٢٠٥ مجلة ١٣،٥٩٢ عدد ٢٧٥،٦٨١ مقالة ٢٢،١٠٥ كا تب ١،٧٢٠،٣٤٦ صفحة

العراق

المجمع العلمي العراقي

العدد رقم ٢

١ مايو ٢٠٠١

تصفح العدد

بقلم: أ.د سلوان كمال جميل العاني

المواد الصلبة العشوائية ... واقعها وآفاقها المستقبلية

الدكتور سلوان كمال جميل العاني الدكتور عبدالله ابراهيم

قسم الفيزياء ـ كلية العلوم ـ جامعة بغداد

الملخص

شهدت السبعينات وما بعدها اهتماما كبيرا في المواد العشوائية التركيب من قبل فيزيائيي الحالة الصلبة . وقد أصبحت لهذه المواد أهمية نظرية وتطبيقية كبيرة . في هذا البحث تم عرض الواقع الحالي لبعض الخواص الاساسية لفيزياء المواد العشوائية وهي الخصائص التركيبية والتركيب الالكتروني والخصائص الكهربائية التي منها التوصيلية الكهربائية المستمرة والمتناوبة والخواص البصرية ، ثم يتم بعد ذلك التطرق الى مختصر لبعض التطبيقات الرئيسة للمواد العشوائية مع تبيان الافق المستقبلي الممكن لهذه التطبيقات .

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

١ ـ مقدمة

قبل السبعينات ، كان علم فيزياء الحالة الصلبة للمادة يتناول بالدرجة الأساسية مواد بلورية ذات تركيب متناسق في فضاء ثلاثي الابعاد اذ ان ذرات المواد البلورية أو جزيئاتها تشكل خلايا أساسية تتكرر دوريا في ذلك الفضاء . مكنت هذه البساطة في تركيب المواد البلورية العلماء من صياغة نظريات ناجحة في تفسير الخواص المختلفة لهذه المواد .

كان أحد أسباب تجنب العلماء دراسة المواد العشوائية تفصيليا هو تعقيد تركيبها البنائي مما جعل صياغة نظرية ناجحة في تفسير خواص هذه المواد صعبا جدا في معظم الاحيان .

ان الاهتمام المبكر في فيزياء المواد العشوائية الذي حصل في نهاية الستينات والسبعينات من القرن الماضي والى يومنا هذا يمكن عزوه للاسباب الثلاثة الآتيـة :

(١) التحدي النظري ، حيث بعد أن حـل الفيـزيائيون معضلـة المواد البلورية ، اتجهوا الى تحديات جديدة أكثر صعوبة وهذا يتمثـل فـي الاهتمام الكبير الذي حصل في المواد العشوائية في السبعينـات من القرن الماضي .

(٢) التحدي العلمي ، وهو جانب علم المواد ، حيث بعد اكتشاف أن كثيرا من المواد يمكن ان تتخذ تركيبا عشوائيا نظروف تحضير مناسبة ، عندها أصبح الاهتمام في تحضير مواد اكثر فأكثر ذات طابع عشوائي وهو أمر يثير علماء المواد والفيزيائيين ويفتح آفاقا واسعة للمستقبل .

(٣) التحدي التطبيقي : لقد وجدت أن هناك فـرصا لاستخـدام المواد العشوائية في تطبيقات كثيرة ، فقـد منحـا أثار العـلماء بشكل كبير كصلاحية السليكون العشوائي المهدرج في صناعة الخلايا الشمسيـة واظهار بعض المواد العشوائية المعقدة ظاهرة الفتح والغلق (switching) التي لها أهمية في التطبيقات الحاسوبية .

في هذا البحث يتم التطرق الى الواقع الفيزيائي والتطبيقي لهذه المواد أي كيف يتم تفسير بعض الخصائص المهمة للمواد العشوائية باستخدام النظريات التي وضعت لتفسير هذه الخصائص ، فضلا عن التطرق الى التطبيقات السائدة لهذه المواد . كما سيتم التطرق الى الآفاق المستقبلية لهذه المواد ولاسيما اهميتها التطبيقية على المدى الطويل .

٢ ـ الواقع الحالي لفيزياء المواد العشوائية

المواد الصلبة العشوائية كالمواد البلورية تنقسـم الى معـادن واشباه موصلات وعوازل ، سيكون التركيـز على أشبـاه الموصـلات العشوائية

لاهميتها التطبيقية ولكونها درست وفهمت اكثر من المواد العشوائية الاخرى وهي تنقسم الى شطرين(١) :

أ ــ أشباه الموصلات العشوائية الايونية : التي تتضمن الزجاجيات الاوكسيدية (Oxide Glasses) مثل V_2O_5-P_2O_5 ، V_5O_3 ، NiO الخ ...

ب ــ أشباه الموصلات العشوائية التساهمية : وهي الاهم التي تضمن :

أولا ــ الاغشية الرقيقة العشوائية الرباعية مثل السليكون والجرمانيوم العشوائيان (a-Si , a-Ge).

ثانيا : الزجاجيات الرباعية : مثل $Cd\ Ge\ As_2$

ثالثا : الجالكوجينات الزجاجية : مثل : As_2S_3 ، As_2Se_3 ، As_2Te_3.

رابعا ــ مواد أخرى .

تتوصف المواد العشوائية بأنها شبه مستقرة (metastable) أي أنها لاتشغل أوطأ مستوى للطاقة ، وعليه يشترط في طريقة تحضير هذه المواد أن لاتحقق استقرارية تامة للمادة المحضرة من الناحية الثرموداينميكية حيث تحضر الزجاجيات المختلفة بالتبريد السريع للمنصهر بحيث لايتاح وقت كاف لذرات المادة أن تتحرك بما يكفي لحصول الحالة البلورية . كما تحضر بعض المواد مثل السليكون العشوائي كأغشية رقيقة حيث توفر ظروف تحضير هذه المواد شروطا جيدة لتحضيره عشوائية كأن تتكثف في حالة البخار الى الحالة الصلبة بشكل سريع جدا لايسمح بحصول الحالة البلورية .

وفي أدناه تطرق بشكل مختصر عن كينية تفسير الخصائص المهمة للمواد العشوائية نظريا .

(١) الخصائص التركيبية :

ان استخدام كلمة عشوائية هو في الحقيقة أمر غير دقيق فالمادة العشوائية الحقيقية هي الغاز المثالي الذي تتحرك ذراته بشكل حر عدا لحظات الاصطدام فيما بينها وهو وقت ضئيل جدا والامر كذلك فيما يخص

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

اصطدامها بجدران الوعاء الذي يحويها • أما المادة الصلبة العشوائية ، فذراتها مقيدة بنظام المدى القصير الذي تفرضه الاواصر الكيميائية بين بعضها وهو يشابه ما موجود في المادة البلورية المقابلة فالسليكون العشوائي تتآصر ذراته رباعيا كما في الحالة البلورية والاجدر هو تسمية المواد العشوائية بالمواد اللابلورية الا أنه أسوة بأدبيات الموضوع سنستمر بتسميتها المواد العشوائية •

ان تركيب المادة الصلبة هو الترتيب المفصل لذرات المادة أي كيف تتوزع هذه الذرات في الفضاء الثلاثي الابعاد والهوية الكيميائية لهذه الذرات (أو الجزيئات) •

يتم تحديد تركيب المادة الصلبة البلورية بصورة بسيطة نسبيا فبمجرد أن حدد تركيب الخلية الاساسية يمكن تحديد التركيب الكلي بتوزيع هذه الخلية في نمط دوري مرتب في الفضاء الثلاثي • الامر في المواد العشوائية أصعب بكثير من ذلك ، فمجرد تعيين ترتيب المدى القصير للمادة العشوائية قيد الدراسة لايعني على الاطلاق تعيين التركيب الكلي بسبب غياب ترتيب المدى الطويل الذي يكون نمطا دوريا في المواد الصلبة البلورية ، بينما يكون النمط في المادة العشوائية لا دوريا أي غير مرتب دوريا •

الاجراء المتبع في تحديد تركيب المواد العشوائية يبدأ اولا بتحديد ترتيب المدى القصير للمادة العشوائية كأن يكون عدد الذرات الاقرب جيران لأية ذرة أم لا على التعيين داخل المادة العشوائية وطول الآصرة والزاوية بين أية آصرتين ، لنأخذ السليكون مثالا وهو شبه موصل عشوائي ؛ ان الوحدة البنائية لتركيب السليكون هو ذرة سليكون مترابطة مع أربع ذرات سليكون ترابط تساهمي أي ان عدد أقرب جيران الذي يسمى العدد التناسقي هو ٤ والزاوية بين اصرتين هى ١٠٩ درجة وبطول آصرة محدد ؛ لقد وجد أن تغايرا بحدود ١٠٪ بزاوية الآصرة وبالحفاظ على عدد أقرب جيران وطول الآصرة يمكنه أن يولد شبكة عشوائية مستمرة في ذرات السليكون من دون

وجود أية أواصر متدنية (أواصر غير مشبعة) أو فجوات يمكن أن تمتد الى ما لا نهاية في الفضاء بلا حصول أي خلل أو انهيار في التركيب . ان نموذج الشبكة العشوائية المستمرة للسليكون (وأية مادة عشوائية تساهمية الآصرة) على وفق ما جاء أعلاه هو في الحقيقة النموذج التركيبي النظري لشبه الموصل العشوائي المثالي كما أن نموذج البلورة اللامتناهية الابعاد التي ترتب خلاياها الاساسية بشكل دوري في الفضاء الثلاثي تمثل نموذج التركيب البلوري المثالي حيث لاتوجد أية عيوب من أي صنف داخل هذا النموذج . الشيء نفسه يصلح لشبه الموصل العشوائي الا انه لايوجد ترتيب مدى طويل فيه ، أي لاتوجد خلايا أساسية تترتب دوريا فيه وانما وحدات بنائية أساسية كرباعيات السليكون في السليكون العشوائي .

يصلح نموذج الشبكة العشوائية المستمرة فضلاً عن أشباه الموصلات العشوائية في نمذجة تركيب المواد الزجاجية التساهمية العازلة كالعنصر الاساسي في الزجاج الاعتيادي وهو ثاني أوكسيد العشوائي التركيب . لايصلح نموذج الشبكة العشوائية المستمرة لتفسير تركيب المعادن العشوائية لانه حين تكون الاصرة التساهمية اتجاهية في اشباه الموصلات فان الاصرة المعدنية في المعادن العشوائية لاتكون اتجاهية وانما تتطلب الاصرة المعدنية أكبر عدد أقرب جيران ممكن لاية ذرة ما وبأفضل رص ممكن . ترتب أقرب جيران في المعادن البلورية على وفق ضوابط التركيب البلوري لتلك المعادن ، في حين لاتوجد هذه الضوابط في المعادن العشوائية لذا يسمى النموذج التركيبي النظري للمعادن العشوائية نموذج الرص العشوائي الكثيف [٢ و ٣] وآخر يرينا الشكل (١) وهو للتوضيح . شبكة بلورية ثنائية البعد (الشكل ١-أ) وشبكة عشوائية مستمرة ثنائية البعد ، يلاحظ في النموذجين أن كل ذرة أم داخل كل من التركيبين مرتبطة بثلاث ذرات ؛ وان زاوية الاصرة ثابتة في الشبكة البلورية وان حلقاتها سداسية في حين

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

تكون زاوية الاصرة محدودة التغاير في الشبكة العشوائية وان الحلقات لايشترط أن تكون سداسية بل يمكن أن تكون خماسية وسباعية [٦] .

(ب) خصائص التركيب الالكتروني :

يعني بالتركيب الالكتروني هو كيفية توزيع الالكترونات في مستويات الطاقة للذرة او الجزيئة او المادة الصلبة الخ ..

في المواد البلورية هنالك طريقتان اساسيتان لتحديد هذه الكيفية وهي المخطط الحزمي E(k) حيث E طاقة الالكترون و k هو متجه الموجة وعلاقة كثافة الحالات N(E) هو مع طاقة الالكترون ، كثافة الحالات هي عدد حالات الطاقة لكل وحدة حجم ولكل وحدة طاقة .

هل تصلح هاتان الطريقتان في تمثيل التركيب الالكتروني للمواد العشوائية ؟

المخطط الحزمي E(k) لايصلح لان k لايمكن تعرضه بدقة في المادة العشوائية بسبب الطابع العشوائي اللادوري لدالة الطاقة الكامنة في هذه المادة . الا ان دالة كثافة الحالات تصلح للحالتين البلورية والعشوائية لذا يمكن استخدامها معياراً للتركيب الالكتروني للمواد العشوائية .

يرينا الشكل ٢-أ مخطط كثافة الحالات كدالة للطاقة لشبه موصل بلوري افتراضي ، يلاحظ ان المخطط ينقسم الى حزمتين فيهما مستويات مسموحة لاشغال الالكترونات وهما حزمتي التكافؤ والتوصيل ، بين الحزمتين وبالاحرى بين حافة حزمة التكافؤ E_v وحافة حزمة التوصيل E_c يوجد نطاق لايوجد فيه مستويات ويسمى فجوة الطاقة (Eg) التقاطيع الحادة في منحني حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل هو بسبب ترتيب المدى الطويل . نوعية مستويات حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل تسمى

بالمستويات الممتدة وتعني انه احتمالية تواجد الالكترونات في أي مستوى من هذه المستويات لها قيمة في جميع أرجاء البلورة .

الشكل ٢-ب يرينا توزيع كثافة الحالات كدالة للطاقة لشبه موصل عشوائي افتراضي ، يلاحظ ايضا وجود حزمتي التكافؤ والتوصيل وبمستويات ممتدة ولا توجد تقاطيع حادة وذلك بسبب غياب ترتيب المدى الطويل (Long range order) الفرق الاهم بين شبه الموصل العشوائي وشبه الموصل البلوري هو عدم وجود فجوة طاقة فيها مستويات ممنوعة في شبه الموصل العشوائي وانما هنالك كثافة قليلة في المستويات الممنوحة ولكن ذات الطبيعة الموضعية حيث يحتجز الالكترون في نطاق ضيق من الفراغ لايستطيع التحرر منه الا بقوة خارجية . ان قابلية الحركة في المستويات الموضعية تكون اقل بكثير منها في المستويات الممتدة لذا سمي الحيز بين حافتي حزمة التكافؤ والتوصيل فجوة التحركية[٣] .

(ج) الخصائص الكهربائية :

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

موضوع الخصائص الكهربائية لأشباه الموصلات العشوائية هو موضوع واسع وكثير التنوع سنختار منه موضوعي التوصيلية الكهربائية المستمرة والمتناوبة . يعني بالخصائص الكهربائية هو كيفية استجابة المادة العشوائية للمؤثرات الخارجية كالمجال الكهربائي المستمر في حالة التوصيلية الكهربائية المستمرة والمجال الكهربائي المتناوب في حالة التوصيلية الكهربائية المتناوبة . ان أي استجابة للمادة العشوائية لمؤثر خارجي على شكل اشارة كهربائية يندرج ضمن الخصائص الكهربائية .

اولا : التوصيلية الكهربائية للمستمرة

التوصيلية الكهربائية تعرف بأنها كثافة التيار الكهربائي لكل وحدة مجال كهربائي ويرمز لها (σ) .

هنالك اربع آليات رئيسة تحكم حركة حاملات الشحنة في اشباه

الموصلات العشوائية • وتسيطر كل من هذه الآليات بصورة رئيسة ضمن مديات حرارية مختلفة • وادناه شرح مختصر لهذه الآليات ابتداء من درجات الحرارة العالية الى درجات الحرارة الواطئة جدا[٤] •

(١) في درجات الحرارة العالية يكون التوصيل من الالكترونات او الفجوات المتحركة في مستويات الطاقة الممتدة اي في حزمة التوصيل أو التكافؤ على التوالي ، وتكون التوصيلية الكهربائية منشطة حراريا اي تخضع لعلاقة من نوع ارنيوس وكما يأتي :

$$o = o_o \exp [-(E_c - E_f)/kT] \quad T \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

حيث o_o هو ثابت و K هو ثابت بولتزمان و T هي درجة الحرارة الكلفينية E_f يدعى مستوى فيرمي وهو مستوى تخيلي يقع ضمن فجوة التحركية في أشباه الموصلات العشوائية الاعتيادية التطعيم وهو يمثل احتمالية اشغال حاملات الشحنة لـ $\frac{1}{2}$ عند هذا المستوى •

(٢) في مديات درجة الحرارة الأوطأ يتم التوصيل الكهربائي بانتقال حاملات الشحنة خلال المستويات الموضعية الذيلية قرب حافات هذه المستويات التي يرمزلها بـ E_A و E_B ؛ بواسطة التنطيط المعزز بالفونونات (كمات اهتزاز الشبكة) وتعطى التوصيلية للالكترونات بالشكل الآتي :

$$o = o_{o1} \exp [-(E_A - E_f + W_1)/kT] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

حيث O_{o1} هو ثابت و W_1 هي طاقة تنشيط التنطط لحاملات الشحنة المتنطة و E_A هو طاقة حزمة المستويات الموضعية الواقعة تحت حزمة التوصيل مباشرة •

(٣) عند الهبوط في درجات الحرارة ، تظهر آلية توصيل جديدة ويتم

التوصيل الكهربائي بالتنطط المعزز بالفوتونات لحاملات الشحنة خلال مستويات العيوب قرب منتصف فجوة الطاقة وقرب مستوى فيرمي • وتعطى التوصيلية الكهربائية في هذه المنطقة بالمعادلة :

$$o = o_{02} \exp [-W_2/kT] \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث W_2 هي طاقة تنشيط التنطط بين مستويات العيوب •

(٤) في درجات الحرارة المنخفضة جدا : تقل كثافة الفونونات وطاقتها ، وعندها تتحرك حاملات الشحنة بالتنطط خلال المواقع غير المتجاورة متقاربة الطاقة جدا فيما بينها ، ضمن المستويات الموضعية للعيوب ، وتكون التوصيلية هنا غير منشطة حراريا •

ثانيا : التوصيلية الكهربائية المتناوبة

توصيلية الكهربائية المتناوبة هي كثافة التيار المتناوب لكل وحدة مجال كهربائي متناوب ويرمز لها $o(w)$ حيث (w) هو التردد الزاوي للمجال الكهربائي المسلط •

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

يعد موضوع التوصيلية الكهربائية المتناوبة في أشباه الموصلات العشوائية أعقد من موضوع التوصيلية الكهربائية المنتظمة لذا سيعامل هذا الموضوع بإيجاز أكثر من المثير للاهتمام انه مهما كانت صيغة معادلة التوصيلية المتناوبة في أشباه الموصلات العشوائية معقدة فانها اجمالا يمكن أن تعطى بالشكل الآتي[٢] :

$$o(w) = Cw^s \ldots\ldots\ldots (4)$$

حيث S هو كمية مقدارها مقاربة للواحد (= ١) ويمكن أن تعتمد بشكل ضعيف على درجة الحرارة والمعامل C لا يعتمد على التردد وانما يعتمد بشكل ضعيف على درجة الحرارة أسوة بـ S • من الناحية

النظرية فان تأويل قيمة S يعتمد على النظرية التي تستعمل لتأويل التوصيلية المتناوبة في أشباه الموصلات العشوائية •

من الملاحظ أن S لها قيمة مقاربة أو تساوي ٨ر٠ وان هنالك عدة نظريات تحاول تأويل المعادلة (٤) وقيمة S المساوية لـ ٨ر٠ منها :

(١) التنشيط الكلاسيكي (غير الكمي) لحامل الشحنة فوق حاجز جهد يفصل بين موقعين •

(٢) التأثير النفقي الميكانيكي الكمي وهو انتقال حامل الشحنة عبر حاجز الجهد (وليس فوقه كما في (١)) بين موقعين •

وهنالك نظريات أخرى لا مجال لذكرها هنا •

(د) الخواص البصرية:

يقصد بالخواص البصرية طبيعة استجابة المادة العشوائية للمجال الكهربائي المتناوب للضوء الساقط على العينة •

يرينا الشكل (٣) علاقة لوغاريتم معامل الامتصاص a(hw) مع طاقة الفوتون (hw) حيث h هو ثابت بلانك المختزل لشبه موصل عشوائي نمطي ؛ ويعرف معامل الامتصاص باحتمالية امتصاص فوتون لكل وحدة مسار ووحدته (cm^{-1}) [٥] •

يلاحظ أن هناك ثلاثة مناطق رئيسة متميزة ؛ ابتداءا من الطاقات الواطئة فان هذه المناطق هي كما يأتي :

(١) منطقة الامتصاص الواطيء ($a<1\ cm^{-1}$) (C) :

تعزى هذه المناطق ذات الامتصاص الضعيف الى امتصاص الفوتونات من قبل مستويات العيوب (كالاواصر المتدلية) الموجودة قرب مستوى فيرمي وتعتمد هذه المنطقة بشكل واضح على طريقة تحضير العينة وظروفها ؛ وعلى طبيعة المعاملة الحرارية لها •

(٢) منطقة اورباخ ($1\ cm^{-1} < a < 10^3\ cm^{-1}$) (B) :

تمتاز هذه المنطقة بكون علاقة (ln a) مع طاقة الفوتون (hw) علاقة خطية أي تعتمد بشكل أسي على طاقة الفوتون •

لم يتمكن العلماء من ايجاد تفسير فريد لمنطقة اورباخ ان كان في أشباه الموصلات العشوائية أو البلورية الا أن هنالك عدة نماذج نظرية مختلفة تنجح في تفسير هذه الظاهرة من دون النجاح في معرفة أيتهما هي الصحيحة لعينة ما •

يعطى معامل الامتصاص في منطقة اورباخ بالعلاقة :

$$a = B \exp (hw/E_e) \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

حيث B هو ثابت و Ee هو معلم (parameter) يعتمد تفسيره على النموذج النظري المطبق لتحليل البيانات المعينة •

نستعرض بعض هذه النماذج النظرية بشكل مختصر[٢] •

أولا : يفرض ان كثافة الحالات تحت حافتي فجوة التحركية

E_V ، E_C

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

هي دالتان اساسيتان وهذا يمكن ان يؤدي الى معادله من نوع (٥) •

ثاني : نموذج دوو (Dow) وريد فيلد (Redfield) يفترض أن الحافة الأسية يمكن أن تظهر بسبب زيادة عرض خط الاكسيتون بفعل المجال الكهربائي • الاكسيتون هو عبارة عن زوج الكترون ــ فجوة مترابطين بفعل قوة الجذب الكهربائي بينهما •

ثالث : يفترض سلواز العاني وآخرون[٦] أن Ee هي عرض حزمة المستويات الموضعية تحت Ec وفوق Ev •

(٣) منطقة الامتصاص العالي ($a > 10^4\ cm^{-1}$) (A) :

يخضع معامل الامتصاص في هذه المنطقة لعلاقة من النوع

$$a = \text{constant.}\ (P(hw)^2/hw)\ (hw-Eo)^2 \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

لاحتماليه حصول الانتقال من المستوى الادنى في حزمة التكافؤ الى المستوى الاعلى في حزمة التوصيل • و r هو معامل يعتمد على كيفية اعتماد كثافة الحالات على طاقة المستوي لكل من حافتي حزمة التكافؤ والتوصيل • و E_o يدعى فجوة الطاقة البصرية التي تستخرج من تقاطع الخط المستقيم الناتج من رسم $(ahW)^{1/2}$ كدالة لـ hw مع محور X . في أشباه الموصلات البلورية ان معنى فجوة الطاقة البصرية E_o واضح تماما بأنه فجوة الطاقة Eg التي تساوي (E_v-E_c) الامر الذي تدعمه النظرية بشكل تام •

أما في أشباه الموصلات العشوائية فالامر مختلف تماما لانه لا توجد نظريات رصينة يمكن اعتمادها بشكل دقيق بسبب صعوبة حل مسألة الامتصاص البصري في أشباه الموصلات العشوائية بشكل عام ، عليه فان معنى E_o الفيزيائي غير معروف على وجه الدقة الى يومنا هذا •

قام الباحثان العراقيان عبدالله ابراهيم وسلوان النعاني عام ١٩٩٣ بدراسة مفصلة للنماذج النظرية التي وضعت لتفسير الخواص البصرية لاشباه الموصلات العشوائية في منطقة الامتصاص البصري العالي من حافة الامتصاص البصري وتوصلا الى ان معامل الموائمة (r) في المعادلة (٦) المستخلص من علاقة (ahw/d (ahw) /d(hw) مع hw قد يكون دالة لمقدار عشوائية التركيب (Ee) وهو عرض حالات الذيل الموضعية ، وان فجوة الطاقة البصرية (Eo) المستخرجة تجريبيا قد لاتكون ذات حقيقة فيزيائية داخل فجوة التحركية وهو أمر قد يكون له أفق مستقبلي مهم[٧] •

٢ ـ تطبيقات المواد الصلبة العشوائية والآفاق المستقبلية :

هنالك عدة تطبيقات تستعمل فيها المواد العشوائية لبعض منها آفاق مستقبلية مهمة ، نستعرض بعض هذه التطبيقات في أدناه (٢) :

أ ـ الزجاج الاعتيادي SiO_2

الزجاج الاعتيادي السليكا يمكن اعتباره أحد أشهر المواد الصلبة لانه المادة الاساسية التي تكون زجاج النوافذ الذي يمتاز بشفافيته وصلادته العاليتين ، وقابليته للتصنيع في شكل صفائح كبيرة بعكس المواد البلورية التي لايمكن تصنيع صفائح كبيرة منها •

تمتاز هذه المواد بأنها تتصلب بشكل تدريجي (وليس فجائيا كما في تحول الى الحالة البلورية) قرب درجة حرارة تسمى درجة انتقال الزجاج، ويمكن السيطرة على هذه الدرجة وتقليلها لتسهيل تشكيل الزجاج عند درجات أوطأ باضافة مواد مختلفة •

الأفق الحالي فضلا عن المستقبلي للاستفادة من الزجاج هو في شبكات الاتصالات باستخدام الالياف البصرية الزجاجية المصنعة بمواصفات دقيقة خاصة لهذا الغرض ، فان السائد هو استعمال القابلوات النحاسية لنقل المعلومات بتحميلها على الموجات الكهرومغناطيسية في النطاق الراديوي بشكل أساسي • لقد كان انجاز تصنيع الياف بصرية ذات نقاوة وتجانس عاليين وقابلة للثني من دون أن تتكسر انجازا كبيرا حيث أن الموجة الكهرومغناطيسية التي تنتقل عبر موجهات الموجة القائمة في صناعتها على الالياف البصرية تحتفظ بالاشارة بتوهين قليل لمسافات اكبر بكثير من القابلوات النحاسية وموجهات الموجة في النطاق المايكروي •

هنالك مزية أخرى مهمة جدا للالياف البصرية اذ ان تردد الضوء المنتقل اكبر بكثير من تردد الامواج الراديوية التي تنتقل في القابلو النحاسي وهذا من الناحية المعلوماتية يعني أن قابلية الليف البصري على نقل المعلومات اكبر بكثير من القابلو النحاسي • الافق المستقبلي للالياف البصرية في ضوء مزاياها هذه انها ستحل محل القابلوات النحاسية في القريب وربما القريب العاجل، وفي أدناه نستعرض أهم تطور حدث في هذا المجال • لقد توصل العلماء

في عام ٢٠٠٠ الى تطوير مهم لمادة زجاج السليكا المستخدم في مجال الالياف البصرية ، ويمكن توضيح ذلك بمساعدة الشكل (٤) الذي يبين العلاقة بين عامل الفقدان في الليف البصري كدالة للطول الموجي في المدى تحت الاحمر من ١٢٠٠ الى ١٧٠٠ نانومتر . هنالك عاملان رئيسان في تحديد الفقدان في الليف البصري المثالي وهما : (١) استطارة رايلي : على الرغم من تجانس الزجاج المصنوع لهذا الغرض فان تركيبه العشوائي يجعل معامل الانكسار يتغير بين نقطة ونقطة وبسبب هذا التغير تحدث استطارة للضوء عند أية نقطة من الليف يتناسب الفقدان هنا مع مقلوب الطول الموجي للأس أربعة .

(٢) ذيل أورباخ لاهتزازات Si-O : يمكن لجزيئة SiO_2 أن تهتز تفاعلا مع الضوء تحت الاحمر عند طول موجي رنيني معين ولكن بسبب تفاعلها مع جزيئات SiO_2 الاخرى الموجودة في الليف ستولد حزمة عريضة من الاطوال الموجية لها ذيل من جهة الاطوال الموجية القصيرة بسبب عشوائية التركيب وهو مماثل لذيل اورباخ الذي ذكر في الخواص البصرية ، هذان العاملان يحددان حد الوضوح (clarity limit) لليف البصري كما يوضح المنحني بلا نقاط في الشكل (٤) . لو كان الامر كذلك من الناحية الواقعية سيكون لدينا ليفاً بصرياً له عرض حزمة موجية كبير جدا وهذا أمر أساسي جدا في تطوير مجال الاتصالات بواسطة الالياف البصرية ، الا أنه كان هنالك عائق كبير قبل عام ٢٠٠٠ في الاستفادة التامة من كل هذه الاطوال الموجية بسبب مشكلة في تصنيع الالياف البصرية . اذ أن احدى مراحل تصنيع الليف بتصميه المطلوب هو تسخينه بشعل مما يجعل الهيدروجين H_2 يتفاعل مع O_2 مكوناً الماء الذي يتغلغل بنسبب قليلة في الليف ، ويمكن لجزيئات الماء أن تمتص الضوء بكفاءة عند طول موجي حوالي ١٤٠٠ نانومتر مما يزيد الفقدان بشكل كبير قرب هذا الطول الموجي وكما يوضح المنحني المنقط قرب منتصفه هذا يعيق عملية ارسال

الضوء عند هذا النطاق من الاطوال الموجية ؛ الا ان العلماء ومن دراستهم لكيفية انتشار OH في الزجاج توصلوا الى التخلص من هذا الفقدان باستخدام مصدر جاف للحرارة وبالتالي أصبح الليف انبصري الجديد يمتلك منحني فقدان قرب حد الوضوح وهذا سيمثل أفقا مستقبليا مهماً جدا لإرسال المعلومات بكم هائل عبر الالياف البصرية[٨] •

(ب) السلينيوم وسيليتيد الزرنيخ

السلينيوم Se او سيلينيد الزرنيخ (AS_2Se_3) هما المادتان الفعالتان الرئيستان الموصلتان الضوئيتان اللتان تستعملان في عملية الاستنساخ المعروفة هو تطبيق قديم لهاتين المادتين العشوائيتين الذي ما يزال محافظا على أهميته وقابليته للتطور على وفق التطبيق المنشود لذا فان استعمال هتين المادتين في هذا الحقل التطبيقي سيستمر مستقبلا بالنجاح نفسه الذي تم تحقيقه في السابق •

(ج) الزجاجيات شبه الموصلة الغنية بالتيليريوم :

بعض المواد العشوائية الزجاجية كنظام Ge—Te الغني بالتيليريوم القابلية على التحول الى الحالة البلورية وبالعكس بتسليط مجال كهربائي ، تكون الحالة البلورية أكبر في توصيليتها الكهربائية بمليون مرة في الحالة العشوائية وهذا يؤهل هذه المادة لامكانية استخدامها في دوائر الفتح والغلق التي تدخل في أنظمة الذاكرة للحاسبات ، وقد نجح هذا التطبيق من الناحية المختبرية الا أنه لم يشع استعماله في الافق عمليا ، وربما في المستقبل ليتم الاستفادة من هذا النوع من المواد •

(د) اغشية السليكون العشوائي المهدرج الرقيقة

تحضر أغشية السليكون الرقيقة في جو من الهيدروجين تكون أغشية السليكون العشوائي المهدرج (a-Si:H) تمتاز الاغشية المهدرجة بقلة عيوبها الالكترونية التي تقتنص حاملات الشحنة في أغشية السليكون

العشوائي النقي وتعيق تطعيمها وجعلها من نوع n أو نوع p لغرض استخدامها في النبائط شبه الموصلة • أهم استخدامات أغشية السليكون العشوائي المهدرج هو في تصنيع الخلايا الشمسية التي تحول الطاقة الضوئية لأشعة الشمس الى طاقة كهربائية تؤهلها للاستخدام في تجهيز الكهرباء • تمتاز هذه الاغشية على السليكون البلوري بقلة كلفتها وقابليتها للتصنيع بمساحات كبيرة مما يجعلها أهم مادة في أفقها المستقبلي في توفير الطاقة الكهربائية على المدى البعيد بعد نفاذ الموارد الاحفورية للطاقة كالنفط والفحم الحجري الخ •• اذا لم يتم النجاح في توفير الطاقة باستخدام الاندماج النووي في المستقبل الذي لم يتم السيطرة عليه بشكل ناجح حتى الآن •

(هـ) مواد اخرى

تم تحضير مواد صلبة لابلورية في جامعة بغداد على شكل :

(١) اما مادة مفردة أو خليط من مادتين •

(٢) الشكل الآخر هو تصنيع نبيطة ألكترونية ككاشف فوتوني أو كخلية شمسية جديدة لتكون مصدرا بديلا للطاقة التقليدية وللتقليل من تلوث البيئة •

الجدول رقم (١) يوضح نماذج لهذه المواد •

٤ ـ الاستنتاجات

يمكن الاستنتاج انه على الرغم من التعقيد التركيبي العالي للمواد العشوائية فان فيزيائي الحالة الصلبة تمكنوا من التعامل بشكل ناجح الى حد ما مع الكثير من المشاكل الفيزيائية الصعبة التي مثلت تحدياً نظريا كبيراً، كما توضح في متن البحث باختصار • والاكثر من ذلك لقد وجد الفيزيائيون تطبيقات مهمة لبعض هذه المواد التي دخلت مجال التطبيق العملي ولبعضها الآخر أفق مستقبلي واحد •

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

المصادر

1- Majid Ch.A, The Nucleus, 20 (1), 1983: p23.
2- Zallen R. M, The Physics of Amorphous Solids, Wiley 1983.
3- Elliott S.R., Physics of Amorphous Materials, Longman, 1984.
4- Mott, N.F. and Davis. E.A., Electronic Processes in Non-crystalline Materials, Clarendon press, Oxford 2nd ed 1979.
5- Tauc J. in "Amorphous and Liquid Semiconductors" p.159. ed. By J. Tauc, plenum, 1974.
6- Al-Ani S.K.J., K.I.Arshak and C.A. Hogarth, "The optical absorption edge of amorphous thin films of silicon monoxide", J. Mat. Sci. 19 (1984) 1737.
7- Ibrahim A., and Al-Ani S. K. J., Czechoslovak J. of Physics, 44, 785 (1993).
8- Thomas G. A., Ackerman D. A., Paul R. P, and Cooper L., Physics Today September 2000) p. 30.
9- S. K. J. Al-Ani, K.I. Arshak and C. A. Hogarth
(The Optical Absorption Edge of Amorphous This films of Silicon Monoxide).
J. Mat. Sci. 19 (1984) 1737.
10- S. K. J Al-Ani and C. A. Hogarth
(Comment on Optical Energy Gap of Thick Amorphous Selenium Film)
J. Non-Cryst. Solids, 69 (1984) 167.
11- S. K. J. Al-Ani and C. A. Hogarth
(Optical Absorption in Amorphous Thin Films of Copper Mixed with Silicon Monoxide)
J. Mat. Sci. Lett. 3 (1984) 1077
12- S. K. J. Al-Ani and C. A. Hogarth
(The Spin Density and Optical Properties of Amorphous Thin Arsenic Silicon Films)
Phys. Stat. Sol. (b) 126 (1984) 293
13- S. K. J. Al-Ani, C. A. Hogarth and R. A. El-Malawany
(A Study of Optical Absorption in Tellurite and Tungesten-Tellurite Glasses)

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

14- S. K. J. Al-Ani and C. A. Hogarth
(Optical Absorption Edge in Amorphous In_{30} Se_{70} Films)
Phys. Stat. Sol. (a) 87 (1985) K65

15- S. K. J. Al-Ani and C. A. Hogarth
(The Optical Properties of Amorphous V_2O_5 and SiO Thin Films and of the Mixed Dielectric System SiO/V_2O_5
J. Mat. Sci. 20 (1985) 1185

16- S. K. J. Al-Ani, M. A. R. Sarkar, J. Beynon and C. A. Hogarth
(On The Optical Properties of Mn/SiO Thin Films)
J. Mat. Sci. 20 (1985) 1637

17- S. K. J. Al- Ani, C. A. Hogarth and S. W. B. Abeysuria
(A Study of the Optical Properties of Amorphous Thin Films of Germanium Silicon Monoxide)
J. Mat. Sci. 20 (1985) 2541

18- J. Beynon, M. M. A. G. El-Samanoudy and S. K. J. Al-Ani
(Optical Properties of G_eO_x Thin Film
J. Mat. Sci. Lett. 8 (1989) 786-788

19- S. K. J. Al-Ani and Y. M. Hassan
(The Effect of Dopant on The Optical Properties of Hydrogenated a- Si)
J. Mat Phys. 11 (1), (1989) pp. 9-24, Iraqi Society of Physics and Mathematics
Data)
IRAQI Journal of Science Vol. 31, No. 4 (1990) 1051-1063.

20- S. K. J. Al-Ani and A. A. Higazy
(A Study of Optical Absorption Edges in $MgO-P_2O_5$ Glasses)
J. Mat. Sci. 26 (1991) 3670 - 3674.

21- S. K. J. Al-Ani, M. N. Makadsi and I. Kh. al-Shakarchi
(Preparation, Structural, Optical and Electrical properties of $CdTe_{1-x}$ S_x system)
"2nd World Renewable Energy Congress" 13-18 Oct. 1992, Reading, ed. A. A. M. Sayigh, Vol. 1, Pergamon Press, U. K. pp513-520.

22- S. K. J. Al-Ani and B. D. Biawa
(Optical Properties of Window Glass)
J. Math. Phys. 14 No. 1 (1993) pp1-26.

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

23- M. N. Makadsi, M. F. Alias and S. K. J. Al-Ani
(Variation of Conductivity and Optical Energy Gap of pure and Doped Amorphous Silicon Thin Films Versus Tem - Perature).

24- J. Beynon, S. K. J. Al-Ani and M. M. A. G. El-Samanoudy
(The Optical properties of Al_xO_y Thin Films Prepared by Reactive Evaporation)
J. Mat. Sci. Lett. 12 (1993) 308-310.

25- S. K. J. Al-Ani and Q. S. Majeed
(The Optical Properties of Silica Glass in the Infra-red Region) Iraqi J. Science, (1993) 34, No. 3 & 3 p540.

26- S. K. J. Al-Ani, I. H. Al-Hassany and Z. T. Al-Dahan
(The Optical properties and A. C. Conductivity of Magnesium Phosphate Glasses)
J. Mat. Sci. 30/14 (1995) pp. 3720-3725.

27- B. D. Blawa, M. H. Suhail and S. K. J. Al-Ani
(Effect of Substrate Temperature on the Optical Band Gap and Band Tailing of ZrO_2 and Tio_2 Films prepared by D. C Reactive Magnetron Sputtering)
Iraqi J. Science 37 No. 3 (1996) 1131-1141.

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

28- S. K. J. Al-Ani, J. B. Al-Dabbagh and N. K. H. Abbas
(The Optical and Related Properties of Thin Nickle Films Prepared by Ion Beam Sputtering)
The 6th. Workshop EPMS 97, Prague, Czech Republic (1997). Iraqi J. Sci., 41C, No. 3 (2000) 1-10.

29- S. K. J. Al-Ani, M. N. Makadsi and W. N. Al-Bayatee
(The Study of the Electrical and Optical Properties for CdTe Thin Films and the Possibility of Fabrication of (C.Si/ CdTe) Solar Cell), "Premier Colloque France-Lībanais SurLes Sciences des Materiaux, 9-12/10/1996, Beirut Lebanon",
Labanese Scientific Research Reports, 2(1997) 1031-1044.

30- S. K. J. Al-Ani
(The Electrical Conductivity and Optical Properties of ZnSe Thin Films)
3rd conference on Physics of Condensed Matter (PCM 94)

J. Coll. Educ. for Women, Univ. of Baghdad 8(2) (1997) 137-140.

31- S. K. J. Al-Ani, N. A. Badria and K. A. Aziz
(A Study Of Optical Properties and A. C. Conductivity of In_2Se_3 films)
Third International Conference on Solar Electricity, Photovoltaics and solar Thermal Technologies, Sharjah, UAE, 21-25/3/1998.

32- H. H. Mohammed, S. K. J. Al-Ani and S.G.K. Al-Ani
(Optical, electrical and detector properties of polycrystalline films of CdS doped with Cu) , Ibid, Iraqi J. Sci, 41C, No.4 (2000) 227-242.

33- S.K.J. Al-Ani, H.H Mohammed and R.S. Al-Ani
(Fabrication of CdSe Photoconductive detector)
Ibid., Iraqi J. Sci., 41C, No. 4(2000) 192-211.

34- S. K. J. Al-Ani, A. H. A. R. Jalukhan
(The Electrical And Optical Properties of Thin Films Compound $CuInSe_2$)
6 REMCES, Seminaire International Sur La Physico-Chimie Des Materiaux Solides, 28-30/10. 1993, Marco Engineering and Technology Journal (univ. of Technology) (2000) in Press.

35- S. K. J. Al-Ani, H. A. Al-Hilli and D. J. Abass
(Fabrication and Study of the P^+nn^+ Avalanch Photodiode onto C.Si Substrate)
The First Conference on Materials Science, Mu tah University. Jordan, 1-4 Nov. 1997.
Iraqi J. Science, 41C, No. 3. (2000) 11-24.

36- S. K. J. Al-Ani, A. Ibrahim and F. K. Al-Dhoki
(Evaluation of the Conventional Approaches to Calculate the Optical Energy Gap of Amorphous Si and Ge)
The 3th Symposium comput. condes. Matt. phys. 3-5 Nov (1997)
Yarmouk Univ. Jordan.
University of Aden Journal of Natural and Applied Sciences, 4, No. 1 (2000) 223-243.

37- H. A. Al-Hilli, S. K. J. Al-Ani and K. A. Aziz

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

Silicon A. P. D. detectors).
nd scientific conference of the College of Science 1999.

Iraqi J. Science. 40C, No. 2 (1999) 109-116.

38- S. K. J. Al-Ani, F. H. Al-Sammarry and A. Sh. Al-Samany. (The electrical properties of Al/KI/CdTe thin film junction) World Renewable Energy congress VI, WREC - 2000 Brighton, U. K, 1-7 July 1990 part III pp. 1911-1915.

39- S. K. J. Al-Ani, M. N. Makadsi, A. M. Al-Sharbaty, A. Kh. Ba-Yashoot (Electrical and optical properties of $(ZnS)_x(CdTe)_{1-x}$ thin films) . Ibid pp. 1906-1910.

40- S. K. J. Al-Ani, H. H. Mohammed and E. A. Al-Fawdi (The Optoelectronic properties of CdSe: Cu photoconductive detector), I, Ibid pp. 2026-2031.

41- S. K. J. Al-Ani, M. N. Makadsi, S. S. Al-Rawi and N. K. Abass (Electron transport properties of bismuth doped germanium selenide.

42- S. K. J. Al-Ani, H. H. Mohammed and F. J. Al-Maiaky. (Fabrication of Telerite Glass (TeO_2) Doped with Active Nedimum ions (Nd^{+3}) and study its optical properties) Iraqi J. of Science (2001) accepted.

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

الاشكال

الشكل (١)
١ـأ شبكة بلورية ثنائية البعد
١ـب شكة عشوائية ثنائية البعد
الشكل ٢)
٢ـأ مخطط كثافة الحالات كدالة للطاقة لشبه موصل بلوري افتراضي
٢ـب مخطط كثافة الحالات كدالة للطاقة لشبه موصل عشوائي افتراضي
الشكل (٣)
علاقة لوغاريتم معامل الامتصاص a مع طاقة الفوتون
الشكل (٤)
منحني الفقدان في شدة الضوء بسبب مروره في الليف البصري :
الفقدان له ثلاثة مكونات (١) استطارة رايلي (٢) ذيل أورباخ

THE DISORDER OF SOLID STATE .....
ITS REALITY AND FUTURE HORIZON.

Dr. Silwan Kamal Jamil Al-Ani

Dr. Abdullah Ibrahim

Department of Physics

College of Science

Baghdad University

ABSTRACT

The Scientists in the field of Solid state physics and since the seventies showed a great interest in the material of disorder composition and consequently these materials have gained ever since a theoretical and applied importance.

This paper will present the state of art of some of the Basic properties of the physics of these materials. These include the electronic construction and electrical properties such as the D.C. and A.C. electrical conductivity in addition to the optical properties.

The paper also gives a brief description to some of the main application of these materials and gives some projection to the possible futuristic application.

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

Journal

of the

ACADEMY OF SCIENCES

Quarterly Journal - Established 1369 H - 1950

EDITORIAL BOARD

(Prof. Dr) Najih M. Khalil EL-RAWI Chairman

(Prof. Dr) Ahmed MATLOUB Managing Editor

(Prof. Dr) Jalal M. SALIH

(Prof. Dr) Dakhil A. JEREW

(Prof. Dr) Riadh H. AL-DABBAGH

(Prof. Dr) Abdul haiim AL-HAJAJ

(Prof. Dr) Laith I. I NAMIQ

(Prof. Dr) Mazin I. AL-RAMADANI

(Prof. Dr) Mahmood H. HAMASH

(Prof. Dr) Nazar A. L. AL-HADITHI

Add : ACADMY OF SCIENCES.

P. O. BOX 4023 AADAMEA, BAGHDAD - IRAQ

Tel : 4221723 - 4222065 Fax : (964 - 1) 4254523

E-mail : aos@uruklink.net

— Annual Subscription : In Iraq (4000) I. D.

— Outside Iraq (50 Dollars) air mail not included

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

Journal

of the

ACADEMY OF SCIENCES

Quarterly Journal - Established 1369 H - 1950

EDITORIAL BOARD

(Prof. Dr) Najih M. Khalil EL-RAWI Chairman

(Prof. Dr) Ahmed MATLOUB Managing Editor

(Prof. Dr) Jalal M. SALIH

(Prof. Dr) Dakhil A. JEREW

(Prof. Dr) Riadh H. AL-DABBAGH

(Prof. Dr) Abdul haiim AL-HAJAJ

(Prof. Dr) Laith I. L NAMIQ

(Prof. Dr) Mazin I. AL-RAMADANI

(Prof. Dr) Mahmood H. HAMASH

(Prof. Dr) Nazar A. L. AL-HADITHI

Add : ACADMY OF SCIENCES.

P. O. BOX 4023 AADAMEA, BAGHDAD - IRAQ

Tel : 4221723 - 4222066 Fax : (964 - 1) 4254523

E-mail : aos@uruklink.net

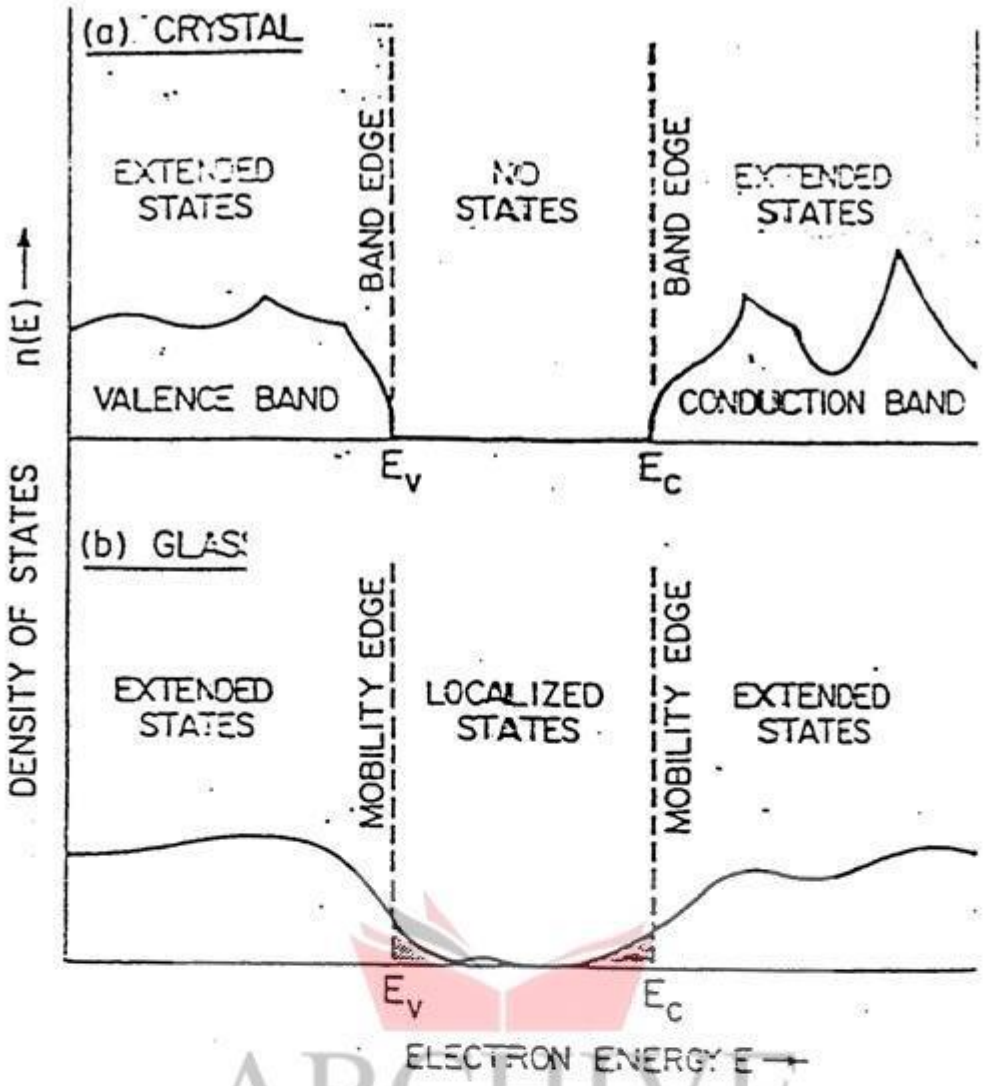
— Annual Subscription : In Iraq (4000) I. D.

— Outside Iraq (50 Dollars) air mail not included

ARCHIVE

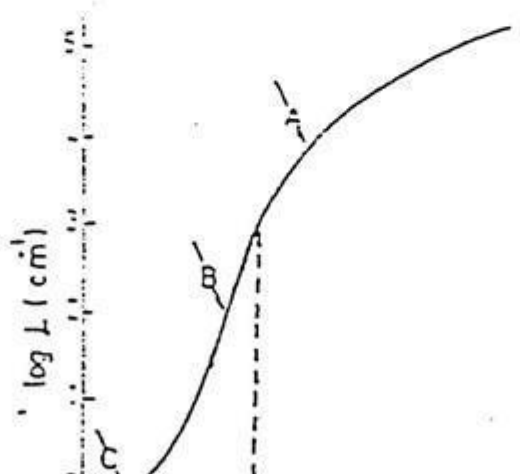
رقم الايداع في دار الكتب والوثائق ببغداد ١٦٧٦ لسنة ٢٠٠١

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com



ARCHIVE

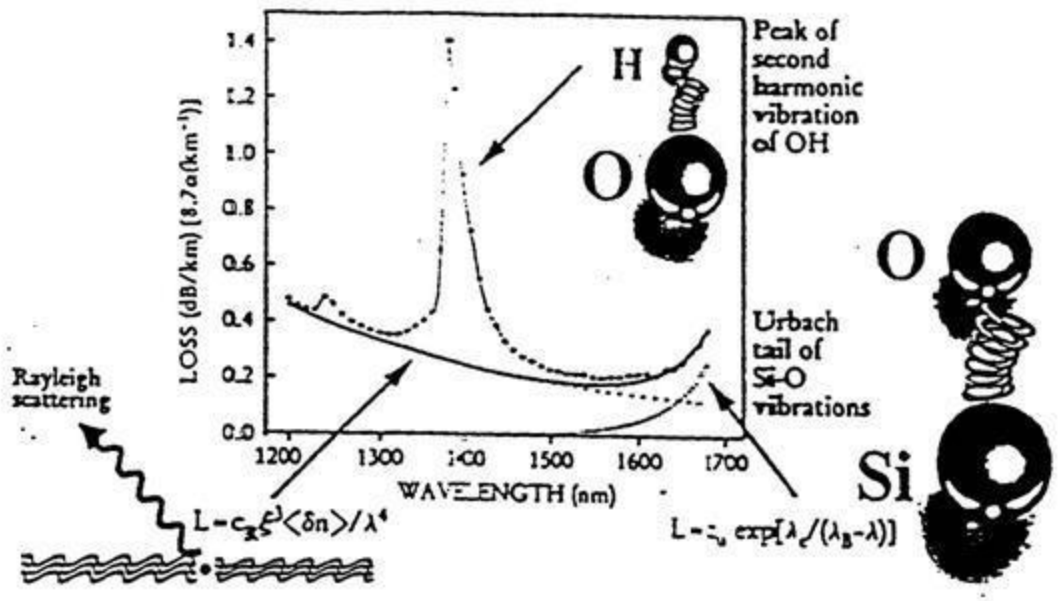
شكل (٢)
٢- مخطط كثافة الحالات كدالة للطاقة لشبه موصل بلوري افتراضي
٢- مخطط كثافة الحالات كدالة للطاقة لشبه موصل عشوائي افتراضي



ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

Journal of the ACADEMY OF SCIENCES



الشكل (٤)

منحني الفقدان في شدة الضوء بسبب مروره في الليف البصري : الفقدان له ثلاثة مكونات (١) استطارة رايلي (٢) ذيل اورباخ (٣) امتصاص الماء الموجود في الليف للضوء المشكلة التي حلت عام ٢٠٠٠ .

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

يه :- نظراً لعدم وجود الحرف للاتيني (α) الذي ورد في هذا البحث في حروف عة تم استبداله بحرف (O) وكذلك (α) تم استبداله بحرف (a) .

المصدر	تصنيع مادة او نبيطة الكترونية	دراسة خواص	غشاء رقيق	زجاج	مادة
[٩]	مادة	✓	✓	–	SiO
[١٠]	مادة	✓	✓	–	Se
[١١]	مادة	✓	✓	–	SiO/Cu
[١٢]	مادة	✓	✓	–	SiO/AS_2O_5
[١٣]	مادة	✓	–	✓	TeO_2
[١٣]	مادة	✓	–	✓	TeO_2-WO_3
[١٤]	مادة	✓	✓	–	$In_{30}Se_{70}$
[١٥]	مادة	✓	✓	–	V_2O_5
[١٥]	مادة	✓	✓	–	SiO/V_2O_5
[١٦]	مادة	✓	✓	–	Mn/SiO
[١٧]	مادة	✓	✓	–	Ge-SiO
[١٨]	مادة	✓	✓	–	GeO_X
[١٩]	نبيطة	✓	✓	–	a-Si:H
[٢٠]	مادة	✓	–	✓	$MgO-P_2O_5$
[٢١]	نبيطة	✓	✓	–	$CdTe_{1-x}\ S_x$
[٢٢]	مادة	✓	–	✓	Window glass
[٢٣]	نبيطة	✓	✓	–	Si
[٢٤]	نبيطة	✓	✓	–	Al_XO_Y
[٢٥]	مادة	✓	–	✓	SiO_2
[٢٦]	مادة	✓	–	✓	$MgO-P_2O_5$
[٢٧]	مادة	✓	✓	–	ZrO_2
[٢٧]	مادة	✓	✓	–	TiO_2
[٢٨]	مادة	✓	✓	–	Ni
[٢٩]	نبيطة	✓	✓	–	CdTe
[٢٩]	نبيطة	✓	✓	–	C.Si/CdTe
[٣٠]	مادة	✓	✓	–	ZnSe
[٣١]	مادة	✓	✓	–	In_2Se_3
[٣٢]	نبيطة	✓	✓	–	CdS:Cu
[٣٢]	نبيطة	✓	✓	–	CdS
[٣٣]	نبيطة	✓	✓	–	CdSe
[٣٤]	مادة	✓	✓	–	$CuInSe_2$
[٣٥]	نبيطة	✓	✓	–	p^+nn^+
[٣٦]	نبيطة	✓	✓	–	Si
[٣٧]	مادة	✓	✓	–	Ge
[٣٨]	نبيطة	✓	✓	–	Al/KI/CdTe
[٣٩]	نبيطة	✓	✓	–	$(ZnS)_X(CdTe)_{1-x}$
[٤٠]	نبيطة	✓	✓	–	CdSe:Cu
[٤١]	نبيطة	✓	✓	–	GeSe:Bi

ARCHIVE
http://Archivebeta.Sakhrit.com

جميع حقوق النشر محفوظة للمؤلفين.
معظم مجلات الأرشيف تخضع للمجال المفتوح، نلتزم بالنسبة للمؤلف الذي لم نتواصل معه بنصوص المادة العاشرة من اتفاقية برن لحماية المصنفات الأدبية و الفنية بشأن الإستثناءات الخاصة بالنشر للأغراض التعليمية في حال المطالبة بحذف أي مقال بناء على رغبة المؤلف فإننا نلتزم بذلك فوراً.

-
-
-