

حركة البلورة المعزولة بفعل المجال الكهربائي

د. صاحب مهدي الصفار*
تاريخ التسلم: ٢٠٠٤/١٢/٢٩
تاريخ القبول: ٢٠٠٥/٥/١٥

الخلاصة

درست حركة الحدود الحبيبية لبلورة معزولة (بلورة أحادية صغيرة الحجم داخل بلورة أحادية كبيرة الحجم) من الألمنيوم النقي ، على نموذجين ، ففي النموذج الأول استخدام تيار كهربائي مستمر كثافته ٢٠٠٠ أمبير / سم^٢ وفي درجة حرارة ٥٠٠ م° ولمدة ٤٨ ساعة . فتحررت الحدود الحبيبية في الجزء العلوي مسافة ١٥ مايكرون باتجاه تحذب الحبيبية وبتجاه القطب الموجب بينما تحركت الحدود الحبيبية في الجزء الأسفل مسافة ٣٠ مايكرون وبتجاه تقعر الحد الحبيبي وبتجاه القطب الموجب ايضاً ويتوقع ان يكون المسؤول عن هذه الحركات هي القوى الكهربائية وخاصة قوة تصادم الإلكترونات مع أيونات المعدن (رياح الإلكترون) ، إذ تعتبر هي المسيطرة على الازاحات في الجزء العلوي بينما تكون رياح الإلكترون مضافاً إليها قوة المجال الحراري هما المسؤولان عن الازاحات في الجزء الأسفل .

أما الحدود الحبيبية في الجزء الأيمن و الأيسر حيث تكون الحدود الحبيبية موازية للمجال الكهربائي فلم يلاحظ أي تحرك باتجاه مركز التكور للحد الحبيبي ، وقد قورنت هذه الازاحات مع نموذج ثنائي يحتوي على بلورة معزولة وذلك بتسخينه بنفس درجة الحرارة والمدة الزمنية ولكن في فرن كهربائي أنبوبي عادي ، فكانت الازاحات كما هو متوقع باتجاه مركز التكور فقط .

*Motion of isolated Crystal by electric field*Abstract

The motion of isolated Crystal (I.C) in two specimens of pure monocrystalline aluminium by D.C was studied. In the first specimen, the temperature was 500C° and the Current density was up to 4200 Amp/ Cm² and the annealing time was 48h. The displacement of upper segment of I.C (Where grain boundary (g.b) was perpendicular to electric flow) was 15 um towards the anode and out of the radius of Curvature, the lower Segment of I.C (Where g.b was perpendicular to electric flow also) was 30um towards the anode and towards the radius of curvature. On the other hand there

* قسم هندسة المواد / الجامعة التكنولوجية

is no displacement on the segments of right and left of I.C (where $g.b$ was parallel to electric flow).

It could be explained that the displacements of 15 μm was caused by electron wind force only, while the electron wind force and the thermal force caused the displacement of 30 μm .

In the second specimen was studied by tube furnace at the same temperature and annealing time it was found that all the segments of I.C were displaced towards the center of curvature.

المقدمة

حيث تمثل D معامل الانتشار، Z التكافؤ الأيوني، e شحنة الإلكترون، E المجال الكهربائي، K ثابت بولتزمان، T درجة الحرارة المطلقة، أما N_d ، N_a فتمثل العدد الكلي للجسيمات وعدد العيوب على التوالي، بينما تمثل $\int d$ المقاومة

النوعية والمقاومة النوعية الناتجة عن العيوب على التوالي (١٦، ١٥، ١٤) فضلاً عن تأثير الأيونات بقوة المجال الحراري (١٧) الناتجة عن التباين الحراري الذي يؤدي إلى حركة الحدود الحبيبية باتجاه تقابل مساحاتها السطحية، أي أنها تتجه باتجاه مركز التكرور (١٨-١٩) وقد وجد ان هذه القوى تتناسب عكسياً مع نصف قطر تكور الحد الحبيبي وحسب العلاقة التالية (انظر الملحق).

$$F_s = -g_j \frac{dS_j}{dx}$$

الجزء العملي

قطعت أعداد كبيرة من شرائح الألمنيوم النقي ٩٩،٩٩% بأبعاد ١٠٠×٢٥×٠،٥ مم وأجريت عليهم عملية تليدين ابتدائي في فرن بدرجة

درست تجارب التأثير الكهربائي على مختلف العيوب البلورية مثل الفراغات (١-٣) والتجمعات الكتلية (٤-٦) والانخلاعات (٧-٨) والحد الحبيبي لبلورية ثنائية وكذلك لمعددة البلورات (٩-١١) كما درست مؤخرًا حركة الحدود الحبيبية الثلاثية الملتقية بنقطة واحدة (١٢-١٣)، ولكن لم تدرس لغاية الآن حركة الحدود الحبيبية لبلورة معزولة تماماً تحت تأثير المجال الكهربائي الناتج عن مرور تيار كهربائي مستمر ذي كثافة عالية وهو محور هذه الدراسة فمن المعروف أن أيونات المعدن الذي يمر فيه تيار كهربائي مستمر، تتأثر بعدة قوى منها قوة المجال الكهربائي نفسها وقوة تصادم الإلكترونات مع أيونات المعدن (رياح الإلكترون) حيث تعمل هاتان القوتان على حركة هذه الأيونات بسرعة (٥) التي يمكن تمثيلها بالعلاقة

$$v = \frac{DZE}{KT} \left(1 - \frac{N \int d}{N_d \int d} \right)$$

إلى 500°C ولمدة ٤٨ ساعة بينما وضع النموذج الثاني في فرن كهربائي أنبوبي بنفس الدرجة من الحرارة والزمن ، وقد قيست درجات الحرارة باستخدام المزودج الحراري على نماذج متشابهة للنموذجين المستخدمين ، وقيست الازاحات بالاعتماد على الآثار المتعاقبة لحركة الحدود الحبيبية الأولية وذلك باستخدام المجاهر الضوئية الاعتيادية.

النتائج:

لوحظ في النموذج الأولي أن الجزء العلوي للحد الحبيبي للبلورة المعزولة قد تحرك باتجاه القطب الموجب مسافة ١٥ مايكرون وهذه الحركة كانت باتجاه تحذب الحد الحبيبي . بينما تحرك الجزء السفلي للحد الحبيبي للبلورة المعزولة باتجاه القطب الموجب أيضاً مسافة ٣٠ مايكرون ولكن باتجاه تعقعر الحد الحبيبي ، أما الحدود الحبيبية للبلورة المعزولة في اليمين واليسار فلم تتحرك باتجاه نصف تكور الحد الحبيبي كما في الشكل (١-ب) . أما النموذج الثاني فقد لوحظ تحرك الحدود الحبيبية للبلورة المعزولة باتجاه المركز (اتجاه نصف القطر) بشكل عام كما في الشكل (٤-ب).

المناقشة:

من نتائج النموذج الأول كان الحد الحبيبي في الجزء العلوي قد تحرك

350°C لمدة ٣ ساعات ثم أجريت عملية شد بنسبة ٤ % وبعدها وضعت في فرن أنبوبي بدرجة حرارة 580°C ، ولمدة ٢٤ ساعة فحصلنا بذلك على بلورات كبيرة الحجم ($20 \times 40 \mu\text{m}$) تقريباً : ، ذات ترتيب ذري عشوائي ومن بين عشرات العينات التي أجريت عليها عمليات التلدين الانفعالي حصلنا على عينتين تحويان كل واحدة منهما على بلورة صغيرة الأبعاد دائرية الشكل تقريباً لا يتعدى قطرها عن (٠,٦) مليمتر كما في الشكل (١-أ) وباستخدام الأشعة السينية ومبدأ الإسقاط المجسم الموضحة في الشكل (٢) تم التعرف على المستوي الذري لكل من البلورة الصغيرة (أ) والبلورة الكبيرة (ب) وقد كانتا من نوع (١١١) ولكن منحرفة الواحدة عن الأخرى بزواوية 25° درجة . قطعت العينتان بالشرارة للكهربائية على شكل شبه منحرف [] وهو النموذج المفضل استخدامه في دراسة التأثير الكهربائي على العيوب البلورية بسبب تلافي الاستطالة من جراء التسخين فضلاً عن التوزيع المنتظم للمجال الكهربائي على طول النموذج وحصولنا على درجات حرارة ثابتة في مركز النموذج حيث تتواجد البلورة المعزولة . كما في الشكل (٣) ، أجريت عملية التنظيف الكهروكيميائي والمهاجمة الكيمياءية . كما في الدراسات السابقة (١٢) .

فقد امر نيار كهربائي مستمر في النموذج الأول ذي كثافة 4200 أمبير / سم^٢ قارتفعت درجة الحرارة

التكور. وقد رسمت العلاقة بين زاوية الانحراف عن المجال الكهربائي (θ) والازاحات المستحصلة للحدود الحبيبية بفعل المجال الكهربائي (d) كما في الشكل (٥). أن القيم المستحصلة من هذه الدراسة بلا شك تعتمد على متغيرات أخرى كثيرة منها التركيب البلوري للحد الحبيبي الفاصل بين البلورة الكبيرة والصغيرة (٢٢، ٢١، ٢٠) وكذلك التباين الحراري (١٧) بين موقع البلورة الصغيرة والكبيرة الأمر الذي يؤثر كثيراً على عملية النمو الحبيبي الحاصلة في هذه الدراسة كما أن تأثير المجال الكهربائي على حركة الشوائب والفراغات والانخلاعات، الأثر كبير على حركة الحدود الحبيبية إذا أن هذه العيوب تفضل الهجرة باتجاه القطب السالب (٢٣).

أما في النموذج الثاني فإن المجال الحراري وحده هو المسيطر على عملية الحركة حيث تتجه الحدود باتجاه تقليص المساحة السطحية للحد الحبيبي وبالتالي الحركة باتجاه نصف قطر التكور كما في الشكل (٤) أن هذه الحركة تشبه المرحلة الأخيرة من عملية التلدين وهي النمو الحبيبي ولتي تتم عن طريق نمو كل حبيبية على حساب الحبيبية الأخرى بسبب انتقال الذرات أو مجاميعها عبر الحدود الفاصلة من البلورة الصغيرة إلى البلورة الكبيرة مما يؤدي إلى انتقال الحدود الحبيبية تدريجياً باتجاه الحبيبية الصغيرة أي أن الحدود ستنتقل باتجاه مركز التكور، والسبب

مسافة ١٥ مايكرون بالمقارنة مع الجزء السفلي الذي تحرك ٣٠ مايكرون والسبب يعود إلى أن الحد الحبيبي في الجزء العلوي يعاني من قوتين متعاكسين، ففي الوقت الذي تعمل القوى الناتجة عن تصادم الإلكترونات مع أيونات المعدن (رياح الإلكترون) بإزاحة الحد إلى الأعلى وباتجاه القطب الموجب تعمل القوى الناتجة عن المجال الحراري على إزاحة هذا الحد باتجاه نصف قطر التكور (إلى الأسفل) أي بالاتجاه المعاكس وعليه ستكون المحصلة لصالح القوة الأولى ولكن لمسافات قصيرة. أما في الحد الحبيبي السفلي فقد سلطت عليه القوتين الكهربائيتين والحرارية باتجاه واحد، والاثنتان نحو القطب الموجب أي باتجاه نصف قطر التكور. وعليه ستكون المحصلة عبارة عن مجموع القوتين الأمر الذي سبب إزاحة كبيرة بالمقارنة مع الجزء العلوي وكما هو ملاحظ في الشكل (١-ب)، أن هذه الازاحات تكون على أشدها في المناطق التي يكون فيها الحد الحبيبي عمودي على المجال الكهربائي ($\theta = 90^\circ$) ثم تقل هذه الازاحات بعد ذلك كلما انحرف الحد الحبيبي عن المجال. ولهذا السبب يتوقع أن تكون الحدود الحبيبية الموازية للمجال الكهربائي ($\theta = 0$) (مثل جزء اليسار واليمين في البلورة المعزولة) غير متأثرة بالحركة باتجاه المجال الكهربائي وهذا الأخير يمنع تقليص المساحة السطحية للحد الحبيبي ويمنعه من الحركة باتجاه نصف قطر

الحبيبي واتجاه المجال الكهربائي
(٥).

المصادر :

1. Lodding, A. Z. Naturforsch, 23 a 1968, pp.627.
2. He, J. Suo, Z. T.N. Marieb J., A Maiz, Appl. phys - Lett. 85(20) 2004 pp.4639.
3. Lloyd, J.R. Appl. phys. Lett 79(7), 2001, pp. 1061.
4. Doan, J.C. J.C. Bravman, P.A. Finn, T.N. Marich AIP Conf. Proc.491 (1), 1999, pp.15
5. AL-Saffar, S.M.J. of Eng. & Technology, (U.O.T). 10(3), 1991, pp.113 .
6. AL-Saffar, S.M. J. of Eng. and Technology, (U.O.T), 10(4), 1991 pp.22.
7. Gladkikh, A. Lercah, Y. E. Glickman, Appl. phys. Lett, 66(10), 1995 pp. 1214.
8. Zuyev, L.B. V.Ye Groniov, Kristallogra fiya, 19, 1974, pp.889.
9. Barabash, R.I. G.E. Ice O.J. Appl. phys 93 (9) 2003 pp. 5701.
10. Haessner, F. Hoffmann, S. H. Seckel, Scripta Met, 8, 1974, pp.299.

يعود إلى أن الطاقة المخزونة في وحدة الحجم تكون متساوية في البلورتين ، أي ان كثافة الانشالبي الحر للحبيبتان تكون متساوية وهذا يعني أن القوة الدافعة التي تحرك الحدود الحبيبية

$$F_s = -g_r \frac{dS_i}{dx}$$

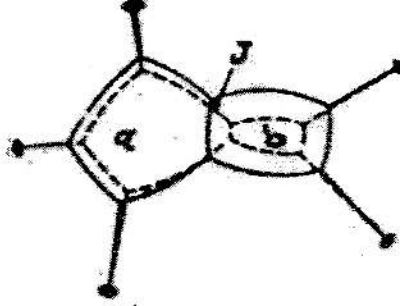
يجب ان تكون موجبة وعليه فان مساحة الحد الحبيبي يجب أن تقل لتقليل طاقته الحرة ، وهذه القوة تتناسب عكسياً مع نصف قطر التكور (انظر الملحق) (١٨،١٩،٢٤).

الاستنتاجات :

- ١- حركة البلورة المعزولة كانت باتجاه القطب الموجب .
- ٢- تأثير القوى الناتجة عن تصادم الإلكترونات مع أيونات المعدن هي المسيطرة في النماذج التي أمرر فيها تيار كهربائي مستمر حيث أدت إلي إزاحة الحدود العمودية على المجال الكهربائي مسافات من ١٥-٣٠ مايكرون .
- ٣- الحدود الحبيبية الموازية للمجال الكهربائي لم تتحرك باتجاه نصف قطر التكور على الرغم من ارتفاع درجة الحرارة إلى ٥٠٠ م° وذلك بسبب تأثير الحدود الحبيبية بالمجال الكهربائي المسلط .
- ٤- الأزاحات التي تتحركها الحدود الحبيبية للبلورة المعزولة تعتمد على زاوية الانحراف بين مماس الحد

- Scripta. Met 17, 1983 pp. 241.
19. K.K Shih, J. Mat. Sci-Lett (1) 1976 pp. 1571.
 20. H.P.Longworth, C.V. Thompson Appl.phys. Lett 60 (18) 1992 pp. 2219.
 21. H.Toyoda, T. Kawnoue, S.Ito, AIP. Conf. Proc. 373 (1), 1996 pp.169.
 22. S. Shingubara, Y. Nakasaki, H. Kanek, App. Phys. Lett.58(1), 1991pp.42.
 23. M.A.Korhonen, T. Liu, D. Brown AIP Conf. Proc 373(1) 1996 p.p 117.
 24. د.صاحب مهدي الصفار
[هندسة المعادن والسيائك]
الجامعة التكنولوجية ٢٠٠٤
ص ٢٠٧.
 11. A.Ghiti, A-G. O'Neill, J. Appl. phys. 81 1997 pp. 3064.
 12. S.M. AL-Saffa, J.of Eng. And Tech. (U.O.T) 23 (7), 2004, pp.340.
 13. M. Genut, Z. Li, C.L. Bauer . Appl. phys. Lett 58 1991 pp. 2354 .
 14. V.N. Grinyuk, G.F. Tikhinskiy, Fiz. metal. metall 39 (3) 1975 pp. 514
 15. A.Tachibana, AIP Conf. Proc. 612 (1) 2002 pp. 105.
 16. J.P Dekker, A.Lodder J.Appl. phys 84 (4) 1998. pp.1958.
 17. H.ye, C. Basaran, D. Hopkins Appl. phys. Lett 82 (7) 2003 pp. 1045 .
 18. D.J. Srolovitz, M.P. Anderson, G.S. Grest,

الملحق



انتقال الحد البلوري باتجاه التفرع

في الشكل أعلاه يمثل a و b حبيبتان بينهما جدار هو g ، فعليه يكون الانتسابي الحر للمجموعة G (Free enthalpy) حيث يمثل V_a حجم الحبيبية a ، و V_b حجم الحبيبية b و g_a كثافة الانتسابي الحر للحبيبية a ، و g_b كثافة الانتسابي الحر للحبيبية b ويمثل S_j مساحة الجدار، g_j الانتسابي الحر على وحدة المساحة للجدار، و x إحداثي يمثل موقع الجدار. وعندما يتحرك الجدار مسافة dx في درجة الحرارة T ، والضغط P الثابتين، فإن الانتسابي الحر للمجموعة سيتغير :-

$$G = V_a^{(x)} g_a + V_b^{(x)} g_b + S_j^{(x)} g_j \quad (1)$$

$$dG = \left[g_a \frac{dV_a}{dx} + g_b \frac{dV_b}{dx} + g_j \frac{dS_j}{dx} \right] \quad (2)$$

وإذا كان الحجم الكلي للمجموعة ثابتاً فإن :

$$V_a + V_b = \text{ثابت}$$

$$V_a = -V_b + \text{ثابت}$$

وهذا يعني

$$\frac{dV_a}{dx} = -\frac{dV_b}{dx} \quad (3)$$

أما القوة الدافعة التي تحرك الجدار (F) فتساوي:-

$$F = -\frac{dG}{dx} \quad (4)$$

ومن العلاقتين (3) و (4) في (5) نحصل على

$$F = (g_b - g_a) \frac{dV_a}{dx} - g_j \frac{dS_j}{dx} \quad (5)$$

ومن هذه المعادلة نستنتج ان القوة الدافعة يمكن تقسيمها الى قسمين:

$$F_v = (g_b - g_a) \frac{dV_a}{dx} \quad (6)$$

$$F_s = -g_j \frac{dS_j}{dx} \quad (7)$$

إذا كانت مساحة الجدار ثابتة طوال فترة تحرك الجدار ($\frac{dS}{dx} = \text{صفر}$) لذا ستكون القوة F_v موجبة مما يجعل من g_b أكبر من g_a . وهذا يعني أن الفرق بالنشألي بين الحبيبات ناتج عن الفرق بالطاقة المخزونة من قبل الانخلاعات فقط، وعليه سيحاول الجدار الإقلال من طاقته المخزونة، أي أن حركة الجدار سوف تكون باتجاه معاكس لنصف قطر التكور، وهذا ما يحدث في عملية إعادة التبلور فقط. أما إذا كانت الطاقة المخزونة في وحدة الحجم متساوية في الحبيبتين، أي أن g_a تساوي g_b ، فهذا يعني أن ($F_v = \text{صفر}$) وبالتالي يجب أن تكون F_s موجبة، وعليه فإن مساحة الجدار يجب أن تقل لتقليل طاقته الحرة كما في الشكل (٤-ب)، حيث ستكون الحركة نحو نصف قطر التكور، وهذا ما يحدث فعلاً في عملية نمو البلورات، لذا تعد القوة الدافعة للنمو الحبيبي في المعادن والسيراميك بمعزل عن التأثير الكهربائي هي الطاقة السطحية للحبيبات.



٢٠١

شكل (أ) بلورة أحادية معزولة يقطر ٠.٦ مم في وسط بلورة أحادية كبيرة الحجم قبل مرور التيار الكهربائي.

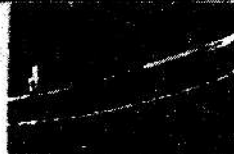


٢٠٢

ع

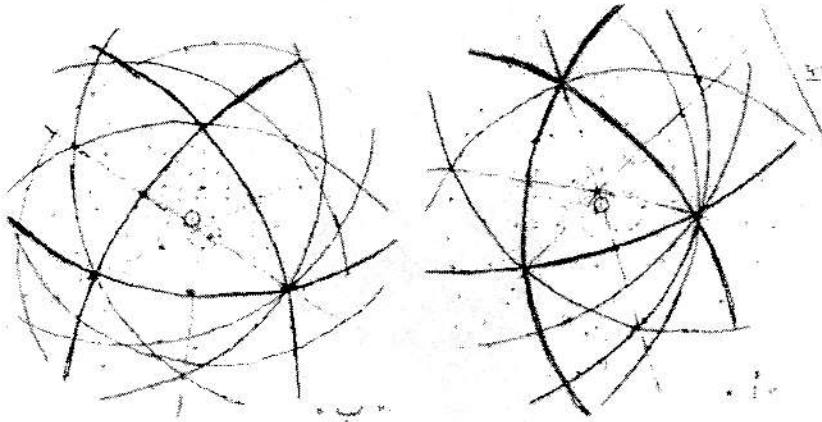


كثافة التيار ١٢٠٠ أمبير/سم
درجة الحرارة ٠.٠٤ م
الزمن ٤٨ ساعة

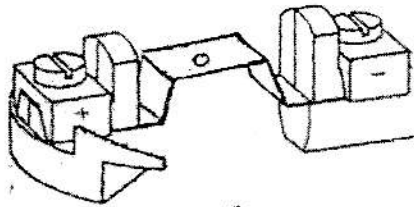


٢٠٣

شكل (ب-د) تتحرك الحدود الحبيبية للبلورة الصغيرة باتجاه القطب الموجب، وبازاحة تزداد على اتجاه أحد الجنبين مع اتجاه المجال الكهربائي.



شكل (٢) الإسقاط المتجهي لكل من البلورة المستقرة المتعددة بولية (أ) والبلورة
الكثيرة (ب) وهذا من نوع (111) ومعرفته التوليدية عن الأطوار بزاوية ٢٥ درجة



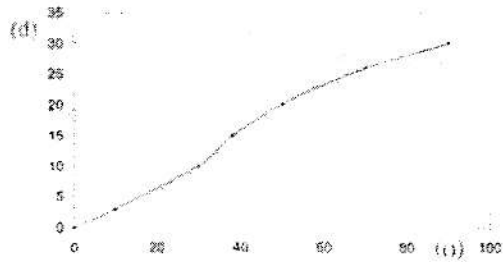
شكل (٣) عينة من الألمنيوم على شكل شبه منحرف تحتوي على بلورة مستقرة معزولة.



شكل (٤) بقرة أليافية معزولة صغيرة في وسط بقرة الحائنة كبيرة قبل التسخين في فرن أليافي .



شكل (٥) بقرة الحائنة المحيطة بالبقرة الصغيرة أجمعها باتجاه نصف قطر البقورة بدرجة الحرارة ١٠٠٠م°
قرص ١.٥ ساعة



شكل (٦) العلاقة بين روية الإندوسوم عن المعالج الكهربائي (t) وبين الألياف الحائنة الحادوة العبيبية ابتداءً من الجزء الأيمن (الموازي للمحور) ولعامة الجزء الأسفل (العمودي على المحور).