جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة القادسية / كلية التربية

دراسة الخصائص الاساسية والبصرية والعيوب البلورية لأشباه الموصلات

بحث مقدم الى رئاسة قسم الفيزياء – كلية التربية كجزء من
متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في الفيزياء

تقدم بها

مصطفى عباس هادي محمد حميد مهدي

بإشراف

أ٠م٠ هناء حسين سلمان

2017 م **1438 هـ**

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ يرفع الله الذين آمنوا منكم والذين أوتوا العلم درجات والله بما تعملون خبير ﴾

صدق الله العلي العظيم

سورة المجادلة

الآية (11)

إلى هدى

إلى نبي الرحمة سيدنا و نبينا محمد صلى الله عليه وآله وسلم .....

إلى العروة الوثقى الأمير المرتضى علي ابن أبي طالب عليه السلام..

إلى تفاحة الفردوس سيدتي ومولاتي فاطمة الزهراء عليها السلام.....

إلى مولانا صاحب العصر والزمان الإمام الحجة المنتظر عجل الله فرجه...

إلى الشفاه التي أكثرت الدعاء كلما نطقت .....

إلى العيون التي رأت فينا أملا كلما نظرت .....

إلى القلوب التي ازدادت بنا فخرا كلما نبضت ....

إلى اعز من لي في الوجود إلى

أمي و أبي

أخوتي و أخواتي

الفصل الاول

1-1 المقدمة Introduction

كان استخدام شبه الموصل قبل ظهور الترانستور في(1946) يقتصر على صناعة النبائط ذات الطرفين Two-terminal devices كالمقومات rectifiers والثنائيات الضوئية photodiodes وكان والجرمانيوم في اوائل الخمسينات المادة شبه الموصلة الرئيسية المستخدمة الا ان عدم صلاحياتها ثبت في الكثير من التطبيقات أذ ان النبائط المصنعة منها عانت من تيار تسرب عال عند درجات حرارة ليست عالية كثيراً . وقد استخدم السليكون منذ بداية الستينات بديلاً عن الجرمانيوم وكاد ان يطغي عليها كلياً بوصفه مادة رئيسية في صناعة شبه الموصلات، ومن الاسباب الرئيسية التي جعلت السليكون المادة المستخدمة في النبائط هي الضألة المتناهية لتيار التسرب فيها وسهولة اكسدتها لتكوين ثاني اوكسيد السليكون عالي الجودة عن طريق الانماء الحراري وفضلاً عن ذلك فأن السليكون في الوقت الحاضر هو ارخص المواد الشبه موصلة الداخلة في النبائط مقارنة بالمواد شبه الموصلة الاخرى . ولأجهزة أشباه الموصلات تأريخا مهما ، فقد استخدمت في الأتصالات الراديوية قبل نشوء الصمام المفرغ الذي أستعيض عنها وعندما أصبح تردد التشغيل عاليا فإن زمن ألأنتقال للصمام المفرغ بدأ بتوليد مشكلات مهمة و سبب أفضلية أشباه الموصلات الثنائية عند الترددات العالية عندئذ بدأت تحل محل الصمامات المفرغة بالضبط لنفس التطبيقات التي سبق وأن أبطلت هذا الأنتعاش في الألكترونيات إلى نمو الكثير من الأجهزة و التي حلت محل الصمامات المفرغة في معظم التطبيقات .

1-2 تصنيف المواد :

تقسم المواد الصلبة الى ثلاثة اصناف حسب توصيلتها الكهربائية σ (Conductivity) او مقاومتها النوعية ρ (resistivities) وهي العوازل والموصلات واشباه الموصلات وكما ياتي:-

1-2-1 العوازل Insulators

تقع توصيلتها الكهربائية في حدود (10^{-8}-$10^{-18}(\Omega.cm)^{-1}$) وهي المواد التي تكون الكترونات التكافؤ في ذراتها مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالذرة لهذا تحتاج الالكترونات الى مجال كهربائي شديد جداً للتخلص من جذب النواة وبمعنى اخر ان العوازل لا تحتوي شحنات حرة ناقلة تحت الظروف القياسية الاعتيادية وتشمل اغلب المواد العضوية كالمطاط وتتميز حزم الطاقة فيها بما يأتي:

1. لها حزمة تكافؤ مملوءة بالالكترونات.
2. لها حزمة توصيل خالية من الالكترونات الحرة.
3. لها فجوة طاقة محظورة (Forbidden Energy gap) كبيرة نسبياً (9 eV) مما يجعل عدد الالكترونات المنتقلة الى حزمة التوصيل معدومة في درجات الحرارة الاعتيادية وايصالية واطئة جداً في درجات الحرارة العالية والتي تكون اكبر من درجة حرارة الغرفة.

1-2-2 الموصلات Conductors

تقع توصيلتها في حدود (10^{18}-$10^{3}(\Omega.cm)^{-1}$) تتميز الموصلات بتداخل حزمة التكافؤ مع حزمة التوصيل وعليه تختفي فجوة الطاقة (Eg) المحظورة فتكون للمادة الكترونات حرة كثيرة لهذا فان التيار الكهربائي المار يكون نتيجة لحركة الالكترونات الحرة كما في الفضة والنحاس.

1-2-3 اشباه الموصلات Semiconductors

تقع اشباه الموصلات ضمن زمرة كبيرة من العناصر او المركبات بين المواد الموصلة والمواد العازلة وتكون توصيلتها بحدود(10^{3}-$10^{-8}$$(\Omega.cm)^{-1}$). كان استخدام اشباه الموصلات قبل ظهور الترانزستور في عام 1946 ميلادية يقتصر على صناعة النبائط ذات الطرفين(two-terminal devices) كالمقومات (rectifires) والثنائيات الضوئية (photodiodes) وكان الجرمانيوم المادة شبه الموصلة المستخدمة الرئيسية الا ان عدم صلاحيتها ثبت في الكثير من التطبيقات اذ ان النبائط المصنعة منها عانت من تيار عال عند درجات حرارة ليست عالية كثيراً فضلاً عن ان اوكسيد الجرمانيوم مادة قابلة للذوبان في الماء.

والسليكون هو اكثر المواد توفراً في العالم بعد الاوكسجين كمادة شبه موصلة وتمثل نسبة ما يعادل 25% من مادة القشرة الارضية. وان تكنلوجيا السليكون هي الارقى بين جميع التكنلوجيات الاخرى لاشباه الموصلات. تصنف المواد في الطبيعة من حيث توصيليتها الكهربائية(Electrical Conductivity) عند درجة حرارة الغرفة إلى مواد موصلة (Conductor) وهي ذات توصيلية كهربائية عالية بحدود (103−108 (Ω.cm)-1)، ومواد عازلة (Insulator) ذات توصيلية واطئة جداً بحدود (10−18−10−8 (Ω.cm)-1)، ومواد شبه موصلة (Semiconductor) توصيلتها بحدود (10−8−103 (Ω.cm)-1)، أي أن توصيلتها تقع بين المواد الموصلة والعازلة. هذه المواد شبه الموصلة تكون عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة ولكنها تمتلك قابلية على التوصيل الكهربائي عند رفع درجة حرارتها إلى مقدار معين، إذ تزداد كثافة الإلكترونات المتوفرة للتوصيل بزيادة درجة الحرارة ويزداد تحفز الإلكترونات مما يؤدي إلى اجتياز طاقة الفجوة الممنوعة، لذلك يمكن التحكم بتوصيلة أشباه الموصلات بواسطة الحرارة.

1-3 الخصائص الأساسية لأشباه الموصلات

Basic properties of semiconductors

ان اشباه الموصلات مواد صلبة بلورية. معاملات توصيلها الكهربائي اقل من معاملات التوصيل الكهربائي للغازات بمقدار 7 الى 14 درجة من درجات العظمى وتتمثل بالعناصر مثل Ge, Si والمركبات مثلPbS, PbT, InP,GaAs.

وتختلف اشباه الموصلات جوهريا عند البلورات الايونية في تراكيب مستويات طاقتها وفي القيود المفروضة على الالكترونات في المادة ففي البلورات الايونية تكون الالكترونات تابعة الى ايونات منفردة وعلى الرغم من تأثر مستويات طاقة الايونات بقوى الاجهاد للايونات المجاورة. الا انه من الممكن بتقريب مناسب ان نتكلم عن مستويات طاقة الايونات المنفردة.

فعندما تصنع بلورة شبه الموصل فان ذراتها تعمل على الاحتفاظ بحصة منفردة من تلك الالكترونات الموجودة في اغلفتها الداخلية (inner shells). واما الالكترونات الخارجية التي يكون تماسكها الى الذرات ضعيفا فتصبح الصفة الجماعية Collective properties للبلورة ككل. واما الخصائص الفيزيائية لاشباه الموصلات فترتبط بكيفية توزيع ما تملكه من هذه الالكترونات الجماعية بين مستويات الطاقة للبلورة ومن هذه الخصائص الفيزيائية:

1. تمتلك مقاومة ذات معامل حراري سالب. حيث يكون اعتماد توصليتها الكهربائية على درجة الحرارة عكس ما هو في المواد الموصلة أي ان $\left(\frac{1}{\rho}=\sigma\right)$.
2. تمتلك نوعين من حاملات الشحنة: (الالكترونات – والفجوات) خلافا لما هو عليه في المواد الصلبة.
3. عندما تكون اشباه الموصلات ذات نقاوة عالية جداً ستظهر توصيلية ذاتية. ولا يظهر في درجات الحرارة الواطئة.
4. الشوائب قد تغير التوصيلية السالبة لشبه الموصل الى توصيلية موجبة والعكس بالعكس.

5. لاتسلك في مقاومتها سلوكاً اومياً (Non-Ohmic Behaviour) أي ذات رادة حثية أي انها تعارض التيار لكنها لا تستهلك طاقة.
6. حساسة للضوء من خلال الظاهرة الكهروضوئية او التغير في مقاومتها.
7. تتأثر توصيلتها بالمجال المغناطيسي.

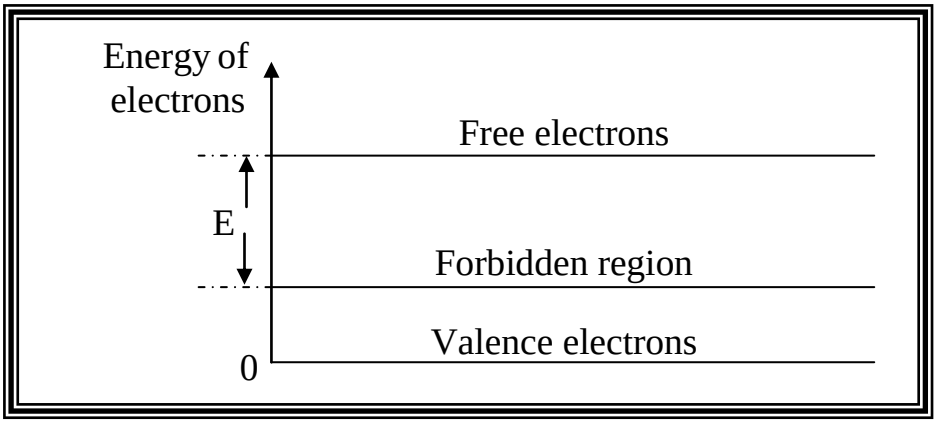
وتقسم أشباه الموصلات الى نقية ومطعمة كالأتي:

1-3-1 أشباه الموصلات النقية Intrinsic semiconductors

لنفترض ان جميع الالكترونات في مختلف ذرات المواد شبه الموصلة تصنف على اساس طاقتها. وعلى هذا فان الشكل (1-1-a) يمثل الحزم التي تكون احتمالية احتلالها من قبل هذه الالكترونات ممكناً، تفصل بين هذه الحزم منطقة تدعى بالمنطقة المحظورة ذات طاقة عالية (E)، اما الحزمة في الاسفل تحوي الكترونات التكافؤ محاطة باواصر كيميائية ما بين الذرات.

وان طاقة التوصيلية الكهربائية الفعالة (E) تعتمد على الطاقة اللازمة لكسر الاواصر التساهمية والتي تتفاوت ما بين ($0 \rightarrow 10$ eV) فعندما تزداد الطاقة الحرارية الفعالة (K_BT)، احصائياً فان الجزء الاكبر من الكترونات التكافؤ سوف تنطلق وتتحرك تحت فيض المجال الكهربائي. وفي نفس الوقت فان المناطق او الاماكن الفارغة ايضا تستطيع ان تتحرك وهذه ما تدعى بالفجوات (Holes)، وهذا ما ينطبق ايضا على عدد من الالكترونات المساوي لعدد الفجوات ولكن بعكس الاشارة. وهذا ما يحدث للبلورة النقية بدون أي قصور.

كما ان حاملات الشحنة تشتمل على عدد متساوي من الالكترونات والفجوات مثل هذا السلوك للبلورات يدعى باشباه الموصلات النقية (Intrinsic semiconductors).



(1-1-a) مخطط يمثل حزم الطاقة التي تكون احتمالية احتلالها من قبل الالكترونات.

ان حساب قيمة طاقة الفجوة اصبحت عملية سهلة من خلال قياسات التوصيلية او المقاومية . وذلك من خلال رسم بياني يمثل لوغاريتم المقاومية أو التوصيلية مع مقلوب درجة الحرارة المطلقة 1/T حيث تمثل بالمعادلة التالية:

$$\sigma = \sigma_o \, Ln(-E/2K_BT) \qquad (1-1)$$

حيث ان K_B : ثابت بولتزمان .

σ_o: تمثل حدود التوصيلية في درجات الحرارة العالية والتي تصبح بعد ذلك.

$$Ln\ \sigma = Ln\ \sigma_o - (\Delta E/2K_BT) \qquad (1-2)$$

وان الرسم البياني يصبح على شكل خط مستقيم مائل وبميل قيمته تساوي

$$-\frac{\Delta E}{2K} = \text{Slope} \qquad (1-3)$$

والطاقة E (طاقة الفجوة) يمكن حسابها بصريا من خلال حافة الامتصاص للضوء والذي يتحلل في الحبيبات او الفوتونات والتي تمتلك طاقة hν.

حيث h: يمثل ثابت بلانك.

وان ν : يمثل تردد الموجة الكهرومغناطيسية.

والفوتونات تمر من خلال البلورة متصادمة مع عدد كبير من الالكترونات اذا كانت $h\nu<E_g$ فان الطاقة تعود اخيراً الى الشكل الضوئي حيث تنعكس كلياً عن المنطقة التي سقطت عليها في حين ان هذه المنطقة تصبح محظورة على الالكترونات أي ان الالكترونات لا تنقل من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل.

من جهة اخرى اذا كانت $h\nu>E$ فان الكترونات التكافؤ سوف تتهيج في المنطقة بحيث تتحرك بحرية، ولذلك فانه ستكون هناك امتصاصية عالية عندما:

$$\upsilon = E / h \qquad (1\text{-}4)$$

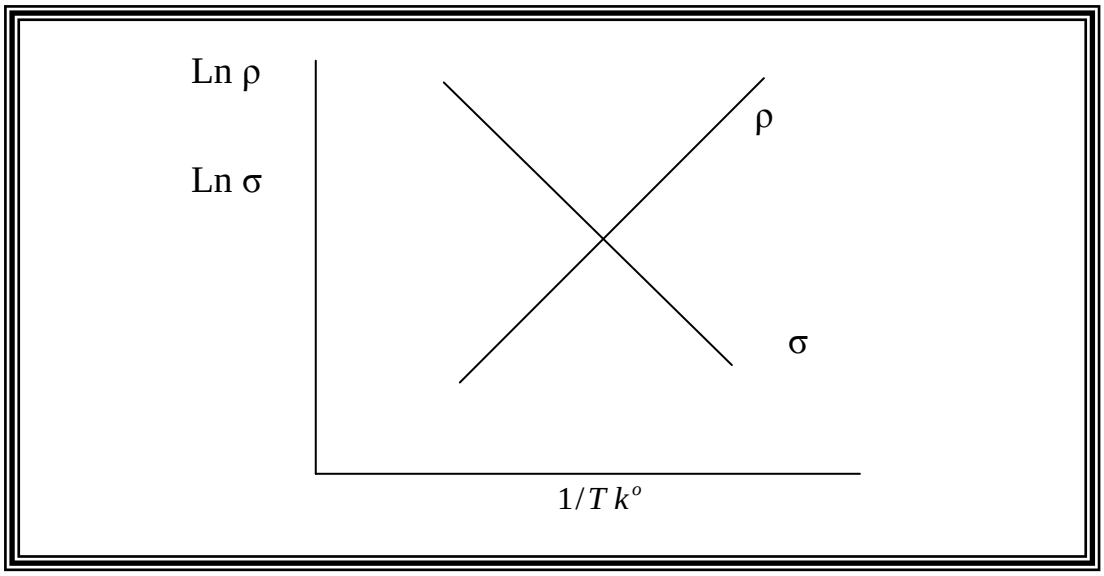
او بكلمات اخرى من خلال ان الطول الموجي والمساوي الى $(\lambda = 1.24/E)$ فان الطاقة سوف تقاس بوحدات الالكترون – فولت والطول الموجي يقاس بوحدة المايكرون، وان كثافة التيار الكهربائي هو عدد الشحنات الابتدائية والمارة في حجم من مادة صلبة. وان كثافة التيار تعتمد على عدد الحاملات الموجودة في هذا الحجم وعلى المجال الكهربائي.

ولكن ايضا يعتمد على سرعة حركة الحاملات كنتيجة لهذا المجال وعندها فان التوصيلية يعبر عنها بـ:

$$\sigma = Ne\ \mu_N + Pe\ \mu_p \qquad (1\text{-}5)$$

حيث ان P,N: عدد الالكترونات والفجوات/ في السنتمتر المكعب.

وان μ_N وμ_p : تمثل سرع تلك الفجوات والالكترونات بوحدة cm/Sec الى v/cm على التوالي هذه النسبة تدعى بالتحركية (Mobilities) ويعبر عنها بوحدة $cm^2/Vsec$.

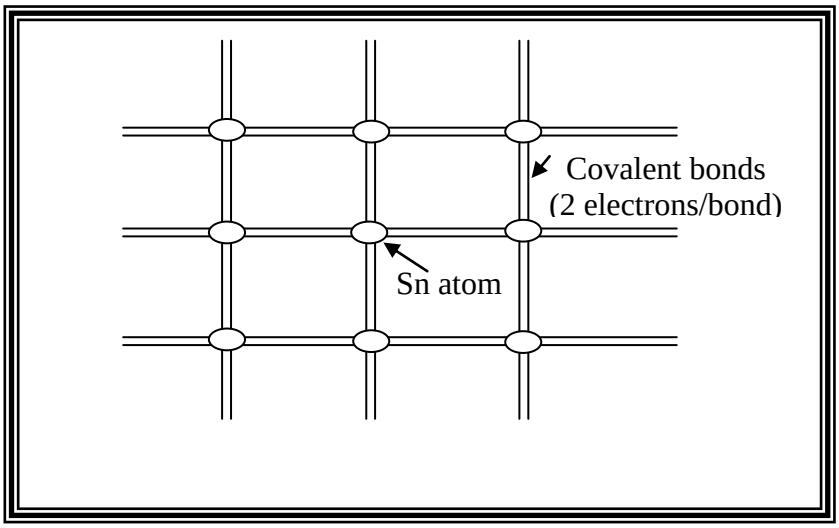


الشكل (1-1-b) بياني يمثل لوغاريتم التوصيلية او المقاومية وعلاقتها مع مقلوب درجة الحرارة المطلقة في شبه موصل نقي.

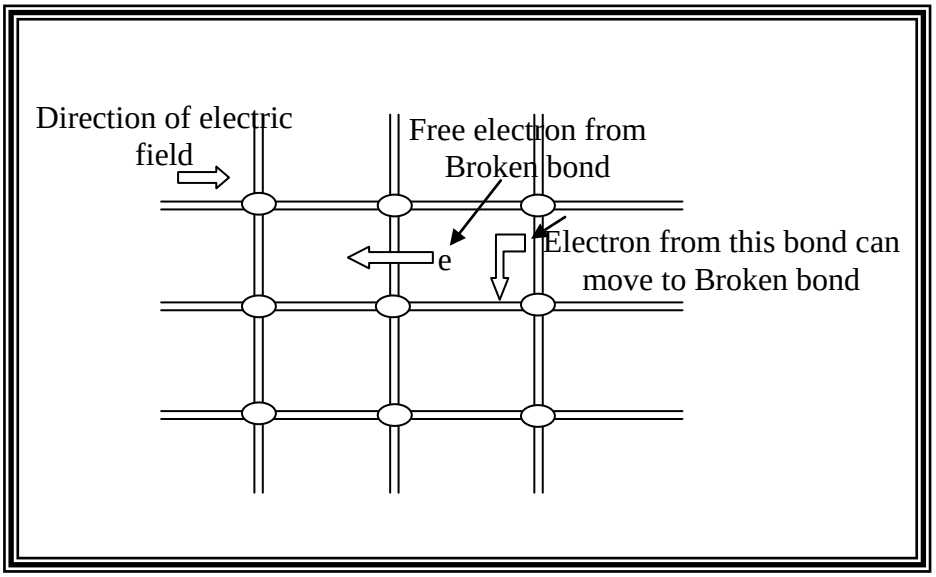
1-3-2 أشباه الموصلات المشوبة (غير النقية)

Extrinsic semiconductors

من التطبيقات على سلوك أشباه الموصلات دائما تتضمن البلورات غير النقية. او لتكن اكثر دقة هو تطعيم البلورات النقية اومزجها مع كميات قليلة جدا من مواد اخرى ان مثل هذه العملية تدعى بالتشويب اما البلورة الناتجة فتدعى بالبلورة غير النقية (extrinsic crystal). ان القاعدة الاساسية للحركة الالكترونية للاضافات (المواد المضافة) هي نفسها للعناصر والمركبات، ولكن الاسهل جداً هو وصفها بالنسبة للعناصر ولهذا سنحدد مجموعة من العناصر التي تنتمي الى زمرة معينة من الجدول الدوري في كيمياء العناصر.ومن اشباه الموصلات القابلة للتشويب هي اشباه الموصلات او عناصر المجموعة الرابعة من الجدول الدوري والتي تتضمن احدى هذه العناصر مادة القصدير الرصاصي وهو مادتنا الرئيسة في هذا البحث اما عن باقي المجموعة فتتضمن الجرمانيوم [Ge] والماس [C] والسليكون [Si] بالإضافة الى مادة القصدير [Sn] والشكل (1-2) يمثل مخطط توضيحي لشبيكة القصدير.



الشكل (2-1) مخطط توضيحي لشبيكة القصدير
a: الأواصر التساهمية غير المكسورة



b: تبين أحدى الأواصر المكسورة وتبين حركة الإلكترون الطليق وحركة الإلكترون المقيد القريب الى الفجوة المتروكة

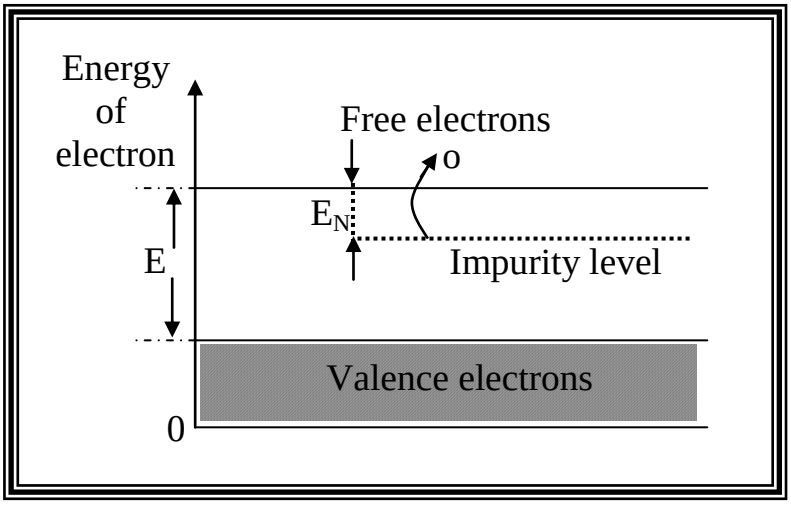
وكنتيجة لعملية التشويب، يمكن تحديد عدد الجسيمات التي تعمل كناقلات للتيار عن طريق وجود الشوائب التي يمكن تصنيفها الى الصنوف التالية وهي: الشوائب المانحة Donor impurities وتقع مستويات طاقتها عموماً قرب نطاق التوصيل والشوائب القابلة (accepter impurities) وتقع مستويات طاقتها عادة

قرب نطاق التكافؤ. واخيراً الشوائب التي تقع مستوياتها في عمق المنطقة المحرمة والنوعان الاولان هما الاكثر اهمية حيث يتم استخدامها عمداً في كثير من الاوقات لانتاج نوع سالب او نوع موجب من اشباه الموصلات.

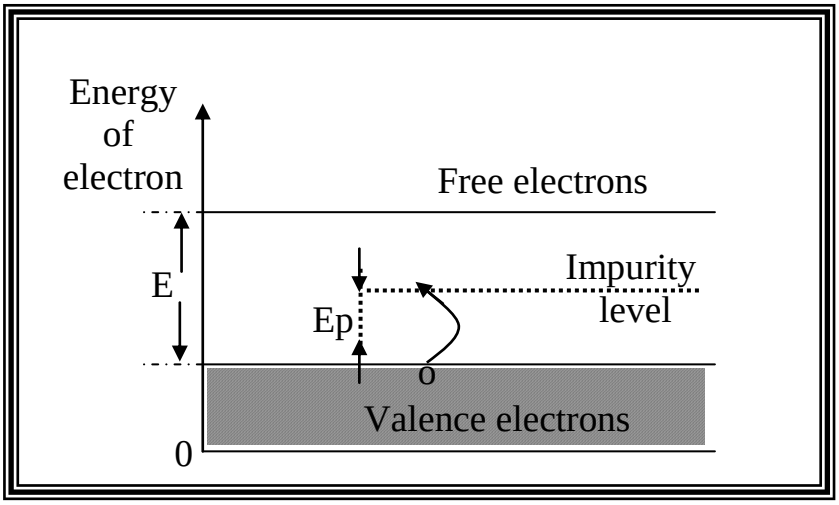
a. اشباه الموصلات المطعمة النوع (n-type) السالب. وينتج النوع السالب (n-type) من شبة الموصل عندما تزرع في داخل الشبكة البلورية عنصراً يمتلك الكترونات تكافؤ اكثر من الموقع الشبكي (latticesite) المستدعى اليه فتصبح مثل هذه الذرة او هذا الايون مانح الكتروني (Donor electronic).

b. اشباه الموصلات المطعمة النوع الموجب (p-type) اما عند زرع عنصر تكافؤه اوطئ من التكافؤ الخاص بالشبيكة فانه يصبح قابل الالكتروني (acceptor electronic) فيسرف النطاق التكافؤي لاحد الالكترونات العائدة للبلورة المثالية وبهذه الطريقة يتم استحداث فجوة الكترونية موجبة (hole) في المادة والتي تسمى بعدئذ موصل موجب[8]. والشكل (3-1) يمثل مخطط لطاقة شبه موصل مطعم من كلا النوعين (n-type) و (p-type).

وتصنف اشباه الموصلات ايضاً من حيث تبلورها الى بلورية ومتعدد التبلور وعشوائية.



الشكل (3-1) يمثل مخطط لطاقة شبه موصل مطعم
a. شبه موصل مطعم من النوع السالب (n-type).



b. شبه موصل مطعم من النوع الموجب (p-type).

1-3-3 أشباه الموصلات العشوائية

Amorphous Semiconductors

المركبات التساهمية العشوائية الشبة الموصلة تشكل حالا مديات جانبية التركيب خصوصاً من عناصر المجموعات (IV,V) الرابعة والخامسة والسادسة (VI) من الجدول الدوري. وتسلك اشباه الموصلات العشوائية كاشباه موصلات ذاتية ذات تحركية واطئة مع توصيلية معتمدة على حرارة تميز بطاقة التنشيط. اذن ما الذي يحدث في شكل الحزمة في المادة المضطرية؟

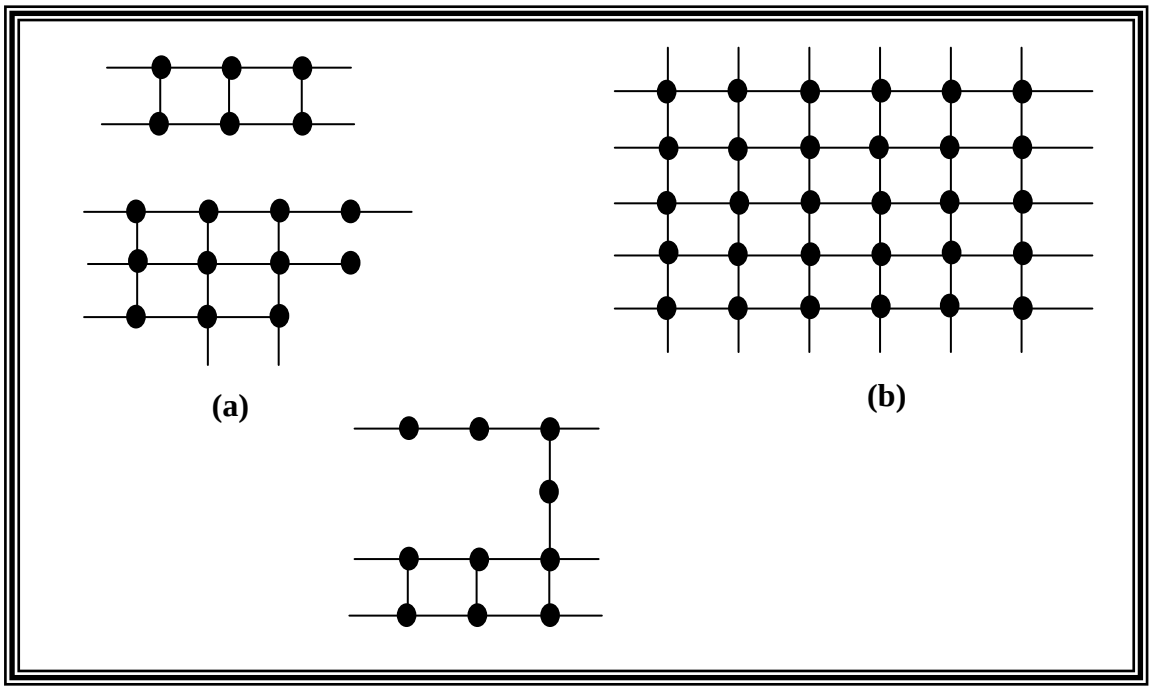
عندما تتعرض المادة الصلبة الى العشوائية والاضطراب بواسطة التشوهات الحرارية فان الفحص بحيود الاشعة (لبراك) وفجوة الطاقة لا تختفي . لكن في احد المركبات العشوائية فان فجوة الطاقة تُعدل نتيجة لهذه التشوهات الحرارية فتتداخل حزم التكافؤ والتوصيل وربما تضم حرارة التفعيل بين احد المستويات المركزية والاخر.

1-3-4 أشباه الموصلات البلورية

Crystalline Semiconductors

تكون ذراتها مرتبة بشكل منتظم في الشبكة البلورية أي تكون ذراتها مرتبة بشكل دوري مكونة بتشكيلات ثلاثية الابعاد ويسمى هذا الترتيب بالترتيب طويل

المدى (Long-rangeorder) ولهذا فهي تمتلك نوعا من التماثل ويمكن عدها نموذج هندسي معين هناك نوعان من التبلور، احادي التبلور (Single Crystal) وتمتد فيها دورية النموذج البلوري بالابعاد الثلاثة خلال البلورة باكملها كما في الشكل (1-4-a) ومتعدد التبلور (poly crystalline) وفيه لاتمتد دورية النموذج البلوري خلال البلورة بل تنتهي عند حدود داخل البلورة تدعى حدود الحبيبات (Grain Boundries) كما في الشكل (1-4-b). ان حدود الحبيبات هي الاوجة الفاصلة بين انتظام حبيبي واخر مجاور لة، وان الحبيبات والحدود الحبيبية في أشباه الموصلات متعددة التبلور تلعب دوراً أساسيا في تحديد الصفات الكهربائية لتلك المواد اذ ان الحدود الحبيبة تشكل حاجز جهد (Potential Barrier) بين الحبيبات يعمل على إعاقة حركية حاملات الشحنة في أشباه الموصلات متعددة التبلور.



الشكل (1-4) يمثل أشباه الموصلات أحادية التبلور ومتعددة التبلور

1-4 حزم الطاقة

Energy Bands

ان للالكترونات في الذرة المنفردة مستويات طاقة محددة. ففي ذرة الهيدروجين على سبيل المثال. تنحصر مستويات الطاقة للالكترون بناء على نموذج بور (Bohr) عند:

$$E_H = \frac{-m_o q^u}{8\ \varepsilon_o^2 h^2 n^2} = \frac{-13.6}{n^2} eV \qquad (1\text{-}4)$$

حيث يمثل m_o كتلة الإلكترون الحر.

و q : هي شحنة الإلكترون.

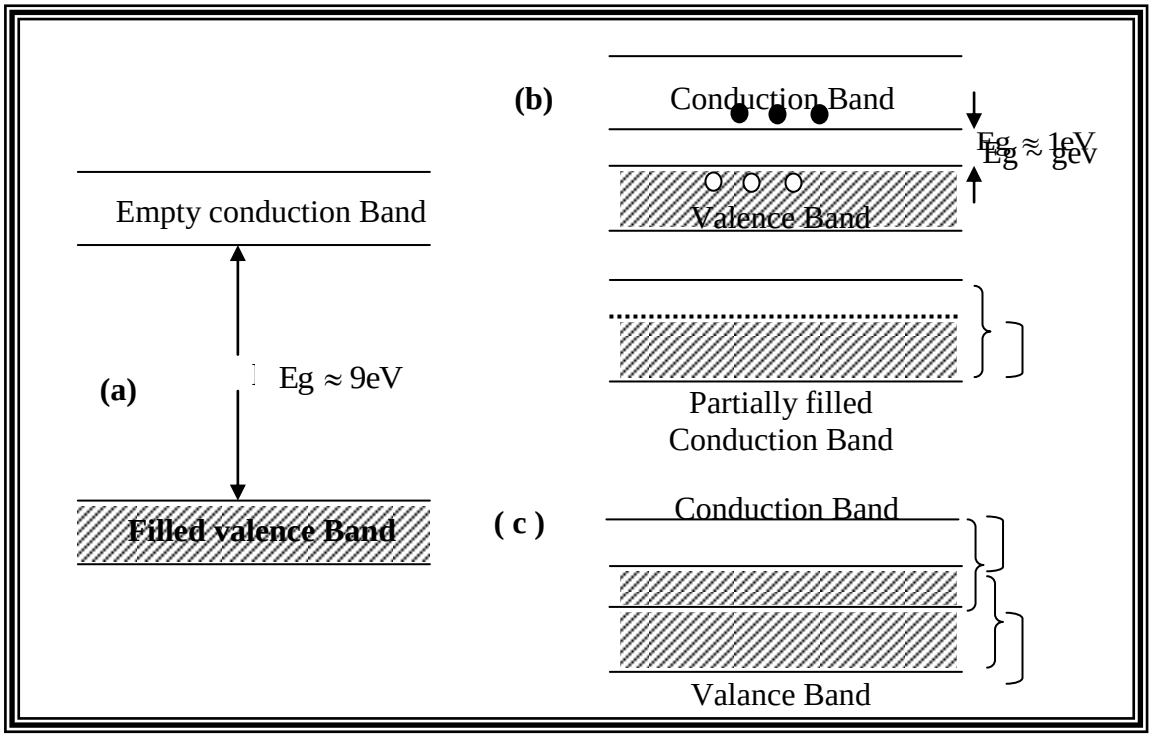
و ϵ_o : هي سماحية الفضاء المطلق free space permitivity.

و h : هو ثابت بلانك Blank constant.

و n : هو عدد صحيح موجب يدعى بالعدد الكم الاساس. فالطاقات المنفصلة هي (-13.6 eV) للمستوى الدركي ground level، (n=1) و(-3.4 eV) للمستوى الاعلى (n=2) .... الخ.

لقد امكن حساب البنية الحزمية للطاقة للمواد البلورية الصلبة باستخدام ميكانيك الكم (quantum mechanic) وبين الشكل (1-5) نشوء حزم الطاقة. فلكل ذرة منفردة مستويات طاقة منفصلة (ويظهر اقصى يمين الشكل مستويان منها فقط). وعندما تقترب الذرات ينشطر كل مستوى طاقة متحلل يكون حزمة وبازدياد التقارب بين الذرات تفقد كل حزمة ناشئة عن مستوى منفصل هويتها وذلك نتيجة التداخل والالتحام وتكوين حزمة واحدة. وعندما تقترب المسافة بين الذرات مسافة الاتزان الذري تنشطر هذه الحزمة مرة ثانية الى حزمتين ويفصل الحزمتين فاصل لا يمكن للالكترونات ان تمتلك طاقة تقع ضمنه وتدعى هذه المنطقة بالفجوة المحظورة (forbidden gap) او فجوة الحزمة (bandgap) Eg وتسمى الحزمة التي تعلو الفجوة بحزمة التوصيل (Conduction Band) في حين تدعى الحزمة اسفلها بحزمة التكافؤ(Valance Band) وهذا ما يظهر في يسار الشكل(1-5). حيث يبين الشكل (1-5) مخططات حزمة الطاقة لثلاثة اصناف من المواد الصلبة عازلة وشبه موصلة وموصلة. ففي المواد العازلة كثاني اوكسيد السليكون SiO_2 مثلا

تشكل الكترونات التكافؤ اواصر متينة ما بين الذرات المتجاورة يصعب كسر هذه الاواصر. وبذا تختفي الكترونات التوصيل في هذه المواد وكما يبدو في الشكل (1-5-a) فان فجوة الحزمة في المواد العازلة تكون كبيرة وتكون جميع المستويات للطاقة في حزمة التكافؤ مشغولة من قبل الالكترونات في حين تكون جميع مستويات الطاقة في حزمة التوصيل شاغرة. ولا يمكن للطاقة الحرارية ولا المجال الكهربائي المسلط ان يرفع الالكترونات في اعلى حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل ولذلك فان ثنائي اوكسيد السليكون مادة عازلة ولا تستطيع نقل التيار الكهربائي. ان الاواصر بين الذرات المتجاورة في شبه الموصل تكون متينة بعض الشيء وبذلك فان الطاقة الحرارية تكسر بعض هذه الاواصر وعند انكسار الاصرة يتحرر الكترون ويتولد ثقب طليق ويظهر في الشكل (1-5-b) ان فجوة الحزمة في شبه الموصل ليست بمقدار ما هي عليه في العازل .فعلى سبيل المثال فجوة حزمة السليكون تساوي (1.12eV) ولهذا السبب يمكن لبعض الكترونات التكافؤ تسلق فجوة الحزمة الى حزمة التوصيل تاركة خلفها فجوات في حزمة التكافؤ وبفعل المجال الكهربائي المسلط تكتسب الالكترونات في حزمة التوصيل وكذلك الفجوات في حزمة التكافؤ طاقة حركية تساهم في التوصيل الكهربائي. أما المواد الموصلة كالمعادن مثلا ، فإما ان تكون حزمة التوصيل مشغولة جزئيا بالالكترونات او ان تكون متداخلة مع حزمة التكافؤ حيث تختفي فجوة الحزمة. وكما يظهر في الشكل (1-5-c) وبذلك يمكن للالكترونات العالية في الحزمة المشغولة جزئيا او الالكترونات في قمة التكافؤ ان تنتقل الى مستويات الطاقة الاعلى التي تليها عند اكتسابها للطاقة الحركية (من المجال الكهربائي المسلط مثلا) وبذلك يمكن للتيار ان يسري بسهولة.



الشكل (5-1) مخطط حزمة الطاقة لكل من (a) العازل (b) شبه الموصل (c) الموصل

الهدف من البحث

1. دراسة التوصيلية الكهربائية لأشباه الموصلات
2. معرفة الخصائص الاساسية لأشباه الموصلات
3. دراسة الخصائص البصرية لأشباه الموصلات
4. دراسة العيوب البلورية لأشباه الموصلات

الفصل الثاني

2-1 الخصائص البصرية لأشباه الموصلات
Optical Properties of Semiconductors

2-1-1 معامل الامتصاص
Absorption Coefficient

يعرف معامل الامتصاص(α) بأنه نسبة التناقص في فيض طاقة الإشعاع الساقط بالنسبة لوحدة المسافة باتجاه انتشار الموجة داخل الوسط، يعتمد معامل الامتصاص على طاقة الفوتون (hf) وخصائص شبه الموصل فيما يخص طاقة الفجوة لشبه الموصل ونوع الانتقالات الإلكترونية. فعند سقوط حزمة ضوئية على غشاء رقيق فإن جزءاً منها ينعكس وجزءاً ينفذ وجزءاً تمتصه مادة الغشاء، وكمية كل من الطاقة المنعكسة والنافذة والممتصة تعتمد على طبيعة مادة الغشاء الرقيق وسطحه والطول الموجي للحزمة الضوئية الساقطة. كذلك فان قيمة معامل الامتصاص تدل على قابلية مادة الغشاء لامتصاص طاقة الاشعاع الساقطة.

إذا كانت شدة الضوء الساقط (I_o) على مادة سمكها (t) ومعامل لمتصاصها(α) فإن شدة الضوء النافذ(I) خلال هذه المادة تعطى وفق معادلة لامبرت التالية:-

$$I = I_o e^{-\alpha t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}1)$$

إذ إن t: سمك الغشاء الرقيق.

α: معامل الامتصاص، يقاس بوحدة (cm^{-1}).

بعد حل المعادلة (2-1) نحصل على:

$$\alpha t = 2.303 \ \mathrm{Log}\left(\frac{I_o}{I}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}2)$$

إذ إن المقدار $\left(\text{Log}\frac{I_\circ}{I}\right)$ يمثل ($A_\circ$) وهي امتصاصية الغشاء الرقيق. شدة الأشعة الساقطة تتناقص بشكل أسّي ($e^{-\alpha t}$) خلال المادة، ومعامل الامتصاص(α) يمثل نسبة التناقص في طاقة الاشعاع خلال المادة. إذن يمكن حساب معامل الامتصاص كما يلي:

$$\alpha = 2.303\ A_\circ / t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}3)$$

2-1-2 حافة الامتصاص الأساسية
The Fundamental Absorption Edge

الزيادة السريعة الحاصلة في الامتصاص عندما تكون طاقة الإشعاع الممتصة مساوية تقريباً لطاقة الفجوة هي ما يعرف بـ (حافة الامتصاص الأساسية) لذا فإن حافة الامتصاص الأساسية تمثل أقل فرق في الطاقة بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ وأوطأ نقطة في حزمة التوصيل.

2-1-3 مناطق الامتصاص
Absorption Regions

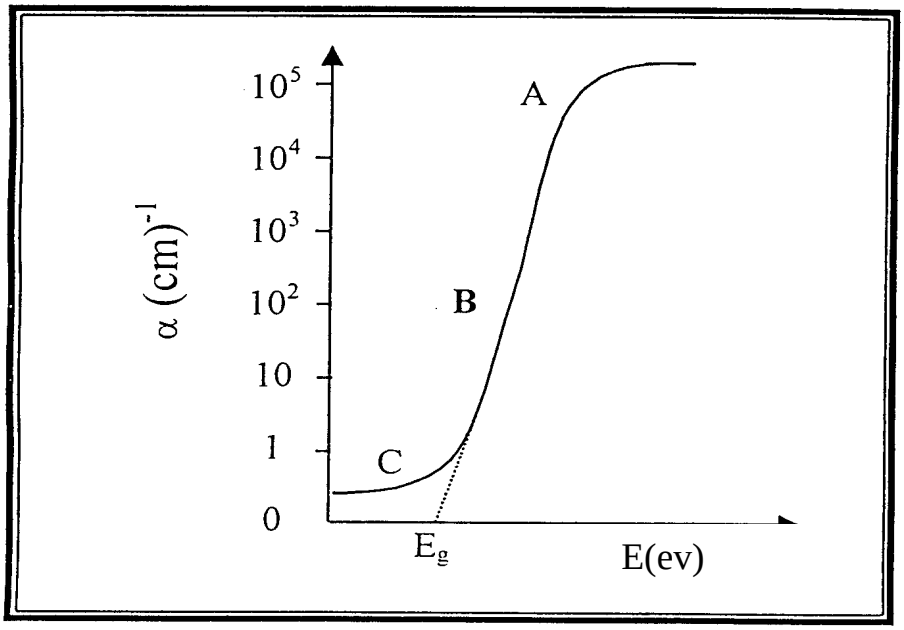
تقسم مناطق الامتصاص إلى ثلاث مناطق، هي:

A- منطقة الامتصاص العالي High Absorption Region

يوضح هذه المنطقة الجزء (A) من الشكل (1−2) ، إذ يكون مقدار معامل الامتصاص (α) أكبر أو يساوي ($10^4 cm^{-1}$)، يمكن من خلال هذه المنطقة التعرف على مقدار طاقة الفجوة البصرية المحظورة ($E_g^{opt.}$).

B- المنطقة الأُسّية Exponential Region

يوضح هذه المنطقة الجزء (B) من الشكل (1–2)، تتراوح قيمة (α) في هذه المنطقة بين ($1\ cm^{-1} < \alpha < 10^4\ cm^{-1}$) وتمثل الانتقالات بين المستويات الممتدة في حزمة التكافؤ إلى المستويات الموضعية في حزمة التوصيل وكذلك من المستويات الموضعية في قمة حزمة التكافؤ الى المستويات الممتدة في قعر حزمة التوصيل.



الشكل (1-2) : حافة الامتصاص ومناطق الامتصاص الرئيسية

C- منطقة الامتصاص الضعيف Low Absorption Region

يكون معامل الامتصاص في هذه المنطقة صغيراً جداً ($\alpha < 1cm^{-1}$) ، تعزى الانتقالات بين الأنطقة هنا إلى كثافة الحالات داخل الفسحة الحركية الناتجة عن العيوب التركيبية كما يوضحها الجزء (C) من الشكل (1–2).

2-2 الانتقالات الإلكترونية Electronic Transitions

تقسم الانتقالات الإلكترونية إلى نوعين:-

2-2-1 الانتقالات المباشرة Direct Transitions

يحدث هذا النوع من الانتقالات الإلكترونية في أشباه الموصلات عندما يكون قعر حزمة التوصيل في المنحنى المرسوم بين الطاقة والعدد الموجي (E-K) تماما فوق قمة حزمة التكافؤ، أي أنهما يمتلكان نفس قيمة متجه الموجة أي ($\Delta k=0$)، في هذه الحالة يظهر الامتصاص عندما ($hf=E_g^{opt.}$) وهذا النوع يحدث دون تغير ملحوظ في الزخم، هنالك نوعان من الانتقالات المباشرة هما:-

1- حدوث الانتقال بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ وأوطأ نقطة في حزمة التوصيل، ويسمى (الانتقال المباشر المسموح) (Direct Allowed Transition) كما في الشكل (2- 12-a).

2- حدوث الانتقال بين النقاط المجاورة لأعلى وأوطأ نقطة ويسمى (الانتقال المباشر الممنوع)(Direct Forbidden Transition). كما في الشكل (1-2-b)، معامل الامتصاص لهذا النوع من الانتقالات يمكن حسابه من المعادلة (3-2).

$$\alpha hf = B (hf - E_g^{opt.})^r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-4)$$

إذ إن:

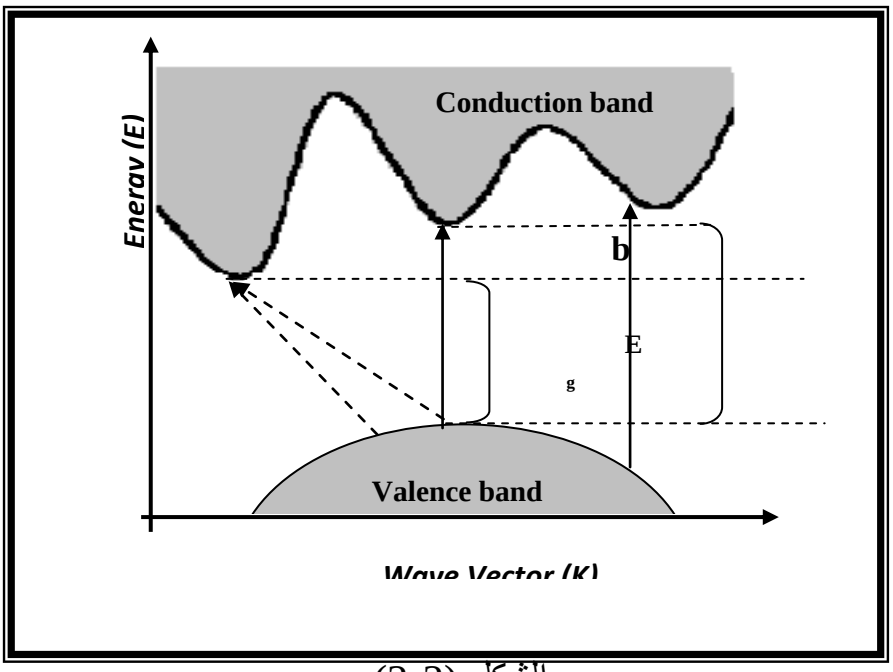
$E_g^{opt.}$: طاقة الفجوة للانتقال المباشر.

B : ثابت يعتمد على طبيعة المادة.

h : ثابت بلانك ويساوي($6.625x10^{-34}$ J.sec).

f : تردد الفوتون الساقط.

r : ثابت أسّي تعتمد قيمته على طبيعة الانتقالات، فإذا كان (r=1/2) يكون الانتقال مباشراً مسموحاً، وإذا كان (r=3/2) فالانتقال يكون مباشراً ممنوعاً.



الشكل (2-2)

أنواع الانتقالات الالكترونية الحاصلة نتيجة الامتصاص البصري [

(a) انتقال مباشر مسموح (c) انتقال غير مباشر مسموح

(b) انتقال مباشر ممنوع (d) انتقال غير مباشر ممنوع

2-2-2 الانتقالات غير المباشرة Indirect Transitions

في هذا النوع من الانتقالات لا يكون قعر حزمة التوصيل في منحنى(E-K) تماما فوق قمة حزمة التكافؤ، إذ يحدث انتقال الإلكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل بصورة غير عمودية إذ لا تتساوى قيمة متجه موجة الإلكترون قبل الانتقال وبعده أي أن ($\Delta k \neq 0$)، يحدث هذا النوع من الانتقالات بمساعدة الفونون من أجل حفظ الزخم (Conservation of Momentum) الناتج عن تغير متجة الموجه (Wave Vector) للإلكترون. وهنالك نوعان من الانتقالات غير المباشرة:-

1- عندما تكون الانتقالات بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ وأوطا نقطة في حزمة التوصيل الموجودة في مناطق مختلفة لفضاء (k) يسمى (الانتقال غير المباشر المسموح) كما في الشكل (2-12-c).

2- عندما يكون الانتقال بين نقاط مجاورة لأعلى وأوطأ نقطة في حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل يسمى (الانتقال غير المباشر الممنوع) ، كما في الشكل (2-2-d).

معامل الامتصاص لهذا النوع من الانتقالات يمكن الحصول عليه من المعادلة التالية[78]:

$$\alpha hf = B\,(hf - E'_g{}^{opt.} \pm E_p)^r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}5)$$

إذ إن:

$E'_g{}^{opt.}$: طاقة الفجوة للانتقال غيرالمباشر.

r: يساوي (2) في حالة الانتقالات غير المباشرة المسموحة.

r: يساوي (3) في حالة الانتقالات غير المباشرة الممنوعة.

E_p: طاقة الفونون المساعد، عندما تكون (+): امتصاص فونون، (−): انبعاث فونون.

2-3 الثوابت البصرية Optical Constants

توصف الخصائص البصرية للمواد المتجانسة (الامتصاصية الانعكاسية والنفاذية) عادة بعاملين هما معامل الانكسار (n_o)، ومعامل الخمود (k_o).

2-3-1 معامل الانكسار Refraction Index

يمكن تعريف الانعكاسية (R) " بأنها النسبة بين شدة الشعاع المنعكس عند الحد الفاصل بين وسطين إلى شدة الشعاع الساقط. أما النفاذية (T) فهي " النسبة بين شدة الشعاع النافذ إلى شدة الشعاع الساقط ". ترتبط الانعكاسية (R) مع معامل الانكسار وفقاً للمعادلة التالية:

$$R = \frac{(n_\circ - 1)^2 + k_\circ^{\,2}}{(n_\circ + 1)^2 + k_\circ^{\,2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}6)$$

إذ إن k_o: معامل الخمود.

يمكن حساب (R) من المعادلة التالية:−

$$R + T + A = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}7)$$

يمكن التعبير عن معامل الانكسار بالمعادلة التالية:-

$$n_{\circ} = \left[\left(\frac{1+R}{1-R} \right)^2 - \left(k_{\circ}^{\,2} + 1 \right) \right]^{1/2} + \frac{1+R}{1-R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}8)$$

2-3-2 معامل الخمود Extinction Coefficient (k_o)

يسمى الجزء الخيالي من معامل الانكسار المعقد (Complex Refractive Index- N-) بـ (معامل الخمود)، كما موضح بالمعادلة التالية:-

$$N = c/v = n_o - i\,k_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}9)$$

إذ إن:-

v, c: سرعة الضوء في الفراغ وفي الغشاء الرقيق على التوالي.

n_o: الجزء الحقيقي من معامل الانكسار.

من الجدير بالذكر إن (N) يعتمد على عوامل عدة منها: نوع المادة، والتركيب البلوري (حتى لو كان التركيب البلوري نفسه فإن N يتغير تبعاً لتغير الحجم الحبيبي)، فهو حساس للعيوب، والإجهادات الموجودة في البلورة.

يمكن حساب معامل الخمود للأغشية المحضرة قبل التشويب وبعده باستخدام المعادلة التالية:

$$k_o = \alpha\lambda / 4\pi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}10)$$

إذ إن λ يمثل الطول الموجي للشعاع الساقط.

2-3-3 ثابت العزل الكهربائي Dielectric Constant

يمثل ثابت العزل الكهربائي قابلية المادة على الاستقطاب، إذ يمثل استجابة المادة لترددات مختلفة وبسلوك معقد، عند الترددات البصرية الممثلة بالموجات الضوئية تكون الاستقطابية الإلكترونية هي السائدة فقط على بقية أنواع الاستقطاب الأخرى، كما أن درجة الاستقطاب للمادة لا تعتمد على المجال الكهربائي فقط بل تعتمد أيضاً على الخصائص الجزيئية للمادة التي تجعل من هذه المادة مادة عازلة، المعادلات التالية يحسب من خلالها ثابت العزل الكهربائي الحقيقي والخيالي. التفاعل بين الضوء وشحنات الوسط وماينتج عنه من استقطاب لشحنات ذلك الوسط يوصف عادة بثابت العزل الكهربائي المعقد للوسط الذي يعبر عنه بالمعادلة التالية:-

$$\varepsilon = \varepsilon_1 - i\,\varepsilon_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}11)$$

إذ إن:-

ε: ثابت العزل الكهربائي المعقد.

ε_1 , ε_2: الجزء الحقيقي والخيالي لثابت العزل على التوالي.

يمكن حساب ثابت العزل بواسطة حساب معامل الانكسار، إذ يرتبط ثابت العزل الكهربائي المعقد بمعامل الانكسارالمعقد(N) بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = N^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}12)$$

من المعادلات اعلاه يمكن أن نستنتج:-

$$(n_o - i\,k_o)^2 = \varepsilon_1 - i\,\varepsilon_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}13)$$

ومن المعادلة (2-13) يمكن كتابة جزئي ثابت العزل الكهربائي المعقد: الحقيقي والخيالي بالصورة التالية:-

$$\varepsilon_1 = n_o^{\,2} - k_o^{\,2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}14)$$

$$\varepsilon_2 = 2\, n_o\, k_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}15)$$

2-4 التوصيلية الضوئية Optical Conductivity

ترتبط التوصيلية الضوئية بمعامل الانكسار ومعامل الخمود وفقاً للمعادلة التالية [83]:

$$\sigma = 2 n_o\, k_o\, \omega\, \varepsilon_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}16)$$

إذ إن:-

ω : التردد الزاوي.

ε_o : سماحية الفراغ.

بعد التعويض في المعادلة (2-15) يمكن كتابة المعادلة (2-16) بالصيغة التالية:-

$$\sigma = \varepsilon_2\, \omega\, \varepsilon_o \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}17)$$

الفصل الثالث

3-1العيوب البلورية في اشباه الموصلات

يُطلَق على أي انحراف في مواقع الذرات او اختلال في ترتيب الذرات في بلورة عما هو عليه في الشبيكة الدورية المثالية او تركيبها المثالي عيب او اختلال (defect or imperfection) في تلك البلورة. تتكون العيوب البلورية عادة، في اثناء عملية النمو البلوري حتى وان كانت المواد المستعملة في انماء البلورات نقية جدا.ان وجود الشوائب في بلورة يولد

عيوبا اضافية نتيجة احلال ذرات غريبة كيميائيا عوضا عن بعض ذرات المادة الاصلية . للعيوب البلورية تاثير كبير على الخواص الفيزيائية كالتوصيل الكهربائي والتوصيل الحراري والخواص البصرية والميكانيكية للمواد الصلبة. وتظهر العيوب البلورية على عدة اشكال والشائع منها وجود الفراغات في البنية البلورية وهذه ناتجة عن غياب بعض من الذرات من مواقعها في الشبيكة وكذلك وجود ذرات شائبة Impurties في البنية البلورية.

تصنف العيوب البلورية الى اربعة انواع رئيسية وهي :

1. العيوب النقطية Point defect
2. العيوب الخطية lin defect
3. العيوب السطحية Surface defect
4. العيوب الحجمية domain defect

الذي يهمنا من العيوب اعلاه هو العيب النقطي والعيب الخطي.

3-1-1 العيوب النقطية :

يعرف العيب النقطي بانه انحراف او اختلال في موقع ذرة او مواقع عدد قليل من الذرات المتجاورة ويسمى هذا الخلل بالعيب النقطي والسبب في ذلك يعود لكونه يحدث في منطقة صغيرة جدا اذا ما قورنت بحجم البلورة، وتحدث نتيجة وجود فراغات او ذرات اضافية داخل البنية البلورية. يقصد بالثغرة Vacancies فراغ شبيكي في النسق البلوري وتنشأ هذه الثغرة عادة عندما تفقد او تزاح ذرة (او ايون) واحدة او اكثر من الذرات الاصلية (Self –atoms) في بلورة عن موقعها الشبكي النظامي نحو موقع اخر مخلفة بذلك موقعا شبيكيا شاغرا. في الواقع ان ازاحة ذرة عن موضعها الشبيكي سيولد عيبين في الوقت نفسه: الاول نشوء ثغره في البلورة والثاني انتقال ذرة اضافية اصلية في السطح.ففي حالة الذرة المهاجرة فانها سوف تهاجر على مراحل متعاقبة لتستقر اخيرا عند سطح البلورة مسببة اتساع البلورة . هذا يعني ظهور ثغرات في البلورة من دون وجود ذرات اضافية اصلية تقابل تلك الثغرات. يدعى مثل هذا العيب بعيب شوتكي . اما في حالة تحرك الذرة من موقعها الشبيكي النظامي الى مواضع بينية فان العيب سيتضمن ثغرة وذرة اضافية اصلية. ويدعى هذا العيب الناشيء عن ثغرة وذرة بينية اصلية بعيب فرنكل. والذرات البينية تكون على نوعين: فأما ان تكون من نفس النوع من ذرات الشبيكة

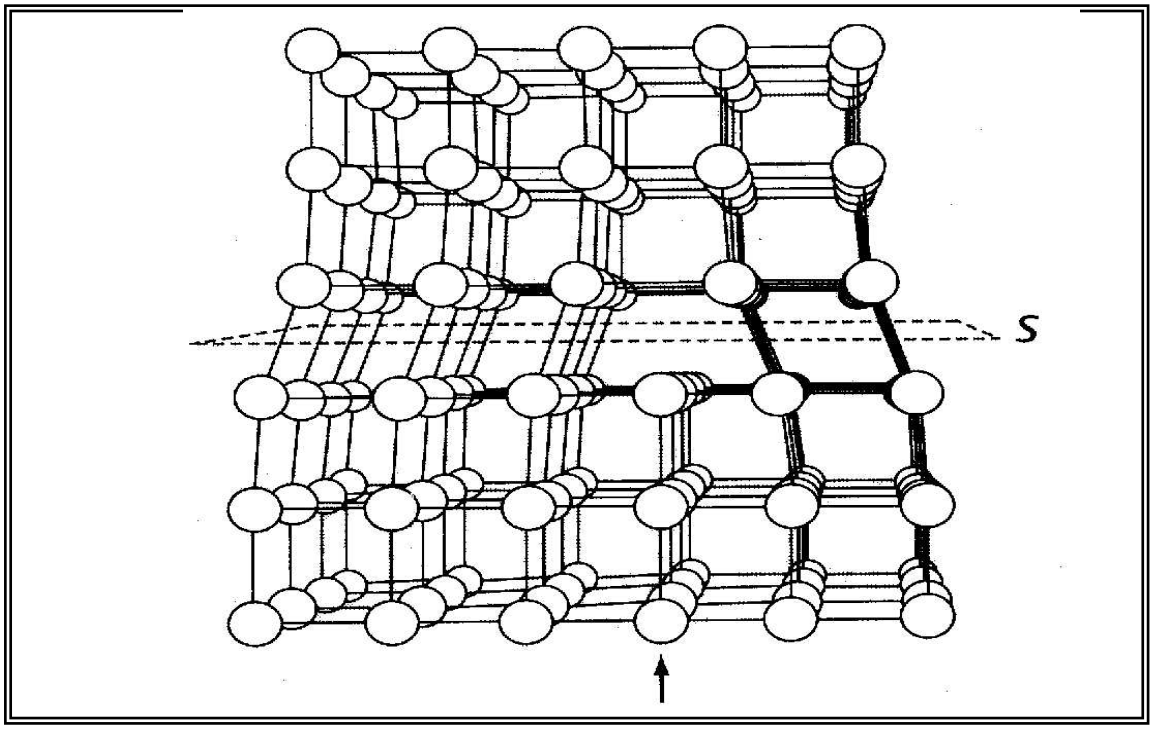
ويتم ذلك بازاحة الذرة الاصلية من موقعها الاصلي الى موقع بيني او ان تكون من نوع اخر يختلف عن الذرات الاصلية للبنية البلورية .

3-1-2 العيوب الخطية

يسمى بالعيب الخطي لطبيعة تطوره او سريانه التي تكون على امتداد مسارات خطية وتسمى هذه العيوب بالانخلاعات . تتضمن هذه العيوب عددا كبيرا من الذرات مرتبة على طول خط يدعى خط الانخلاع (dislocation line) .وهي تحـدث في الشبيكة البلورية فتغير في الخواص الكهربائية وتنقسم الانخلاعات الى نوعين:

A الانخلاع الحافي

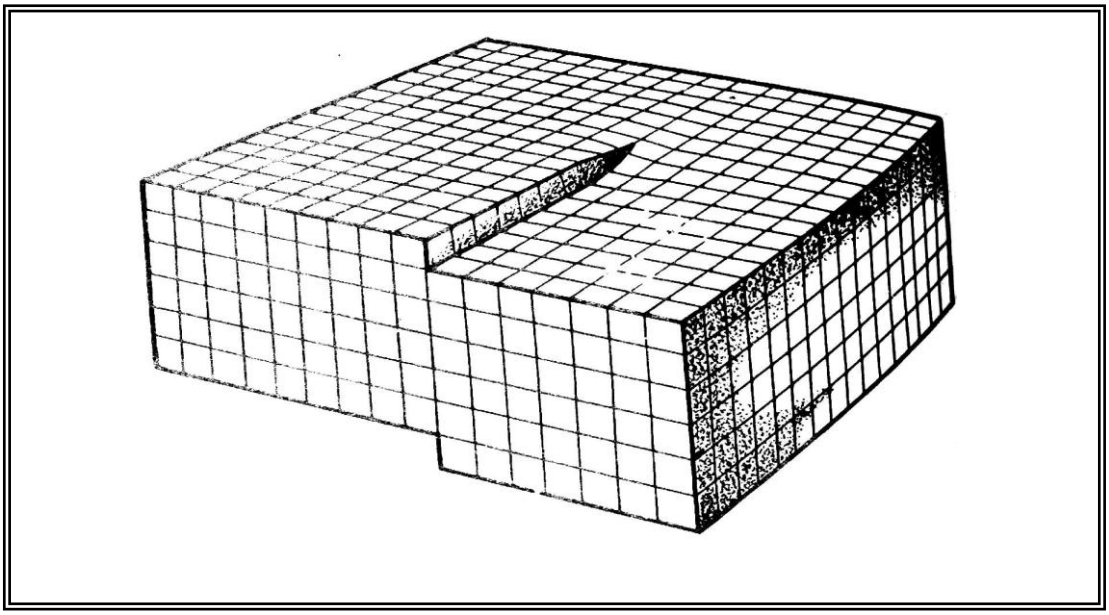
ويطلق عليه بانخلاع تايلور-اوروان ويمكن وصفه بانه صف من الذرات يميز حدود حافة جزء من المستوي الذي امتد خارج البلورة . شكل (3-1) يرمز عادة للانخلاع الحافي بحرف L والذي يسمى بمتجه برجر (Burgers Vector) هذا المتجه يكون عموديا على خط الانخلاع.



شكل (3-1) يوضح الانخلاع الحافي

الانخلاع اللولبي

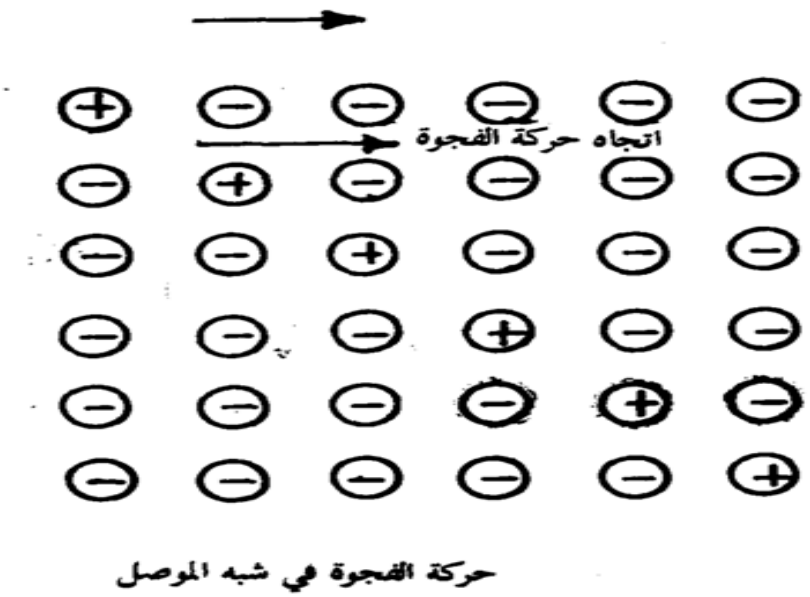
ان ابسط تعريف للانخلاع اللولبي هو ازاحة جزء من الشبيكة بالنسبة الى جزئها الاخر يوصف الانخلاع اللولبي على انه صف من ذرات المستوي البلوري حوله مسارا لولبيا شكل (3-2) . ويكون متجه الازاحة أي متجه برجر موازيا الى خط الانخلاع ويسمى هذا النوع من الانخلاعات في بعض الاحيان، انخلاع برجر



شكل (3-2) الانخلاع اللولبي

التوصيلية الذاتية لأشباه الموصلات

تكمن أهمية الفجوة في أنه يمكن اعتبارها ناقلة للتيار الكهربائي مثل الإلكترون ،لإيضاح ذلك .فإننا نتخيل ما يحدث وهو أن إلكترونا في ذرة مجاورة يمكن أن يتحرك ليملأ تلك الفجوة مخلفا وراءه فجوة أخرى ليتحرك إلكترون في ذرة مجاورة أخرى أيضا لملأ تلك الفجوة .



شكل (3-3) يوضح حركة الفجوات في شبه الموصل

وهكذا يمكننا أن نعتبر نظريا أن الفجوة تتحرك بعكس اتجاه حركة الإلكترون ، وعلى ذلك يمكن اعتبار الفجوة تمثل شحنة موجبة مقدارها يساوي مقدار شحنة الإلكترون وتتحرك في اتجاه معاكس لحركة الإلكترون.عند الصفر المطلق 0 ºK ،تكون الالكترونات في اوطا مستوى من الطاقة وعليه تكون الاواصر التساهمية ممتلئة وعندما يؤثر مجال كهربائي خارجي صغير فان الالكترونات لن تتحرك ولذلك فان السليكون (شبه الموصل) يعتبر عازلا.

وبارتفاع درجة الحرارة فان هذة الطاقة الحرارية تكفي لتحطيم الاصرة التساهمية باطلاق احد الالكترونات الاصرة التساهمية من مكانة تاركاً فجوة hole .وعند تسليط مجال كهربائي خارجي فان الطاقة المكتسبة سوف تضاف الى طاقتها الحرارية وبذلك تعمل على تعجيلها واكسابها سرعة تصل بعد فترة الى قيمة ثابتة تدعى بسرعة الانجراف (الانسياق) drift velocity حيث ان :

$V_h = \mu_h E$, $V_e = \mu_e E$ .....(3-1)

μ_h : القابلية الحركية للفجوات ، μ_e : القابلية الحركية للالكترونات بوحدات $m^2/v\ sec$

ومن المعلوم ان :

$$\Delta Q = \rho \Delta V \quad \text{.....(3-2)}$$

حيث ρ الكثافة الحجمية للشحنة و ΔV عنصرا حجميا .

$J=(ne\mu_e + pe\mu_h)E$.....(3-3)

$\sigma = (ne\mu_e + pe\mu_h)$ .....(3-4)

في اشباه الموصلات النقية تكون كثافة الالكترونات n في حزمة التوصيل مساويا لكثافة الفجوات p في حزمة التكافؤ ، أي ان :

$n = p = n_i$.....(3-5)

حيث يشير الحرف i الى شبه موصل نقي intrinsic ، وعليه تكتب االمعادلة (3-1) كالاتي :

$=n_i e(\mu_e + \mu_h)$.....(3-6)

المصادر

[1] K. L. Chopra, "Thin Films Phenomena", Mc Graw Hill, London, (1969).

[2] R. A. Smith, "Semiconductors", Snd Ed, Cambridge University Press, London, (1987).

[3] إس . إم . زي، "نبائط أشباه الموصلات فيزياء وتقنية" تعريب د. فهر غالب، د. حسين علي، جامعة الموصل، (1995).

[4] IEEE, Virtual Museum: file://C:\Documents and Settings\shahoo _ 1983\Desktop\semico. Laser1 .htm, (2005).

[5] S. O. Kasap, "Principles of Electronic Materials and Devices", Snd Ed, McGraw-Hill, New York, (2002).

[6] WWW. MellesGriot. Com.

[7] T. K. Chaudhuri, H. N. Acharya and B. B. Nayak, "Thin Solid Films", V. 83, (1981), PP. L169-L172

[8] A. Pakkala, Planar International Ltd, Espoo, Finland, (1997).

[9] Inorganic Chemistry, "Thin Films", file: //A:\ multi4. Htm, Int.

[10] B. L. Sharama and R.K. Purohit, "Semiconductor Heterojunction", , (1974) . Pergamon Press, New York

[11] K. L. Chopra, and I. J. Kaur, "Thin Films Devices Applications", Plenum Press, New York, (1983) .

[12] M. Krunks, "Thin Films for Photovoltaics by Chemical Methods", Tallinn University of Technology, Estonia, (2004).

[13] J. E. Reynolds, "J. Chem. Soc", 45, (1884), 162.

[14] H. Elabd and A. J. Steckl, "Thin Solid Films", Vol. 81, (1978), P. 15

[15] M. Robert and R. Gandy, "J. Appl. Phys", Vol. 49, No. 1, (1978), PP. 390-391.

[16] N. C. Sharma, R. C. Kainthla, D. K. Pandy and K. L. Chopra, "Thin Solid Films", V. 60, No. 1, (1979), PP. 55-59.

[17] H. N. Acharya and H. N. Bose, "Indian. J. Phys", V. 53 A, (1979), PP. 6-13.

[18] N. M. Ravindra, A. Sushil and V. K. Srivastava, "Phys. Stat. Sol", a, V. 52, (1979), P. K 151.

[19] G. P. Kothiyal, B. Ghosh and R. Deshpande, "Thin Solid Films", V. 58, (1979), P. 36.

[20] H. Elabd and A. J. Steckl, "J. Appl. Phys", V. 51, No. 1, (1980), PP. 726-737.

[21] T. C. Iris, M. Tomyiana, S. Bilac, G. B. Rego, J. I. Cisneros and Z. P. Argüello, "Thin Solid Films", V. 77, (1981), PP. 347-350.

.