عنوان المحاضرة :

العيوب البلورية

Crystal Defects

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

العيوب البلورية Crystal Defects

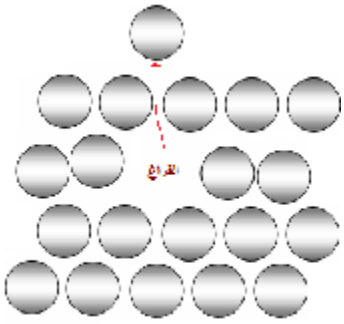
في البلورات المثالية تترتب الذرات بشكل دوري منتظم من دون أي خلل أو عيب إلا انه في الحقيقة لا توجد بلورة خالية من العيوب ،ان المقصود بمصطلح العيب في فيزياء الحالة الصلبة بأنه انحراف أو اختلال في استمرارية الترتيب المنتظم للذرات في الشبيكة ،'أي عدم الانتظام في البنية البلورية،تظهر العيوب البلورية على عدة أشكال والشائع منها:

١-العيوب النقطية: مثل الفراغات ،الذرات الإضافية،عيوب شوتكي ،عيوب فرنكل.
٢-العيوب الخطية:مثل الانخلاع الحافي والانخلاع ألبرمي.
٣-العيوب السطحية:مثل خلل التراص،الحدود الحبيبية ،التوائم.
٤-العيوب الحجمية:مثل عناقيد كبيرة لعيوب نقطية.

العيوب النقطية Point Defects

يعرف العيب النقطي على انه انحراف او اختلال في موقع ذرة او مواقع عدد قليل من الذرات المتجاورة.إن سبب تسميته بالعيب النقطي لحدوثه في منطقة صغيرة جدا إذا ما قورنت بحجم البلورة ،لهذا تعد هذه المنطقة كنقطة في فضاء كبير.

إن العيوب النقطية إما أن تكون نتيجة فراغات Vacancies أو نتيجة ذرات إضافية Extra Atoms داخل البنية البلورية.



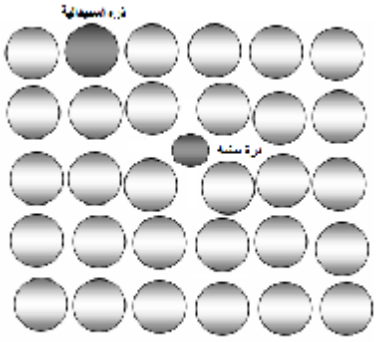
شكل (1)

الفراغات Vacancies

إن ابسط أنواع العيوب النقطية هو الفراغ وهو عبارة عن حيز الذرة المفقودة ضمن الترتيب المنتظم للذرات في الشبيكة كما في شكل (1) وقد يحدث هذا النوع نتيجة لخلل في الرص الذري أثناء عملية النمو البلوري Crystal Growth للمادة او من جراء التذبذب الحراري للذرات حول مواقعها في الشبيكة عند درجات الحرارة العالية فمن المحتمل أن تزاح الذرة عن مكانها تاركة فراغا.

الذرات الإضافية Extra Atoms

إن النوع الآخر من العيب النقطي هو وجود ذرات إضافية داخل البنية البلورية و يطلق عليها بالشوائب . إن الذرة المضافة يمكن لها أن تحتل موقعين متميزين في داخل الشبيكة .فإذا احتلت الذرة الإضافية موقع الذرة الأصلية فإنها تدعى عندئذ بالذرة الاستبدالية أما إذا احتلت الذرة الشائبة موقع بيني الذرات الأصلية فأنها تدعى حين ذاك بالذرة البينية وكما هو واضح من الشكل(2) ،أن الذرات البينية تكون على نوعين فإما أن تكون من نفس النوع من ذرات الشبيكة ويتم ذلك بإزاحة الذرة الأصلية من موقعها الأصلي إلى موقع بيني أوان تكون من نوع آخر يختلف عن الذرات الأصلية للبنية البلورية .ويتم إضافة الشوائب إلى البنية البلورية بطرق دقيقة جداً لإضافة

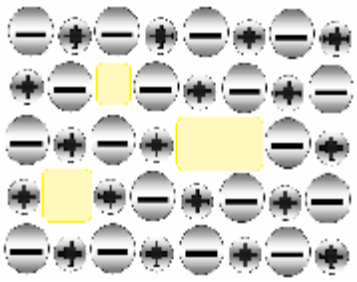


شكل (2)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الشوائب أهمها طريقة النمو البلوري أو باستخدام طريق الانتشار .وهناك طريقة متطورة دقيقة جداً لإضافة الشوائب يطلق عليها طريقة الغرس الأيوني .تعتمد مواقع الذرات البنية على نوع رص الذرات أو الايونات المكونة للبنية البلورية .ففي المواد الصلبة ذات الرص المحكم من الصعب جداً أن تحتوي بنيتها على ذرات بينية وذلك لصغر الحيز بين الذرات حيث لا يمكن أن يستوعب ذرة إضافية ومن أمثلة ذلك النحاس والخارصين .أما في الرص غير المحكم للذرة الشائبة أن تحتل مكان بينياً خاصة إذا كان حجمها صغيراً أي بنصف قطر $0.8\ A$.

عيوب شوتكي Schottky Defect

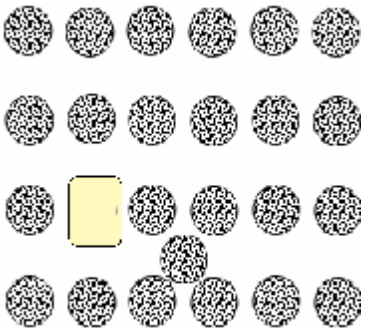

شكل(3)

يعرف عيب شوتكي على أنة فقدان إحدى الذرات من موقعها الأصلي تاركة وراءها حيز من الفراغ وكما هو واضح من الشكل (3) ويحدث عيب شوتكي عادة في البلورات الأيونية مثل كلوريد الصوديوم . أن حدوث الفراغات في داخل البلورة يؤدي إلى تغير الطاقة الحرة والتي تعتمد بدورها على تغيير كل من الطاقة الداخلية و الانتروبي.أن المقصود بالطاقة الداخلية هنا في E_P طاقة تكوين زوج من الفراغات فعلية تعرف طاقة التكوين على إنها الطاقة اللازمة لتكوين زوج من الفراغ الموجب والسالب فإذا كانت الطاقة اللازمة لتكوين زوج واحد من الفراغ الموجب و السالب في بلورة كلوريد الصوديوم NaCl هي (2 ev) فيكون عدد الفراغات عند درجة حرارة الغرفة تبعاً للمعادلة:

$$\left(n = N\ e^{-\frac{E_P}{2K_BT}} \right)$$

مساوياً إلى 10^{12} فراغاً لكل متر مكعب.بينما يكون عدد ايون الصوديوم Na وعدد ايون الكلورCL في المتر المكعب مساويا (2.2×10^{28}) لذا فان هناك فراغ واحد لكل 10^{16} أيون .ويزداد عدد الفراغات بازدياد درجة الحرارة . فإذا كان عدد الفراغات عند درجة الحرارة 300Kهو 10^{12} فأن عددها سيكون عند 900K ب 10^{22}.

عيوب فرنكل Frenkel Defect


شكل (4)

يعرف عيب فرنكل على انه إزاحة أحدى الذرات من موقعها الأصلي إلى موقع بيني تاركه ورآها حيزاً من الفراغ وكما هو واضح في الشكل (4). يحدث عيب فرنكل عادة في البلورات الفلزية وبلورات أشباه الموصلات. أن هناك عيبين يحدثان في البلورة في وقت واحد هما تكوين فراغاً وذرة بينية عندما تزاح الذرة الأصلية من موقعها الأصلي إلى موقع بيني داخل البنية البلورية أن حدوث أزواج من (فراغ - ذرة بينية) في داخل البلورة يودي إلى تغير الطاقة الحرة والتي تعتمد بدورها على تغيير كل من الطاقة الداخلية والانتروبى إن الطاقة الداخلية في عيوب فرنكل تتمثل بطاقة تكوين فرنكل E_i والتي تعرف على إنها الطاقة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

اللازمة لإزاحة ذرة عن موقعها الأصلي إلى الموقع بيني.وعلى فرض أن الذرة البينية يمكن لها أن تحتل موقع واحد من المجموع الكلي N_i للموقع البنية لذا فأن معادلة فرنكل تعطى بالعلاقة:

$$\left(n = \sqrt{N\ N_i}\ e^{-\frac{E_i}{2K_BT}} \right)$$

عيوب الشبيكة Lattice Defect

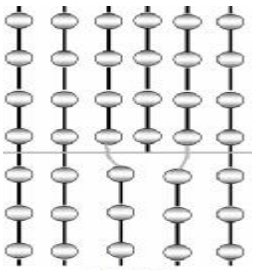
عرفنا أن العيب النقطي يحدث في موقع ذرة أو في موقع عدد قليل من الذرات .أما إذا امتد الاختلال أو العيب ليشمل مساحات عديدة من البلورة فيسمى عندئذ بالعيب الشبيكي .
تنقسم العيوب الشبيكة إلى نوعين: ١)العيب الخطي .
٢)العيب السطحي.

العيب الخطي Line Defect

عرف بهذا الاسم نتيجة لطبيعة تطوره أو سريانه التي تكون على امتداد مسارات خطية . وعلية فان البلورات لا تكون مثالية بل يمكن أن تحوي في بنيتها عيوباً خطية تعرف بالانخلاعات و التي تؤثر بصورة كبيرة على الخواص الميكانيكية للمادة الصلبة حيث تضعف من مقاومة المادة تحت تأثير الإجهاد كثيراً ويتم تقسيم الانخلاع إلى نوعين :

١- الانخلاع الحافي .
٢- الانخلاع اللولبي .

الانخلاع الحافي Edge Dislocation

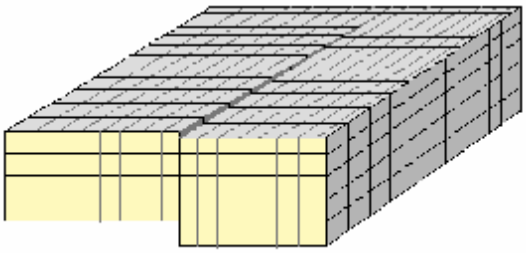

الشكل (5).

يطلق على الانخلاع الحافي باسم انخلاع (تايلور- اوران) والذي يمكن أن يوصف على انه صف من الذرات يميز حدود حافة جزء من المستوى الذي امتد خارج البلورة وكما مبين من الشكل يرمز للانخلاع الحافي بحرف L والذي يسمى بمتجه بيرجيرز وهذا المتجه يشكل زاوية قائمة مع خط الانخلاع في الانخلاع الحافي وكما هو واضح من الشكل (5).

الانخلاع اللولبي Scraw Dislocation

إن ابسط تعريف للانخلاع ألبرمي هو إزاحة جزء من شبكية بالنسبة إلى جزئها الأخر ويكون متجه الإزاحة متجه بيرجيرز موازي إلى خط الانخلاع ، ويطلق على هذا الانخلاع بانخلاع بيرجرز والذي يمكن أن يوصف على انه صف من الذرات المستوي البلوري حوله مساراً لولبياً ،وبتعبير آخر يدل انخلاع ألبرمي على الحد الفاصل بين الأجزاء المنزلقة وغير المنزلقة لبلورة مثالية عندما يكون هذا الحد موازيا إلى اتجاه الانزلاق وعلى عكس الانخلاع الحافي حيث يكون هذا الحد عموديا على اتجاه الانزلاق كما هو واضح من الشكل (6).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



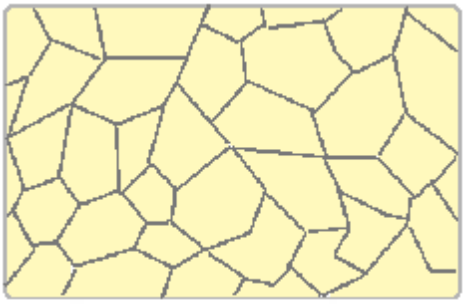
الشكل (6)

العيب السطحي Surface Defect

سمي هذا العيب بهذا الاسم لأنه ينشا من تجمع العديد من العيوب الخطية مكونة سطح من العيوب مثال ذلك حدود الحبيبات وخلل التراص و التوائم.

حدود الحبيبات Grains Boundary

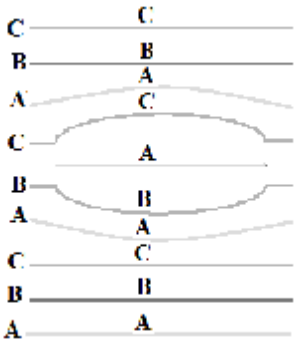
بعض المواد الصلبة لا تتكون بنيتها من بلورة واحدة بل من عديد من البلورات صغيرة الحجم والتي يطلق عليها بالحبيبات . وان كل حبيبة داخل بنية المواد الصلبة تختلف في اتجاهها وحجمها وشكلها و بعدها عن جارتها و بالتالي لابد أن يفصلها عن بعضها البعض حدود فاصله يطلق عليها بحدود الحبيبات كما هو واضح من الشكل (7). .تعتبر حدود الحبيبات كمناطق انتقالية تكون الذرات فيها غير مقترن مع أي من البلوريتين المتجاورتين وينتج عن ذلك مقاومة إضافية للمواد حيث يقل التوصيل الكهربائي فيها.



الشكل(7)

خلل التراص Stacking Fault

يعد خلل التراص من العيوب التي تحدث نتيجة لعدم استمرارية تعاف المستويات بسبب خلل في ترتيب الذرات ذات النوع الواحد أو أكثر من نوع فلو فرضنا وجود عدد n من الطبقات التي تتكون من نوع A من الذرات وعدد (n+1)من الطبقات التي تكون من النوع B فعلية يكون تعاقب الطبقات عند أنحاء البلورة على هذا النحو AB AB AB فإذا حدث خلل في ترتيب الطبقات فان احد الطبقات التي ذراتيها من النوع c الموجودة داخل المادة الصلبة كشوائب تنمو بين الطبقات n و n+1 على هذا النحو : AB AB ABC AB AB وبهذا تكون الطبقة C هي خلل التراص كما هو واضح من الشكل(8).



الشكل(8)

التوائم Twins

تعد التوائم من العيوب السطحية الشائعة والتي تحدث نتيجة لعدم استمرارية دورية الشبيكة وتعد عملية تكوين التوائم نمطاً من أنماط التشويهات اللدنة وتلاحظ خاصة في بنيات

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

البلورات التي تنتمي إلى المواد البلورية المكعبة ذات الأوجه المتمركزة(F.c.c) فخلال عملية تكوين البلورات التواؤمية تحدث إزاحة صغيرة بين المستويات العديدة المجاورة إن الجزء المشوه من البلورة له تماثلاً مرآتي مع الجزء غير المشوه كما هو في الشكل(9) يتم حدوث عملية التوأمة بالطرق التالية :

١)تتم بطريقة النمو البلوري وتعرف عندئذ بالتوائم النامية
٢)تتم بطريقة التشويه الميكانيكي كالطرق أو الضغط وتسمى بالتوائم المشوهة
٣)يتم حدوث التوأمة عند صهر المادة وإعادة نموها إن مقدار التشويه في الشبيكة البلورية عند الحدود التوأمة يكون بسيطاً لذا تكون طاقة الذرات فيه قليلة تظهر الحدود التوأمة في بعض السبائك بصورة خاصة مثل سبيكة النحاس الأصفر .إن التشوه ألتوأمي أهمية كبيرة في الفلزات مثل الخارصين و المغنسيوم التي يصعب فيها الانزلاق اللدن.

العيوب الحجمية Volume Defect

تمتد هذه العيوب خلال حجوم صغيرة في بلورة، وللتمثيل على ذلك عناقيد كبيرة لعيوب نقطية أو خلوات مقفلة وأنواع أخرى لشوائب دخيلة (inclusions). وتكون جميع البلورات الحقيقية مؤلفة من بلورات مجهريه (microcrystal) صغيرة أو حقول (domains) كل منها قد تكون مثالية تقريبا أو تمتلك أنواعا مختلفة من العيوب . إن حافة كل حقل قد تتغير من بضع مئات من الانكستروومات إلى بضع سنتمترات .ويكون هذا النوع من العيوب مهما في دراسات مثل الانصهار وانتقالات متعددة الشكل البلوري (polymorphic transitions) واستطارة الأشعة السينية فضلا عن تأثيراتها في المواد الصلبة الفيرومغناطيسية.

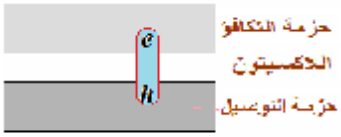
مفاهيم خاصة

البولارون Polaron

عبارة عن إلكترون يرافقه تشوه مرن في البلورة فعند تفاعل الإلكترون في شبيكة البلورة مع ذرات وايونات تلك الشبيكة بواسطة شحنته الكهربائية فانه يسبب تشوه مرنا (استقطاب) موضعيا في شبيكة البلورات الأيونية ،وان هذا التشوه يحاول مرافقة الإلكترون المتحرك ،حيث يتحرك هذا التشوه ضمن البلورة وعليه فان الجمع بين الإلكترون والتشوه المرن (أو مجال الإجهاد الناتج من التشوه)يسمى البولارون.

الاكسيتونات Excitons

يعرف على انه موجة استقطاب تنتج من ترابط بين إلكترون في نطاق حزمة التوصيل وفجوة في نطاق حزمة التكافؤ .إن طاقة الفوتون اللازمة لتوليد هذا الزوج تكون اقل من فجوة الطاقة ،وحيث إن الالكترونات والفجوات متعاكسة الشحنة فان كلا منهما يتحرك في المجال الكهروستاتيكي للآخر ولذلك فان احدهما يجذب الآخر بقوة كولوم فينشا عن ذلك زوج مقيد كما هو واضح في شكل (10) ،وفي هذه الحالة يدور الجسيمان (الإلكترون – فجوة) حول مركز كتلتيهما المشترك بزخم زاوي مكمم يعرف مثل هذا الزوج بالاكسيتون.



شكل (10)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com