ABCDEFGHIJKLMNOPQSTUVWXYZ

كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الرابعة

اسئلة دوراات محلولة

علم النانو

A 2 Z LIBRARY

Facebook Group : A to Z مكتبة

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

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

ABCDEFGHIJKLMNOPQSTUVWXYZ

جامعة طرطوس
كلية العلوم- قسم الفيزياء
السنة الرابعة

امتحان مقرر علم النانو وتطبيقاته
الدورة الفصلية الثانية
٢٠٢٤-٢٠٢٥

الدرجة :تسعون
مدة الامتحان
اسم الطالب :

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (١٠) درجة
وضح كلاً من المواد المتوافقة والمتباينة شبكياً.

السؤال الثاني : (١٠) درجة
وضح الفرق بين أنصاف النواقل ذات القجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة.

السؤال الثالث : (٢٥) 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 مسدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها.
3- احسب نص قطر الإنبوب R على فرض طول رابطة الكربون – كربون (a_0) تساوي تقريبا (٠,١٤ nm).

السؤال الرابع : (١٥) درجة
عدد خطوات إنماء بلورة أحادية سليكونية عالية النوعية مع شرح كل خطوة.

السؤال الخامس: (١٠) درجة
وضح آلية المجهر الالكتروني بالتفوذ (TEM) .

السؤال السادس : (١٠) درجة
وضح كيف يمكن إنماء أنابيب أحادية الجدار بطريقة التذرية الذرية.

السؤال السابع : (١٠) درجة
وضح آلية الحصول على إنماء موجه للأنابيب الكربونية.

٢٠٢٥/٨/٢٦
انتهت الأسئلة

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح

مدرس المقرر
د.م.علاء محمد صبح

Ato7

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

سلم مقرر علم النانو وتطبيقاته
الدورة الفصلية الثانية ٢٠٢٤-٢٠٢٥
السنة الرابعة

الدرجة :تسعون
المدة:
اسم الطالب:

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (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 الفرق بين أنصاف النواقل ذات الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة. **(٥ درجات لكل منها)**

يمكن أن ينتقل إلكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية مباشرةً من دون أن يتغيّر اندفاعه؛ تسمى البلّورات 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 كميةٍ من الطاقة– أكبر من الفارق الطاقي الأدنى بين عصابتي 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 : (٢٥) درجة

1- تعتبر أنابيب الكربون النانوية من أهم المواد النانومترية الكربونية ،عرفها واكتب معادلة متجه اللف العامة لأنبوب بشكل وحيد مع توضيح الرموز.**(١٠ درجات للتعريف و٥ 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 مسدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟**(٥ درجات)**

3- احسب نص قطر الإنبوب R على فرض طول رابطة الكربون – كربون (a0) تساوي تقريبا (٠,١٤ nm).
(٥ درجات)

(تحذف درجة واحدة لكل جواب خاطئ)

أنابيب الكربون النانوية: Carbon Nanotubes

تملك أنابيب الكربون النانوية شكل صفائح معزولةٍ وملفوفةٍ ومن دون قطبٍ مؤلفة من ذرات الكربون. إذْ 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 جهرياً على غرار أنصاف النواقل الحجمية التي أستخدمت؛ كمشابهٍ لتراكيب نانوية نصف ناقلة عادية. إذن، لدراسة بنية أنابيب الكربون النانوية لا بد 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،

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

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

٢- حل المسألة

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

حيث l اكبر قاسم مشترك للعددين الصحيحين n و m.

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

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

n-m= 8-7=1 → q=1

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

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

٣) ويُعطى نصف قطر الأنبوب، R، بالعلاقة الآتية:

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

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

السؤال الرابع : (١٥) درجة

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

إنماء البلورة الأحادية Single-Crystal Growth

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

a) الحصول على سيلكون من **المرتبة الفلّزية** (مستوى الشوائب فيه يبلغ نحو $5\times10^{16}\ cm^{-3}$)؛

♥ ينتج السيليكون من المرتبة الفلّزية عادةً من التفاعل الكيميائي لثنائي أكسيد السيليكون (SiO_2) مع الكربون (C) على شكل فحم الكوك Coke:

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO \uparrow \qquad (1\text{-}5)$$

الذي يتطلب **درجة حرارة عالية** (نحو 1800 °C).

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

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 $5\times10^{13}\ cm^{-3}$ أو أقل)؛

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

$$Si + HCl \rightarrow HSiCl_3 + H_2 \uparrow \qquad (2\text{-}5)$$

نحصل في هذه الحالة على **ثلاثي كلوريد السيلان** $HSiCl_3$ الذي يكون في الحالة النموذجية **سائلاً بنقطة غليان** تبلغ 32 °C. **وتوجد إلى جانب** $HSiCl_3$ وبأن معاً كلوريدات أخرى من الشوائب؛ كأن تتشكّل **كلوريدات** أخرى **مثل** $FeCl_3$. وطالما أن نقطتي غليانهما مختلفتان فيمكن تطبيق تقنية التقطير التفاضلية البسيطة Simple Fractional Distillation Technique:

إذْ يُسخَّن مزيج الـ $HSiCl_3$ وكلوريدات الشوائب الأخرى ثم تُكثَّف في سلسلة من أعمدة التقطير Distillation Towers عند درجات حرارة مناسبة. وبوساطة هذه التقنية ينفصل ثلاثي كلوريد السيلان $HSiCl_3$ عن الشوائب.

♥ وبعد ذلك يحوّل التفاعل الآتي مع H_2 ثلاثي كلوريد السيلان إلى سيليكون **من المرتبة الإلكترونية عالي النقاوة:**

$$2HSiCl_3 + 2H_2 \rightarrow 2Si + 6HCl \uparrow \qquad (3\text{-}5)$$

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

c) تحويل المادة السيلكونية من المرتبة الإلكترونية إلى **صبّات Ingots** سيلكونية Si أحادية التبلور.

♥ يقوم الإجراء النهائي الذي يحوّل السيلكون المتعدد التبلور إلى صبّات سيلكونية Si أحادية التبلور على **طريقة تشوكرالسكي** Czochralski Method.

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

السؤال الخامس: (10) درجة

وضح آلية المجهر الالكتروني بالنفوذ (TEM).

1. تمتلك تقنية TEM مقدرة فاصلة **دون النانومتر** ويمكنها، من حيث المبدأ، أن تُحلّل الكثافات الإلكترونية من أجل ذرات مفردة.
2. 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.
3. **تعتمد** حدود المقدرة الفاصلة لأي مجهر على **طول موجة إشعاع الجَسّ** *The Probe Radiation*.
4. وطالما أن الإلكترونات تُستخدم بديلاً عن الضوء فإن العدسات الزجاجية لم تُعدَّ مناسبة وعوضاً عن ذلك **تستعمل** TEM **عدسات مغناطيسية** لحرف الإلكترونات.
5. إلى جانب ذلك تشابه TEM المجهر العادي جداً من حيث العدسات **المجمّعة** *Condenser*، والعدسات **الجسمية** *Objective*، وعدسات **الإسقاط** *Projector*.
6. **تنطلق** الإلكترونات في TEM **بشكل متوازٍ ومتسقٍ** من المنبع **وتخترق** العينة ويكون النموذج الناتج لكلٍ من النفوذ الإلكتروني والامتصاص الإلكتروني مُضخمّاً على شاشة مراقبة.

السؤال السادس: (١٠) درجة

وضح كيف يمكن إنماء أنابيب أحادية الجدار بطريقة التذرية الذرية(١٠ درجات). **(درجتين لكل بند)**

التذريـــة الليزريـــة (فـــرن– ليـــزر) عمليـــة إنمـــاء أنابيـــب نانويـــة أحاديـــة الجـــدار بنوعيـــة عاليـــة

- تستعمل هذه الطريقة **نبضات ليزر شديدة لتذرية** هدفاً مؤلفاً من كربونٍ وحاوياً نسبة ذريـــة مـــن نيكـــل وكوبالـــت مُحفِـــز بمقـــدار 0.5%.
- إذْ يوضع الهدف في فرنٍ على هيئة أنبوب مُسخَّن إلى الدرجة 1200 °C
- يُمرَّر أثناء التذرية الليزرية غاز خامل في حجرة الإنماء لنقل الأنابيب النانوية المتنامية نحو الأسفل لكي تتجمَّع على إصبع باردٍ 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 التأثرات الفاندرفالسية.
- **تمكن من** تراص أنابيب نانوية مفردة في رزمة.

السؤال السابع : (١٠) درجة

وضح آلية الحصول على إنماء موجه للأنابيب الكربونية.

يمكن فهم مثل هذه الإنماء الموجّه للأنابيب النانوية بالشكل الآتي:

١ • **تُنمّى** أنابيب نانوية على رؤوس الدعامات **فقط** طالما أن طريقة الطبع المُحفِّز لا تضع أي مواد تحفيز أسفل الركيزة.

٢ • **وأثناء** النمو الطولي للأنابيب النانوية **يُحافظ** تدفق الميثان **على** جعل الأنابيب النانوية عائمة و"متموجة" لأن سرعة التدفق بالقرب من قعر السطح اخفض بكثير من سرعة التدفق عند مستوى "رؤوس الدعامات".

٣ • وهذا **بدوره** يمنع قنص الأنابيب النانوية عند أسفل السطح.

٤ • ومن جهة أخرى، **توفر** الدعامات المجاورة **نقاط تثبيت** للأنابيب المتنامية؛

٥ • فإذا **مسّ** أنبوب متموج **دعامة** مجاورة، فإن تأثرات فاندرفالس بين الأنبوب والدعامة **ستأسر** الأنبوب النانوي **وتُحافظ** عليه عالياً (أي مُعلقاً في الجو).

٦ • ووفق نمط النمو هذا يمكن تصنيع أنابيب نانوية معلقة **بأطوال جهرية**؛ إذ يمكن إنماء أنابيب بأطوال تزيد عن $150\,\mu m$.

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

مدرس المقرر
د.م.علاء محمد صبح

A107

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

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (١٠) درجة

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

السؤال الثاني : (١٠) درجة

مالمقصود بكل من البلورات الأيونية والبلورات التشاركية (التساهمية)؟

السؤال الثالث : (١٠) درجة

عرف منطقة بريلوان وعدد الخطوات التي تختزل مسألة إيجاد الطيف الطاقي الالكتروني من خلال التناظر البلوري.

السؤال الرابع : (١٠) درجة

وضح أنصاف النواقل ذات الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة.

السؤال الخامس : (١٠) درجة

عرف الألفة الالكترونية موضحا كيفية حساب مجانبات العصابات الطاقية من أجل وصلة متغايرة 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 دعامات سليكونية ثم تنميطها بطريقة الطباعة الحجرية.

٢٠٢٥/٢/١٠

انتهت الأسئلة

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح

مدرس المقرر

د.م.علاء محمد صبح

A to Z

جامعة طرطوس | امتحان مقرر علم النانو وتطبيقاته | السنة الرابعة
كلية العلوم | الدورة الفصلية الأولى 2024-2025 | الدرجة :تسعون
قسم الفيزياء-السنة الرابعة | مدة الامتحان : | اسم الطالب :

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (10) درجة

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

- إذا اقتربت ذرتان لهما نفس الطاقة من بعضهما البعض، فإن الجملة الذرية المؤلفة من الذرتين تؤصّفُ بمستويين طاقيين قريبين من بعضهما البعض.
- وبشكل مشابه، من أجل جملة مؤلفة من N ذرة ينشطر كل مستوى طاقي عائد للذرة المعزولة إلى N مستوٍ طاقي بفواصل طاقية صغيرة جداً. يمكن دراسة هذا التجمُّع 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 بلّورة 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 سنطبّق 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 حالتي سبين مختلفتين . بهذا الشكل، تقع الإلكترونات عملياً في حالات مشتركة مختلفة *Different Overall States*. يجب أن تكون مستويات الطاقة الأدنى مشغولةً في شروط التوازن وفي درجة حرارة منخفضة للوسط المحيط. وكما سنرى لاحقاً، فإن الإلكترونات الأكثر أهمية هي تلك الواقعة في أعلى العصابات المشغولة.
- وعندها 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

Ato7

السؤال الثاني : (10) درجة

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

البلّورات الأيونية

تُحضَّرُ البلّورات الأيونية من أيونات موجبة وأخرى سالبة. وتنتج الرابطة الأيونية بصورة رئيسة من التفاعل الكهرساكن 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 بلّورة أيونية. وبالنسبة للتوزع الإلكتروني في بلوّرة، فإنه يوافق طبقة إلكترونية خارجية مغلقة (أي ممتلئة بشكل كامل). وثمة مثال جيد على البلّورة الأيونية؛ بلّورة ملح الطعام NaCl. تمتلك ذرات الصوديوم Na، وذرات الكلور Cl، المعتدلة التوزّع

البلّورات التشاركية (التساهمية)

الترابط التساهمي هو ترابط نموذجي من أجل ذرات بمستو انشغالٍ منخفضٍ للطبقة الخارجية. وبلّورة Si توضح هذا النوع من الترابط. إذْ يمكن تمثيل التوزّع الإلكتروني للسيلكون بلبّ Core يُضاف إليه الإلكترونات الخارجية (اللبّ مؤلف من نواة Si والإلكترونات الداخلية المحيطة بها)، أي وفق الشكل $Core+3s^2 3p^2$.

ولاكتمال الطبقة الخارجية $3s^2 3p^2$ تُشكّل ذرة Si في بلّورة 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 بريلوان **(خمس درجات)** وعدد الخطوات التي تختزل مسألة إيجاد الطيف الطاقي الالكتروني من خلال التناظر البلوري **(خمس درجات)**.

تُعدُّ علاقات تبدد الطاقة، $E_n(\vec{k})$، عادة معقدة جداً ويمكن الحصول عليها فقط عددياً في سياق طرائق تقريبية. ومن حسن الحظ أن منطقة بريلوان تمتلك تناظراً يعكس مباشرة التناظر في وحدة الخلية للبلّورة في فضاء الإحداثيات.

- فإذا عانت بلّورة ما إلى نفسها بفضل تحويلات على شكل دورانات مُحددة حول المحاور البلّورية وانعكاسات مرآتية، فإن الحديث يدور عن التناظر النقطي للاتجاهات في البلّورة.
- يولّد هذا التناظر في منطقة بريلوان بضعة نقاط بدرجة تناظر عالية بالنسبة للتحويلات في هذه المنطقة في فضاء الشبكة المقلوبة – $\vec{k}$.
- وتتطابق دائماً النهايات الحدية لعلاقات تبدد الطاقة $E_n(\vec{k})$ مع هذه النقاط عالية– التناظر. إذْ تسمح هذه الحقيقة، على وجه الخصوص، بتبسيط مسألة الحصول على أطياف إلكترونية وحل هذه المسألة.

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

a) تحديد النقاط $\vec{k}$ عالية– التناظر لمنطقة بريلوان؛
b) حساب المواقع الطاقية للنهايات الحدية؛
c) تحليل الكتل الفعّالة أو المتحولات الأخرى لمنشور $E_n(\vec{k})$ 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 الناقلية مباشرة من دون أن يتغيّر اندفاعه؛ تسمى البلّورات 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 عصابتي 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 الخامس : (10) درجة

عرف الألفة الالكترونية **(4 درجات)** موضحا حساب مجانبات العصابات الطاقية من أجل وصلة متغايرة مثالية**(6درجات يكتفى بذكر ثلاث نقاط).**

يسمى الفاصل الطاقي بين قاع *Bottom* عصابة الناقلية ومستوى الخلاء، χ، الألفة الإلكترونية *Electron Affinity*. بتعبير آخر الألفة الإلكترونية هي الطاقة اللازم تقديمها لانتزاع إلكترون من قاع عصابة الناقلية إلى خارج المادة، أي إلى ما يسمى مستوى الخلاء. بهذه الطريقة، إذا علمنا الألفات الإلكترونية من أجل مواد مختلفة، فإننا سنعرف قيم قيعان عصابات الناقلية بعضها بالنسبة لبعض.

❖ يمكننا بهذا التعريف للألفة الإلكترونية أن نحسب مقدار الانقطاعية *Discontinuity* في عصابة الناقلية 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)؟**

إنّ وجود مدارات جزيئية شاغرة من أجل C_{60} يُفسّر تأثير التآثر الجزيئي (التفاعل المتبادل بين الجزيئات) لكريّات 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 تتشكل كريّتا فولورين الجزيء الثنائي $C_{60}-C_{60}$ **بطاقة ترابط تساوي نحو** 0.27 eV. فقوى فاندرفالس المتماثلة تؤمن تآثر وامتزاز الفولورينات على سطوح مواد مختلفة. يظهر صورة لجزيئات فولورين أمتزت على سطح سيلكوني Si. وبما أنّ قوى فاندرفالس ضعيفة نسبياً، فإن جزيئات الفولورين تنتشر بسهولة على السّطح ويمكنها أن تشكل جزراً متراصة بتراكيز 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 يُمكّننا من رؤية **شرائح رقيقة** *Thin Slices* من المادة **بمقدرة فاصلة نانومترية**، وتتصف 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 الجَسّ** *The Probe Radiation*.
- وطالما أن الإلكترونات تُستخدم بديلاً عن الضوء فإن العدسات الزجاجية لم تُعدُّ مناسبة وعوضاً عن ذلك **تستعمل** TEM **عدسات مغناطيسية** لحرف الإلكترونات.
- إلى جانب ذلك تشابه TEM المجهر العادي جداً من حيث العدسات **المجمّعة** *Condenser*، والعدسات **الجسمية** *Objective*، وعدسات **الإسقاط** *Projector*.
- **تنطلق** الإلكترونات في TEM **بشكل متوازٍ ومتسقٍ** من المنبع **وتخترق** العينة ويكون النموذج الناتج لكلٍ من النفوذ الإلكتروني والامتصاص الإلكتروني مُضخماً على شاشة مراقبة.
- **وتُسجّل** الصورة عادةً **بكاميرا** قوامها نبيطة الاقتران بالشحنة (CCD) *Charge-Coupled Device* التي يكون عنصر العمل **فيها** عبارة عن **رقاقة سيلكونية سطحها مُقسّم** إلى صفيفة كبيرة من البيكسيلات الحساسة للشحنة المنقولة بالإلكترونات.

السؤال الثامن : (10) درجة

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

- تتأسس "الحياكة" الغروانية- التقنية الثانية- لمعظم الجسيمات النانوية أحادية التشتت Mono-disperse على التنوّ المضبوط (تشكّل مضبوط لأجنّة العنقود المراد إنمائه) وإنماء العناقيد في محلولٍ حارٍ مركبات مُحضّرة 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" الغروانية ما يأتي:
  - حقن كواشف Reagent تحوي المكونات الأساسية للعنقود (الكادميوم Cd أو السلينيوم Se مثلاً) في مُحلّ (مُذيب) حارٍ حيث يحدث تشكّل أجنة Nucleation من سلينيد الكادميوم- CdSe.
  - تُغطي جزيئات المُذيب العنقود المُنوّى Nucleated Cluster ومن ثمّ تُثبّطه.
- ثم إن الضبط الدقيق لدرجة حرارة المُذيب يُساعد على إنتاج جسيمات نانوية بأبعاد صغيرة التباين، حيث يمكن أن يبلغ اختلاف الحجم من أجل الجسيمات النانوية عدة أجزاء منوية من القطر الوسطي الذي يساوي بضعة مئات نانومترات.

A to Z

السؤال التاسع : (10) درجة

عدد خطوات انماء شبكات أنابيب نانوية معلقة على ركائز تحتوي دعامات سليكونية ثم تنميطها 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 تنميطٍ مُحفِّزٍ كبير المدى على السطوح.
- **تتألف المادة السالفة من**

→ بوليمر مشترك ثلاثي وحدة البناء Tri-block Copolymer

→ وكلوريدات الألمنيوم وكلوريدات الحديد وكلوريدات المولبدينيوم

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

✓ يُوفِّر كلوريد الألمنيوم إطار أكسدةٍ عند تأكسده بالحلمهة (بالتحليل بالماء) أو التكليس بالإحماء (عملية تحميص في ظروف مؤكسدة) في الهواء.

إذْ يوجّه البوليمر الثلاثي المشترك تركيب إطار الأكسدة ويؤدي إلى تشكّل بنية تحفيز مسامية بُعيد التكليس بالإحماء.

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

- إذْ تُشكّل في البداية مادة التحفيز – السالف في فلمٍ رقيقٍ على قالبٍ 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 سيلكونية.
- ثمّ تُكلّس 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

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء-السنة الرابعة

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

السنة الرابعة
الدرجة :تسعون
اسم الطالب :

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (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 ($C^{\rightarrow} = 8a_1^{\rightarrow} + 7a_2^{\rightarrow}$).

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

2- احسب نصف قطر الإنبوب R على فرض طول رابطة الكربون – كربون (a_0) تساوي تقريبا (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 الانماء المتبعة بهذه الطريقة.

السؤال الثامن : (10) درجة

عرف البوليمر التساهمي البناء وعدد خطوات البلمرة الثلاثية وحدة البناء.

2024/9/11
انتهت الأسئلة

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح

مدرس المقرر
د.م.علاء محمد صبح

A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم-قسم الفيزياء

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

السنة الرابعة
الدرجة :تسعون

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (10) درجة

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

المواد المتوافقة- شبكيا

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 الطاقية لنصف ناقل معيّن هي التي تحدد خصائصه الكهربائية والضوئية؛

فبنى عصابات الطاقة الثابتة وغير القابلة للتعديل من اجل بلورات نصف ناقلة متوافرة بشكل طبيعي؛ مثل Si و Ge الأحادي- الذرة و GaAs ثنائي- الذرة تحدّ 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 توزع الذرات المكونة لها **بصورة دائمة**، إلاّ أن التكنولوجيا المعاصرة تُسهّل ضبط عدم الانتظام *Disorder* هذا جزئياً وتنتج بلّورات على درجة عالية من الجودة.

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

لندرس خليطةً مؤلفةً من مركّبين:

- A بنسبة جزئية x
- و B بنسبة جزئية $1-x$.

فإذا كان المركّبان A و B بمثابة شبكتين بلّوريتين متشابهتين فيمكن أن نتوقع أن تمتلك الخليطة A_xB_{1-x} البنية البلّورية ذاتها بثابت شبكة بلّورية، 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 الثالث : (10) درجة

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

فلوينات كريات بكي Buckyball Fullerenes:

الفولورين جزيء صيغته الكيميائية C_{60} وقطره نحو 1nm ويتألف من 60 ذرة كربون تشغل مواقعاً متكافئةً 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 أنّ هذه الروابط متطابقة عملياً.

وبهدف تشكيل كرية بكي اقرب ما يمكن إلى المثالية تنتظم اقرب مجاورات ذرات الكربون في مخمسات ومسدّسات؛ **ليحاط** كل مخمّس في بنية الكرية الخارجية **بخمسة مسدّسات**.

. تتألف بنية المجسم المتعدد الأوجه المقطوعة (المشطوفة) من **12** وجهاً خماسياً و **20** وجهاً سداسياً **تغطي** الرؤوس الـ60 الموجودة في كرية بكي حيث يشغل كل رأس ذرة كربون C.

بفضل شكل المجسم 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 إلكتروناً**، 180 منها منخرطة في المستوى الطاقي الرابط σ العميق نسبياً، مما يعني أنّ الخصائص الإلكترونية للفولورين تتعيّن بصورة أساسية **بالإلكترونات الستين المتبقية** والمسؤولة عن الروابط π.
- حيث **يشغل 50 إلكتروناً** 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): $2+6+10+14+18$.
- أمّا الإلكترونات **العشرة** المتبقية فتملأ المستوى الطاقي ذي العدد الكمومي المداري $l=5$. فعلياً يبلغ العدد الكلّي لهذه الحالات 22 إلكتروناً: $2(2l+1)=22$. يمكننا القول الآن وبثقة أنّ المجسم المتعدد الأوجه "المشطوفة" يختلف عن الكرة ويتصف **بدرجة تناظر أخفض**.

A to Z

السؤال الرابع : (15) درجة

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

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

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

(5 درجات لحساب q و 5 درجات لحساب عدد الذرات و5 درجات لحساب نصف القطر) ملاحظة: تحذف درجة فقط للجواب الخاطئ.

حل المسألة

١) $q = \begin{cases} l, & \text{if } n-m \text{ is not a multipleof } 3l, \\ 3l, & \text{if } n-m \text{ is a multipleof } 3l, \end{cases}$

(5) درجات

حيث l اكبر قاسم مشترك للعددين الصحيحين n و m.

n-m= 8-7=1 → q=1

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

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

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

(5) درجات

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

٣) ويُعطى نصف قطر الأنبوب، R، بالعلاقة الآتية:

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

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

(5) درجات

A to Z

السؤال الخامس : (15) درجة

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

إنماء البلورة الأحادية Single-Crystal Growth

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

a) الحصول على سيليكون من المرتبة المَلْزية (مستوى الشوائب فيه يبلغ نحو $5\times10^{16}\ cm^{-3}$):

- ينتج السيليكون من المرتبة المَلْزية عادة من التفاعل الكيميائي لثنائي أكسيد السيليكون (SiO_2) مع الكربون (C) على شكل فحم الكوك Coke:

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO \quad (1\text{-}5)$$

الذي يتطلب درجة حرارة عالية (نحو 1800 °C).

م الكوك هو فحم حجري يُستخرج منه معظم العالم. 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 الفلزية: كالحصول على الفولاذ عديم الصدأ Stainless Steel.

b) تحسين المادة الأخيرة لتصبح سيليكونا من المرتبة الالكترونية (احتواء مستوى الشوائب فيه إلى نحو $5\times10^{13}\ cm^{-3}$ أو أقل):

- يمكن بلوغ الاكتزال اللاحق للشوائب بإجراء التفاعل الآتي للسيليكون مع حمض كلور الماء الجاف:

$$Si + HCl \rightarrow HSiCl_3 + H_2 \quad (2\text{-}5)$$

نحصل في هذه الحالة على ثلاثي كلوريد السيلان $HSiCl_3$ الذي يكون في الحالة النموذجية سائلاً بنقطة غليان تبلغ 32 °C. وتوجد إلى جانب $HSiCl_3$ يكاد معاً كلوريدات أخرى من الشوائب؛ كأن تتشكل كلوريدات أخرى مثل $FeCl_3$. وطالما أن تقطتي غليانهما مختلفتان فيمكن تطبيق تقنية التقطير التفاضلية البسيطة Simple Fractional Distillation Technique:

إذ يُسخّن مزيج الـ $HSiCl_3$ وكلوريدات الشوائب الأخرى ثم تكثف في سلسلة من أعمدة التقطير Distillation Towers عند درجات حرارة مناسبة. وبوساطة هذه التقنية ينفصل ثلاثي كلوريد السيلان $HSiCl_3$ عن الشوائب.

- وبعد ذلك يحوّل التفاعل الآتي مع H_2 ثلاثي كلوريد السيلان إلى سيليكون من المرتبة الإلكترونية عالي النقاوة:

$$2HSiCl_3 + 2H_2 \rightarrow 2Si + 6HCl \quad (3\text{-}5)$$

ويبقى السليكون Si النقي الذي يتم الحصول عليه وفق هذه العملية متحدد التبلور Polycrystalline.

c) تحويل المادة السيليكونية من المرتبة الإلكترونية إلى صبّات Ingots سيليكونية Si أحادية التبلور.

- يقوم الإجراء النهائي الذي يحوّل السيليكون المتحدد التبلور إلى صبّات سيليكونية Si أحادية التبلور على طريقة تشوكرالسكي Czochralski Method.

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

Ato7

السؤال السادس: (10) درجة

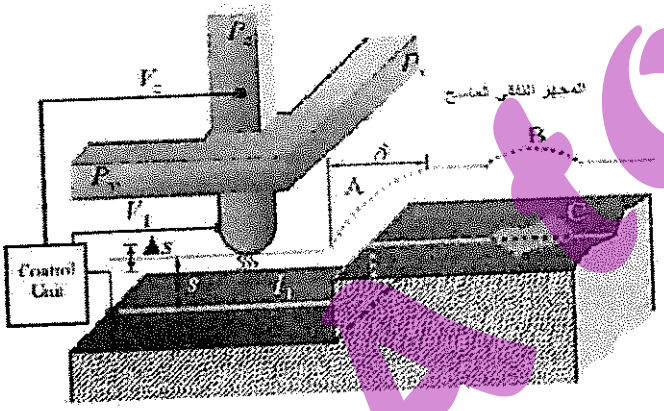
يعتبر المجهر الإلكتروني النفقي الماسح من المجاهر المستخدمة في توصيف التراكيب النانومترية، لماذا يستخدم؟ عدد أقسامه و عدد خصائص تيار النفق. **(3 درجات للاستخدام و 4 درجات لذكر الأقسام (الرسم عليه الأقسام يعتبر صحيحاً)و3 درجات لذكر الخصائص)**

المجهر الإلكتروني النفقي الماسح Scanning Tunneling Microscopy:

أ- تسمح هذه التقنية الحديثة بدراسة: **الطبولوجية السطحية** *Surface Topologies* للعينة (الوصف التفصيلي للتضاريس والسمات السطحية الطبيعية والصنعية) **وتغيرات تابع العمل** *Work-Function Profiles* على مستوى التدريج 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)،
- **سوّاقة انضغاطية** *Piezodrive* ذات أذرع متعامدة أشير إليها بالرموز P_1، و P_2، و P_3
- تيار النفق
- وحدة التحكم



ج) خصائص تيار النفق:

أولاً- تيار النفق حساس للغاية لمدى فجوة الخلاء s

ثانياً- تيار النفق حسّاس لتركيب المادة وانفعالها

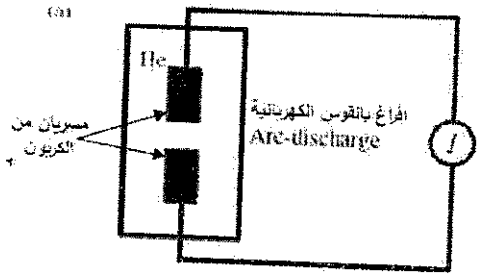
ثالثاً- تيار النفق في مجهر النفق الماسح STM حساس فقط لطبقة رقيقة من سطح العينة

السؤال السابع : (10) درجة

تعتبر طريقة الانفراغ بالقوس الكهربائي من أهم طرق الإنماء المستخدمة للحصول على أنابيب كربونية.وضح آلية الانماء 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 ▪ تبخّر ذرات الكربون في الانفراغ بالقوس الكهربائي بمساعدة بلازما غاز الهليوم الذي يقدح نتيجة تدفق تيارات عالية عبر مصعد ومهبط متقابلين مصنوعين من الكربون، كما يوضح الشكل



٢ ▪ يعدّ 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 فتنشأ أنابيب الكربون النانوية نتيجة هذه العملية.

٣ ▪ تمتلك الأنابيب النانوية المنسوجة المتعددة الجدر 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 فاندرفالسية عادة وتشكل معاً رزماً قوية (شديدة الترابط).

٥ ▪ يجب توافر محفّز 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 محفّز الكوبالت في حجرة الانفراغ، إذ تنتج بنتيجة ذلك أنابيب نانوية أحادية الجدار وافرة 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 محفّز النيكل).

A to Z

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 (جهري) Macromolecule **يتألف** من عدة وحدات بلمرة Polymer Blocks يمكنها عادة أن تنمو بعدة خطوات. والشكل (5-28) يوضح مثالاً على بلمرة ثلاثية وحدة البناء:

- يبدأ نسخ هذا الجزيء الكبير **بتبلمر** مونومير الستايرين (هيدروكربون) Styrene Monomer؛ **حيث تكون كمية** المونومير المُقدمة 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 (هيدركربون 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

A to Z

جامعة طرطوس | امتحان مقرر علم النانو وتطبيقاته | السنة الرابعة
كلية العلوم | الدورة الفصلية الثانية | الدرجة :تسعون
قسم الفيزياء-السنة الرابعة | مدة الامتحان : | اسم الطالب :

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 القجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة.

السؤال الثالث : (10) درجة
وضح مفهوم أنصاف النواقل المتدرجة 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 المضلعات السداسية في حدة الخلية N مع كتابة القوانين اللازمة وعلى فرض أن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها.
3- احسب نصف قطر الإنبوب R على فرض طول رابطة الكربون – كربون (a_0) تساوي تقريبا (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 أحداية الجدار (حالة إنماء شبكات أنابيب معلقة على ركائزتحوي 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

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح

مدرس المقرر
د.م علاء محمد صبح

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس — سلم مقرر علم النانو وتطبيقاته — السنة الرابعة
كلية العلوم — الدورة الفصلية الثانية 2024-2023 — الدرجة :تسعون
قسم الفيزياء-السنة الرابعة

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 اجزاء مئوية صغيرة بالنسبة لبعضها البعض.

المواد المتباينة شبكياً :

التعريف:توصف حالة التراكيب المتباينة- شبكياً بتباين شبكي محدود *Definite 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 الكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية مباشرةً من دون أن يتغير اندفاعه؛ تسمى البلّورات 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 عصابتي الناقلية والتكافؤ- لتهييج إلكترون، وإنما لا بد من أن تتغير اندفاعه أيضاً بكمية كبيرة (يمكن مقارنتها مع تلك الكمية في منطقة بريلوان). يسمى نصف ناقل كهذا بنصف ناقل ذي **فجوة طاقية غير مباشرة.**

مكتبة A to Z

السؤال الثالث : (10) درجة

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

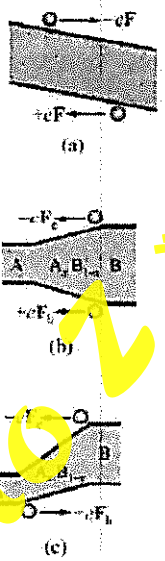
أنصاف النواقل المتدرجة Graded Semiconductors:

أولاً- كثيراً ما تُستعمل أنصاف نواقل متدرجة عوضاً عن تراكيب متغايرة فجائية- مادة. ولتوضيح هذه الفكرة ندرس في البداية قطعة متجانسة من نصف ناقل. كأن يكون سيليكون مطعّم بالتعظيم، طُبّق بين طرفيها حقل كهربائي.

- وعندها يبدو مخطط عصابات الطاقة مشابهاً لذلك المخطط الذي يظهر في الشكل (a) والذي يُمثّل ببساطة بخطين متوازيين مائلين Tilted يوافقان حدّي عصابتي الناقلية والتكافؤ.
  - ← الفاصل بين الخطين هو الفجوة الطاقية للنصف الناقل.
  - ← يساوي ميل حدّي العصابتين الطاقيتين حاصل ضرب الشحنة الأولية e- في شدة الحقل الكهربائي (F) $-eF$.
- 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 ميلا حدّي عصابتي الناقلية 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 والثقوب؛ 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 نبائط جديدة حيث يُطلب توافر حقل كهربائي داخلي المنشأ. ومن المواد المستخدمة في نبائط التراكيب المتغايرة المتدرجة نذكر Si_xGe_{1-x} و $Al_xGa_{1-x}As$ حيث تتغير x في اتجاه النمو. التراكيب المتدرجة والقوى شبه الكهربائية المرافقة لها تُقدّم درجة حرية جديدة من أجل مُصمّم النبيطة وتسمح له بالحصول على مواصفات كان يستحيل تحصيلها باستخدام حقول كهربائية خارجية (أو حقيقية) فقط.



مكتبة A to Z

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 و5 درجات لذكر المعادلة مع الرموز)**

2- لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة ($C_h = 8a_1 + 7a_2$). احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N مع كتابة القوانين اللازمة وعلى فرض أن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟ **(5 درجات)**

3- احسب نصف قطر الإنبوب R على فرض طول رابطة الكربون – كربون (a0) تساوي تقريبا (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 جهرياً على غرار أنصاف النواقل الحجمية التي أستخدمت؛ كمشابهٍ لتراكيب نانوية نصف ناقلة عادية. إذن، لدراسة بنية أنابيب الكربون النانوية لا بد 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،

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

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

2- حل المسألة

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

حيث l اكبر قاسم مشترك للعددين الصحيحين n و m.

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

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

n-m= 8-7=1 → q=1

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

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

٣) ويُعطى نصف قطر الأنبوب، R، بالعلاقة الآتية:

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

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

A to Z مكتبة

السؤال الخامس : (15) درجة

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

إنماء البلورة الأحادية Single-Crystal Growth

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

a) الحصول على سيليكون من **المرتبة الفلزية** (مستوى الشوائب فيه يبلغ نحو $5\times10^{19}\ cm^{-3}$):

- يُنتج السيليكون من المرتبة الفلزية عادة من التفاعل الكيميائي لثنائي أكسيد السيليكون (SiO_2) مع الكربون (C) على شكل فحم الكوك Coke:

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO \quad (1\text{-}5)$$

الذي يتطلب درجة حرارة عالية (نحو 1800 °C).

و الكوك هو فحم حجري يستخرج منه معظم القار، 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 **الفلزية؛ كالحصول على الفولاذ عديم الصدأ** Stainless Steel.

b) تحسين المادة الأخيرة لتصبح سيليكون من المرتبة **الإلكترونية** (احتزال مستوى الشوائب فيه إلى نحو $5\times10^{13}\ cm^{-3}$ أو أقل):

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

$$Si + HCl \rightarrow HSiCl_3 + H_2 \quad (2\text{-}5)$$

تحصل في هذه الحالة على ثلاثي كلوريد السيلان $HSiCl_3$ الذي يكون في الحالة السوائلية **سائلاً بنقطة غليان تبلغ** 32 °C، **وتوجد إلى جانب** $HSiCl_3$ ربما معاً كلوريدات أخرى من الشوائب؛ **كأن تتشكل كلوريدات أخرى مثل** $FeCl_3$. وطالما أن تفاعلي غليانيهما مختلفان فيمكن تطبيق تقنية **التقطير التفاضلية البسيطة** Simple Fractional Distillation Technique:

إذ يُشحَن مزيج الـ $HSiCl_3$ وكلوريدات الشوائب الأخرى ثم تُكثَّف في سلسلة من أعمدة التقطير Distillation Towers عند درجات حرارة مناسبة. وبوساطة هذه التقنية يفصل ثلاثي كلوريد السيلان $HSiCl_3$ عن الشوائب.

- **وبعد ذلك** يحوّل التفاعل الآتي مع H_2 ثلاثي كلوريد السيلان إلى سيليكون من المرتبة **الإلكترونية عالي النقاوة:**

$$2HSiCl_3 + 2H_2 \rightarrow 2Si + 6HCl \quad (3\text{-}5)$$

ويبقى السليكون Si الناتج الذي يتم الحصول عليه وفق هذه الطريقة عديم التبلور Polycrystalline.

c) تحويل المادة السيلكونية من المرتبة الإلكترونية إلى سبائك Ingots سيليكونية Si أحادية التبلور.

- يقوم الإجراء التالي الذي يحوّل السيليكون المتعدد التبلور إلى سبائك سيليكونية Si أحادية التبلور **على طريقة تشوكرالسكي** Czochralski Method:

في هذه الطريقة تُغمَّ بذرة بلورية سيليكونية Seed Si Crystal تؤمن قالبا من أجل إنماء البلورة المستهدفة.

A to Z مكتبة

السؤال السادس: (5) درجة

وضح طريقة حياكة العنقود النانوي بالطريقة الغروية.

تتأسس "**الحياكة**" **الغروانية**– **التقنية الثانية**– لمعظم الجسيمات النانوية أحادية التشتت Mono-disperse على التنوّ المضبوط (تشكل مضبوط لأجنّة العنقود المراد إنمائه) وإنماء العناقيد في محلول حاوٍ مركبات مُحضَّرة مسبقاً (نطلق عليها اسم سوالف 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 معلقة على ركائزتحوي دعائم سليكونية منمطة بطريقة الطباعة الحجرية) **(درجتين لكل فكرة يكتفى بها خمسة فقط)**

مكتبة A to Z

– يمكن إنماء تراكيب أنابيب نانوية أحادية الجدار منتظمة مباشرة عبر ترسيب أبخرة الميتان الكيميائية على ركائز منمّطة تحفيزياً. لندرس، على سبيل المثال، طريقة تطويرت لإنماء شبكات أنابيب نانوية معلقة على ركائز تحوي دعامات سيليكونية مرتبة بطريقة الطباعة الحجرية:

١ • يبدأ النمو بتحضير مادة تحفيز سالفة في طورها السائل سمحاً تتفوق في مزاياها على مُحفِّزات الحالة الصلبة من خلال سماحها بتشكّل طبقات تحفيز متجانسة Uniform من أجل تتميط مُحفِّز كبير المدى على السطوح.

٢ • تتألف المادة السالفة من

→ بوليمر مشترك ثلاثي وحدة البناء Tri-block Copolymer

→ وكلوريدات الألمنيوم وكلوريدات الحديد وكلوريدات المولبدينوم

→ تقع في خليط من مذيبات الإيثانول (كحول إيثيلي) Ethanol والبوتانول Butanol (كحول رباعي الكربون):

٣ • ✓ يُوفِّر كلوريد الألمنيوم بلمرة أكسدية عند تأكسده بالمطيبة (بالتمثيل بالماء) أو التكليس بالإحماء (عملية تحصيص في ظروف مؤكسدة) في الهواء.

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

✓ كما يمكن للمعدن الحديد أن يشكّل بمسيمات تحفيز ضرورية من أجل إنماء الأنابيب النانوية.

٤ • → إذ تشكل في البداية مادة التحفيز – السالف ذكرها – على قالب من سيلوكسان– ثنائي الميثيل المتعدد Polydimethyl Siloxane Stamp

٥ • → يلي ذلك طباعة تماسية Contact Printing للمادة السالفة المحفِّزة المتعدمة على الأجزاء العلوية لدعامات Pillar Tops مسلّحة– مسبقاً على ركيزة سيليكونية.

٦ • → تُكلَّس الركيزة المطبوعة بالإحماء ثم تُستعمل في عملية الإنماء بطريقة ترسيب الأبخرة الكيميائية.

السؤال الثامن : (10) درجة

كيف يمكن فهم آلية الحصول على إنماء موجه للأنابيب الكربونية. (تكفي نجمة فقط ٥ درجتين لكل منها)

يمكن فهم مثل هذه الإنماء الموجّه للأنابيب النانوية بالشكل الآتي:

١ • **تُنمّى** أنابيب نانوية على رؤوس الدعامات **فقط** طالما أن **طريقة الطبع المُحفّز** لا تضع أي مواد تحفيز أسفل الركيزة.

٢ • **وأثناء** النمو الطولي للأنابيب النانوية يحافظ تدفق الميثان **على جعل الأنابيب النانوية عائمة و متموجة**" لأن سرعة التدفق بالقرب من قعر السطح **انخفض بكثير من سرعة التدفق عند مستوى** "رؤوس الدعامات".

٣ • **وهذا بدوره** يمنع قنص الأنابيب النانوية عند أسفل السطح.

٤ • ومن جهة أخرى، **توفر** الدعامات المجاورة **نقاط تثبيت** للأنابيب المتنامية؛

٥ • فإذا **مسّ** أنبوب متموج **دعامة** مجاورة، فإن تأثرات فاندرفالس بين الأنبوب **والدعامة ستأسر** الأنبوب النانوي **وتُحافظ** عليه عالياً (أي معلقاً في الجو).

٦ • **ووفق** نمط النمو هذا يمكن تصنيع أنابيب نانوية معلقة **بأطوال جهرية**؛ إذ يمكن إنماء أنابيب بأطوال تزيد عن $150\,\mu m$.

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

مدرس المقرر
د.م.علاء محمد صبح

مكتبة A to Z

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

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (15) درجة

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

السؤال الثاني : (5) درجة

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

السؤال الثالث : (5) درجة

وضح كيفية دراسة جودة السطح الفاصل للتراكيب شبه المتغايرة.

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 الإنبوب 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 ميزاتها.

2024/1/29

انتهت الأسئلة

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح

مدرس المقرر

د.م.علاء محمد صبح

مكتبة A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء-السنة الرابعة

سلم مقرر علم النانو وتطبيقاته
الدورة الفصلية الأولى

السنة الرابعة
الدرجة :تسعون

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (15) درجة (3 درجات لكل تعريف يقدم الفكرة الأساسية)

عرف كلا مما يلي:

١) **البلورات الايونية:** تحتوي البلورات الأيونية من أيونات موجبة وأخرى سالبة. وتنتج الرابطة الأيونية بصورة رئيسة من التفاعل الكهروستاتيكي التجاذبي المتبادل لأيونات متجاورة بشحنات متعاكسة. يوجد أيضاً تفاعل تنافري (تنافري) متكافئ مع محاورات أخرى من نفس الشحنة. فالتجاذب والتنافر يؤديان معاً إلى توازن قوي والتي بدورها تجعل الذرات تقع في مواقع توازن مستقرة في هكذا بلورة أيونية.

٢) **الألفة الإلكترونية** التفاضل الطاقي بين قاع *Bottom* عصابة الناقلية وسوية الخلاء، أو بتعبير آخر الألفة الإلكترونية هي الطاقة اللازمة تقديمها لانتزاع إلكترون من قاع عصابة الناقلية الى خارج المادة، أي إلى ما يسمى **مستوى الخلاء**

٣) الترابط التساهمي هو ترابط نموذجي من أجل ذرات بمستوى الشغل منخفض للطبقة الخارجية. وليونة Si توضح هذا النوع من الترابط. إذ يمكن تمثيل التوزع الإلكتروني للسيليكون بلب Core يضاف إليه الإلكترونات الخارجية (اللب مؤلف من نواة Si والإلكترونات الداخلية المحيطة بها)، أي وفق الشكل التوضيحي Core-like.

٤) **الإنماء الفوقي بالحزمة الجزيئية**

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

٥) **العنقود الذري** بنية **تجمع ذري مرتبط بالحجم** بدءاً من بضعة ذرات إلى بضعة مئات منها. وفي الحالة الثانية، **يكون العنقود معزولاً**؛ ويقصد بكلمة معزول خلو فراغ العنقود أو سطحه من مكونات كيميائية أخرية.

مكتبة A to Z

السؤال الثاني : (5) درجة وضح الفرق بين أنصاف النواقل ذات الفجوة الطاقية المباشرة وغير المباشرة.

يمكن أن ينتقل الكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية مباشرة من دون أن يتغير اندفاعه؛ تسمى البلّورات من هذا النوع **أنصاف نواقل ذات فجوة طاقية مباشرة**.

وخلافاً لذلك، لكي ينتقل الكترون من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية في Si و Ge لا يكفي إضافة كمية من الطاقة– أكبر من الفارق الطاقي الأدنى بين عصابتي الناقلية والتكافؤ – لتهييج الكترون، وانما 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**.

A to Z مكتبة

السؤال الثالث : (5) درجة وضح كيفية دراسة جودة السطح الفاصل للتراكيب شبه المتغايرة

تتعلق جودة المواد بجوار السطوح الفاصلة المتغايرة بنسبة ثابتي الشبكة البلورية لكلتا المادتين. وتبعاً للتشابه البنيوي وثوابت الشبكة البلورية للمواد المؤلفة للتراكيب المتغايرة توجد فئتان من السطوح الفاصلة المتغايرة تختلفان عن بعضهما البعض بصورة جوهرية: **مواد** متوافقة شبكياً و **مواد** متباينة شبكياً

وكذلك نوافق التكافؤ فيما إذا كانت الروابط متوافقة أو غير متوفقة تكافؤيا عن طريق عدد الإلكترونات التي تسهم بها الذرات فيما إذا كان يطابق أولا يطابق العدد المطلوب (إلكترونان لكل رابطة تساهمية) بعبارة أخرى معتدلة أو غير معتدلة كهربائيا

السؤال الرابع : (15) درجة

لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له قيمة بالمعادلة ($\vec{C} = 8\vec{a_1} + 7\vec{a_2}$)

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) تساوي تقريباً (0.14 nm) (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:

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

n-m= 8-7=1 → 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

ويُعطى نصف قطر الأنبوب، R، بالعلاقة الآتية:

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

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

A to Z مكتبة

السؤال الخامس : (15) درجة

اشرح طريقة الحفر الكيميائي الرطب للتنمية 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 لإزالة طبقة ثنائي أكسيد السيليكون SiO_2 التي تغطي شريحة من السيليكون. فالهيدروفلور يتفاعل مع الكوارتز SiO_2 ولا يؤثر في المقاوم الضوئي أو في السيليكون. وهذا يعني أن الحفر الكيميائي الرطب **انتقائي للغاية**. **(٥ درجات)**

❖ ولكن معدل الحفر هو ذاته في أي اتجاه؛ جانبياً كان أم شاقولياً ولذلك، فإن هذا النوع من التنميش يُعدُّ **متماثل المناحي**. ويكون استخدام تقنية الحفر المتماثل المناحي **مقبولاً فقط** من أجل التراكيب الكبيرة نسبياً.
أما تقنية الحفر اللامتماثل المناحي (الأنزوتروبي) بسرعة تنميش 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. **(٥ درجات)**

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

يُسخّن الجهد الكهربائي الإلكترونات الخفيفة التي بدورها تؤين الجزيئات الغازية مكونة أيونات لسوء الحظ، عملية الصدم هذه ليست انتقائية ولكن الجذور الكيميائية المتوافرة في الحجرة تُزيد من الحفر الكيميائي الذي يُعدُّ انتقائياً

وهكذا نرى أن الطريقة المدروسة هنا تجمع العملية المتماثلة المناحي والعملية الأنزوتروبية وتعطي نتائج جيدة من أجل الحفر على مستوى النانومتر. **(٥ درجات)**

مكتبة A to Z

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 تؤلفان الجملة المتغايرة المتنامية **إبيتاكسياً**، وإمّا الاثنين معاً

ان 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 تقنية حياكة عنقود نانوي بالطور البخاري (5 درجات)

تنمو العناقيد غاز قبل تثبيطها 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 تتكون بطرائق مختلفة؛ كأن تُستعمل: طريقة التبخير الليزري لجسم صلب. طريقة تفكيك مكونات تحوي الذرات اللازم ترسيبها بطريقة التحريض الليزري أو التسخين الحراري، الخ.

2 وضح كيف يمكن إنماء أنابيب أحادية الجدار بطريقة التذرية الليزرية (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 وحاوياً نسبة ذرية من نيكل وكوبالت مُحفز بمقدار 0.5%.
- إذ يوضع الهدف في فرن على هيئة أنبوب مُسخّن إلى الدرجة 1200 °C
- يُمرَّر 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 التأثرات الفاندرفالسية.
- **تمكن من** تراص أنابيب نانوية مفردة في رزمة.

مكتبة A to Z

د. علاء

السؤال الثامن : (15) درجة

1 صيرات إنماء أنابيب معزولة على سطح خاص (5) درجات

- ✓ تم الحصول بهذه الطريقة على نبائط ذات أنابيب نانوية معزولة نميّت من الجزر
- ✓ تؤدي طريقة الإنماء هذه وبسهولة إلى تحضير أنابيب تكوّنُ وتُنظّمُ من مواقع سطحية مضبوطة جيدا
- ✓ فضلاً عن تمكيننا من تطوير طريقة مضبوطة لتكامل الأنابيب النانوية في تراكيب قابلة التوجه

2 وضع الطرق الكيميائية والحيوية المستخدمة في التصنيع على المستوى النانوي وعرض أهم مزاياها (10 درجات)

- من الواضح أن بمقدور "النسج" الكيميائي Chemical Synthesis إنتاج جسيمات نانوية متنوعة جدا، بما فيها الجمل النانوية اللاعضوية، والعضوية، والحيوية. أضف إلى ذلك، يمكن أن تكمل الكيمياء والحيوية مكملتين لطرائق التصنيع النانوي الفيزيائي المتوافرة والمعمول بها. وعلى وجه الخصوص، تُقدّم تقنيات الكيمياء والحيوية المختارة بدائل للطباعة الفوتونية التقليدية. تمتد إحدى هذه الطرائق إلى ظاهرة التجمّع 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.
- تُسهّل هذه التراكيب تصنيع أقنعة دورية منتظمة على سطح مصنوع من فلز أو نصف ناقل بتمييز يساوي من 10 nm ← 50 nm وبمسامات داخلية تبلغ أقطارها من 5 nm ← 25 nm.
- تتفوق مثل هذه المقدرة الفاصلة على المقدرة الفاصلة للطباعة الفوتونية التقليدية والتي تبلغ في الوقت الراهن نحو 100 nm.
- أضف إلى ذلك، فرضت طريقة التجمّع الذاتي نفسها على تقنيات الطباعة الحجرية بحزمة إلكترونية، والمستخدمة في الوقت الراهن من أجل طباعة مثل هذه التراكيب الصغيرة، من خلال تكلفتها الأقل بكثير وزمن الإنجاز الأقصر.
- يمكن تطبيق الطرائق الكيميائية "لنسج" المركّب الكيميائي والبنية الكيميائية على سطح من خلال استعمال أداة كتابة مباشرة تكمن في طباعة نانوية جديدة بقلم مغموس Dip-Pen حيث تولّد عملاً كيميائياً متسقاً مسطح الشكل بطول يبلغ من 1 nm ← 100 nm.

وبدورها ولّدت النجاحات في علم الحيوية طرائق جديدة لتحضير مواد نانوية التركيب بخصائص محددة مسبقا وقابلة للبرمجة من أجل وحدات بناء لاعضوية.

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

مكتبة A to Z

د. علا

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء-السنة الرابعة

امتحان النظري-الدورة التكميلية
علم النانو وتطبيقاته
مدة الامتحان :

السنة الرابعة
الدرجة :تسعون
اسم الطالب :

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (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 فلورينات كريات بكي ووصف الحالات الطاقية الإلكترونية لها.

السؤال الرابع : (15) درجة
لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة ($\vec{C} = 8\vec{a_1} + 7\vec{a_2}$).
1- احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N وعلى فرض أن كل مسدس يحتوي ذرتي كربون كم يكون عددها؟
2- احسب نصف قطر الإنبوب R على فرض طول رابطة الكربون – كربون (a_0) تساوي تقريبا (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 الانماء المتبعة بهذه الطريقة.

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

2023/9/13
انتهت الأسئلة

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح

مدرس المقرر
د.م.علاء محمد صبح

جامعة طرطوس
كلية العلوم-قسم الفيزياء

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

السنة الرابعة
الدرجة :تسعون

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السوال الاول : (١٠) درجة

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

المواد المتوافقة- شبكيا

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 شبكيا :

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

السوال 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 معيّن هي التي تحدد خصائصه الكهربائية والضوئية؛

فبنى عصابات الطاقة الثابتة وغير القابلة للتعديل من أجل بلورات نصف ناقلة متوافرة بشكل طبيعي؛ مثل Si و Ge الأحادي- الذرة و GaAs ثنائي- الذرة تحدّ 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 توزع الذرات المكونة لها بصورة دائمة، إلاّ أن التكنولوجيا المعاصرة تُسهّل ضبط عدم الانتظام *Disorder* هذا جزئياً وتُنتج بلّورات على درجة عالية من الجودة.

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

لندرس خليطة مؤلفة من مركّبين:

- A بنسبة جزئية x
- و B بنسبة جزئية $1-x$.

فإذا كان المركّبان A و B بمثابة شبكتين بلّوريتين متشابهتين فيمكن أن نتوقع أن تمتلك الخليطة A_xB_{1-x} البنية البلّورية ذاتها بثابت شبكة بلّورية، 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 الثالث : (١٠) درجة

عرف فلوريدات كريات بكي ووصف الحالات الطاقية الإلكترونية لها. **(٥ درجات للتعريف و٥ درجات لتوصيف الحالات الطاقية)**

فلوريدات 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 أنّ هذه الروابط متطابقة عملياً.

وبهدف تشكيل كرية بكي أقرب ما يمكن إلى المثالية تنتظم اقرب مجاورات ذرات الكربون في سداسيات ومسدّسات؛ **يُحاط** كل مخمّس في بنية الكرية الخارجية **بخمسة مسدّسات**.

. تتألف بنية المجسم المتعدد الأوجه- المقطوعة ("المشطوفة") من **12** وجهاً خماسياً و **20** وجهاً سداسياً تغطي الرؤوس الـ60 الموجودة في كرية بكي حيث يشغل كل رأس ذرة كربون C.

يفضل شكل المجسم المتعدد الأوجه "المشطوفة" يمكننا وصف الحالات الطاقية الإلكترونية لفولورينات بكي من خلال تصنيف الحالات الكمومية التي تمّ تحصيلها من أجل كمون متناظر كروياً وأبسط المظهر ، 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 إلكتروناً**، 180 منها منخرطة في المستوى الطاقي الرابط- σ العميق نسبياً، مما يعني أنّ الخصائص الإلكترونية للفولورين تتعيّن بصورة أساسية **بالإلكترونات الستين المتبقية** والمسؤولة عن الروابط π،

← حيث **يشغل 50 إلكتروناً** 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 الطاقي ذي العدد الكمومي المداري $l = 5$. فعلياً يبلغ العدد الكلّي لهذه الحالات 22 إلكتروناً: $2(2l+1) = 22$. يمكننا القول الآن وبثقة أنّ المجسم المتعدد الأوجه "المشطوفة" يختلف عن الكرة ويتصف بدرجة تناظر أخفض.

السؤال الرابع : (١٥) درجة

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

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

٢- احسب نصف قطر الإنبوب R على فرض طول رابطة الكربون – كربون (a_0) تساوي تقريبا (٠.١٤ nm).

(٥ درجات لحساب q و ٥ درجات لحساب عدد الذرات و٥ درجات لحساب نصف القطر) ملاحظة: تحذف درجة فقط للجواب الخاطئ.

حل المسألة

١)

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

(5) درجات

حيث l اكبر قاسم مشترك للعددين الصحيحين n و m.

$$n\text{-}m = 8\text{-}7 = 1 \rightarrow q = 1$$

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

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

(5) درجات

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

بمان كل مسدس يحتوي ذرتي كربون فإن عدد الذرات يساوي 2N=676

٣) ويعطى نصف قطر الأنبوب، R، بالعلاقة الآتية:

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

(5) درجات

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

السوال الخامس : (١٥) درجة

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

إنماء البلورة الأحادية Single-Crystal Growth

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

a) الحصول على سيليكون من **المرتبة الفلزية** (مستوى الشوائب فيه يبلغ نحو $5\times10^{16}\ cm^{-3}$):

- ينتج السيليكون من المرتبة الفلزية عادةً من التفاعل الكيميائي لثنائي أكسيد السيليكون (SiO_2) مع الكربون (C) على شكل فحم الكوك Coke:

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO \quad (1\text{-}5)$$

الذي يتطلب درجة حرارة عالية (نحو 1800 °C).

- الكوك هو فحم حجري يُستخرج منه معظم الغازات. والسيليكون الذي يتم الحصول عليه في هذه طريقة:

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 سيليكوناً من **المرتبة الإلكترونية** (احتزال مستوى الشوائب فيه إلى نحو $5\times10^{12}\ cm^{-3}$ أو أقل):

- يمكن بلوغ الاحتزال اللاحق للشوائب بإجراء التفاعل الآتي للسيليكون مع حمض كلور الماء الجافّ:

$$Si + HCl \rightarrow HSiCl_3 + H_2 \quad (2\text{-}5)$$

نحصل في هذه الحالة على **ثلاثي كلوريد السيلان** $HSiCl_3$ الذي يكون في الحالة النموذجية سائلاً بنقطة غليان تبلغ 32 °C. **وتوجد إلى جانب** $HSiCl_3$ وبان معاً كلوريدات أخرى من الشوائب؛ كأن تشكّل كلوريدات أخرى **مثل** $FeCl_3$. وطالما أن نقطتي غليانهما مختلفتان فيمكن تطبيق تقنية التقطير التجزيئية البسيطة Simple Fractional Distillation Technique:

إذ يُسحَق مزيج الـ $HSiCl_3$ وكلوريدات الشوائب الأخرى ثم تُكثَّف في سلسلة من أعمدة التقطير Distillation Towers عند درجات حرارة مناسبة. وبوساطة هذه التقنية ينفصل ثلاثي كلوريد السيلان $HSiCl_3$ عن الشوائب.

- وبعد ذلك يحوّل التفاعل الآتي مع H_2 ثلاثي كلوريد السيلان إلى سيليكون **من المرتبة الإلكترونية** عالي النقاوة:

$$2HSiCl_3 + 2H_2 \rightarrow 2Si + 6HCl \quad (3\text{-}5)$$

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

c) تحويل المادة السيليكونية من المرتبة الإلكترونية إلى **صبّات Ingots** سيليكونية Si أحادية التبلور.

- يتم الإجراء النهائي الذي يحوّل السيليكون المتعدد التبلور إلى صبّات سيليكونية Si أحادية التبلور على **طريقة تشوكرالسكي** Czochralski Method.

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

السؤال السادس: (١٠) درجة

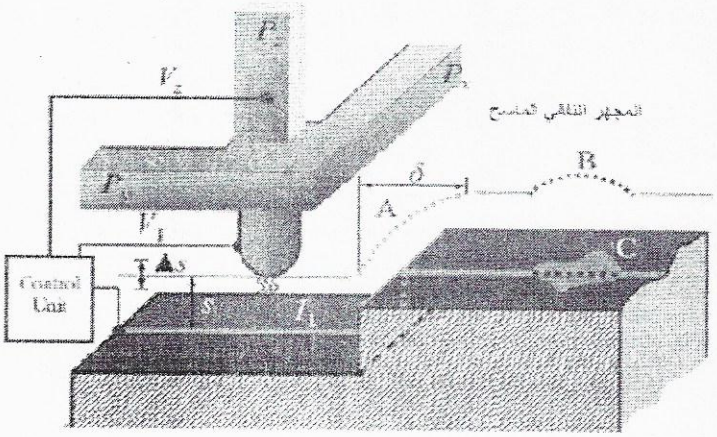
يعتبر المجهر الإلكتروني النفقي الماسح من المجاهر المستخدمة في توصيف التراكيب النانومترية، لماذا يستخدم؟ عدد أقسامه و عدد خصائص تيار النفق. **(درجتان للاستخدام و ٥درجات لذكر الأقسام (الرسم عليه الأقسام يعتبر صحيحا)و٣ درجات لذكر الخصائص)**

المجهر الإلكتروني النفقي الماسح Scanning Tunneling Microscopy:

أ) تسمح هذه التقنية الحديثة بدراسة: **الطبولوجية السطحية** *Surface Topologies* للعينة (الوصف التفصيلي للتضاريس والسمات السطحية الطبيعية والصنعية) **وتغيرات تابع العمل** *Work-Function Profiles* على مستوى التدريج 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)،
- سواقة **الضغاطية** *Piezodrive* ذات أذرع متعامدة أشير إليها بالرموز P_x ، و P_y و P_z
- تيار النفق و وحدة التحكم



ج) خصائص تيار النفق:

أولا- تيار النفق حساس للغاية لمدى فجوة الخلاء s

ثانيا- تيار النفق حساس لتركيب المادة وانفعالها

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

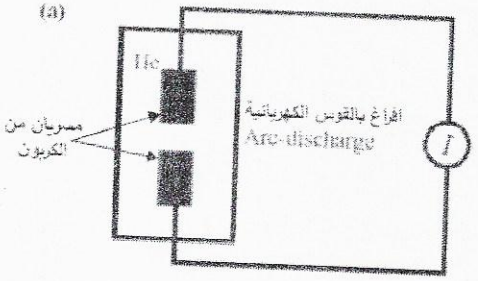
السؤال السابع : (١٠) درجة

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

الانماء 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 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) أخمضن من نقطة التصهار الغرافيت فتتشا أنابيب الكربون النانوية نتيجة هذه العملية.

٣ * تمتلك الأنابيب النانوية المنسوجة المتعددة الجُدر 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 فاندرفالسية عادة وتشكل معاً رزماً قوية (شديدة الترابط).

٥ * يجب توافر محفّز 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 التوسي من خلال استخدام مصعد كربوني يحوي نسبة ضئيلة من محفّز الكوبالت في حجرة الانفراغ. إذ تتولد بنتيجة ذلك أنابيب نانوية أحادية الجدار وافرة في مادة السُخام ("الشحار") 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 محفّز **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 (جهري) Macromolecule **يتألف** من عدة وحدات بلمرة Polymer Blocks يمكنها عادة أن تنمو بعدة خطوات، ~~والشكل (3-28)~~ يوضح مثالاً على 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 (هيدركربون 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

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء-السنة الرابعة

امتحان النظري
علم النانو وتطبيقاته
مدة الامتحان :

السنة الرابعة
الدرجة :تسعون
اسم الطالب :

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 فلورينات كريات بكي ووصف الحالات الطاقية الإلكترونية لها.

السؤال الرابع : (15) درجة

لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة ($C^{\rightarrow} = 7a_1^{\rightarrow} + 11a_2^{\rightarrow}$).احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N ونصف قطر الإنبوب 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 ألمنيوم **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 الانماء المتبعة بهذه الطريقة.

السؤال الثامن : (10) درجة

عرف البوليمر التساهمي البناء وعدد خطوات البلمرة الثلاثية وحدة البناء.

2023/7/13
انتهت الأسئلة

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح

مدرس المقرر
د.م.علاء محمد صبح

A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم-قسم الفيزياء

سلم امتحان النظري-الفصل الثاني
2023-2022
لمقررعلم النانو وتطبيقاته

السنة الرابعة
الدرجة :تسعون

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).**

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

- إن بنية العصابة الطاقية لنصف ناقل معيّن هي التي تحدد خصائصه الكهربائية والضوئية؛

فبنى عصابات الطاقة الثابتة وغير القابلة للتعديل من أجل بلورات نصف ناقلة متوافرة بشكل طبيعي؛ مثل Si و Ge الاحادي– الذرة و GaAs ثنائي– الذرة تعد من تطبيقاتها.

- ولكن ثمة حلّ 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 توزع الذرات المكونة لها **بصورة دائمة**، إلاّ أن التكنولوجيا المعاصرة تُسهّل ضبط **عدم الانتظام** *Disorder* هذا جزئياً وتُنتج بلّورات على درجة عالية من الجودة.

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

لندرس خليطة مؤلفة من مركّبين:

- A بنسبة جزئية x
- و B بنسبة جزئية $1-x$.

فإذا كان المركّبان A و B بمثابة شبكتين بلّوريتين متشابهتين فيمكن أن نتوقع أن تمتلك الخليطة A_xB_{1-x} البنية البلّورية ذاتها بثابت شبكة بلّورية، a_c، يُحسب من تركيب ثابتي الشبكة البلورية للمادتين A، a_A، و B، a_B؛ وأبسط تركيب خطيّ يحقق ذلك يعطي المعادلة (قانون فيغارد Vegard's Law) الآتية:

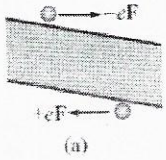
$$a_c = a_A x + a_B (1-x).$$

A to Z

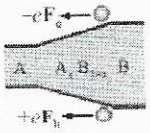
السؤال الثاني : (10) درجة

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

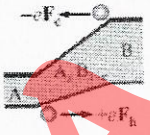
أنصاف النواقل المتدرجة Graded Semiconductors:



(a)



(b)



(c)

أولا- كثيراً ما تستعمل أنصاف نواقل متدرجة عوضاً عن تراكيب متغايرة فجائية- حادة. ولتوضيح هذه الفكرة ندرس في البداية قطعة متجانسة من نصف ناقل، كأن تكون سيليكون مُشَعَّع بانتظام، طُبِّق بين طرفيها حقل كهربائي.

- وعندها يبدو مخطط عصابات الطاقة مشابها لذلك المخطط الذي يظهر في الشكل (a) والذي يُمثَّل ببساطة بخطين متوازيين مائلين Tilted يوافقان حدَّي عصابتي الناقلية والتكافؤ.
  - ← الفاصل بين الخطين هو الفجوة الطاقية لنصف الناقل؛
  - ← يساوي ميل حدَّي العصابتين 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 حدَّي عصابتي الناقلية 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 والثقوب؛ 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 نبائط جديدة حيث يطلب توافر حقل كهربائي داخلي المنشأ. ومن المواد المستخدمة في نبائط التراكيب المتغايرة المتدرجة نذكر Si_xGe_{1-x} و $Al_xGa_{1-x}As$ حيث تتغير x في اتجاه النمو . التراكيب المتدرجة والقوى شبه الكهربائية المرافقة لها تُقدِّم درجة حرية جديدة من أجل مُصمِّم النبيطة وتسمح له بالحصول على مفاعيل كان يستحيل تحصيلها باستخدام حقول كهربائية خارجية (أو حقيقية) فقط.

A to Z

السؤال الثالث : (10) درجة

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

فلوبنات كريات بكي Buckyball Fullerenes:

الفولورين جزيء صيغته الكيميائية C_{60} وقطره نحو 1nm ويتألف من 60 ذرة كربون تشغل مواقعاً متكافئةً 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 أنّ هذه الروابط متطابقة عملياً.

وبهدف تشكيل كريّة بكي أقرب ما يمكن إلى المثالية تنتظم اقرب مجاورات ذرات الكربون في مخمّسات ومسدّسات؛ يُحاط كل مخمّس في بنية الكريّة الخارجية بخمسة مسدّسات.

. تتألف بنية المجسم المتعدد الأوجه- المقطوعة ("المشطوفة") من 12 وجهاً خماسياً و 20 وجهاً سداسياً تغطي الرؤوس الـ60 الموجودة في كريّة بكي حيث يشغل كل رأس ذرة كربون C.

بفضل شكل المجسم 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 إلكتروناً، 180 منها منخرطة في المستوى الطاقي الرابط- σ العميق نسبياً، مما يعني أنّ الخصائص الإلكترونية للفولورين تتعيّن بصورة أساسية بالإلكترونات الستين المتبقية والمسؤولة عن الروابط π،
- حيث يشغل 50 إلكتروناً 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): $2+6+10+14+18$.
- أمّا الإلكترونات العشرة المتبقية فتملأ المستوى الطاقي ذي العدد الكمومي المداري $l=5$. فعلياً يبلغ العدد الكلّي لهذه الحالات 22 إلكتروناً: $2(2l+1)=22$. يمكننا القول الآن وبثقة أنّ المجسم المتعدد الأوجه "المشطوفة" يختلف عن الكرة ويتصف بدرجة تناظر أخفض.

السؤال الرابع : (15) درجة (5 درجات لحساب q و 5 درجات لحساب عدد الذرات و5 درجات لحساب نصف القطر) ملاحظة: تحذف درجة فقط للجواب الخاطئ.

لدينا الأنبوب الكربوني متجه اللف له يعطى بالمعادلة ($\vec{C} = 7\vec{a_1} + 11\vec{a_2}$).احسب عدد المضلعات السداسية في حدة الخلية N ونصف قطر الإنبوب 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)

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

حيث l اكبر قاسم مشترك للعددين الصحيحين n و m.

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

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

n-m= 7-11=-5→ 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

ويُعطى نصف قطر الأنبوب، R، بالعلاقة الآتية:

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

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

A to Z

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 ألمنيوم **AlGaAs** على طبقة زرنيخيد الغاليوم **GaAs**.

الإنماء الفوقي بالحزمة الجزيئية MBE

يمكن تحقيق طريقة الإنماء الفوقي بمساعدة الحزمة الجزيئية MBE في خلاء عالٍ حيث توجّه 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 ألمنيوم AlGaAs 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.

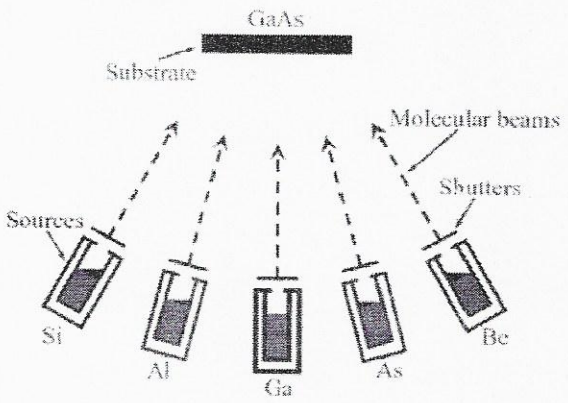
٢ • وهنا تُشكّل العناصر المتبخرة حزماً تُضبط وتُعاير بحيث تتدفق على التوازي وتوجّه بإحكام وبشكل منفصل نحو سطح الركيزة، كما يوضح الشكل .

٣ ❖ تبلغ كثافات التدفق النموذجية في الحزم من 10^{14} atoms.cm^{-2}.s^{-1} إلى 10^{16} atoms.cm^{-2}.s^{-1}.

٤ ❖ فضلاً عن أنه يُحافَظُ على درجة حرارة الركيزة بحيث تبقى عند درجة منخفضة نسبياً (نحو 600 °C) من أجل GaAs) حيث تكون كثافات العناصر في الحزم كبيرة، مما يضمن نمواً فعّالاً 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 AlGaAs/GaAs المتغايرة

A to Z

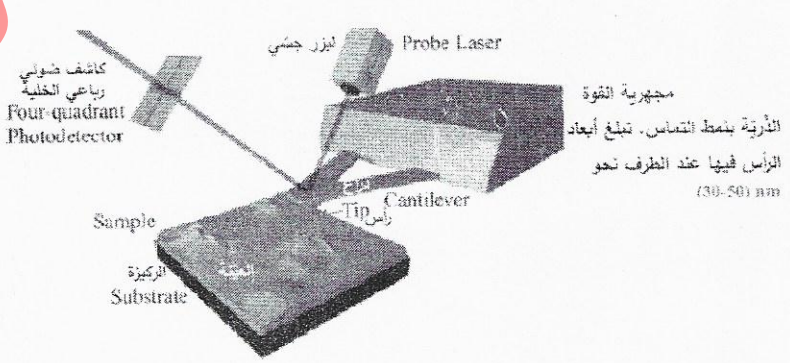
السؤال السادس: (10) درجة

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، درجاتان لذكر قسمين ودرجتان لذكرالآلية مع الرسم في حال الرسم الصحيح مع التوضيحات الصحيحة عليه ينال الطالب درجة هذا الطلب من السؤال كاملا)**

A to Z

مجهر القوة الذرية Atomic-Force Microscopy (AFM)

- تقيس AFM القوة الناشئة بين سطح العينة ورأس دقيق للغاية؛ حيث تُقاس هذه القوة:
  - إما عبر تسجيل انحناء ذراع Cantilever يُثبّت عليه الرأس (وهذا ما يسمى بالقياس بنمط التماس Contact Mode)
  - وإمّا بقياس التغيّر 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 بالعيّنة بحيث يمكن القول وبقوة أن صور AFM تُظهر سطح هذا الأكسيد عادة.



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

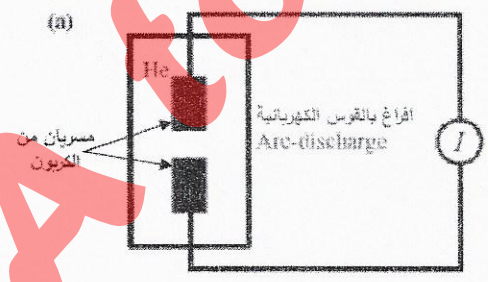
- يتصل بالذراع ذي البعد المكرومتري رأسٌ حادّ للغاية يبلغ بعده عند نهايته من 30 nm إلى 50 nm.
- وثمة حزمة ليزرية مجسّية منخفضة الاستطاعة تنعكس عن سطح الذراع متجهة نحو كاشف فوتوني رباعي التوضع (أربع كواشف فوتونية تقع في أربعة مربعات متجاورة) يُسجّل موضع الحزمة المنعكسة:
- يُلاحظ أنه لا توجد ضرورة لأن تتراصف الحزمة الجسّية 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 يمسح كامل السطح شبكياً أي طولاً وعرضاً (أو العيّنة 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 الانماء 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 ▪ تُبخَّر ذرات الكربون في الانفراغ بالقوس الكهربائي بمساعدة بلازما غاز الهليوم الذي يقدح نتيجة تدفق تيارات عالية عبر مصعد ومهبط متقابلين مصنوعين من الكربون، كما يوضح الشكل



٢ ▪ يُعدُّ تبخر ذرات الكربون في الانفراغ بالقوس الكهربائي عمليةً لامتوازنة بامتياز، ولذلك فإن هذه الذرات ستتعرض لتكثُّف متتال في درجات حرارة (3000 K) أخفض من نقطة انصهار الغرافيت فتتشكل أنابيب الكربون النانوية نتيجة هذه العملية.

٣ ▪ تمتلك الأنابيب النانوية المنسوجة المتعددة الجُدُر 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 فاندرفالسية عادة وتشكل معاً رزماً قوية (شديدة الترابط).

٥ ▪ يجب توافر محفّز 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 محفّز الكوبالت في حجرة الانفراغ. إذ تتولد بنتيجة ذلك أنابيب نانوية أحادية الجدار وافرة في مادة السُخام ("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 محفّز النيكل).

A to Z

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 (جهري) Macromolecule **يتألف** من عدة وحدات بلمرة Polymer Blocks **يمكنها** عادة أن تنمو بعدة خطوات، والشكل (5-28) يوضح مثالاً على 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 (هيدركربون 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 المُنمنمة.

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

مدرس المقرر :د.م.علاء محمد صبح

A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الفيزياء

امتحان النظري
علم النانو وتطبيقاته
مدة الامتحان :

السنة الرابعة
الدرجة :تسعون
اسم الطالب :

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (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 مسدس يحتوي ذرتي 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

مع أطيب التمنيات بالتوفيق والنجاح

مدرس المقرر
د.م.علاء محمد صبح

A to Z

جامعة طرطوس
كلية العلوم-قسم الفيزياء

سلم امتحان النظري
لمقررعلم النانو وتطبيقاته

السنة الرابعة
الدرجة :تسعون

اجب عن الأسئلة التالية بالترتيب:

السؤال الاول : (20) درجة

وضح كلاً من المواد المتوافقة والمتباينة شبكياً. **(5 درجات لكل تعريف و5درجات لذكر خاصيتين لكل منهما فقط يعامل الرسم التوضيحي معاملة خاصية)**

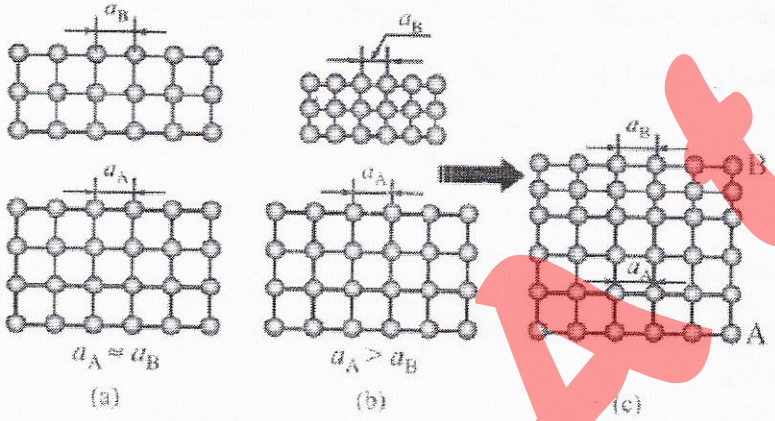
المواد المتوافقة– شبكيا

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 إنماء تراكيب متغايرة بجودة عالية بمثل 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 تخريب سريع وواسع الانتشار للبنية. يوضح الشكل (4-16a) طبقة B مواءمة– شبكياً على ركيزة A. من المتوقع أن تُنمّى الطبقة على الركيزة إذا انتمت مادتهما إلى نفس المجموعة وكانت طاقات الارتباط فيهما والبنى البلّورية لهما متشابهة جداً.

تُعدُّ المنظومة AlGaAs/GaAs مثالاً لمادة مواءمة– شبكياً. فهذه المنظومة تتصف بتباينٍ صغيرٍ جداً في ثوابت الشبكة البلورية، حيث يبلغ نحو 0.1% فقط، في كامل مجال النسب الممكنة للألمنيوم Al إلى الغاليوم Ga في AlGaAs؛

- وبالنتيجة، يمكن إنماء مثل هذه التراكيب المتغايرة بحيث تكون خالية من الانفعال الميكانيكي والنواقص (كالعيوب مثلاً) الكبيرة.
- ومن ثمّ تؤمن هذه التراكيب طريقةً عمليةً "لحياكة" بنى عصابات طاقة.
- وإلى جانب هذه الوسطاء الإلكترونية المُحاكة يمكن لخصائص المرونة والخصائص الشبكية البلّورية الأخرى أن تكون مختلفةً في الطبقات المكوّنة لهكذا تركيبٍ متغايرٍ متوافقٍ– شبكياً.



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

A to Z

المواد المتباينة شبكياً :

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

- إذا حاولنا مواءمة هذه الشبكات البلّورية فإنّ انفعالاً ما يتولد في مستوي الإلتحام وينشأ عدم انتظام على طول محور الإلتحام؛ فنحصل بنتيجة ذلك على طبقة منفعلة بتشوهٍ شبكي ما.
- ويمكن أيضاً توصيف التركيب المتباين– شبكياً بالتباين النسبي، a_m، بين ثابتي الشبكتين البلّوريتين للركيزة، a_A، والطبقة الفوقية، a_B:

$$a_m = \frac{a_A - a_B}{a_A}. \qquad (23\text{-}4)$$

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

يُعرّف هذا الانزياح كيفية انتقال أي نقطة شبكة $\vec{r}$ إلى موقعٍ جديدٍ $\vec{r}' = \vec{r} + \vec{u}$، بنتيجة التشوه حيث يمكن أن تتشوه مناطق مختلفة من البلّورة بطرائق مختلفة. إذن، يتعلق التشوه بالإحداثيات؛ $\vec{u} = \vec{u}(\vec{r})$؛ فالتشوه ليس متجانساً.

في الواقع، المهم هنا الانزياحات النسبية فقط، فهي تتعيّن بتنسور التشوه الآتي:

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

والتنسور u_{ij} يمتلك المركبات الآتية:

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

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 لتنسور الانزياح u_{ij}، التي بمقدورها أن تُعيّن تغيراً في حجم البلّورة من V إلى V' ناتجاً من الانفعال (التشوه النسبي) الذي تعرّضت له:

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

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 مسدس 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 جهرياً على غرار أنصاف النواقل الحجمية التي أستخدمت؛ كمشابه لتراكيب نانوية نصف ناقلة عادية. إذن، لدراسة بنية أنابيب الكربون النانوية لا بد 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،

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

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

2- حل المسألة

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

حيث l اكبر قاسم مشترك للعددين الصحيحين n و m.

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

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

n-m= 8-7=1 → q=1

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

بمأن كل مسدس 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. **(9درجات لذكر الخطوات الثلاث و6 درجات للشرح الموجز (سواء كتابة ما يتم في كل خطوة أو ذكر المعادلات التوضيحية))**

A to Z

إنماء البلورة الأحادية Single-Crystal Growth

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

a) الحصول على سيليكون من **المرتبة الفلزية** (مستوى الشوائب فيه يبلغ نحو $5\times10^{16}\ cm^{-3}$)؛

♥ ينتج السيليكون من المرتبة الفلزية عادةً من التفاعل الكيميائي لثنائي أكسيد السيليكون (SiO_2) مع الكربون (C) على شكل فحم الكوك Coke:

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO \quad (1\text{-}5)$$

الذي يتطلب **درجة حرارة عالية** (نحو 1800 °C).

م الكوك هو فحم حجري يُستخرج 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 الفلزية؛ **كالحصول على الفولاذ عديم الصدأ** Stainless Steel.

b) تحسين المادة الأخيرة لتصبح سيليكوناً من **المرتبة الإلكترونية** (اختزال مستوى الشوائب فيه إلى نحو $5\times10^{13}\ cm^{-3}$ أو أقل)؛

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

$$Si + HCl \rightarrow HSiCl_3 + H_2 \quad (2\text{-}5)$$

نحصل في هذه الحالة على **ثلاثي كلوريد السيلان** $HSiCl_3$ الذي يكون في الحالة النموذجية **سائلاً بنقطة غليان** تبلغ 32 °C. **وتوجد إلى جانب** $HSiCl_3$ وبأن معاً كلوريدات أخرى من الشوائب؛ كأن تتشكل **كلوريدات أخرى مثل** $FeCl_3$. وطالما أن نقطتي غليانهما مختلفتان فيمكن تطبيق تقنية التقطير التفاضلية البسيطة Simple Fractional Distillation Technique:

إذ يُسخّن مزيج الـ $HSiCl_3$ وكلوريدات الشوائب الأخرى ثم تُكثّف في سلسلة من أعمدة التقطير Distillation Towers عند درجات حرارة مناسبة. وبوساطة هذه التقنية ينفصل ثلاثي كلوريد السيلان $HSiCl_3$ عن الشوائب.

♥ وبعد ذلك يحوّل التفاعل الآتي مع H_2 ثلاثي كلوريد السيلان إلى سيليكون **من المرتبة الإلكترونية عالي النقاوة:**

$$2HSiCl_3 + 2H_2 \rightarrow 2Si + 6HCl \quad (3\text{-}5)$$

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

c) تحويل المادة السيليكونية من المرتبة الإلكترونية إلى **صبّات Ingots** سيليكونية Si أحادية التبلور.

♥ يقوم الإجراء النهائي الذي يحوّل السيليكون المتعدد التبلور إلى صبّات سيليكونية Si أحادية التبلور على **طريقة تشوكرالسكي** Czochralski Method.

في هذه الطريقة ثمة بذرة بلورية سيليكونية Seed Si Crystal **تؤمن قالباً** 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 لذكر الطرق الثلاث)**

ملاحظة: في حال ذكر الطالب تعداد فقط ينال درجتان، ذكر تعدادان ينال ٤ أربع درجات

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

١) **الإنماء الفوقي بالحزمة الجزيئية** Molecular-Beam Epitaxy (MBE)،

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

٣) **الإنماء الفوقي من الطور السائل** Liquid-Phase Epitaxy (LPE).

السؤال الخامس: (10) درجة

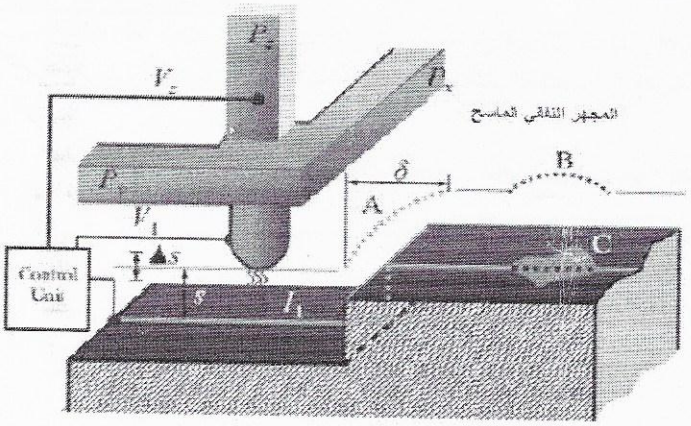
يعتبر المجهر الإلكتروني النفقي الماسح من المجاهر المستخدمة في توصيف التراكيب النانومترية، لماذا يستخدم؟ عدد أقسامه و عدد خصائص تيار النفق. **(درجتان للاستخدام و 5درجات لذكر الأقسام (الرسم عليه الأقسام يعتبر صحيحاً)و3 درجات لذكر الخصائص)**

المجهر الإلكتروني النفقي الماسح Scanning Tunneling Microscopy:

الف) تسمح هذه التقنية الحديثة بدراسة: **الطبولوجية السطحية** *Surface Topologies* للعينة (الوصف التفصيلي للتضاريس والسمات السطحية الطبيعية والصنعية) **وتغيرات تابع العمل** *Work-Function Profiles* على مستوى التدريج 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)،
- **سوّاقة الضغاطية** *Piezodrive* ذات أذرع متعامدة أشير إليها بالرموز P_x ، و 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 لتركيب المادة وانفعالها**

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

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)**

A to Z

طريقة الترسيب الكيميائي من الطّور البخاري Chemical-Vapor Deposition

تشمل عملية الإنماء:

- **تسخين مادة التحفيز** إلى درجات حرارة عالية في فرنٍ له شكل الأنبوب،
- **ثم تمرير غازٍ** مؤلفٍ من كربون الهيدروجين عبر مفاعل الأنبوب لفترة من الزمن.
- **تتجمّع المواد المتنامية على المُحفّز** بُعيْد تبريد الجملة إلى درجة حرارة الغرفة.
- **وسطاء ضبط إنماء** أنبوب نانوي **هي**
  - → الهيدروكربونات C_nH_m،
  - → والمُحفّزات،
  - → ودرجة حرارة النمو $\sim (500-1000)°C$.

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 و8 درجات للتوضيح)**

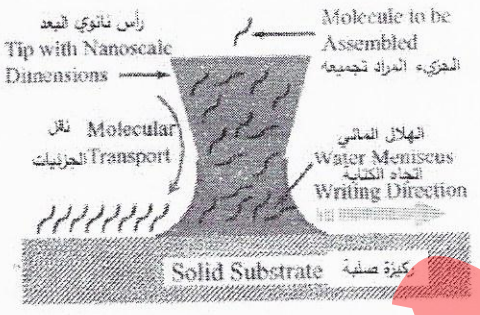
الطباعة الحجرية النانوية بالقلم المغموس Dip-Pen Nanolithography:

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

- أكسدة تراكيب نانوية،
- أو كشطها (سحجها)،
- أو تنميشها على أسطح مادية.

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

- رسم هندسي يستخدم مجساً ماسحاً للكتابة المباشرة يُستعمل فيه رأس مجهر القوة الذرية AFM لإطلاق 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 المادي التماسي حيث تُعزى كلمة "تماسي" إلى



الشكل (41-5): عنصر "الكتابة" الرئيسي لجملة مطبوعة ضوئياً بقلم مغموس؛ عنصر "الكتابة" هذا نانوي التركيب ويؤلف، من رأسٍ نانوي البعد، ترسّب السوائل المتدفقة على سطح الرأس على سطح ركيزة في منطقة

المركّب الكيميائي للتراكيب النانوية التي يمكن تصنيعها.

تُصنّع التراكيب النانوية من زبيطات عضوية

مدرس المقرر :د.م.علاء محمد صبح