تأثير حدود الحبيبات على بعض متغيرات ثنائيات شوتكي Al- poly Si -Al

سمر يونس طه * جنان مظفر مجيد **

يوسف مولود حسن ***

تاريخ قبول النشر ٢٠٠٤/٦/٩

الخلاصة

تم قياس طاقة التنشيط الحراري E_a وفجوة الطاقة البصرية E_g في مناطق مختلفة لرقيقة سليكون متعدد البلورات من النوع الموجب (P) . وتم قياس المتغيرات الخاصة بثنائيات شوتكي من نوع ألمنيوم – سليكون متعدد البلورات–ألمنيوم من خلال التيار– فولتية والدراسة المجهرية. وتبين من القياسات أن كثافة طول حدود الحبيبات لوحدة المساحة له تأثير اقل من نوع زاوية التقاطع بين هذه الحدود على بعض متغيرات ثنائيات شوتكي.كذلك درست آلية التفاعل بين معدن الألمنيوم مع حدود الحبيبات ونقاط التقاطع في درجات حرارة مختلفة. وقد تم تحديد نسبة تراكيز الألمنيوم المنتشرة في سطح السليكون باستخدام تقنية الأشعة السينية الوميضية.

المقدمة

ازداد اهتمام الباحثين منذ بداية السبعينيات بالبحث عن تركيب وخصائص سليكون متعدد البلورات ليحل محل السليكون البلوري المستخدم حاليا بشكل واسع في جميع الصناعات الإلكترونية الحديثة(1) وخصوصا الخلايا الشمسية(2) والدوائر المتكاملة ذات المساحات الواسعة .وللسليكون متعدد البلورات فوائد تقنية واقتصادية مهمة حيث يمكن تحضير رقائق السليكون متعدد البلورات بإشكال مربعة(3)وذلك بصب منصهر السليكون النقي في قوالب مربعة وهذه الأشكال المربعة للرقائق تزيد من كثافة الرص للخلايا في اللوح الشمسي مقارنة مع الخلايا الدائرية مما يقلل من كلفة المواد المستخدمة في صناعة اللوح الشمسي (3).وعملية التبلور بطريقة بتقنية القوالب المربعة توفر وقتا كثيرا مقارنة بعملية التبلور بطريقة زوخر السكي المعروفة والمضيعة للوقت في تحضير الاسطوانات السليكونية وكذلك توفر من هدر مادة السليكون أثناء تقطيع القالب إلى الرقائق . لقد وجد أن سعر واط واحد من القدرة الناتجة من لوح السليكون متعدد البلورات(0.36) من سعر القدرة نفسها من لوح السليكون البلوري (5 و4). إن المناطق المهمة في السليكون متعدد البلورات هي الحدود الواقعة بين الحبيبات (grains)البلورية حيث يظهر حاجز الكتروستاتكي على جانبي حدود الحبيبات (6) مشابها لحالة المفارق المتباينة في شبه الموصل – معدن . وهذا يعمل على إعاقة جريان حاملات الأغلبية مما يجعلها تبدو كمقاومة كبيرة . لقد وجد عند تحضير ثنائيات شوتكي (Schottky diodes) ان معدل حجم الحبيبات البلورية له

* دكتوراه–مدرس–كلية العلوم للبنات–جامعة الموصل
** ماجستير–مدرس–كلية العلوم للبنات–جامعة الموصل
*** ماجستير–أستاذ مساعد–جامعة الموصل

تأثير واضح على كفاءة الثنائيات عند تحويل الضوء إلى كهرباء ويعزى ذلك إلى إسهام حدود الحبيبات بشكل فعال في عملية إعادة اتحاد (recombination) للحاملات الأقلية مما يقلل من التيار الضوئي (7) . وفي الوقت نفسه تحد المقاومة الكبيرة الناتجة بسبب الحاجز الالكتروستاتكي بين الحبيبات من نقل الحاملات الأغلبية (3) . وقد وجد أيضا أن الحاجز الالكتروستاتكي المتكون من تلامس المعدن مع سطح السليكون البلوري أعلى من الحاجز الالكتروستاتكي بين المعدن والسليكون متعدد البلورات .كما وجد العلماء أن حدود الحبيبات له تأثير كبير على كفاءة الخلية الشمسية المصنعة من Si, CdS (8, 9). ركزت ألا بحاث على استخدم تقنيات مختلفة للتغلب على مشكلة حدود الحبيبات في السليكون متعدد البلورات . ومن تقنيات المستخدمة تقنية كبح فعالية الأواصر السائبة الموجودة عند هذه الحدود بالهيدروجين وتقنية انتشار الألمنيوم في هذه الحدود (10) وأكسدة سطح الرقيقة (11) .

في السنوات الأخيرة اهتم العلماء بدراسة الخواص الكهربائية لحدود الحبيبات للخلايا الشمسية CdTe/Cds, CdTe (12,13).في هذا البحث تم دراسة آلية التفاعل بين معدن الألمنيوم مع حدود الحبيبات ونقاط التقاطع في درجات حرارة مختلفة. وقد تم تحديد نسبة تراكيز الألمنيوم المنتشرة في سطح السليكون بتقنية الأشعة السينية الوميضية(X-ray Fluorescence Spectrometry).

تحضير النماذج

تم قطع عدد من نماذج السليكون متعدد البلورات (2x2 cm) من رقيقة كبيرة تم الحصول عليها من شركة (Wacker-Chemitronic Gmbh) والمعروفة تجاريا باسم سيلسو (SILSO) . وبعد تنظيف النماذج كيميائيا استخدم قسم منها للدراسة مباشرة كمراجع للاعتماد عليها ، أما النماذج الأخرى فقد استخدمت لعمل ثنائيات شوتكي او لدراسة انتشار ذرات الألمنيوم على سطح الرقيقة وحدود الحبيبات .لتحضير ثنائيات شوتكي تم ترسيب الألمنيوم على الوجه الخلفي والأمامي للرقيقة كما موضح في الشكل رقم -١- . للحصول على التلامس المقاومي تم ترسيب الألمنيوم بسمك 200nm تحت ضغط 10^{-5} تور على السطح الخلفي للرقيقة وبعد ذلك تم تلدين النموذج في الفرن بدرجة $450c^0$ ولمدة 30min , تم ترك النموذج لدرجة حرارة المختبر . ولعمل التلامس التقويمي يعاد النموذج إلى وحدة التغطية (Balzers Coating Unit) لترسيب الألمنيوم على الوجه الأمامي للنموذج بسمك 40nm وتحت ضغط 10^{-5} تور من خلال قناع معدني يحوي فتحات دائرية بأقطار مختلفة (1.0,1.5,2.0 mm) وتم الترسيب على مناطق مختلفة من سطح الرقيقة بحيث تضم دائرة الثنائي أطوال متباينة وأشكال من التقاطع بين الحدود كما مبين في الشكل رقم -١- .

أما النماذج الخاصة بدراسة نسبة تركيز الألمنيوم داخل سطح الرقيقة للسيليكون متعدد البلورات فقد تم ترسيب الألمنيوم على سطح الرقيقة وعوملت النماذج في درجات حرارة مختلفة ($200,400,600,800\ C^0$) ، ثم أزيل الألمنيوم المترسب بتغطيس النموذج في محلول إزالة الألمنيوم((1930:85:480CC) ($CH_3PO_4:HNO_3:CH_3COOH$) في درجة حرارة $60C^0$ لمدة 5min ، وبعد ذلك تم تنظيف النموذج بأسيتون لمدة دقيقتين ثم غسل بالماء المقطر غير الأيوني .وبعد تجفيف النماذج ثبتت على الحاملات الخاصة بتقنية الأشعة السينية الوميضية .

القياسات

تم قياس التوصيلية الكهربائية وطاقة التنشيط (E_g) (Activation Energy) للنموذج في مناطق مختلفة وذلك بعمل الأقطاب المستوية (Planer electrodes) والأقطاب الشطيرية (Sandwich electrodes) حيث تم تسليط الجهد الكهربائي بواسطة مجهز القدرة المستمرة وسجل فرق الجهد عبر النموذج بواسطة فولتميتر رقمي صناعة شركة ماركوني وطراز TF 267 وتم قياس التيار باستخدام اميتر صناعة شركة HPوطراز3460B وقيست التوصيلية الكهربائية في درجات حرارة مختلفة لإيجاد طاقة التنشيط.لقياس فجوة الطاقة البصرية (E_g)(Optical Energy Gap) استخدام مطياف من طراز(Pu 8800 UV/Vis) وطول موجي ضمن المدى (300-850 nm) .ومن تسجيل تغير انعكاسية سطح النموذج مع تغيير الطول الموجي الساقط على النموذج تم حساب معامل الامتصاص . واستخدم جهاز الأشعة السينية الوميضية لتخمين نسبة تراكيز الألمنيوم المنتشرة ضمن الطبقة السطحية للرقيقة في درجات حرارية مختلفة.

النتـــائج والمناقشة

يبين الشكل -2- تغير التوصيلية الكهربائية (σ) مع درجات الحرارة للأقطاب المستوية والأقطاب الشطيرية . تم حساب طاقة التنشيط (E_a) للنماذج من ميل المستقيم ووجد أنها بحدود 0.2ev وهذه القيمة تتفق مع القيمة النظرية المحسوبة 0.211 ev . ولا تعتمد قيمتها على شكل الأقطاب المستخدمة ولاحظنا اختلافا قليلا لقيم طاقة التنشيط عند قياسها في مناطق مختلفة على السطح . الشكل رقم – 3 - يبين أن قيمة فجوة الطاقة البصرية للسيليكون متعدد البلورات أعلى بقليل من فجوة الطاقة البصرية للسيليكون البلوري (1.1ev) وتعزى هذه الزيادة إلى إسهام الحالات الموضعية الموجودة عند حدود الحبيبات التي تكون بالشكل غير البلوري في عملية الانتقال . تم حساب متغيرات الثنائيات ϕ_b , Js من خلال رسم العلاقة بين (Ln I- V) ومن ميل الجزء الخطي للعلاقة بين (Ln I-V) تم حساب عامل المثالية (n) ، حيث أن الميل يساوي q/nKT . إن قيم عامل المثالية كبيرة نوعا ما ،وسبب ذلك يرجع إلى احتمالية اعادة الشحنات في منطقة الاستنزاف أو احتمالية عبور حاملات الشحنة الأكثرية نتيجة الانبعاث الحراري أو احتمالية انتقال التيار كنتيجة إعادة الاتحاد والانبعاث الحراري مزيج من الحالتين الأولى والثانية . وتم قياس كثافة تيار الإشباع العكسي, Js لكل ثنائي من تقاطع الجزء الخطي للعلاقة (ln I-V) عند V=0

وكذلك تم حساب حاجز الجهد من العلاقة

$$\phi_b = \frac{KT}{q} Ln \frac{A^* T^2}{J_s}$$

حيث K تمثل ثابت بولتزمان ، T درجة الحرارة بالكلفن ، q شحنة الإلكترون ، J_s كثافة تيار الإشباع العكسي ، A^* ثابت ريتشاردسن وقيمته للسيليكون الموجب في درجة حرارة الغرفة ($32\ Amp/K.cm^2$) .

جدول رقم –١– يبين قيم هذه المتغيرات و كثافة طول حدود الحبيبات لوحدة المساحة ℓ (mm^{-1}) لكل ثنائي مع الشكل المكبر للثنائي المناظر. وقد تم حساب طول الحدود تحت المايكروسكوب وتقسيمها على مساحة الثنائي ويمثل كثافة طول الحبيبات ($\ell\ mm^{-1}$) من ملاحظة القيم المدونة في الجدول يمكن الاستنتاج بان كثافة طول حدود الحبيبات لوحدة المساحة ($\ell\ mm^{-1}$)لها تأثير قليل على هذه المتغيرات مقارنة مع شكل زاوية التقاطع بين حدود الحبيبات وهذا يتفق مع ما توصل إليه مرجع (10). ومن الواضح أن زيادة مساحة الثنائي لها تأثير قليل على قيم ϕ_b (قارن قيم ϕ_b لثنائي 1,4,7) حيث أن الثنائي رقم 4 لا يحتوي على حدود حبيبات ويحتوي 1,7 على اقل عدد من حدود الحبيبات ونقاط التقاطع. أما عند مقارنة الثنائي 3, 4 حيث أن الثنائي رقم 3 اقل مساحة نلاحظ أن قيم ϕ_b قلت في حين ازدادت قيم J_s مع زيادة عدد نقاط التقاطع وحدود الحبيبات . نفس العلاقة تلاحظ أما عند مقارنة الثنائي 4,8 حيث أن الثنائي رقم 4 هو اقل مساحة نجد أن قيم ϕ_b تقل بازدياد نقاط التقاطع وتزداد J_s.

جدول رقم 2 يبين نتائج الأشعة السينية الوميضية للسطح المعامل بالألمنيوم في درجات حرارية مختلفة ويتضح من الجدول ازدياد نسبة الألمنيوم في الطبقة السطحية للرقيقة مع زيادة درجات حرارة التلدين.

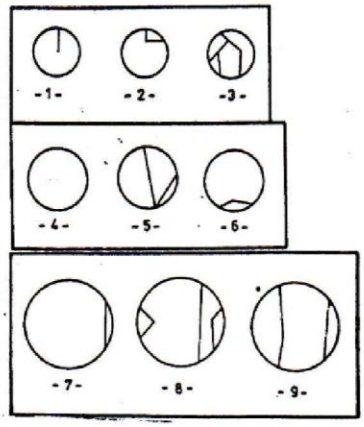
رقم النموذج	درجات حرارة التلدين	الألمنيوم %
1	غير معامل	0.07
2	200 C^0	0.17
3	400 C^0	2.4
4	600 C^0	3.92
5	800 C^0	7.55

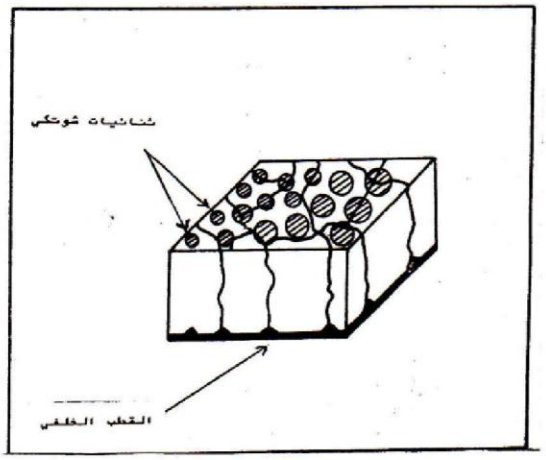
جدول رقم 2 يبين زيادة النسبة المئوية للألمنيوم من سطح السيليكون متعدد البلورات مع درجات حرارة التلدين.إن ظهور نسبة 0.07% من الألمنيوم في الطبقة السطحية للنموذج غير المعامل حراريا يرجع إلى عدم نقاوة منصهر السيليكون من الشوائب الموجودة في خام السيليكون والمعروف أن الألمنيوم أحد الشوائب الموجودة في منصهر السيليكون. أما بالنسبة لسطح الرقيقة بعد إزالة طبقة الألمنيوم فقد وجدنا أن عملية التلدين لها تأثير على تنافذ الألمنيوم داخل السيليكون محدثة حفر صغيرة على سطح النموذج بعد درجة $450C^0$ وتزداد مساحة وعمق هذه الحفر مع حرارة التلدين حرارة التلدين وتظهر هذه الحفر بشكل أوضح عند حدود الحبيبات ونقاط التقاطع للحدود كما أشير إلى ذلك في المرجع (14).

No.of diode	ℓ mm^{-1}	ϕ_b (V)	n	J_s (Amp/cm^2)
d=1 mm				
1	9.5	0.8081	1.1	2.63×10^{-8}
2	12.7	0.7407	1.9	3.90×10^{-7}
3	44.5	0.7571	1.5	2.02×10^{-7}
d=1.5mm				
4	--	0.8089	2.7	2.54×10^{-8}
5	20.4	0.7883	2.7	5.81×10^{-8}
6	7.9	0.7888	2.8	5.7×10^{-8}
d=2mm				
7	5.1	0.7972	4.0	4.07×10^{-8}
8	17.5	0.7938	0.4	4.66×10^{-8}
9	14.8	0.7859	1.9	6.41×10^{-8}

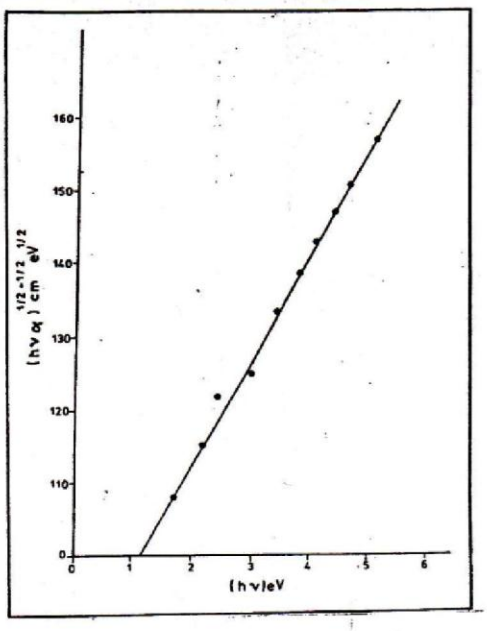
جدول رقم-١-

بين قيم معلومات ثنائيات شوتكي (ϕ_b ,n, J_s) وكثافة طول حدود الحبيبات لوحدة المساحة (ℓ) لكل ثنائي, مع الشكل الهندسي للثنائي المناظر

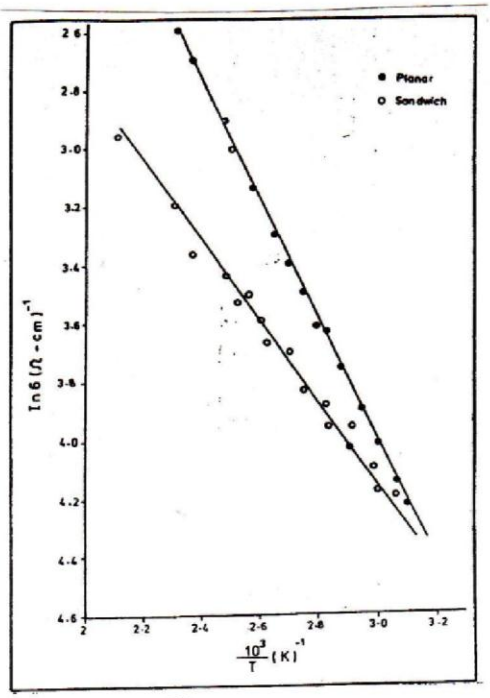




شكل -١- نموذج يبين ثنائيات شوتكي بمساحات مختلفة على السليكون متعدد البلورات



شكل رقم -٣- تغير $(h\nu\alpha)^{1/2}$ مع طاقة الفوتونات للسليكون متعدد البلورات



شكل رقم -٢- العلاقة بين $\ln\sigma$ مع $\frac{10^3}{T}$ لعقطاب البستوية والتطبيرية .

المراجع

1. Hovel, H.J., 1979. In Technical Digest International Electronic Devices Metting, P.3.
2. Bartelink, D.J.,1981. "Grain Boundaries in semiconductors" Mat.Res. Soc.Boston.
3. Green, M.A., 1982. "Solar Cells", Prentice Hall, Inc. London.
4. Lindmayer, J., and Z.C. Putney, 1980."Semicrystalline Versus Single Crystal Silicon",14th IEEE Photovoltaic Specialists Conf.p.208.
5. Khattak, C.P.,and F.Schmid, 1980. "low- Conversion of poly-crystalline Silicon into Sheet by HEM and Fast",14th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., p.484.
6. Fussm, J.G, and F.A. Lindholm, 1980. "Theory of Grain-Boundaries Intragrain Recombination Currents in Polysilicon p-n Junction Solar Cells", J.IEEE Transcations on Electron Devices,Vol.ED-27,P.692.
7. CardH, C.,and E.S.Yang, 1977. "Electronic Processes at Grain Boundaries in polycrystalline semiconductors under Optical Illumination",J.IEEE Transcations on Electron Devices, Vol.ED-24,P.397.
8. Kumari, S.,and B.K.Das,1984. "The Effect of Grain Boundary Influence Wdith on The Spectral Response of Polysilicon Solar Cells",Melecon'84 Solar Energy, P.293.
9. Miralles, A., A.Herms, E. Bertran, A.Cornet, and J.R .Morante, 1985. "Effects of Grain Size and States Density in CdS polycrystalline Solar Cells Devices", Mlecon'85 Solar Energy,P.29.
10. Hassan, Y.M., and R.S.Aboud, 1992.International Renewable Energy Conf. June 22-26 ,P.455.
11. Thanon, H.H.,Y.M.Hassan, and S.J.Shaker, 1988.5th SCSR Conf.
12. Levi, D.H., L.M.Woods, D.S. Albin, T.A.Gessret, R.C.Reedy, and R.K.Ahrenkiel,1998."Electrical Characterization of CdTe Grain-Boundary Properties from as Processed CdTe/CdS Solar Cells ",Proc. Of the 2 nd World Conf. on PV Solar Energy Conversion.
13. Gilmore, A. S., V. Kaydanov, U.Laor,A.Gupta,T.R.Ohno, and B .Mccandless,2001.NCPV Program Review Meeting.
14. Thanon, H.H., 1988. M.Sc. Thesis, Study he lectrical nd Optical roperties f he olycrys-talline Silicon", University of Mo-sul.

المراجع

1. Hovel, H.J., 1979. In Technical Digest International Electronic Devices Metting, P.3.
2. Bartelink, D.J.,1981. "Grain Boundaries in semiconductors" Mat.Res. Soc.Boston.
3. Green, M.A., 1982. "Solar Cells", Prentice Hall, Inc. London.
4. Lindmayer, J., and Z.C. Putney, 1980."Semicrystalline Versus Single Crystal Silicon",14th IEEE Photovoltaic Specialists Conf.p.208.
5. Khattak, C.P.,and F.Schmid, 1980. "Iow- Conversion of poly-crystalline Silicon into Sheet by HEM and Fast",14th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., p.484.
6. Fussm, J.G, and F.A. Lindholm, 1980. "Theory of Grain-Boundaries Intragrain Recombination Currents in Polysilicon p-n Junction Solar Cells", J.IEEE Transcations on Electron Devices,Vol.ED-27,P.692.
7. CardH, C.,and E.S.Yang, 1977. "Electronic Processes at Grain Boundaries in polycrystalline semiconductors under Optical Illumination",J.IEEE Transcations on Electron Devices, Vol.ED-24,P.397.
8. Kumari, S.,and B.K.Das,1984. "The Effect of Grain Boundary Influence Wdith on The Spectral Response of Polysilicon Solar Cells",Melecon'84 Solar Energy, P.293.
9. Miralles, A., A.Herms, E. Bertran, A.Cornet, and J.R .Morante, 1985. "Effects of Grain Size and States Density in CdS polycrystalline Solar Cells Devices", Mlecon'85 Solar Energy,P.29.
10. Hassan, Y.M., and R.S.Aboud, 1992.International Renewable Energy Conf. June 22-26 ,P.455.
11. Thanon, H.H.,Y.M.Hassan, and S.J.Shaker, 1988.5th SCSR Conf.
12. Levi, D.H., L.M.Woods, D.S. Albin, T.A.Gessret, R.C.Reedy, and R.K.Ahrenkiel,1998."Electrical Characterization of CdTe Grain-Boundary Properties from as Processed CdTe/CdS Solar Cells ",Proc. Of the 2 nd World Conf. on PV Solar Energy Conversion.
13. Gilmore, A. S., V. Kaydanov, U.Laor,A.Gupta,T.R.Ohno, and B .Mccandless,2001.NCPV Program Review Meeting.
14. Thanon, H.H., 1988. M.Sc. Thesis, Study he lectrical nd Optical roperties f he olycrys-talline Silicon", University of Mo-sul.

The Effect of Grain Boundaries on Schottky Diode Parameters

*S.Y.Taha *J.M.Majid
*Y.M.Hassan

*Department of physics, College of Science, University of Mosul, Mosul-Iraq

Abstract

The activation energy and optical band gap of different regions (p-type) polysilicon have been measured. Both microscopic studies and current-voltage characteristics of diodes prepared on different surface regions were carried out. Comparison of diodes parameters and microscopic studies indicate that the type of angles between boundaries has a significant effect on diodes parameters while the boundary lengths per unit area has less effect. The mechanism of Al-interaction with grain boundaries and their intersecting points at different temperature were also studies. The X-ray fluorescence spectrometry has been used for detection of diffused Al%.