

الجزء الثالث

الباب التاسع

Solid-State Physics فيزياء الجوامد

٩ - ١ مقدمة :

تتركب المادة فى حالاتها المعروفة غازية ، سائلة ، صلبة من ذرات وجزيئات دائمة الحركة ، ويربط بينها قوى تكون صغيرة جدا فى حالة الغازات ، وتكون أكبر فى حالة السوائل بينما هى فى الأجسام الصلبة قوى كبيرة جدا ، تحفظ للجسم شكله وحجمه . ونظرا لصغر هذه القوى فى الغازات والسوائل فإن جزيئاتها تتحرك عشوائيا ، ولا يكون هناك ترتيب منتظم لها . بينما فى حالة الأجسام الصلبة فهى نوعان :

أ - مواد صلبة بلورية crystalline وهى التى تترتب ذراتها بانتظام على شكل خلايا تتكرر فى الاتجاهات الصلبة X, Y , Z لتكون الجسم .

ب - مواد صلبة غير بلورية amorphous مثل الزجاج الذى يعتبر فى معظم الأحوال كأنه سائل فوق مبرد super cooled liquid .

٩ - ٢ قوى الترابط Binding forces بين الذرات :

أ - قوى جاذبة : Attractive force :

١ - قوى كولومية Couomb forces تنتج من تجاذب الشحنات الكهربائية المختلفة .

٢ - قوى فاندرفال Vander Waal تنتج عن تجاذب ثنائى القطب الكهربائى .

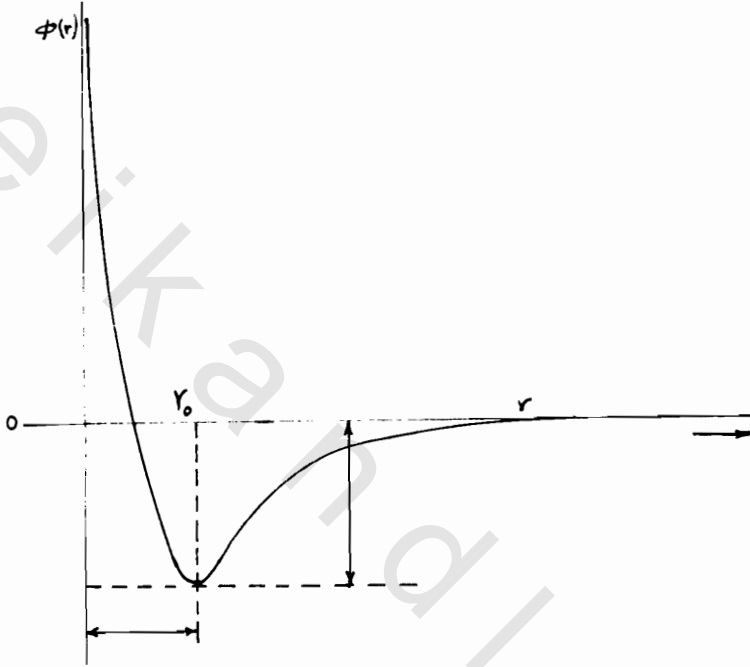
٣ - قوى تبادل exchange forces تنشأ عن الارتباط الكيميائى واشتراك الإلكترون بين ذرتين .

ب - قوى نافرة Repulsion forces :

ونوعها كولومى وتنتج من تنافر السحب الإلكترونية عندما تقترب ذرتان من بعضهما

بدرجة كبيرة .

منحنى طاقة الموضع : Potential energy curve



شكل (٩ - ١)

باعتبار القوى السابقة نجد أن طاقة الموضع لذرتين متجاورتين تتغير مع المسافة

بينهما حسب شكل (٩-١) .

وقد وضع Mie شكل التغير لطاقة الموضع مع المسافة بين الذرتين على الشكل الآتى:

$$\phi(r) = -\frac{a}{r^m} + \frac{b}{r^n}$$

حيث a, b ثوابت والحد الأول يمثل القوى الجاذبة والحد الثانى يمثل القوى الطاردة

وتتغير قيم m , n حسب الحالة فمثلا فى حالة البلورات الأيونية تكون $m = 1$ وبالنسبة

للبلورات الجزيئية تكون $m = 6$ Molecular crystals

أنواع الجوامد المتبلورة :

١ - البلورات الأيونية Ionic crystals :

مثل كلوريد الصوديوم $NaCl$. لذرة الصوديوم إلكترون واحد فى مساره الخارجى

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ إذا أزيل هذا الإلكترون فإن ذرة الصوديوم يكون تركيبها

الإلكترونى مثل ذرة النيون $1s^2 2s^2 2p^6$ وهذا التركيب أكثر استقرارا .

إذا نظرنا إلى ذرة الكلور $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ نجد أنه ينقصها إلكترون

واحد لتصبح مثل ذرة الأرجون (18) A الأكثر استقرارا .

لذلك فإن اتحاد ذرتى الصوديوم والكلور يكون سريعا ، ويكون الملح الصلب المتكون

على الشكل الأيونى .

ولكن نحفظ للجسم الصلب تعادله الكهربائى ، لذلك يجب أن تتراص أيونات الصوديوم

والكلور Na^+ , Cl^- تبادليا فى أى اتجاه ، أى أن كل أيون صوديوم يحيط به ستة أيونات

كلور كأقرب جيران nearest neighbors .

وتكون قوى الترابط الرئيسية فى هذا التركيب هى قوى كولومية بين الشحنات السالبة

والموجبة .

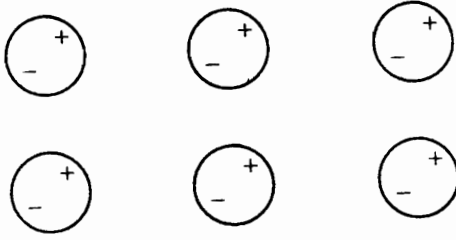
٢ البلورات الجزيئية Molecular crystal :

يكون الترابط هنا بقوى فاندرفال .

جميع ذرات البلورة تكون متشابهة ومتعادلة . تحمل كل ذرة شحنات موجبة فى النواه

وسالبة حولها ، وهذا يشبه بشكل ما ثنائى قطب كهربائى electric dipole حيث تترتب

الذرات والجزيئات كما فى شكل ٩ - ٢ ، بحيث تكون الشحنات المختلفة أقرب ما يمكن



شكل (٩ - ٢)

وتكون القوى الكهربائية المحصلة هي الفرق بين قوى التجاذب والتنافر بين الشحنات المختلفة والمتشابهة ، ويكون الجذب أكبر قليلا من الطرد لقرب الشحنات المختلفة عن الشحنات المتماثلة .

يكون الترابط هنا ضعيفا ، ولذلك فإن درجة انصهار مثل هذه المواد (كالشمع مثلا) يكون صغيرا حيث إن رفع الحرارة وما يتبعه من تهيج حرارى thermal agitation يسبب كسر الحالة الصلبة إلى سائلة .

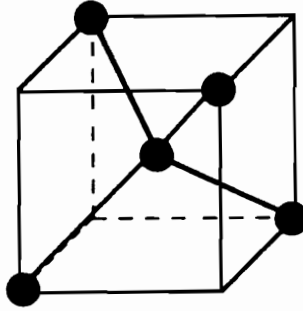
٣ - البلورات التساهمية covalent crystals :

فى هذه البلورات تكون الكثافة الكهربائية بين الذرات المتجاورة كبيرة وتشارك الإلكترونات فى الذرات المتجاورة .

من المعروف أننا نحصل على تركيب إلكتروني مستقر إذا استوفت الذرة عدد $2n^2$ إلكترون فى الغلاف الخارجى لها .

فى ذرة الكربون مثلا $2p^2 2s^2 1s^2$ يمكن لها أن تأخذ ٤ إلكترونات لتشبيح غلافها الثانى . فإذا كان لكل ذرة كربون أربعة ذرات كأقرب جيران يمكن أن تشارك كل

ذرتين متجاورتين فى إلكترونين ، وتصبح بذلك جميع ذرات الكربون فى الجسم الصلب ،
وكأن بغلافها الخارجى عدد ٨ الكترونات وليس أربعة فقط ، وهذا وضع مستقر .



شكل (٣-٩)

شكل (٣-٩)

وتنشأ من هنا قوى ترابط غاية فى القوة كما فى حالة شبكية الماس ، شكل (٣-٩).

٤ - البلورات الفلزية :

تتميز الفلزات بعدد صغير من الإلكترونات فى اغلفتها الخارجية . وتعطى ذرات الفلز
هذه الإلكترونات الخارجية لتكوين سحابة من الشحنات السالبة تحيط بأيونات هذه الذرات ،
ويعود ذلك لضعف الرابطة بين هذه الإلكترونات الخارجية وبين الذرات التابعة لها .

وتكون قوى التجاذب بين الأيونات والسحابة الإلكترونية هى القوى الأساسية للترابط
بين ذرات الفلز ، الذى يمكن تصويره على أنه رصة منتظمة من الأيونات الموجبة يحيط بها
سحابة من الإلكترونات .

ولما كانت الرابطة هنا بين الأيون والسحابة الإلكترونية المحيطة ، لذلك تتميز الرابطة
فى الفلزات بأنها مطاطة flexible ، ويعود هذا الاختلاف إلى عدم وجود ربط مباشر بين
الذرات وبعضها ، كما فى الحالات السابقة .

ويلاحظ هنا أيضا أن السحابة الإلكترونية فى الفلزات تعطى لها خواصا مميزة مثل

التوصيل الكهربائي والحرارى الجيد وكذلك لعة السطح الخارجى .

: التركيب البلورى Crystal Structure space lattice

تعريف الشبكة الفراغية :

إذا ترتب فى الفراغ عدد لا نهائى من النقط ، بحيث يكون لكل نقطة نفس الجيران

identical surroudings فإنها تكون شبكة فراغية . لكل نقطة فيها نفس عدد الجيران

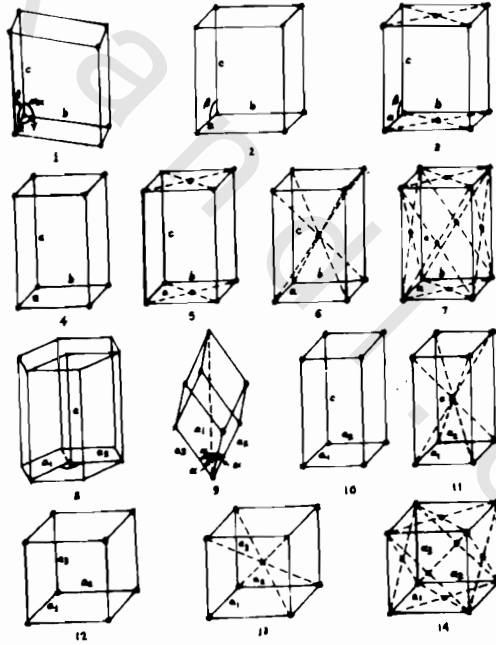
على نفس الأبعاد والاتجاهات .

عدد التناسق . p coordinaion number هو عدد اقرب جيران .

شبيكات برافية الأربعة عشر The 14 - Bravais lattices :

يوجد فقط أربعة عشر طريقة يمكن بواسطتها ترتيب أى عدد من النقط ، بحيث

تستوفى شروط تكوين الشبكة ، شكل (٩ - ٤)



شكل (٩ - ٤)

لكل طريقة من هذه الطرق تتحدد وحدة خلية unit cell عندما تتكرر هذه الوحدة في الاتجاهات الفراغية الثلاثة X, Y, Z نحصل على الجسم .

وحدة الخلية هي أصغر منشور أو متوازي مستطيلات توجد عند كل ركن من أركانها نقطة شبكية lattice point .

المجاميع البلورية . وحدة الخلية Crystal systems & unit cells :

عدد المجاميع سبعة وأساسها محاور ثلاثة X, Y, Z تميل بزوايا α . β . φ . تؤخذ عادة هذه المحاور على أنها خطوط تقاطع الثلاثة أوجه الأساسية للبلورة ، والتي توازي مستويات التماثل planes of symmetry في البلورة إذا كانت تحتوي أياها .

المجاميع السبعة هي :-

1) Triclinic $\alpha \neq 90, \beta \neq 90, \varphi \neq 90$

$$c < a < b$$

2) Monoclinic $\alpha = \varphi = 90, \beta \neq 90$

$$c < a, \quad b \text{ arbitrary}$$

3) Ortho rhombic $\alpha = \beta = \varphi = 90$

$$c < a < b$$

4) Tetragonal $\alpha = \beta = \varphi = 90$

$$c = b \neq a$$

5) Hexagonal $\alpha = \beta = 90, \varphi = 120$

$$a = b, \quad c \text{ arbitrary}$$

6) cubic $\alpha = \beta = \varphi = 90$

$$a = b = c$$

7) Trigonal $\alpha = \beta = \varphi \neq 90$

$$a = b = c$$

تعيين أبعاد وحدة الخلية بمعرفة الكثافة والتركيـب البلورى للمادة :

تتبلور معظم الفلزات بترتيب ذرى بسيط هو عادة f.c.c. تكعيبي متمركز الوجه أو تكعيبي متمركز الجسم b.c.c أو h.c.p سداسى .

ومن أمثلة بلورات b.c.c : Fe, Cr, V, Na, K

وبلورات f.c.c. : Au - Pt - Al - Cu

وبلورات h.c.p. : Mg - Cd - Zn

فى حالة وحدة الخلية التكعيبية cubic cells يمكن تعيين أبعادها بمعرفة الكثافة d وعدد الذرات فى الخلية .

مثلا : كثافة الحديد = 7.94 g/c.c

الوزن الذرى للحديد = 55.85

كتلة ذرة الأيدروجين = $1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$

يتبلور الحديد على الشكل b. c . c.

عدد الذرات فى وحدة الخلية = 2

حجم الخلية = a^3

حيث a هو طول ضلع الخلية lattice parameter

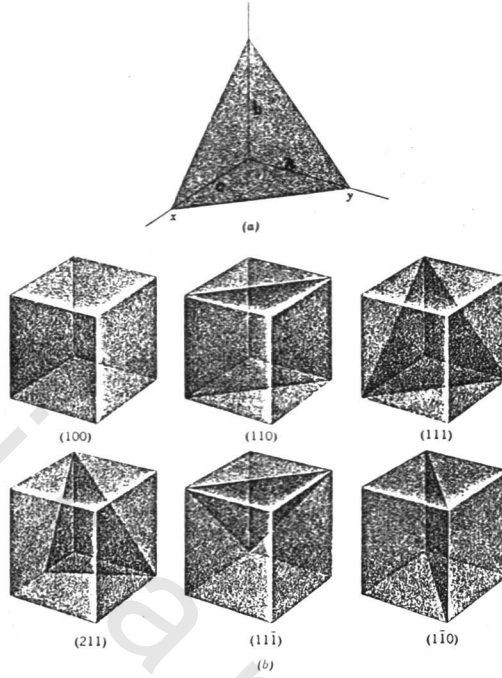
$$\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} = \text{الكثافة}$$

$$\therefore 7.94 = \frac{1.66 \times 10^{-24} \times 2 \times 55.85}{a^3}$$

$$\therefore a = 2.86 \times 10^8 \text{ cm}$$

معاملات ميلر Miller indices :

تستعمل معاملات ميلر لتعريف الشبيكه فى حالة المحاور المتعامدة فقط وهدفها اعطاء وصف كامل لأى مستوى أو اتجاه فى الفراغ .



شكل (٩ - ٥)

لتعريف أى مستوى نفرض أنه يقطع المحاور x, y, z فى a, b, c نوجد مقلوبات لهذه الأعداد فنحصل على $\frac{1}{a}, \frac{1}{b}, \frac{1}{c}$ وبالتوحيد المقامات تصبح

وبإزالة المقامات يكون المستوى قد تعرف بالمعاملات $(h \ k \ l)$ وهى التى يطلق عليها اسم معاملات ميلر ، ويبين شكل (٩ - ٥) بعض المستويات الأساسية فى الشبكة التكعبية .

لتعريف اتجاه فى الفراغ نفرض وجود متجه طوله اختيارى يتجه فى نفس الاتجاه المطلوب تحديده . نوجد مساقط هذا المتجه على المحاور x, y, z ونوجد أصغر مجموعة أعداد صحيحة تتناسب مع هذه المساقط ، ولتكن $(h \ k \ l)$ وهذه تمثل الاتجاه .
ويلاحظ أن معاملات ميلر لتعريف أى اتجاه هى نفسها المعاملات التى تعرف المستوى

العمودى على هذا الاتجاه .

- عدد مجاميع المستويات sets of planes التى لها نفس معاملات ميلر .
- ١ - إذا كانت المعاملات كلها مختلفة عدديا مثل (321) فإن عدد المجاميع يكون ٢٤ .
 - ٢ - إذا تساوى معاملان مثل (211) فإن عدد المجاميع يصبح ١٢ .
 - ٣ - إذا تساوى جميع المعاملات مثل (111) فإن عدد المجاميع يصبح ٤ .
 - ٤ - إذا كان أحد المعاملات صفراً وتساوى الآخران مثل (110) يكون عدد المجاميع

٦

- ٥ - إذا كان معاملان من الثلاثة صفرياً نحصل على ٣ مجاميع فقط .
- المسافة العمودية بين مستويين متتاليين فى مجموعة معينة (h k l) تعطى بالمعادلة :
- $$d(hkl) = a / \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$
- حيث a هو طول ضلع المكعب لوحدة الخلية ويسمى lattice parameter .

الزاوية θ بين الاتجاهين $u_1 v_1 w_1$ ، $u_2 v_2 w_2$ هى :

$$\cos \theta = \frac{u_1 u_2 + v_1 v_2 + w_1 w_2}{\left(u_1^2 + v_1^2 + w_1^2 \right)^{1/2} \left(u_2^2 + v_2^2 + w_2^2 \right)^{1/2}}$$

تعريفات فى التركيبات البسيطة :

- ١ - عدد التناسق : هو عدد أقرب جيران .
- ٢ - نصف قطر الذرة : هو نصف المسافة بين أقرب ذرتين متجاورتين فى بلورة من العنصر النقى بدلالة طول ضلع الخلية .
- ٣ - الكثافة النسبية للرص : هى النسبة بين الحجم الذى يشغله الكرات التى تمثل الذرات فى الخلية إلى الحجم الكلى للخلية . ويبين الجدول التالى بعض بيانات عن التركيبات البلورية المعتادة

structure	s.c.	b.c.c.	f.c.c. h.c.p.	diamond
coordination No.	6	8	12	4
Atomic radius (a = cubic edge)	$a/2$	$a\sqrt{3}/4$	$a\sqrt{2}/4$	$a\sqrt{3}/8$
Atoms per unit cube	1	2	4	8
Density of packing	$\pi/6$ 52 %	$\pi\sqrt{3}/8$ 68 %	$\pi\sqrt{2}/6$ 74 %	$\pi\sqrt{3}/16$ 34 %

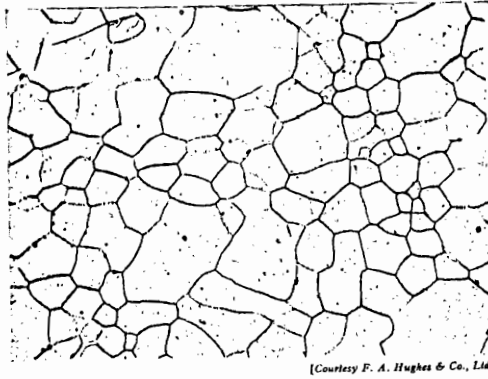
الإنماء البلوري

عندما يبدأ مصهور فلز في التجمد تثبت درجة حرارته ، حتى يتم تحوله من الطور السائل إلى الطور الجامد مع خروج الحرارة الكامنة في عملية التحول . تظهر تلقائيا في أماكن مختلفة من المصهور نويات بلورية ، تأخذ في النمو على شكل دندريت كلما ازداد التحول إلى الطور الجامد ، ويكون ذلك النمو على حساب السائل المحيط وتستمر عملية النمو حتى يتم التحول إلى الطور الجامد .

ويأخذ الدندريت شكل أفرع طويلة يقف نموها إذا ما تلامست مع دندريت آخر تختلف فيه اتجاهات المستويات الذرية ، وبنهاية التجمد تكون أسطح التلامس بين هذه الدندريبات حدودا حبيبية Grain boundaries في مادة متعددة الحبيبات poly crystalline . انظر شكل (٩ - ٦) ويعرف حاليا الحد الحبيبي بأنه سطح يحتوي انخلاعات 2-D array of dislocations .

عندما تكون عدد النويات التي يتجمد عليها السائل قليلة يكون الحجم الحبيبي كبيرا ، وإن كان ذلك لا يحدث تلقائيا .

ولكى نحصل على بلورة أحادية من مادة ما يجب أن تعالج حراريا بطرق خاصة بالإنماء البلوري ، تتوقف الطريقة على المادة المراد تحضير بلورة أحادية لها .



شكل (٩ - ٦)

١ - الإنماء البلورى من المحاليل المائية :

تستخدم هذه الطريقة لتحضير بلورات المواد العضوية وغير العضوية ، وفيها نحتاج لتحضير محلول مائى فوق مشبع يترك لترسب فيه بلورات أحادية ، كما هو الحال عند تحضير بلورات السكر أو الملح . وإذا أردنا تحضير بلورة أحادية لها اتجاهات بلورية معينة ، نبدأ النمو ببذرة بلورة seed crystal معلومة الاتجاهات توضع فى السائل فوق المشبع ، فتتكون بلورة كبيرة لها نفس اتجاهات البذرة . وتصلح هذه الطريقة لتنمية بلورات من الهاليدات القلوية وملح روثيل .

٢ - الإنماء البلورى من المحاليل الصلبة :

ليس من الضرورى أن يكون المحلول مائيا لتحضير بلورة منه فالمحاليل الصلبة أيضا تعطى بلورات (كما فى حالة الياقوت الأحمر " الروبى ") وذلك باستعمال مذيبات نقط انصهارها مرتفعة . والجهاز المستخدم فى التحضير بسيط ، ويتركب من بوتقة من البلاتين توضع داخل فرن على قاعدة دورانية لتنظيم درجة حرارة المصهور داخلها ، ويكون دوران القاعدة فى كلا الاتجاهين ليتم خلط جميع المكونات بها . توضع المواد داخل البوتقة ويسخن الفرن كهربائيا حتى تنصهر وتذوب وبعد خلط المصهور جيدا تخفض درجة الفرن

تدرجياً بمعدل ثابت حوالى ٤ م في الساعة وتستمر عملية خفض الدرجة لمدة أيام ، وفى النهاية تذاب المواد المتجمدة فى البوتقة لاستخراج البلورات التى تكون قد تكونت أثناء عملية التبريد البطيء ، والمواد الابتدائية اللازمة لتحضير بلورات الياقوت الأحمر هى كالاتى :

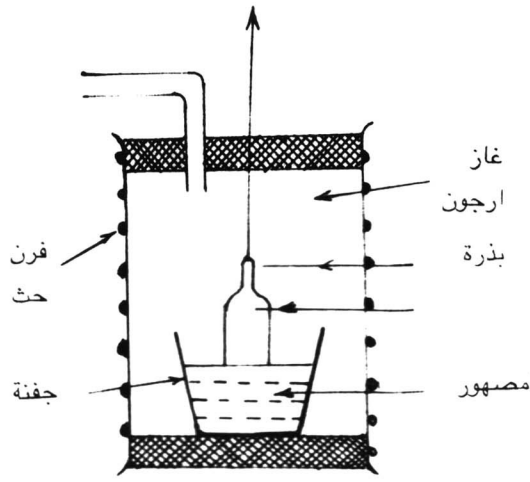
- ١ - أكسيد رصاص pb O (٥٠٠٠ جم) .
- ٢ - أكسيد البورون B₂O₃ (٤٠٠ جم) .
- ٣ - أكسيد الألومنيوم Al₂O₃ (٧٤٠ جم) .
- ٤ - أكسيد الكروم Cr₂O₃ (١٠ جم) .

٣ - الإنماء البلورى عن طريق الضغط والحرارة :

تستخدم هذه الطريقة لتحضير بلورات من الماس ، من المعروف أن الماس يتركب من ذرات كربون ، ولتحويل الكربون النقى فى صورته العادية على شكل جرافيت سداسى البنية إلى ماس تربط بين ذراته روابط تساهمية يوضع الجرافيت النقى فى مكبس قوى يصل ضغطه إلى مليون رطل على البوصة المربعة كما يمكن رفع درجة حرارة أسطوانة الضغط إلى درجات تصل إلى ٢٠٠٠ درجة مئوية عندما ينضغط الجرافيت فى حيز صغير جدا ، ويتحول حينئذ إلى ماس .

٤ - طريقة التنمية من المصهور : Growing from the melt

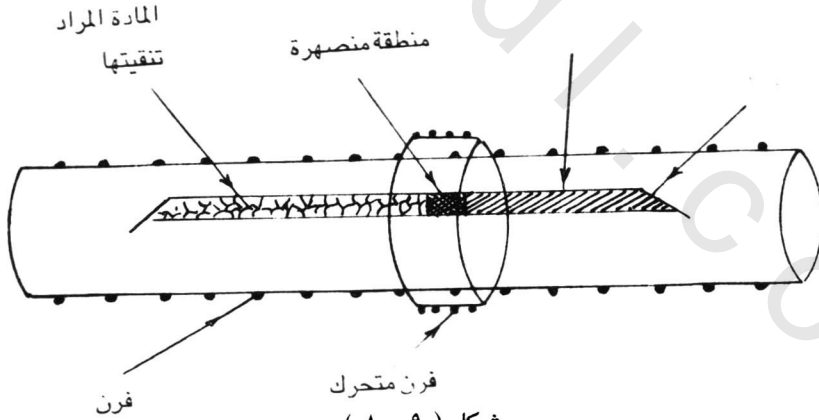
تعتمد هذه الطريقة على غمس بذرة بلورة seed crystal فى مصهور المادة ، ثم بسحبها إلى أعلى ببطء شديد (سرعة حوالى ٢٠ سم فى اليوم) تترتب الذرات عند تجمدها على بذرة البلورة بنفس الترتيب كما فى البذرة ، ونحصل فى النهاية على بلورة كبيرة أحادية single crystal . كما فى شكل (٩ - ٧)



شكل (٩ - ٧)

٥ - طريقة الصهر النطاقي zone - melting method

توضع المادة المتعددة الحبيبات poly - crystalline فيما يشبه قارب من الجرافيت شكل (٩ - ٨) وتوضع عند طرف المادة بذرة البلورة المراد الإنماء عليها . حول القارب يوجد فرن يرفع درجة الحرارة إلى درجة أقل قليلا من نقطة الانصهار للمادة . ثم بواسطة



شكل (٩ - ٨)

فرن صغير آخر يمكن أن ترفع درجة الحرارة في منطقة صغيرة من القارب إلى درجة أعلى قليلا من نقطة الانصهار أى أن هذه المنطقة الصغيرة تتحول إلى مصهور . عند تحريك الفرن الصغير ببطء شديد من ناحية البذرة إلى الطرف الآخر للمادة ، فإننا نحرك المنطقة المنصهرة كذلك ببطء ، وبذلك نعطي الفرصة للذرات لكي تتجمهد عند اتصال المادة بالبذرة بنفس الترتيب المنتظم لها ، وبذلك نحصل في النهاية على بلورة أحادية من المادة .

السبائك ALLOYS :

في هذا الجزء نناقش ماذا يحدث عند إدخال كمية من عنصر في عنصر آخر ، أى عند تكوين الإشباعات والسبائك . لقد وجد هيوم ورذرى Hume - Rutherford إنه إذا أضيف عنصر B لعنصر آخر A تتشوه شكل الشبكة لنويان B في A ، وتعتمد درجة النويان على الفرق بين نصف قطري الذرتين . إذا شغلت الذرة B نقط الشبكة كما الذرة A ، يقال عن الإشباعة أنها تبادلية substitutional alloy ، وإذا كان نصف قطر الذرة المذابة أقل من ٦٠ % من الذرة المذيبة شغلت الذرات المذابة مواقع الفراغات البينية في الشبكة interstitial sites ، ويقال عندئذ عن الإشباعة إنها محلول بينى جامد Interstitial solid solution . (محلول جامد تخلى) .

تتوقف درجة نويان B في A على الطاقة الحرة للنظام ، فتكون الإشباعة في حالة مستقرة إذا كانت الطاقة الحرة أقل ما يمكن ، وتكتب هذه القاعدة على الصورة الترموديناميكية :

$$dF = d(E - TS) = 0$$

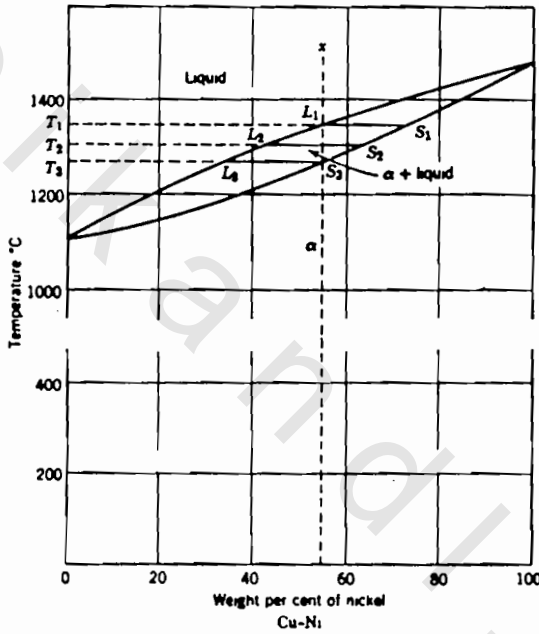
ويلزم مقدار من الطاقة Q لتحريك الذرات والوصول إلى أقل طاقة حرة F في النظام ، وتسمى هذه بطاقة التنشيط activation energy

وتكون سرعة التفاعل هي :

$$r = A e^{-Q/RT}$$

حيث A ثابت ، R هو ثابت الغاز .

يمكن بالحساب تعيين البنية التركيبية للإشابة أو للسبيكة في حالة الاتزان عند درجة حرارة معينة . ويسمى منحنى العلاقة بين درجة تركيز المذاب في المذيب عند درجات الحرارة المختلفة بمنحنى الطور phase diagram . وفيما يلي نعتبر الحالة السهلة التي يكون فيها الذوبان تاما بين العنصرين B & A . كما في حالة النحاس والنيكل المبينة بشكل (٩ - ٩) المنطقة بين المنحنيين تمثل حالة الاتزان بين الجامد والسائل ، ويطلق على المنحنى العلوى liquidus والسفلى solidus ، وبينهما يتزن الطوران الجامد والسائل



شكل (٩ - ٩)

قاعدة ليفر The Lever Rule :

تبين قاعدة ليفر النسبة بين أى

طورين فى إشابة ، إذا علم تركيب

شكل (٩ - ١٠)

الطورين وتركيب السبيكة .

نفرض أن المركبتين B & A (شك ٩ - ١٠) لهما التركيز C & C - 1 على الترتيب.

نفرض أن الإشابة تتركب من طورين (١) & (٢) حيث تركيز المركبة A هو C₁ & C₂ على الترتيب .

نفرض أن نسبة الطور (١) في الإشابة هو x وعلى ذلك تكون نسبة الطور (٢) هو (1 - x) . وإيجاد قيمة x بدلالة تركيز الطورين وتركيز الإشابة (C₁ , C₂ , C) نفرض أن وزن السبيكة كلها W ، يكون وزن المركبة A هو CW ويكون وزن A في الطور (١) هو W C₁ x ووزنه في الطور (٢) هو W C₂ (1 - x) ولكن

$$CW = x C_1 W + (1 - x) C_2 W$$

أى أن :

$$x = \frac{C - C_2}{C_1 - C_2} = \frac{m}{l}$$

$$1 - x = \frac{C_1 - C}{C_1 - C_2} = \frac{n}{l}$$

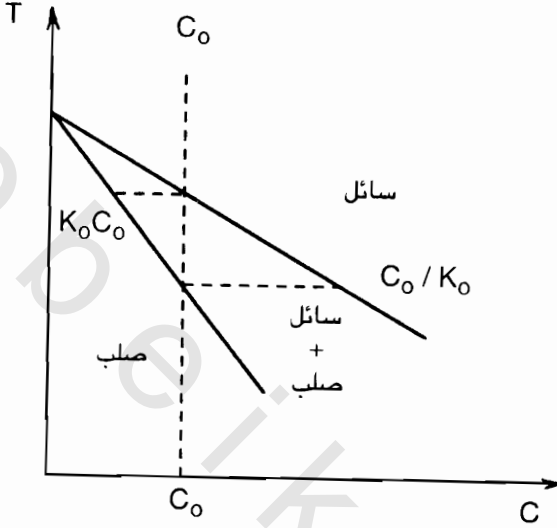
$$\frac{x}{1 - x} = \frac{C - C_2}{C_1 - C} = \frac{m}{n}$$

وتعتبر المعادلات السابقة عن قاعدة ليقر .

تحضير بلورات غاية فى النقاء بتكرار الصهر النطاقي :

يؤثر وجود الشوائب فى المواد الصلبة على خواصها بدرجة كبيرة ، فمثلاً درجة النقاء ٩٩.٩٪ تجعل المسافة بين كل ذرتين شائبتين لا تزيد عن ثمانى أو عشر مسافات ذرية . ولذلك من المهم الحصول على درجات نقاء تقدر بخمس تسعات ٩٩.٩٩٩٪ او اكثر ، ويستخدم لذلك طريقة الصهر النطاقي المستخدمة فى تحضير البلورات الأحادية . من المعروف أن وجود المذيب فى السبائك الثنائية يرفع أو يخفض من درجة تجمد

المذاب .



نفرض أن نقطة تجمد المذيب قد
إنخفضت نتيجة لإدخال المذاب يكون
شكل منحنى الطور كما مبين بشكل
(٩-١١)

حيث K_0 هو معامل توزيع
المذاب ، ويعرف بأنه النسبة بين تركيز
المذاب في المادة الصلبة إلى التركيز
في السائل .

شكل (٩ - ١١) يبين تغير تركيز المذاب مع درجة الحرارة

$$(K_0 < 1)$$

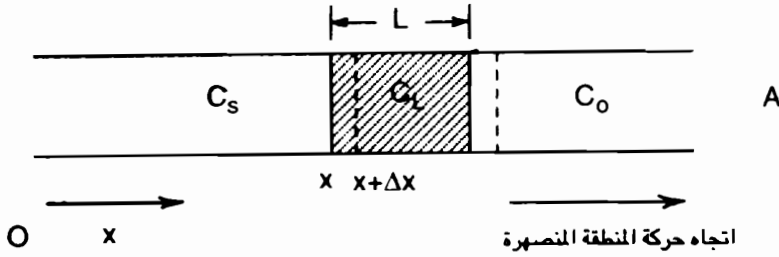
إذا ما تجمد مثل هذا المحلول C_0 فإن تركيز المذاب يكون أكبر ما يمكن في الأجزاء
السائلة قبل أن تتجمد . أى أن الشوائب المذابة تفضل أن تبقى في الحالة السائلة عنها في
الحالة الصلبة .

فعند السطح الفاصل بين المصهور والجامد تختلف نسب توزيع الشوائب بين
الطورين ، ويطلق اسم معامل التوزيع K_0 على النسبة بين تركيز الشوائب المذابة C_S في
الجزء الذى تجمد إلى تركيزها في الجزء السائل C_L . أى أن

$$K_0 = C_S / C_L$$

وتتوقف قيمة K_0 على كل من المادة المذابة والشوائب المذابة ، وكذلك على درجة حرارة
السطح الفاصل بين الجامد والسائل . ومعدل التجمد . فمثلاً إذا كان $K_0 = 0.5$ تكون
نسبة تركيز الشوائب في طور السائل إلى نسبتها في الطور الجامد هي ٢ : ١ .

إذا تحرك السطح الفاصل بين السائل والجامد ، فإن الشوائب تفضل تلقائياً التواجد
في منطقتها السائل ، وبذلك يقل تركيزها في منطقة الجامد .



شكل (٩ - ١٢) حركة منطقة منصهرة على قضيب منتظم المقطع A .

نفرض قضيباً منتظماً المقطع وأن L هو طول منطقة صغيرة منصهرة من القضيب تتحرك بواسطة فرن متحرك من اليسار إلى اليمين شكل (٩ - ١٢) . ونفرض أن $K_0 < 1$. كلما تقدمت المنطقة المنصهرة يزداد تركيز الشوائب في المصهور ويصبح

C_0 / K_0 ، بينما يقل تركيز الشوائب في الجامد ويصير $K_0 C_0$.

نفرض أن تركيز الشوائب في الجامد عند النقطة x على القضيب هي $C_S(x)$ ، وأن تركيز الشوائب في المنطقة المنصهرة هي $C_L(x)$ وأن C_0 هو تركيز الشوائب في البداية قبل تحريك المنطقة المنصهرة .

نفرض أن المنطقة المنصهرة تحركت مسافة Δx إلى اليمين . كمية الشوائب في

$$\text{المنطقة بعد الإزاحة} = L A C_L(x + \Delta x)$$

وتساوى هذه الكمية الشوائب في المنطقة قبل الإزاحة ناقص الكمية التي تجمعت على

اليسار بالإضافة إلى تلك التي انصهرت في المنطقة على اليمين . وبإيجاد المعادلة

التفاضلية مع اعتبار Δx تؤول للصفر وإن $C_L(x=0)$ تساوى C_0 نجد أن :

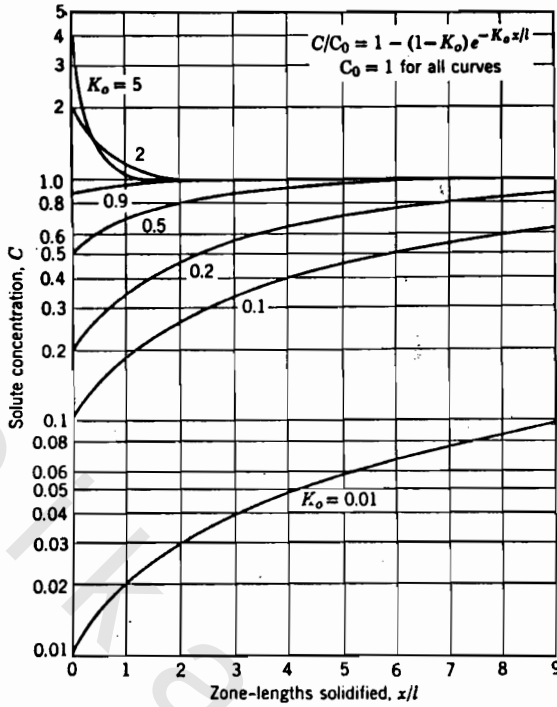
$$C_S(x) = C_0 - C_0(1 - K_0) e^{-K_0 x/L}$$

ويبين شكل (٩ - ١٣) رسماً بيانياً للمعادلة السابقة لقيم مختلفة من K_0 مع اعتبار

$C_0 = 1$. ويبين كل منحنى تغير تركيز الشوائب المذابة مع النسبة بين طول جزء القضيب

الذي مرت عليه المنطقة المنصهرة (x) إلى طول المنطقة المنصهرة (L) ، وذلك لمرور واحد

للمنطقة المنصهرة .



شكل (٩ - ١٣)

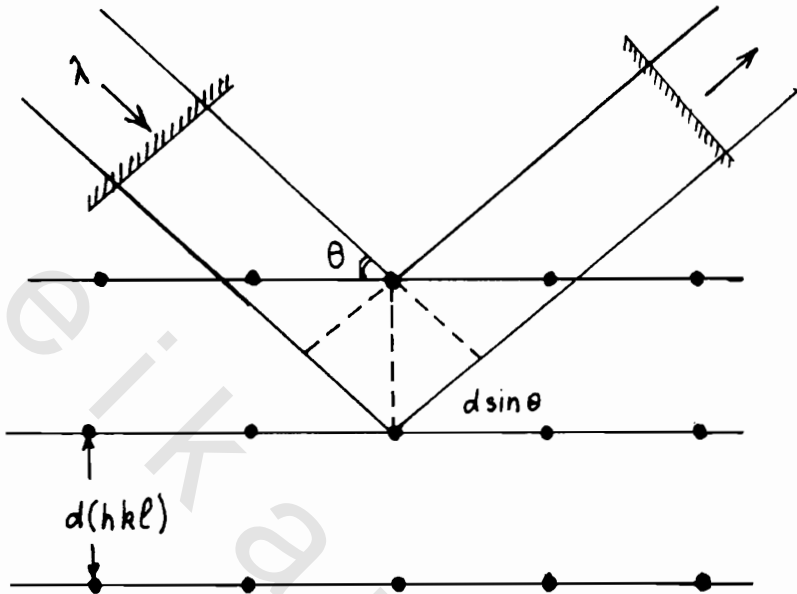
يتبين من الشكل أنه كلما كانت K_0 صغيرة تتم تنقية الشوائب بدرجة كبيرة بمرور المنطقة المنصهرة ، ويمكن زيادة درجة النقاء بإعادة إمرار المنطقة المنصهرة ، ويراعى أن تكون دائماً في نفس الاتجاه .

إيجاد التركيب البلورى بواسطة أشعة X : Structure analysis X

. فى عام ١٩١٢ اختبر لاوا Laue ظاهرة تداخل الضوء باستخدام أشعة X بدلا من الضوء المنظور مع استخدام بلورة أحادية بدلا من محزوز الحيود diffraction grating اعتمادا على أن الطول الموجى للأشعة السينية يتراوح بين ٠.٠٠١ ، ١٠ انجستروم وأن البعد البينى للذرات فى البلورة يصل لبضعة إنجستروم قليلة .

عندما تسقط الأشعة السينية على أى ذرة متعادلة يتسبب المجال الكهرومغناطيسى

المتردد في إحداث استقطاب متردد أيضا داخل الذرة . تعمل الذرات في هذه الحالة كمتذبذبات كهربائية electric oscillators وتشتع نفس التردد مثل الموجة الساقطة .



شكل (٩ - ١٤)

اعتبر البلورة كأنها رصة من المستويات الذرية المتتالية شكل (٩ - ١٤) .

يستطيع كل مستوى أن يعكس جزءاً من الأشعة الساقطة .

إذا كانت المستويات متساوية البعد عن بعضها بمقدار $d(hkl)$ سم فإن الفرق في

طول المسار لتلك الأشعة المنعكسة على المستويات المتعاقبة هو $2 d(hkl) \sin \theta$

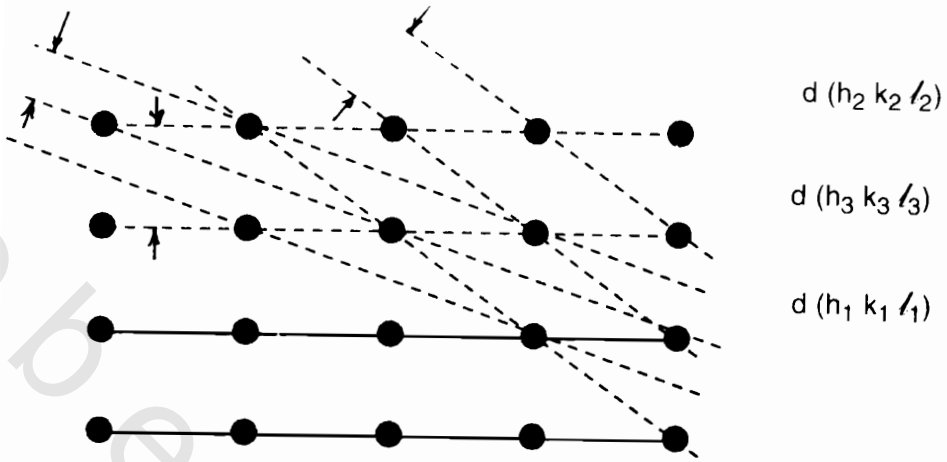
حيث (hkl) هي معاملات ميللر لهذه المجموعة من المستويات .

ويتطبيق نظرية التداخل فإن الأشعة المنعكسة تتداخل وتقوى بعضها البعض إذا كان

الفرق في طول المسار هو :

$$2 d(hkl) \sin \theta = n \lambda$$

وهو ما يعرف بقانون براج للتداخل الإنشائي Constructive .



شكل (٩ - ١٥) يبين المستويات الذرية المختلفة

شكل (٩ - ١٥) يبين المستويات الذرية المختلفة

مما سبق يتضح أنه باستخدام أشعة سينية لها طول موجة احادى اللون λ mono-chromatic radiation « معلومة القيمة يمكننا بدراسة انعكاس هذه الأشعة على البلورة أن نوجد مقدار المسافات $d (h k l)$ بين المستويات الذرية المختلفة ، وبعدها نستطيع تعيين الترتيب الذرى فى وحدة الخلية (انظر شكل (٩ - ١٥) .

عند تعيين التركيب البلورى عمليا يجب أن نمر بالخطوات التالية :

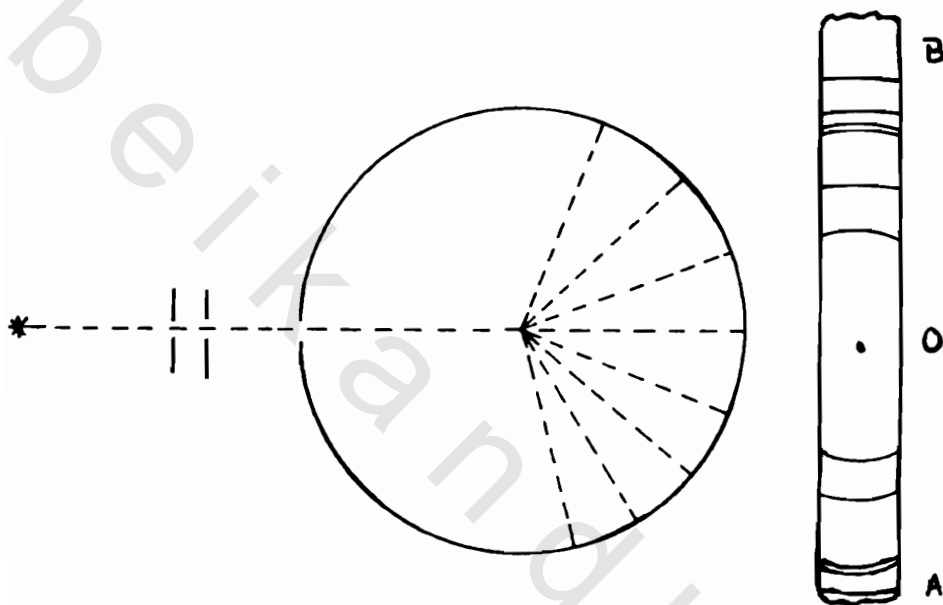
أ - إذا وجدت بلورة كبيرة macroscopic للمادة نحدد لها الزاوية الواقعة بين أحرفها التى تقاطع المستويات الأساسية لوحدة الخلية فيها .

ب - باستخدام الأشعة السينية نوجد أبعاد وحدة الخلية بدراسة هندستها الفراغية مع معرفة الأبعاد العمودية بين المستويات الذرية $d (hkl)$.

ج - يمكن تعيين عدد الذرات فى وحدة الخلية ، وذلك بمقارنة شدة الانعكاس على المستويات المختلفة باستخدام ميكروفوتومتر . فالمستويات ذات الكثافة السطحية الكبيرة

تعطى شدة انعكاس أكبر فتعطى أثراً أكبر على الفيلم ، وبالتالي تكون الخطوط أكثر سواداً، شكل (٩ - ١٦) .

د - تجرى بعد ذلك محاولات لترتيب عدد الذرات في وحدة خلية ، بحيث تعطى نفس مستويات التماثل في البلورة . في الحالات البسيطة يكون من السهل إيجاد الترتيب الذرى الوحيد الذى يعطى الشكل البلورى .



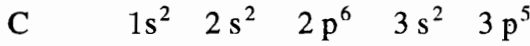
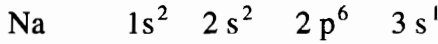
(شكل ٩ - ١٦)

إيجاد طاقة الشبيكة للبلورات الأيونية :

تتكون البلورة الأيونية إذا انتقل إلكترون من ذرة من نوع معين إلى ذرة مجاورة من نوع آخر . وتسمى الرابطة بينهما رابطة أيونية ، إذ تتسبب عملية الانتقال هذه في جعل الذرة الأولى أيوناً موجباً ، بينما تصير الذرة الثانية أيوناً سالباً . ولكي تحتفظ البلورة بتعادلها الكهربى تترتب أيونات البلورة ، بحيث تتعاقب دائماً الأيونات السالبة والموجبة فى

أى اتجاه داخل البلورة ، وعلى ذلك تكون البنية تكعيبية بسيطة . ومثال البلورات الأيونية كلوريد الصوديوم وقلوريد الليثيوم .

التركيب الإلكتروني للكلور والصوديوم هو :



وعلى ذلك إذا انتقل الكترونا من ذرة الصوديوم إلى ذرة الكلور تتشبع قشرتا كل منهما ويسعدا بذلك الجوار مكونين رابطة أيونية قوية أساسها التجاذب الكولومى بين الأيونين ، وبالمثل بالنسبة لقلوريد الليثيوم $\text{Li}^+ \text{F}^-$.

يمكننا اعتبار أن توزيع الشحنة حول الأيونات توزيعا كريا متماثلا ، فيما عدا تشوه بسيط بالقرب من نقط التلامس بين الأيونات كما سنفرض أن طاقة الشبكة فى البلورات الأيونية تعود إلى القوى الكولومية بين الأيونات .

يمكن إيجاد قيمة تقريبية لطاقة الشبكة كما يلى :

فى حالة كلوريد الصوديوم $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$

المسافة بين أيوني الصوديوم والكلور فى الشبكة $r_0 = 2.81 \text{ \AA}$

طاقة الموضع التجاذبية بين الأيونين $P.E = e^2 / r_0$

$$\therefore P.E = (4.8 \times 10^{-10})^2 / (2.81 \times 10^{-8})$$

$$= 8 \times 10^{-12} \text{ ergs}$$

$$\cong 5 \text{ eV}$$

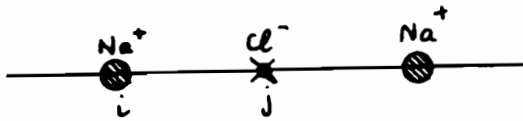
وتقترب هذه القيمة التقريبية من القيمة المقاسة معمليا ، وهى 8 eV / molecule وهى

قيمة حرارة التكوين Heat of Formation للبلورة ، وتساوى 183 Kcal / mole .

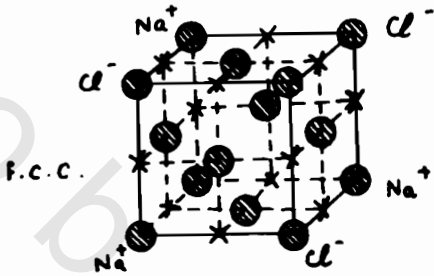
حساب طاقة الشبكة الأيونية :

اعتبر شبكة من كلوريد الصوديوم تكعيبية متمركز الوجه

توجد أيونات الكلور والصوديوم متعاقبة فى نقط الشبكة .



لكل أيون أقرب ستة جيران مختلفة عنه في الشحنة ، بينما له ١٢ جار من نفس شحنته (انظر شكل ١٧-٩) .



شكل (٩ - ١٧)

اعتبر أيونين z و i .
الطاقة الكلية لكل أيون هي :

$$\phi_i = \sum_j \phi_{ij}$$

ويشمل الجمع كل الأيونات فيما عدا

بالطبع $z = i$ وهذا هو معنى وضع نجمة فوق علامة الجمع .

ϕ_{ij} تمثل الطاقة الكولومية الناشئة عن التجاذب والتنافر بين الأيونات وتعطى

بالمعادلة: (معادلة مي (Mie's equation))

$$\phi_{ij} = \pm \frac{e^2}{r_{ij}} + \frac{\lambda}{r_{ij}^n} \quad (1)$$

والإشارات السالبة والموجبة لتبين الفعل بين الشحنتات المتماثلة والشحنتات المختلفة ،

والثوابت λ و n تتحدد قيمتهما من قياس ثابت الشبكة وانضغاطيتها .

اعتبر شبكة مكونة من $(2N)$ أيونات

طاقة الشبكة U_0 هي :

$$U_0 = N \phi_{ij}$$

وهنا اعتبرنا الفعل البيني بين أزواج الأيونات عند حساب طاقة الموضع ، كما اعتبرنا

أن الطاقة الكلية للشبكة هي الطاقة اللازمة لتفكيك بنية البلورة ، لتصبح أيونات حرة بينها مسافات لا نهائية .

نفرض أن R هي المسافة بين أقرب جارين في البلورة . تكون المسافة بين الأيونين i

ز & هي :

$$r_{ij} = P_{ij} \cdot R \quad (2)$$

وبالتعويض فى المعادلة (١)

$$\therefore \phi_{ij} = \pm \frac{1}{P_{ij}} \cdot \frac{e^2}{R} + \frac{\lambda}{P_{ij}^n R^n}$$

وبتجميع فعل كل جيران الأيون ز تكون الطاقة :

$$\phi = - \frac{\infty e^2}{R} + \frac{\lambda A_n}{R^n} \quad (3)$$

حيث

$$A_n = \sum P_{ij}^{-n}$$

$$\infty = \sum (\bar{+}) P_{ij}^{-1}$$

حساب قيمة ∞ :

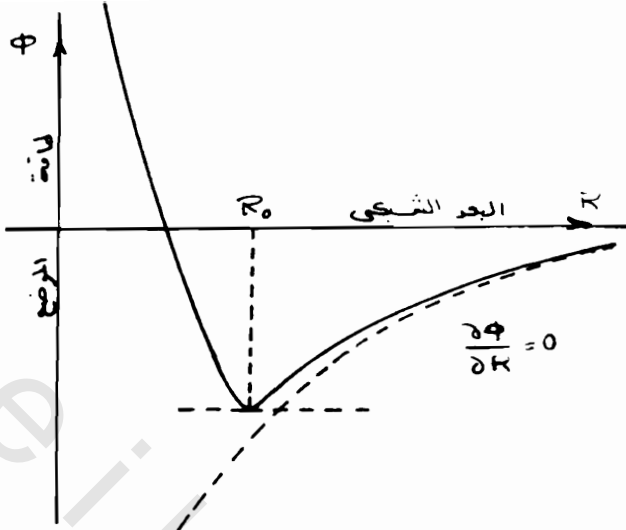
يعرف ∞ بأنه ثابت ماديلنج ويميز البنية البلورية . ويبين شكل (٩ - ١٨) رسماً بيانياً

لتغير طاقة الموضع مع المسافة بين الأيونات .

$$\frac{\partial \phi}{\partial R} = 0 \quad \text{عند وضع الاتزان أى عند أى نقطة من نقاط الشبكة تكون}$$

وبمفاضلة المعادلة (٣) بالنسبة للمسافة R ومساواة الناتج بصفر نحصل على :

$$\frac{\partial \phi}{\partial R} = \frac{\infty e^2}{R_0^2} - \frac{n A_n \lambda}{R_0^{n+1}} = 0 \quad (4)$$



شكل (٩ - ١٨)

ويحذف λA_n من معادلتى (٣) و (٤) نحصل على :

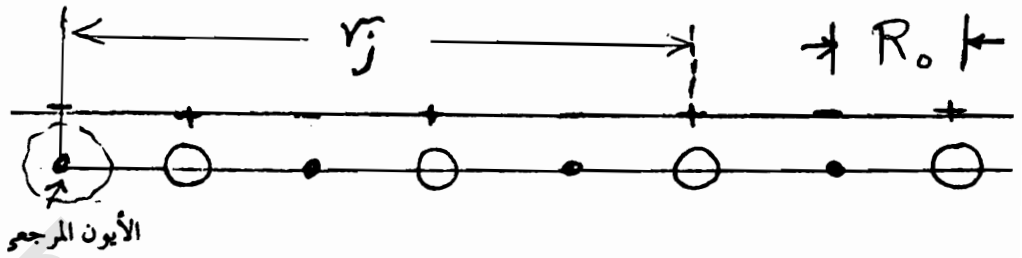
$$\phi = - \frac{\infty e^2}{R_0} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \quad (5)$$

وتكون الطاقة الكلية للشبيكة البلورية المكونة من عدد $2N$ أيونات عندما تكون الأيونات مستقرة فى نقاط الشبيكة هى :

$$U_0 = - N \frac{\infty e^2}{R_0} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \quad (6)$$

وقد أمكن لماديلنج حساب ثابت الطاقة الكولومية ∞ باعتبار شبيكة خطية ثنائية ، كما فى شكل (٩ - ١٩) حيث R_0 هى المسافة بين أيونين متجاورين .

اعتبر الأيون السالب المبين بالشكل أيونا مرجعيا ، بعد الأيون Z عنه هو r_j وستعرفه الإشارة \pm وفقا لشحنته .



شكل (٩ - ١٩)

بحذف P_{ij} من المعادلة (٢) نحصل على ثابت ماديلنج على الصورة

$$\frac{\infty}{R_0} = \sum \frac{(\pm)}{r_j}$$

$$= 2 \left[\frac{1}{R_0} - \frac{1}{2R_0} + \frac{1}{3R_0} - \frac{1}{4R_0} + \dots \right]$$

والمعامل 2 فى المعادلة لأننا اعتبرنا r_j دائما موجبة ، وأن هناك أيونين لهما نفس البعد من الأيون المرجعى .

$$\therefore \infty = 2 \left(1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \dots \right)$$

وبمعرفة أن :

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots$$

وبوضع $x = 1$ نحصل على :

$$\ln 2 = 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \dots$$

وعلى ذلك يكون :

$$\infty = 2 \ln 2$$

$$\cong 1.4$$

وهذه القيمة صالحة للشبيكة الخطية ثنائية الذرة ، أما فى حالة البلورات الحقيقية

ثلاثية الأبعاد فيحتاج حساب ∞ إلى مشقة أكبر ، وقد وجد إيفان أن قيمتها تساوى تقريبا

: 1.75 $\cong \infty$ بالنسبة لبلورة ثلاثية البعد ، وهذه قيمة قريبة جدا من قيمة ∞ المقاسة لبلورة كلوريد الصوديوم Na Cl وهي :

$$\infty = 1.747558$$

حساب قيمة n :

n في معادلة مي هو الأس في الحد الثاني الخاص بالجهد الناشء عن الفعل البيئي السالب للأيونات . من الديناميكا الحرارية :

$$K = - \frac{1}{v} \left(\frac{dv}{dp} \right) \quad (7)$$

حيث K الانضغاطية وهي مقلوب معامل المرونة الحجمي للمادة .

من القانون الأول للديناميكا الحرارية

$$d\phi = dU + p dv$$

عند درجات الحرارة المنخفضة يمكن إهمال التأثيرات الحرارية ، وبذلك يكتب القانون

الأول على الصورة :

$$dU = - p dv$$

$$\frac{\delta U}{\delta v} = - p$$

$$\frac{\delta^2 U}{\delta v^2} = - \frac{\delta p}{\delta v}$$

$$\therefore \frac{1}{K} = v \left(\frac{d^2 U}{dv^2} \right)$$

إذا كانت R المسافة بين الأيونين في بلورة Na Cl ، يكون حجم الخلية R^3 ، وتحتوي

الخلية على جزئ واحد أي على عدد 2 أيون فإذا كان في البلورة عدد N جزئ يكون

الحجم هو :

$$V = 2 N R^3 \quad (8)$$

وبمفاضلة الطاقة U بالنسبة للحجم :

$$\therefore \frac{dU}{dv} = \frac{dU}{dR} \cdot \frac{dR}{dv}$$

وبالمفاضلة بالنسبة للحجم مرة ثانية :

$$\therefore \frac{d^2U}{dv^2} = \frac{dU}{dR} \cdot \frac{d^2R}{dv^2} + \frac{d^2U}{dR^2} \left(\frac{dR}{dv} \right)^2 \quad (9)$$

عند وضع التوازن ، أى عند نقطة الشبكة $R = R_0$

$$\frac{dU}{dR} = 0$$

$$\therefore \frac{d^2U}{dv^2} = \frac{d^2U}{dR^2} \left(\frac{dR}{dv} \right)^2$$

وبإيجاد $\frac{dR}{dv}$ من معادلة (8) نحصل على :

$$\left(\frac{dR}{dv} \right)^2 = \frac{1}{36 N^2 R^4} \quad (10)$$

وبالتعويض فى المعادلة (7) نحصل على :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{18 N R_0} \left(\frac{d^2U}{dR^2} \right)_{R=R_0} \quad (11)$$

وباستخدام معادلة الطاقة رقم (3)

$$\therefore \phi \text{ (or } U \text{)} = N \left[\frac{\lambda A_n}{R^n} - \frac{\infty e^2}{R} \right]$$

وبمفاضلة U مرتين بالنسبة إلى R نحصل على :

$$\frac{d^2U}{dR^2} = N \left[\frac{n(n+1) A_n \cdot \lambda}{R^{n+2}} - \frac{2 \infty e^2}{R^3} \right]$$

وعند الاتزان ومن معادلة (4)

$$\frac{\infty e^2}{R_0^2} - \frac{n A_n \lambda}{R_0^2} = 0$$

ويحذف $A_n \cdot \lambda$ نحصل على :

$$\left(\frac{d^2U}{dR^2} \right)_{R=R_0} = \frac{N(n-1) \propto e^2}{R_0^2}$$

وبالتعويض في المعادلة (11) نحصل على :

$$\frac{1}{K} = \frac{(n-1) e^2 \cdot \propto}{18 R_0^4} \quad (12)$$

من هذه المعادلة يمكن حساب n بمعرفة K ، e ، R_0 كما إننا سبق أن أوجدنا ثابت مادنج \propto .

بالنسبة لبلورة من كلوريد الصوديوم Na Cl

$$K = 3.3 \times 10^{-12} \text{ cm}^2 / \text{dyn} . ; \quad \propto = 1.747558$$

$$R_0 = 5.63 \times 10^{-8} \text{ cm} ; \quad e = 1.6 \times 10^{-12} \text{ Coul} .$$

$$\therefore n = 1 + \frac{18 R_0^4}{K e^2 \propto} = 9.4$$

وبحساب طاقة الشبكة نجدها تساوى $183.1 \text{ Kcal / mole}$ ، بينما القيمة المقاسة

معمليا هي $182.8 \text{ Kcal / mole}$.

مسائل على الباب التاسع

١ - تتغير طاقة الموضع $V(x)$ لذرتين في جزيء ثنائى مع المسافة x بينهما وفقا

للمعادلة:

$$V(x) = \frac{a}{x^{12}} - \frac{b}{x^6}$$

حيث a, b ثوابت موجبة ، شكل (٩ - ٢٠)

أ - أوجد قيمة x عندما تكون الطاقة $V(x)$ صفرية .

ب - ماذا تكون قيمة x لأقل طاقة ؟

ج - أوجد القوة بين الذرات ؟

د - ما هي طاقة التحلل للجزيء ؟

الحل :

أ -

$$V(x) = 0 = \frac{a}{x^{12}} - \frac{b}{x^6}$$

$$(x)_{v=0} = \sqrt[6]{a/b}$$

ب - عندما يكون :

$$\frac{d}{dx} [V(x)] = 0$$

تكون قيمة الطاقة أقل ما يمكن :

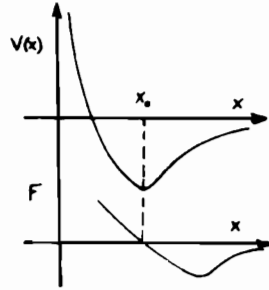
$$-\frac{12a}{x^{13}} + \frac{6b}{x^7} = 0$$

$$x = \left(\frac{2a}{b}\right)^{1/6}$$

ج - القوة بين الذرتين :

$$F = -\frac{dV}{dX}$$

$$= \frac{12a}{x^{13}} - \frac{6b}{x^7}$$



شكل ٩ - ٢٠

وتكون هذه القوة صفرية عندما تكون المسافة :

$$X = \left(\frac{2a}{b} \right)^{1/6}$$

أو

$$X = \infty$$

ويلاحظ أن القوة تكون موجبة ، أى أن الذرتين تتنافران قبل ،

$$X = \left(\frac{2a}{b} \right)^{1/6}$$

بينما تكون القوة سالبة بعد ذلك ، حيث تتجاذب الذرتان عند فصلهما عن بعضهما إلى

أبعد من ذلك .

د - طاقة التحلل هي الشغل اللازم لفصل الذرتين إلى مسافة لا نهائية . وتساوى :

$$D = V(\infty) - V(\min)$$

$$= 0 - \left(\frac{a}{4a^2/b^2} - \frac{b}{2a/b} \right)$$

$$= \frac{b^2}{4a}$$

ويلاحظ أن الجزيء يتحلل بمجرد أن تصل طاقة حركة الذرات في قاع بئر الجهد إلى قيمة أكبر من D .

٢ - أوجد الكثافة النسبية للرص في الخلايا التكعيبية الآتية :

b . c . c ; s . c . ; f . c . c ;
diamond

٣ - إذا كانت المسافة بين أيوني البوتاسيوم والكلور في جزيء KCl هي 2.8×10^{-10} m . أوجد قوة التجاذب بينهما وكذلك طاقة الوضع بالإلكترون فولط .

٤ - أثبت أنه في البنية التكعيبية متمركزة الجسم b . c . c يكون نصف قطر أكبر ذرة يمكن أن تشغل الفراغة irregular tetrahedral void هو $0.291 R$ ، وتلك التي يمكن أن تشغل الفراغة octahedral void ، هو $0.154 R$ حيث R نصف قطر ذرة الجسم .

٥ - أوجد كثافة السيليكون إذا كان البعد الشبكي 5.43×10^{-8} cm ، وأنه يتبلور على الشكل الماسي .

٦ - المطلوب تحضير بلورة أحادية من السيليكون مع إدخال 10^{16} ذرة / سم^٣ من الفوسفور :

أ - ماذا يجب أن يكون تركيز الفوسفور في المصهور الابتدائي لنحصل على هذا التركيز من الفوسفور في البلورة ، علماً بأن معامل التوزيع K_0 بين الفسفور والسيليكون هو $0.35 = K_0$

ب - وإذا كانت كمية السيليكون الابتدائية في البوتقة هي 5 Kg ، فكم من الجرامات من الفوسفور يجب إضافتها ؟

الوزن الذرى للفسفور = 31

$$\text{عدد افوجادرو} = 6.02 \times 10^{23}$$

الحل :

أ - اعتبر $C_s = K_0 C_r$ أثناء نمو البلورة التركيز الابتدائى فى المصهور هو :

$$\frac{10^{16}}{0.35} = 2.86 \times 10^{16} / \text{cm}^3$$

ب - بما أن تركيز الفوسفور صغير جدا يمكن اعتبار أن :

حجم المصهور كله للسيليكون . من التمرين السابق كثافة السيليكون

$$2.33 \text{ g / cm}^3$$

$$V = \frac{5000}{2.33} \quad \text{حجم المصهور يساوى}$$

$$= 2146 \text{ cm}^3 \text{ Si}$$

$$\therefore 2.86 \times 10^{16} \times 2146 = 6.14 \times 10^{19} \quad \text{عدد ذرات الفسفور}$$

عدد الجرامات من الفسفور هى :

$$\frac{6.14 \times 10^{19} \times 31 \text{ g / mole}}{6.02 \times 10^{23} \text{ atoms / mole}} = 3.16 \times 10^{-3} \text{ gm}$$

٧ - وضع بالرسم كيف يمكن تمثيل البنية التكميية متمركزه الجسم b c c على أنها

بنيتين تكعيبيتين بسيطتين متداخلتين . وضع بالرسم الاتجاه $\langle 100 \rangle$ فى الشبكة .

٨ - بلورة سيليكون تسحب من المصهور ومطعمه بالبورون ($K_0 = 0.8$) اذا كان

وزن السيليكون ١ كيلو جرام أوجد كم جراما من البورون يجب اضافتها ليكون تركيز

$$10^{15} / \text{cm}^3 \text{ الشوائب}$$

٩ - عند اتحاد ذرة صوديوم مع ذرة كلور لتكوين كلوريد الصوديوم تعطى ذرة

الصوديوم الكترونا لذرة الكلور . ما هو التركيب الالكترونى لكل من الايونين المتكونين ؟

١٠ - اذا علم أن البعد الشبكي لبلورة تكعيبية هو $a = 2.62 \text{ \AA}$ ما هى الزوايا التى

ينعكس شعاع من الأشعة السينية طول موجته $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ على المستويات : (210)
(100) , (110) , (111) , (200) .

١١ - لأكسيد الزنك بنية سداسية حيث $a = 3.2492 \text{ \AA}$, $c = 5.2069 \text{ \AA}$ وكثافته

$$D = 5.73 \times 10^3 \text{ Kg / m}^3$$

كم عدد ذرات الزنك والاكسجين تحتويها وحدة الخلية ؟

١٢ - في تجربة لاولا لحيود الأشعة السينية لسحوق كلوريد السيزيوم / Cs Cl

استخدمت أشعة $\text{Cu K}\alpha$ طول موجتها $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ، ووجد أن زوايا براج لخطوط
الحيود الأولى هى :

$$10.72^\circ , 15.31^\circ , 18.88^\circ , 20.91^\circ , 24.69^\circ , 27.24^\circ$$

أوجد معاملات ميلر للإنعكاسات السابقة ، احسب طول البعد الشبكي a علماً بأن

بلورة Cs Cl تكعيبية .

١٣ - قضيب من النيكل يحتوي % 0.1 بالوزن نحاس : يراد تنقيته بطريقة الصهر

النطاقى . أوجد اقصى درجة نقاء يمكن الحصول عليها وكذلك عدد مرات المرور على

القضيب علماً بأن طول المنطقة المنصهرة عشر طول القضيب . ($K = 0.5$)

١٤ - تحتاج عملية النمو الحبيبي grain growth فى مادة متعددة الحبيبات إلى

طاقة تنشيط قدرها (30 kcal per mole) . فإذا تمت العملية فى ساعة واحدة عند

الدرجة 500°C . ماذا يكون زمن اتمامها عند درجة الصفر المئوى ؟

١٥ - باستخدام البيانات التالية حدد اذا كانت ذرات الكربون تنوي في الحديد على

صورة محلول جامد تبادلي أو تخللي . النسبة المئوية للكربون في الاشابه = 0.8 % .

البنية التركيبية . f . c . c

البعد الشبكي $a = 3.583 \text{ \AA}$

كثافة الاشابه $P = 8142 \text{ K g m}^{-3}$

١٦ - يظهر منحني الطور للنحاس - نيكل نويانا تاما في المحلول منهما . برء

محلولان من Ni - Cu تركيزهما بالوزن 80 % Ni ، 10 % Ni . أوجد درجة تركيز الطور

الجامد لكل عند بدء تكوينه .

١٧ - من الجدول التالي للأوزان الذرية at . wt والبعد الشبكي a للعناصر أوجد

كثافتها :

$\infty \text{ Fe} : \text{at . wt} = 55.85 ; a = 2.861 \text{ \AA}$

$\text{Cu} : \text{at . wt} = 63.57 ; a = 3.608 \text{ \AA}$

$\text{Zn} : \text{at . wt} = 65.38 ; a = 2.659 \text{ \AA}$

$c = 4.934 \text{ \AA}$

$\text{dianond} : \text{at . wt} (c) = 12.01 ; a = 3.560 \text{ \AA}$

١٨ - أوجد الكثافة السطحية لكل متر مربع في المستويات التالية :

(110) in $\infty \text{ Fe}$; (111) in Cu ; (110) in Cu ; (0001) in Zn

١٩ - إذا علم أن البعد بين ايوني صوديوم وكلور في شبكية Na Cl هو

$2.81 \times 10^{-10} \text{ m}$ وأن نفاذية الفراغ $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ أوجد طاقة

الترابط للملح الطعام باعتبار أنها كولومية .

٢٠ - احسب طاقة الترابط لبلورة أيوريد الصوديوم Na I إذا علم أن مسافة أقرب

جيران هي 3.24 \AA . وإذا علم أن القيمة العملية لهذه الطاقة هي 162.3 Kcal / mde
أوجد طاقة التناثر .

٢١ - يتبلور الحديد عند درجات الحرارة الأقل من $910 \text{ }^\circ\text{C}$ على الصورة b . c . c ،

ويتحول إلى الصورة f . c . c أعلى من هذه الدرجة . إذا اعتبرنا أن نصف قطر الذرة لا
يتغير في الحالتين فاحسب النسبة بين كثافتى الحديد للبنيتين .