



دراسة على الخواص الالكتروضوئية لحدود الحبيبات لـ $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ وبواسطة ميكروسكوب القوى الكهروستاتيكية

A study on the optoelectronic properties of $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ grain boundaries by electrostatic force microscopy

Yoonmook Kanga, Jae Ho Yunb, Kyung Hoon Yoonb, K. S. Jeonc, Yung-Doug Suhc and
Donghwan Kima

الخلاصة

قمنا بدراسة توزيع الشحنة الكهربائية في أفلام $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ ، مع التركيز على حدود الحبيبات. قياسات هول، والشعاع الإلكتروني المنتج لتيار كهربائي وقياسات التيار الناتج عن الشعاع الضوئي هي طريقة شائعة تستخدم لتشخيص الخلايا الشمسية، ولكنها لا توفر الدقة التحليلية المطلوبة لدراسة الحدود الحبيبية المفردة. ولهذا استخدمنا ميكروسكوب القوة الكهروستاتيكية (EFM) electrostatic force microscopy القادر على رصد توزيع الشحنة الكهربائية وتدرج الجهد لسطح العينة. أجريت تجارب EFM عند درجة حرارة 300K باستخدام مجس ميكروسكوب ماسح (Digital Instruments) TM 3100. نقترح ان حدود الحبيبات هي منطقة تراكم الإلكترونات ومنطقة الحبيبية الداخلية هي منطقة تراكم الفجوات. التغير في الجهد بين حدود الحبيبات والمنطقة الداخلية للحبيبية قدرت بـ 60~180 meV.



مواد الـ chalcopyrite تمتلك خواص مفضلة لتطبيقات الفوتوفولتيك. $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ (CIGS) بفجوة طاقة 1.02 eV تعتبر مواد لها تطبيقات للفوتوفولتيك. يمكن لخواص المواد ان تتغير باستبدال جزئي للاندسيوم بالجاليوم و/أو استبدال السيلينيوم الكبريت. كفاءة تحويل عالية تصل إلى 19.5% تم الوصول لها باستخدام CIGS [1]. بصفة عامة إعادة الاتحاد عند حدود الحبيبات في المواد المتعددة التبلور تقيد كفاءة الخلية. على كل حال يعتقد ان الـ CIGS المتعدد التبلور له قدرة على إعطاء كفاءة اعلى. السبل المستخدمة للتحسين تبدو غير مفهومة حتى الآن. فصل الشحنة والانتقال في الخلايا الشمسية CIGS يبدو مختلف جدا من الأجهزة المعتمدة على بلورة أحادية. جهود كبيرة ركزت على دراسة الخواص الفيزيائية والإلكترونية لهذه المادة على المقياس النانوي. قياسات هول وقياسات أخرى مثل التيار المستحث بواسطة الشعاع الإلكتروني والتيار المستحث بواسطة الشعاع الضوئي هي تقنيات شائعة تستخدم لدراسة خواص الخلية الشمسية، ولكنها لا توفر الدقة التحليلية المطلوبة لدراسة الحدود الحبيبية المفردة. في هذه الدراسة قمنا بدراسة توزيع الشحنة في أفلام CIGS مع تركيز خاص على حدود الحبيبات.

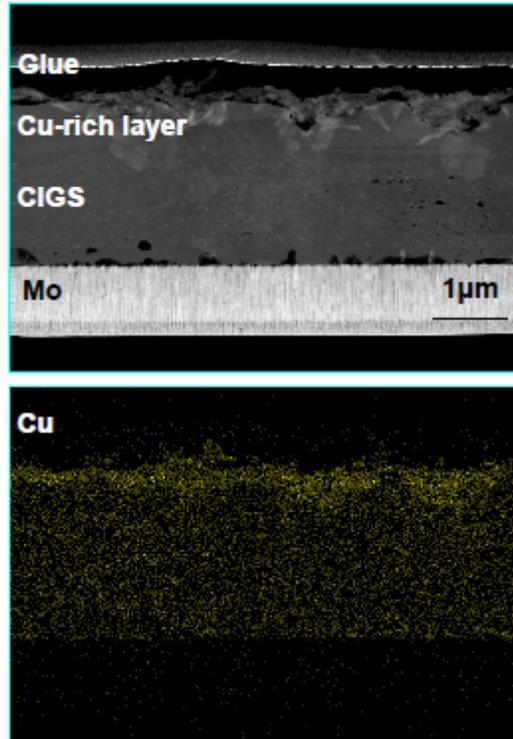
الطريقة العملية

قمنا بتحضير طبقة ماصة من CIGS بواسطة عملية التبخير ذات المراحل الثلاثة لـ In و Ga و Cu و Se [2] و [3]. المرحل الثلاثة للتبخير المشترك لـ CIGS من المصادر في وجود مزيد من بخار Se هي الطريقة الأكثر نجاحا لترسيب الطبقة الماصة للحصول على خلية شمسية بكفاءة عالية [4].

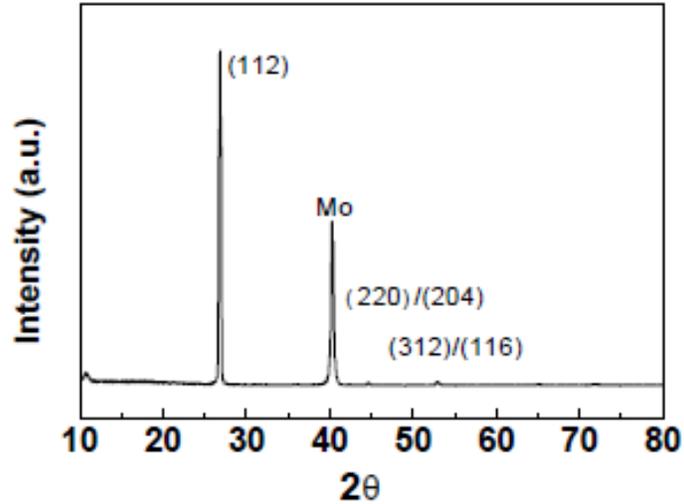
استخدم ميكروسكوب القوة الكهروستاتيكية (EFM) لمسح المجال الكهربائي الرأسي المتدرج الموجود بين طرف الميكروسكوب و سطح CIGS [5]. والـ EFM هو نوع خاص من ميكروسكوب القوة الذرية (AFM).

توزيع الشحنة الكهربائية في سطح الفيلم يمكن ان تفحص بالقياسات المباشرة لمقدار وإشارة الجهد الموضعي على السطح. أجريت تجارب EFM عند درجة حرارة 300 K باستخدام مجس الميكروسكوب الماسح (Digital Instruments). وقد تم تطبيق طبقة من Co/Cr على Si cantilevers بتردد 60 kHz وبثابت زنبرك 2.8~5 N/m. اجريت القياسات بضوء إثارة طوله الموجي 514 nm.

يوضح الشكل 1 صورة ميكروسكوب إلكتروني نافذ (TEM) ومسح عنصر النحاس لفيلم CIGS. صور TEM في الشكل 1 مع مسح عنصر النحاس تكشف ان بعض مركبات النحاس توجد اعلى طبقة CIGS. حبيبات غنية بالنحاس بقطر يتراوح بين 150 و 200 nm تشكلت على السطح. تم دراسة تركيب بلورة CIGS بواسطة XDR (الشكل 2). تحتوي نماذج حيود XRD على ثلاثة قمم مميزة. قيم 2θ لقمم الحيود هي 26.8, 44.62, 53.04 التي تقابل للانعكاسات من المستويات (112), (220)/(204), (312)/(116) لـ CIGS. لم يتم رصد أي قمم لمركب النحاس.

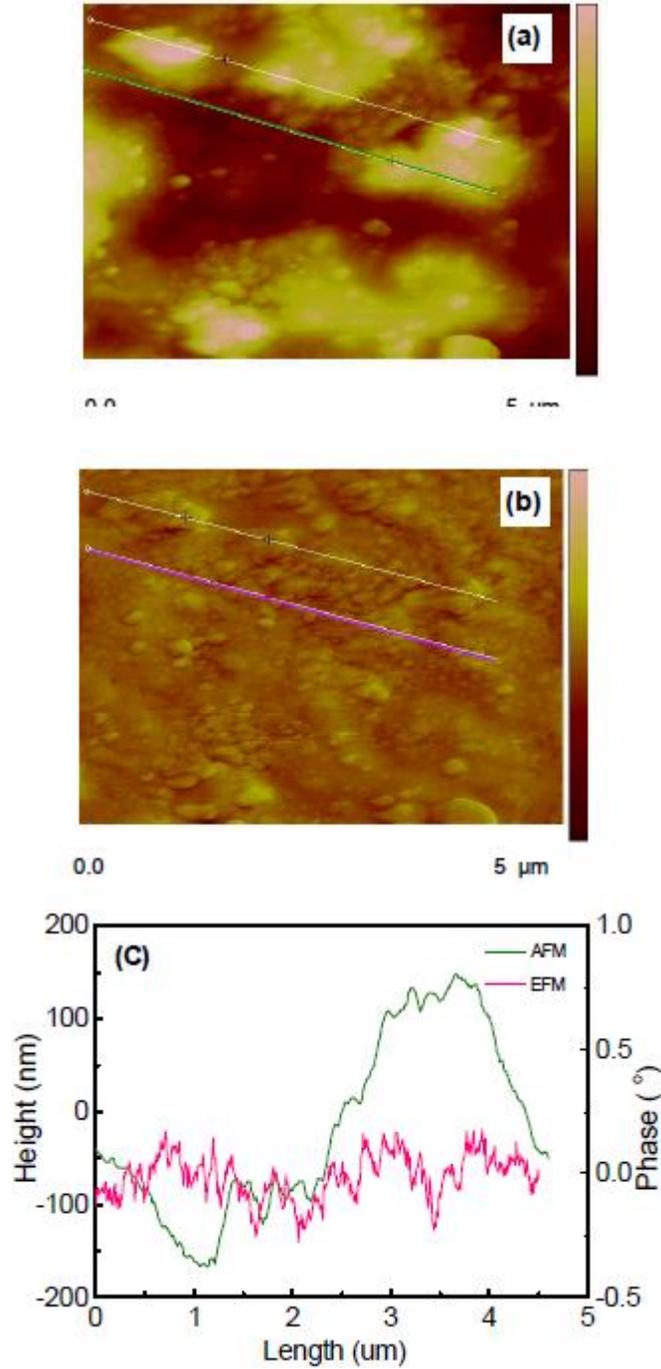


الشكل 1 مقطع عرضي لصورة TEM ومسح عنصر النحاس لفيلم CIGS.



الشكل 2 نماذج حيود أشعة اكس لفيلم CIGS

صور AFM والمقابلة لها ب EFM لسطح CIGS موضحة في الشكل 3. التقطت صورة EFM عند 3V فرق جهد بين طرف الميكروسكوب والعينة. المساحات المعتمة في صورة EFM هي اجزاء من حدود الحبيبات (GB). المساحات المضيئة تشير إلى الجزء الداخلي للحبيبات (GI). من صورة EFM نرى ان حدود الحبيبات GB هي منطقة تراكم للإلكترونات والمناطق الداخلية للحبيبات GI هي مناطق تراكم الفجوات على التوالي. لوحظ تغيرات في الجهد بين مناطق GB ومناطق GI. للحبيبة، التغير في سعة الجهد يصل إلى 60~180 meV، كما قدرت من المنحنى في الشكل 3c. نعزي التغير في الجهد إلى لانحناء حزمة التوصيل أو انزياحها.



الشكل 3. (a) صورة AFM بنمط عدم الاتصال (Non-contact mode) لسطح CIGS بمساحة مسح $5 \times 5 \mu\text{m}^2$. (b) صورة EFM تحت الإضاءة لنفس المنطقة، (c) مسح خطي موضح بالخط المتصل في (a) و (b)



عند إضاءة الفيلم بالليزر (514.5 nm)، زوج الكترولون وفجوة تشكلت في منطقة GB و GI (الشكل 4). حيث ان CIGS شبه موصل من النوع p، فانه من الممكن ان نفترض ان حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ عند حدود الحبيبات تميل للأسفل بسبب حيز حاملات الأغلبية. ونتيجة لهذا الانحناء يكون مستوى فيرمي عند CB اقرب لحزمة التوصيل. عند تعريضه للإضاءة، الحاملات المتولدة بالضوء تنفصل تحت تأثير فرق الجهد. بينما تتراكم الإلكترونات على GB، يتناقص الانحناء. الشكل 4 يوضح مسح خط على امتداد الخط في الشكل b3. لوحظ انخفاض في الجهد عند GB.

الاستنتاج

قمنا بدراسة توزيع الشحنة الكهربائية وجهد السطح في CIGS باستخدام EFM. تغير سعة جهد السطح وصلت لـ 60~180 meV. نعزي التغير في الجهد إلى انحناء حزمة التوصيل أو انزياحها.

تمت الترجمة في المركز العلمي للترجمة

5-12-2011

www.trgma.com