



خواص الخلايا الشمسية CIGS المتكونة بتبخير طبقات فاصلة من II-VI

Properties of CIGS solar cells developed with evaporated II-VI buffer layers

A. Romeo, R. Gysel, S. Buzzi, D. Abou-Ras, D. L. Bätzner, D. Rudmann, H. Zogg, A. N. Tiwari*

الخلاصة

طبقات CIGS نمت بطريقة التبخير في الفراغ. تم ترسيب CdS بواسطة التبخير في فراغ عالي (HVE) على أرضيات ترسيب عند درجات حرارة مختلفة وجريت عليها معالجة حرارية مباشرة بعد الترسيب. تم دراسة خواص طبقات CdS مختلفة ودراسة لقياسات التيار-الجهد وقياسات الاستجابة الطيفية لتحديد الفرق بين عمليات CBD و PVD.

استخدمت طبقات فاصلة من ZnS و ZnSe كبديل لطبقات CdS. تم ترسيب طبقات مختلفة السمك باستخدام الشعاع الإلكتروني (EB) والتبخير الحراري (VE) على أرضيات عند درجات حرارة مختلفة (من درجة حرارة الغرفة وحتى 400°C). تم إجراء معالجة حرارية للتحكم في انتشار Zn في CIGS. عند تعريضها للضوء، لوحظ ازدياد في V_{oc} و FF.



1. مقدمة

خلايا شمسية CIGS بكفاءة عالية تم الحصول عليها بالترسيب في الحوض الكيميائي (CBD) مع طبقات فاصلة (buffer layers) [1-2]. على كل حال، للحصول على خط إنتاج لأجهزة خلايا شمسية فان عملية الترسيب في الفراغ (PVD) تفضل بسبب توافقها وإنتاجيتها العالية. علاوة على ان الطبقات الفاصلة البديلة ذات فجوة الطاقة العالية مطلوبة لتقليل الفقد بالامتصاص الضوئي في مدى الطول الموجي المنخفض من الطيف. في هذا البحث مقارنة بين الخلايا الشمسية المتكونة بطريقة CBD و PVD-CdS و PVD-Zn معتمدة على طبقات فاصلة.

2. CdS كطبقة فاصلة

تم ترسيب CdS بالتبخير في فراغ عالي (HVE) (أي ضغط منخفض جدا) على أرضية عند درجة حرارة 50°C ، باسماك مختلفة 80 و 150 و 300 nm تم قياسها بواسطة بلورة كوارتز.

لم تعطي لطبقات CIGS أي معالجة تنظيف كيميائية أو حرارية قبل ترسيب CdS بالتبخير في الفراغ العالي.

تم ترسيب ZnO-i و ZnO:Al بواسطة الانتزاع بأموج الراديو واستخدمت شبكة من Ni/Al للتوصيل. تم ترسيب خلايا مرجعية لاستخدامها في المقارنة بطريقة الترسيب بالحوض الكيميائي.

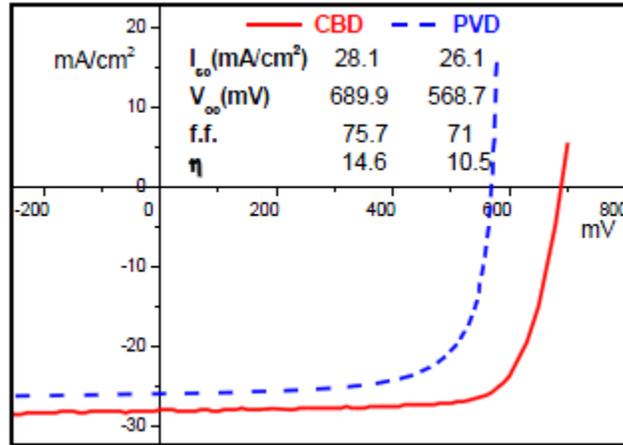
وجد ان أداء الخلية يعتمد بقوة على سمك طبقة CdS. وجد ان سمك 80 nm ليست كافية لتغطية كاملة معطية فراغات جزئية تقلل التيار. التيار كان كبيرا مع 150 nm ولكن طبقة ZnO كانت ضرورية للحصول على كفاءة عالية. الخلايا التي صنعت مع CdS بسمك 300 nm بدون طبقة ZnO أعطت كثافة تيار عالية وكفاءة مرتفعة (انظر الجدول 1).

الجدول 1. مقارنة لخلايا CIGS باسماء مختلفة من طبقات CdS وتوصيلات أمامية مختلفة.

i:ZnO	Yes	Yes	Yes	No
CdS thickn.(nm)	80	150	300	300
Voc (mV)	570	527	589	583
Jsc (mA/cm ²)	23	28.3	28	28
f.f.	63	69	59	70

في أي حالة CIGS مع طبقة CdS ترسبت بالتبخير في فراغ عالي (PVD-CDS) اعطت كفاءات في حدود 10 إلى 13% بينما الخلايا المرجعية مع CdS ترسبت بطريقة الترسيب في الحوض الكيميائي (CBD-CdS) كانت كفاءتها حوالي 14% (انظر الشكل 1).

تعريض الخلايا PVD-CDS للضوء أحدثت تحسن طفيف فقط.



الشكل 1. قياسات I-V لخلايا CIGS بطريقة PVD و CBD-CdS.

3. طبقات فاصلة بديلة

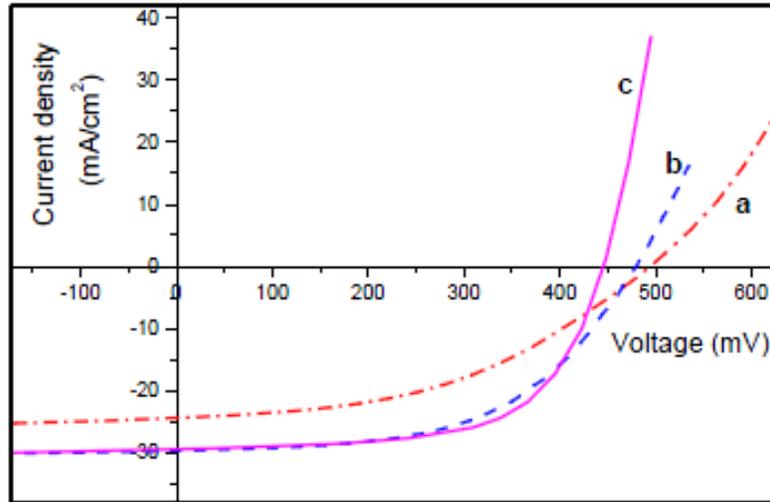
استخدمت ZnS و ZnSe كطبقات فاصلة بديلة عن CdS. استخدم نظامين ترسيب مختلفين هما مدفع الشعاع الإلكتروني والتبخير في الفراغ.

تم ترسيب طبقات معتمدة على Zn مع درجات حرارة من 100 إلى 200°C في الفراغ (10^{-6} mbar)

سمك الطبقات الفاصلة كما قيست ببلورة الكوارتز كانت من 20 إلى 200 nm.

أكداس من Mo/CIGS تم معالجتها حرارياً في الفراغ قبل الترسيب. وللتحكم وتعزيز انتشار Zn تم استخدام المعالجة الحرارية بعد عملية الترسيب.

كما هو موضح في الشكل 2، الكفاءة الابتدائية لخلية CIGS مع ZnS بالشعاع الإلكتروني منخفضة نسبياً. ومع ذلك المعالجة الحرارية في الفراغ بعد الترسيب زادت كثافة التيار. تعريض للضوء لمدة 3 إلى 5 ساعات قلل من المقاومة وحسن بشكل ملحوظ أداء الخلية.



الشكل 2. قياسات I-V لخلايا CIGS مع طبقات فاصلة من ZnS ترسبت بالشعاع الإلكتروني، (a) بدون معالجة حرارية بعد الترسيب و (b) معالجة حرارية في الفراغ بعد الترسيب و (c) بعد المعالجة الحرارية والتعرض للضوء لمدة 3 ساعات.

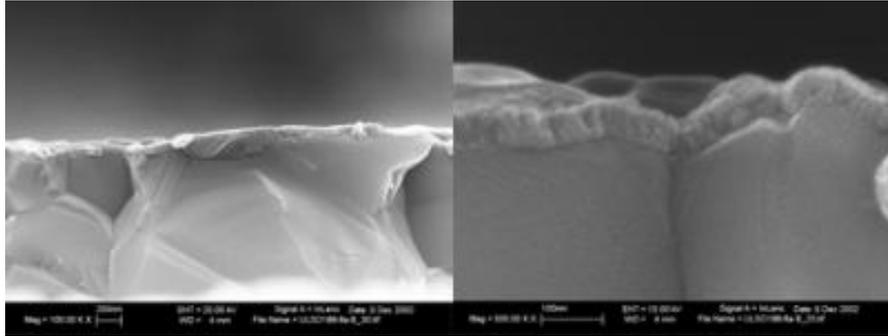
طبقة فاصلة بالتبخير في الفراغ

للمقارنة ولامتلاك طريقة للتحكم بشكل افضل في درجة حرارة المصدر تم استخدام التبخير في الفراغ لطبقات فاصلة معتمدة على Zn.

تم ترسيب ZnS و ZnSe في حجرة ترسيب مفرغة عند درجات حرارة من 50 إلى 150°C، ودرجة حرارة المصدر من 700 إلى 900°C.

كما هو موضح في الشكل 3 تغطية بحبيبات CIGS بسلك 50nm تم ترسيبها بالتبخير كطبقة فاصلة ومن المعروف ان طريقة الترسيب بالحوض الكيميائي تتجنب الفراغات الدقيقة والتي هي لـ PVD تظهر مع الطبقات الرقيقة.

قياسات أشعة اكس للمقارنة بين الطريقتين المستخدمتين (PVD و CBD) في ترسيب طبقات ZnSe، بينت انه في الحالة الأولى هناك دليل على وجود أكسجين في حين ان الثانية لوحظ وجود ZnSe فقط.

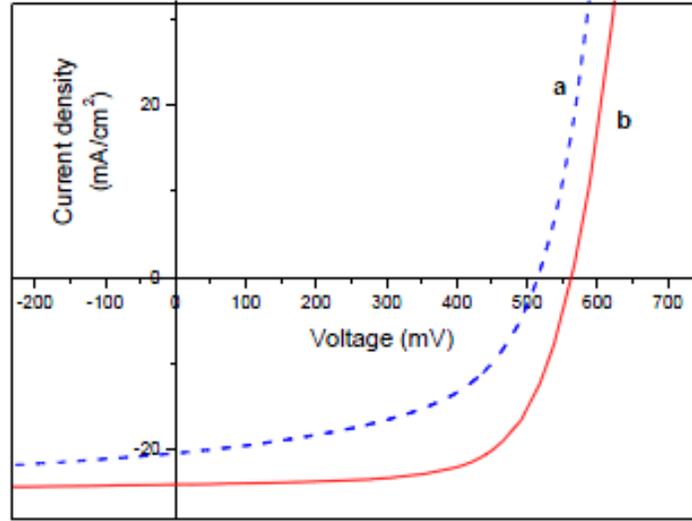


الشكل 3. تغطية للسطح بطبقة PVD-Zn سمكها 50 nm مع طبقة فاصلة من ZnSe على CIGS.

طيف XPS لأكسجين CIGS/ZnSe بينت انتشار واضح للـ Zn في الطبقة الماصة كما هو متوقع من تجارب سابقة.

الخلايا المصنوعة بهذا النظام بينت سلوك مشابه للخلايا المصنوعة بالترسيب بالشعاع الإلكتروني. المعالجة الحرارية بعد الترسيب مباشرة كانت ضرورية للحصول على خلايا بكفاءة عالية. علاوة على ان التعريض

للضوء يبدو انه يعمل على زيادة كبيرة في كفاءة الخلايا الشمسية كما هو موضح في الشكل 4، حيث كفاءة 5.4% (AM 1.5) قفزت إلى 9.0% بعد 5 ساعات من التعرض الضوئي.



الشكل 4. قياسات I-V لخلية CIGS/ZnS قبل (a) وبعد المعالجة الحرارية والتعرض للضوء (b).

قياسات C-V واعتماد I-V على درجات الحرارة بينت عدد كبير من العيوب موجودة في المنطقة الفاصلة بين CIGS وطبقات ZnS-ZnSe. مسح XPS بين طبقة مؤكسدة لـ CIGS في حالة الطبقة الفاصلة المترسبة بـ PVD، في حين ان الطبقة المترسبة بـ CBD لم توجد. اننا نعتقد ان هذه الكمية الكبيرة من العيوب هي بسبب غياب مرحلة التنظيف قبل ترسيب الطبقة الفاصلة (في حالة الترسيب بـ CBD والتي جاءت من حوض الترسيب نفسه) والتي تعمل على تقليل سطح التأكسد لطبقة CIGS. الخلايا المصنوعة بالترسيب in-situ بـ PVD مع CdS أعطت أداء افضل من العينات التي ترسبت ex-situ.

4. الاستنتاج

تم تحضير خلايا شمسية بسلك 80nm مع HVE-CdS أعطت كفاءة تصل لـ 12% (بدون أي معالجة سطحية لطبقات CIGS)، في حين الخلايا المرجعية مع CBD-CdS كانت كفاءتها 14%.



بينت صور SEM تغطية كاملة من ZnSe على CIGS وبينت XPS خلط داخلي للطبقتين. تبين من التجربة ان المعالجة الحرارية بعد الترسيب في الهواء والتعرض بعد ذلك للوضوء عملية مهمة جدا للكفاءة العالية، حيث ازادت الكفاءة من 5.8% إلى 9.1% للخلايا المزودة بطبقة ZnS فاصلة.

تمت الترجمة في المركز العلمي للترجمة

18-12-2011

www.trgma.com