مجلـة جامعـة تشرين للدراسـات والبحـوث العلمية
المجلـد ٤ - العـدد ٤ مـن ٨٥ إلـى ٩٤

صفر ١٤٠٢هـ
كانون الأول ١٩٨١م

Low- Temperature Optical Investigation of the Urbach Tail in Amorphous $Ge_x Te_{1-x}$ Alloys in the light of the Anderson model.

دراسات في درجات الحرارة المنخفضة لزيل يورباك في خلائط الجرمانيوم - تيليريـوم غير المتبلور (الأمورف) a- $Ge_x Te_{1-x}$ من خلال نموذج أندرسون .

Abstract

الدكتور
عدنان ميني
كلية العلوم

إن نموذج أندوسون في التركيـب الالـكتروني يتنبأ بتشكيـل حالات طاقيـة متوضعة مزدوجة معزولة بواسطة تأثيرات متبادلة للاليكترون فونون . نريد أن نظهر في هذا البحث بأن تفسير الامتصاص الضوئي في منطقة زيـل يورباك ،، متوافق تماماً مع تغيرات حافة الهصابات band Edges المسبَّبة من تواجد حقل كهربائي عشوائي مترافق مع هذه البيبولارون bipolarons . تنشأ عن انتقال الاليـكترون بين الـروابط الحرة للتيليريوم Te عندما 0.33 x والروابط الحرة للجرمانيوم Ge عندما 0.33 x .

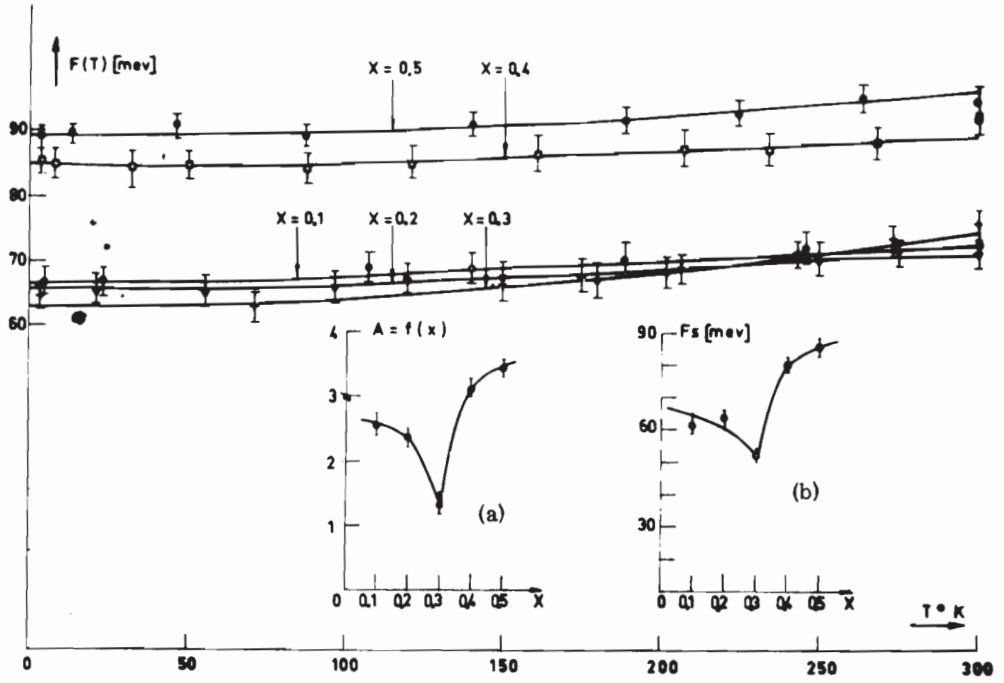

FIG. 3. $F(T)$ for $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$. Inset (a), $A(x)$; inset (b), $F_s(x)$.

مقدمة

لقد قدم أندرسون نموذجاًمن أجل التركيب البنيوي الاليكتروني لأنصاف النواقل في حالة الكالكوجينورأمورف لتفسير النقص في إشارات الـ EPR وفي مغناطيسية كيوري الطردية وفي حالة امتصاص ضوئي كبير معزو إلى كثافة كبيرة من مرتبة 10^{19} Cm لحالات طاقية متوضعة لازمة من أجل تثبيت مستوىفيرمي fermi.

لقد أظهر أندرسون بشكل مقنع بأن هذه الحالات الطاقية المتوضعة يجب أن تكون مشغولة بعدد مزدوج من الاليكترونات من خلال تأثيرات قوية متبادلة بين الاليكترون والفونون تتغلب على قوى الدفع الكولومبية .

بموجب أندرسون فان هذه الحالات المزدوجة يجب أن تتحقق بها الصفات التالية :

١ ـ انها لا تسبب في نشوء الحالة الاعتيادية للناقلية الكهربائية .

٢ ـ لاتعطي امتصاصاً ضوئياً أصغر من عرض عصابات الطاقة الممنوعة .

٣ ـ لا تجيب على حقل مغناطيسي خارجي أيضاً .

وهكذا من أجل كل هدف وغرض فان هذه الحالات البيبولارونية هي غير مرئية .
ونحن هنا نقترح في هذه النشرة العلمية بأن دراسة زيل يورباك في المواد الغير متبلورة amorphes يمكن أن تقدم لنا فحصاً مباشراً لنموذج أندرسون بالاضافة إلى أن هذه الدراسة هي مساهمة قيّمة لفهم الحالات الطاقية المتوضعة في الكالكوجينور .

من أجل أن تكون آلية نموذج أندرسون فعالة فان الاليكترون يتم انتقاله من رابطة حرة «dangling bond» إلى رابطة أخرى .

فى هذه العملية الرابطة الحرة الغير مشغولة تصبح مشحونة إيجابياً والرابطة التي تتلقى اليكترونين من سبين spin مضاد تصبح مشحونة سلبياً .

وهكذا بموجب هذا ينتج لدينا ترتيب من الشحنات الكهراكدة الايجابية والسلبية المتوزعة عشوائياً ، والنصف الناقل العديم التبلور هذا يشبه نصف ناقل متبلور معوّض مشوب بشكل كبير(HDCCS) .

highly doped Compensated Crystalline Semiconductor

وفي هذا الخصوص ، إن نموذج أندرسون مشتق من النماذج السابقة (2) لأنصاف النواقل المعادلة والمشابهة للتي استخدمت في أنصاف النواقل غير المتبلورة ، ولكن وجود اختلاف في الحقول الكهراكدة العشوائية وسيكون لدينا تشوهات استقطابية موضعية متطابقة مركّزة مسؤ ولة عن حالة ازدواجية الاستقطاب (بيبولارونية) . يتوقف عدد الحالات القطبية الموجبة والسالبة الناتجة عن الروابط الحرة للاليكترونات المنفردة بشكل كبير على انعدام شكل رباعي السطوح .

يبدو الآن واضحاً من أجل خلائط الجرمانيوم - تيليريوم $Ge_x - Te_{1-x}$ غير المتبلور «الأمورف» بأن هذا التنسيق المثالي لرباعي السطوح قد تم في حالة التركيب $Ge\,Te_2$ وذلك عندما ذرات الجرمانيوم Ge والتيليريوم Te تبقى على الترتيب رباعية وثنائية التكافؤ من أجل $0.5 > x$ (4) في كل طرف من أطراف $x = 0.33$ ، سوف نتوقع إيجاد ازدياد في عدد الحالات القطبية «الزوجية» .

بشكل تخطيطي فان الشكل رقم (١) يظهر ما يمكن توقعه من مثل ذلك الاعتبار البسيط . وفي ملحق الشكل (١) نرى أن أحد التوقعات يمكن أن يكون التأثير على عصابات الناقلية وعصابات التكافؤ لهذه الحالات القطبية الناتجة عن كلاً من الحقل الكهراراكدي الداخلي والتشوه القطبي المحلي . وهكذا فان البيبولارونات «غير مرئية» يجب أن تؤ ثر بعمق

على حجم حواف العصابات ، وبناء على ذلك ، فان دراسة متتابعة لزيـــل يورباك URBACH TAIL بتابعية نسبة تركيب الخليطة يجب أن تكون على قدرٍ من الأهمية .

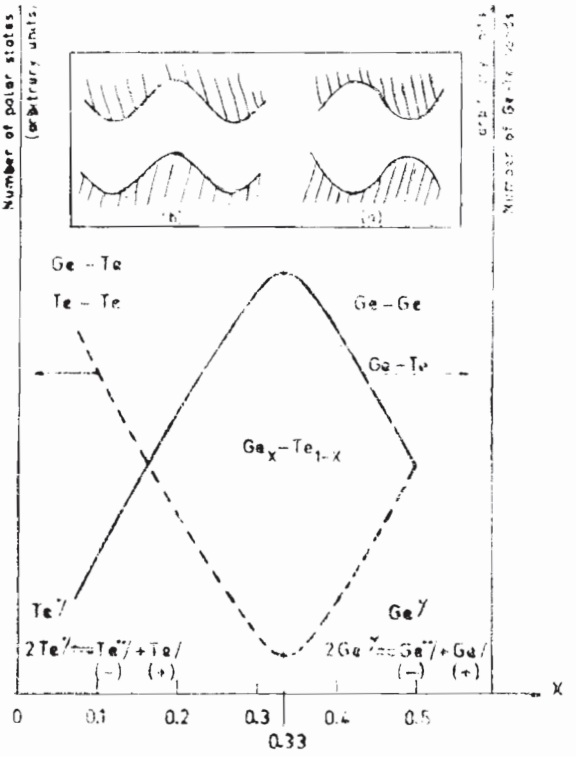

FIG. 1. Schematic variation of the number of Ge-Te bonds and polar states with x. Inset: band edge with (a) deformation potential and (b) electrostatic potential.

طرق تحضير العينات والأجهزة المستعملة :

إن الصفائح الـرقيقة لخلائط الجرمانيـوم ـ تيليريـــوم Ge_x-Te_{1-x} قد حضرت بواسطة طريقة الرش SPUTTERING من دريئة من الـ Ge_x-Te_{1-x} حيث أن $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ وذلك على صفائح من السيليس ضمن جهاز مخلى من الهواء حتى 10^{-7} Torr بوجود ضغط جزئي من الأرغون مقداره 5×10^{-3} Torr .

إن قياس عامل الامتصاص الضوئي قد أجري بواسطة سبيكترو وفوتوميتر ذي حزمتين

ضوئيتين مجهز بموشور Spectrophotometre Beckman DK2A . هذا الجهاز يؤمن لنا حزمة ضوئية وحيدة اللون متصلة بين ٢ , ٠ ميكرون و ٣ ميكرون .

لقد استخدمنا كريوستات ذي حزمتين ضوئيتين متلائمة مع السبيكتروفوتوميتر وذلك لنستطيع تغيير درجة الحرارة من درجة الحرارة الطبيعية 300°K وحتى درجة حرارة الهيليوم السائل 4°K خلال إجراء قياساتنا للنافذية الضوئية T .

إن قيم عامل الامتصاص الضوئي α بتابعية طاقة الفوتون $h\nu$ قدحسبت من قياس النافذية الضوئية T فقط على كل عينة من العينات (6) من أجل كل قيمة لـ x فلقد أجرينا القياسات على عدة عينات مختلفة السماكة تتراوح بين ٠,٧ ميكرون و ٣ ميكرون . هذه القيم α تتوافق تماماً في درجة الحرارة العادية 300°K مع القيم المحسوبة من قياس النافذية الضوئية T والانعكاس الضوئي R لنفس العينات في نتائج سابقة (5)

من أجل خطأ تجريبي في قياسنا للنافذية الضوئية $T = 0.25\%$ نحصل على خطأ في حساب عامل الامتصاص الضوئي $\alpha = +25Cm$ حيث أن d هي سماكة العينة .

نحصل على نوعين من التغيرات حسب نسبة تركيب الخليطة . من أجل $x \geq 0.3$ ، فان عامل الامتصاص الضوئي α يتغير بشكل أسي مع طاقة الفوتون وذلك من أجل قيم $\alpha = 10^4 Cm^{-1}$

إن منحنياتنا للتغيرات α في درجات الحرارة الاعتيادية بتابعية طاقة الفوتون تتوافق بشكل ممتاز مع نفس المنحنيات للباحثين (7) TSU و HOWARD وتتوافق إلى حد ما مع نفس المنحنيات للباحثين (7) CHOPRA و BAHL

نتائج القياسات :

من أجل $x \leq 0.3$ فإن الشكل (2) يبين تغيرات α بتابعية طاقة الفوتون وذلك من أجل خمسة قيم لدرجات الحرارة بين 300°K و 20°K للخليطة $Ge_{0.1}-Te_{0.9}$.

إن عامل الامتصاص الضوئي α يتغير بشكل أسي مع طاقة الفوتون من أجل $5 \times 10^2 Cm \ll \alpha \ll 10^4 Cm$. أما من أجل $5 \times 10^2 Cm$ فان قيم α هي أكبر من القيم المطابقة لامتداد الجزء الأسي «على شكل خط مستقيم» .

يمكن تجزئته إلى جزء أول يمثل امتداد الجزء الأسي (الخط المخطط في الشكل 2) وإلى جزء ثاني لا يتوقف على درجة الحرارة (الخط ـ.ـ. في الشكل 2) .

إن الجزء الثاني الذي لا يتوقف على درجة الحرارة يحتفظ دائماً بنفس المظهر لتغير

الامتصاص α بتابعية طاقة الفوتون hu من أجل جميع نسب الخليطة $x \leqslant 0.3$ ، ولكن شدتها تتناقص حتى الاختفاء من أجل $x = 0.1$ وحتى $x = 0.3$.

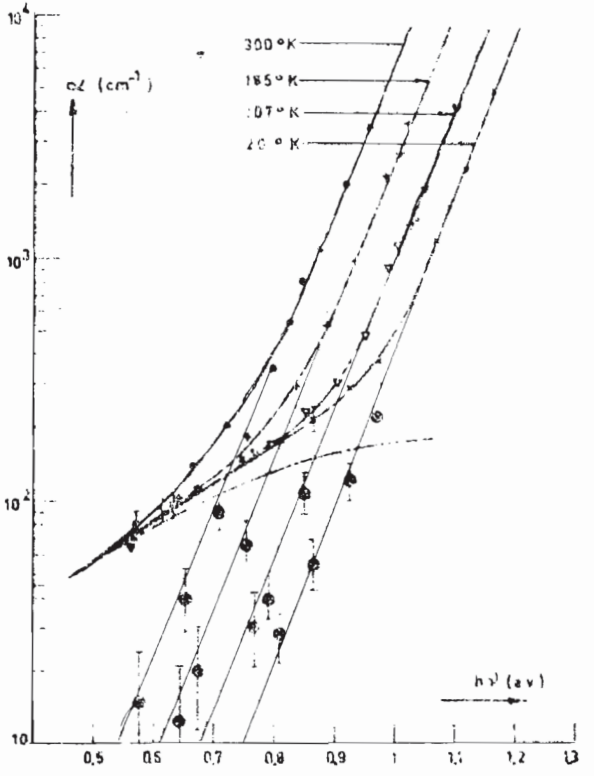

FIG. 2. α versus $h\nu$ at some temperatures for $x = 0.1$.

إن الشكل(3) يظهر تغيرات $F(T)$ الموجود في العلاقة $\alpha = \alpha_0 \exp \frac{h\nu - h\nu}{F(T)}$ بدلالة درجة الحرارة T من أجل مختلف نسب التركيب .

إن تغيرات F بدلالة x هي كبيرة جداً . ولكن نلاحظ أيضاً ازدياد بسيط لـ F بازدياد درجة الحرارة T والتي سعتها تتغير بتابعية نسب التركيب .

إن زيـل يورباك في تفسيره الأكثر شمولاً (8) يعزى إلى حقل كهربائي ميكـروني داخلي ينبعث سواءً من شحنات متوضعة (HDCCS) ، أو من فوتونات ضوئية Wo (في البلورات الشاردية) .

يمكننا كبقية الباحثين (9) تفكيك F(T) إلى جزئين :

$$F(T) = Fs + \frac{\hbar wo}{2A} \text{Coth} \frac{\hbar wo}{2KT} \qquad (1)$$

حيث أن Fs هو جزء بنيوي مستقل عن درجة الحرارة وأما الحد الثاني $\frac{\hbar wo}{2A} \text{Coth} \frac{\hbar wo}{2kT}$ يحوي ثابتة الازدواجية A حيث $A \geq 1$ والمعزوة إلى الحقل الكهربائي الناجم عن الفوتونات الضوئية .

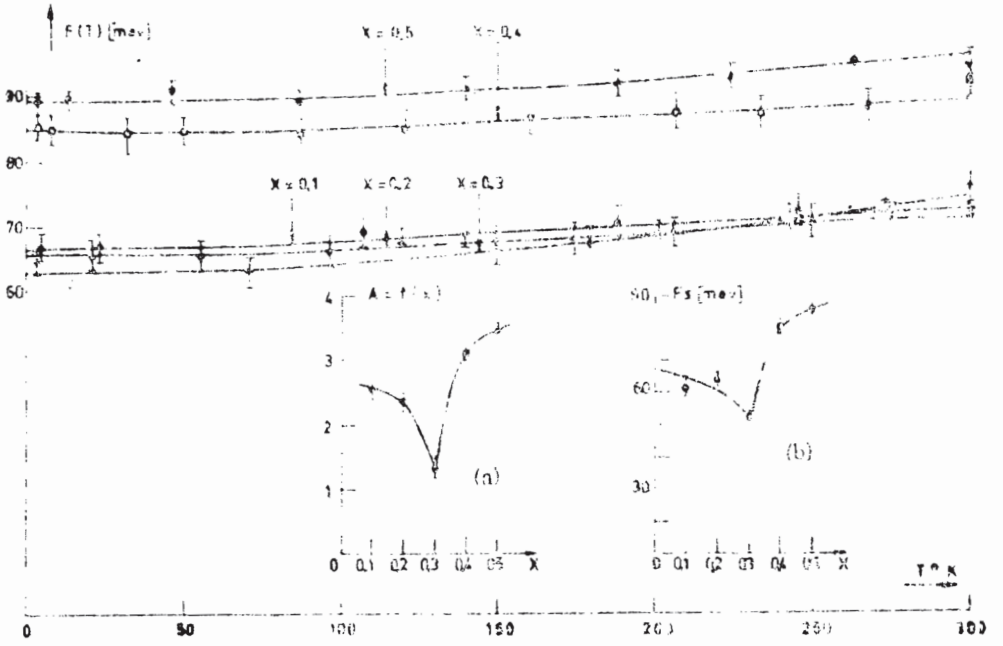

FIG. 3. $F(T)$ for $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$. Inset (a), $A(x)$; inset (b), $F_s(x)$.

من أجل خلائط الـ $Ge_x Te_{1-x}$ فان طيف الفوتون قد درس بواسطة الأشعة فوق الحمراء ومفعول رامان ، ولقد وجدت عدة خصائص للترددات مستقلة عن نسب التركيب في هذه الخليطة مع وجود امتصاص للأشعة فوق الحمراء سائد من أجل $W = 220\ Cm$ ناجمة عن الرابطة Ge-Te (4).

من أجل كل مركب من مركبات الـ $G_x Te_{1-x}$ يمكن ايجاد كل من A و Fs وهكذا فان النقاط التجريبية التي حصلنا عليها تتوافق مع القيم النظرية في العلاقة (١) والممثلة في الشكل بالخط المتصل .

إن تغيرات A وتغيرات F_s مع x تظهر في ملحق الشكل (3) .

على ضوء هذه النتائج ، يمكننا الرجوع قليلاً إلى تفسير المخطط في الشكل (1) .

١ ـ الترابط الكيميائي وروابط Ge-Te :

إذا قيست قوة الرابطة بعرض عصابات الطاقة الممنوعة Gap (القاب) للمواد المقابلة فان رابطة الـ Ge-Te (تساوي 1.2eV في الـ $Ge\,Te_2$) (3) أقوى من الرابطة Ge-Ge (التي تساوي تقريباً 1eV) أو أقوى من الرابطة Te-Te (التي تساوي 0.87eV) (10) إذن من أجل كل قيمة لـ x ، سيظهر عدد أعظمي من روابط الـ Ge-Te .

من أجل $x \ll 0.3$ سيكون لدينا روابط Te-Te وروابط Ge-Te بينما من أجل $x > 0.3$ سيكون لدينا روابط Ge-Ge وروابط Ge-Te .

هذه الصورة تتوافق مع قياسات الأشعة فوق الحمراء وقياسات الرامان (4) وتتوافق أيضاً مع سلوكية بلورات الـ Te في ماتريس الـ $Ge_x Te_{1-x}$ غير المتبلور (الأمورف) خلال التسخين (11) طبقاً لهذا فان تغيرات عدد روابط الـ Ge-Te مبينة (بالخط الأسود المتصل) في الشكل (1) . هذا ينعكس في تغيرات A^{-1} (ازدواجية بين الـ Ge-Te وروابط الفونونات) وفي القيمة الصغرى لـ A من أجل $x = 0.3$ [الملحق (a) من الشكل (3)] المساوية 1.3 قريبة جداً من القيمة المثالية ($A \# 1$) عندما كل الروابط الموجودة تقريباً هي روابط Ge-Te .

٢ ـ الحالات القطبية POLAR STATES

نتوقع ظهور التشوهات القطبية المحلية LOCAL POLAR DEFORMATION بشكل أكثر في الروابط Te-Te, Ge-Ge الأضعف نسبياً . وهكذا فان تغيرات F_s [في الملحق (b) من الشكل (3)] لخلائط الـ $Ge_x Te_{1-x}$ بدلالة x مع وجود قيمة اصغرية من أجل $x = 0.3$ متوافق تماماً مع المخطط في الشكل رقم (1) . F يتزايد على كل من جانبي $x = 0.33$ مع عدد الحالات القطبية الناشيء من الـ Te (في حالة $x < 0.33$) ومن الـ Ge في حالة ($x > 0.33$) (ممثل في الخط البياني المخطط بالضبط عندما F تزداد بالشوائب في حالة (HDCCS) (12)

٣ ـ التعديل Compensation

إن التشوهات القطبية المحلية تنشأ عن انتقال اليكترون بين رابطتين حرتين كما هو في نموذج أندرسون . إن التغيرات الناتجة معنا لميل زيل يورباك بدلالة درجة الحرارة T مقارنة نتائج الدراسة على HDCCS [$F_{(0)}$ هو ثابت من أجل المواد المعدّلة ، فان $F_{(0)}$ يتغير بشكل درجة الحرارة من أجل المواد الغير معدّلة] تشير من أجل كل التراكيب درجة عالية من التعديل Compensation مع وجود ناقلية كهربائية صافية (35) conduchirte intrinseque .

إذن ، في كل الحالات التعديل تاماً بدقة . من أجل $x \leqslant 0.3$ نجد مركبة امتصاص لفوتونات ذات طاقة صغيرة مستقلة عن درجة الحرارة تعزى عادة إلى ثغرات الشبكة البلورية defect في روابط الكالكوجينور (9)

بعد الاضاءة ، هذا النوع من الاشارة يزداد بشكل كبير مع ظهور اشارات صغيرة من الـ RPE (13) وهكذا يمكن أن يعزى بشكل أدق إلى كثافة قليلة من روابط حرة من اليكترونات وحيدة للتيليريوم Te . نلاحظ هذا فقط من أجل $x < 0.33$ ، وكثافتها تزداد مع كمية التيليريوم Te .

من أجل $x > 0.33$ فان المادة تصبح تعادلية COVALANT أكثر فأكثر ، إذن فإن التشوهات اللازمة لخلق حالات قطبية تصبح أكبر فأكبر . هذا يترك عدد من الروابط الحرة الفردية المتزايدة مع x معطية ناقلية كهربائية مشوبة Extrinsic Conductivité متزايدة مع x في حالة $x \leqslant 0.5$ (5) وفي الحالة الحدية للجرمانيوم النقي Ge فإنه ينتج ناقلية كهربائية مشوبة .

لقد عرضنا في هذا البحث نتائج تجريبية للامتصاص الضوئي في منطقة زيل يورباك في درجات الحرارة المنخفضة في الكالكوجينور الغير المتبلور «أمورف» في الجرمانيوم ـ تيليريوم $Ge_x Te_{1-x}$ من أجل $(0.1 < x < 0.5)$.

لقد بينا بأن نموذج أندرسون المتضمن حقله الكهربائي العشوائي الداخلي المستعمل في حقل الروابط الحرة يتطابق بشكل منسجم مع معطياتنا التجريبية .

هذا البحث كان من ضمن الأبحاث التي قمت بها في مركز البحوث الوطنية الفرنسية (CNRS) في غرونوبل ـ فرنسا

وقد نشر في مجلة Physical Review letters في المجلد 37 العدد 5 عام 1976 بالاشتراك مع A.DENEUVILLE

. B.K.CHAKRAVERTY

المراجع العلميّة

[1]P. W. Anderson, Phys. Rev. Lett. 34, 1346 (1975).

[2]H. Cohen, J. Non-Cryst. Solids 4, 391 (1970); J. D. Dow and J. J. Hopfield, J. Non-Cryst. Solids 5–10, 664 (1972).

[3]H. K. Rockstad and J. P. de Neufville, in *Proceedings of the Eleventh International Conference on the Physics of Semiconductors, Warsaw, 1972*, edited by The Polish Academy of Science (PWN—Polish Scientific Publisher, Warsaw, 1972), p. 423.

[4]G. B. Fisher, J. Tauc, and Y. Vorhelle, in *Proceedings of the Fifth International Conference on Amorphous and Liquid Semiconductors, Garmisch-Partenkirchen, West Germany, 1974*, edited by J. Stuke and W. Brenig (Taylor and Francis, London, 1974), p. 1259.

[5]A. Deneuville, J. P. Kervadec, P. Gérard, and A. Mini, Solid State Commun. 14, 341 (1974).

[6]J. P. Kervadec and A. Deneuville, to be published.

[7]W. E. Howard and R. Tsu, Phys. Rev. B 1, 4709 (1970); S. K. Bahl and K. L. Chopra, J. Appl. Phys. 40, 4940 (1969).

[8]J. J. Dow and D. Redfield, Phys. Rev. 123, 1530 (1971).

[9]J. Cornet and D. Rossier, Philos. Mag. 27, 1335 (1973); R. A. Street, T. M. Searles, I. G. Austin, and R. S. Sussman, J. Phys. C 7, 1583 (1974).

[10]J. Stuke, J. Non-Cryst. Solids 4, 1 (1970).

[11]A. Deneuville, P. Gérard, and J. Pevenyi, to be published.

[12]J. R. Dixon and J. N. Ellis, Phys. Rev. 123, 1560 (1961); A. B. Fowler, W. E. Howard, and G. E. Proch, Phys. Rev. 128, 1564 (1962); J. F. Pankove, Phys. Rev. 140, 2059 (1965); D. Redfield and H. Aframowitz, Appl. Phys. Lett. 11, 138 (1967).

[13]S. G. Bishop, V. Strom, and P. C. Taylor, Phys. Rev. Lett. 32, 1346 (1975).