقة. على سبيل المثال، نحن على علم بالذهب الكتلّي الذي يظهر أصفر في الضوء المنعكس، لكن تظهر أغشية دقيقة من الذهب أزرق عندما يمر الضوء من خلالها وكلما اختزل حجم الدقيقة يقل الضوء الممتص ويظهر الغشاء أولاً أحمر، من ثم القطر 3 nm يكون برتقالياً. يمكن مشاهدة ترددات الاهتزاز في المنطقة المرئية فقط لكل من Au، Ag و Cu وسبائكها بالإضافة في عناصر المجموعة 1.



الشكل رقم (١١،٨). طيف الامتصاص لدقائق بقطر 11.5 nm من CdS يكون لها حافة لا سمة لها في الغالب، لكن تظهر الدقائق بقطر 1.2 nm سيات تشابه نطاقات الامتصاص الجزيئي مزاحة بحوالي 20 nm لطول موجي أقصر.

من المعروف أن الدقائق تشتت الضوء بالإضافة إلى امتصاصه ويتج هذا مظهراً أبيض أو شاحباً من مساحيق دقيقة. من ناحية ثانية، تكون الدقائق بحجم النانو الأصغر أيضاً شفافاً بسبب اختزال كفاءة التشتت. يؤدي هذا التأثير إلى استخدام دقائق النانو في ستائر شمسية وفي مستحضرات التجميل. ستظل هذه تمتص الضوء فوق البنفسجي لكن سوف تشتت ضوءاً مرئياً أقل.

(١١, ٢, ٤) خواص مغناطيسية Magnetic Properties

في الفصل التاسع، تم إدخال فكرة النطاقات المغناطيسية. يكون للنطاقات أبعاد تقليدية من 10 إلى 1000 nm. في بلورات النانو، لهذا يمكننا أن نصل إلى وضع حيث يكون حجم النطاق وأبعاد البلورة قابلة للمقارنة. تكون لمثل ذلك النطاق الوحيد كل غزول الإلكترون في البلورة مترافقة. في البلورات الأكبر تكون الميكانيكية الرئيسة للمغناطيسية وإزالة المغناطيسية هي دوران جدران النطاق (انظر الفصل التاسع، المقطع ١, ٣, ٩). لو تم اختزال حجم البلورة حيث نصل إلى منطقة النطاق المنفرد، يصبح من الصعب أن نزيل مغناطيسية البلورة بتطبيق مجال مغناطيسي. يكون هذا بسبب أن الميكانيكية الوحيدة المحتملة الآن هي تحطيم اقتران غزل-غزل خلال نطاق. لو تناقص حجم الدقيقة أكثر، يقل عدد الغزول وتصبح القوة الرافضة لها أضعف. حتى ستكون هذه القوة ضعيفة جداً للتغلب على العشوائية الحرارية، وفي غياب مجال مغناطيسي تكون الغزول متوجهة عشوائياً. لا تكون البلورة فرومغناطيسية بعد لكن بارامغناطيسية فائقة. الشكل رقم (١١, ٩) هو رسم للمجال المغناطيسي المطلوب لإزالة مغناطيسية دقائق فرومغناطيسية (القسرية، H_C) كدالة في حجم الدقيقة يكون نصف القطر D_C هو ذلك الذي عنده تصبح الدقيقة نطاقاً منفرداً. يعطى الجدول رقم (١١, ١) قيم D_C لعناصر انتقالية فرومغناطيسية و Fe_3O_4 الفرومغناطيسي.



الشكل رقم (١١, ٩). رسم للمجال المغناطيسي المطلوب لإزالة تمغنط دقائق فرومغناطيسية (القسرية H_C) كدالة لحجم الدقيقة. تصبح الدقيقة نطاقاً منفرداً قطر D_C .

فوق درجة حرارة حرجة T_B تعرف على أنها درجة حرارة التكتيل يمكن للدقائق الفائقة المغناطيسية أن تكون لها غزول متراففة بواسطة مجال مغناطيسي، لتسلك سلوكاً مشابهاً للمواد البارامغناطيسية، لكن مع عزم قطبي أكبر بكثير. دون درجة حرارة التكتيل، يكون هناك كمية غير كافية من طاقة الحركة لكي تتغلب على حاجز الطاقة لإعادة توجيه الغزول. تتغير درجة حرارة التكتيل مع شدة المجال المطبق. في الحالة البارامغناطيسية الفائقة، لا تظهر الدقائق، مثل المواد المغناطيسية تخلفاً.

حتى الآن فقد درسنا فقط الدقائق المغناطيسية المعزولة. عندما تكون الحبيبات بحجم النانو في تلامس متقارب يمكن للتأثيرات المغناطيسية أن تتغير. إن هذا بسبب أن اقتران غزل-استبدال يمكن حدوثه بين الحبيبات. يوضح الفصل التاسع أن أغشية رقيقة من مادة مغناطيسية يمكن أن يكون لها حالة الغزل مُنظّفة بواسطة طبقة فَرّومغناطيسية مجاورة. إن اقتران الاستبدال بين حبيبات من مواد مغناطيسية قاسية ولينة يمكنه إنتاج تراكيب نانو بدرجة عالية من الاستبقائية ودرجة عالية من القسرية، بحيث تبقى مغناطيسية بدرجة قوية عندما يختزل المجال الكهربائي المطبق إلى الصفر وتحتاج إلى مجال مغناطيسي أكبر لكي تزال مغناطيسيتها.

الجدول رقم (١١،١). أنصاف أقطار نطاق منفرد صلبة فَرّومغناطيسية مختارة.

مادة صلبة	D_c/nm
Fe	14
Co	70
Ni	55
Fe_3O_4	128

(١١،٢،٥) الخواص الميكانيكية Mechanical Properties

من المعروف بأن خواص المواد الصلبة مثل الصلابة واللدونة تتغير مع حجم الحبيبة. على سبيل المثال، نزولاً بحجم الحبيبات إلى حجم الميكروميتر تزيد المقاومة لتشوه البلاستيك مع تناقص حجم الحبيبة. من ناحية ثانية، كلما اختزل حجم الحبيبة أكثر تحتفي مستويات المقاومة أو حتى تتناقص. يعزى التأثير إلى ميكانيكية مختلفة لتشوه البلاستيك في حبيبات بحجم النانو. في البلورات الأكبر، يكون التشوه محكوماً بشكل رئيس بحركة

الانخلاعات في البلورة. يتم تثبيط هذه الحركات بحدود الحبة grain boundaries. كلما اختزل حجم الحبيبة، تزيد نسبة حد الحبيبة إلى الحبيبة الكتلية من ثم يصبح التشوه أشد قساوة. حتماً، كلما وصل حجم الحبيبة من 5 إلى 30 nm تصبح حركة الانخلاعات مهمة، لكن يصبح التشوه خلال الذرات المنزلة على طول حدود الحبيبة مفضلاً. يتم إعانة هذه الميكانيكية الأخيرة بنسبة كبيرة من حد الحبيبة إلى الحبيبة الكتلية، ومن ثم تتزايد الليونة كلما اختزل حجم الحبيبة.

(١١,٢,٦) الانصهار Melting

تُظهر بلورات النانو انخفاضاً في درجة الانصهار مع تناقص الحجم. يمكن ملاحظة انصهار بلورات النانو في مجهر الإلكترون النافذ TEM، وقد وجد أن عناقيد النانو من الذهب تنصهر عند 300 K مقارنة بدرجة الانصهار 1338 K للذهب المعدني في صورة كتلية أو تنصهر بلورات CdS بحجم 3 nm عند حوالي 700 K في الفراغ مقارنة بدرجة 1678 K في صورة كتلية. تصبح طاقة السطح عاملاً تصاعدياً كلما أصبح حجم البلورة أصغر؛ تنبع الدراسات الترموديناميكية بانخفاض في درجة الانصهار لو أن طاقة السطح للمادة الصلبة تكون أعلى عنها في السائل.

(١١,٣) أمثلة

Examples

لكي نجهز مظهر مرتباً بعض الشيء هذه المساحة الضخمة والمتنوعة، فقد قسمنا أمثلتنا تحت عناوين 1-D، 2-D، 3-D حيث تشير 1-D إلى المواد في بعد واحد في مدى النانومتر والتي تمتد في بعدين؛ يكون 2-D مقصوراً على النانومترات في بعدين لكن يمكنها أن تمتد في بعد واحد. تكون 3-D مقصورة على أبعاد النانومتر في ثلاثة اتجاهات.

(١١,٣,١) مواد نانو في بعد واحد One- Dimensional Nanomaterials

غشاء نانو وطبقات نانو Nanofilm and nanolayers

يمكن لأغشية النانو أن تستخدم ببساطة كمواد طلاء رقيقة جداً. على سبيل المثال، لقد تم تطوير مواد طلاء بحجم النانو لحماية وتعزيز عدسات النظارات البلاستيكية الحديثة التي تشمل الطلاء الذاتي التجمع للعدسات غير العاكسة لحماية الطبقة المضادة للانعكاس من التراب وزيوت الجلد والطلاء القاسي للكربيدات carbides لحمايتها من الخدش.

يمكن الطلاء بالرش المحتوي على دقائق بحجم النانومتر من TiO_2 أن تتحد مع حافز ضوئي أن تستخدم على السطوح مثل الزجاج لكي تعطى سطحاً طارداً للأتربة: يستخدم الحافز الضوئي ضوء فوق بنفسجي لتكسير الأجزاء العضوية، لكن يمكن للطلاء أن توقف ماء المطر من تكوين قطرات، بحيث يمكنه ببساطة أن يجري جامعاً للأتربة أثناء الجريان (الشكل رقم ١١،١٠) (بالمثل يمكن لدقائق النانو أن تستخدم لتشريب الأقمشة لجعلها مقاومة للبقع).



الشكل رقم (١١،١٠). تنظيف زجاج فاتي.

لقد قاد التطوير في الإلكترونيات باستخدام مركبات عضوية (انظر الفصل السادس) إلى أجهزة إلكترونية من أغشية نانو. يمكن لمثل تلك الأغشية أن تستخدم في شاشات العرض المسطحة للحاسوبات. هناك نوعان من الشاشات يمكن استخدامها: شاشة عرض من غشاء رقيق لبلورة سائلة ترانزستورية thin-film transistor liquid-crystal displays (TTF-LCD) وصمامات ثنائية باعثة للضوء عضوية (OLEDs). في TTF-LCD يتصل أحد الترانزستورات بكل من عناصر LCD الثلاثة (أحمر، أخضر، أزرق) لكل عناصر الصورة. بعمل قناة الترانزستورات كفيلم من مادة عضوية بسُمك 20 mm بدلاً من طبقة 2 mm من السليكون، يمكن إنتاج شاشات أكثر مرونة وأقل وزناً وأقل سُمكاً. في شاشات عرض OLED يمكن إنتاج الألوان بتنظيم من الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs) التي تكون فيها الطبقة الباعثة للضوء هي عبارة عن غشاء نانو من بوليمر عضوي كما وصفنا سابقاً في هذا الكتاب.

تعني مرونة الأجهزة الإلكترونية العضوية في صورة أغشية رقيقة أنه بالإمكان طبعها على الورق والمادة. كطريق بديل هو تطوير ترانزستورات ليفية منفردة التي بإمكانها أن تنسج في القماش، إن إدخال الإلكترونيات في القماش قد أصبح له بعض الأهداف المثيرة لاستخدامه. إحدى الاقتراحات هي أن الزي العسكري بالإمكان طبعه مع أغشية عضوية تحتوي على دوائر إلكترونية يمكن أن تستخدم لإرسال إشارات إلى الجنود في الميدان. اقتراح آخر لـ LEDs هو طباعته في الستائر لتوفير الإضاءة عندما تكون الستائر مغلقة. إحدى المشاكل التي ينبغي التغلب عليها هي أن المواد العضوية تكون حساسة للرطوبة وتتجه الأقمشة إلى جذب رطوبة.

تكون الخواص الإلكترونية والمغناطيسية لطبقات النانو مهمة في الأجهزة المتكونة من مواد إلكترونية تكون أكثر ملائمة. لقد ناقشنا بالفعل ليزرات الحوض الكمي (انظر الفصل الثامن) وأجهزة المقاومة المغناطيسية العملاقة (GMR) المستخدمة لرؤوس القراءة للأسطوانة الصلبة (انظر الفصل التاسع). إن ليزرات الحوض الكمي يمكنها أن تكون مكوناً مهماً لأجهزة الحاسوب المعتمدة على الضوء. تشمل الاحتمالات الأخرى المغناطيسيات بخواص غير عادية (المقطع ١١,٢).

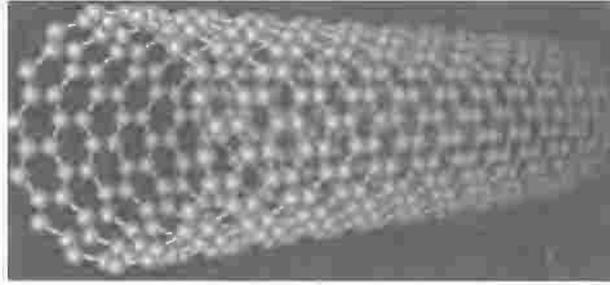
(١١,٣,٢) مواد نانو في بعدين Two-Dimensional Nanomaterials

أنابيب نانو Nanotubes

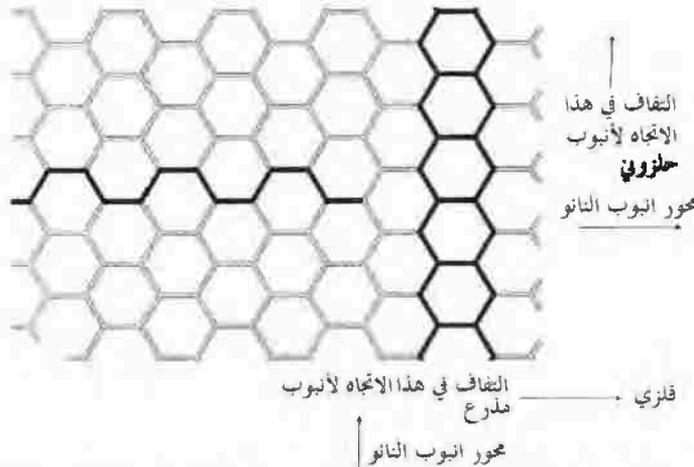
في عام ١٩٩١ اكتشف سيمو إيجيما Sumio Iijima أنابيب النانو. بالمشابهة مع تركيب الكرات الكتلية، فإنها تتكون من صفائح من جرافيت التي تتراكم لكي تكون أسطوانات. في الأصل فإن أنابيب النانو متعددة الطبقات (أنابيب نانو عديدة التسور MWNTs) يمكنها الآن أن تُصنع أحادية التسور، يكون لأنابيب النانو أحادية التسور SWNTs (الشكل رقم ١١, ١١) أقطار بحوالي 1 nm وأطوال برتبة 10^6 m. يتم تغطية الأنابيب عند كل طرف بنصف تركيب نمط- الفوليرين. يكون لها خواص ملحوظة ويمكن استخدامها للعديد من التطبيقات المتقدمة. بإمكانها أن تمتاز بمائة مرة مثل حجمها من الهيدروجين ولهذا يمكن تطويرها كوسط تخزين آمن للهيدروجين لخلايا الوقود (انظر الفصل الخامس). يكون لها قوة شد مائة مرة أكثر من الفولاذ، لكنها تكون خفيفة جداً بنصف كثافة الألومنيوم وتستخدم حالياً في معدات الرياضة ذات الأداء مثل مضارب التنس. يمكن عملها كموصلات وأشباه موصلات، وقد تم إيجاد إحدى الاستخدامات في مخففات الصدمة للسيارات، حيث إنها لا توفر الشدة وحدها ولكن تمنع أيضاً بناء كهربية إستاتيكية.

تعتمد الخواص الإلكترونية لـ SWNTs على الاتجاه الذي يتراكم نحوه لوح الجرافيت. إن الجرافيت في حد ذاته هو فلز ثنائي الأبعاد يظهر خواص موصلية معدنية داخل الطبقات. في طبقة الجرافيت الموصوفة في الشكل رقم (١١,١٢) لاحظ أن الخط الرابط لصفوف السداسيات في اتجاه رأسي هو خط متعرج بسيط، لكن يربط الخط

عند زوايا قائمة على هذا المسمى بخطوط كرسي مذرع الصفوف. تظهر الأنابيب التي تتراكم على طول اتجاه الكرسي ذي الذراعين، التي تسمى **أنابيب نانو كرسي مذرع arm chair nanotubes** دائماً مستويات فلزية من الموصلية. لو تراكمت ألواح الجرافيت على طول خطوط التمرج مع الكراسي المذرعة على طول محور الأنبوبة (أنابيب نانو متعرجة) أو لو أن الألواح تتراكم على طول أي اتجاه آخر ماعدا الخطوط المتعرجة أو خطوط الكرسي المذرع مكونة أنابيب نانو لولبية *helical*، ينشأ نطاق ويمكن للأنابيب أن تكون شبه موصلة. إن هذه الخاصية هي التي سمحت بتكوين ترانزستورات المجال المؤثر (FETs) field-effect transistors، ترانزستورات الإلكترون المنفرد والصمامات الثنائية من أنابيب النانو الكربون. حتى كتابة هذا الكتاب لم تكن هناك وسيلة تشييد متاحة لعمل أنابيب النانو المطلوبة بشكل منسجم، يجب اختيارها يدوياً من مخاليط، لكن من المؤمل أن التطورات سوف تسمح حتماً بتصغير الدوائر بشكل جادّ بدلاً من شريط السيلكون وفي النهاية إلى حاسوبات جزيئية.



الشكل رقم (١١، ١١). محاكاة بالحاسوب لأنبوب نانو من الكربون بجدار منفرد.



الشكل رقم (١١، ١٢). لو تم التفاف شرائح النانو في اتجاه السهم، بحيث تقع الخطوط المتعرجة على طول محور أنبوب النانو، من ثم تكون الأنابيب عادة فلزية.

يتم تصنيع أنابيب النانو عديدة التسور من مركبات غير عضوية، لقد تم عمل أنابيب حتى 1 nm في الطول من WS_2 و MoS_2 .

اهتمامات الأمان Safety Concerns: أظهرت التجارب الأولية التي شملت تعرض الفئران إلى أنابيب نانو بأنها قد أظهرت استجابة قوية لها جاعلة أنابيب النانو تتجمع معاً عندما تتنفس مسببة تلفاً لأنسجة الرئة. إن التصنيع والتخلص من نواتج المخلفات التي تحتوى على أنابيب نانو يجب فحصها جيداً.

أسلاك نانو Nanowires

لقد تم عمل أسلاك نانو بأطوال نانومترية عديدة وأنصاف أقطار $> 20 \text{ nm}$ من مواد أشباه موصلات متنوعة، على سبيل المثال، السيلكون، فوسفيد الأنديموم ونيتريد الجاليوم. تشمل إحدى الطرق إنشاء دقائق نانو من الذهب باستخدام السحج بالليزر واستخدام هذه كمادة حافزة بمواد غازية أولية مختلفة مثل هيدريد السيلكون. يمكن ترسيب أسلاك النانو من السائل الجاري مما ينشأ عنه وقوع الأسلاك في نفس الاتجاه وتكوين صفوف. إن تغيير اتجاه السريان يسمح بتكوين طبقة ثانية ويمكن لهذه الصفوف أن تستخدم لأغراض إلكترونية متنوعة مثل الترانزستورات والصمامات الثنائية. إن الثقة في هذا النوع من البحث من شأنه أن يؤدي إلى التصغير ومن ثم إنتاج حاسوب جزيئي.

(١١,٣,٣) مواد نانو في ثلاثة أبعاد Three- Dimensional Nanomaterials

دقائق نانو Nanoparticle

تساعد مساحة السطح العالية لدقائق النانو إلى زيادة التحكم في سلوك الذرات على سطح الدقيقة. في الحفازات يتم استثمار هذا لتحسين معدل الإنتاج في العمليات التجارية وفي تركيب الأقطاب لتحسين أداء البطاريات وخلايا الوقود (انظر الفصل الخامس، المقطع ٥,٥,٤ والفصل السابع، المقطع ٧,٥ والمقطع ٧,٦). يحدد التداخل بين ذرات السطح هذه والقالب المحيط خواص المكونات بحجم النانو عالية التنفيذ. بسبب أن أبعاد دقائق النانو تكون أقل من الطول الموجي للضوء المرئي (400 - 700 nm) لا يتم تشتت الضوء المرئي بواسطتها، ليجعلها شفافة، تكون هذه خاصية مفيدة لتصنيع مستحضرات التجميل ومواد الطلاء.

لقد كانت دقائق النانو معروفة ومستخدمة منذ قرون. فكر على سبيل المثال، في الدهانات المستخدمة لتكوين الزجاج المصبوغ وتصقيل السيراميكيات وفي دقائق الذهب الغروانية المستخدمة لعمل زجاج ياقوتي

المعروف منذ العصور الرومانية. خلال العصور الوسطى، منذ التحول إلى القرن العشرين، تم إنتاج الكربون الأسود للاستخدام في حبر الطباعة ومنذ 1940 أضيفت السليكا المدخنة (دقائق صغيرة من السليكا) للمواد الصلبة والسوائل لتحسين الخواص الانسيابية. لقد استخدمت AgBr بحجم النانو لطلاء الفيلم الفوتوغرافي (انظر الفصل الخامس، المقطع ٥,٥).

على المستوى الأبسط تكون دقائق النانو للمواد القاسية مفيدة كمساحيق تلميع وصقل والتي تكون قادرة على إعطاء أسطح ملساء وخالية من العيوب. فعليا فإن دقائق نانو 50 nm من كربيد التنجستين الكوبالت قد وجد أنها أكثر صلابة من المادة الكتلية، لذا يمكن استخدامها في عمل أدوات قطع وحفر تبقى لفترة أطول.

الكربون الأسود Carbon Black: ويصنع الكربون الأسود بالتحلل الحراري غير المكتمل لطور بخار من الهيدروكربونات لإنتاج مسحوق ناعم منفوش أو متفش. يتم إنتاج 7 مليون طن عالمياً. بالإمكان استخدامه كعامل تقوية في منتجات المطاط مثل الإطارات (20 - 300 nm)، كصبغة سوداء (> 20 nm) في أحبار الطباعة، الدهان والبلاستيكات، في أحبار ماكينات التصوير وفي الأقطاب للبطاريات.

السليكا المدخنة Fumed Silica: إن تفاعل $SiCl_4$ مع هب أكسي هيدروجيني يجعل هذا صورة نقية جداً من السيلكا. تكون لدقائق SiO_2 الناتجة بأبعاد 7 إلى 50 nm تركيب لا بلوري (مسحوق). يكون للدقائق مجموعات سيلانول Si-OH على السطح وتشد هذه الدقائق معاً برابطة هيدروجينية مكونة تراكيب شبيهة بالسلسلة. عندما تضاف إلى السوائل تقتنص هذه الشبكة ثلاثية الأبعاد السائل وتزيد اللزوجة، لكن عندما يتم دك السائل السميك خارجياً أو يرذذ يتحرر السائل والهواء المحبوس. عندما يتم إزالة قوة القص، يتسكك السائل ثانية، تسمى هذه الخاصية التسيّل بالرج *thixotropy* وتكون مفيدة جداً في الدهانات لمنع تركز الصفات، ولتحسين الخواص الانسيابية للدهانات، مواد الطلاء والراتنجات. يمكن استخدامه أيضاً لتحسين الخواص الانسيابية، لمساحيق المواد الصلبة، أدوات التجميل، الأسمنت، الأحبار، ومواد السحج، التي تساعد على منع التراص أو التلاذن.

نقاط كمية Quantum Dots: تعرف النقطة الكمية أو بلورة النانو nanocrystal على أنها بلورة من شبه موصل التي هي بضعة نانومترات في القطر تحتوى عادة على حوالي 10^2 إلى 10^4 ذرة. كما ناقشنا في المقطع ١١,٢ تظهر النقاط الكمية تأثيرات الحجم الكمي في خواصها الفيزيائية، يكون لها خواص إلكترونية، مغناطيسية وبصرية مثيرة والتي تكتسبها نتيجة لحجمها وليس عن مكوناتها الكيميائية. على سبيل المثال، تعطي نقطة سيلينيد الكادميوم (CdSe) بقطر

2.3 nm ضوءاً فلورياً تركوازيماً عندما يتم تشيعها بضوء UV، لكن تتوهج دقيقة بالبعد 5.5 nm باللون الأصفر (الشكل رقم ١١،٧). لقد قادت خواصها الطيفية غير العادية إلى الكشف عن نقاط Si الكمية في سديم الفضاء الخارجي. كثير من العقبات تنشأ في عمل نقاط كمية بحجم وشكل منتظم، وفي منع النقاط الكمية من الاندماج في بلورة أكبر. يتم عمل النقاط الكمية CdSe حالياً بإذابة السيلينيوم وثنائي ميثيل الكادميوم ((CH₃)₂Cd) في أكسيد ثلاثي أوكسيل الفوسفين الساخن (TOPO)، حيث يتم ترسيب كميات كبيرة من نقاط CdSe الكمية. يكون حجم النقاط محكوماً بزمان بقائها في السائل الساخن. يتم تحسين النقاط بنمو طبقة دقيقة من كبريتيد الزنك ZnS على السطح، ومن ثم يتم تغليفها أو صقلها في TOPO لجعلها كارهة للماء (غروانية) ومنعها من الاندماج. يجب أن نسأل الآن كيف يمكن استثمار النقاط الكمية.

لقد شاهدنا في الفصل الثامن كيف أنه في LEDs يتم إمرار الجهد عبر الوصلة p-n لشبه موصل متسببة في حركة الإلكترونات عبر الوصلة من جانب النمط n- وتسقط في فجوات في نطاق التكافؤ على جانب النمط p- باعثة لفوتون من الضوء. كما قد شاهدنا، تشع النقاط الكمية بأطوال موجية مختلفة وإذا تحكمتنا في الحجم فيمكن استخدامها لعمل LEDs، لكن بلون نقي جداً. إن هذه التقاوة من اللون هي المطلوبة للاستخدامات كمحاور بصرية أو كعناصر صورة في شاشات العرض الملونة.

يقود النقاء في اللون الناتج بواسطة النقاط الكمية إلى بحث استخدامها في أصباغ وبوليمرات معينة التي بالإمكان استخدامها، على سبيل المثال، في مقاومة التزيف حيث سيكون من الصعب جداً إعادة إنتاجها. تعني خواص انبعاث الضوء للنقاط الكمية أنه بالإمكان استخدامها كمجس فلوري في الأنظمة البيولوجية، حيث يمكن أن يكون لها مميزات عديدة في استبدال مجسات فلورية عضوية تقليدية. لقد تم استخدامها داخلياً *in vivo* وخارجياً *in vitro*؛ لو بالإمكان اتصالها بجزيء بيولوجي معين مثل الجسم المضاد أو البروتين، من ثم يمكن استخدامها لتتبع تفاعل ذلك الجزيء. إن لها ميزة الثبات، يمكن إثارتها بإثارة ذات نطاق عريض، لكن تشع نطاقاً ضيقاً من الترددات بشدة عالية وتكون متاحة في عدة ألوان؛ بسبب أن اللون المنبعث بشكل حجم نقطي يكون نقياً، يمكن استخدام ألوان مختلفة عديدة للنقاط الكمية في نفس الوقت لتتبع عمليات مختلفة.

في مساحة من الاهتمام تمت مناقشتها بالفعل (الفصل السابع، المقطع ٧،٨) تم إنشاء نقاط كمية من CdS بداخل أقفاص زيوليت، هكذا يمكن التحكم في حجمها. يعطي هذا توقع تكوين مواد أشباه موصلات مفيدة لتخزين

بيانات. إن فكرة مشابهة تحت الفحص هي نمو نقاط كمية بداخل هيكل ثنائية الذرة (التي تتكون من السليكا) كأوعية تفاعل، حيث يمكن لآلاف الأصناف المتنوعة أن توفر قوالب معايرة للترتيبات المعقدة من النقاط. ينظر البحث الآن إلى احتمالية نقطة كمية من الليزر التي سوف تسمح بنبضات ضوء سريعة من مصدر دقيق جداً ليزيد أكثر من سرعة التحويل والاتصالات، مثل تلك الليزرات قد تكون قابلة للموافقة حيث سيعتمد تردد الضوء المنبعث على حجم النقطة الكمية.

متفجرات Explosives: تصنع دقائق الألومنيوم بأقطار في المدى من 20 إلى 200 nm مع غلاف واقٍ من أكسيد الألومنيوم حوالي 4 nm في السمك ويخلط مع عامل أكسدة مناسب، وتستخدم كوقود دفع صاروخي. يمكن لمساحيق الألومنيوم أن تستخدم أيضاً لتفاعل الثرميت. يستخدم هذا التفاعل تقليدياً في لحام قضبان السكك الحديدية معاً في الموقع *in situ*: $2Al(s) + Fe_2O_3(s) = 2Fe(l) + Al_2O_3(s)$ ، الذي ينتج كمية كبيرة جداً من الحرارة بحيث ينتج حديداً مصهوراً، لكن يمكن استخدامه أيضاً لإنتاج فلزات أكثر سهولة في الاختزال مثل Mo من أكاسيدها. يحسن استخدام دقائق النانومتر الأداء بشكل دراماتيكي وتستخدم هذه التفاعلات كتفاعلات إعداد تشغيل للمعدات الحربية وفي الألعاب النارية.

دقائق نانو مغناطيسية Magnetic Nanoparticles: تكون دقائق النانو من أكاسيد الحديد ($\gamma-Fe_2O_3$ أو Fe_3O_4) بارامغناطيسية فائقة، لها استباقية صفر، أي يُحث مجال مغناطيسي على مغناطيسية سريعاً ما تختفي عند زوال المجال. يمكن استخدام هذه الخاصية كطريقة بسيطة لفصل مكونات كيميائية أو بيولوجية. يتم كسوة الدقائق لمجموعة وظيفية سوف تتصل بالمكون المطلوب في المحلول. عند تطبيق المجال المغناطيسي عند أحد جوانب الوعاء، تصبح الدقائق ممغنطة وتتحرك جهة المغناطيس آخذة المكون المهاجم معها.

تستخدم دقائق أكسيد الحديد التي تعمل كعوامل تباين لتعزيز مسح التصوير الرنيني المغناطيسي (MRI) الماسح. يمكن لدقائق Fe أو Ni أن تستخدم لهذا الغرض، مع مميزات عزم مغناطيسي أكبر، و بالتالي إشارة أكبر، لكن من الصعب جداً إنتاجها.

هناك استخدامات طبية واعدة أخرى لهذه الدقائق المغناطيسية. لو تم تصميمها لأداء المتطلبات الوظيفية بشكل مناسب، على سبيل المثال، ارتباطها بجسم مضاد، حينئذ يمكن حقنها في مجرى الدم وتستخدم للبحث عن أدلة مرض أو عدوى مثل مواضع سرطانية؛ يمكن حينئذ الكشف عن هذا بواسطة MRI. لو تم اتصال جزيء

دواء لسطح دقيقة مغناطيسية، من ثم يمكن استخدام مجال مغناطيسي لتوجيه الدواء ناحية موضع العدوى، هكذا يتم إصابة الهدف بشكل أكثر دقة وكفاءة.

إن الخواص البارامغناطيسية الفائقة لدقائق أكسيد الحديد عندما تُعلق في الهيدروكربونات تكون مستخدمة في موائع فريتيّة *ferrofluids*. تم ابتكار هذه الطريقة بواسطة NASA كطريقة للتحكم في وقود الصواريخ السائل في الفضاء، بسبب أن الانسياب يمكن التحكم فيه بواسطة مجالات مغناطيسية. مع اكتشاف وقود الصواريخ الصلب، فإنها تستخدم الآن بشكل رئيسي كبسولات تحميل للأقراص الصلبة في الحاسوبات وموائع الاهتزازات في الميكروفونات أو مكبرات الصوت. لقد تم إنتاج مانع مغناطيسي يحتوي على دقائق نانو من نيتريد الحديد (Fe_3N) في الكيروسين بتفاعل على كربونيل الحديد ($Fe(CO)_5$) و الأمونيا. بطريقة مماثلة ينتج التفكك الحراري أو التفكك الكيميائي الصوتي لكربونيل الحديد في الديكالين مانع فريتي يحتوي على دقائق نانو من $\alpha-Fe$.

تظهر عناقيد الكوبالت المدفونة في الفضة مقاومة مغناطيسية عملاقة (GMR) مع زيادة في المقاومة حتى 20% وتستخدم للتسجيلات المغناطيسية وتخزين البيانات.

الاستخدام الطبي وفي مستحضرات التجميل *Medical and cosmetic use*

وجد أن لدقائق النانو من الفضة *silver nanoparticles* تأثيراً مضاداً للبكتريا قوياً جداً وتستخدم حالياً في تشريب الضمادات، تستخدم أيضاً لتشريب الجوارب و تضاف إلى الإبط لإزالة الروائح الكريهة بسبب أن الفعل المضاد للبكتريا يقتل البكتريا المسؤولة عن الروائح الكريهة.

حاجبات الشمس *Sunscreens*: أستخدم TiO_2 و ZnO في حاجبات للشمس لعديد من السنوات بسبب قدرتها على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية المضرّة للجلد. بالإضافة إلى هذا، يكون لـ TiO_2 معامل انعكاس عالٍ جداً و يشتت الضوء بكفاءة أكثر، بالدرجة التي تجعله صبغة بيضاء جيدة جداً ولذلك يستخدم في معظم الدهان الأبيض بسبب قدرة التحويل العالية له. إن استخدامه في حواجب الشمس بأعلى أرقام معامل قد جعلتها تبدو بيضاء وغير جذابة. يتم الآن تصنيع دقائق نانو من TiO_2 بقطر حوالي 50 nm وتكون شفافة بسبب أنها تكون صغيرة جداً، لكي تشتت الضوء البنفسجي، لكن ما تزال تمتص إشعاعاً UV ذا الطول الموجي القصير الضار وتستخدم حالياً في حاجبات الشمس لحل هذه المشكلة. تستخدم دقائق TiO_2 الأكبر في تشريب القماش لجعل الملابس واقية للشمس.

اهتمامات الوقاية Safety Concerns: يشعر عديد من الناس أنه مازال هناك إصدارات آمان يجب الاهتمام بها في استخدام دقائق النانو في حاجبات الشمس وفي مستحضرات التجميل حيث إن هناك القليل يكون معلوماً عن عمليات الأيض والامتصاص الخاصة بها خلال الجلد. بالإضافة إلى هذا، تنتج دقائق النانو من TiO_2 جذوراً حرة على السطح في وجود ضوء الشمس والرطوبة رغم الاعتقاد بأن هذه لن تعاني طويلاً للاختراق خلال الجلد حيث بإمكانها إحداث تلف للخلايا الحية. تشمل الطرق الممكنة لمنع إنتاج الجذر الحر تغليف أو تدميم الدقائق.

حشو الأسنان Dental Fillings: تستخدم دقائق أكسيد الزركونيوم (ZrO_2) حالياً في مواد الحشو للأسنان المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية. إنها تعطى متانة وتكون نافذة أو شفافة للضوء المرئي لكن تكون معتمة للأشعة السينية. يمكن أيضاً استخدام الأكاسيد الأرضية النادرة.

(١١، ٤) معالجة الذرات والجزيئات

Manipulating Atoms and Molecules

ربما كان من أهم إنجازات التكنولوجيا الحديثة تطوير تقنيات مثالية للذرات أو الجزيئات المنفردة. يمكن توصيف السطوح على المستوى الذري، بناء المادة ذرة بذرة، والتفاعلات الكيميائية للجزيئات المنفردة المدروسة. إن إحدى نتائج هذا البحث هي إنتاج دوائر إلكترونية صغيرة. لقد تم تجميع الدوائر التكاملية باستخدام تقنيات يكون فيها النموذج واقعاً أسفل سطح بلورة وتعالج الأجزاء المكشوفة لتكوين شبه موصل مدمم بطريقة مختلفة، أكسيد عازل، أو موصل معدني. يتم حالياً إنتاج النماذج باستخدام الطباعة الحجرية التصويرية *photolithography*، لكن تكون مساحة المكونات باستخدام هذه التقنية محدودة بتأثيرات الحيود لحوالي 100 nm. لكي يتم إنتاج دوائر متكاملة تكون فيها المكونات على مقياس النانو يتطلب هذا تقنيات جديدة. بالإمكان أن تستخدم التغيرات على المفهوم القائم، على سبيل المثال، باستخدام إشعاع UV، الأشعة السينية أو حزم الإلكترون بدلاً من الضوء المرئي. المفهوم الآخر هو استخدام مجهرية السبر الماسح *scanning probe microscopy* (انظر أسفل) لطبع نماذج بمقياس النانو في الركيزة (الطبقة السفلية). على سبيل المثال، لو مر تيار خلال طرف المجس رافعاً درجة حرارته، يمكنه أن يلين بوليمر من بلاستيك حراري بجوار الطرف مباشرة منتجاً أنبجاً أو فجوة صغيرة. يكون المدخل المختلف تماماً هو بناء تراكيب على مقياس النانو مطلوبة ذرة بذرة أو جزيء بجزيء. بسبب أننا نريد أن نركز على الكيمياء على مستوى الجزيء المنفرد، فقد اخترنا أن نلقى نظرة على طرق الدوائر التكاملية الناتجة فقط عندما تشمل هذا المدخل الأخير.

(١١, ٤, ١) مجهرية المسح النفقي Scanning Tunneling Microscopy

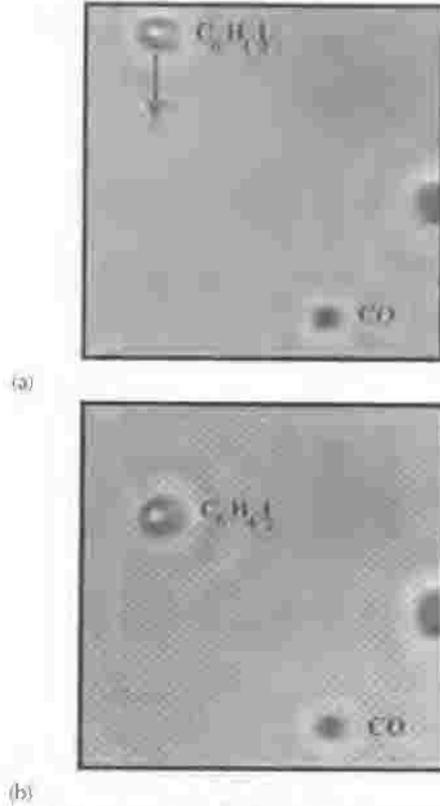
اخترع مجهر المسح النفقي (STM) في أوائل الثمانينيات بواسطة بينج وروهلر Binnig and Rohrer وقد حصلوا عن عملهما على جائزة نوبل في الفيزياء في عام 1986.

كما شرحنا في الفصل الثاني، في تجارب STM يتم إحضار رأس فلزية حادة أو طرف فلزي حاد متكون بتتميش سلك إلى نقطة دقيقة جداً (صغيرة بقدر 20 nm في القطر) بالقرب من سطح موصل أو شبه موصل. يتم تطبيق جهد على الطرف الفلزي ويتم مسح الطرف عبر السطح. تنتقل الإلكترونات من السطح إلى الطرف خلال نفق ميكانيكي كمي، منتجة تيار مقاس بالنانو أمبير. يعتمد هذا التيار على كثافة الحالات بالقرب من السطح والمسافة بين الطرف الفلزي والسطح. يمكن بناء صورة للسطح بحفظ التيار ثابت وتسجيل التغيرات في المسافة المطلوبة. يمكن الحصول على معلومات كيميائية بتغيير الجهد بحيث تنتفق الإلكترونات من أنواع مختلفة من مستويات الطاقة.

بالإضافة إلى عرض صورة السطح وأي جزيء عليه، يمكن استخدام STM أيضاً لتحريك الذرات والجزيئات عبر السطح وجعل الجزيئات تتفاعل. لو تم إحضار STM أقرب إلى السطح عن المعتاد تزيد القوة بينه وبين الذرات/ الجزيئات على السطح. لو أن هذه القوة تكون جاذبة، تشد حركة الطرف الفلزي عبر السطح الجزيئات على طول المسار بعده. توضح دراسة 1, 4 - ثنائي أيودو بنزين على سطح نحاس عند 20 K، على سبيل المثال، الجزيء قد تم عمله لكي يقفز على طول السطح من ذرة نحاس إلى ذرة نحاس. يوضح الشكل رقم (١١, ١٣) بشكل واضح بأن 1.4- ثنائي أيودو البنزين قد تحرك نسبة إلى جزيء CO على سطح النحاس.

يمكن لقوى التنافر بين الطرف الفلزي و السطح (ناجمة بواسطة عكس إشارة الجهد) أن تدفع الجزيئات بعيداً عن الطرف الفلزي عبر السطح. يمكن لذرة أو جزيء أن تصبح متصلة بالطرف الفلزي ويمكن أن تنزلق عبر السطح. إن الصورة المشهورة لذرات الزينون التي تكون IBM على سطح النيكل قد تم إنتاجها بزيادة الجهد بحيث تصبح Xe متصلاً بالطرف الفلزي، تنزلق الذرات عبر السطح ومن ثم يتناقص الجهد مرة ثانية عند الموضع المطلوب.

لكي ننجز تفاعلات كيميائية لجزيء واحد نستخدم الطرف الفلزي في STM لتنتفق الإلكترونات في الجزيء. يمكن للطاقة أن تفكك الروابط وتوفر طاقة التنشيط اللازمة لتكوين رابطة.



الشكل رقم (١١، ١٣). جزيء ١.٤-ثنائي أيودبنزين على سطح نحاس عند الركن الأيسر العلوي في صورة STM (a) يتحرك إلى موضع جديد ميبين في (b).

(Reprinted with permission from the Annual Review of Physical Chemistry, vol. 54, ©2003 by Annual Reviews www.annualreview.org and by kind permission of authors, Saw-W. Hla and Karl H. Rieder).

(١١، ٤، ٢) مجهرية القوة الذرية Atomic Force Microscopy

أدى اختراع STM إلى تطوير تقنيات أخرى مماثلة ذات تحليل ذري، تعرف مجتمعة على أنها مجهرية السبر الماسح. الأكثر تطبيقاً على نطاق واسع هي مجهرية القوة الذرية (AFM)، مثل STM تعتمد على طرف فلزي مدبب موجب، لكن في هذه الحالة، يتم إحضار الطرف المدبب قريباً بدرجة كافية إلى السطح بحيث يمكن قياس القوى بين الجزيئات بين الطرف المدبب والسطح. لا تعطى الطريقة القياسية أي معلومات مثل مكونات أصناف السطح، لكن باتصال جزيء معين بالطرف المدبب، يمكن لـ AFM أن يعمل استجابة لجزيئات أو مجموعات معينة دون الأخرى. إن صورة الماء على السطح، على سبيل المثال، قد تم الحصول عليها باستخدام أطراف مدببة معالجة بمركب غرواني كاره للماء. يستخدم AFM غالباً لدراسة الجزيئات البيولوجية وقد استخدمت بعض المجاميع أطراف فلزية مطورة لاستخلاص جزيئات معينة، على سبيل المثال، البروتينات من أغشية الخلية.

الكتابة بواسطة أطراف AFM الفلزية المدببة Writing with AFM Tips

بمسح أطراف AFM المدببة على طول السطح، يكون بالإمكان أن تُحرض على تفاعلات كيميائية على طول الخط. وأحد الأمثلة، هو تطبيق جهد على طرف AFM المدبب لأكسدة شرائح من السليكون بأبعاد نانومتر. سوف ينتزع التيار الكهربائي من AFM بأنبوبة نانو من الطرف الهيدروجين من سطح السليكون تاركاً خطأً من سليكون أعزل والذي يتأكسد بسرعة في الهواء بحيث تكون النتيجة الخالصة هي مسار من SiO_2 على سطح السليكون.

طباعة حجرية غطس - كتابة Dip - pen lithography

في طباعة حجرية غطس - كتابة يتم وضع الجزيئات (مثل الثيولات) على طرف AFM وينقاد إلى سطح ركيزة (مثل الذهب) عن طريق ماء بسطح مقعر أو هلامي. يتم تحميل الطرف إما بالغمس في محلول أو بواسطة الترسيب بالبخار. في الهواء المرطب يتكون الماء بالسطح المقعر عادة بين الطرف المدبب والعينة بحيث أنه عندما يكون الطرف المدبب قريباً إلى الركيزة تُسحب الجزيئات إلى السطح بواسطة الماء المقعر وتكون طبقة أحادية ذاتية التجمع. يشد التوتر السطحي الطرف المدبب عند مسافة معينة من السطح كلما مر عبرها. يعتمد حجم الراسب على نصف قطر المقعر للطرف المدبب، الرطوبة النسبية (التي تحكم حجم قطرة الماء) وعلى أي انتشار للجزيئات عبر السطح - حالياً (2005) يمكن توليد تراكيب 5 nm إلى أجزاء متفرقة. يكون للتقنية ميزة أن نفس الجهاز يمكن استخدامه لبناء تركيب نانو وتصويره. يظهر صف من أطراف AFM متصلة معاً وعداً جيداً. أي الأطراف تكون أعلى بدرجة طفيفة (0.4 nm) فوق السطح عن الأخرى وتستخدم للتصوير ومن ثم كدليل على حركة الصف عبر السطح. تقع الأطراف الأخرى أسفل تراكيب مطابقة.

(١١، ٤، ٣) نانو أستنسل Nanostencils

يمكن بناء تراكيب بتوجيه حزم الأيون الموجه في تفرغ عالٍ خلال فتحات في كابول أو غشاء.

(١١، ٤، ٤) ملاقط بصرية Optical Tweezers

ينتج التداخل بين ثنائي القطب الكهربائي للضوء واستقطابية الجزيئات أو الدقائق العازلة قوة برتبة بيكونيوتن piconewtons. باستخدام حزمة أو أكثر من حزم الليزر المضبوطة البؤرة بدقة يمكن لهذه القوة الصغيرة جداً أن تستثمر لتحريك جزيئات أو دقائق نانو وترتيبها في تراكيب خاصة. حالياً، يكون بناء تركيب بهذه الطريقة بطيئاً جداً للاستفادة التكنولوجية.

(١١, ٤, ٥) الليثوغرافية الجزيئية Molecular Lithography

إن مدخلاً غير عادي لبناء دوائر إلكترونية هو أن تستخدم الخواص التشفيرية لحمض (DNA) deoxyribonucleic. بتعديل الـ DNA بحيث يتصل مركب فقط إلى بضع سلاسل معينة في صغيرة DNA يمكننا أن نتأكد بأن تفاعلاً تالياً سوف يحدث حيث يكون المركب أو حيث يكون مختفياً. في أحد الأمثلة، يتفاعل DNA مع glutraldehyde الذي ينتج مجموعات الألدheid على DNA. من ثم يتم بلمرة بروتين على جزيء DNA المسبر. تتصل فتيلة النيكلو- بروتين nuco-protein بسلسلة معينة على DNA. لهذا أطوال معينة من DNA يتم تغطيتها بواسطة البروتين والأشياء العارية المتبقية الأخرى. تم تفاعل DNA مع نترات الفضة. عندما تكون مجموعات الألدheid حرة (أي: لم تتحول بواسطة الفتيلة) يتم اختزال نترات الفضة إلى الفضة. تحفز عناقيد الفضة المتكونة تكوين الذهب من محلول $KSCN$ ، $KAuCl_4$ والهيدروكينون. أنتج هذا سلك ذهب بضع ميكرومترات في الطول و من 50 إلى 100 nm في الاتساع.

(١١, ٤, ٦) تخزين بيانات Data storage

إن إحدى استخدامات AFM الحديثة التي يتم فحصها بأشرطة الحاسوب هي لتخزين البيانات. وضعت الطريقة بحيث تشمل صفاً كبيراً من أطراف AFM وقرص تخزين مطلي بالبوليمر. لتخزين البيانات، يتم إمرار تيار خلال الطرف ليرفع درجة حرارته إلى $400^\circ C$. يؤدي هذا إلى ليونة البوليمر بجوار الطرف مباشرة لينتج تليماً أو تسناً صغيراً. لكي تسترجع البيانات يتم تسخين الطرف إلى $300^\circ C$ والتي تكون منخفضة جداً لأحداث ليونة أثناء فترة تلامس الطرف، لكن تكون كافية لأحداث تغير في المقاومة عندما يسقط الطرف في التلقيم. هذه الطريقة من المتوقع أن تزيد سعة التخزين بعامل أكثر من 20، والذي يكون كافياً، على سبيل المثال، لتحويل ساعة الجوال إلى حاسوب ومشغل موسيقى.

قراءة إضافية

Further Reading

لمواكبة التطورات الراهنة، على القارئ الرجوع إلى دوريات مثل:

Science, Scientific American, Angewandte Chemie, Physics Today, Materials Today, Chemistry World, and Physics Web (<http://physicsweb.org>).

البيبلوغرافيا

Bibliography

عام General

- West, A.R. (1984) *Solid State Chemistry and Its Application*, John Wiley. New York.
Cox, P.A. (1987) *The Electronic Structure and Chemistry of Solid*. Oxford University Press, Oxford.
Cheetham, A.K. and Day, P. (eds.) (1992) *Solid State Chemistry: Compounds*, Oxford University Press, Oxford.
Bruce, D.W. and O'Harc, D. (eds.) (1992) *Inorganic Materials*, John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
Wold, A. and Dwight, K. (1993) *Solid State Chemistry*, Chapman and Hall Inc., New York.
Weller, M.T. (1994) *Inorganic Materials Chemistry*, Oxford University Press, Oxford.
West, A.R. (1995) *Basic Solid State Chemistry*, 2nd edn, John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
Rao, C.N.R. and Gopalakrishnan, J. (1997) *New Directions in Solid State Chemistry*, 2nd edn., Cambridge University Press, Cambridge.
Dann, S.E. (2000) *Reactions and Characterization of Solids*, Royal Society of Chemistry, Cambridge.

الفصل الأول

Chapter 1

الكريستالوجرافيا والتماثل Crystallography and Symmetry

- Wells, A.F. (1984) *Structural Inorganic Chemistry*, 5th edn, Oxford University Press. Oxford.
Hyde, B.G. and Andersson, S. (1989) *Inorganic Crystal Structures*, John Wiley. New York.
Hahn, T. (ed.) (1987) *International Tables for Crystallography*, Vol. A. 2nd edn., International Union of Crystallography.
Cotton, F.A. (1971) *Chemical Applications of Group Theory*, 2nd edn, John Wiley, New York.
Fletcher, D.A. McMeeking, R.F., and Parkin, D. (1996) The United Kingdom Chemical Database Service, *J.*

Chem. Inf. Comput. Sci., 36, 746-9.

LATTICE ENERGIES AND BORN-HABER CYCLES

Johnson. D.A. (1982) *Some Thermodynamic Aspects of Inorganic Chemistry*, 2nd edn. Cambridge University Press, Cambridge.

الفصل الثاني

Chapter 2

أساليب فيزيائية Physical Techniques

Cheetham. A.K. and Day, P. (1987) *Solid State Chemistry: Techniques*. Oxford University Press, Oxford.

Ebsworth. E.A.V., Rankin. D.W.H., and Craddock, S. (1991) *Structural Methods in Inorganic Chemistry*, 2nd edn., Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Ladd, M.F.C. and Palmer. R.A. (1993) *Structure Determination by X-ray Crystallography*, 3rd edn., Plenum, New York.

Bish. D.L. and Post. J.E. (ed.) (1989) *Modern Powder Diffraction: Reviews in Mineralogy*, Vol. 20, The Mineralogical Society of America. Washington, D.C.

Nicnansverdriect. J.W. (1995) *Spectroscopy in Catalysis*. VCH, Weinheim.

Catlow. C.R.A. and Greaves, G.N. (1990) *Applications of Synchrotron Radiation*, Blackie, Glasgow.

Young. R.A. (1993) *The Rietveld Method*. International Union of Crystallography, Oxford.

Clegg. W. (1998) *Crystal Structure Determination*, Oxford University Press, Oxford.

HSU. J.W.P. (2001) True Optical Microscopy. *Mater. Today*. 4. 26.

الفصل الثالث

Chapter 3

التشبيد Synthesis

Rao, C.N.R. (1999) Novel materials, materials design, and synthetic strategies: recent advances and new directions, *J. Mater. Chem.*, 9, 1-14.

Hagemuller. P. (ed.) (1997) *Preparative Solid State Chemistry*, Academic Press, New York.

Rao. C.N.R. and Rolixel. J. (eds.) (1997) Synthesis and reactivity of solids. *Curr. Opinion Solid State Mater. Science*, 2, 129-73.

Rao. C.N.R. and Rouxel. J. (eds.) (1996) Synthesis and reactivity of solids, *Curr. Opinion Solid State Mater. Science*. 1. 225-94.

Segal. D.H. (1994) *Chemical Synthesis of Advanced Ceramic Materials*, Cambridge University Press. Cambridge.

Mingos. D.M.P (1998) Microwaves in chemical syntheses, *Chem. Society Rev.*, 27, 213.

Patil. K.C., Aruna. S.T., and Mimani. T. (2002) Combustion synthesis: an update, *Curr. Opinion Solid State Mater. Science*, 6. 507-12.

الفصل الرابع

Chapter 4

Moore. W.J. (1967) *Seven Solid States*, Chapters II and III. W.A. Benjamin Inc., New York.

McWeeny. R. (1979) *Coulson's Valence*. Oxford University Press. Oxford.

Cox. PA. (1987) *Electronic Structure and Chemistry of Solids*, Chapters 1, 4. and 7, Oxford University Press. Oxford.

- West, A.R. (1988) *Basic Solid State Chemistry*, Chapters 2 and 7, John Wiley, New York.
 Dlify, J.A. (1990) *Bonding, Energy Levels and Bands in Inorganic Solids*, Chapters 4 and 7, Eongman. London.
 Rosenberg, H.M. (1989) *The Solid State*, Chapters 7-10. Oxford University Press, Oxford.
 Kittel, C. (1996) *Introduction to Solid State Physics*, 7th edn., John Wiley, New York.

الفصل الخامس

Chapter 5

عدم انضباط النسب الذرية Non-Stoichiometry

- Tilley, R.J.D. (1987) *Defect Crystal Chemistry*, 2nd edn, Blackie, Glasgow.
 Greenwood, N.N. (1968) *Ionic Crystals, Lattice Defects and Non-stoichiometry*, Butterworths.

البطاريات Batteries

- Dell, R.M. and Rand, D.A.J., (2001) *Understanding Batteries*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

خلايا الوقود Fuel Cells

<http://www.fuelcells.org>,

الفصل السادس

Chapter 6

مراجع Reviews

- Higgins, S.J., Eccleston, W., Sedgi, N., and Raja, M. (May 2003) *Plastic electronics. Education in Chemistry*, 70-3.
 Clery, D. (25 March 1994) *After years in the dark, electric plastic finally shines. Science*, 263,1700-2.

الفصل السابع

Chapter 7

- Breck, D.W. (1974) *Zeolite Molecular Sieves*, John Wiley, New York.
 Barrer, R.M. (1982) *Hydrothermal Chemistry of Zeolites*, Academic Press, New York.
 Dyer, A. (1988) *An Introduction to Zeolite Molecular Sieves*, John Wiley, New York.
 Catlow, C.R.A. (ed.) (1992) *Modelling of Structure and Reactivity in Zeolites*, Academic Press, London.
 Beck, J.S. and Vartuli, J.C. (1996) *Curr. Opinion Solid State Mater. Science*, 1, 76-87.
 Maschmeyer, T. (1998) *Curr. Opinion Solid State Mater. Science*, 3, 71-8.

الفصل الثامن

Chapter 8

- Duffy, J.A. (1990) *Bonding, Energy Levels and Bands in Inorganic Solids*, Longman, London.
 Johnson, N.M., Nurmikko, A.V., and DenBaars, S.P. *Blue diode lasers*, *Phys. Today* (October 2000), 31-6.
 Yablonovitch, E. *Photonic crystals*, *Sci. Am.* (December 2001), 47-55. September.
 Goodman, C.H.R. (September 1983) *Optical Fibres*, *Chemistry in Britian*, 745.

الفصل التاسع

Chapter 9

- Awschalom, D.W., Flatte, M.E., and Samarth, N. *Spintronics, Sci. Am.*, (June 2002) 68-73.
- Guiner, A. and Julien, R. (1989) *The Solid State from Superconductors to Superalloys*, Oxford University Press, International Union of Crystallography, Oxford.
- Newnham, R.E., Trullier-Mckinstry, S. and Giniewicz, T.R. (1993) Piezoelectric, pyroelectric and ferroic crystals. *Journal of Materials Education*, 15, 189-223.

الفصل العاشر

Chapter 10

كتب Books

- Buchel, W. (2004) *Superconductivity- Fundamentals and Application*, John Wiley-VCH, New York.
- Waldram, J.R. (1996) *Superconductivity of Metals and Cuprates*, IOP, London.
- Silberglitt, R. et al. (2002) *Strengthening the Grid: Effect of High-Temperature Superconducting Power Technologies on Reliability, Power, Transfer Capacity and Energy Use*, Rand Corporation.
- Vanderah, T. (ed.) (1999) *Chemistry of Superconductor Materials*, Noyes Publications, Park Ridge, NJ.

مراجع Reviews

- Tallon, J. Industry warms to superconductors, *Phys. World* (March 2000). <http://physicsweb.org>
- Hervieu, M. (1996) Recent developments in the crystal chemistry of high T_C superconductors, *Curr. Opinion Solid State Mater. Sci.*, 1, 29-36.
- Gross Levi, B. Learning about high T_C superconductors from their imperfections, *Phys. Today* (March 2000), 17-8.
- Macno Y., Rice T.M., and Sigrist M. The intriguing superconductivity of strontium ruthenate, *Phys. Today* (January 2001), 42-7.
- Flouquet, J. and Buzdin, A.G. Ferromagnetic Superconductors, *Phys. World* (January 2002). <http://physicsweb.org>.
- Gough C. New metallic superconductor makes an immediate impact, *Phys. World* (April 2001), <http://physicsweb.org>.

الفصل الحادي عشر

Chapter 11

- Nalwa, H.S. (ed.) (2002) *Nanostructured Materials and Nanotechnology*, Academic Press, New York.
- Timp, G. (ed.) (1998) *Nanotechnology*, AIP Press, College Park, MD.
- J. Materials Chem.*, (2004) 14 (4). [The whole issue is devoted to new developments in nanomaterials.]
- Rao, C.N.R. and Cheetham, A.K. (2001) Science and technology of nanomaterials: current status and future prospects, *J. Mater. Chem.*, 11, 2887.
- Cox. J. (September 2003) A quantum paintbox, *Chem. Britain*, 21-5.

الإجابات على الأسئلة الفردية

Answers to Odd-numbered Questions

إجابات الفصل الأول

١- (أ) NF_3 . الشكل رقم (١, ٦٢) (a) يظهر المحور الثلاثي (C_3) وثلاث مستويات تماثل.

(ب) SF_4 . الشكل رقم (١, ٦٢) (b) يظهر المحور الثاني ومستوي تماثل.

(ج) ClF_3 . الشكل رقم (١, ٦٢) يظهر المحور الثاني ومستوي تماثل.

٣- يوجد هناك أربعة. تحتوي خلية وحدة التركيب (2) على نقطتين شبكيتين؛ تحتوي كل من (3a) و (3b)

على ثلاث نقاط شبكية؛ وتحتوي (4) على أربع نقاط شبكية.

٥- تكون المعاملات هي $\bar{1}$ ، $B-1$ ، $C-01$ ، $D-21$ و $E-2$. (باختيار خط مختلف، ربما تأتي إلى الإجابات $\bar{1}1$ ،

$\bar{1}0$ ، $\bar{1}2$ و $\bar{2}1$ تكون هذه إجابات متساوية).

٧- يظهر الشكل رقم (١, ٦٣) ثلاثة مستويات: (a) 100 (b) 110 (c) 111. تكون مساحة المستوى 100 الميئة

هي a^2 وتحتوي على $2 = (1 + 4 \times \frac{1}{4})$ من الذرات. يساهم المستوى 110 بالمساحة $a^2\sqrt{2}$ ويحتوي $2 = (3 \times \frac{1}{2} + 3 \times \frac{1}{6})$

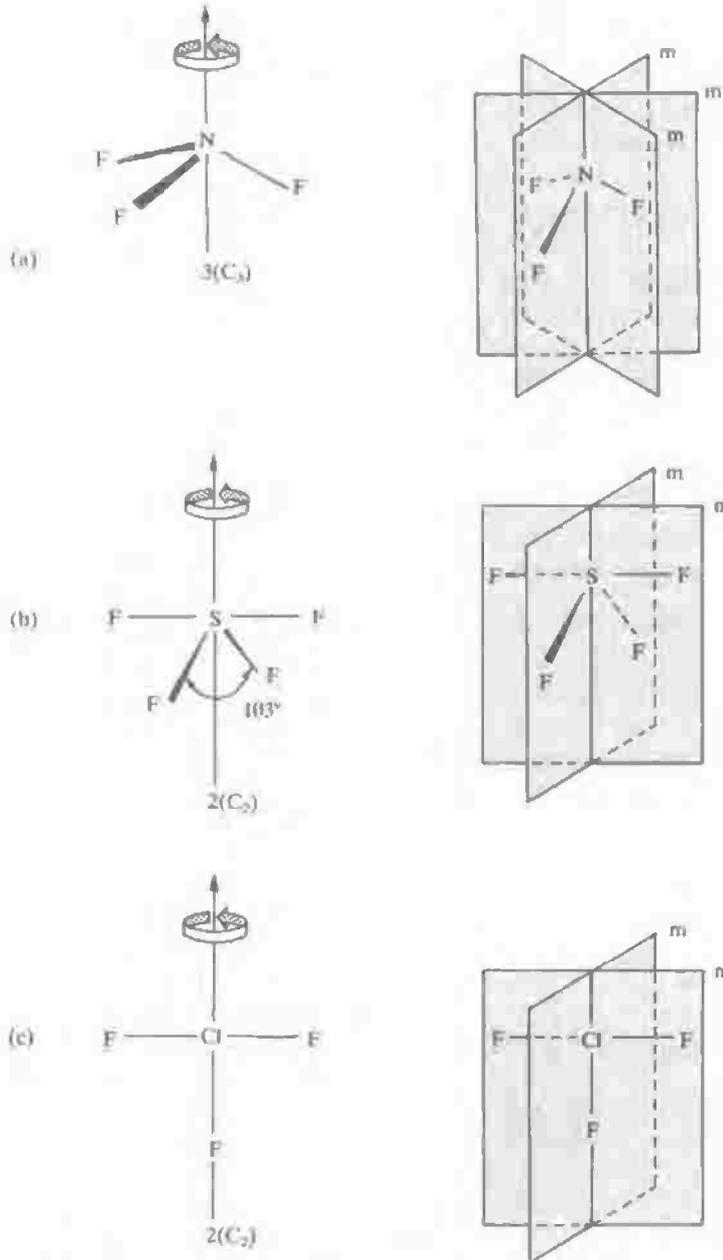
من الذرات. تكون الكثافات النسبية لوحدة المساحة لهذه المستويات الثلاث هي:

$$.100 : 110 : 111 = 2 : 1.414 : 2.31$$

لاحظ أن المستويات 111 هي طبقات محكمة التراص من التركيب وبالتالي يكون لها التراص الأعلى كثافة

للذرات وكما ستوقع.

٩- أربعة يوجد هناك $3 = (6 \times \frac{1}{2})$ ذرة كبريت عند مراكز الأوجه و $1 = (8 \times \frac{1}{8})$ عند الأركان. تكون هذه الأربعة متلائمة بالزنكات Zn الأربعة الداخلة تماماً في الخلية.



الشكل رقم (١, ٦٢). (a) محور ثلاثي الطية (C_3) في NF3 وثلاثة مستويات تماثل في NF3 (b) محور ثنائي الطية (C_2) في SF4 ومستوي تماثل في SF4 (c) محور ثنائي الطية (C_2) في ClF3 ومستوي تماثل في ClF3.

١١ - تكون الكتلة الجزيئية النسبية لكلوريد الصوديوم NaCl هي $58.4428 = (22.9898 + 35.453)$. توجد

أربعة جزيئات في خلية وحدة التركيب، بالتالي تكون الكتلة النسبية لخلية وحدة التركيب بالكيلوجرام هي:

$$\frac{4 \times 58.4428}{6.0220 \times 10^{26}} = 3.8819 \times 10^{-25} \text{ kg}$$

يكون حجم خلية وحدة التركيب هو

$$(564 \times 10^{-12} \text{ m})^3 = 1.79 \times 10^{-28} \text{ m}^3$$

تكون الكثافة لهذا هي

$$\frac{3.8819 \times 10^{-25}}{1.79 \times 10^{-28}} = 2.17 \times 10^3 \text{ kg}$$

١٣ - افترض حدوث تلامس أنيون- أنيون كما في الشكل رقم (١, ٤٦) (a) يكون نصف قطر أيون اليود هو

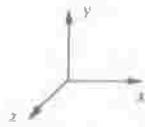
$$\frac{300}{\sqrt{2}} \text{ أو } 212 \text{ pm}$$

١٥ - تكون المستويات 100 و 111 هي نفسها مثل المستويات لتركيب مكعبي التراص في سؤال رقم ٧،

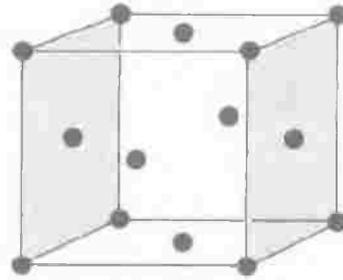
الشكل رقم (١, ٦٣). يكون المستوى الوحيد الذي تغير هو 110 (الشكل رقم ١, ٦٤) الذي يصبح الآن له ذرتين إضافيتين. هكذا تصبح الكثافات النسبية لوحدة المساحة هي:

$$100 : 110 : 111 = 2 : 2.83 : 2.31$$

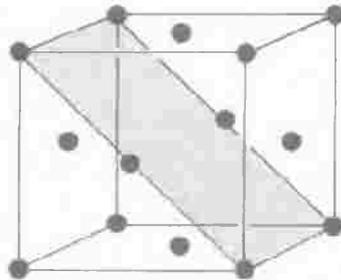
لاحظ أن التركيب لم يعد محكم التراص تماماً (لا تكون ذرات الكربون متلامسة) بسبب أن المستويات 110 تصبح الآن أكثر كثافة في التراص عن 111. تذكر أن نصف قطر الفجوة الرباعية هو فقط $0.225r$ ، ويكون لذرات الكربون هنا نفس نصف القطر. لهذا رغم أنه يمكن التفكير في حدود ذرات الكربون التي تشغل الفجوات الرباعية في تركيب محكم التراص، إلا أنها تكون فعليا كبيرة جداً لفعول هذا، وبالتالي، يكون هذا الوصف مفيداً فقط في حدود الهندسة النسبية، بنفس الطريقة التي ناقشنا بها تركيب الفلوريت.



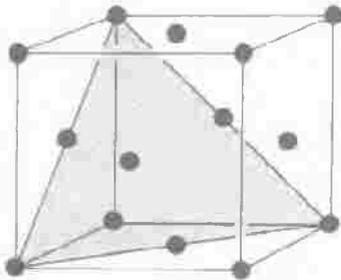
(a)



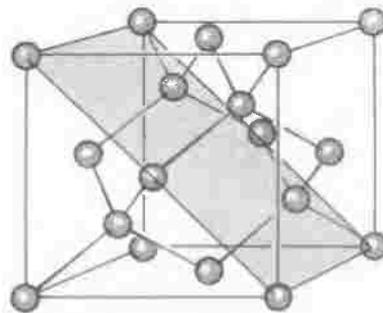
(b)



(c)



الشكل رقم (٦٣، ١).



الشكل رقم (٦٤، ١).

١٧ - ثابت مادلنج $A = -3.99$.

يكون هناك سبعة أيونات في التركيب في الشكل رقم (١, ٦١) ستة كاتيونات وأنيون واحد. أولاً: احسب الإسهام لطاقة الجهد لتداخل الكاتيونات الستة مع الأنيون المركزي. يكون كل كاتيون على مسافة r_0 من الأيون المركزي.

$$E_1 = -\frac{6e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0}$$

يتداخل كل كاتيون أيضاً مع كاتيون معكوس بضعف نصف القطر (مسافة $2r_0$). يوجد هناك ثلاثة من تلك التداخلات، بالتالي:

$$E_2 = +\frac{12e^2}{4\pi\epsilon_0 2r_0}$$

أخيراً، تحسب E_3 من التداخلات بين الكاتيونات المجاورة (مسافة $\sqrt{2}r_0$) الذي يوجد منها اثني عشر:

$$E_3 = +\frac{12e^2}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{2}r_0}$$

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

$$= -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left(6 - \frac{3}{2} - \frac{12}{\sqrt{2}} \right)$$

$$= -\frac{Ae^2}{4\pi\epsilon_0 r_0}$$

من ثم:

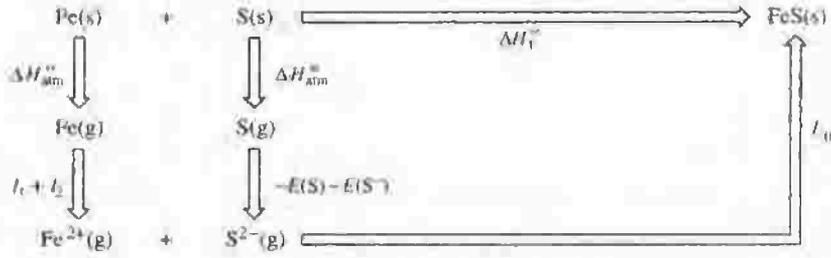
$$A = 6 - \frac{3}{2} - \frac{12}{\sqrt{2}}$$

$$A = -3.99$$

١٩ - يمثل الشكل رقم (١, ٦٥) دورة ملائمة. لاحظ أن الكبريت هو مادة صلبة في حالته القياسية وليس غازاً. نحن نرغب في حساب $[E(S) + E(S)]$ الذي يمكن فعله لو أمكن حساب $L(\text{FeS}, s)$. تكون قيم كل الحدود الأخرى في الدورة معروفة. لو استخدمت علاقة طاقة الشبكية في المعادلة رقم 1.15، فإن إحلال:

$$L = -3295 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ يعطي } \nu = 2, Z_+ = 2, Z_- = 2, r_+ = 92, r_- = 170$$

من الدورة في الشكل رقم (١, ٦٥).

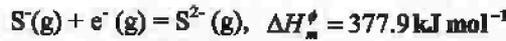


الشكل رقم (١,٦٥).

$$\begin{aligned} E(S) + E(S^-) &= -\Delta H_f^\circ(FeS, s) + \Delta H_{\text{atm}}^\circ(FeS, s) + (I_1 + I_2) + \Delta H_{\text{atm}}^\circ(S, s) + L(FeS, s) \\ &= (100.0 + 416.3 + 761 + 1564 + 278.8 - 3295) \\ &= -1777.9 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

$$E(S) = 200, \text{ so } E(S^-) = -1777.9 - 200 = -3777.9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

تكون قيمة الألفة الإلكترونية هي الحرارة المنطلقة عند إضافة إلكترون، يعني هذا أن التغير في الإنثالبي عند إضافة إلكترون إلى الأنيون $S^-(g)$ يكون ماصاً للحرارة:



ليس مستغرباً، بأنه لا يكون مرغوباً فيه من ناحية الطاقة أن نضيف إلكتروننا إلى أيون سالب الشحنة.

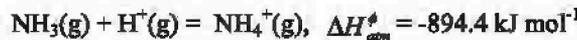
٢١- أولاً: تستخدم المعادلة (١,١٥) لحساب قيمة الطاقة الشبكية لـ NH_4Cl ، $r_+ = 151 \text{ pm}$ و $r_- = 176 \text{ pm}$ ،

$$L = -679 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ معطياً } \nu = 2 \text{ و } Z_+ = 1, Z_- = 1$$

من الشكل رقم (١,٥٨)

$$\begin{aligned} P(NH_3, g) &= -\Delta H_f^\circ(NH_4Cl, s) + \Delta H_f^\circ(NH_3, s) + \frac{1}{2} D(H-H) + I(H) \\ &\quad + \frac{1}{2} D(Cl-Cl) - E(Cl) + L(NH_4Cl, s) \\ &= (314.4 - 46.0 + 218 + 1314 + 122 - 349 - 679) \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= 897.4 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

تكون عملية إضافة بروتون إلى جزيء للأمونيا عملية طاردة للحرارة.



(تكون القيمة المقدرة عملياً هي $871 \pm 15 \text{ kJ mol}^{-1}$ ، التي تكون متوافقة إلى حد كبير).

إجابات الفصل الثاني

١- تكون المسافات لهذه المستويات هي $d_{100} = a$ ، $d_{110} = \frac{a}{\sqrt{2}}$ و $d_{111} = \frac{a}{\sqrt{3}}$ وبالتالي تحدث الانعكاسات في

الترتيب 100، 110 و 111.

٣- إذا كان الانعكاسان 100 و 110 غائبين فمن المرجح أن تكون البلورة مكعبي مركز الوجه.

٥- إذا لا تكون لقيم $\sin^2\theta$ النسبة 8 : 6 : 5 : 4 : 4 : 2 : 1 أو النسبة 8... : 6 : 7 : 5 : 4 : 3 : 2 : 1، من ثم لا تكون الخلية

أولية أو ممركرة الجسم. لو أنها تكون ممركرة الوجه من ثم سيكون العامل المشترك A = 0.0560 - 0.0746 = 0.0186. بقسمة $\sin^2\theta$ على العامل المشترك يعطى قيم $h^2 + k^2 + l^2$ وتكون هذه مدونة في الجدول رقم (٦، ٢) حتى أقرب رقم صحيح. تأخذ hkl القيم hkl إما كلها زوجية وإما كلها فردية، من ثم تتلاءم البيانات مع تركيب مكعبي مركز الوجه.

٧- كتلة مكونات وحدة التركيب هي M وحجم الخلية هو V من ثم تعطى الكثافة ρ بالعلاقة:

$$\rho = \frac{M}{V} = 2.17 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

لكن:

$$V = (563.1 \times 10^{-12})^3 \text{ m}^3$$

الجدول رقم (٦، ٢). بيان حيود مسحوق لـ NaCl.

θ_{hkl}	$\sin^2\theta$	$h^2+k^2+l^2$	hkl
13°41'	0.0560	3	111
15°51'	0.0746	4	200
22°44'	0.1492	8	220
26°56'	0.2052	11	311
28°14'	0.2239	12	222
33°7'	0.2984	16	400
36°32'	0.3544	19	331
37°39'	0.3731	20	420
41°0'	0.4477	24	422
45°13'	0.5036	27	511, 333
50°36'	0.5972	32	440
53°54'	0.6529	35	531
55°2'	0.6715	36	600, 442
59°45'	0.7462	40	620

تكون كتلة المول الواحد من NaCl

$$\text{NaCl} = (22.99 + 35.45) \times 10^{-3} \text{ kg}$$

بالقسمة على عدد أفوجادرو نحصل على كتلة وحدة الصيغة من NaCl

$$\text{NaCl} = \frac{(22.99 + 35.45) \times 10^{-3}}{6.022 \times 10^{23}} \text{ kg}$$

لو أن هناك Z من وحدات الصيغة في خلية وحدة التركيب، فإن كتلة محتويات خلية وحدة التركيب هي:

$$M = \frac{Z(22.99 + 35.45) \times 10^{-3}}{6.022 \times 10^{23}} \text{ kg}$$

فإن

$$\rho = 2.17 \times 10^3 = \frac{Z(22.99 + 35.45) \times 10^{-3}}{6.022 \times 10^{23} \times (563.1 \times 10^{-12})^3}$$

$$Z = \frac{2.17 \times 10^3 \times 6.022 \times 10^{23} (563.1 \times 10^{-12})^3}{(22.99 + 35.45) \times 10^{-3}}$$

$Z = 3.99$ أو $Z = 4$ (إلى أقرب رقم صحيح).

$$\rho = \frac{M}{V} = 9$$

$$3.35 \times 10^3 = \frac{Z(40.08 + 15.99) \times 10^{-3}}{6.022 \times 10^{23}} + (481 \times 10^{-12})^3$$

$$Z = \frac{3.35 \times 10^3 \times (481 \times 10^{-12})^3}{9.311 \times 10^{-26}}$$

$$Z = 4$$

١١- نعلم من المعادلة (٧، ٢) أن $\sin^2 \theta_{hkl} = \frac{\lambda^2}{4a^2} (h^2 + k^2 + l^2)$ يكون للتركيب المكعبي المحكم التراص

خلية وحدة تركيب ممرزة الوجه. لهذا سوف يكون أول انعكاسين مشاهدين هما 111 و 200 بقيمتين من $h^2 + k^2 + l^2$

l^2 هي 3 و 4 على التوالي

$$\frac{\lambda^2}{4a^2} = \sin^2 \theta_{200} - \sin^2 \theta_{111} = 0.181 - 0.136 = 0.045 \text{، و } \sin^2 \theta_{200} = \frac{4\lambda^2}{4a^2} \text{ و } \sin^2 \theta_{111} = \frac{3\lambda^2}{4a^2}$$

$$a = 363.5 \text{ pm}$$

في التركيب المحكم المتراس حيث تكون الذرات في تلامس يكون نصف قطر الذرة r هو $\frac{1}{4}$ طول القطر

الجسمي

$$r = \frac{1}{4} \sqrt{3} a$$

$$r = \left(\frac{1}{4} \times 1.732 \times 363.5\right) \text{ pm}$$

$$r = 157.4 \text{ pm}$$

١٣- كل من الانعكاسين 111 و 222 يكونان مشاهدين في الشبكتين P و F ، لكن 111 لا تكون موجودة

للخلية ممرزة الجسم I . لا يكون 001 مشاهداً في خلية وحدة التركيب F ، لكن سيكون مشاهداً في خلية وحدة

التركيب P . هكذا تكون شبكية برفيس هي F .

١٥- تكون القمم في الطيف بقيم عظمى عند 88-، 93-، 99- و 105 pm تقريباً لو وصفت هذه القيم على رسم بياني في الشكل رقم (٢،٢.٦)، من ثم سوف نشاهد أن المقابل الأفضل هو للوصلات الأربع:
 $Si(OSi)_4$ و $Si(OAl)(OSi)_3$ ، $Si(OAl)_2(OSi)_2$ ، $Si(OAl)_3(OSi)$.

١٧- المادة البادئة (أ) تظهر بوضوح وجود Al رباعي الأوجه في الإطار التركيبي (قمة عند 61pm). بعد المعالجة بواسطة $SiCl_4$ ، (ب) يكون مقدار Al في الإطار التركيبي قد تم اختزاله بشكل كبير، لكن تكون هناك قمة قوية جداً تعزى إلى $[AlCl_4]^-$ عند 100 ppm. وقمة تعزى إلى الألومنيوم الثاني عند 0 ppm. يزيل الغسيل الأول (ج) $Na^+[AlCl_4]^-$ العينة وتكرار الغسيل (د) يزيل بعضاً من Al المتناسق ثانياً.

١٩- تتطابق القمة الطاردة للحرارة الأولى عند حوالي $60^\circ C$ مع فقد حاد في الوزن وتُعزى إلى انتزاع الماء من كبريتات الحديدوز. لا تتطابق القمة الطاردة للحرارة الثانية مع فقد في الوزن ولهذا تعزى إلى انتقال طور (تكون هذه درجة حرارة الانصهار). تكون القمة الطاردة للحرارة الثالثة عند حوالي $600^\circ C$ وتتطابق مرة أخرى مع فقد الوزن ويكون بسبب التفكك.

إجابات الفصل الثالث

١- هذا المركب يمكن عمله من العناصر بالنسب الذرية الصحيحة. ينبغي للمواد المتفاعلة أن يتم خلطها جيداً وينبغي غلق إناء التفاعل لمنع الكبريت المتطاير (انظر تحضير SmS).

٣- الميزات- ناتج متجانس أكثر مع نطاق أضيق من حجوم الحبيبة؛ يمكن عمل طبقات رقيقة لمكثفات ميكرومترية- العيوب- تكون العلمية أكثر تعقيداً وقد تكون مكلفة اقتصادياً عند وضعها على النطاق الصناعي.

٥- يكون $\beta\text{-TeI}$ انتقالياً على Te في حالة أكسدة غير عادية. تكون الطريقة التي تستخدم درجات حرارة بهذه الرتبة ويمكنها إنتاج مركبات في حالات أكسدة غير عادية هي التشييد الحراري المائي (الحرمائي) hydrothermal synthesis.

٧- يعمل أيون رباعي بروبييل الأمونيوم tetahpropylamniom كقالب معايرة ويوجه تكوين الشبكة من القنوات حول المتصلات بروبييل propyl ligands. يؤكسد التسخين في الهواء الكاتيون ويترك في إطار الزيوليت الخارجي سليباً تماماً.

٩- بسبب أن التفاعل يكون طارداً للحرارة، فإنه ينحرف إلى اليسار يرفع درجة الحرارة. هكذا تنمو البلورات عند الطرف الساخن من الأنبوبة.

إجابات الفصل الرابع

١- لمستوى فرمى في الصوديوم $E = 4.5 \times 10^{-19} \text{ J}$ وكتلة الإلكترون $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ يعطى هذا

$$4.5 \times 10^{-19} = \frac{1}{2} \times 9.11 \times 10^{-31} \times v^2$$

$$v = (2 \times 4.5 \times 10^{-19} / 9.11 \times 10^{-31})^{1/2}$$

$$= 9.9 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$$

$$N = 10^{-12} \times (2 \times 9.11 \times 10^{-31} \times 4.5 \times 10^{-19})^{3/2} / 3\pi^2 \times (1.055 \times 10^{-34})^3 = 2.135 \times 10^{16} \text{ (أ) } - ٣$$

$$2.13 \times 10^{22} \text{ (ب)}$$

$$0.2 \text{ (ج)}$$

يمكن لكل مستوى أن يأخذ إلكترونين ويكون لبلورة صوديوم بعدد N من الذرات عدد N من الإلكترونات
للمناطق. كما يمكن أن يكون التوافق بين عدد المستويات الممتلئة المستنبطة بواسطة هذه النظرية البسيطة
والعدد المطلوب لاستضافة الإلكترونات المتاحة جيداً جداً. لاحظ أيضاً أن هذا السؤال يوضح كيف يزيد
مستوى الطاقة كلما تم حجز الإلكترونات في حجم أصغر وأصغر.

Ge ، Si - ٥

٧- يكون للكربورندم Carborundum مثل السيلكون والجرمانيوم $4N$ من إلكترونات التكافؤ لبلورة بعدد N
من الذرات. سيكون تركيب الألماس الرباعي مفضلاً بسبب أن كل إلكترونات $4N$ ستكون حيثما في مدارات
رابطة وتكون الطاقة أقل عنها في تركيب متناسق أعلى.

إجابات الفصل الخامس

$$R = 88.314 \text{ kJ k}^{-1} \text{ mol}^{-1} \text{ و } \Delta H_s = 200 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ حيث } n_s \approx Ne^{-\Delta H_s / 2RT} - ١$$

الجدول رقم (١٠، ٥). تركيز عيب شوتكي في مركب MX عند درجات حرارة مختلفة.

n_s / mol^{-1}	n_s / N	درجة حرارة K	درجة حرارة °C
2.33×10^6	3.87×10^{-18}	300	27
2.15×10^{13}	3.57×10^{-11}	500	227
2.08×10^{16}	3.45×10^{-8}	700	427
9.45×10^{17}	1.57×10^{-6}	900	627

٣- لا تؤثر زيادة مستويات الشائبة على الموصلية الذاتية (الطرف الأيسر) من الرسم. لكنها، من ناحية ثانية تزيد من قيمة σ (وبالتالي $\ln\sigma$) في المنطقة الدخيلة. حيث تظل طاقة التنشيط E_a لحركة الكاتيون هي نفسها، لا يتغير ميل الرسم (انظر الشكل رقم ٥, ٤٦). بزيادة نقاوة البلورة، تقل درجة حرارة الانتقال التي عندها تسود عملية توليد العيوب حرارياً.

٥- يكون للأكسيد أيونات عالية الشحنة أكثر (M^{4+} أو O^{2-}) عن الفلوريد. يعني هذا أن التداخل الكولومبي سوف يكون أقوى وبالتالي تكون طاقة تكوين العيب أعلى (انظر الجدول رقم ٥, ١)، من ثم يتم اختزال تركيز العيب عند درجة حرارة معينة.

٧- يكون الأنيون عند مركز الجسم من خلية وحدة التركيب في الشكل رقم (٥, ٣) (c) محاطاً بستة أيونات عند مسافة $\frac{a}{2}$ وأربعة كاتيونات عند مسافة $0.43a$ ونسبة كاتيونات عند المسافة $\frac{a}{2}$ وأربعة كاتيونات عند مسافة $0.43a$. يكون الموقع الخلائي عند مركز الجسم من خلية وحدة التركيب في الشكل رقم (٥, ٣) (a) محاطاً بثماني أيونات عند مسافة $0.43a$ ونسبة كاتيونات عند المسافة $\frac{a}{2}$.

لموقع أنيون طبيعي:

$$r = 0.43 \times 537 \times 10^{-12} \text{ m} \text{ و } Z = +2 \text{ للتداخل مع أربعة كاتيونات.}$$

$$r = 0.5 \times 537 \times 10^{-12} \text{ m} \text{ و } Z = -1 \text{ للتداخل مع ستة أنيونات.}$$

$$\begin{aligned} E &= - \left(\frac{2.31 \times 10^{-28} \text{ Jm}}{537 \times 10^{-12} \text{ m}} \right) \left(\frac{4 \times 2}{0.43} - \frac{6 \times (-1)}{0.5} \right) \\ &= -(4.302 \times 10^{-19} \text{ J})(6.605) \\ &= -2.84 \times 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$

لموقع خلائي:

$$\begin{aligned} E &= -(4.302 \times 10^{-19} \text{ J}) \left(\frac{8 \times (-1)}{0.43} + \frac{6 \times 2}{0.5} \right) \\ &= -(4.302 \times 10^{-19} \text{ J})(5.395) \\ &= -2.32 \times 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$

تكون طاقة تكوين عيب هي الفرق في الطاقة بين الموضعين و بالتالي تعطى بـ:

$$= -(2.32 \times 10^{-18} \text{ J}) - (-2.84 \times 10^{-18} \text{ J}) = 5.2 \times 10^{-19} \text{ J}$$

تعطي القيمة العملية للفلوريت في الجدول رقم (٥، ١) بالقيمة 4.49×10^{-18} J. يعطي الحساب مستوى جيداً جداً من التوافق باعتبار أننا قد أهملنا التداخلات الأكثر بعداً التي تشمل التنافر بين الأنوية، اهتزازات الشبكية واسترخاء الشبكية!

٩- I^- ، S^{2-} ، Se^{2-} ، Te^{2-} كلها أيونات قابلة للاستقطاب.

١١- يكون حجم خلية وحدة التركيب هو $7.8513 \times 10^{-24} \text{ m}^3 = (428.2 \text{ pm})^3$. كتلة المحتويات لفجوات

حديد:

$$[(4 \times 55.86 \times 0.910) + (4 \times 16.00)] / (N_A \times 10^3) \text{ kg},$$

تعطي كثافة $5.6534 \times 10^{-3} \text{ kgm}^{-3}$

كتلة المحتويات لأكسجين خلالي oxygen interstitial

$$[(4 \times 55.85) + (4 \times 1600 \times 1/0.0910)] / (N_A \times 10^3) \text{ kg}$$

تعطي كثافة $6.212 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

بمقارنة هذه القيم النظرية مع القيمة العملية، نرى مرة أخرى أن البرهان يدعم نموذج شغرة الحديد.

١٣- تحتوي البلورة المحتوية على مراكز F- على شفرات أنيونية. لهذا ستوقع أن الكثافة ستكون أقل عن

تلك للبلورة عديمة اللون.

١٥- شغرات تيتانيوم titanium vacancies يوجد هناك 8 عند الأركان $1 = (8 \times \frac{1}{8})$ و $1 = (2 \times \frac{1}{2})$ على أوجه

الخلية. أيونات تيتانيوم titanium أضلاع الخلية $1 = (4 \times \frac{1}{4})$ أوجه الخلية $4 = (8 \times \frac{1}{2})$ على القمة والقاع. يوجد 5 أيونات

بداخل حد الخلية ليصنع 10 في الإجمالي. تكون النسبة الذرية المغنطيسية للتيتانيوم ممثلة بشكل واضح للتركيب

الكلّي: من بين المواضع 10 و 12 تكون مشغولة، و 2 تكون شاغرة. هذا أيضاً حقيقي للأكسجين.

ثغرات أكسجين oxygen vacancies: أوجه الخلية $2 = (4 \times \frac{1}{2})$. أيونات أكسيدية oxide ions: أوجه الخلية

$4 = (8 \times \frac{1}{2})$ أضلاع الخلية $2 = (8 \times \frac{1}{4})$. يوجد أيونات بداخل حد الخلية لتصنع 10 في الإجمالي.

١٧- يكون للتركيب ثغرات Ti- كل Ti خامس يكون مفقوداً لكل أيون Ti^{2+} غائب لا بد من وجود اثنين

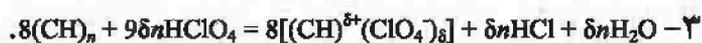
من Ti^{3+} أو واحد Ti^{4+} .

١٩- يصف الشكل رقم (٥، ٥٠) تركيب قصّ مع خلية وحدة تركيب مضافة. بداخل الحد، يكون هناك

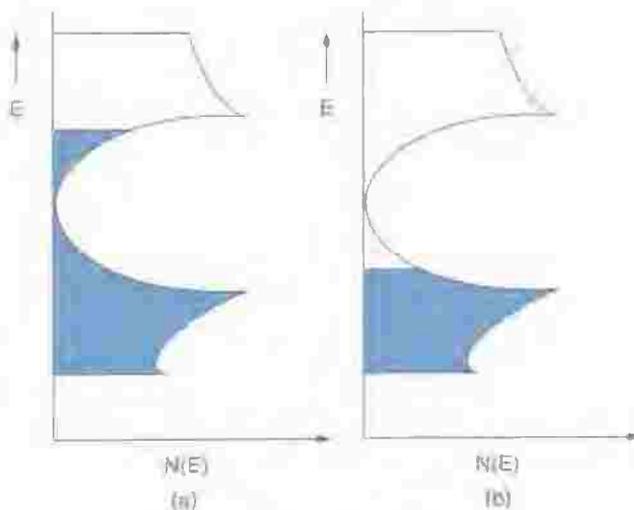
أربعة من رباعيات متقاسمة بالحافة أو الأضلاع وأربع ثنائيات $[WO_6]$ تكون الصيغة: $W_4O_{11} + 4WO_3 = W_8O_{23}$.

إجابات الفصل السادس

١- يكون لمركب polyphenylenvinylene نظام π غير متمركز على حلقة البنزين. من المرجح أن هذا يكون أيضاً غير متمركز على الرابطة الثنائية المتبادلة ومن ثم إلى حلقة البنزين في الخلية المجاورة. هكذا مثل البولي أستيلين سيكون لهذا البوليمر نظام π غير متمركز، لكن سوف يشمل مدارات π للحلقة.



٥- يتجه الفلورين إلى جذب الإلكترونات إليه ومن ثم من المرجح أن يكون TCNQF_4 مستقبل إلكترون قوي عن TCNQ . تنشأ الخواص التوصيلية للمواد الصلبة مثل TTF-TCNQ من الانتقال الجزيئي للإلكترونات من نوع جزيء إلى آخر. يكون TCNQF_4 مستقبلاً جيداً بالدرجة الكافية إلى أن يكون قادراً على نقل إلكترون لكل وحدة، هكذا يملأ تماماً نطاق التوصيل في إحدى الترسيصات ويفرعاها تماماً في التراص أو الترسيص الأخرى. لهذا لا يكون لـ HMTTF-TCNQF_4 نطاقات ممتلئة جزئياً ومن ثم لا يكون موصلاً فلزياً.



الشكل رقم (٦.١٥).

٧- يوضح الشكل رقم (٦.١٥) تركيب النطاق للجرافيت الذي تم إقحامه بواسطة (أ) مانع إلكترون (ب) مستقبل إلكترون.

إجابات الفصل السابع

- ١- يظهر الرسم في الشكل رقم (٢,٢٦) أن البيئة الأكثر ترجيحاً للسيلكون في الزيوليت A هي $\text{Si(OAl)}_3(\text{OSi})$. من ناحية ثانية، نفهم أن النسبة Si/Al هي 1، هكذا لا يكون هذا التناسق ممكناً بدون كسر منهجي لقاعدة ونستن Wenstein's rule . إنه يكون عملاً طيفياً على هذا التركيب (وعلى الزيوليت ZK-4) الذي أثبت تماماً تركيب Si(OAl)_4 للزيوليت A مع تبديل محدود من Si و Al وأدى إلى النطاقات الممتدة المبينة في الرسم.
- ٣- يوضح هذا النظام الحفز المختار لشكل المتفاعل. تكون الهيدروكربونات المتفرعة ضخمة جداً للمرور خلال فتحات الثقب في الحافز.
- ٥- يظهر الزيوليت A (ca) انتقائية للمادة المتفاعلة، يمكن ل-n هكسان n-hexane المستقيم السلسلة أن يمر خلال النوافذ ويخضع إلى تفاعل لكن يتم لفظ ٣- ميثيل بتان 3-methyl pentane. إن التكسير الانتقائي للهيدروكربونات مستقيمة السلسلة في وجود سلاسل متفرعة هي عملية صناعية مهمة معروفة باسم التكوين الانتقائي select forming الذي يحسن من رقم الأوكتان للوقود.
- ٧- كما زادت نسبة Si/Al ، يهبط تردد الشد لمجموعة OH-. يشير هذا إلى نقص في شدة الرابطة التساهمية مما يجعل تآين H^+ أسهل (أي زيادة في شدة الحمض).

إجابات الفصل الثامن

- ١- في Mn^{2+} يمكن للإلكترون أن يذهب فقط من المستوى 3d إلى آخر إذا تغير غزله. تكون الانتقالات التي يغير فيها الإلكترون غزله محظورة وبالتالي ينشأ عن هذا خطوط طيف ضعيفة.
- ٣- يكون ZnS شبه موصل بنطاق تكافؤ ممتلئ ونطاق توصيل فارغ. بسبب أن المدارات في هذا النطاق غير متمركزة، يمكن للطاقة بسهولة أن تنتقل إلى أجزاء أخرى من البلورة خاصة لذرات المدمم.
- ٥- يكون السليكون مادة صلبة بفجوة نطاقية مباشرة مع مسار لإشعاعي متاح من نطاق التوصيل إلى نطاق التكافؤ. في الخلايا الضوئية- الفلطية photo-voltaic cells ترتقي الإلكترونات من نطاق التكافؤ إلى نطاق التوصيل ومن ثم تستخدم لعمل شغل كهربائي. لا تعود الإلكترونات المرتقاة إلى نطاق التكافؤ مباشرة لا بواسطة انبعاث طاقة ولا بمسار إشعاعي. في LED، تكون عودة الإلكترونات إلى نطاق التكافؤ بانبعاث الضوء مهماً. يكون لهذه العودة احتمالية ضعيفة بسبب الفجوة النطاقية غير المباشرة وتستخدم الإلكترونات المسار الإشعاعي بدلاً من

ذلك. سيكون الارتفاع إلى نطاق التوصيل في الخلايا الشمسية أيضاً باحتمالية ضعيفة، لكن لا يكون هناك طريق منافس متوفر للمسار اللا إشعاعي.

٧- يزيد الطول الموجي للفجوة النطاقية الفوتونية كلما زاد حجم الكرات، من ثم ستكون كبيرة للطول الموجي الأطول للألوان الأحمر- البرتقالي.

إجابات الفصل التاسع

- ١- بسبب أن ذرات Mn تكون متباعدة إلى حد كبير، سيكون تداخل مدارات 3d أقل. سيكون نطاق 3d أضيق عن فلز المنجنيز. مع نطاق أضيق سيكون هناك تنافر أكبر بين الإلكترونات وتصبح حالة بعدد غير مقترن من الغزول مقارنة بعدد الذرات مفضلة تكون السبيكة هكذا فرّومغناطيسية.
- ٣- تكون أيونات Zn^{2+} ونصف أيونات Fe^{3+} في مواضع ثمانية بالتوازي وتكون أيونات Fe^{3+} المتبقية في المواضع الرباعية متراففة بتوازٍ مختلف. يكون العزم الخالص لأيونات Fe^{3+} صفر. حيث تكون كل غزول الإلكترون في أيونات Zn^{2+} مقترنة، لا يوجد بصفة عامة عزم مغناطيسي ويكون المركب فرّومغناطيسياً مضاداً.
- ٥- يقترح تأثير الاستبدال بالديوتريوم deuterium أن ذرات الهيدروجين تنزاح عندما يتكون طور فرّوكهربي.

إجابات الفصل العاشر

- ١- بطريقة مماثلة، يمثل كل شخص زوج كوبر cooper pair ويرمز اتصال الأذرع إلى التلاحم بين الأزواج، ليعطي نظاماً مرتباً. بسبب الحركة التعاونية المرتبة، لا يحدث تشتت من العيوب- سقوط في الحفرة! ينكسر التشابه في أنه يسمح بالتلاحم فقط بين الأزواج المتجاورة عن كونه على نطاق كبير من الأعداد بالإضافة إلى هذا، يؤدي فقد الموصلية الفائقة إلى تشتت إلكترونات منفردة، ليست أزواج كوبر منفردة.

المادة	تمثيل بارامتر الرتبة	حالة الغزل
فلزات وسبائك	موجة s-	مفردة
نحاسيات فائقة التوصيل	موجة d-	منفردة
موصلات فائقة التوصيل فرّومغناطيسية	موجة p-	ثلاثية

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي - إنجليزي



monoclinic

fractional coordinates

quantum wells

orthosilicates

gallium arsenide

Born exponent

asbestos

polarizability

compact discs

molecular wires

quantum wires

cement

intrinsic semiconductors

hopping semiconductors

audiotapes

synchrotron radiation

أحادي الميل

إحداثيات كسرية

أحواض كمية

أرثوسيليكات

أرزنيد الجاليوم

أس بورن

أسبستوس

استقطابية

أسطوانات مضغوطة

أسلاك جزيئية

أسلاك كمية

أسمنت

أشباه موصلات ذاتية

أشباه موصلات نطاقية

أشرطة استماع

إشعاع سنكروترون

monochromatic radiation	إشعاع موحد اللون
coordination shells	أغلفة التناسق
intercalation	إقحام
non-stoichiometric oxides	أكاسيد غير منضبطة النسب الذرية
zirconium oxide	أكسيد الزركونيوم
cadmium oxide	أكسيد الكاديوم
boron	البورون
R factor	R- العامل
coercive force	القوة القسرية
solid electrolytes	إلكتروليت صلب
synthetic diamond	الماس الاصطناعي (المشيد)
interplanar spacing d_{hkl}	المسافة بين المستويات d_{hkl}
residual index	المعامل R (المتخلف)
aluminium	ألومنيوم
β -alumina	ألومينا- β
optical fibres	ألياف بصرية
polyester fibres	ألياف بولي أستر
quantum mechanical tunneling	آلية التنفق الكمي
interstitial mechanism	آلية خلالية
vacancy mechanism	آلية شغرة
amphiboles	أمفيبولات
fluorescent light tubes	أنابيب إضاءة فلورية
zigzag nanotubes	أنابيب نانو حلزونية
carbon nanotubes	أنابيب نانو كربون

armchair nanotubes	أنابيب نانو مذرعة
analcite	أنالسيت
spontaneous emission	انبعاث تلقائي
multi-walled nanotube	أنبوب نانو متعدد الجدار
single-walled nanotube	أنبوب نانو وحيد الجدار
entropy	إنتروبي
configurational entropy	إنتروبي التوضع
anomalous dispersion	انتشار غير سوي
chemical vapour transport	انتقال طور بخار
non-radiative transitions	انتقالات لا إشعاعية
forbidden transitions	انتقالات محظورة
enthalpy of formation	إنثالي التكوين
standard enthalpy of formation	إنثالي تكوين قياسي
fission	انشطار
ionic radii	أنصاف أقطار أيونية
thermochemical radii	أنصاف أقطار حرارية كيميائية
flame fusion	انصهار باللهب
plasma fusion	انصهار بلازما
reflection	انعكاس
inversion	انقلاب
intergrowths	إنشاءات بينية
opals	أوبالات
ammonium ion	أيون أمونيوم
isoelectronic ions	أيونات متماثلة إلكترونياً



baddeleyite	بادليت
isotropic displacement parameter	بارامتر إزاحة متساوي الخواص
anisotropic displacement parameter	بارامتر إزاحة غير متساوي الخواص
order parameter	بارامتر الرتبة
p-wave order parameter	بارامتر رتبة الموجة نمط-p
Pauli paramagnetism	بارامغناطيسية باولي
superparamagnetism	بارامغناطيسية فائقة
paramagnetism	بارامغناطيسية
basalt	بازلت
beryl	بريل، زمرد بصري
storage batteries	بطاريات تخزين
battery	بطارية
primary battery	بطارية أولية
molecular crystals	بلورات جزيئية
photonic crystals	بلورات فوتونية
nanocrystal	بلورة النانو
bentonite	بتونيت
polymer LED	بوليمر LED
beidellite	بيادليت
perovskite	بيروفسكيت
butanols	بيوتانولات
biotite	بيوتيت



Josephson effect	تأثير جوسفسون
antibacterial action	تأثير ضد البكتريا
isotope effect	تأثير نظير
quantum size effects	تأثيرات حجم كمي
talc	تالك
ion exchange	تبادل أيوني
cation exchange	تبادل كاتيوني
super exchange	تبادل مفرط
coulombic attraction	تجاذب كولومبي
freeze-drying	تجميد-تجفيف
thermal analysis	تحليل حراري
thermogravimetric analysis	تحليل حراري وزني
Rietveld analysis	تحليل رتفلد
Fourier transform	تحول فوريير
constructive interference	تداخل بناء
charge-dipole interaction	تداخل شحنة-ثنائي قطب
covalent bonding	ترابط تساهمي
packing of spheres	تراص الكرات
close-packing	تراص محكم
hexagonal close-packing, <i>hcp</i>	تراص محكم سداسي
block structures	تراكيب كتلية
transistors	ترانزستورات

field-effect transistors. FETs	ترانزستورات المجال التأثيري
extended covalent arrays	ترتيب تساهمي ممتد
attempt frequency	تردد المحاولة
chemical vapour deposition	ترسيب بخار كيميائي
co-precipitation	ترسيب مصاحب
nickel arsenide structure	تركيب أرسنيد النيكل
titanium monoxide structure	تركيب أكسيد تيتانيوم أحادي
ilmenite structure	تركيب المينيت
pentagonal column structures	تركيب بعمود خماسي
rhenium trioxide structure	تركيب ثلاثي أكسيد الرينيوم
bismuth triiodide structure	تركيب ثلاثي يوديد البزموت
fine structure	تركيب دقيق
extended X-ray absorption fine structure, EXAFS	تركيب دقيق بامتصاص شعاع سيني ممتد
rutile structure	تركيب روتيل
zinc blende structure	تركيب زنك بلند
antirutile structure	تركيب عكس الروتيل
fluorite structure	تركيب فلوريت
aluminium fluoride structure	تركيب فلوريد الألمونيوم
superstructure	تركيب فوقي
caesium chloride structure	تركيب كلوريد السيزيوم
cadmium chloride structure	تركيب كلوريد الكاديوم
isomorphous structure	تركيب لا بلوري
primitive cubic structure	تركيب مكعبي بسيط

body-centred cubic structure	تركيب مكعبي ممرکز الجسم
wurtzite structure	تركيب ورتزيت
cadmium iodide structure	تركيب يوديد الكادميوم
Schoenflies notation	ترميز شونفليز
Rayleigh scattering	تشتت رايلخ
resonance scattering	تشتت رنيني
magnetic scattering	تشتت مغنطيسي
plastic deformation	تشوه بلاستيكي
combustion synthesis	تشبيد الاحتراق
microwave synthesis	تشبيد بالميكروويف
polarization correction	تصحيح استقطاب
absorption correction	تصحيح امتصاص
Lorentz correction	تصحيح لورنتز
indexing	تصنيف
ultrasonic imaging	تصوير بالأشعة فوق الصوتية
magnetic resonance imagine. MRI	تصوير بالرنين المغنطيسي
enthalpy change	تغير إنثالبي
thermite reaction	تفاعل ثرميت
fluorescence	تفلور
exchange coupling	تقارن استبدال
spin-spin coupling	تقارن غزل- غزل
petroleum cracking	تكسير للبترول
nanotechnology	تقنية النانو

catalytic cracking

تكسير محفز

quantum-cascade lasers

تلاحق ليزر كمي

symmetry

تماثل

rotational symmetry

تماثل دوران

space-symmetry

تماثل فراغي

point symmetry

تماثل نقطي

coordination

تناسق

mobility

تنقلية

zone-refining

تنقيح نطاق

chemical twinning

توأمة كيميائية

barium titanate

تيتانات الباريوم

ث

R gas constant

ثابت الغاز (R)

Madelung constant

ثابت مادلينج

constancy of the interfacial angles

ثباتية الزوايا بين الأوجه

carbon dioxide

ثاني أكسيد الكالسيوم

chromium dioxide

ثاني أكسيد الكروم

linked octahedral

ثمانيات متصلة

ج

gasoline

جازولين

gaussian

جاوسن

graphite

جرافيت

granite

جرانيت

giant molecule

جزيء عملاق

polar molecule

جزيء قطبي

gel

جل

amethyst

جمست

belt apparatus

جهاز السير

ionic solids

جوامد أيونية



absorption edge

حافة امتصاص

transition state

حالة انتقالية

grains

حبيبات

screening of nuclear charge

حجب الشحنة النووية

chemical shielding anisotropy

حجب كيميائي متباين الخواص

grain boundary

حد الحبيبة

iron

حديد

thermal motion

حركة حرارية

oxygen sensor

حساس أكسجين

biosensor

حساس حيوي

sensitizers

حساسات

gas sensors

حساسات غاز

photocatalyst

حفاز ضوئي

catalysts

حفازات

single crystal X-ray diffraction

حيود الشعاع السيني من بلورة وحيدة

neutron diffraction

حيود النيوترون

خ

fuel cells

خلايا وقود

solid oxide fuel cells

خلايا وقود بأكسيد صلب

unit cell

خلية وحدة تركيب

primitive unit cell

خلية وحدة تركيب أولية

body-centred unit cell

خلية وحدة تركيب ممرکز الجسم

face-centred unit cell

خلية وحدة تركيب ممرکز الوجه

د

radial distribution function

دالة توزيع نصف قطري

melting temperature

درجة حرارة الانصهار

superconducting critical temperature

درجة حرارة التوصيل الفائقة الحرجة

blocking temperature

درجة حرارة محتبسة

Neel temperature

درجة حرارة نيل

nanoparticles

دقائق النانو

Born-Haber cycle

دورة بورن- هابر

thermochemical cycle

دورة حرارية كيميائية

ذ

interstitial atom

ذرة خلالية

colloidal gold

ذهب غرواني

rhomblc dodecahedron

معيني ذو الأثني عشر وجهاً

ر

ionic bond	رابطة أيونية
hydrogen bond	رابطة هيدروجينية
hard disk read-heads	رأس قراءة أسطوانة مضغوطة
tetragonal	رباعي الأضلاع
tetrahedral	رباعي الأوجه
Apollo missions	رحلات أبوللو
octane-number	رقم الأوكتان

ز

Bragg angle	زاوية براغ
zirconia	زركونيا
yttria-stabilized zirconia	زركونيا مستقرة بأتريا
calcia-stabilized zirconia	زركونيا مستقرة بالكلسا
zircon	زركونيوم
arsenic	زرينخ
space groups	زمرة فراغية
zeolite A. 140. 261. 279. 287	زيولت
fibrous zeolite	زيوليت ليفي

س

spinel	سبينل
inverse spinel	سبينل معكوس
amplitude	سعة

vibrational amplitude

سعة الاهتزاز

band width

سعة النطاق

Fourier series

سلاسل فوريير

homologous series

سلاسل متشاكله

silica

سليكا

fumed silica

سليكا مدخنة

silicates

سليكات

aluminosilicates

سليكات الألمونيوم

anvil

سندان



chabazite

شبازيت

lattice

شبكة

Bravais lattice

شبكة برافيس

one-dimensional lattice

شبكة في بعد واحد

two-dimensional lattice

شبكة في بعدين

semiconductor

شبه موصل

n-type semiconductor

شبه موصل نمط n-

p-type semiconductor

شبه موصل نمط p-

nuclear charge

شحنة نووية

cavities

فجوات

vacancy

شغرة

ص

light emitting diodes

صمامات ثنائية باعثة للضوء

Lauc photograph

صورة فوتوغرافية لاوي

mirror image

صورة مرآة

Boltzmann formula

صيغة بولتزمان

ط

second ionization energy

طاقة التأين الثاني

zero point energy

طاقة النقطة صفر

activation energy

طاقة تنشيط

Gibbs free energy

طاقة جيبس الحرة

lattice energy

طاقة شبكية

ball-milling

طحن كروي

precursor method

طريقة البشير

least-squares method

طريقة المربعات الصغرى

Patterson method

طريقة باترسون

Bridgman method

طريقة برديمان

flotation method

طريقة تعويم

hydrothermal method of synthesis

طريقة حرارية مائية للتشيد

ceramic method

طريقة سيراميكية

sol-gel method

طريقة صل - جل

photographic process

طريقة فوتوغرافية

float-zone process

طريقة نطاق - طفو

acidic clay

طفلة حمضية

phase

طور

ظ

piezoelectric effect

ظاهرة كهرضغطية

ع

structure factor

عامل تركيب

scattering factor

عامل تشتت

isotropic temperature factor

عامل حرارة متساوي الخواص

form factor

عامل شكل

oxygen meter

عداد أكسجين

scintillation counter

عداد وميض

Avogadro number

عدد أفوجادرو

coordination number

عدد التناسق

polymorph

عديد التشكل

magnetic moment

عزم مغنطيسي

yttrium aluminum garnet

عقيق ألومنيوم أتريوم

nanoscience

علم النانو

'bottom-lip' process

عملية بطريقة "قعر - قمة"

symmetry operation

عملية تماثل

symmetry element

عنصر تماثل

translational symmetry element

عنصر تماثل انتقالي

cluster

عنقود

neutron scattering factors

عوامل تشتت نيوتروني

linear defect

عيوب خطي

anion Frenkel defect

عيوب فرنكل أنيوني

cation Frenkel defect

عيوب فرنكل كاتيوني

extrinsic defects

عيوب دخيلة

intrinsic defects

عيوب ذاتية

Schottky defects

عيوب شوتكي

Frenkel defects

عيوب فرنكل

planar defects

عيوب مستوى

extended defects

عيوب ممتدة

stoichiometric defects

عيوب منضبطة النسبة الذرية

point defects

عيوب نقطية

غ

absences

غيابات

systematic absence

غيابات منهجية

coherent

غير متجانس

ف

pore-openings

فتحات مسامية

tetrahedral hole

فجوة رباعية

band gap

فجوة نطاقية

indirect band gap

فجوة نطاقية غير مباشرة

photonic band gap

فجوة نطاقية فوتونية

ferroelectric

فروكهربي

ferromagnetism

فرومغناطيسية

antiferromagnetism

فرومغناطيسية مضادة، عكس فرومغناطيسية

feldspars

فلدسبار

beryllium fluoride

فلوريد البريليوم

calcium fluoride

فلوريد الكالسيوم

fullerenes

فليرينات

aluminium phosphate

فوسفات الألمونيوم

phonons

فونونات

flux

فيض

magnetic flux

فيض مغناطيسي

ق

proton affinity

قابلية بروتونية

magnetic susceptibility

قابلية مغناطيسية

template

قالب معايرة

liquid crystal template

قالب معايرة بلورة سائلة

Coulomb's Law

قانون كولوم

cage

قفص

β -cage

قفص- β

channels

قنوات

selection rules

قواعد اختيار

London dispersion force

قوى تشتت لندن

van der Waals forces

قوى فان در فالس

compressibility measurements

extended-calculation values

exchangeable cations

cadmium selenide

photodetector

copper sulfate

carborundum

carbon

carbon black

cloverite

 α -quartz

corundum

molecular lithography

gallium arsenide laser

ruby laser

blue lasers

autoclave

magnetite

قياسات الانضغاطية

قيم حساب ممتدة

كاتيونات مستبدلة

كادميوم سلينيد

كاشف ضوئي

كبريتات النحاس

كربورنديم

كربون

كربون أسود

كلوفيريت

كوارتز α -

كورنديم

ليثوغرافيا الجزئيات

ليزر أرنيد الجاليوم

ليزر ياقوت أحمر

ليزرات زرقاء

مؤسدة (مُعَمَّمة بالبخر عالي الضغط)

ماجنتيت

ك

ل

م

one-dimensional solid	مادة صلبة في بعد واحد
wave vector	متجه موجة
phosphors	متفسفات
transmission electron microscopy	مجهر الإلكترون النافذ
scanning electron microscopy	مجهر إلكترون ماسح
high resolution electron microscopy	مجهر إلكتروني عالي التحليل
near-field scanning optical microscopy	مجهر المسح الضوئي بمجال قريب
atomic force microscopy	مجهرية القوة الذرية
scanning transmission electron microscopy	مجهرية إلكترون نافذ ماسح
scanning tunnelling microscopy	مجهرية تنفق ماسح
rotational axes	محاور دوران
inversion axis	محور انقلاب
axis of symmetry	محور تماثل، تناظر
improper axis of rotation	محور دوران غير صحيح، محور تناوب
phase diagram	مخطط الطور
temperature gradient	مدروج حراري
graphite intercalation compound	مركب إقحام بالجرافيت
non- stoichiometric compound	مركب غير منضبط النسب الذرية
H-centre	مركز H-
colour centre	مركز اللون
centre of symmetry	مركز تماثل
water-softener	مزيل عسر بالماء
internuclear distance	مسافة بين الأنوية

interatomic distance	مسافة بين الذرات
pores	مسام
photographic emulsion	مستحلب فوتوغرافي
glide plane	مستوى انزلاق
plane of symmetry	مستوى تماثل
Fermi level	مستوى فرمي
mirror plane	مستوى مرآة
conduction planes	مستويات توصيل
corner-sharing	مشاركة بالركن
phase problem	مشكلة الطور
simultaneous equation	معادلات آنية
Arrhenius equation	معادلة أرهينوس
Bragg equation	معادلة براغ
Born-Lande equation	معادلة بورن-لاندي
Schrodinger equation	معادلة شرودنجر
Nernst equation	معادلة نيرنست
clay minerals	معادن طفلة
refractive index	معامل الانكسار
Miller indices	معاملات ميلر
Rutherford laboratory	معمل راذرفور
permanent magnets	مغناطيسيات دائمة
superconducting magnets	مغناطيسيات فائقة التوصيل
ferrimagnetism	مغناطيسية فريتية

Bohr magneton	مغنيطون بوهر
nuclear reactor	مفاعل نووي
colossal magnetoresistance	مقاومة مغنطيسية ضخمة
giant magnetoresistance	مقاومة مغنطيسية عملاقة
scanning microdensitometer	مقياس كثافة بصرية مجهرية ماسح
capacitor	مكثف
nanocomposites	مكونات بحجم النانو
body-centre	مركز الجسم
hysteresis curve	منحنى التخلف
molecular sieve	منخل جزيئي
extrinsic region	منطقة دخيلة
ferrofluids	موائع فريتية
type I superconductors	مواد فائقة التوصيل نمط I-
type II superconductors	مواد فائقة التوصيل نمط II-
capacitance	مواسعة
Brönsted sites	مواضع برونستد
synthesis wave	موجة تشييد
superconductor	موصل فائق التوصيل
fast-ion conductors	موصلات بأيون سريع
photoconductors	موصلات ضوئية
ferromagnetic superconductors	موصلات فائقة التوصيل فرومغنطيسية
n-type superconductors	موصلات فائقة التوصيل نمط n-
p-type superconductor	موصلات فائقة التوصيل نمط p-

ionic conductivity	موصلية أيونية
superconductivity	موصلية فائقة
site symmetry	موضع تماثل
Lewis acid site	موضع حمض لويس
mica	ميكا
statistical mechanics	ميكانيكية إحصائية
ن	
copper	نحاس
radius ratio	نسبة نصف القطر
activities	نشاطات
half metals	نصف فلزات
covalent radius	نصف قطر تساهمي
van der Waals radius	نصف قطر فان دير فالس
band	نطاق
valence band	نطاق تكافؤ
conduction band	نطاق توصيل
geodesic dome	نطاق جيوديسي
ferromagnetic domains	نطاقات فرومغناطيسية
BCS theory	نظرية BCS
molecular orbital theory	نظرية المدار الجزيئي
permeability of free space	نفاذية الحيز المطلق
permittivity of a vacuum	نفاذية الفراغ
lattice point	نقطة شبكية

quantum dot

نقطة كمية

epitaxy

نمو فوقى (بلوري)

hopping model

نموذج النط

powder diffraction pattern

نموذج حيود المسحوق



alkali halides

هاليدات أفلاء

copper halides

هاليدات النحاس



formula unit

وحدة صيغة

asymmetric unit

وحدة لامتثالية

microporous

وسطى المسام

ثانياً: إنجليزي - عربي



absences	غيابات
absorption correction	تصحیح امتصاص
absorption edge	حافة امتصاص
acidic clay	طفلة حمضية
activation energy	طاقة تنشيط
activities	نشاطات
alkali halides	هاليدات ألقاء
aluminium	ألومنيوم
aluminium fluoride structure	تركيب فلوريد الألومنيوم
aluminium phosphate	فوسفات الألومنيوم
aluminosilicates	سليكات الألومنيوم
amethyst	جمست
ammonium ion	أيون أمونيوم
amphiboles	أمفيولات
amplitude	سعة
analcite	أنالسيت
anion Frenkel defect	عيب فرنكل أنيوني
anisotropic displacement parameter	بارامتر إزاحة غير متساوي الخواص
anomalous dispersion	انتشار غير سوي
antibacterial action	تأثير ضد البكتريا
antiferromagnetism	فرومغناطيسية مضادة، عكس فرومغناطيسية

antirutile structure

تركيب عكس الروتيل

anvil

سندان

Apollo missions

رحلات أبولو

armchair nanotubes

أنابيب نانو مدرعة

Arrhenius equation

معادلة أرهينوس

arsenic

زرنيخ

asbestos

أسبستوس

asymmetric unit

وحدة لامتثالية

atomic force microscopy

مجهرية القوة الذرية

attempt frequency

تردد المحاولة

audiotapes

أشرطة استماع

autoclave

مؤسسة (مُعقمة بالبخار عالي الضغط)

Avogadro number

عدد أفوجادرو

axis of symmetry

محور تماثل، تناظر

B

baddeleyite

بادليت

ball-milling

طحن كروي

band

نطاق

band gap

فجوة نطاقية

band width

سعة النطاق

barium titanate

تيتانات الباريوم

basalt

بازلت

battery

بطارية

BCS theory	نظرية BCS
beidellite	بيادليت
belt apparatus	جهاز السير
bentonite	بتنويت
beryl	بريل، زمرد بصري
beryllium fluoride	فلوريد البريليوم
biosensor	حساس حيوي
biotite	بيوتيت
bismuth triiodide structure	تركيب ثلاثي يوديد البزموت
block structures	تراكيب كتلية
blocking temperature	درجة حرارة محتبسة
blue lasers	ليزرات زرقاء
body-centre	مركز الجسم
body-centred cubic structure	تركيب مكعبي مركز الجسم
body-centred unit cell	خلية وحدة تركيب مركز الجسم
Bohr magneton	مغنيطون بوهر
Boltzmann formula	صيغة بولتزمان
Born exponent	أس بورن
Born-Haber cycle	دورة بورن- هابر
Born-Lande equation	معادلة بورن- لاندي
boron	البورون
'bottom-lip' process	عملية بطريقة "قعر- قمة"
Bragg angle	زاوية براغ

Bragg equation

معادلة براغ

Bravais lattice

شبكة برافيس

Bridgman method

طريقة برديمان

Brönsted sites

مواضع برونستد

butanols

بيوتانولات

C

cadmium chloride structure

تركيب كلوريد الكاديوم

cadmium iodide structure

تركيب يوديد الكاديوم

cadmium oxide

أكسيد الكاديوم

cadmium selenide

كاديوم سلينيد

caesium chloride structure

تركيب كلوريد السيزيوم

cage

قفص

calcia-stabilized zirconia

زركونيا مستقرة بالكلسا

calcium fluoride

فلوريد الكالسيوم

capacitance

مواسعة

capacitor

مكثف

carbon

كربون

carbon black

كربون أسود

carbon dioxide

ثاني أكسيد الكالسيوم

carbon nanotubes

أنابيب نانو كربون

carborundum

كربورنديم

catalysts

حفازات

catalytic cracking

تكسير محفز

cation exchange	تبادل كاتيوني
cation Frenkel defect	عيب فرنكل كاتيوني
cavities	شغرات، فجوات
cement	أسمنت
centre of symmetry	مركز تماثل
ceramic method	طريقة سيراميكية
chabazite	شبازيت
channels	قنوات
charge-dipole interaction	تداخل شحنة- ثنائي قطب
chemical shielding anisotropy	حجب كيميائي متباين الخواص
chemical twinning	توأمة كيميائية
chemical vapour deposition	ترسيب بخار كيميائي
chemical vapour transport	انتقال طور بخار
chromium dioxide	ثاني أكسيد الكروم
clay minerals	معادن طفلة
close-packing	تراص محكم
cloverite	كلوفيريت
cluster	عنقود
coercive force	القوة القسرية
coherent	غير متجانس
colloidal gold	ذهب غرواني
colossal magnetoresistance	مقاومة مغنطيسية ضخمة
colour centre	مركز اللون
combustion synthesis	تشبيد الاحتراق

compact discs	أسطوانات مضغوطة
compressibility measurements	قياسات الانضغاطية
conduction band	نطاق توصيل
conduction planes	مستويات توصيل
configurational entropy	إنتروبي التوضع
constancy of the interfacial angles	ثباتية الزوايا بين الأوجه
constructive interference	تداخل بناء
coordination	تناسق
coordination number	عدد التناسق
coordination shells	أغلفة التناسق
copper	نحاس
copper halides	هاليدات النحاس
copper sulfate	كبريتات النحاس
co-precipitation	ترسيب مصاحب
corner-sharing	مشاركة بالركن
corundum	كورنديم
coulombic attraction	تجاذب كولومبي
Coulomb's Law	قانون كولوم
covalent bonding	ترابط تساهمي
covalent radius	نصف قطر تساهمي
E	
enthalpy change	تغير إنثاليبي
enthalpy of formation	إنثاليبي التكوين

entropy	إنتروبي
epitaxy	نمو فوقى (بلوري)
exchange coupling	تقارن استبدال
exchangeable cations	كاتيونات مستبدلة
extended covalent arrays	ترتيب تساهمي ممتد
extended defects	عيوب ممتدة
extended X-ray absorption fine structure, EXAFS	تركيب دقيق بامتصاص شعاع سيني ممتد
extended-calculation values	قيم حساب ممتدة
extrinsic defects	عيوب دخيلة
extrinsic region	منطقة دخيلة

F

face-centred unit cell	خلية وحدة تركيب ممرکز الوجه
fast-ion conductors	موصلات بأيون سريع
feldspars	فلدسبار
Fermi level	مستوى فرمي
ferrimagnetism	مغناطيسية فريتية
ferroelectric	فروكهربي
ferrofluids	موائع فريتية
ferromagnetic domains	نطاقات فرومغناطيسية
ferromagnetic superconductors	موصلات فائقة التوصيل فرومغناطيسية
ferromagnetism	فرومغناطيسية
fibrous zeolite	زيوليت ليفي
field-effect transistors. FETs	ترانزستورات المجال التأثيري

fine structure	تركيب دقيق
fission	انشطار
flame fusion	انصهار باللهب
float-zone process	طريقة نطاق-طفو
flotation method	طريقة تعويم
fluorescence	تفلور
fluorescent light tubes	أنابيب إضاءة فلورية
fluorite structure	تركيب فلوريت
flux	فيض
forbidden transitions	انتقالات محظورة
form factor	عامل شكل
formula unit	وحدة صيغة
Fourier series	سلاسل فوريير
Fourier transform	تحول فوريير
fractional coordinates	إحداثيات كسرية
freeze-drying	تجميد-تجفيف
Frenkel defects	عيوب فرنكل
fuel cells	خلايا وقود
fullerenes	فليرينات
fumed silica	سليكا مدخنة
G	
gallium arsenide	أرزنيد الجاليوم
gallium arsenide laser	ليزر أرزنيد الجاليوم

gas sensors	حساسات غاز
gasoline	جازولين
gaussian	جاوسن
gel	جلّ
geodesic dome	نطاق جيوديسي
giant magnetoresistance	مقاومة مغنطيسية عملاقة
giant molecule	جزيء عملاق
Gibbs free energy	طاقة جيبس الحرة
glide plane	مستوى انزلاق
grain boundary	حد الحبيبة
grains	حبيبات
granite	جرانيت
graphite	جرافيت
graphite intercalation compound	مركب إقحام بالجرافيت

H

half metals	نصف فلزات
hard disk read-heads	رأس قراءة أسطوانة مضغوطة
H-centre	مركز H-
hexagonal close-packing, <i>hcp</i>	تراص محكم سداسي
high resolution electron microscopy	مجهر إلكتروني عالي التحليل
homologous series	سلاسل متشاكلية
hopping model	نموذج النط
hopping semiconductors	أشباه موصلات نطاطة

hydrogen bond

رابطة هيدروجينية

hydrothermal method of synthesis

طريقة حرارية مائية للتشيد

hysteresis curve

منحنى التخلف

I

ilmenite structure

تركيب المينيت

improper axis of rotation

محور دوران غير صحيح، محور تناوب

indexing

تصنيف

indirect band gap

فجوة نطاقية غير مباشرة

interatomic distance

مسافة بين الذرات

intercalation

إقحام

intergrowths

إنهاءات بينية

internuclear distance

مسافة بين الأنوية

interplanar spacing d_{hkl} المسافة بين المستويات d_{hkl}

interstitial atom

ذرة خلالية

interstitial mechanism

آلية خلالية

intrinsic defects

عيوب ذاتية

intrinsic semiconductors

أشباه موصلات ذاتية

inverse spinel

سبينل معكوس

inversion

انقلاب

inversion axis

محور انقلاب

ion exchange

تبادل أيوني

ionic bond

رابطة أيونية

ionic conductivity

موصلية أيونية

ionic radii	أنصاف أقطار أيونية
ionic solids	جوامد أيونية
iron	حديد
isoelectronic ions	أيونات متماثلة إلكترونياً
isomorphous structure	تركيب لا بلوري
isotope effect	تأثير نظير
isotropic displacement parameter	بارامتر إزاحة متساوي الخواص
isotropic temperature factor	عامل حرارة متساوي الخواص

J

Josephson effect	تأثير جوسفسون
------------------	---------------

L

lattice	شبكة
lattice energy	طاقة شبكية
lattice point	نقطة شبكية
Laue photograph	صورة فوتوغرافية لاوي
least-squares method	طريقة المربعات الصغرى
Lewis acid site	موضع حمض لويس
light emitting diodes	صمامات ثنائية باعثة للضوء
linear defect	عيب خطي
linked octahedral	ثمانيات متصلة
liquid crystal template	قالب معايرة بلورة سائلة
London dispersion force	قوى تشتت لندن

Lorentz correction

تصحيح لورنتز

M

Madelung constant

ثابت مادلينج

magnetic flux

فيض مغنطيسي

magnetic moment

عزم مغنطيسي

magnetic resonance imagine. MRI

تصوير بالرنين المغنطيسي

magnetic scattering

تشتت مغنطيسي

magnetic susceptibility

قابلية مغنطيسية

magnetite

ماجنتيت

melting temperature

درجة حرارة الانصهار

mica

ميكا

microporous

وسطى المسام

microwave synthesis

تشبيد بالميكروويف

Miller indices

معاملات ميلر

mirror image

صورة مرآة

mirror plane

مستوى مرآة

mobility

تنقلية

molecular crystals

بلورات جزيئية

molecular lithography

ليثوغرافيا الجزيئات

molecular orbital theory

نظرية المدار الجزيئي

molecular sieve

منخل جزيئي

molecular wires

أسلاك جزيئية

monochromatic radiation

إشعاع موحد اللون

monoclinic

أحادي الميل

multi-walled nanotube

أنبوب نانو متعدد الجدار

N

nanocomposites

مكونات بحجم النانو

nanocrystal

بلورة النانو

nanoparticles

دقائق النانو

nanoscience

علم النانو

nanotechnology

تقنية النانو

near-field scanning optical microscopy

مجهر المسح الضوئي بمجال قريب

Neel temperature

درجة حرارة نيل

Nernst equation

معادلة نيرنست

neutron diffraction

حيود من النيوترون

neutron scattering factors

عوامل تشتت نيوتروني

nickel arsenide structure

تركيب أرسنيد النيكل

non- stoichiometric compound

مركب غير منضبط النسب الذرية

non-radiative transitions

انتقالات لا إشعاعية

non-stoichiometric oxides

أكاسيد غير منضبطة النسب الذرية

n-type semiconductor

شبه موصل نمط n-

n-type superconductors

موصلات فائقة التوصيل نمط n-

nuclear charge

شحنة نووية

nuclear reactor

مفاعل نووي

O

octane-number

رقم الأوكتان

one-dimensional lattice

شبكة في بعد واحد

one-dimensional solid

مادة صلبة في بعد واحد

opals

أوبالات

optical fibres

ألياف بصرية

order parameter

بارامتر الرتبة

orthosilicates

أرثوسيليكات

oxygen meter

عداد أكسجين

oxygen sensor

حساس أكسجين

P

packing of spheres

تراص الكرات

paramagnetism

بارامغناطيسية

Patterson method

طريقة باترسون

Pauli paramagnetism

بارامغناطيسية باولي

pentagonal column structures

تركيب بعمود خماسي

permanent magnets

مغناطيسيات دائمة

permeability of free space

نفاذية الحيز المطلق

permittivity of a vacuum

نفاذية الفراغ

perovskite

بيروفسكيت

petroleum cracking

تكسير للبتروك

phase

طور

phase diagram

مخطط الطور

phase problem

مشكلة الطور

phonons

فونونات

phosphors	متسفرات
photocatalyst	حفاز ضوئي
photoconductors	موصلات ضوئية
photodetector	كاشف ضوئي
photographic emulsion	مستحلب فوتوغرافي
photographic process	طريقة فوتوغرافية
photonic band gap	فجوة نطاقية فوتونية
photonic crystals	بلورات فوتونية
piezoelectric effect	ظاهرة كهروضغطية
planar defects	عيوب مستوى
plane of symmetry	مستوى تماثل
plasma fusion	انصهار بلازما
plastic deformation	تشوه بلاستيكي
point defects	عيوب نقطية
point symmetry	تماثل نقطي
polar molecule	جزيء قطبي
polarizability	استقطابية
polarization correction	تصحيح استقطاب
polyester fibres	ألياف بولي أستر
polymer LED	بوليمر LED
polymorph	عديد التشكل
pore-openings	فتحات مسامية
pores	مسام

powder diffraction pattern

نموذج حيود المسحوق

precursor method

طريقة البشير

primary battery

بطارية أولية

primitive cubic structure

تركيب مكعبي بسيط

primitive unit cell

خلية وحدة تركيب أولية

proton affinity

قابلية بروتونية

p-type semiconductor

شبه موصل نمط p-

p-type superconductor

موصلات فائقة التوصيل نمط p-

p-wave order parameter

بارامتر رتبة الموجة نمط p-

Q

quantum dot

نقطة كمية

quantum mechanical tunneling

آلية التنفق الكمي

quantum size effects

تأثيرات حجم كمي

quantum wells

أحواض كمية

quantum wires

أسلاك كمية

quantum-cascade lasers

تلاحق ليزر كمي

R

R factor

العامل R-

R gas constant

ثابت الغاز (R)

radial distribution function

دالة توزيع نصف قطري

radius ratio

نسبة نصف القطر

Rayleigh scattering

تشتت رايلنغ

reflection	انعكاس
refractive index	معامل الانكسار
residual index	المعامل R (المتخلف)
resonance scattering	تشتت رنيني
rhenium trioxide structure	تركيب ثلاثي أكسيد الرينيوم
rhombic dodecahedron	معيني ذو الاثني عشر وجهاً
Rietveld analysis	تحليل رتفلد
rotational axes	محاور دوران
rotational symmetry	تماثل دوران
ruby laser	ليزر ياقوت أحمر
Rutherford laboratory	معمل راذرفور
rutile structure	تركيب روتيل

S

scanning electron microscopy	مجهر إلكترون ماسح
scanning microdensitometer	مقياس كثافة بصرية مجهري ماسح
scanning transmission electron microscopy	مجهرية إلكترون نافذ ماسح
scanning tunnelling microscopy	مجهرية تنفق ماسح
scattering factor	عامل تشتت
Schoenflies notation	ترميز شونفليز
Schottky defects	عيوب شوتكي
Schrodinger equation	معادلة شرودنجر
scintillation counter	عداد وميض
screening of nuclear charge	حجب النسخة النووية

second ionization energy	طاقة التأين الثاني
selection rules	قواعد اختيار
semiconductor	شبه موصل
sensitizers	حساسات
silica	سليكا
silicates	سليكات
simultaneous equation	معادلات آنية
single crystal X-ray diffraction	حيود الشعاع السيني لبلورة وحيدة
single-walled nanotube	أنبوب نانو وحيد الجدار
site symmetry	موضع تماثل
sol-gel method	طريقة صل - جل
solid electrolytes	إلكتروليت صلب
solid oxide fuel cells	خلايا وقود بأكسيد صلب
space groups	زمرة فراغية
space-symmetry	تماثل فراغي
spinel	سبينل
spin-spin coupling	تقارن غزل - غزل
spontaneous emission	انبعاث تلقائي
standard enthalpy of formation	إنثالبي تكوين قياسي
statistical mechanics	ميكانيكية إحصائية
stoichiometric defects	عيوب منضبطة النسبة الذرية
storage batteries	بطاريات تخزين
structure factor	عامل تركيب
super exchange	تبادل مفرط

superconducting critical temperature

درجة حرارة التوصيل الفائقة الحرجة

superconducting magnets

مغناطيسيات فائقة التوصيل

superconductivity

موصلية فائقة

superconductor

موصل فائق التوصيل

superparamagnetism

بارامغناطيسية فائقة

superstructure

تركيب فوقي

symmetry

تماثل

symmetry element

عنصر تماثل

symmetry operation

عملية تماثل

synchrotron radiation

إشعاع سنكروترون

synthesis wave

موجة تشييد

synthetic diamond

ألماس الاصطناعي (المشيد)

systematic absence

غيابات منهجية

T

talc

تالك

temperature gradient

مدروج حراري

template

قالب معايرة

tetragonal

رباعي الأضلاع

tetrahedral

رباعي الأوجه

tetrahedral hole

فجوة رباعية

thermal analysis

تحليل حراري

thermal motion

حركة حرارية

thermite reaction

تفاعل ثرميت

thermochemical cycle

دورة حرارية كيميائية

thermochemical radii

أنصاف أقطار حرارية كيميائية

thermogravimetric analysis

تحليل حراري وزني

titanium monoxide structure

تركيب أكسيد تيتانيوم أحادي

transistors

ترانزستورات

transition state

حالة انتقالية

translational symmetry element

عنصر تماثل انتقالي

transmission electron microscopy

مجهر الإلكترون النافذ

two-dimensional lattice

شبكة في بعدين

type I superconductors

مواد فائقة التوصيل نمط I-

type II superconductors

مواد فائقة التوصيل نمط II-

U

ultrasonic imaging

تصوير بالأشعة فوق الصوتية

unit cell

خلية وحدة تركيب

V

vacancy

شغرة

vacancy mechanism

آلية شغرة

valence band

نطاق تكافؤ

van der Waals forces

قوى فان در فالس

van der Waals radius

نصف قطر فان در فالس

vibrational amplitude

سعة الاهتزاز

W

water-softener

مزيل عسر بالماء

wave vector

متجه موجة

wurtzite structure

تركيب ورتزيت

Y

yttria-stabilized zirconia

زركونيا مستقرة بأثريا

yttrium aluminum garnet

عقيق الألمونيوم أتريوم

Z

zeolite A. 140, 261, 279, 287

زيولت

zero point energy

طاقة النقطة صفر

zigzag nanotubes

أنابيب نانو حلزونية

zinc blende structure

تركيب زنك بلند

zircon

زركونيوم

zirconia

زركونيا

zirconium oxide

أكسيد الزركونيوم

zone-refining

تنقيح نطاق

 α -quartzكوارتز α - β -aluminaألومينا β - β -cageقفص β -

كشاف الموضوعات

بارامتر إزاحة متساوي الخواص ١٠٣

بارامغناطيسية باولي ٣٤٧

بارامغناطيسية فائقة ٣٤٧

بطارية أولية ٢٠٣

بيروفسكيت ٤٢

ت

تأثير جونسون ٣٩٠

تحليل حراري ١٢٠

تحليل حراري وزني ١٢١

تحليل رتفلد ١٠٧

تحول فورير ٩٩

تداخل بناء ٨٤

تداخل شحنة- ثنائي قطب ٥٤

ترابط تساهمي ٥٤

تراص الكرات ٢

تراص محكم ١

تركيب أرزنيدي النيكل ٣٣

أ

أحادي الميل ٢٠، ٢١

إحداثيات كسرية ١٧

أرثوسليكات ٥٩، ٢٥

أرزنيدي الجاليوم ٣٣

أس بورن ٦٧

استقطابية ٢٦٥، ٢٦٦

أشباه موصلات ذاتية ١٧٧، ١٧٨

أشباه موصلات نظاظة ١٨٢، ١٨٣

العامل R- ١٠٣

آلية شجرة ٢٣٣، ٢٣٥

إنتروبي ١٩٣

إنتروبي التوضع ١٩٣

إنثالي التكوين ١٩٠

أنصاف أقطار أيونية ٥٦

ب

بارامتر إزاحة غير متساوي الخواص ١٠٣

تركيب ثلاثي أكسيد الرينيوم ٤٠

تركيب روتيل ٣٧

تركيب زنك بلند ٣٤

تركيب فلوريت ٣٥

تركيب مكعبي بسيط ٥

ترميز شونفليز ١٣

تششت ريني ١٠٥

تصحيح استقطاب ١٠٠

تصحيح امتصاص ١٠٠

تصحيح لورنتز ١٠٠

تمائل دوران ١٢

تمائل ٨

تمائل فراغي ٩

تمائل نقطي ٩

ث

ثابت مادلينج ٦٦

ثباتية الزوايا بين الأوجه ١٤

ح

حافة امتصاص ١٠٠

حركة حرارية ١٠٢

حيود الشعاع السيني م بلورة وحيدة ٩٧

حيود من النيوترون ١٠٤

خ

خلايا وقود ٢٢٢

خلية وحدة تركيب ١٤

خلية وحدة تركيب أولية ١٥

خلية وحدة تركيب ممرکز الجسم ٢٠

خلية وحدة تركيب ممرکز الوجه ٢٠

د

دالة توزيع نصف قطري ١١٤

درجة حرارة نيل ٣٤٥، ٣٥٧٧٦

دورة بورن- هابر ٦٣، ٦٥

ذ

ذرة خلالية ١٩٠، ١٩١

ر

رابطة أيونية ٢٨

رابطة هيدروجينية ٥٥

رأس قراءة أسطوانة مضغوطة ٣٦٢

رباعي الأضلاع ٢٠

رباعي الأوجه

ز

زركونيا ٢٠٨

زركونيا مستقرة بأتريا ٢٠٩

طريقة المربعات الصغرى ١٠٢

طريقة باترسون ١٠٢

طريقة حرارية مائية للتشيد ١٣١

طريقة سيراميكية ١٣٢

طريقة صل - جل ١٣٨

ع

عامل تركيب ٩٩

عامل تشتت ١٠٠

عامل حرارة موحد الخواص ١٠٣

عداد أكسجين ٢٢٧

عملية تماثل ٩

عنصر تماثل ٩

عنصر تماثل انتقالي ١٦

عوامل تشتت نيوتروني ١٠٥

عيب فرنكل أنيوني ١٩٠

عيب فرنكل كاتيوني ١٩٠

عيوب دخيلة ١٩٠، ١٩٧

عيوب ذاتية ١٩٠، ١٩٢

عيوب شوتكبي ١٩٠

عيوب فرنكل ١٩٠

عيوب مستوى ٢٤٥

عيوب ممتدة ٢٥٥

عيوب منضبطة النسبة الذرية ١٨٩

زركونيا مستقرة بالكلسا ٢١٠

زمرة فراغية ١٤

س

سبينل ٤١

سبينل معكوس ٣٥٩، ٤٢

سعة ٩٨

سليكا ٥٢

سليكا مدخنة ٤١٦

سليكات ٥٨

سليكات الألمونيوم ٥٩

ش

شبكة ١٤

شبكة برافيس ٢٠

شبكة في بعد واحد ١٥

شغرات، فجوات ٤، ١٤

ص

صمامات ثنائية باعثة للضوء ١٨٤

صورة فوتوغرافية لاوي ٨٣

ط

طاقة تنشيط ١٩٩

طاقة جيس الحرة ١٩٥

طاقة شبكية ٧١

- عيوب نقطية ١٩١
- مجهري الإلكترون النافذ ١٠٩
- مجهري إلكترون ماسح ١٠٨
- مجهري القوة الذرية ١٢٢
- مجهري إلكترون نافذ ماسح ١١٠
- محاور دوران ٩
- محور انقلاب ١١
- محور تماثل ٩
- محور دوران غير صحيح، محور تناوب ١٢، ١٤
- مركز H- ٢٣٣
- مركز اللون ٢٣٢
- مستوى انزلاق ١٦
- مستوى تماثل ٩، ١٢
- مستوى فرمي ١٧٠
- مستوى مرآة ١٢
- مشكلة الطور ١٠٠
- معادلة براغ ٨١، ٨٤
- معاملات ميلر ٢٣
- مغنيطون بوهر ٣٤٧
- مقاومة مغنطيسية ضخمة ٣٦٣
- مقاومة مغنطيسية عملاقة ٣٦١
- منحنى التخلف ٣٥٥
- موصلات ضوئية ١٨، ١٨١
- موصلات فائقة التوصيل نمط n- ١٨٢
- غيايات ٨٨
- غيايات نظامية ٨٨
- فجوة رباعية ٤
- فجوة نطاقية ٣٧١، ٣٧٧
- فروكهرلي ٣٦٧، ٣٦٩
- فرومغنطيسية ٣٥٦، ٣٦٠، ٣٤٣
- فرومغنطيسية مضادة، عكس فرومغنطيسية ٣٥٧
- قابلية مغنطيسية ٣٤٤
- قانون كولوم ٦٥
- قوى فان در فالس ٥٦
- كاثيونات مستبدلة ٢٨٩
- كربون ٢٣٥
- كربون أسود ٢٣٦
- كوارتز- ٣٨، ٣٦٦
- كورنديم ٤٠
- متجه موجة ١٧٥

نقطة شبكية ٥

هـ

هاليدات ألقاء ٣١

و

وحدة صيغة ٦٧

وحدة لاتماثلية ٩٩

ن

نطاق ٣٣٠، ٣٢٩

نطاق تكافؤ ٢٣٥، ١٧١

نطاق توصيل ١٧٩

نطاقات فرومغنطيسية ٣٥٢

نظرية BCS ٣٨٠، ٣٨١

نظرية المدار الجزيئي ١٧٣

نفاذية الفراغ ٣٤٧، ٦٥