

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z



كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

اسئلة دورات محلولة

علم النانو

A 2 Z LIBRARY

مكتبة A to Z : Facebook Group

كلية العلوم ( فيزياء ، كيمياء ، رياضيات ، علم الحياة )

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية ( SMS ) أو عبر ( What's app ) على الرقم 0931497960 TEL:

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

جامعة طرطوس  
كلية العلوم  
قسم الفيزياء-السنة الرابعة  
امتحان مقرر علم النانو وتطبيقاته  
الدورة الفصلية الأولى ٢٠٢٤-٢٠٢٥  
السنة الرابعة  
الدرجة: تسعون  
اسم الطالب :

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الأول : (١٠) درجة

يمكن توصيف الالكترونات من خلال مفهوم عصابة الطاقة، وضح آلية تشكلها والمبدأ في ملء العصابات بالالكترونات.

السؤال الثاني : (١٠) درجة

ما المقصود بكل من البلورات الأيونية والبلورات التشاركية (التساهمية)؟

السؤال الثالث : (١٠) درجة

عرف منطقة بريلوان وعدد الخطوات التي تختزل مسألة إيجاد الطيف الطاقوي الإلكتروني من خلال التناظر البلوري.

السؤال الرابع : (١٠) درجة

وضح أنصاف النواقل ذات الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة.

السؤال الخامس : (١٠) درجة

عرف الألفة الالكترونية موضحة كيفية حساب مجانبات العصابات الطاقية من أجل وصلة متغيرة مثالية.

السؤال السادس : (١٠) درجة

وضح كيف يتشكل الجزيء الثنائي ( $C_{60}-C_{60}$ ) ولماذا تنتشر بسهولة على السطوح؟

السؤال السابع : (١٠) درجة

وضح آلية عمل المجهر الإلكتروني بالنفوذ (TEM) وكيفية تسجيل الصورة الناتجة.

السؤال الثامن : (١٠) درجة

وضح مفهوم الحياكة الغراوانية للحصول على العناقيد النانوية وماذا تشمل من خطوات؟ وكيف يمكن ضبط أبعاد الجسيمات النانوية بها؟.

السؤال التاسع : (١٠) درجة

عدد خطوات انماء شبكات أنابيب نانوية معلقة على ركائز تحتوي دعائم سليكونية ثم تنميطها بطريقة الطباعة الحجرية.

٢٠٢٥/٢/١٠

انتهت الأسئلة

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح

مدرس المقرر  
د.م. علاء محمد صبح

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

**السؤال الاول : (10) درجة**

يمكن توصيف الإلكترونات من خلال مفهوم عصابة الطاقة، وضح آلية تشكلها والمبدأ في ملء العصابات بالإلكترونات. (درجتان لكل خطوة)

- إذا اقتربت ذرتان لهما نفس الطاقة من بعضهما البعض، فإن الجملة الذرية المؤلفة من الذرتين توصف بمستويين طاقيين قريبين من بعضهما البعض.
- وبشكل مشابه، من أجل جملة مؤلفة من  $N$  ذرة ينشطر كل مستوى طاقي عائد للذرة المعزولة إلى  $N$  مستوى طاقي يتواصل طاقياً صغيرة جداً. يمكن دراسة هذا التجمع من المستويات المتقاربة من بعضها البعض بمثابة عصابة (رزمة) طاقة  $Energy Band$ .
- بما أن ذرة مفردة ما تملك سلسلة مستويات طاقة، فإن الطاقات الإلكترونية في بلورة تولف سلسلة عصابات طاقة يمكن أن تفصل فيما بينها فجوات طاقة أو يمكن أن تتراكب مع بعضها البعض،
- فحالما تتشكل عصابات الطاقة، يجب دراسة الإلكترونات جماعياً (أي النظر إليها كمجموعة إلكترونية) حيث لا يمكن أن تُنسب بعد الآن إلى ذرات بعينها، طالما تصف عصابات الطاقة كامل الجملة المؤلفة من  $N$  ذرة.
- والنقطة المهمة هنا تكمن في ملء العصابات بالإلكترونات. ولهذا الغرض سنطبق مبدأ الاستبعاد لباولي إذ لا يمكن لإلكترونين أن يتواجدا في نفس الحالة الطاقية؛ ولكن يمكن للإلكترونين أن يقعا في نفس الحالة الطاقية إذا كانا في حالتين مختلفتين. بهذا الشكل، تقع الإلكترونات عملياً في حالات مشتركة مختلفة  $Different Overall States$ . يجب أن تكون مستويات الطاقة الأدنى مشغولة في شروط التوازن وفي درجة حرارة منخفضة للوسط المحيط. وكما سنرى لاحقاً، فإن الإلكترونات الأكثر أهمية هي تلك الواقعة في أعلى العصابات المشغولة، وعندما نحصل من حيث المبدأ على حالتين ممكنتين:
- الحالة الأولى - كل العصابات الطاقية - ما عدا العصابات الأعلى - مشغولة بالكامل، العصابات المشغولة عن العصابات الأعلى (الفارغة) بفجوة طاقة  $E_g$ .
- الحالة الثانية - العصابات العلوية مشغولة بالإلكترونات ولكن ليس بشكل كامل

### السؤال الثاني : (10) درجة

المقصود بكل من البلورات الأيونية والبلورات التشاركية (التساهمية)؟ (خمس درجات لكل تعريف)

#### البلورات الأيونية

تُحَصَّرُ البلورات الأيونية من أيونات موجبة وأخرى سالبة. وتنتج الرابطة الأيونية بصورة رئيسة من التفاعل الكهروساكن التجاذبي المتبادل لأيونات متجاورة بشحنات متعاكسة. يوجد أيضا تفاعل تدافعي (تنافري) متبادل مع مجاورات أخرى من نفس الشحنة. فالتجاذب والتنافر يؤديان معاً إلى توازن قوى والذي بدوره يجعل الذرات تقع في مواقع توازن مستقرة في هكذا بلورة أيونية. وبالنسبة للتوزيع الإلكتروني في بلورة، فإنه يوافق طبقة إلكترونية خارجية مغلقة (أي ممتلئة بشكل كامل). وثمة مثال جيد على البلورة الأيونية؛ بلورة ملح الطعام NaCl. تمتلك ذرات الصوديوم Na، وذرات الكلور Cl، المعتدلة التوزيع البلورات التشاركية (التساهمية)

الترايب التساهمي هو ترايب نمذجي من أجل ذرات بمستوى انشغالي منخفض للطبقة الخارجية. وبلورة Si توضح هذا النوع من التراب. إذ يمكن تمثيل التوزيع الإلكتروني للسيلكون بلب Core يضاف إليه الإلكترونات الخارجية (اللب مؤلف من نواة Si والإلكترونات الداخلية المحيطة بها)، أي وفق الشكل  $Core+3s^23p^2$ .

ولاكتمال الطبقة الخارجية  $3s^23p^2$  تُشكل ذرة Si في بلورة السيلكون أربع روابط مع أربع ذرات سيلكون مجاورة لها مباشرة. إن التناظر في المدارات الهجينة  $sp^3$  يفرض على هذه الذرات المجاورة أن تقع في أركان رباعي وجوه

### السؤال الثالث : (10) درجة

وضح مفهوم منطقة بريلمان (خمس درجات) وعدد الخطوات التي تختزل مسألة إيجاد الطيف الطافي الإلكتروني من خلال التناظر البلوري (خمس درجات).

تُعدُّ علاقات تبديد الطاقة،  $E_n(\vec{k})$ ، عادةً معقدة جداً ويمكن الحصول عليها فقط عندياً في سياق طرائق تقريبية. ومن حسن الحظ أن منطقة بريلمان تمتلك تناظراً يعكس مباشرة التناظر في وحدة الخلية للبلورة في فضاء الإحداثيات.

- فإذا عانت بلورة ما إلى نفسها بفضل تحويلات على شكل دورانات مُحددة حول المحاور البلورية وانعكاسات مرآتية، فإن الحديث يدور عن التناظر النقطي للاتجاهات في البلورة.
- يُولد هذا التناظر في منطقة بريلمان بضعة نقاط بدرجة تناظر عالية بالنسبة للتحويلات في هذه المنطقة في فضاء الشبكة المقلوبة- $\vec{k}$ .
- وتتطابق دائماً النهايات الحدية لعلاقات تبديد الطاقة  $E_n(\vec{k})$  مع هذه النقاط عالية-التناظر. إذ تسمح هذه الحقيقة، على وجه الخصوص، بتبسيط مسألة الحصول على أطيف إلكترونية وحل هذه المسألة.

إذن، بفضل التناظر البلوري تُختزل مسألة إيجاد الطيف الطافي الإلكتروني  $E_n(\vec{k})$  بالخطوات الآتية:

- (a) تحديد النقاط  $\vec{k}$  عالية-التناظر لمنطقة بريلمان؛
- (b) حساب المواقع الطاقية للنهايات الحدية؛
- (c) تحليل الكتل الفعالة أو المتحويلات الأخرى لمنتشور  $E_n(\vec{k})$  بجوار النهايات الحدية.

### السؤال الرابع : (10) درجة

وضح أنصاف النواقل ذات الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة. (خمس درجات لكل منهما)

✓ يمكن أن ينتقل إلكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلة مباشرة من دون أن يتغير اندفاعه؛ تسمى البلورات من هذا النوع أنصاف نواقل ذات فجوة طاقية مباشرة.  
✓ وخلافاً لذلك، لكي ينتقل إلكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلة في Si و Ge لا يكفي إضافة كمية من الطاقة - أكبر من الفارق الطاقي الأدنى بين عاصبتي الناقلة والتكافؤ - لتحرير إلكترون، وإنما لا بد من أن تغير اندفاعه أيضاً بكمية كبيرة (يمكن مقارنتها مع تلك الكمية في منطقة بريلوان). يسمى نصف ناقل كهذا بنصف ناقل ذي فجوة طاقية غير مباشرة.

### السؤال الخامس : (10) درجة

عرف الألفة الإلكترونية (4 درجات) موضحاً حساب مجانبات العصابات الطاقية من أجل وصلة متغايرة مثالية (6 درجات يكفي بذكر ثلاث نقاط).

يسمى الفاصل الطاقي بين قاع *Bottom* عصابة الناقلة ومستوى الخلاء،  $\chi$ ، الألفة الإلكترونية *Electron Affinity*. بتعبير آخر الألفة الإلكترونية هي الطاقة اللازم تقديمها لانتزاع إلكترون من قاع عصابة الناقلة إلى خارج المادة، أي إلى ما يسمى مستوى الخلاء. بهذه الطريقة، إذا علمنا الألفات الإلكترونية من أجل مواد مختلفة، فإننا سنعرف قيم قيعان عصابات الناقلة بعضها بالنسبة لبعض.  
❖ يمكننا بهذا التعريف للألفة الإلكترونية أن نحسب مقدار الانقطاعية *Discontinuity* في عصابة الناقلة عند وصلة متغايرة حادة لمادتين، A و B:

$$\Delta E_c = E_{c,B} - E_{c,A} = \chi_A - \chi_B.$$

حيث  $\chi_{A,B}$  الألفتان الإلكترونيتان للمادتين A و B.

❖ وبصورة مشابهة يمكننا حساب الانقطاعية في عصابة التكافؤ من أجل الوصلة ذاتها:

$$\Delta E_v = E_{v,B} - E_{v,A} = \chi_B - \chi_A + \Delta E_g,$$

حيث  $\Delta E_g = E_{g,A} - E_{g,B}$  الانقطاعية في الفجوة الطاقية من أجل الوصلة المتغايرة؛

و  $E_{g,A}$  و  $E_{g,B}$  الفجوتان الطاقيتان للمادتين A و B على الترتيب.

❖ إذن، إذا كانت هذه الطريقة البسيطة - قاعدة الألفة الإلكترونية - ممكنة التطبيق على زوج من

مادتين نصف ناقلتين، يمكننا حساب مجانبات العصابات الطاقية *Band Offsets* (مقادير

الانقطاعات الحاصلة في عصابات الطاقة عند السطوح الفاصلة) من أجل وصلة متغايرة مثالية.

❖ فضلاً عن ذلك، إذا خضعت ثلاث مواد، A و B و C، مثلاً،

لهذه القاعدة، فإن الخاصية "التحويلية" الآتية تكون صالحة:

$$\Delta E_v(A/B) + \Delta E_v(B/C) + \Delta E_v(C/A) = 0$$

### السؤال السادس : (10) درجة

وضح كيف يتشكل الجزيء الثنائي ( $C_{60}-C_{60}$ ) (خمس درجات) ولماذا تنتشر بسهولة على السطوح (خمس درجات)؟

إن وجود مدارات جزيئية شاغرة من أجل  $C_{60}$  يُغيّر تأثير الناشر الجزيئي (التفاعل المتبادل بين الجزيئات) لكرينات بكي. فمثلاً جزيئان  $C_{60}$  معتدلان كهربائياً، يجذب أحدهما الآخر من خلال استقطاب الغمامات الإلكترونية. ومثل هذا التجاذب ينتج من قوى فاندرفالس. وبسبب هذه القوى تُشكّل كرتيتا فولورين الجزيء الثنائي  $C_{60}-C_{60}$  بطاقة ترابط تساوي نحو  $0.27 \text{ eV}$ . فقوى فاندرفالس المتماثلة تؤمن تأثيراً وامتزاز الفولورينات على سطوح مواد مختلفة. يُظهر صورة لجزيئات فولورين أمتزت على سطح سيلكوني Si. وبما أن قوى فاندرفالس ضعيفة نسبياً، فإن جزيئات الفولورين تنتشر بسهولة على السطح ويمكنها أن تشكل جزراً مترافعة بتركيز كبيرة.

### السؤال السابع : (10) درجة

وضح آلية عمل المجهر الإلكتروني بالنفوذ (TEM) وكيفية تسجيل الصورة الناتجة. (درجتان لكل نقطة يكتفى بخمس فقط)

- المجهر الإلكتروني بالنفوذ TEM الذي يُمكننا من رؤية شرائح رقيقة *Thin Slices* من المادة بمقدرة فاصلة نانومترية، وتتنصف بالآتي:
- تمتلك تقنية TEM مقدرة فاصلة دون النانومتر ويمكنها، من حيث المبدأ، أن تُحلّل الكثافات الإلكترونية من أجل ذرات مفردة.
- تعمل TEM بشكل مشابه لعمل المجهر الضوئي ولكنها تستخدم إلكترونات عوضاً عن الضوء المرئي، لأن الطول الموجي للإلكترونات أقل بكثير من الطول الموجي للضوء المرئي.
- تعتمد حدود المقدرة الفاصلة لأي مجهر على طول موجة إشعاع الجس *The Probe Radiation*.
- وطالما أن الإلكترونات تُستخدم بدلاً من الضوء فإن العدسات الزجاجية لم تُعدّ مناسبة وعوضاً عن ذلك تستعمل TEM عدسات مغناطيسية لحرف الإلكترونات.
- إلى جانب ذلك تشابه TEM المجهر العادي جداً من حيث العدسات المجمعة *Condenser*، والعدسات الجسمية *Objective*، وعدسات الإسقاط *Projector*.
- تنطلق الإلكترونات في TEM بشكل متوازٍ ومتسقٍ من المنبع وتخترق العينة ويكون النموذج الناتج لكل من النفوذ الإلكتروني والامتصاص الإلكتروني مُضخماً على شاشة مراقبة.
- وتُسجّل الصورة عادةً بكاميرا قوامها نبيطة الاقتران بالشحنة *Charge-Coupled Device (CCD)* التي يكون عنصر العمل فيها عبارة عن رقاقة سيلكونية سطحها مُقسّم إلى صفوف كبيرة من البيكسيالات الحساسة للشحنة المنقولة بالإلكترونات.

### السؤال الثامن : (10) درجة

وضح مفهوم الحياكة الغراوانية للحصول على العناقيد النانوية (4 درجات) وماذا تشمل من خطوات (4 درجات)؟ وكيف يمكن ضبط أبعاد الجسيمات النانوية بها (2 درجات)؟.

- تتأسس "الحياكة" الغراوانية- التقنية الثانية- لمعظم الجسيمات النانوية أحادية التشتت Mono-disperse على التتو المضبوط (تشكل مضبوط لأجنة العنقود المراد إنمائه) وإنماء العناقيد في محلول حار مركبات مُحضرة مسبقاً (نطلق عليها اسم موالف Precursors): يمكن بهذه التقنية إنماء عناقيد فلزية وعناقيد نصف ناقلة
- وأكثر الحالات دراسة هي "حياكة" مركبات المجموعتين الثالثة والخامسة (III-V) والمجموعتين الثانية والسادسة (II-VI) من الجدول الدوري.
- تتضمن طريقة الحياكة الغراوانية ما يأتي:
- حقن كواشف Reagent تحوي المكونات الأساسية للعنقود (الكادميوم Cd أو السليينيوم Se مثلاً) في محل (مذيب) حار حيث يحدث تشكّل أجنة Nucleation من سليينيد الكادميوم - CdSe.
- تُغطي جزيئات المذيب العنقود المُنوي Nucleated Cluster ومن ثم تُنْبِطه.
- ثم إن الضبط الدقيق لدرجة حرارة المذيب يُساعد على إنتاج جسيمات نانوية بأبعاد صغيرة الثباين، حيث يمكن أن يبلغ اختلاف الحجم من أجل الجسيمات النانوية عدة أجزاء مئوية من القطر المتوسطي الذي يساوي بضعة مئات نانومترات.

### السؤال التاسع : (10) درجة

عدد خطوات انماء شبكات أنابيب نانوية معلقة على ركائز تحتوي دعامات سليكونية ثم تميظها بطريقة الطباعة الحجرية. (درجتان لكل نقطة يكتفى بخمس فقط)

- يبدأ النمو بتحضير مادة تحفيز سالفة في طورها السائل مسبقاً تتفوق في مزاياها على مُحفِّزات الحالة الصلبة من خلال سماحها بتشكُّل طبقات تحفيز متجانسة Uniform من أجل تميظ مُحفِّز كبير المدى على السطوح.
- تتألف المادة السالفة من

→ بوليمر مشترك ثلاثي وحدة البناء Tri-block Copolymer

→ وكلوريدات الألمنيوم وكلوريدات الحديد وكلوريدات المولبدنيوم

→ تقع في خليط من مُذيبات الايثانول (كحول إيثيلي) Ethanol والبوتانول Butanol (كحول رباعي الكربون):

✓ يُوفِّر كلوريد الألمنيوم إطار أكسدة عند تأكسده بالحلمة (بالتحليل بالماء) أو التكلّيس بالإحماء (عملية تجميع في ظروف مؤكسدة) في الهواء.

إذ يوجّه البوليمر الثلاثي المشترك تركيب إطار الأكسدة ويؤدي إلى تشكُّل بنية تحفيز مسامية بُعيد التكلّيس بالإحماء.

✓ كما يمكن لكلوريد الحديد أن يُشكِّل جسيمات تحفيز ضرورية من أجل إنماء الأنابيب النانوية.

• إذ تُشكِّل في البداية مادة التحفيز - السالف في فيلم رقيق على قالب من سيلوكسان - ثنائي الميثيل

المتعدد Polydimethyl Siloxane Stamp

• يلي ذلك طبعة تماسية Contact Printing لنقل السالف المُحفِّز انتقائياً على الأجزاء العلوية لدعامات Pillar Tops مصنّعة - مسبقاً على ركيزة سليكونية.

• ثم تُكَلِّس الركيزة المطبوعة بالإحماء ثم تُستعمل في عملية الإنماء بطريقة ترسيب الأبخرة الكيميائية.

• يجدر بالذكر أن الأنابيب النانوية المتنامية على الأجزاء العلوية للدعامات تسعى لأن تتجه من

دعامة إلى أخرى.

مدرس المقرر  
د.م. علاء محمد صبح



السنة الرابعة  
الدرجة : تسعون

اسم الطالب :

امتحان النظري لمقرر علم النانو  
وتطبيقاته - الدورة التكميلية  
مدة الامتحان :

جامعة طرطوس  
كلية العلوم  
قسم الفيزياء-السنة الرابعة

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الأول : (10) درجة

عرف كلا من المواد المتوافقة والمتباينة شبكياً.

السؤال الثاني : (10) درجة

وضح بنيات عصابات الطاقة لخلائط نصف ناقلة.

السؤال الثالث : (10) درجة

عرف فلوينات كريات بكي ووصف الحالات الطاقية الإلكترونية لها.

السؤال الرابع : (15) درجة

لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة  $(C^+ = 8a_1^+ + 7a_2^+)$ .

1- احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N وعلى فرض أن كل سدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟

2- احسب نصف قطر الأنبوب R على فرض طول رابطة الكربون - كربون  $(a_0)$  تساوي تقريباً (0.14 nm).

السؤال الخامس : (15) درجة

عدد خطوات إنماء بلورة أحادية سليكونية عالية النوعية مع شرح كل خطوة.

السؤال السادس : (10) درجة

يعتبر المجهر الإلكتروني النفقي الماسح من المجاهر المستخدمة في توصيف التراكيب النانومترية، لماذا يستخدم؟ عدد أقسامه و عدد خصائص تيار النفق.

السؤال السابع : (10) درجة

تعتبر طريقة الانفراغ بالقوس الكهربائي من أهم طرق الإنماء المستخدمة للحصول على أنابيب كربونية. وضح آلية الإنماء المتبعة بهذه الطريقة.

السؤال الثامن : (10) درجة

عرف البوليمر التساهمي البناء وعدد خطوات البلمرة الثلاثية وحدة البناء.

2024/9/11

انتهت الأسئلة

مدرس المقرر  
د.م. علاء محمد صبح

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح

السنة الرابعة  
الدرجة: تسعون

سلم امتحان النظري-الدورة التكميلية  
2023-2022  
لمقرر علم النانو وتطبيقاته

جامعة طرطوس  
كلية العلوم-قسم الفيزياء

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

**السؤال الاول : (10) درجة**

عرف كلا من المواد المتوافقة والمتباينة شبكياً. (5 درجات لكل تعريف)

المواد المتوافقة - شبكياً

التعريف: إن ثوابت الشبكات البلورية للمواد المؤلفة للتراكيب المتوافقة - شبكياً متطابقة تقريباً، أي أن الثوابت البلورية تقع في حدود أجزاء مئوية صغيرة بالنسبة لبعضها البعض

المواد المتباينة شبكياً :

التعريف: توصف حالة التراكيب المتباينة - شبكياً بتباين شبكي محدود  $A$  Finite Lattice Mismatch (أي بوجود فارق بين ثوابت الشبكات البلورية):

**السؤال الثاني : (10) درجة**

وضح بنيات عصابات الطاقة لخلائط نصف ناقلة (5 درجات لتوضيح بنية العصابة و5 درجات لدراسة الخليطة).

بنيات عصابات الطاقة لخلائط نصف ناقلة Band-structures of Semiconductor Alloys:

❖ إن بنية العصابة الطاقة لنصف ناقل معين هي التي تحدد خصائصه الكهربائية والضوئية؛

فبنية عصابات الطاقة الثابتة وغير القابلة للتعديل من أجل بلورات نصف ناقلة متوافرة بشكل طبيعي؛ مثل Si و Ge الأحادي- الذرة و GaAs ثنائي- الذرة تحدث من تطبيقاتها.

❖ ولكن ثمة حل لهذه المشكلة؛ فأحد الأساليب النافعة لتغيير بنية عصابات الطاقة يعتمد على خلط مادتين نصف ناقلتين أو أكثر؛ فعلى الرغم من أن الخليطة لا تمتلك انتظاماً في توزيع الذرات المكونة لها بصورة دائمة، إلا أن التكنولوجيا المعاصرة تسهل ضبط عدم الانتظام Disorder هذا جزئياً وتنتج بلورات على درجة عالية من الجودة.

يمكن تفسير خصائص مثل هذه المواد من خلال استعمال بلورات دورية مثالية تقريباً.

لندرس خليطة مؤلفة من مركبين:

▪ A بنسبة جزئية  $x$

▪ و B بنسبة جزئية  $1-x$ .

فإذا كان المركبان A و B بمثابة شبكتين بلوريتين متشابهتين فيمكن أن نتوقع أن تمتلك الخليطة  $A_xB_{1-x}$

البنية البلورية ذاتها بثابت شبكة بلورية،  $a_c$  يُحسب من تركيب ثابتي الشبكة البلورية للمادتين A،  $a_A$  و B،  $a_B$ ؛ وأسطر تركيب خطي يحقق ذلك يعطي المعادلة (قانون فيغارد Vegard's Law) الآتية:

$$a_c = a_A x + a_B (1 - x).$$

### السؤال الثالث : (10) درجة

عرف فلورينات كريات بكي ووصف الحالات الطاقية الإلكترونية لها. (5 درجات للتعريف و5 درجات لتوصيف الحالات الطاقية)

#### فلورينات كريات بكي Buckyball Fullerenes:

الفولورين جزيء صيغته الكيميائية  $C_{60}$  وقطره نحو 1nm ويتألف من 60 ذرة كربون تشغل مواقعاً متكافئة حيث ترتبط كل ذرة كربون بثلاث ذرات أخرى وتوجد روابط  $C-C$  أحادية ومضاعفة حيث تبلغ أطوالها 0.146 nm و 0.140 nm على الترتيب، مما يعني أن هذه الروابط متطابقة عسلياً.

ويهدف تشكيل كرية بكي أقرب ما يمكن إلى تمثالية تنتظم اقرب مجاورات ذرات الكربون في مخفضات ومسدسات، يحاط كل مخفض في بنية الكرية الخارجية بخمسة مسدسات.

. تتألف بنية الجسم المتعدد الأوجه -المقطوعة (المشطوفة) من 12 وجهاً خماسياً و 20 وجهاً سداسياً تغطي الرؤوس الـ 60 الموجودة في كرية بكي حيث يشغل كل رأس ذرة كربون  $C$ .

بفضل شكل الجسم المتعدد الأوجه "المشطوفة" يمكننا وصف الحالات الطاقية الإلكترونية لفولورينات بكي من خلال تصنيف الحالات الكمومية التي تم تحصيلها من أجل كمون متناظر كروياً وأبسط الذرات ، حيث وجدنا عندها أنه يمكن تصنيف الحالات الطاقية الإلكترونية من خلال الأعداد الكمومية للإندفاع الزاوي (الأعداد الكمومية المدارية  $l$ ).

→ يبلغ عدد إلكترونات التكافؤ في الفولورين الستيني،  $C_{60}$ ، 240 إلكترونات، 180 منها منخرطة في المستوى الطاقى الرابط- $\sigma$  العميق نسبياً، مما يعني أن الخصائص الإلكترونية للفولورين تتعین بصورة أساسية بالإلكترونات الستين المتبقية والمسؤولة عن الروابط- $\pi$ .

→ حيث يشغل 50 إلكترونات منها الحالات الكمومية ذات الأعداد الكمومية المدارية الواقعة بين القيمتين  $l=0$  و  $l=4$ ؛ ومع أخذ الانطباق السبيني المضاعف بالحسبان نحصل على الإشغالات الطاقية الآتية الموضحة في الشكل (4-26):  $2+6+10+14+18$ .

→ أما الإلكترونات العشرة المتبقية فتملأ المستوى الطاقى ذي العدد الكمومي المداري  $l=5$ ، فعلياً يبلغ العدد الكلي لهذه الحالات 22 إلكترونات:  $22 = (2/5 + 1) \times 2$ . يمكننا القول الآن وبثقة أن الجسم المتعدد الأوجه "المشطوفة" يختلف عن الكرة وينصف بدرجة تناظر أخفض.

**السؤال الرابع : (15) درجة**

لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة  $(C \rightarrow = 8a_1 \rightarrow + 7a_2 \rightarrow)$ .

1- احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N وعلى فرض أن كل سدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟

2- احسب نصف قطر الأنبوب R على فرض طول رابطة الكربون - كربون  $(a_0)$  تساوي تقريبا  $(0.14 \text{ nm})$ .

**5) درجات لحساب q و 5 درجات لحساب عدد الذرات و 5 درجات لحساب نصف القطر) ملاحظة: تحذف درجة فقط للجواب الخاطي.**

(1) حل المسألة

(5) درجات

$$q = \begin{cases} 1, & \text{if } n-m \text{ is not a multiple of } 3l, \\ 3l, & \text{if } n-m \text{ is a multiple of } 3l, \end{cases}$$

حيث l اكبر قاسم مشترك للعندين الصحيحين n و m.

$$n-m = 8-7=1 \rightarrow q=1$$

(2) يساوي عدد المضلعات السداسية، N، في وحدة الخلية إلى:

$$N = \frac{2(n^2 + m^2 + nm)}{q}$$

(5) درجات

$$N = \frac{2(8^2 + 7^2 + 8 \times 7)}{1} = 338$$

بما أن كل سدس يحتوي ذرتي كربون فإن عدد الذرات يساوي  $2N=676$

ويُعطي نصف قطر الأنبوب، R، بالعلاقة الآتية:

(3)

$$R = \frac{|\vec{C}|}{2\pi} = \frac{\sqrt{3} a_0 \sqrt{n^2 + m^2 + nm}}{2\pi}$$

(5) درجات

$$R = \frac{\sqrt{3} \times 0.14 \times \sqrt{8^2 + 7^2 + 8 \times 7}}{2 \times \pi} = 0.57 \text{ nm}$$

### السؤال الخامس : (15) درجة

عدد خطوات إنماء بلورة أحادية سليكونية عالية النوعية مع شرح كل خطوة. (9 درجات لأدنى الخطوات الثلاث و6 درجات للشرح (سواء كتابية ما يتم في كل خطوة أو ذكر المعادلات التوضيحية).

إنماء البلورة الأحادية Single-Crystal Growth

تُعد الخطوات الثلاث الآتية ضرورية من أجل إنتاج نابورات سليكونية عالية النوعية:

(a) الحصول على سيلكون من المرتبة الفلزية (مستوى الشوائب فيه يبلغ نحو  $5 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-3}$ ):

♥ ينتج السيلكون من المرتبة الفلزية عادة من التفاعل الكيميائي لشايف أكسيد السيلكون ( $\text{SiO}_2$ ) مع الكربون (C) على شكل فحم الكوك Coke:



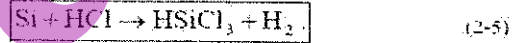
الذي يتطلب درجة حرارة عالية (نحو  $1800^\circ\text{C}$ ).

م الكوك هو فحم حجري يُستخرج منه معظم المعادن. والسيلكون الذي يتم الحصول عليه في هذه خطوة:

ليس بلورة أحادية Single Crystalline وليس نقياً كفاية من أجل التطبيقات الإلكترونية على الرغم من أنه خالٍ من بعض التطبيقات الفلزية، كالحصول على الفولاذ عديم الصدأ Stainless Steel.

(b) تحسين المادة الأخيرة لتصبح سيلكوناً من المرتبة الإلكترونية (احتراق مستوى الشوائب فيه إلى نحو  $5 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-3}$  أو أقل):

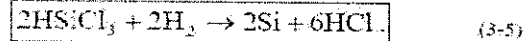
♥ يمكن بلوغ الاختزال اللاحق للشوائب بإجراء التفاعل الآتي السيلكون مع حمض كلور الماء الجاف:



نحصل في هذه الحالة على ثلاثي كلوريد السيلان  $\text{HSiCl}_3$  الذي يكون في الحالة النموذجية سائلاً بنقطة غليان تبلغ  $32^\circ\text{C}$  وتوجد إلى جانب  $\text{HSiCl}_3$  ويُنشأ معاً كلوريدات أخرى من الشوائب، كان تشكل كلوريدات أخرى مثل  $\text{FeCl}_3$ ، وطالما أن نقطتي غليانها مختلفتان فيمكن تطبيق تقنية التقطير الفراغية البسيطة Simple Fractional Distillation Technique:

إذ يُسخن مزيج الـ  $\text{HSiCl}_3$  وكلوريدات الشوائب الأخرى ثم تُكثف في سلسلة من أعمدة التقطير Distillation Towers عند درجات حرارة منخفضة، وبوساطة هذه التقنية يفصل ثلاثي كلوريد السيلان عن الشوائب.

♥ وبعد ذلك يحول التفاعل الآتي مع  $\text{H}_2$  ثلاثي كلوريد السيلان إلى سيلكون من المرتبة الإلكترونية عالي النقاوة:



ويبقى السيلكون النقي الذي يتم الحصول عليه وفق هذه العملية متعدد التبلور Polycrystalline.

(c) تحويل المادة السيلكونية من المرتبة الإلكترونية إلى صلبات Ingots سيلكونية Si أحادية التبلور.

♥ يقوم الإجراء النهائي الذي يحول السيلكون المتعدد التبلور إلى صلبات سيلكونية Si أحادية التبلور على طريقة تشوكرالسكي Czochralski Method.

في هذه الطريقة تُنمى بلورة سيلكونية Seed Si Crystal تؤمن غالباً من أجل إنماء البلورة المستهدفة.

### السؤال السادس: (10) درجة

يُعتبر المجهر الإلكتروني النفقي الماسح من المجاهر المستخدمة في توصيف التراكيب النانومترية، لماذا يستخدم؟ عدد أقسامه و عدد خصائص تيار النفق. (3 درجات للاستخدام و 4 درجات لذكر الأقسام (الرسم عليه الأقسام يعتبر صحيحاً) و3 درجات لذكر الخصائص)

#### المجهر الإلكتروني النفقي الماسح Scanning Tunneling Microscopy:

انف) تسمح هذه التقنية الحديثة بدراسة: الطبولوجية السطحية *Surface Topologies* للعينة (الوصف التفصيلي للتضاريس والسمات السطحية الطبيعية والصناعية) وتغيرات تابع العمل *Work-Function Profiles* على مستوى التدرج الذري في الفضاء الحقيقي.

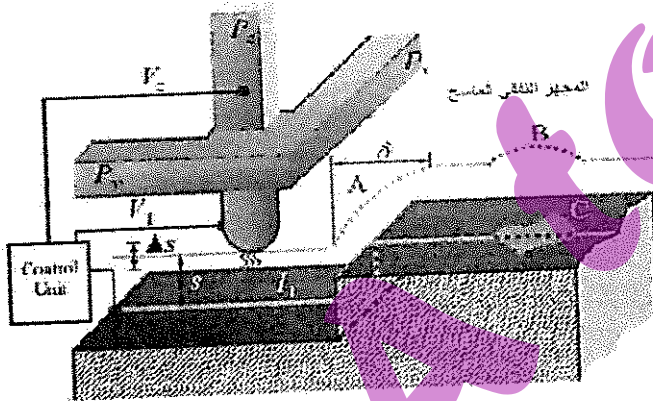
ب) يتألف الـ STM بصورة رئيسة من:

❖ رأس فلزي ماسح (يُعدُّ مسرى أولاً لوصلة النفق) يمسح السطح المطلوب التحري عنه (والذي يُعدُّ المسرى الثاني لوصلة النفق)،

❖ سيّارة انضغاطية *Piezodrive* ذات أذرع متعامدة أشير إليها بالرموز  $P_x$ ، و  $P_y$ ، و  $P_z$

❖ تيار النفق

❖ وحدة التحكم



ج) خصائص تيار النفق:

أولاً - تيار النفق حساس للغاية لمدى فجوة الخلاء  $s$

ثانياً - تيار النفق حساس لتركيب المادة وانفعالها

ثالثاً - تيار النفق في مجهر النفق الماسح STM حساس فلتط لطبقة رقيقة من سطح العينة

**السؤال السابع : (10) درجة**  
تعتبر طريقة الانفراغ بالقوس الكهربائي من أهم طرق الإنماء المستخدمة للحصول على أنابيب كربونية. وضح آلية الإنماء المتبعة بهذه الطريقة. (درجتان لكل خطوة يكتفى بخمس منها، يمكن استبدال الخطوة الأولى بالرسم)

طريقتا الانفراغ بالقوس الكهربائي والتذرية الليزرية Arc-Discharge and Laser Ablation

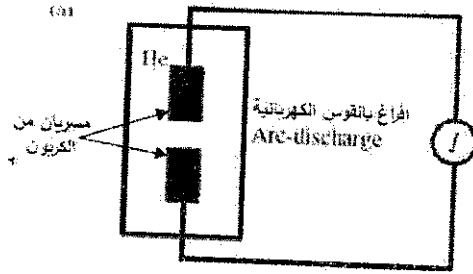
١ \* تبخر ذرات الكربون في الانفراغ بالقوس الكهربائي بمساعدة بلازما غاز الهليوم الذي يقدم نتيجة

تدفق تيارات عالية عبر

مصعد ومهبط متقابلين

مصنوعين من الكربون، كما

يوضح الشكل



٢ \* بعد تبخر ذرات الكربون في

الانفراغ بالقوس الكهربائي

عملية لامتوازنة بامتياز،

ولذلك فإن هذه الذرات

ستعرض لتكافئ متتال في

برجات حرارة (3000 K)

أخفض من نقطة انصهار

الغرافيت فتتشأ أنابيب

الكربون النانوية نتيجة هذه

العملية.

٣ \* تمتلك الأنابيب النانوية

المنسوجة المتعددة الجدار

أطوالاً من مرتبة 10  $\mu\text{m}$

وأقطاراً تقع فيها في المجال

من 5 nm إلى 30 nm.

٤ \* وتترابط الأنابيب النانوية بعضها مع بعض بنشآت جزيئية فاندرفالسية عادةً وتُشكل معاً رزماً قوية

(شديدة الترابط).

٥ \* يجب توافر محفز فلزي في جملة الانفراغ بالقوس الكهربائي من أجل إنماء أنابيب نانوية أحادية الجدار .

فمثلاً، من الممكن إنتاج كميات معقولة من أنابيب نانوية أحادية الجدار بالانفراغ القوسي من خلال

استخدام مصعد كربوني يحوي نسبة ضئيلة من محفز الكوبالت في حجرة الانفراغ. إذ تتولد نتيجة ذلك

أنابيب نانوية أحادية الجدار وافرة في مادة السخام ("الشحوار") Soot Material.

٦ \* يمكن جعل أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار بطريقة الانفراغ بالقوس الكهربائي من خلال

استعمال مصعد كربون يحوي نسبة ذرية كبيرة من فلز انتقالي (أكثر من 40% مثلاً من محفز النيكل).

### السؤال الثامن : (10) درجة

عرف البوليمر التساهمي البناء وعدد خطوات البلمرة الثلاثية وحدة البناء. (4 درجات للتعريف و درجتان لكل خطوة من الثلاث خطوات)

تعريف البوليمر التساهمي البناء :

هو جزيء كبير (جيري) Macromolecule يتألف من عدة وحدات بلمرة Polymer Blocks يمكنها عادة أن تنمو بعدة خطوات، والشكل (5-28) يوضح مثلاً علي بلمرة ثلاثية وحدة البناء :

→ يبدأ نسخ هذا الجزيء الكبير بتبلمر مونومير الستايرين (هيدروكربون) Styrene Monomer؛ حيث تكون كمية المونومير المقدمة من أجل الخطوة الأولى- فقط- كمية كافية لخلق سلسلة ستايرين مُنمنمة Miniature Styrene Chain (وهي وحدة البناء الأولى First Block) بدرجة تبلمر وسطية تساوي 9.

→ تنمو وحدة بناء ثانية في الخطوة الثانية بدرجة تبلمر وسطية مشابهة عند إضافة أيزوبرين كيميائي Chemical Isoprene آخر (هيدروكربون سائل ملتهب).

→ وفي الخطوة الثالثة، يُقحم ثنائي أكسيد كربون ( $CO_2$ ) في مجموعة كربوكسيلية طرفية Carboxyl End Groups عند قمة البوليميرات التساهمية ثنائية الوحدة السابقة المُنمنمة.

ملاحظة: في حال كانت الإجابة تقدم المفهوم نفسه وتوضح الأفكار ذاتها بأسلوب مختلف تعطى الدرجة ذاتها.  
مدرس المقرر : د.م. علاء محمد صبح



السنة الرابعة  
الدرجة: تسعون

اسم الطالب :

امتحان مقرر علم النانو وتطبيقاته  
الدورة الفصلية الثانية

مدة الامتحان :

جامعة طرطوس  
كلية العلوم  
قسم الفيزياء-السنة الرابعة

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (10) درجة

وضح كلاً من المواد المتوافقة والمتباينة شبكياً.

السؤال الثاني : (10) درجة

وضح الفرق بين أنصاف النواقل ذات الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة.

السؤال الثالث : (10) درجة

وضح مفهوم أنصاف النواقل المترجرة مع الرسم.

السؤال الرابع : (20) درجة

1- تعتبر أنابيب الكربون النانوية من أهم المواد النانومترية الكربونية ،عرفها واكتب معادلة متجه اللف العامة لأنبوب بشكل وحيد مع توضيح الرموز.

2- لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة  $(C^{\rightarrow} = 8a_1^{\rightarrow} + 7a_2^{\rightarrow})$  احسب عدد المضاعفات السداسية في حدة الخلية N مع كتابة القوانين اللازمة وعلى فرض أن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها.

3- احسب نصف قطر الأنبوب R على فرض طول رابطة الكربون - كربون  $(a_0)$  تساوي تقريباً (0.14 nm).

السؤال الخامس : (15) درجة

عدد خطوات إنماء بلورة أحادية سليكونية عالية النوعية مع شرح كل خطوة.

السؤال السادس: (5) درجة

وضح طريقة حياكة العنقود النانوي بالطريقة الغروية.

السؤال السابع : (10) درجة

عد خطوات إنماء تراكيب نانوية أحادية الجدار (حالة إنماء شبكات أنابيب معلقة على ركائز تحوي دعائم سليكونية منمطة بطريقة الطباعة الحجرية)

السؤال الثامن : (10) درجة

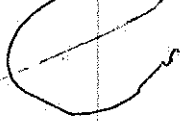
كيف يمكن فهم آلية الحصول على إنماء موجه للأنابيب الكربونية.

2024/8/5

انتهت الأسئلة

مدرس المقرر  
د.م. علاء محمد صبح

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح



السنة الرابعة  
الدرجة :تسعون

سليم مقرر علم الثاني وتطبيقاته  
الدورة الفصلية الثانية 2023-2024

جامعة طرطوس  
كلية العلوم  
قسم الفيزياء-السنة الرابعة

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (10) درجة

عرف كلا من المواد المتوافقة والمنباينة شديداً. (5 درجات لكل تعريف)

المواد المتوافقة - شديداً

التعريف: إن ثوابت الشبكات البلورية للمواد المتوافقة للتركييب المتوافقة - شديداً متطابقة تقريباً، أي أن الثوابت البلورية تقع في حدود أجزاء مئوية صغيرة بالنسبة لأعضائها المفضلين

المواد المتباينة شديداً :

التعريف: توصف حالة التركييب المتباينة - شديداً بتباين شديدي محدود *Finite Lattice Mismatch* (أي

بوجود فارق بين ثوابت الشبكات البلورية)؛

السؤال الثاني : (10) درجة

وضح الفرق بين أنصاف النواقل ذات الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة. (5 درجات لكل منها)

يمكن أن ينتقل إلكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية مباشرة من دون أن يتغير

ارتفاعه؛ تسمى البلورات من هذا النوع أنصاف نواقل ذات فجوة طاقية مباشرة.

وخلافاً لذلك، لكي ينتقل إلكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية في Si و Ge لا يكفي

إضافة كمية من الطاقة - أكبر من الفارق الطاقي الأدنى بين عصائبي الناقلية والتكافؤ - لتبديد

إلكترون، وإنما لا بد من أن تتغير ارتفاعه أيضاً بكمية كبيرة (يمكن مقارنتها مع تلك الكمية في

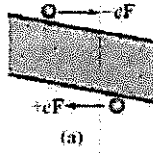
منطقة بريلوان). يسمى نصف ناقل كهذا بنصف ناقل ذي فجوة طاقية غير مباشرة.

### السؤال الثالث : (10) درجة

وضح مفهوم أنصاف النواقل المتدرجة مع الرسم. (7 درجات للتوضيح و 3 درجات للرسم)

#### أنصاف النواقل المتدرجة Graded Semiconductors:

أولاً- كثيراً ما شتمعل أنصاف نواقل متدرجة عوضاً عن تركيب متغايرة فجائية- عادة، ولتوضيح هذه الفكرة ندرس في البداية قطعة متجانسة من نصف ناقل. كان يكون سيكون مقطعاً باستخدام، طبق بين طريقياً حقل كهربائي.



(a)

○ وعندما يبدو مخطط عصابات الطاقة مشابهاً لذلك المخطط الذي يظهر في الشكل ( a ) والذي يمثل ببساطة بخطين متوازيين مائلين Tilted يوافقان حثي عصابتي الطاقة والتكاثر.

→ الفاصل بين الخطين هو الفجوة الطاقية لنصف النواقل.

→ يساوي ميل حثي العصابات الطاقيتين حاصل ضرب الشحنة الأولية،  $-e$  في شدة الحقل الكهربائي  $F(F)$ .

○ عند وضع إلكترون أو ثقب في هذه الشبة، فإن قوة  $-eF$  تؤثر في الإلكترون، وأخرى  $+eF$  في الثقب، القوتان متساويتان بالقيمة ومتعاكستان بالاتجاه.

ثانياً- ينشأ ميلاً حثي عصابتي الناقلية والتكاثر في حالة الانتقال المتدرج Graded Transition من مادة إلى أخرى. يوضح الشكلان ( b ) و ( c ) انتقالات متدرجة من نصف ناقل مسوق الموجبة

الطاقية إلى نصف ناقل واسع الفجوة الطاقية توافق التوصلات المتغايرة الفجائية التي ظهرت في الشكلين يتضح من الشكلين ( b ) و ( c ) في حالة تركيب متغايرة متدرجة، وجود حقل كهربائي

داخلي المنشأ Built-in Electric Field يؤثر في الإلكترونات والثقب، يسمى مثل هذا الحقل حقلًا شبه كهربائي Quasi-electric.

\* إن الحقل شبه الكهربائي لا يتوافر في البلورات المتجانسة، وهذا هو السبب الذي يقف وراء إمكانية استخدام تركيب متغايرة متدرجة من أجل تصنيع نواقل حديثة حيث يُطلب توافر حقل كهربائي داخلي المنشأ. ومن المواد المستخدمة في نواقل التركيب المتغايرة المتدرجة نذكر  $Si_3Ge_{1-x}$  و  $AlGa_{1-x}As$  حيث تتغير  $x$  في اتجاه النمو. التركيب المتدرجة والفوق شبه الكهربائية المرافقة بها تقدم درجة حرية جديدة من أجل تصميم النواقل وتسمح له بالحصول على مفاصل كان يستحيل تحقيقها باستخدام حقول كهربائية خارجية (أو حقيقية) فقط.

### السؤال الرابع : (20) درجة

- 1- تعتبر أنابيب الكربون النانوية من أهم المواد النانومترية الكربونية، عرفها واكتب معادلة متجه اللف العامة لأنبوب بشكل وحيد مع توضيح الرموز. (5 درجات للتعريف و 5 درجات لذكر المعادلة مع الرموز)
  - 2- لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة  $(C_{\infty} = 8a_1^2 + 7a_2^2)$ . احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N مع كتابة القوانين اللازمة وعلى فرض أن كل سدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟ (5 درجات)
  - 3- احسب نص قطر الأنبوب R على فرض طول رابطة الكربون - كربون ( $a_0$ ) تساوي تقريباً (0.14 nm). (5 درجات)
- (تحذف درجة واحدة لكل جواب خاطئ)

### أنابيب الكربون النانوية: Carbon Nanotubes

تملك أنابيب الكربون النانوية شكل صفائح معزولة وملفوفة ومن دون قطب مؤلفة من ذرات الكربون. إذ يمكن أن تكون أقطار الصفائح الأسطوانية الشكل بضعة نانومترات فقط. وهذه الأنابيب النانوية هي أشياء صغيرة جداً تُبدي الكثير من التراكيب والخصائص المختلفة. ليس لهذه الأنابيب النانوية مشابهاً جبرياً على غرار أنصاف التواقل الحجمية التي استُخدمت؛ كمشابه لتراكيب نانوية نصف ناقلة عادية. إذن، لدراسة بنية أنابيب الكربون النانوية لابد من استعمال التقنيات المجهرية الأكثر تقدماً؛ مجهرية القوة الذرية Atomic Force Microscopy ومجهرية العبور بالنفق الماسح اللتان Scanning Tunneling Microscopy سندرسهما في الفصل القادم. إذن،

$$\vec{C} = n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2 \equiv (n, m)$$

معادلة المتجه

$\vec{a}_1$  و  $\vec{a}_2$  متجهي الشبكة البلورية للغرافين و  $n$  و  $m$  عددان صحيحان.

2- حل المسألة

$$q = \begin{cases} 1, & \text{if } n-m \text{ is not a multiple of } 3, \\ 3, & \text{if } n-m \text{ is a multiple of } 3, \end{cases}$$

حيث  $l$  أكبر قاسم مشترك للعددين الصحيحين  $n$  و  $m$ .

يساوي عدد المضلعات السداسية،  $N$ ، في وحدة الخلية إلى:

$$N = \frac{2(n^2 + m^2 + nm)}{q}$$

$$n-m = 8-7=1 \rightarrow q=1$$

$$N = \frac{2(8^2 + 7^2 + 8 \times 7)}{1} = 338$$

بما أن كل سدس يحتوي ذرتي كربون فإن عدد الذرات يساوي  $2N=676$

(3) ويُعطى نصف قطر الأنبوب،  $R$ ، بالعلاقة الآتية:

$$R = \frac{|\vec{C}|}{2\pi} = \frac{\sqrt{3} a_0}{2\pi} \sqrt{n^2 + m^2 + nm}$$

$$R = \frac{\sqrt{3} \times 0.14 \times \sqrt{8^2 + 7^2 + 8 \times 7}}{2 \times \pi} = 0.57 \text{ nm}$$

### السؤال الخامس : (15) درجة

عدد خطوات إنماء بلورة أحادية سليكونية عالية النوعية مع شرح كل خطوة (9 درجات لذكر الخطوات الثلاث و6 درجات للشرح (سواء كتابية ما يتم في كل خطوة أو ذكر المعادلات التوضيحية).

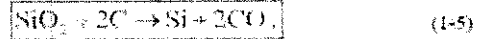
إنماء البلورة الأحادية Single-Crystal Growth

تُعدّ الخطوات الثلاث الآتية ضرورية من أجل إنتاج بلورات سيليكونية عالية النوعية:

(a) الحصول على سيليكون من المرتبة الفلزّية (مستوى الشوائب فيه يبلغ نحو  $5 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$ )

♥ ينتج سيليكون من المرتبة الفلزّية عادة من التفاعل الكيميائي لثلاثي أكسيد السيليكون ( $\text{SiO}_2$ ) مع

الكربون (C) على شكل فحم الكوك (Coke):



الذي يتطلب درجة حرارة عالية (نحو  $1800^\circ\text{C}$ ).

م الكوك هو فحم ججري يستخرج منه معظم الغازات، والسيليكون الذي يتم الحصول عليه في هذه

طوة:

ليس بلورة أحادية Single Crystalline

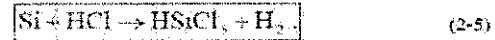
وليس نقياً كفاية من أجل التطبيقات الإلكترونية على الرغم من أنه جيد من أجل بعض التطبيقات

الفلزّية؛ كالحصول على الفولاذ عديم الصدأ (Stainless Steel).

(b) تحسين المادة (الأخيرة تصبح سيليكون من المرتبة الإلكترونية) (اختزال مستوى الشوائب فيه إلى

نحو  $5 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  أو أقل)

♥ يمكن بلوغ الاختزال اللازم لتحويل الشوائب بإجراء التفاعل الآتي للسيليكون مع حمض كلور الماء النجاف:



نحصل في هذه الحالة على ثلاثي كلوريد السيلان  $\text{HSiCl}_3$  الذي يكون في الحالة المتواجبة سائلاً

بنقطة غليان تبلغ  $32^\circ\text{C}$ . وتوجد إلى جانب  $\text{HSiCl}_3$  وبما أن كلوريدات أخرى من الشوائب؛ كأن

تتشكل كلوريدات أخرى مثل  $\text{FeCl}_3$ . وطالما أن نقطتي غليانها مختلفتان فيمكن تطبيق تقنية التقطير

الفاضلية البسيطة Simple Fractional Distillation Technique:

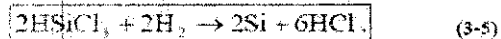
إذ يُسخّن مزيج الـ  $\text{HSiCl}_3$  وكلوريدات الشوائب الأخرى ثم تُكثَّب في سلسلة من أجهزة التقطير

Distillation Towers عند درجات حرارة مناسبة. وبوساطة هذه التقنية يفصل ثلاثي كلوريد السيلان

عن الشوائب.

♥ وبعد ذلك يهضَّم المتبقي الآتي مع  $\text{H}_2$  ثلاثي كلوريد السيلان إلى سيليكون من المرتبة الإلكترونية

عالي النقاوة:



ويبقى السيليكون Si النقي الذي يتم الحصول عليه وفق هذه العملية عنده البلور Polycrystalline.

(c) تحويل المادة السليكونية من المرتبة الإلكترونية إلى سيليكون Ingots سيليكونية Si أحادية البلور.

♥ يقوم الإجراء الشبهائي الذي يحول السيليكون المتعدد البلور إلى سيليكونية Si أحادية البلور

على طريقة تشوكراوسكي Czochralski Method.

في هذه الطريقة تُمَثَّل بلورية سيليكونية Seed Si Crystal تؤمن قالباً من أجل إنماء البلورة المستهدفة.

### السؤال السادس: (5) درجة

وضح طريقة حياكة العنقود النانوي بالطريقة الغروية.

تتأسس "الحياكة" الغروانية - التقنية الثانية - لمعظم الجسيمات النانوية أحادية التشتت Mono-disperse على التفرع المضبوط (تشكل مضبوط لأجنة العنقود المراد إنمائه) وإنماء العناقيد في محلول حاوٍ مركبات مُحفزة مسبقة (نطلق عليها اسم سوابق Precursors): يمكن بهذه التقنية إنماء عناقيد فلزية وعناقيد نصف ناقلة

### السؤال السابع: (10) درجة

عد خطوات إنماء تراكيب نانوية أحادية الجدار (حالة إنماء شبكات أنابيب معقدة على ركائز تحوي دعائم سليكونية منمطة بطريقة الطباعة الحجرية) (درجتين لكل فكرة يقتضي بها خمسة فقط)

→ يمكن إنماء تراكيب أنابيب نانوية أحادية الجدار منظمة مباشرة عبر ترسيب الأبخرة الكيميائية على ركائز منمطة تحفيزياً. لتدرس، على سبيل المثال، طريقة تطوير إنماء شبكات أنابيب نانوية معقدة على ركائز تحوي دعائم سيلكونية منمطة بطريقة الطباعة الحجرية:

١ \* يبدأ النمو بتحضير مادة تحفيز سائلة في طورها السائل مسبقاً تتفرق في سوابقها على مُحفّزات الحالة الصلبة من خلال سماحها بتشكّل طبقات تحفيز متجانسة Uniform من أجل تجميع مُحفّز كبير المنح على السطح،

٢ \* تتألف المادة السائلة من

→ بولييمر مشترك ثلاثي وحدة البناء Tri-block Copolymer

→ وكلوريدات الألمنيوم وكلوريدات الطيود وكلوريدات الميندينيوم

→ تقع في خليط من سوابق الأيثانول (كحول إيثيلي) Ethanol والبيوتانول Butanol (كحول

رباعي الكربون):

٣ \* ✓ يؤقّر كلوريد الألمنيوم بإطار أكسيد عند أكسدة بالخطمية (بالشطف بالماء) أو التكلين بالإحماء (عملية تحميم في ظروف مؤكسدة) في الهواء.

إذ يوجّه البوليمر الثلاثي المشحون تركيز إطار الأكسدة ويؤدي إلى تشكّل بنية تحفيز مسامية بعيد التكلين بالإحماء.

✓ كما يمكن تمديد أن تشكّل جسيمات تحفيز ضرورية من أجل إنماء الأنابيب النانوية.

٤ \* → إذ تشكّل في البداية مادة التحفيز - السابك في إسم غير على قالب من سيلوكسان - ثنائي الميثيل

المتعد: Polydimethyl Siloxane Stamp

٥ \* → يلي ذلك طبعة تماسية Contact Printing للسابك المُحفّز اعتماداً على الأجزاء العلوية لدعامات Pillar Tops مدسّعة - مسبقاً على ركيزة سليكونية.

٦ \* → ثمّ تشكّل الركيزة المسطّوعة بالإحماء ثم تستعمل في شمية الإنماء بطريقة ترسيب الأبخرة الكيميائية.

**السؤال الثامن : (10) درجة**

كيف يمكن فهم آلية الحصول على إنماء موجه للأنايبب الكربونية. (كيف حصل فقط) درجيس للمنهج

يمكن فهم مثل هذه الإنماء الموجه للأنايبب النانوية بالشكل الآتي:

- ١ • تنوؤ أناييب نانوية على رؤوس الدعامات فقط طالما أن طريقة الطبع المحفّز لا تضع أي مواد تحفيز أسفل الركيزة.
- ٢ • وأثناء النمو الطولي للأنايبب النانوية يُحافظ تدفق الميثان على جعل الأنايبب النانوية عائمة و"متموجة" لأن سرعة التدفق بالقرب من قعر السطح أخفض بكثير من سرعة التدفق عند مستوى "رؤوس الدعامات".
- ٣ • وهذا بدوره يمنع قنص الأنايبب النانوية عند أسفل السطح.
- ٤ • ومن جهة أخرى، توفر الدعامات المجاورة نقاط تثبيت للأنايبب المتنامية؛
- ٥ • فإذا مش أنبوب متموج دعامة مجاورة، فإن تأثيرات فاندرفالز بين الأنابيب والدعامة ستأسر الأنبوب النانوي وتُحافظ عليه عالياً (أي مُعلقاً في الجو).
- ٦ • ووفق نمط النمو هذا يمكن تصنيع أناييبب نانوية معلقة بأطوال جهرية؛ إذ يمكن إنماء أناييبب بأطوال تزيد عن  $150 \mu\text{m}$ .

ملاحظة: في حال كانت الإجابة تقدم المفهوم نفسه بأسلوب مختلف تعطى الدرجة ذاتها.

مدرس المقرر  
د.م. علاء محمد صبح

السنة الرابعة  
الدرجة: تسعون  
اسم الطالب :

امتحان مقرر علم النانو وتطبيقاته  
الدورة الفصلية الأولى  
مدة الامتحان :

جامعة طرطوس  
كلية العلوم  
قسم الفيزياء-السنة الرابعة

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الأول : (15) درجة

عرف كلا ممايلي: البلورات الأيونية، الألفة الالكترونية، الترابط التساهمي، الإنماء الفوقي بالحزمة الجزيئية، العنقود النانوي.

السؤال الثاني : (5) درجة

وضح الفرق بين أنصاف النواقل ذات القجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة.

السؤال الثالث : (5) درجة

وضح كيفية دراسة جودة السطح الفاصل للتراكيب شبه المتغيرة.

السؤال الرابع : (15) درجة

لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة  $(C \rightarrow = 8a_1 \rightarrow + 7a_2 \rightarrow)$ .

1- احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N وعلى فرض أن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟

2- احسب نصف قطر الأنبوب R على فرض طول رابطة الكربون - كربون ( $a_0$ ) تساوي تقريبا (0.14 nm).

السؤال الخامس : (15) درجة

اشرح طريقة الحفر الكيميائي الرطب المستخدمة للحصول على التراكيب النانوية المطلوبة.

السؤال السادس: (5) درجة

كيف يتكون حقل الانفعال المرن في التراكيب النانوية؟

السؤال السابع : (15) درجة

1- تقنية حياكة عنقود نانوي في الطور الغازي.

2-وضح كيف يمكن إنماء أنابيب أحادية الجدار بطريقة التذرية الذرية.

السؤال الثامن : (15) درجة

1- ميزات انماء أنابيب معزولة على سطح خاص.

2-وضح الطرائق الكيميائية والحيوية المستخدمة في التصنيع على المستوى النانوي وعدد أهم ميزاتهما.

2024/1/29

انتهت الأسئلة

مدرس المقرر  
د.م. علاء محمد صبح

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح



اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:  
السؤال الاول : (15) درجة (3 درجات لكل تعريف يقدم الفكرة الأساسية)  
عرف كلا ممايلي:

- (١) البلورات الأيونية: تتميز البلورات الأيونية من أيونات موجبة وأخرى سالبة. وتنتج الرابطة الأيونية بصورة رئيسة من التفاعل الكهرساكن الشحائي المتبادل لأيونات متجاورة بشحنات متعاكسة. يوجد أيضاً تفاعل شافعي (تافري) متبادل مع مجاورات أخرى من نفس الشحنة، فالتجانب والتنافر يؤديان معاً إلى توازن قوى والتي بدوره يحدد تدرج نفع في مواقع توازن مستقرة في هكذا بلورة أيونية.
- (٢) الأتمة الإلكترونية: التماسك الطائفي بين قاع *Bottom* عصابة الناقية ومبنى الخلاء،  $\pi$ ، بتعبير آخر: الأتمة الإلكترونية هي الطاقة اللازم تقديمها لانتزاع إلكترون من قاع عصابة الناقية إلى خارج المادة، أي إلى ما يسمى مستوى الخلاء.
- (٣) الترابط التساهمي هو ترابط نموذجي من أجل ذرات بمستوى اشغال منخفض لطبقة الخارجية. بلورة Si توضح هذا النوع من الترابط. إذ يمكن تمثيل التوزيع الإلكتروني للسيلكون بلطب Core يضاف إلى الإلكترونات الخارجية (الطب مؤلف من نواة Si والإلكترونات الداخلية المحيطة بها)، أي وفق الشكل  $Core-3s^2 3p^2$ .
- (٤) الإنماء الفوقي بالحرمة الجزئية يمكن تحقيق طريقة الإنماء الفوقي بمساعدة الحرمة الجزئية MBE في خلاء عال حيث توجه النمو الجزئية أو التربة السكونيات (العناصر) الضرورية إلى الركيزة المستهدفة من أجل إنشاء الطبقة البلورية المطلوبة.
- (٥) العنقود النانوي مشابه تجنح ذري مرتبط بالحجم بدءاً من بضعة ذرات إلى بضعة مئات منها. وفي الحالة المثالية، يكون العنقود معزولاً، ويقصد بكلمة معزول خلو فراغ العنقود أو سطحه من مكونات كيميائية غريبة.

السؤال الثاني : (5) درجة وضع الفرم من أرضيات النواقل ذات الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة.

يمكن أن ينتقل إلكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية مباشرة من دون أن يتغير اندفاعه؛ تسمى البلورات من هذا النوع أنصاف نواقل ذات فجوة طاقية مباشرة. وخلافاً لذلك، لكي ينتقل إلكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية في Si و Ge لا يكفي إضافة كمية من الطاقة - أكبر من الفارق الطاقى الأدنى بين عاصبتى الناقلية والتكافؤ - لتهييج إلكترون، وإنما لا بد من أن تغيير اندفاعه أيضاً بكمية كبيرة (يمكن مقارنتها مع تلك الكمية في منطقة بريلوان). يسمى نصف ناقل كهذا بنصف ناقل ذي فجوة طاقية غير مباشرة.

السؤال الثالث : (5) درجة وضع كيفية دراسة هذه السطح الفهم للتركيب منه المتغايرة

تتعلق جودة المواد بجوار السطوح الفاصلة المتغايرة بنسبة ثابتي الشبكة البلورية لكلتا المادتين. وتنبعاً للتشابه البنيوي وثوابت الشبكة البلورية للمواد المؤلفة للتركييب المتغايرة توجد فئتان من السطوح الفاصلة المتغايرة تختلفان عن بعضهما البعض بصورة جوهرية: مواد متوافقة شبكياً ومواد متباينة شبكياً وكذلك توافق التكافؤ فيما إذا كانت الروابط متوافقة أو غير متوافقة تكافؤياً عن طريق عدد الإلكترونات التي تسهم بها الذرات فيما إذا كان يطابق أو لا يطابق العدد المطلوب (إلكترونات لكل رابطة تساهمية) بعبارة أخرى معتدلة أو غير معتدلة كهربائياً

السؤال الرابع : (15) درجة

- المينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يُعطى بالمعادلة  $(C \rightarrow = 8a_1 + 7a_2)$
- 1 احسب عدد المضلعات السداسية في وحدة الخلية  $N$  وعلى فرض أن كل مسدس يحتوي ذرتين كربون : كم يكون عددها (10 درجات)
- 2 احسب نصف قطر الأنبوب  $R$  على فرض طول رابطة الكربون - الكربون  $(a_0)$  تقارباً (0.14) (5 درجات)

$$q = \begin{cases} 1, & \text{if } n-m \text{ is not a multiple of } 3l, \\ 3l, & \text{if } n-m \text{ is a multiple of } 3l, \end{cases}$$

حيث  $l$  اكبر قاسم مشترك للعددين الصحيحين  $n$  و  $m$ .  
يساوي عدد المضلعات السداسية،  $N$ ، في وحدة الخلية إلى:

$$N = \frac{2(n^2 + m^2 + nm)}{q}$$

$$n-m = 8-7=1 \rightarrow q=1$$

$$N = \frac{2(8^2 + 7^2 + 7 \times 8)}{1} = 338$$

بما أن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون فإن يحوي  $2N=676$  ذرة في وحدة الخلية

ويعطى نصف قطر الأنبوب،  $R$ ، بالعلاقة الآتية:

$$R = \frac{|\bar{C}|}{2\pi} = \frac{\sqrt{3} a_0}{2\pi} \sqrt{n^2 + m^2 + nm}$$

$$R = \frac{\sqrt{3} * 0.14 * \sqrt{8^2 + 7^2 + 8 \times 7}}{2 * \pi} = 0.57 \text{ nm}$$

#### السؤال الخامس : (15) درجة

#### 1- اشرح طريقة الحفر الكيميائي الرطب للتسوية للحصول على التراكيب النانوية المطلوبة

❖ يوجد العديد من طرائق الحفر ومن ضمنها: طريقة الحفر الكيميائي الرطب المستخدمة على نطاق واسع. تُطبق طريقة الحفر عموماً بغرض الحصول على التراكيب المرغوب فيها، حالما يتشكل النموذج فمثلاً يُستعمل هيدروفلور الممدد Dilute HF لازالة طبقة ثاني أكسيد السيليكون  $SiO_2$  التي تغطي شريحة من السيلكون. فالهيدروفلور يتفاعل مع الكوارتز  $SiO_2$  ولا يؤثر في المقاوم الضوئي أو في السيلكون. وهذا يعني أن الحفر الكيميائي الرطب انتقائي للغاية. (5 درجات)

❖ ولكن معدل الحفر هو ذاته في أي اتجاه؛ جانبياً كان أم شاقولياً ولذلك، فإن هذا النوع من التتميش يُعدّ متماثل المُنَاحي. ويكون استخدام تقنية الحفر المتماثل المُنَاحي مقبولاً فقط من أجل التراكيب الكبيرة نسبياً. أما تقنية الحفر اللامتماثل المُنَاحي (الأنزوتروبي) بسرعة تتميش شاقولي عالية جداً فهي التقنية المفضلة من أجل التراكيب ذات البعد النانومتري.

يتضمن الحفر الأنزوتروبي عملية فيزيائية أو خليطاً من عملية فيزيائية وأخرى كيميائية. وأفضل طريقة حفر أنزوتروبي معروفة جيداً تسمى الحفر الأيوني التفاعلي. (5 درجات)

❖ إنَّ يتأسس الحفر الأيوني التفاعلي على استخدام التفاعلات البلازمية. وتعمل هذه الطريقة وفق الآتي: تُلمس الحجرة الحاوية على الشرائح بغاز حفر مناسب كأن يكون كربونات فلوريد الكلور مثلاً ويُخفّض الضغط داخلها إلى مستوى نموذجي بحيث يتمكن جهد متناوب ذي تردد راديوي مطبق من إنتاج بلازما حيث تجعل الشريحة المراد حفرها مهبطاً لهذا الانفراغ الراديوي التردد في حين تُؤرّض جدران الحجرة لتفعل فعل مصعد

يُسخّن الجهد الكهربائي الإلكترونات الخفيفة التي بدورها تؤيّن الجزيئات الغازية مكونة أيونات لسوء الحظ، عملية الصدم هذه ليست انتقائية ولكن الجذور الكيميائية المتوافرة في الحجرة تُريد من الحفر الكيميائي الذي يُعدّ انتقائياً وهكذا نرى أن الطريقة المدروسة هنا تجمع العملية المتماثلة المُنَاحي والعملية الأنزوتروبية وتعطي نتائج جيدة من أجل الحفر على مستوى النانومتر. (5 درجات)

#### السؤال السادس: (5) درجة

كيف يتكون حقل الانفعال المرن في التراكيب النانوية ؟

يتكوّن حقل الانفعال المرن إمّا بسبب انقطاع خصائص المرونة الذاتية عند حدود القطاعات وإمّا بسبب عدم التوافق الشبكي بين المادتين اللتان تولّقان الجملة المتغايرة المتنامية إبيتاكسياً، وإمّا الاثنين معاً.  
إن هذه الفئات الثلاث هي تراكيب تقع في حالة توازن يمكن رصدها على وجه الخصوص عند التخمير الحراري Annealing للبلورة أو عند الإيقاف المفاجئ Interruption لعملية إنماء البلورة.

#### السؤال السابع : (15) درجة

1- تقيّم فيما يخص عنقود نانوي في طور النانوي (5 درجات)

تنمو العناقيد غاز قبل تثبيتها وترسيبها على سطح ما وتتشكل مثل هذه العناقيد عندما يكون ضغط أبخرة الذرات المؤلفة لها أكبر بكثير مما يجب أن يكون عليه في حالة التوازن عند درجة الحرارة المعطاة. تستطيع الأبخرة الذرية اللامتوازنة (أي في حالة عدم التوازن) أن تتكوّن بطرائق مختلفة؛ كأن تستعمل: طريقة التبخير الليزري لجسم صلب، طريقة تفكيك مكونات تحوي الذرات اللازم ترسيبها بطريقة التحريض الليزري أو التحريض الحراري، الخ.

2- وضع كيف يمكن إنماء أنابيب أحادية الجدار بطريقة التذرية (10 درجات)

التذرية الليزرية (فرن - ليزر) عملية إنماء أنابيب نانوية أحادية الجدار بنوعية عالية ■ تستعمل هذه الطريقة نبضات ليزر شديدة لتذرية هدفاً مؤلفاً من كربون وحوالي نسبة ذرّة من نيكيل وكوبالت مُحفّز بمقدار 0.5%.

■ إذا يوضع الهدف في فرن على هيئة أنبوب مسخّن إلى الدرجة  $1200^{\circ}\text{C}$

■ يُمرّر أثناء التذرية الليزرية غاز خامل في حجرة الإنماء لنقل الأنابيب النانوية المتنامية

نحو الأسفل لكي تتجمّع على إصبع بارد حيث يحدث تكاثف الكربون.

■ تكون الأنابيب الناتجة في البداية على شكل حبال مؤلفة من عشرات الأنابيب المفردة مكتملة التراص

في بلورات سداسية الشكل عن طريق التأثيرات الفاندرفالسية.

■ يمكن من تراص أنابيب نانوية مفردة في رزمة.

د. علاء الدين



السؤال الثامن : (15) درجة

1 ميزات الإنماء أنابيب معزولة على أسطحها من (5) درجات

- ✓ تم الحصول بهذه الطريقة على نبائط ذات أنابيب نانوية معزولة تُمَيِّت من الجُزُر
- ✓ تؤدي طريقة الإنماء هذه وبسهولة إلى تحضير أنابيب تُكوِّن وتُنظَّم من مواقع سطحية مضبوطة جيداً
- ✓ فضلاً عن تمكيننا من تطوير طريقة مضبوطة لتكامل الأنابيب النانوية في تراكيب قابلة للتوجه

2 وضع الطرق الكيميائية والحيوية المستعملة في التصنيع على مستوى النانوي، ودراساتهم من (10) درجات

- من الواضح أن بمقدور "النسج" الكيميائي Chemical Synthesis إنتاج كميات نانوية متنوعة جداً، بما فيها الجمل النانوية اللاعضوية، والعضوية، والحيوية. أضف إلى ذلك، يمكن أن تكون الكيمياء والحيوية مكملتين لطرائق التصنيع النانوي الفيزيائي المتوفرة والمعمول بها. وعلى وجه الخصوص، تُقدِّم تقنيات الكيمياء والحيوية المختارة بدائل للطباعة الفوتونية التقليدية. تمتد إحدى هذه الطرائق إلى ظاهرة التجمُّع الذاتي Self-Assembly؛ إذ من المعلوم أنه توجد جزيئات تسعى بفضل العمليات الفيزيائية، أو الحيوية، أو الكيميائية لأن تحتشد في تراكيب دورية على المدى الطويل.
- تُسهِّل هذه التراكيب تصنيع أفئدة دورية منتظمة على سطح مصنوع من فلز أو نصف ناقل بحدود نانوية يساوي من  $10\text{ nm} \leftarrow 50\text{ nm}$  وبمسامات داخلية تبلغ أقطارها من  $5\text{ nm} \leftarrow 25\text{ nm}$ .
- تتفوق مثل هذه المقدرة الفاصلة على المقدرة الفاصلة للطباعة الفوتونية التقليدية والتي تبلغ في الوقت الراهن نحو  $100\text{ nm}$ .
- أضف إلى ذلك، فرضت طريقة التجمُّع الذاتي نفسها على تقنيات الطباعة الحجرية بحزمة إلكترونية، والمستخدم في الوقت الراهن من أجل طباعة مثل هذه التراكيب الصغيرة، من خلال تكلفتها الأقل بكثير وزمن الإنجاز الأقصر.
- يمكن تطبيق الطرائق الكيميائية "النسج" المركَّب الكيميائي والبنية الكيميائية على سطح من خلال استعمال أداة كتابية مباشرة تكمن في طباعة نانوية جديدة بقلم مغموس Dip-Pen حيث تولِّد عملاً كيميائياً متسقاً مسطح الشكل بطول يبلغ من  $1\text{ nm} \leftarrow 100\text{ nm}$ .
- ويدورها ولدت النجاحات في علم الحيوية طرائق جديدة لتحضير مواد نانوية التركيب بخصائص محددة مسبقاً وقابلة للبرمجة من أجل وحدات بناء لاعضوية.
- ملاحظة: في حال كانت الإجابة تقدم المفهوم نفسه بأسلوب مختلف تعطى الدرجة ذاتها.

د. عيسى  
ع

السنة الرابعة  
الدرجة : تسعون  
اسم الطالب :

امتحان النظري - الدورة التكميلية  
علم النانو وتطبيقاته  
مدة الامتحان :

جامعة طرطوس  
كلية العلوم  
قسم الفيزياء - السنة الرابعة

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الأول : (10) درجة  
عرف كلا من المواد المتوافقة والمتباينة شبكياً.

السؤال الثاني : (10) درجة  
وضح بنيات عصابات الطاقة لخلائط نصف ناقلة.

السؤال الثالث : (10) درجة  
عرف فلويئات كريات بكي ووصف الحالات الطاقية الإلكترونية لها.

السؤال الرابع : (15) درجة  
لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة  $(C^{\rightarrow} = 8a_1^{\rightarrow} + 7a_2^{\rightarrow})$ .  
1- احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N وعلى فرض أن كل سدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟  
2- احسب نصف قطر الأنبوب R على فرض طول رابطة الكربون - كربون ( $a_0$ ) تساوي تقريباً (0.14 nm).

السؤال الخامس : (15) درجة  
عدد خطوات إنماء بلورة أحادية سليكونية عالية النوعية مع شرح كل خطوة.

السؤال السادس : (10) درجة  
يعتبر المجهر الإلكتروني النفقي الماسح من المجاهر المستخدمة في توصيف التراكيب النانومترية، لماذا يستخدم؟  
عدد أقسامه و عدد خصائص تيار النفق.

السؤال السابع : (10) درجة  
تعتبر طريقة الانفراغ بالقوس الكهربائي من أهم طرق الإنماء المستخدمة للحصول على أنابيب كربونية. وضح آلية الإنماء المتبعة بهذه الطريقة.

السؤال الثامن : (10) درجة  
عرف البوليمر التساهمي البناء وعدد خطوات البلمرة الثلاثية وحدة البناء.

2023/9/13

انتهت الأسئلة

مدرس المقرر  
د.م. علاء محمد صبح

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح



السنة الرابعة  
الدرجة: تسعون

سلم امتحان النظري-الدورة التكميلية  
٢٠٢٣-٢٠٢٢  
لمقرر علم النانو وتطبيقاته

جامعة طرطوس  
كلية العلوم-قسم الفيزياء

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الأول: (١٠) درجة

عرف كلا من المواد المتوافقة والمتباينة شبكياً. (٥ درجات لكل تعريف)

المواد المتوافقة- شبكياً

التعريف: إن ثوابت الشبكات البلورية للمواد المؤلفة للتراكيب المتوافقة- شبكياً متطابقة تقريباً، أي أن الثوابت البلورية تقع في حدود أجزاء مئوية صغيرة بالنسبة لبعضها البعض

المواد المتباينة شبكياً:

التعريف: توصف حالة التراكيب المتباينة- شبكياً بتباين شبكي محدود  $A$  Finite Lattice Mismatch (أي

بوجود فارق بين ثوابت الشبكات البلورية)؛

السؤال الثاني: (١٠) درجة

وضح بنيات عصابات الطاقة لخلائط نصف ناقلة (٥ درجات لتوضيح بنية العصابة و٥ درجات لدراسة الخليطة).

بنيات عصابات الطاقة لخلائط نصف ناقلة Baud-structures of Semiconductor Alloys:

\* إن بنية العصابة الطاقية لنصف ناقل معين هي التي تحدد خصائصه الكهربائية والمغناطيسية؛

فبنيت عصابات الطاقة الثابتة وغير القابلة للتعديل من أجل بلورات نصف ناقلة متوافرة بشكل طبيعي؛  
مثل Si و Ge الأحادي- الذرة و GaAs ثنائي- الذرة تُحدد من تطبيقاتها.

\* ولكن ثمة حل لهذه المشكلة؛ فأخذ الأساليب النافعة لتغيير بنية عصابات الطاقة يعتمد على خلط مادتين نصف ناقلتين أو أكثر؛ فعلى الرغم من أن الخليطة لا تمتلك انتظاماً في توزع الذرات المكونة لها بصورة دائمة، إلا أن التكنولوجيا المعاصرة تُسهّل ضبط عدم الانتظام Disorder هذا جزئياً وتنتج بلورات على درجة عالية من الجودة.

يمكن تفسير خصائص مثل هذه المواد من خلال استعمال بلورات دورية مثالية تقريباً.

لندرس خليطة مؤلفة من مركبين:

\* A بنسبة جزئية  $x$

\* و B بنسبة جزئية  $1-x$ .

فإذا كان المركبان A و B بمثابة شبكتين بلوريتين متشابهتين فيمكن أن نتوقع أن تمتلك الخليطة  $A_xB_{1-x}$

البنية البلورية ذاتها بثابت شبكة بلورية،  $a_c$ ، بحسب من تركيب ثابتي الشبكة البلورية للمادتين A،  $a_A$ ، و

B،  $a_B$ ؛ وأبسط تركيب خطي يحقق ذلك يعطي المعادلة (قانون فيغاراد Vegard's Law) الآتية:

$$a_c = a_A x + a_B (1 - x)$$



**السؤال الثالث : (١٠) درجة**  
عرف فلورينات كريات بكي ووصف الحالات الطاقية الإلكترونية لها. (٥ درجات للتعريف و٥ درجات لتوصيف الحالات الطاقية)

**فلورينات كريات بكي Buckyball Fullerenes :**

الفولورين جزيء صيغته الكيميائية  $C_{60}$  وقطره نحو 1nm ويتألف من 60 ذرة كربون تشغل مواقعاً متكافئة حيث ترتبط كل ذرة كربون بثلاث ذرات أخرى وتوجد روابط C-C أحادية ومضاعفة حيث تبلغ أطوالها 0.146 nm و 0.140 nm على الترتيب، مما يعني أن هذه الروابط متطابقة عملياً. ويهدف تشكيل كرية بكي أقرب ما يمكن إلى المثالية لتتظم اقرب مجاورات ذرات الكربون في مستشعات ومستشعات؛ يُحاط كل مخمس في بنية الكرية الخارجية بخمسة مستشعات. تتألف بنية الجسم المتعدد الأوجه- المقطوعة ("المشطوفة") من 12 وجهاً خماسياً و 20 وجهاً سداسياً تقطعي الرؤوس الـ 60 الموجودة في كرية بكي حيث يشغل كل رأس ذرة كربون C. يفضل شكل الجسم المتعدد الأوجه "المشطوفة" يمكننا وصف الحالات الطاقية الإلكترونية لفولورينات بكي من خلال تصنيف الحالات الكمومية التي تم تحصيلها من أجل كمون متناظر كروياً وأبسط المدارات ، حيث وجدنا عندها أنه يمكن تصنيف الحالات الطاقية الإلكترونية من خلال الأعداد الكمومية للاندفاع الزاوي (الأعداد الكمومية المدارية l).  
→ يبلغ عدد إلكترونات التكافؤ في الفولورين الستيني،  $C_{60}$ ، 240 إلكترونًا، 180 منها منخرطة في المستوى الطاقى الرابط-  $\sigma$  العميق نسبياً، مما يعني أن الخصائص الإلكترونية للفولورين تتعين بصورة أساسية بالإلكترونات الستين المتبقية والمسؤولة عن الروابط  $\pi$ .  
→ حيث يشغل 50 إلكترونًا منها الحالات الكمومية ذات الأعداد الكمومية المدارية الواقعة بين القيمتين  $l=0$  و  $l=4$ ؛ ومع أخذ الانطباق السبيني المضاعف بالحسبان نحصل على الإشعالات الطاقية الآتية الموضحة في الشكل (4-26):  $2+6+10+14+18$ .  
→ أما الإلكترونات العشرة المتبقية فتملأ المستوى الطاقى ذي العدد الكمومي المداري  $l=5$  فعلياً. يبلغ العدد الكلي لهذه الحالات 22 إلكترونًا:  $22 = 2(2l+1)$ . يمكننا القول الآن وبقوة أن الجسم المتعدد الأوجه "المشطوفة" يختلف عن الكرة ويتصف بدرجة تناظر أخفض.

**السؤال الرابع : (١٥) درجة**

لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة  $(C^+ = 8a_1^+ + 7a_2^+)$ .

١- احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية  $N$  وعلى فرض أن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددهما؟

٢- احسب نصف قطر الأنبوب  $R$  على فرض طول رابطة الكربون - كربون  $(a_0)$  تساوي تقريبا  $(0.14 \text{ nm})$ .  
(٥ درجات لحساب  $q$  و ٥ درجات لحساب عدد الذرات و ٥ درجات لحساب نصف القطر) ملاحظة: تحذف درجة فقط للجواب الخاطئ.

(5) درجات

$$q = \begin{cases} 1, & \text{if } n-m \text{ is not a multiple of } 3l, \\ 3l, & \text{if } n-m \text{ is a multiple of } 3l, \end{cases}$$

حيث  $l$  اكبر قاسم مشترك للعديدين الصحيحين  $n$  و  $m$ .

$$n-m = 8-7=1 \rightarrow q=1$$

(٢) يساوي عدد المضلعات السداسية،  $N$ ، في وحدة الخلية إلى:

$$N = \frac{2(n^2 + m^2 + nm)}{q}$$

(5) درجات

$$N = \frac{2(8^2 + 7^2 + 8 \times 7)}{1} = 338$$

بما أن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون فإن عدد الذرات يساوي  $2N=676$

ويعطى نصف قطر الأنبوب،  $R$ ، بالعلاقة الآتية:

$$R = \frac{|\bar{C}|}{2\pi} = \frac{\sqrt{3} a_0}{2\pi} \sqrt{n^2 + m^2 + nm}$$

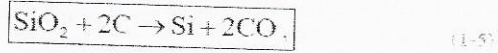
(5) درجات

$$R = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.14 \cdot \sqrt{8^2 + 7^2 + 8 \times 7}}{2 \cdot \pi} = 0.57 \text{ nm}$$

**السؤال الخامس : (١٥) درجة**  
عدد خطوات إنماء بلورة أحادية سليكونية عالية النوعية مع شرح كل خطوة. (٩ درجات لذكر الخطوات الثلاث و٦ درجات للشرح (سواء كتابة ما يتم في كل خطوة أو ذكر المعادلات التوضيحية).

إنماء البلورة الأحادية Single-Crystal Growth

تعد الخطوات الثلاث الآتية ضرورية من أجل إنتاج بلورات سليكونية عالية النوعية:  
(a) الحصول على سليكون من المرتبة الفلزية (مستوى الشوائب فيه يبلغ نحو  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ )  
(b) إنتاج السليكون من المرتبة الفلزية عادة من التفاعل الكيميائي لشكائي أكسيد السليكون ( $\text{SiO}_2$ ) مع الكربون (C) على شكل فحم الكوك Coke:

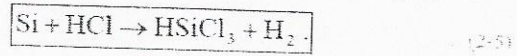


التي تتطلب درجة حرارة عالية (نحو  $1800^\circ\text{C}$ ).  
الكوك هو فحم حجري يُستخرج منه معظم الغازات. والسليكون الذي يتم الحصول عليه في هذه  
طوة:

ليس بلورة أحادية Single Crystalline  
وليس نقياً كفاية من أجل التطبيقات الإلكترونية على الرغم من أنه جيد من أجل بعض التطبيقات  
الفلزية؛ كالحصول على الفولاذ عديم الصدأ Stainless Steel.

(b) تحسين المادة الأخيرة لتصبح سليكوناً من المرتبة الإلكترونية (اختزال مستوى الشوائب فيه إلى  
نحو  $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  أو أقل):

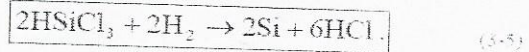
يمكن بلوغ الاختزال اللاحق للشوائب بإجراء التفاعل الآتي للسليكون مع حمض كلور الماء الجاف:



الحصول في هذه الحالة على ثلاثي كلوريد السيلان  $\text{HSiCl}_3$  الذي يكون في الحالة النموذجية سائلاً  
بنقطة غليان تبلغ  $32^\circ\text{C}$ . وتوجد إلى جانب  $\text{HSiCl}_3$  وبأن معاً كلوريدات أخرى من الشوائب؛ كان  
تتشكل كلوريدات أخرى مثل  $\text{FeCl}_3$ . وطالما أن نقطتي غليانها مختلفتان فيمكن تطبيق تقنية التقطير

التفاضلية البسيطة Simple Fractional Distillation Technique:  
إن يُسخن مزيج الـ  $\text{HSiCl}_3$  وكلوريدات الشوائب الأخرى ثم تُكثف في سلسلة من أعمدة التقطير  
Distillation Towers عند درجات حرارة مناسبة. وبوساطة هذه التقنية يفصل ثلاثي كلوريد السيلان  
عن الشوائب.

وبعد ذلك يعزل التفاعل الآتي مع  $\text{H}_2$  ثلاثي كلوريد السيلان إلى سليكون من المرتبة الإلكترونية  
عالي النقاوة:



ويبقى السليكون Si النقي الذي يتم الحصول عليه وفق هذه العملية متعددة التبلور Polycrystalline.  
(c) تحويل المادة السليكونية من المرتبة الإلكترونية إلى صلبات Ingots سليكونية Si أحادية التبلور.  
يقوم الإجراء النهائي الذي يحول السليكون المتعدد التبلور إلى صلبات سليكونية Si أحادية التبلور  
على طريقة تشوكرالسكي Czochralski Method.  
في هذه الطريقة ثمة بذرة بلورية سليكونية Seed Si Crystal تؤمن قالباً من أجل إنماء البلورة المستهدفة.



### السؤال السادس: (١٠) درجة

يعتبر المجهر الإلكتروني النفقي الماسح من المجاهر المستخدمة في توصيف التراكيب النانومترية، لماذا يستخدم؟  
عدد أقسامه و عدد خصائص تيار النفق. (درجتان للاستخدام و ٥ درجات لذكر الأقسام (الرسم عليه الأقسام يعتبر صحيحاً) و ٣ درجات لذكر الخصائص)

#### المجهر الإلكتروني النفقي الماسح Scanning Tunneling Microscopy:

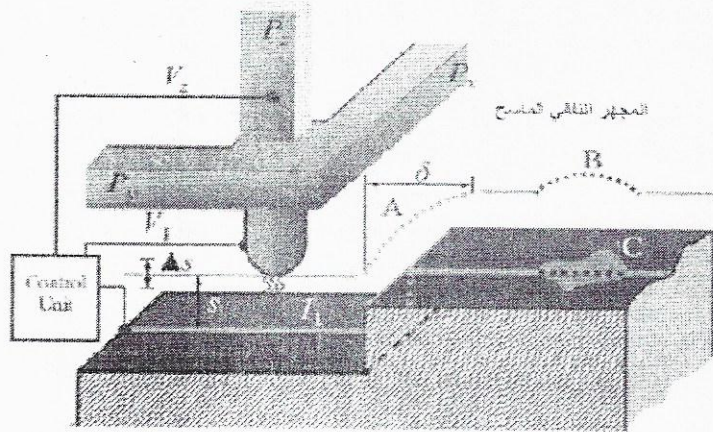
الف) تسمح هذه التقنية الحديثة بدراسة: الطبولوجية السطحية *Surface Topologies* للعينة (الوصف التفصيلي للتضاريس والسمات السطحية الطبيعية والصناعية) وتغيرات تابع العمل *Work-Function Profiles* على مستوى التدرج الذري في الفضاء الحقيقي.

ب) يتألف الـ STM بصورة رئيسة من:

• رأس فلزي ماسح (يُعدُّ مسرى أولاً لوصلة النفق) يسمح السطح المطلوب التحري عنه (والذي يُعدُّ المسرى الثاني لوصلة النفق)،

• سقافة انضغاطية *Piezodrive* ذات أذرع متعامدة أشير إليها بالرموز  $P_x$ ،  $P_y$  و  $P_z$ ،

• تيار النفق و وحدة التحكم



ج) خصائص تيار النفق:

أولاً- تيار النفق حساس للغاية لمدى فجوة الخلاء  $s$

ثانياً- تيار النفق حساس لتكوين المادة وانفعالها

ثالثاً- تيار النفق في مجهر النفق الماسح STM حساس فقط لطبقة رقيقة من سطح العينة

### السؤال السابع: (١٠) درجة

تعتبر طريقة الانفراغ بالقوس الكهربائي من أهم طرق الإنماء المستخدمة للحصول على أنابيب كربونية. وضح آلية

الإنماء المتبعة بهذه الطريقة. (درجتان لكل خطوة يكتفى بخمس منها، يمكن استبدال الخطوة الأولى بالرسم)

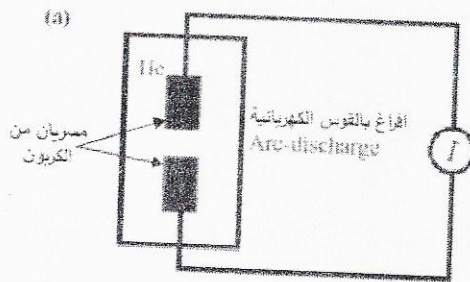
### طريقنا الانفراغ بالقوس الكهربائي والتذرية الليزرية Arc-Discharge and Laser Ablation

١. يُخَر ذرات الكربون في الانفراغ بالقوس الكهربائي بمساعدة بلازما غاز الهيليوم الذي يقدح نتيجة تسدفق تيارات عالية عبر

مصعد ومهبط متقابلين

مصنوعين من الكربون، كما

يوضح الشكل



٢. يُعَدُّ بخار ذرات الكربون في

الانفراغ بالقوس الكهربائي

عنيفة لامتوازنة بامتياز،

ولذلك فإن هذه الذرات

ستعرض لتكثف متتال في

درجات حرارة (3000 K)

أخفض من نقطة انصهار

الغرافيت فتتشأ أنابيب

الكربون النانوية نتيجة هذه

العملية.

٣. تنطلق الأنابيب النانوية

المنسوجة المتعددة الخُدر

أطوالاً من مرتبة  $10 \mu m$

وأقطاراً تقع قيمها في المجال

من 5 nm إلى 30 nm.

٤. وتترابط الأنابيب النانوية بعضها مع بعض بتأثرات جزيئية فاندرفالسبية عادة وتُشكّل معاً رزماً قوية (شديدة الترابط).

٥. يجب توافر مُحفّر فلزي في جملة الانفراغ بالقوس الكهربائي من أجل إنماء أنابيب نانوية أحادية الجدار.

فمثلاً، من الممكن إنتاج كميات معقولة من أنابيب نانوية أحادية الجدار بالانفراغ القوسي من خلال

استخدام مصعد كربوني يحوي نسبة ضئيلة من مُحفّر الكربالت في حجرة الانفراغ. إذ تتولد بنتيجة ذلك

أنابيب نانوية أحادية الجدار وإقرة في مادة الشُخام ("الشحوار") Soot Material.

٦. يمكن جعل إنماء أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار بطريقة الانفراغ بالقوس الكهربائي من خلال

استعمال مصعد كربون يحوي نسبة ذرية كبيرة من فلز انتقالي (أكثر من 4% مثلاً من مُحفّر النيكل).

### السؤال الثامن: (١٠) درجة

عرف البوليمر التساهمي البناء وعدد خطوات البلمرة الثلاثية وحدة البناء. (٤ درجات للتعريف و درجتان لكل

### خطوة من الثلاث خطوات)

تعريف البوليمر التساهمي البناء:

هو جزيء كبير (جبري) Macromolecule يتألف من عدة وحدات بلمرة Polymer Blocks يمكنها عادة أن تنمو بعدة خطوات، ~~والشكل (28-9)~~ يوضح مثلاً على بلمرة ثلاثية وحدة البناء:

→ يبدأ نسخ هذا الجزيء الكبير بتيلمر مونومير الستايرين (هيدروكربون) Styrene Monomer؛ حيث تكون كمية المونومير المقدمة من أجل الخطوة الأولى - فقط - كمية كافية لخلق سلسلة ستايرين منمنمة Miniature Styrene Chain (وهي وحدة البناء الأولى First Block) بدرجة تيلمر وسطية تساوي 9.

→ تنمو وحدة بناء ثانية في الخطوة الثانية بدرجة تيلمر وسطية مشابهة عند إضافة أيزوبرين كيميائي Chemical Isoprene آخر (هيدروكربون سائل ملتهب).  
→ وفي الخطوة الثالثة، يُقحم ثنائي أكسيد كربون ( $CO_2$ ) في مجموعة كربوكسيلية طرفية Carboxyl End Groups عند قمة البوليميرات التساهمية ثنائية الوحدة السابقة المنمنمة.

ملاحظة: في حال كانت الإجابة تقدم المفهوم نفسه وتوضح الأفكار ذاتها بأسلوب مختلف تعطى الدرجة ذاتها.  
مدرس المقرر: د.م. علاء محمد صبح



السنة الرابعة  
الدرجة: تسعون  
اسم الطالب :

امتحان النظري  
علم النانو وتطبيقاته  
مدة الامتحان :

جامعة طرطوس  
كلية العلوم  
قسم الفيزياء-السنة الرابعة

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (10) درجة  
اشرح بنيات عصابات الطاقة لخلائط نصف ناقلة.

السؤال الثاني : (10) درجة  
وضح مفهوم أنصاف النواقل المتدرجة مع الرسم.

السؤال الثالث : (10) درجة  
عرف فلوينات كريات بكي ووصف الحالات الطاقية الإلكترونية لها.

السؤال الرابع : (15) درجة  
لدينا الأنبوب الكربوني متجه الف له يعطى بالمعادلة  $(C \rightarrow = 7a_1 \rightarrow + 11a_2 \rightarrow)$ . احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N ونصف قطر الأنبوب R مع كتابة القوانين اللازمة وعلى فرض أن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟ على فرض طول رابطة الكربون - كربون ( $a_0$ ) تساوي تقريبا (0.14 nm).

السؤال الخامس : (15) درجة  
كيف يتم تحقيق الإنماء الفوقي بمساعدة الحزمة الجزيئية؟ وضح بهذه الطريقة إنماء طبقة من زرنيخيد الغاليوم المنيوم AlGaAs على طبقة زرنيخيد الغاليوم GaAs.

السؤال السادس : (10) درجة  
يعتبر مجهر القوة الذرية (AFM) تقنية مثالية لتوصيف أشكال التراكيب النانومترية. كيف يمكن أن يقيس القوة الناشئة بين سطح العينة ورأسه الدقيق؟ ماهو عيب هذا النوع من المجاهر؟ عدد أقسامه وضح آلية التي يقوم بها بمسح سطح العينة مع الرسم.

السؤال السابع : (10) درجة  
تعتبر طريقة الانفراغ بالقوس الكهربائي من أهم طرق الإنماء المستخدمة للحصول على أنابيب كربونية. وضح آلية الإنماء المتبعة بهذه الطريقة.

السؤال الثامن : (10) درجة  
عرف البوليمر التساهمي البناء وعدد خطوات البلمرة الثلاثية وحدة البناء.

2023/7/13  
انتهت الأسئلة

مدرس المقرر  
د.م. علاء محمد صبح

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح



السنة الرابعة  
الدرجة :تسعون

سلم امتحان النظري-الفصل الثاني  
2023-2022  
لمقرر علم النانو وتطبيقاته

جامعة طرطوس  
كلية العلوم-قسم الفيزياء

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

**السؤال الاول : (10) درجة**

اشرح بنيات عصابات الطاقة لخلائط نصف ناقلة (5 درجات لتوضيح بنية العصابة و5 درجات لدراسة الخليطة).

**Band-structures of Semiconductor Alloys** بنيات عصابات الطاقة لخلائط نصف ناقلة

❖ إن بنية العصابة الطاقية لنصف ناقل معين هي التي تحدد خصائصه الكهربائية والضوئية؛

فبنس عصابات الطاقة الثابتة وغير القابلة للتعديل من أجل بلورات نصف ناقلة متوافرة بشكل طبيعي؛  
مثل Si و Ge الأحادي- الذرة و GaAs ثنائي- الذرة تحدد من تطبيقاتها.

❖ ولكن ثمة حل لهذه المشكلة؛ فأحد الأساليب النافعة لتغيير بنية عصابات الطاقة يعتمد على خلط مادتين نصف ناقلتين أو أكثر؛ فعلى الرغم من أن الخليطة لا تمتلك انتظاماً في توزيع الذرات المكونة لها بصورة دائمة، إلا أن التكنولوجيا المعاصرة تسهل ضبط عدم الانتظام Disorder هذا جزئياً وتنتج بلورات على درجة عالية من الجودة.

يمكن تفسير خصائص مثل هذه المواد من خلال استعمال بلورات دورية مثالية تقريباً.

لندرس خليطة مؤلفة من مركبين:

▪ A بنسبة جزئية  $x$

▪ و B بنسبة جزئية  $1-x$ .

فإذا كان المركبان A و B بمثابة شبكتين بلوريتين متشابهتين فيمكن أن نتوقع أن تمتلك الخليطة  $A_xB_{1-x}$

البنية البلورية ذاتها بثابت شبكة بلورية،  $a_c$ ، يُحسب من تركيب ثابتي الشبكة البلورية للمادتين A،  $a_A$ ، و

B،  $a_B$ ؛ وأبسط تركيب خطي يحقق ذلك يعطي المعادلة (قانون فيغارد Vegard's Law) الآتية:

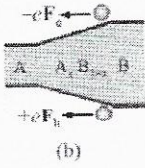
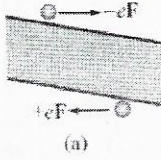
$$a_c = a_A x + a_B (1-x).$$

## السؤال الثاني : (10) درجة

وضح مفهوم أنصاف النواقل المتدرجة مع الرسم. (7 درجات للتوضيح و 3 درجات للرسم)

أنصاف النواقل المتدرجة Graded Semiconductors:

أولاً- كثيراً ما تستعمل أنصاف نواقل متدرجة عوضاً عن تراكيب متغايرة فجائية- حادة. ولتوضيح هذه الفكرة ندرين في البداية قطعة متجانسة من نصف ناقل، كأن تكون سيلكون مُطعم بانتظام، طبق بين طرفيها حقل كهربائي.



○ وعندها يبدو مخطط عصابات الطاقة مشابهاً لذلك المخطط الذي يظهر في الشكل ( a ) والذي يُمثل ببساطة بخطين متوازيين مائلين Tilted يوافقان حثي عسائبي الناقلة والتكافؤ.

→ الفاصل بين الخطين هو الفجوة الطاقية لنصف الناقل؛

→ يساوي ميل حثي العسائبين الطاقيتين حاصل ضرب الشحنة الأولية،  $e$ ، في شدة الحقل الكهربائي  $F$  (  $F$  ) .

○ عند وضع إلكترون أو ثقب في هذه البنية، فإن قوة  $eF$  - تؤثر في الإلكترون وأخرى  $+eF$  في الثقب؛ القوتان متساويتان بالقيمة ومتعاكستان بالاتجاه.

ثانياً- ينشأ مثلاً حثي عسائبي الناقلة والتكافؤ في حالة الانتقال المتدرج Graded Transition من مادة إلى أخرى. يوضح الشكلان ( b ) و ( c ) انتقالات متدرجة من نصف ناقل ضيق الفجوة الطاقية إلى نصف ناقل واسع الفجوة الطاقية توافق الوصلات المتغايرة الفجائية التي ظهرت في الشكلين يتضح من الشكلين ( b ) و ( c )، في حالة تراكيب متغايرة متدرجة، وجود حقل كهربائي داخلي المنشأ Built-in Electric Field يؤثر في الإلكترونات والثقب؛ يسمى مثل هذا الحقل حقلاً شبه كهربائي Quasi-electric.

\* إن الحقل شبه الكهربائي لا يتوافر في البلورات المتجانسة؛ وهذا هو السبب الذي يقف وراء إمكانية استخدام تراكيب متغايرة متدرجة من أجل تصنيع نياط جديدة حيث، يُطلب توافر حقل كهربائي داخلي المنشأ، ومن المواد المستخدمة في نياط التراكيب المتغايرة المتدرجة نذكر  $Al_xGa_{1-x}As$  و  $Si_xGe_{1-x}$  حيث تتغير  $x$  في اتجاه النمو. التراكيب المتدرجة والقوى شبه الكهربائية المرافقة لها تقدم درجة حرية جديدة من أجل تصميم النبضة وتسمح له بالحصول على مفاصل كان يستحيل تحصيلها باستخدام حقول كهربائية خارجية (أو حقيقية) فقط.

### السؤال الثالث : (10) درجة

عرف فلورينات كريات بكي ووصف الحالات الطاقية الإلكترونية لها. (5 درجات للتعريف و5 درجات لتوصيف الحالات الطاقية)

#### فلورينات كريات بكي Buckyball Fullerenes:

الفولورين جزيء صيفته الكيميائية  $C_{60}$  وقطره نحو 1nm ويتألف من 60 ذرة كربون تشغل مواقعاً متكافئة حيث ترتبط كل ذرة كربون بثلاث ذرات أخرى وتوجد روابط  $C-C$  أحادية ومضاعفة حيث تبلغ أطوالها 0.146 nm و 0.140 nm على الترتيب، مما يعني أن هذه الروابط متطابقة عملياً. ويهدف تشكيل كرية بكي أقرب ما يمكن إلى المثالية لتنظم اقرب مجاورات ذرات الكربون في مخمّسات ومسدّسات؛ يُحاط كل مخمّس في بنية الكرية الخارجية بخمسة مسدّسات. تتألف بنية الجسم المتعدد الأوجه - المقطوعة ("المشطوفة") من 12 وجهاً خماسياً و 20 وجهاً سداسياً تغطي الرؤوس الـ 60 الموجودة في كرية بكي حيث يشغل كل رأس ذرة كربون  $C$ . بفضل شكل الجسم المتعدد الأوجه "المشطوفة" يمكننا وصف الحالات الطاقية الإلكترونية لفولورينات بكي من خلال تصنيف الحالات الكمومية التي تمّ تحصيلها من أجل كمون متناظر كروياً وأبسط الذرات، حيث وجدنا عندها أنه يمكن تصنيف الحالات الطاقية الإلكترونية من خلال الأعداد الكمومية للإندفاع الزاوي (الأعداد الكمومية المدارية  $l$ ).  
→ يبلغ عدد إلكترونات التكافؤ في الفولورين الستيني،  $C_{60}$ ، 240 إلكترونات، 180 منها منخرطة في المستوى الطاقى للرابطة  $\sigma$  العميق نسبياً، مما يعني أن الخصائص الإلكترونية للفولورين تتعّين بصورة أساسية بالإلكترونات الستين المتبقية والمسؤولة عن الروابط  $\pi$ .  
→ حيث يشغل 50 إلكترونات منها الحالات الكمومية ذات الأعداد الكمومية المدارية الواقعة بين القيمتين  $l=0$  و  $l=4$ ؛ ومع أخذ الانطباق السبيني المضاعف بالحسبان نحصل على الإمكانات الطاقية الآتية الموضحة في الشكل (4-26):  $2+6+10+14+18$ .  
→ أما الإلكترونات العشرة المتبقية فتملأ المستوى الطاقى ذي العدد الكمومي المداري  $l=5$ ، فعلياً يبلغ العدد الكلي لهذه الحالات 22 إلكترونات:  $2(2l+1) = 22$ . يمكننا القول الآن وثيقة أن الجسم المتعدد الأوجه "المشطوفة" يختلف عن الكرة ويتصف بدرجة تناظر أخفض.



السؤال الرابع : (15) درجة (5 درجات لحساب q و 5 درجات لحساب عدد الذرات و 5 درجات لحساب نصف القطر) ملاحظة: تحذف درجة فقط للجواب الخاطئ.

لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة  $(C \rightarrow = 7a_1 \rightarrow + 11a_2 \rightarrow)$ . احسب عدد المضلعات السداسية في وحدة الخلية N ونصف قطر الأنبوب R مع كتابة القوانين اللازمة وعلى فرض أن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟ على فرض طول رابطة الكربون - كربون ( $a_0$ ) تساوي تقريبا (0.14 nm)

$$q = \begin{cases} 1, & \text{if } n-m \text{ is not a multiple of } 3l, \\ 3l, & \text{if } n-m \text{ is a multiple of } 3l, \end{cases}$$

حيث l اكبر قاسم مشترك للعددين الصحيحين n و m. يساوي عدد المضلعات السداسية، N، في وحدة الخلية إلى:

$$N = \frac{2(n^2 + m^2 + nm)}{q}$$

$$n-m = 7-11 = -5 \rightarrow q=1$$

$$N = \frac{2(7^2 + 11^2 + 7 \times 11)}{1} = 494$$

بمأن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون فإن يحوي  $2N=988$  ذرة في وحدة الخلية

ويعطى نصف قطر الأنبوب، R، بالعلاقة الآتية:

$$R = \frac{|\bar{C}|}{2\pi} = \frac{\sqrt{3} a_0}{2\pi} \sqrt{n^2 + m^2 + nm}$$

$$R = \frac{\sqrt{3} * 0.14 * \sqrt{8^2 + 7^2 + 8 \times 7}}{2 * \pi} = 0.6 \text{ nm}$$

**السؤال الخامس : (15) درجة (5 درجات للطلب الأول و10 درجات للطلب الثاني يكتفى بأربع خطوات وفي حال الرسم مع المسميات الصحيحة 5 درجات فقط)**

كيف يتم تحقيق الإنماء الفوقي بمساعدة الحزمة الجزيئية؟ وضح بهذه الطريقة إنماء طبقة من زرنيخيد الغاليوم AIGaAs على طبقة زرنيخيد الغاليوم GaAs.

الإنماء الفوقي بالحزمة الجزيئية MBE

يمكن تحقيق طريقة الإنماء الفوقي بمساعدة الحزمة الجزيئية MBE في خلأ عالٍ حيث توجه الحزم الجزيئية أو الذرية المكونات (العناصر) الضرورية إلى الركيزة المستهدفة من أجل إنماء الطبقة البلورية المطلوبة.

فلنفرض على سبيل المثال أننا نرغب بإنماء طبقة من زرنيخيد الغاليوم المنموم AIGaAs على طبقة من زرنيخيد الغاليوم GaAs

→ ستكون الركيزة في هذه الحالة من GaAs

→ والحزم الذرية بمثابة تدفقات من عناصر Al، و Ga، و As

١ • تكون مصادر العناصر متوافرة في حجرات مسخنة منفصلة.

٢ • وهنا تُشكّل العناصر المتبخرة هزماً مُضبطاً وتُعاير بحيث تتدفق على التوازي وتوجه بإحكام وبشكل منفصل نحو سطح الركيزة، كما يوضح الشكل

٣ • تبلغ كثافات التدفق النموذجية في الحزم من  $10^{14}$  atoms.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> إلى  $10^{16}$  atoms.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

٤ • فضلاً عن أنه يُحافظ على درجة حرارة الركيزة بحيث تبقى عند درجة منخفضة نسبياً (نحو  $600^{\circ}\text{C}$  من أجل GaAs) حيث تكون كثافات العناصر في الحزم كبيرة، مما يضمن نمواً فعالاً للطبقة البلورية المستهدفة.

٥ • إن معدل النمو المنخفض

(نحو طبقة واحدة One

Monolayer في الثانية

الواحدة) الذي يُعزى عادة إلى

طريقة الإنماء، طبقة فوق

طبقة Layer By Layer،

يضمن الحصول على طبقة

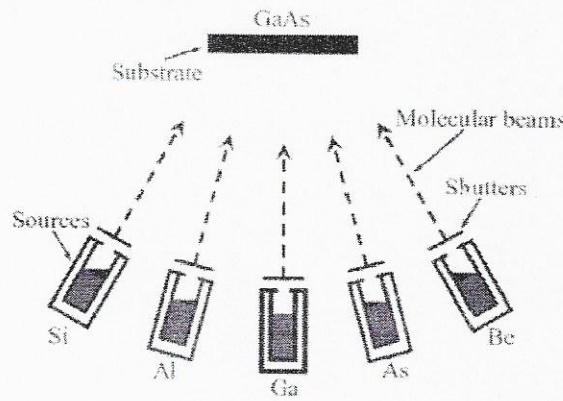
بلورية بجودة عالية.

٦ • ومن خلال التحكم بمغاليق كل

حزمة من الحزم العاملة يمكن

بلوغ تغيرات حادة في

المركبات البلورية وفي تراكيز التطعيم على مستوى طبقة واحدة أحادية الجزيء (الذرة)



طريقة MBE من أجل

إنماء التراكيب AIGaAs/GaAs المتغايرة



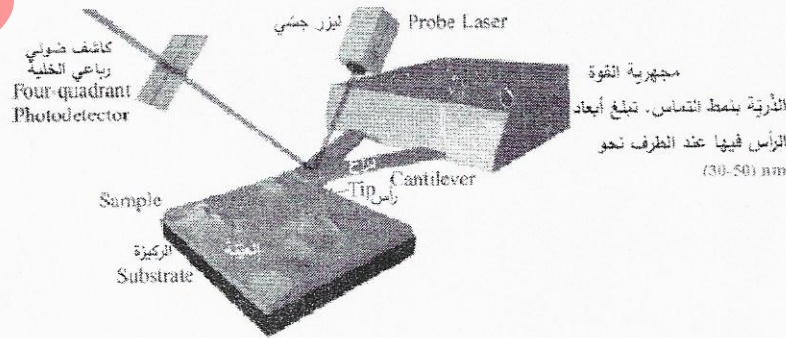
## السؤال السادس: (10) درجة

يعتبر مجهر القوة الذرية (AFM) تقنية مثالية لتوصيف أشكال التراكيب النانومترية. كيف يمكن أن يقيس القوة الناشئة بين سطح العينة ورأسه الدقيق؟ ماهو عيب هذا النوع من المجاهر؟ عدد أقسامه وضح آلية التي يقوم بها بمسح سطح العينة مع الرسم (4 درجات لذكر طريقتي قياس القوة الناشئة، درجتان لذكر العيب، درجتان لذكر قسمين ودرجتان لذكر الآلية مع الرسم في حال الرسم الصحيح مع التوضيحات الصحيحة عليه ينال الطالب درجة هذا الطلب من السؤال كاملاً)

### مجهر القوة الذرية (AFM) Atomic-Force Microscopy

- \* تقيس AFM القوة الناشئة بين سطح العينة ورأس دقيق للغاية؛ حيث تُقاس هذه القوة:
  - إما عبر تسجيل انحناء ذراع Cantilever يُثبت عليه الرأس (وهذا ما يسمى بالقياس بنمط التماس Contact Mode)
  - وإما بقياس التغير الحاصل في تردد التجاوب بسبب القوة (وهذا ما يسمى بالقياس بنمط النقر أو التتبع Tapping Mode)

- \* يكمن عيب AFM في إمكانية التحري عن التراكيب المتوافرة على السطح فقط؛ وسعظم المواد نصف الناقلة تتأكسد في الظروف المحيطة بالعينة بحيث يمكن القول بقوة أن صور AFM تُظهر سطح هذا الأكسيد عادة.



يوضح الشكل مظهراً تخطيطياً لـ AFM بنمط التماس. في الواقع،

- \* يتصل بالذراع ذي البعد الميكرومتري رأس حاد للغاية يبلغ بعده عند نهايته من 30 nm إلى 50 nm.
- \* وشمة هزمية ليزيرية مجسّية منخفضة الاستطاعة تنعكس عن سطح الذراع متجهة نحو كاشف فوتوني رباعي التوضع (أربع كواشف فوتونية تقع في أربعة مربعات متجاورة) يسجل موضع الحزمة المنعكسة:
- \* يلاحظ أنه لا توجد ضرورة لأن تتراصف الهزمية المجسّية بشكل مثالي (طالما أن جزءاً من الحزمة ينعكس نحو الكاشف والسطح لا يعكس الحزمة بشدة نحو الكاشف) ولا حتى أن تكون أصغر من الكاشف (طالما أن الفارق بين الإشارات التي تصل المنطقة الرباعية يسمح بتحديد موضع الحزمة).
- \* يقيس الكاشف الفوتوني موضع الحزمة المنعكسة التي تُقدّم بدورها معلومات عن موضع الذراع وبالتالي عن موضع الرأس.
- \* إذا كان جهاز AFM ككل يسمح كامل السطح شبكياً أي طولاً وعرضاً (أو العينة قيد المسح تحت المصوّرة)، فيمكن الحصول على صورة لتضاريس السطح.

### السؤال السابع : (10) درجة

تعتبر طريقة الانفراغ بالقوس الكهربائي من أهم طرق الإنماء المستخدمة للحصول على أنابيب كربونية. وضح آلية الإنماء المتبعة بهذه الطريقة. (درجتان لكل خطوة يكتفى بخمس منها، يمكن استبدال الخطوة الأولى بالرسم)

#### طريقتا الانفراغ بالقوس الكهربائي والتفريغ الليزرية Arc-Discharge and Laser Ablation

١ = تُبخّر ذرات الكربون في الانفراغ بالقوس الكهربائي بمساعدة بلازما غاز الهيليوم الذي يقدح نتيجة

تدفق تيارات عالية عبر

مصعد ومهبط متقابلين

مصنوعين من الكربون، كما

يوضح الشكل

٢ = يُعدّ تبخر ذرات الكربون في

الانفراغ بالقوس الكهربائي

عملية لامتوازنة بامتياز،

ولذلك فإن هذه الذرات

ستتعرض لتكثف متتال في

درجات حرارة (3000 K)

أخفض من نقطة انصهار

الغرافيت فتتشأ أنابيب

الكربون النانوية نتيجة هذه

العملية.

٣ = تمتلك الأنابيب النانوية

المنسوجة المتعددة الجدران

أطوالاً من مرتبة  $10 \mu m$

وأقطاراً تقع قيمها في المجال

من 5 nm إلى 30 nm.

٤ = وتترابط الأنابيب النانوية بعضها مع بعض بتأثيرات جزيئية فاندرهالسية عادة وتشكّل معاً رزمة قوية

(شديدة الترابط).

٥ = يجب توفير محقّر قلزي في جملة الانفراغ بالقوس الكهربائي من أجل إنماء أنابيب نانوية أحادية الجدار .

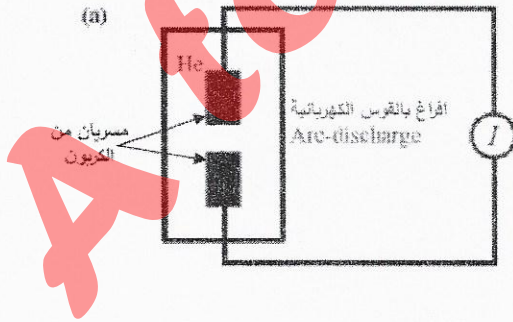
فمثلاً، من الممكن إنتاج كميات معقولة من أنابيب نانوية أحادية الجدار بالانفراغ القوسي من خلال

استخدام مصعد كربوني يحوي نسبة ضئيلة من شحّز الكوبالت في حجرة الانفراغ. إذ تتولد بنتيجة ذلك

أنابيب نانوية أحادية الجدار وأقرة في مادة السخام ("الشحوار") Soot Material.

٦ = يمكن جعل إنماء أنابيب الكربون النانوية أحادية الجدار بطريقة الانفراغ بالقوس الكهربائي من خلال

استعمال مصعد كربون يحوي نسبة ذرية كبيرة من فلز انتقالي (أكثر من 4% مثلاً من محقّر النيكل).





### السؤال الثامن : (10) درجة

عرف البوليمر التساهمي البناء وعدد خطوات البلمرة الثلاثية وحدة البناء. (4 درجات للتعريف و درجتان لكل خطوة من الثلاث خطوات)

تعريف البوليمر التساهمي البناء :

هو جزيء كبير (جوهري) Macromolecule يتألف من عدة وحدات بلمرة Polymer Blocks يمكنها عادة أن تنمو بعدة خطوات، والشكل (28-5) يوضح مثلاً على بلمرة ثلاثية وحدة البناء :

→ يبدأ نسخ هذا الجزيء الكبير بتيلمر مونومير الستايرين (هيدروكربون) Styrene Monomer؛ حيث تكون كمية المونومير المقدمة من أجل الخطوة الأولى - فقط - كمية كافية لخلق سلسلة ستايرين متضمنة Miniature Styrene Chain (وهي وحدة البناء الأولى First Block) بدرجة تيلمر وسطية تساوي 9.

→ تنمو وحدة بناء ثانية في الخطوة الثانية بدرجة تيلمر وسطية مشابهة عند إضافة أيزوبرين كيميائي Chemical Isoprene آخر (هيدروكربون سائل ملتهب).

→ وفي الخطوة الثالثة، يقحم ثنائي أكسيد كربون ( $CO_2$ ) في مجموعة كربوكسيلية طرفية Carboxyl End Groups عند قمة البوليميرات التساهمية ثنائية الوحدة السابقة المتضمنة.

ملاحظة: في حال كانت الإجابة تقدم المفهوم نفسه وتوضح الأفكار ذاتها بأسلوب مختلف تعطى الدرجة ذاتها.

مدرس المقرر : د.م. علاء محمد صبح

السنة الرابعة  
الدرجة: تسعون

امتحان النظري  
علم النانو وتطبيقاته

اسم الطالب :

مدة الامتحان :

جامعة طرطوس  
كلية العلوم  
قسم الفيزياء

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الأول : (20) درجة

وضح كلاً من المواد المتوافقة والمتباينة شبكياً.

السؤال الثاني : (20) درجة

- 1- تعتبر أنابيب الكربون النانوية من أهم المواد النانومترية الكربونية ،عرفها واكتب معادلة متجه اللف العامة لأنبوب بشكل وحيد مع توضيح الرموز.
- 2- لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة  $(C \rightarrow = 8a_1 \rightarrow + 7a_2 \rightarrow)$ . احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N مع كتابة القوانين اللازمة وعلى فرض أن كل سدس يحتوي نرتي كربون كم يكون عددها؟

السؤال الثالث : (15) درجة

عدد خطوات إنماء بلورة أحادية سليكونية عالية النوعية مع شرح كل خطوة.

السؤال الرابع: (5) درجة

عدد طرق الإنماء الفوقي التي يمكن من خلالها تصنيع طبقة بلورية على رقاقة من بلورة مناسبة ؟

السؤال الخامس: (10) درجة

- 1- يعتبر المجهر الإلكتروني النفقي الماسح من المجاهر المستخدمة في توصيف التراكيب النانومترية، لماذا يستخدم؟ عدد أقسامه و عدد خصائص تيار النفق.

السؤال السادس : (10) درجة

تعتبر طريقة الترسيب الكيميائي من الطور البخاري أحد طرق إنماء الأنابيب النانوية، عدد ماذا تشمل عملية الإنماء بهذه الطريقة.

السؤال السابع : (10) درجة

تستخدم الطباعة الحجرية النانوية من خلال طرق قوامها مجاهر STM و AFM من أجل عدة تطبيقات، عددها، ووضح بإيجاز كيف تم تقديم الطباعة الحجرية بالقلم المغموس ؟

2023/1/23

انتهت الأسئلة

مدرس المقرر  
د.م. علاء محمد صبح

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح



اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

**السؤال الاول : (20) درجة**

وضح كلاً من المواد المتوافقة والمتباينة شبكياً. (5 درجات لكل تعريف و5 درجات لذكر خاصيتين لكل منهما فقط يعامل الرسم التوضيحي معاملة خاصة)

المواد المتوافقة - شبكياً

**التعريف:** إن ثوابت الشبكات البلورية للمواد المؤلفة للتراكيب المتوافقة - شبكياً متطابقة تقريباً، أي أن الثوابت البلورية تقع في حدود أجزاء مئوية صغيرة بالنسبة لبعضها البعض تؤدي إلى إنشاء تراكيب متغايرة بجودة عالية يمثل تلك الأزواج من المواد المتوافقة - شبكياً. يُقصد "بالجودة العالية" أن بنية السطح الفاصل خالية من النواقص الشبكية؛ مثل عيوب السطح البيني (التي تؤدي دور المصائد)، الخ. إذ تجعل مثل هذه النواقص الخصائص الكهربائية والضوئية رديئة ويمكن أن تؤدي إلى تخریب سريع وواسع الانتشار للبنية. يوضح الشكل (16-4) طبقة B موأمة - شبكياً على ركيزة A. من المتوقع أن تُنمى الطبقة على الركيزة إذا انتمت مادتهما إلى نفس المجموعة وكانت طاقات الارتباط فيهما والبنى البلورية لهما متشابهة جداً.

تعد المنظومة AlGaAs/GaAs مثلاً لمادة موأمة -

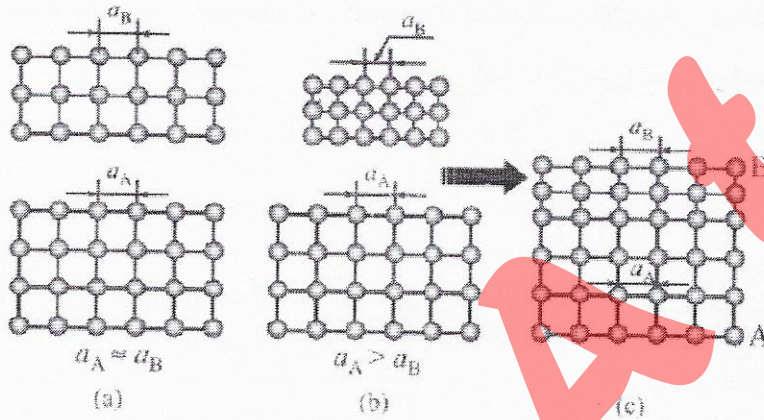
شبكياً. فهذه المنظومة تتصف بتباين صغير جداً في ثوابت الشبكة البلورية، حيث يبلغ نحو 0.1% فقط،

في كامل مجال النسب الممكنة للألمنيوم Al إلى الغاليوم Ga في AlGaAs؛

■ وبالنسبة، يمكن إنشاء مثل هذه التراكيب المتغايرة بحيث تكون خالية من الانفعال الميكانيكي والنواقص (كالعيوب مثلاً) الكبيرة.

■ ومن ثم تؤمن هذه التراكيب طريقة عملية "لحياكة" بنى عصابات طاقة.

■ وإلى جانب هذه الوسطاء الإلكترونية المحاكاة يمكن لخصائص المرونة والخصائص الشبكية البلورية الأخرى أن تكون مختلفة في الطبقات المكونة لهكذا تركيب متغاير متوافق - شبكياً.



الشكل (16-4): المواد المتوافقة شبكياً (a) والمواد المتباينة شبكياً (b)؛ البنية الناتجة هنا تكون متفعلة شبه متوافقة شبكياً (pseudomorphic) إذا وُثمت الشبكة البلورية للطبقة العلوية B الشبكة البلورية للركيزة A (c).



المواد المتباينة شبكياً :

التعريف: توصف حالة التراكيب المتباينة- شبكياً بتباين شبكي محدود *A Finite Lattice Mismatch* (أي بوجود فارق بين ثابت الشبكات البلورية)؛ إذ يوضح الشكل (4-16b) هذه الحالة.

○ إذا حاولنا موازنة هذه الشبكات البلورية فإن انفعالاً ما يتولد في مستوى الإنماء وينشأ عدم انتظام على طول محور الإنماء؛ فنحصل بنتيجة ذلك على طبقة منفصلة بتشوه شبكي ما.

○ ويمكن أيضاً توصيف التركيب المتباين- شبكياً بالتباين النسبي،  $a_{re}$ ، بين ثابتي الشبكتين البلوريتين للركيزة،  $a_A$ ، والطبقة الغريبة،  $a_B$  :

$$a_{re} = \frac{a_A - a_B}{a_A} \quad (23-4)$$

لندرس تشوهاً مرناً لشبكة بلورية يمكن توصيفه بمتجه الانزياح النسبي  $\vec{n}$  :

يُعرف هذا الانزياح كيفية انتقال أي نقطة شبكة  $\vec{r}$  إلى موقع جديد  $\vec{r}' = \vec{r} + \vec{n}$ ، بنتيجة التشوه حيث يمكن أن تتشوه مناطق مختلفة من البلورة بطرائق مختلفة. إذن، يتعلق التشوه بالإحداثيات؛  $\vec{n} = \vec{n}(\vec{r})$ ؛ فالتشوه ليس متجانساً.

في الواقع، المهم هنا الانزياحات النسبية فقط، فهي تتعین بتسور التشوه الآتي:

$$u_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial \zeta_j} + \frac{\partial u_j}{\partial \zeta_i} \right) \quad (24-4)$$

والتسور  $u_{ij}$  يمتلك المركبات الآتية:

$$u_{ij} = \begin{pmatrix} u_{xx} & u_{xy} & u_{xz} \\ u_{yx} & u_{yy} & u_{yz} \\ u_{zx} & u_{zy} & u_{zz} \end{pmatrix} \quad (26-4)$$

حيث يرمز  $i$  و  $j$  للمركبات  $x$  و  $y$  و  $z$ ؛ و  $\zeta_i = x, y, z$  من أجل  $i = 1, 2, 3$ ، على الترتيب.

وندرس هنا المركبات القطرية *Diagonal Components* فقط لتسور الانزياح  $u_{ij}$ ، التي بمقدورها أن

تُعین تغيراً في حجم البلورة من  $V$  إلى  $V'$  ناتجاً من الانفعال (التشوه النسبي) الذي تعرّضت له:

$$\delta = \frac{V' - V}{V} = u_{xx} + u_{yy} + u_{zz} \quad (26-4)$$

### السؤال الثاني : (20) درجة

- 1- تعتبر أنابيب الكربون النانوية من أهم المواد النانومترية الكربونية، عرفها واكتب معادلة متجه اللف العامة لأنبوب بشكل وحيد مع توضيح الرموز. (5 درجات للتعريف و5 درجات لذكر المعادلة مع الرموز)
- 2- لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة  $(C \rightarrow = 8a_1 \rightarrow + 7a_2 \rightarrow)$ . احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية  $N$  مع كتابة القوانين اللازمة وعلى فرض أن كل سدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟ (10 درجات للقوانين مع الحل تحذف درجة واحدة لكل خطأ)

### أنابيب الكربون النانوية: Carbon Nanotubes

تملك أنابيب الكربون النانوية شكل صفائح معزولة وملفوفة ومن دون قطب مؤلفة من ذرات الكربون. إذ يمكن أن تكون أقطار الصفائح الأسطوانية الشكل بضعة نانومترات فقط. وهذه الأنابيب النانوية هي أشياء صغيرة جداً تُبدي الكثير من التراكيب والخصائص المختلفة. ليس لهذه الأنابيب النانوية مشابهاً جبرياً على غرار أنصاف النواقل الحجمية التي أستخدمت؛ كمشابه لتراكيب نانوية نصف ناقلة عادية. إذن، لدراسة بنية أنابيب الكربون النانوية لابد من استعمال التقنيات المجهرية الأكثر تقدماً؛ مجهرية القوة الذرية *Atomic Force Microscopy* ومجهرية العبور بالنفق الماسح اللتان *Scanning Tunneling Microscopy* سندرسهما في الفصل القادم. إذن،

$$\bar{C} = n\bar{a}_1 + m\bar{a}_2 \equiv (n, m) \quad \text{معادلة المتجه}$$

$\bar{a}_1$  و  $\bar{a}_2$  متجهي الشبكة البلورية للغرافين و  $n$  و  $m$  عدنان صحيحان.

2- حل المسألة

$$q = \begin{cases} 1, & \text{if } n - m \text{ is not a multiple of } 3l, \\ 3l, & \text{if } n - m \text{ is a multiple of } 3l, \end{cases}$$

حيث  $l$  أكبر قاسم مشترك للعددين الصحيحين  $n$  و  $m$ .  
يساوي عدد المضلعات السداسية،  $N$ ، في وحدة الخلية إلى:

$$N = \frac{2(n^2 + m^2 + nm)}{q}$$

$$n-m = 8-7=1 \rightarrow q=1$$

$$N = \frac{2(8^2 + 7^2 + 8 \times 7)}{1} = 338$$

بمأن كل سدس يحتوي ذرتي كربون فإن عدد الذرات يساوي  $2N=676$

### السؤال الثالث : (15) درجة

عدد خطوات إنماء بلورة أحادية سليكونية عالية النوعية مع شرح كل خطوة. (9 درجات لذكر الخطوات الثلاث و6 درجات للشرح الموجز) (سواء كتابة ما يتم في كل خطوة أو ذكر المعادلات التوضيحية)

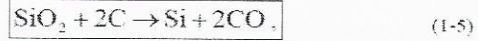


#### إنماء البلورة الأحادية Single-Crystal Growth

تُعد الخطوات الثلاث الآتية ضرورية من أجل إنتاج بلورات سيلكونية عالية النوعية:

(a) الحصول على سيلكون من المرتبة الفلزية (مستوى الشوائب فيه يبلغ نحو  $5 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-3}$ ):

♥ ينتج السيلكون من المرتبة الفلزية عادةً من التفاعل الكيميائي لثلاثي أكسيد السيلكون ( $\text{SiO}_2$ ) مع الكربون (C) على شكل فحم الكوك Coke:



الذي يتطلب درجة حرارة عالية (نحو  $1800^\circ\text{C}$ ).

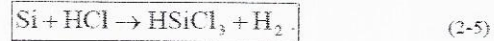
م الكوك هو فحم حجري يُستخرج منه معظم الغازات. والسيلكون الذي يتم الحصول عليه في هذه خطوة:

ليس بلورة أحادية Single Crystalline

وليس نقياً كفايةً من أجل التطبيقات الإلكترونية على الرغم من أنه جيد من أجل بعض التطبيقات الفلزية؛ كالحصول على الفولاذ عديم الصدأ Stainless Steel.

(b) تحسين المادة الأخيرة لتصبح سيلكوناً من المرتبة الإلكترونية (اختزال مستوى الشوائب فيه إلى نحو  $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  أو أقل):

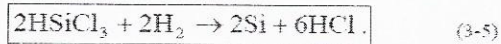
♥ يمكن بلوغ الاختزال اللاحق للشوائب بإجراء التفاعل الآتي للسيلكون مع حمض كلور الماء الجاف:



تحصل في هذه الحالة على ثلاثي كلوريد السيلان  $\text{HSiCl}_3$  الذي يكون في الحالة النموذجية سائلاً بنقطة غليان تبلغ  $32^\circ\text{C}$ . وتوجد إلى جانب  $\text{HSiCl}_3$  وبناء معاً كلوريدات أخرى من الشوائب؛ كأن تتشكل كلوريدات أخرى مثل  $\text{FeCl}_3$ . ومالماً أن تغطي غليانها مختلفتان فيمكن تطبيق تقنية التقطير التفاضلية البسيطة Simple Fractional Distillation Technique:

إذ يُسخن مزيج الـ  $\text{HSiCl}_3$  وكلوريدات الشوائب الأخرى ثم تُكثف في سلسلة من أعمدة التقطير Distillation Towers عند درجات حرارة مناسبة. وبوساطة هذه التقنية يفصل ثلاثي كلوريد السيلان عن الشوائب.

♥ ويعد ذلك يحول التفاعل الآتي مع  $\text{H}_2$  ثلاثي كلوريد السيلان إلى سيلكون من المرتبة الإلكترونية عالي النقاوة:



ويبقى السيلكون Si النقي الذي يتم الحصول عليه وفق هذه العملية متعدد التبلور Polycrystalline.

(c) تحويل المادة السيلكونية من المرتبة الإلكترونية إلى صلبات Ingots سيلكونية Si أحادية التبلور.

♥ يقوم الإجراء النهائي الذي يحول السيلكون المتعدد التبلور إلى صلبات سيلكونية Si أحادية التبلور على طريقة تشوكرالسكي Czochralski Method.

في هذه الطريقة ثمة بذرة بلورية سيلكونية Seed Si Crystal تؤمن غالباً من أجل إنماء البلورة المستهدفة.

#### السؤال الرابع: (5) درجة

عدد طرق الإنماء الفوقي التي يمكن من خلالها تصنيع طبقة بلورية على رقاقة من بلورة مناسبة ؟ (5 درجات لنذكر الطرق الثلاث)

ملاحظة: في حال ذكر الطالب تعداد فقط بنال درجتان، ذكر تعدادان بنال 4 أربع درجات

إذا ذكر اسم الطريقة باللغة الانكليزية أم ذكر الاختصار يعتبر ذلك جواب صحيح

(1) الإنماء الفوقي بالحزمة الجزيئية (Molecular-Beam Epitaxy (MBE

(2) ترسيب الأبخرة الكيميائية (الترسيب الكيميائي من الطور البخاري) (Chemical-Vapor Deposition (CVD

(3) الإنماء الفوقي من الطور السائل (Liquid-Phase Epitaxy (LPE

### السؤال الخامس: (10) درجة

يعتبر المجهر الإلكتروني النفقي الماسح من المجاهر المستخدمة في توصيف التراكيب النانومترية، لماذا يستخدم؟ عدد أقسامه و عدد خصائص تيار النفق. (درجتان للاستخدام و 5 درجات لذكر الأقسام (الرسم عليه الأقسام يعتبر صحيحاً) و 3 درجات لذكر الخصائص)

#### المجهر الإلكتروني النفقي الماسح Scanning Tunneling Microscopy

الف) تسمح هذه التقنية الحديثة بدراسة: الطبولوجية السطحية *Surface Topologies* للمعينة (الوصف التفصيلي للتضاريس والسمات السطحية الطبيعية والصناعية) وتغيرات تابع العمل *Work-Function Profiles* على مستوى التدرج الذري في الفضاء الحقيقي.

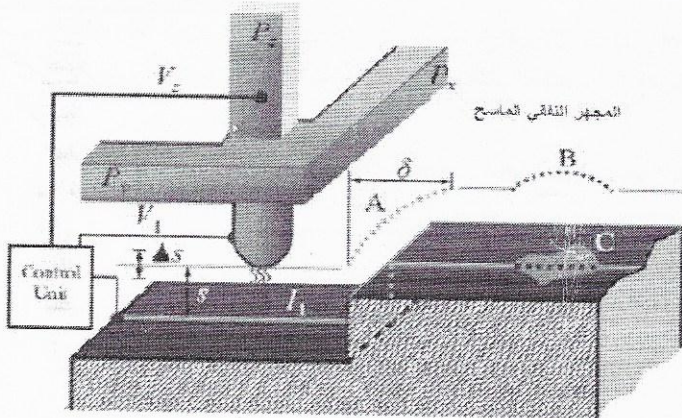
ب) يتألف الـ STM بصورة رئيسة من:

❖ رأس فلزي ماسح (يعد مسرى أولاً لوصلة النفق) يسمح السطح المطلوب التحري عنه (والذي يعد

المسرى الثاني لوصلة النفق)،

❖ سؤاقة انضغاطية *Piezodrive* ذات أذرع متعامدة أشير إليها بالرموز  $P_x$ ،  $P_y$  و  $P_z$

❖ تيار النفق و وحدة التحكم



ج) خصائص تيار النفق:

أولاً- تيار النفق حساس للغاية لمدى فجوة الخلاء  $s$

ثانياً- تيار النفق حساس لتكوين المادة وانفعالها

ثالثاً- تيار النفق في مجهر النفق الماسح STM حساس فقط لطبقة رقيقة من سطح المعينة

### السؤال السادس: (10) درجة

تعتبر طريقة الترسيب الكيميائي من الطور البخاري أحد طرق إنماء الأنابيب النانوية، عدد ماذا تشمل عملية الإنماء بهذه الطريقة. (أربعة مراحل لكل منها 2.5 درجة)



## طريقة الترسيب الكيميائي من الطور البخاري Chemical-Vapor Deposition

تشمل عملية الإنماء:

- تسخين مادة التحفيز إلى درجات حرارة عالية في فرن له شكل الأنبوب،
- ثم تمرير غاز مؤلف من كربون الهيدروجين عبر مفاعل الأنبوب لفترة من الزمن.
- تتجمع المواد المتنامية على المحفز بعيد تبريد الجملة إلى درجة حرارة الغرفة.
- وسطاء ضبط إنماء أنبوب نانوي هي

→ الهيدروكربونات  $C_nH_m$ ،

→ والمحفزات،

→ ودرجة حرارة النمو  $(500 - 1000)^\circ C$ .

### السؤال السابع: (10) درجة

تستخدم الطباعة الحجرية النانوية من خلال طرق قوامها مجاهر STM و AFM من أجل عدة تطبيقات، عددها، ووضح بإيجاز كيف تم تقديم الطباعة الحجرية بالقلم المغموس؟ (درجتان لذكر تطبيقين و 8 درجات للتوضيح)

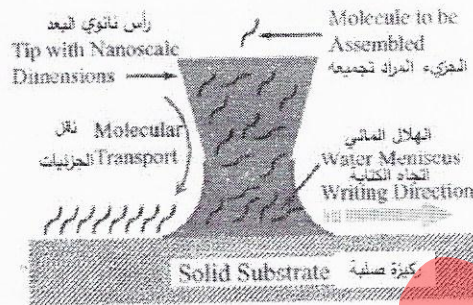
#### الطباعة الحجرية النانوية بالقلم المغموس Dip-Pen Nanolithography:

طبقت على وجه الخصوص طرائق قوامها STM و AFM من أجل:

- أكسدة تراكيب نانوية،
- أو كشطها (سحبها)،
- أو تميشها على أسطح مادية.

تم تقديم الطباعة الحجرية بالقلم المغموس (DPN) Dip-Pen Nanolithography بمثابة:

- رسم هندسي يستخدم مجسماً ماسحاً للكتابة المباشرة يستعمل فيه رأس مجهر القوة الذرية AFM لإطباق كواشف كيميائية



الشكل (41-5): عنصر الكتابة الرئيسي لجملة مطبوعة ضوئياً بقلم مغموس؛ عنصر الكتابة هذا نانوي التركيب ومؤلف من رأس نانوي البعد؛ ترسب السوائل المتدفقة على سطح الرأس على سطح ركيزة في منطقة

إطباق كواشف كيميائية  
Chemical Reagents بشكل مباشر على مناطق نانوية البعد للركيزة الهدف، كما يوضح الشكل (41-5).

وتقنية الطباعة الحجرية النانوية بالقلم المغموس DPN هي نوع من الرسم الهندسي السادي الناعم حيث تُعزى كلمة "ناعم" إلى

المركب الكيميائي للتراكيب النانوية التي يمكن تصنيعها.

تُصنع التراكيب النانوية من زببطات عضوية

مدرس المقرر :د.م. علاء محمد صبح