الفصل السابع: العيوب البلورية

العيوب النقطية – الثغرات – عيوب شوتكي – عيوب فرنكل – العيوب الخطية – الانخلاعات – الانخلاع الحافي – الانخلاع البريمي – العيوب السطحية – العيوب الحجمية

العيب البوري: هو اختلال في اســـتمرارية ترتيب الذرات المنتظم في الشـــبيكة. أي انه عدم الانتظام في البنية البلورة. وتتكون العيوب البلورية في اثناء عملية النمو البلوري. تخليص البلورات كلياً من الشـوائب والعيوب أمراً مستحيلاً اما تقليلها اصبح ممكناً.

ان للعيوب البلورية تأثير كبير على تغيير الخواص الفيزيائية كالتوصـيل الكهربائي والتوصـيل الحراري وأيضا تأثير كبير على تغيير الخواص البصرية والميكانيكية للمواد الصلبة.

الا ان فوائد العيوب الكثير في مجالات عديدة جعلت العلماء يتجهون لخلق العيوب في المواد الصـــلبة. حيث وجد العلماء ان تغيير الخواص الفيزيائية (كهربائية، ميكانيكي، بصـــري، حراري) نحو الأحســـن وحسب الحالة واشهرها تطعيم المواد شبه الموصلة حسب المواصفات المطلوبة مثل إضافة Mg لبلورة فلوريد الليثيوم LiF لتستخدم كمجس للأشعاع (بلورة قياس جرعات التألق الحراري LiF/Mg).

أهم أنواع العيوب هي:

1- العيوب النقطية (العيوب ذات البعد الصفري)
الفراغات (عيوب شوتكي ، عيوب فرنكل) ، الذرات الاضافية
2- العيوب الخطية (الانخلاعات)(عيوب أحادية البعد)
- الانخلاع الحافي - الانخلاع البرمي
3- العيوب السطحية (عيوب ثنائية البعد)
- حدود الحبيباب - خطأ التراص - التوائم
4- العيوب الحجمية (الحقلية) (عيوب ثلاثية الأبعاد)

ان التحكم في كثير من الخواص المهمة للبلورات يعتمد على طبيعة تركيب البورة ومنها:

1. التحكم بالتوصيلية الكهربائي للمواد شبه الموصلة تنسب الى نسبة الشوائب.
2. التحكم بالمقاومة الميكانيكية: تتحدد بوساطة العيوب في تركيبها بالنسبة للبلورات مثال (الحديد رخواً في حالته النقية ولكن خلطه بالكاربون ومعادن اخرى تزداد مقاومته الميكانيكية).
3. تعجيل انتشار ذرات في بلورة بواسطة شوائب او عيوب بلورية.
4. انخفاض او ارتفاع درجة حرارة انصهار البلورة يعتمد على وجود عيوب.
5. التألق او الضيائية يرتبط مع وجود الشوائب.
6. الألوان التي تُرى بها كثير من البلورات تنشأ عادة من عيوبها التركيبية.

العيوب النقطية:

العيوب النقطية هي انحراف أو اختلال في موقع ذرة او مواقع عدد قليل من الذرات المجاورة. وهي اما ان تكون :

1- **فراغات (الفجوات) او (ثغرات)**
2- **ذرات اضافية:**

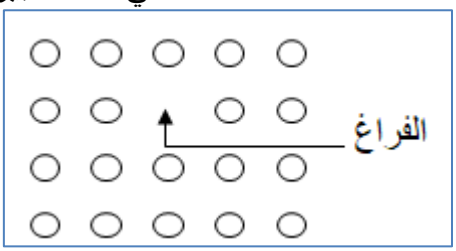
الذرة الإضافية الأستبدالية
الذرة الاضافية البينيه (الذرة الاضافية الخلالية): وهي نوعين:
ذرة إضافية بينية ذاتية
ذرة إضافية بينية شائبة (شوائب بينية)

3- **عيوب شوتكي**
4- **عيوب فرنكل**

تكون العيوب النقطية مألوفة في بلورات المعادن والبلورات الايونية والتســـاهمية ولكن غير مألوفة في البلورات الجزيئية وتأثير هذه العيوب يكون في اللون والضيائية والتوصيلية الكهربائية.

س) لماذا سمي العيب النقطي بهذا الاسم؟

ج) لانه يحدث في منطقة صغيرة جداً بالنسبة لحجم البلورة، ولهذا تُعد هذه المنطقة كنقطة في فضاء كبير



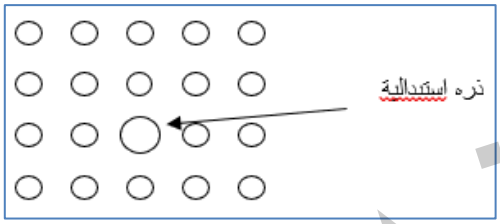
الفراغ (الثغرة): وهو عبارة عن حيز الذرة المفقودة ضـــمن الترتيب المنتظم للشبيكة ويحدث نتيجة عيب في الرص الذري اثنـاء عمليـة الانمـاء البلوري جراء التذبذب الحراري حول مواقعها في الشـــبيكة عند درجات الحرارة العالية. ونقصـــد بالثغرة هو فراغاً شبيكياً او فجوة في النسق البلوري.

س) في المعادن ، كما هو الحال في المواد الصـلبة الأخرى ، يتم إنشـاء الفراغ (الثغرة) عن طريق الإثارة الحرارية ، بشـرط أن تكون درجة الحرارة مرتفعة بما فيه الكفاية، علل ؟

ج) لأنه مع اهتزاز الذرات حول مواقعها العادية، يكتسـب البعض من الذرات طاقة كافية لمغادرة الموقع تمامًا.

س) عندما تغادر الذرة العادية، تكون المنطقة المحيطة بالفراغ مشـوهة أي سـيتم توليد اضـطرابا في تركيب البلورة، علل؟

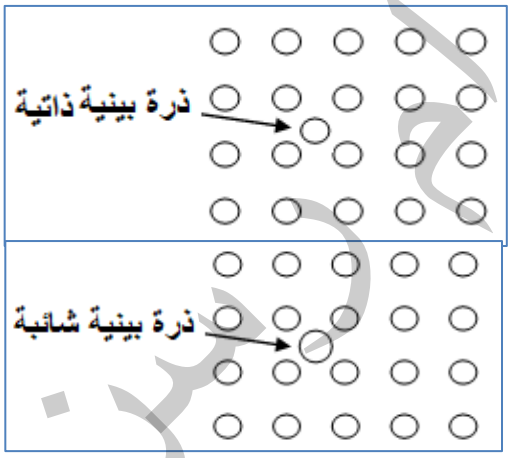
ج) بسبب استرخاء الشبيكة، كما كانت، من أجل ملء الفراغ الذي تركته الذرة جزئيًا. هذا يساهم كذلك في عدم انتظام الشبيكة في الجوار المباشر للفراغ (الثغرة).



الذرات الإضـــافية: وهو وجود ذرة اضـــافية داخل البنية البورية ويطلق عليها بالشوائب وتكون على نوعين:

1- الأستبدالية. 2- البينية.

الذرة الإضافية الأستبدالية: اذا احتلت الذرة الإضافية موقع الذرة الاصلية .



الذرة الاضـــافية البينيه (الذرة الاضـــافية الخلالية): اذا احتلت الذرة الإضافية موقع ما بين الذرات الأصلية ولربما تكون من نفس النوع او ذرة شائبة.

حيث ان الذرات البينية تكون على نوعين:

ذرة إضـافية بينية ذاتية: حيث تكون الذرة البينية من نفس نوع ذرات الشـــبيكة ويتم ذلك بإزاحة الذرة الاصـــلية من موقعها الى موقع بيني.

ذرة إضـافية بينية شـائبة (شـوائب بينية): الذرات البينية تكون من نوع اخر يختلف عن الـذرات الاصـــلية للبنيـة البلورية.

س) الذرات الصـــغيرة فقط يمكن أن توجد بأعداد كبيرة كشوائب بينية، علل؟

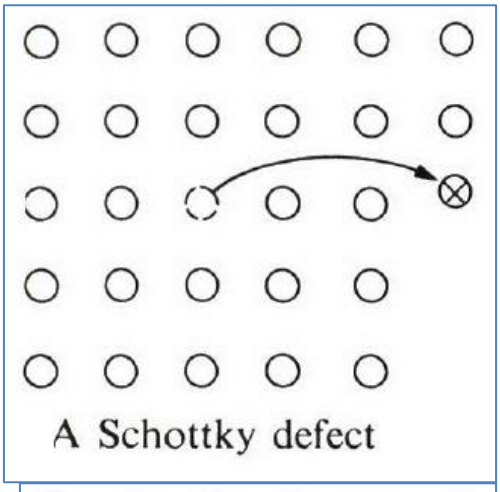
ج) : لأن المساحة بين ذرات المادة الاصلية (المضيف) (host atoms) صغيرة ، خاصة في المعادن ، حيث تكون الذرات معبأة بإحكام.

س) كيف يتم إضافة الشوائب للبنية البلورية؟

ج) يتم إضافة الشوائب الى البنية البلورية بعدة طرق أهمها:

1- طريقة النمو البلوري. 2- طريقة الانتشار. 3- طريقة الغرس الايوني.

س) في المواد الصلبة ذات الرص المحكم من الصعب جداً ان تحتوي بنيتها على ذرات بينية؟
ج) وذلك لصغر الحيز بين الذرات حيث لا يمكن ان يستوعب ذرة إضافية مثل النحاس والخارصين.
اما في الرص غير المحكم يمكن للذرة الشائبة ان تحتل مكان بينياً خاصة اذا كان حجمها صغير جدا أي بنصف قطر 0.8 A .

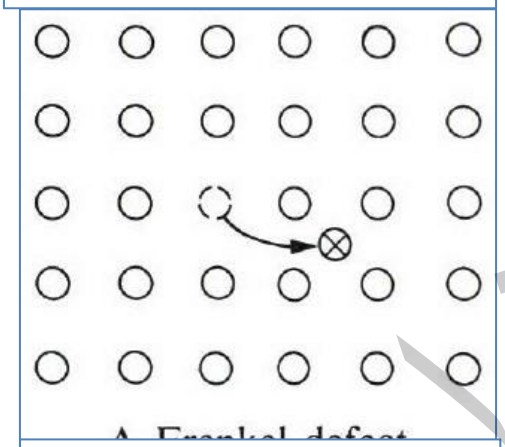


عيب شوتكي: اذا كانت الذرة او الذرات المزالة او المهاجرة عن موقعها الشبيكي النظامي بمراحل متعاقبة وتستقر في آخر الامر عند سطح البلورة.

❖ **أي ان عيب شوتكي يعني حدوث فراغات (ثغرات) في البلورة من دون وجود ذرات إضافية ذاتية تقابل تلك الثغرات.**

❖ فعيب شوتكي هو فقدان احدى الذرات من موقعها الأصلي الى خارج البلورة (أي الى سطح البلورة) تاركة وراءها حيزاً من الفراغ.

❖ يحدث عيب شوتكي في البلورات الايونية مثل كلوريد الصوديوم.

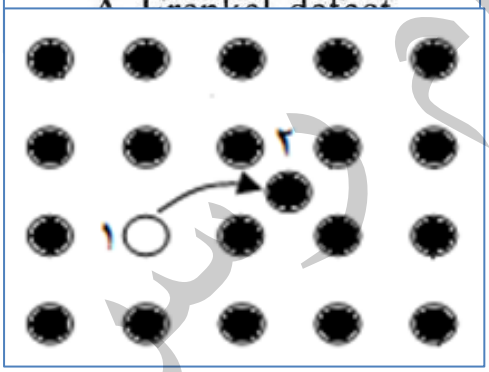


عيب فرنكل: اذا كانت الذرة او الذرات المزالة عن موقعها الشبيكي النظامي تُقحم الى مواضع بينية.
أي إزالة ذرة من مكانها في الشبيكة البورية واقحامها في موقع بيني (موقع لا يشغل بواسطة الذرات).

عيب فرنكل يتضمن زوجاً:
خلق فجوة او ثغرة + ذرة إضافية (ذرة بينية ذاتية)

تسحب الذرة من الموقع (1) وتوضع بالموقع (2)" يبقى الموقع (1) فارغاً وتوضع الذرة في الموقع (2) .

❖ أي ان عيب فرنكل ناشئ عن ثغرة وذرة بينية".



س) **عيب فرنكل يحتاج الى مقدار من طاقة اكبر مما يحتاجه عيب شوتكي، علل؟**
ج) بسبب الطاقة المرنة الإضافية اللازمة لادخال الذرة المزاحة بين ذرات الشبيكة الاخرى في وضع بيني (خلالي)، حيث يتطلب عيب فرنكل كمية كبيرة من الطاقة، ولهذا السبب لا يوجد عادة في المعادن إلا في ظل ظروف خاصة.

س) ناقش بإيجاز أسباب عدم وجود عيب فرنكل عادة في المعادن إلا في ظروف خاصة؟
ج) بسبب الطاقة المرنة الإضافية اللازمة لادخال الذرة المزاحة بين ذرات الشبيكة الاخرى في وضع بيني (خلالي)، حيث يتطلب عيب فرنكل كمية كبيرة من الطاقة، ولهذا السبب لا يوجد عادة في المعادن إلا في ظل ظروف خاصة.

س). لماذا توجد الفراغات (الثغرات) عادة فقط بالقرب من الأسطح الحرة وحدود الحبوب والانخلاعات، وليس داخل البلورة المثالية؟
لأنه فقط على الأسطح أو الحدود أو الانخلاعات يمكن إنشاؤها بدون تشكيل ما يصاحب ذلك من تشكيلات بينية. وبعبارة أخرى، فإن هذه العيوب الممتدة تعمل كمصادر للفراغات.

حساب عدد ثغرات شوتكي المُسبب عن التهيج الحراري: 2023/4/19

لاجل حساب عدد ثغرات شوتكي المسببة عن التهيج الحراري. افرض بلورة في حالة اتزان حراري عند درجة حرارة T وان كل ذرة تهتز جيئة وذهاب حول موضـــع اتزانها وعندئذ يكون معدل طاقتها $3k_BT$

عند درجة حرارة الغرفة 300^oK $(27°C)$.

الطاقة $3K_BT$ تكون حوالي $0.78\ eV$ عند درجة حرارة الغرفة 300^oK $(27°C)$ وهي اقل بكثير من الطاقة اللازمة لتكوين ثغرة E التي تكون بحدود واحد $1eV$. وهذا يقودنا الى الاعتقاد بعدم وجود احتمالية لنشؤ ثغرات في بلورة عند درجة حرارة الغرفة.

بموجب الميكانيك الإحصـــائي: حيث ان عامل بولتزمان للإتزان الحراري هو (e^{-E/K_BT}) ســيتناقص بانحدار شديد كلما تزداد E ويعني هنالك احتمالية ضعيفة جداً للذرة لان تمتلك طاقة عالية ولكن تزداد هذه الإحتمالية كلما ارتفعت T.

- افرض ان N هو للعدد الكلي للذرات في بلورة لكل وحدة حجم
- E تمثل الطاقة اللازمة لتوليد ثغرة.
- وان الثغرات لكل وحدة حجم n اي التركيز المتزن للثغرات
- ولهذه $(N\text{-}n)$ يمثل العدد الكلي من الذرات في البلورة بعد طرح الثغرات.

وبهذا يمكن كتابة معادلة تتضمن معامل بولتزمان و (E) (الطاقة اللازمة لتكوين ثغرة)

$n = (N-n)e^{-E/K_BT}$ عندما $n << N$

$$\therefore n = Ne^{-E/K_BT}$$

مثال: افرض لديك بلورة عدد ذراتها $\left(N = 10^{29}\ \frac{\text{ذرة}}{m^3}\right)$ عند درجة حرارة الغرفة 300^oK $(27°C)$ وطاقة التكوين لثغرة شوتكي هي$(E = 1eV)$ فأحسب عدد الثغرات n.

$$n = Ne^{-E/K_BT}$$

$$n = 10^{29}e^{-1\times1.6\times10^{-19}/1.38\times10^{-23}\times300}$$

$$n = 10^{29}e^{1.6\times10^{2}/4.14} = 1.6 * 10^{12} \approx 10^{12} \quad \text{ثغرة}/m^3$$

$$\frac{n}{N} = \frac{10^{12}}{10^{29}} = 10^{-17} \quad \text{عند } 300^oK$$

- عدد الثغرات النسبي يكون صغير لأن $K_BT << E$.
- اما عندما ترتفع درجة الحرارة الى 900^oK وعندئذ يرتفع عدد الثغرات الى ما يقارب الى 10^{23} ثغرة $/m^3$ وستكون النسبة تقريباً (التركيز $\frac{n}{N} \simeq 10^{-7}$) .

ارتفاع درجات الحرارة من 300 الى 900 كلفن ســيؤدي الى زيادة نســبية حادة وكبيرة جدا في عدد الثغرات تقدر بحوالي عشرة الاف مليون مرة 10^{10} .

ملاحظة: يمكن حساب طاقة تكوين الثغرة من المعادلة:

$n = N\ e^{-E/K_BT}$

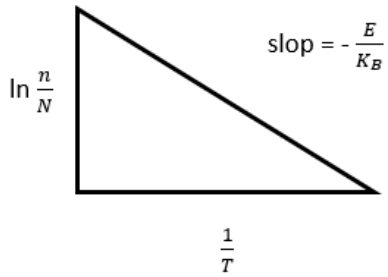
$\left(\frac{n}{N}\right) = e^{-E/K_BT}$

$ln\left(\frac{n}{N}\right) = -\frac{E}{K_BT}$ $\quad ln\left(\frac{n}{N}\right) = \left(-\frac{E}{K_B}\right)\frac{1}{T}$

$ln\left(\frac{n}{N}\right) = \left(-\frac{E}{K_B}\right)\frac{1}{T}$

$y = -m\ x$

$slop = -\frac{E}{K_B}$



ومن تحديد قيمة الميل يمكن حساب E $\quad E = -\text{slop} \times K_B$

تراكيز عيوب شوتكي في بلورة آيونية (ثنائية):

ان وجود الثغرات في البلورة يزيد من القصـــور الذاتي او الأنتروبي S للبلورة وبهذا تكون الطاقة الحرة للبلورة اصغر من تلك الطاقة لبلورة مثالية . ان هذا التغيير بالطاقة الحرة لهيلمهولتز ΔF مساوياً للتغيير في الطاقة الكلية للبلورة ΔU مطروحاً منه حاصل ضرب درجة حرارة البلورة مع تغيير الانتروبي.

$\Delta F = \Delta U - T\,\Delta S$ 1

$S = K_B \ln P$ 2

K_B ثابت بولتزمان & P احتمالية التوزيع (عدد الطرائق او الأســـاليب التي يمكن لذرات البلورة ان تســـتخدمها لترتيب نفســـها داخل البلورة). البلورات الآيونية تفضـــل تكوين تراكيز متكافئة من الثغرات الآيونية الموجبة والسالبة (للمحافظة على التعادل الكهربائي الاستاتيكي).

$N = +n = -n$

وبهذا تكون الاحتمالية الكلية التي يمكن تكوين ازواج من الفراغات الموجبة والسالبة.

$P = \left[\frac{N!}{(N-n)!n!}\right]^2$ 3

تعوض المعادلة (3) في (2) والناتج يعوض في المعادلة (1) نحصل على:

$\Delta F = n E_P - K_B T \ln \left[\frac{N!}{(N-n)!n!}\right]^2$ 4

وبأستخدام التقريب:

$\ln (x!) \simeq x \ln x - x, \quad$ for $\quad x >> 1$

$\ln \left[\frac{N!}{(N-n)!n!}\right]^2 \cong 2\,[N \ln N - (N-n)\ln(N-n) - n \ln n]$ 5

الان اذا افترضـــنا E_P تمثل الطاقة اللازمة لإزالة زوج من الايونات من باطن بلورة (طاقة التكوين لزوج من الثغرات). وبتعويض المعادلة (5) في المعادلة (4) نحصل على:

$\Delta F = nE_P - 2 K_B T [N \ln N - (N-n) \ln (N-n) - n \ln n]$ 6

عند حالة الاتزان الحراري يكون التغير في طاقة هيلمهولتز الحرة عند ادنى مستوى لذلك تكون المشـتقة الأولى لهذا التغير ΔF بالنسـبة الى التغير في عدد ازواج الثقوب n عند درجة حرارة T مسـاوية صـفراً أي ان :

$\frac{\delta(\Delta F)}{\delta n} = 0 = E_P - 2 K_B T [\ln (N-n) \ln n]$

$= E_P + 2K_B T \ln \left[\frac{n}{N-n}\right]$

$-E_P / 2 K_B T = \ln \left[\frac{n}{N-n}\right]$

$\therefore n = (N-n)\, e^{-E_p / 2K_B T} \qquad n << N$

$n = N e^{-E_P / 2K_B T}$ 7

عيوب فرنكل: تنشـأ من إزاحة ذرة او آيون من احد مواقع نقاط شـبيكة نظامية في باطن بلورة واحتلالها موقعاً في باطن تلك البلورة (ينشأ فراغ وذرة بينية) (زوج) اما حساب تركيزها في البلورة

$n = (NN^-)^{\frac{1}{2}}\, e^{-E_P / 2K_B T}$

- افرض ان N هو العدد الكلي من الذرات في بلورة لكل وحدة حجم
- E_I تمثل الطاقة اللازمة لترحيل ذرة عن موضع نقطة شبيكة الى موضع بيني (خلالي).
- عدد الذرات البينية لكل وحدة حجم (n) التي تكون في حالة اتزان مع عدد مشابه من ثقوب الشبيكة.
- $\acute{N}$ يمثل العدد الكلي من الذرات في البلورة بعد طرح الثغرات.

$$\therefore n \cong \left(N\acute{N}\right)^{\frac{1}{2}} e^{-E_I / 2K_B T}$$

عيوب الشبيكة :

اذا امتد العيب او الاختلال ليشمل مساحات عديدة من البلورة فيسمى عندئذ بالعيب الشبيكي. وتنقسم عيوب الشبيكة الى ثلاثة أنواع:

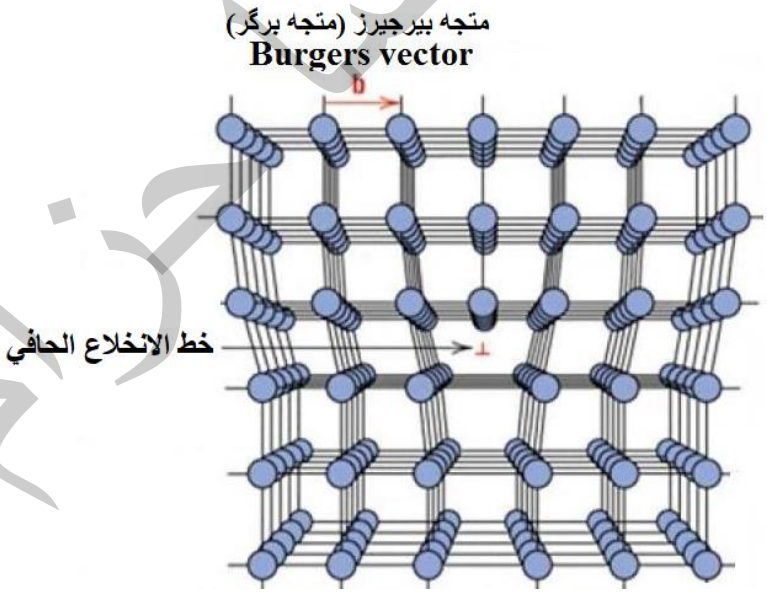
- العيوب الخطية (الانخلاعات) (عيوب أحادية البعد) وتشمل: الانخلاع الحافي & الانخلاع البرمي
- العيوب السطحية (عيوب ثنائية البعد) وتشمل: حدود الحبيباب & خطأ التراص & التوائم
- العيوب الحجمية (الحقلية) (عيوب ثلاثية الأبعاد)

العيوب الخطية:

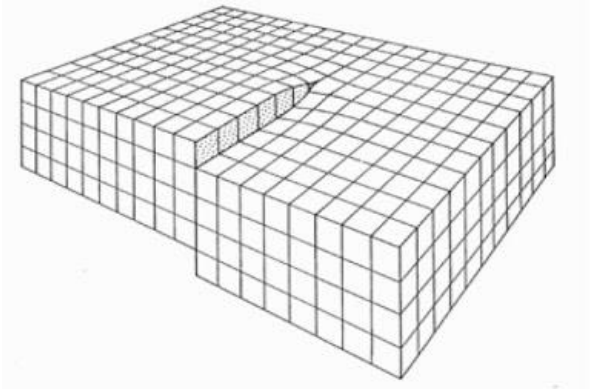
سمي العيب الخطي بهذا الاسم نظراً لأنه يكون على امتداد مسارات خطية. والعيوب الخطية تدعى بالانخلاعات Dislocations . والانخلاعات تؤثر بصورة كبيرة على الخواص الميكانيكية للمادة الصلبة حيث تضعف مقاومة المادة تحت تاثير الاجهاد كثيراً.

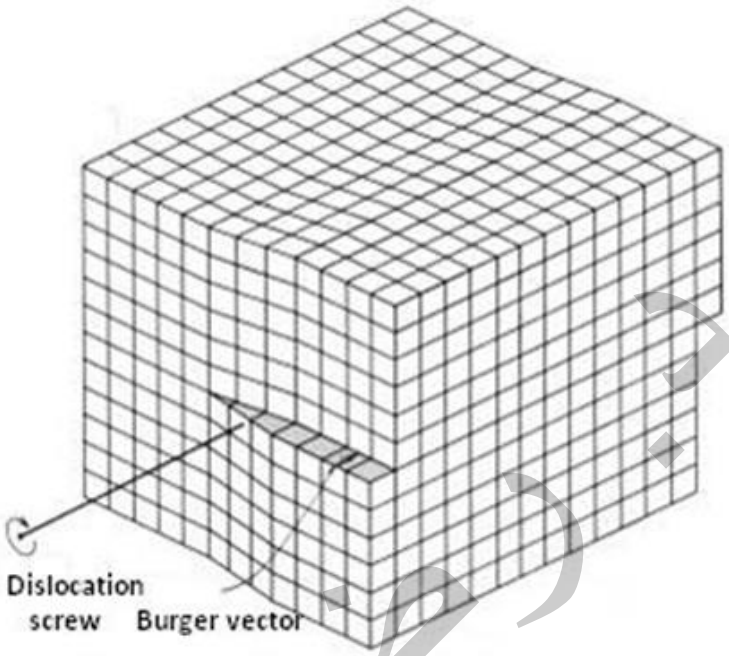
وتقسم الى نوعين:

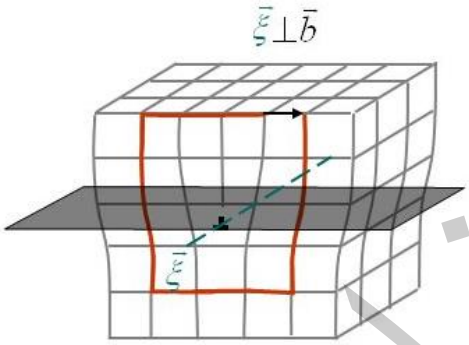
الانخلاع الحافي: Edge Dislocation (انخلاع تايلور – اوروان): وهو صف من الذرات يميز حدود حافة جزء من المستوى الذي امتد الى خارج البلورة ويرمز له عادة بمتجه بيرجيرز (متجه برگر) (وهو متجه يشكل زاوية قائمة مع خط الانخلاع في الانخلاع الحافي).



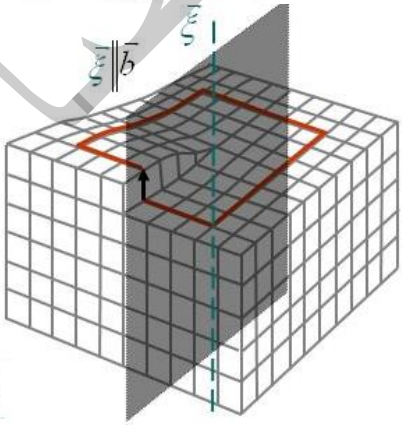
الانخلاع اللولبي (البرمي): وهو صف من الذرات للمستوى البلوري حول مسار لولبي ويكون متجه بيرجيرز (متجه برگر) موازي لخط الانخلاع زاوية صفر.







الانخلاع الحافي
Edge Dislocation



الانخلاع اللولبي
Screw Dislocation

Burger's Vector $\bar{b}$
متجه بيرجيرز $\bar{b}$

Dislocation Line $\bar{\xi}$
خط الانخلاع $\bar{\xi}$

Edge
Slip direction $\|\bar{b}$
$\bar{\xi} \perp \bar{b}$
Applied Shear stress $\|\bar{b}$

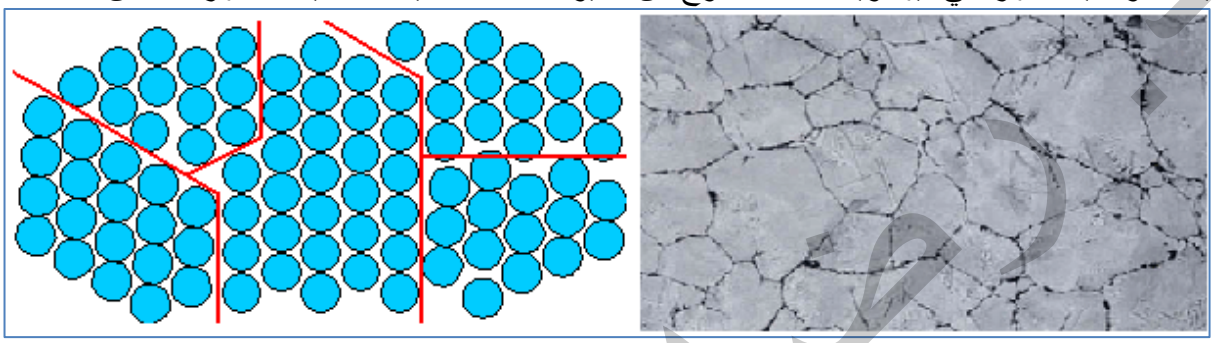
Screw
Slip direction $\|\bar{b}$
$\bar{\xi} \| \bar{b}$
Applied Shear stress $\|\bar{b}$

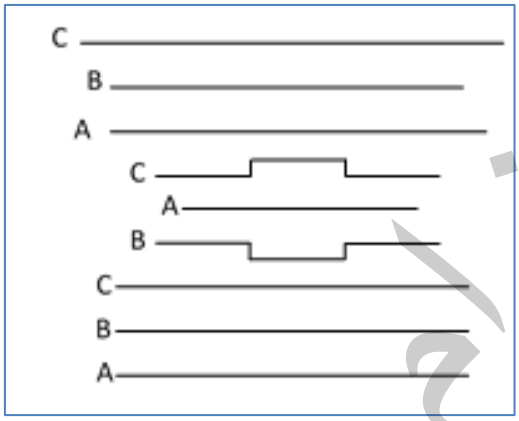
العيوب السطحية: سمي العيب السطحي بهذا الاسم لانه ينشأ من تجمع العديد من العيوب الخطية مكونة سطح من العيوب مثل حدود الحبيباب وخطأ التراص والتوائم.

حدود الحبيبات:

أن بعض المواد الصلبة لا تتكون بنيتها البلورية من بلورة واحدة بل من العديد من البلورات الصغيرة الحجم والتي يطلق عليها بالحبيبات وان كل حبيبة داخل بنية المادة الصلبة تختلف في اتجاها وحجمها وشكلها وبعدها عن جارتها وبالتالي لا بد أن يفصلها عن بعضها حدود فاصلة يطلق عليها بحدود الحبيبات.

تعمل حدود الحبيبات على إعاقة حركة الالكترونات الحرة وينتج بذلك مقاومة إضافية للمواد الفلزية حيث يقل التوصيل الكهربائي فيها ويحدث هذا النوع من العيوب خلال عمليات تصليد منصهر المعادن.





خلل التراص:

هي عيوب السطح التي تنشأ من تغيير في تراص الذرات في المستوى أو عبر الحدود، عندما ينتج ترتيب ABABC بدل من الترتيب ABCABC فإننا نقول أنه حدث خطاء في الرص.

أي ان خلل التراص يعني اختلال في تعاقب المستويات أي هو نتيجة لعدم استمرارية تعاقب المستويات بسبب خلل في ترتيب الذرات ذات النوع الواحد او اكثر من نوع.

التوائم: Twin:

يعتبر تشوه لدن يحدث نتيجة ازاحة صغيرة بين المستويات المتجاورة وتتم اثناء الانماء البلوري او التشوه الميكانيكي كالضغط وعند صهر المادة وانماء بلورة منها.

تعد التوائم من العيوب السطحية الشائعة والتي تحدث نتيجة لعدم استمرارية دورية الشبيكة وتعد عملية تكوين التوائم نمطا من أنماط التشويهات اللدنة وخلال عملية تكون البلورات التؤامية تحدث ازاحة صغيرة بين المستويات العديدة المجاورة. وان الجزء المشوه من البلورة له تماثلا مرآتي مع الجزء غير المشوه.

يتم حدوث التوأمة بالطرق التالية:

1- بطريقة النمو البلوري وتدعى بالتوائم النامية
2- يتم بطريقة التشوه الميكانيكي كالطرق او الضغط وتسمى بالتوائم المشوهة.

العيوب الحجمية: العيوب الحجمية مثل التشققات تنشأ في البلورات عندما يكون هناك اختلاف صغير بين الالكتروستاتيك للذر ت محكمة الرص في المعادن • .كما يعتبر وجود اماكن كبيرة شاغرة أو مساحة الفراغ، عندما تفقد مجموعة من الذرات باعتبارها النقص الحجم . والعيوب الحجمية تمتد خلال حجوم صغيرة في بلورة.

س) ما المقصود في العيوب السطحية وايهما اكثر حدوثا في البلورات؟

ج) سمي العيب السطحي بهذا الاسم لانه ينشأ من تجمع العديد من العيوب الخطية مكونة سطح من العيوب مثل حدود الحبيباب وخطأ التراص والتوائم. التوائم من العيوب السطحية الشائعة.

س) عرف كل مما يأتي: متجه برگر، الانخلاعات، العيوب الحجميه، الفراغ، الذرات الإضافية، العيب النقطي. العيب السطحي ، الانخلاع الحافي.

د. رضا حزام رسن

H.W.

س) اذا كانت الطاقة اللازمة لتكوين عيب شـــوتكي تســـاوي 2eV فبرهن على ان الكثافة النســـبية للفراغات بالنسبة للذرات سوف تكون دائما اقل من 10^{-10} عند درجة الغرفة.

س) احســـب عدد الثغرات (لكل ذرة) في اتزان حراري لبلورة عند درجة حرارة الغرفة 300k على أساس ان الطاقة اللازمة لتكوين ثغرة شوتكي تساوي الكترون فولت واحد.

س) طاقة 2 eV تحتاج لخلق عيب فرنكل في بلورة لها ذرة واحدة في الأســاس البدائي وثمانية مواقع خلالية في خلية الوحدة البدائية اوجد في حالة الاتزان عدد عيوب فرنكل لوحدة الخلية في درجة 1000°k و 300°k و 100°k

س) في الحديد اذا كان مقدار الطاقة المصـــاحبة لتوليد فراغ هو 1.05 eV . عند أي درجة حرارة سليلوزية (مئوية) سوف يتكون فراغ واحد لكل 10^5 ذرة.

==========

فيزياء الجوامد / سعود اللحياني

مثال: طاقة تكوين الفراغ في معظم البلورات تســـاوي بالتقريب واحد إلكترون فولت. احســـب تركيز الفراغات في بلورة نحاس عند درجة حرارة الغرفة وعند درجة حرارة 600 درجة مطلقة.

الحل/

$$n = Ne^{-E/K_BT}$$

$$\frac{n}{N} = e^{-E/K_BT} = e^{\left[\frac{(-1\times1.6\times10^{-19})}{1.38\times10^{-23}\times300}\right]} = e^{\frac{-1\times1.6\times10^{-19}}{4.14\times10^{-21}}}$$

$$\approx 1.64 * 10^{-17} \quad at \quad 300\ K$$

$$\frac{n}{N} = e^{-E/K_BT} = e^{-1\times1.6\times10^{-19}/1.38\times10^{-23}\times600} \approx 4 * 10^{-9} \quad at \quad 600\ K$$

من د. شـــذى : احســـب درجة حرارة النحاس التي يكون فيها عند الاتزان عدد الفراغات لكل متر مكعب $2.2*10^{20}$ vacancies/ m^3. طاقة تكوين الفراغ هي 0.7eV/atom والعدد الكلي للذرات هو atom/ $.2*10^{30}$ m^3

$$\frac{n}{N} = e^{-E/K_BT} \qquad \ln\left(\frac{n}{N}\right) = \frac{-E}{K_BT}$$

$$T = \frac{-E}{K_B \log\left(\frac{n}{N}\right)} \qquad T = \frac{-0.7}{1.38\times10^{-23} * \log\left(\frac{2.2*10^{20}}{2*10^{30}}\right)} =$$

أ) 3541.4K ب) 300K

ج) 354.14K د) $2.82*10^{-3}$K

س) في الحديد اذا كان مقدار الطاقة المصـــاحبة لتوليد فراغ هو 1.05 eV . عند أي درجة حرارة سليلوزية (مئوية) سوف يتكون فراغ واحد لكل 10^5 ذرة.

$$n = Ne^{-E/K_BT}$$

$$\frac{n}{N} = e^{-E/K_BT}$$

$$\frac{1}{10^5} = e^{-E/K_BT} = e^{-1.05\times1.6\times10^{-19}/1.38\times10^{-23}\times T} = 10^{-5}$$

$$-1.05\times1.6\times10^{-19}/1.38\times10^{-23}\times T = ln(10^{-5})$$

$$\frac{-1.05\times1.6\times10^{-19}}{1.38\times10^{-23}\times T} = ln(10^{-5})$$

$$\frac{-1.05\times1.6\times10^{-19}}{1.38\times10^{-23}\times ln(10^{-5})} = T$$

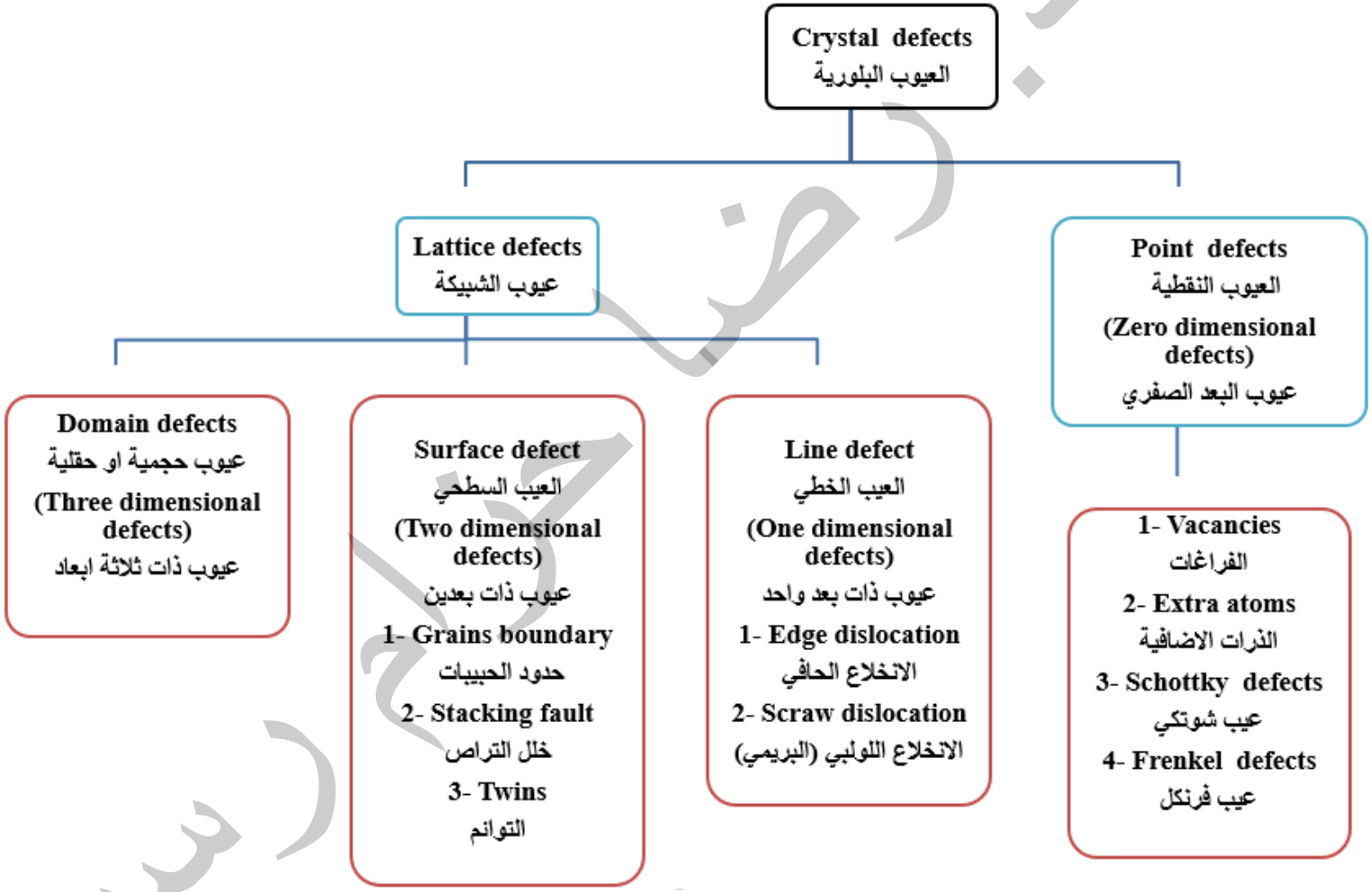
$$T = \frac{-1.68\times10^{-19}}{1.38\times10^{-23}\times(-11.51292546497)}$$

$$T = \frac{1.68\times10^{-19}}{15.887837\times10^{-23}} = 1057.4\ °K$$

$$T = 1057.4\ K - 273 = 784.4\ °C$$

$$T = -1057.4\ °K$$

د. رضا حزام رسن



د. رضا حزام رسن