

The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion に参加して

中野翔平

Shohei NAKANO

電子情報学専攻修士課程 2014年度修士

1. はじめに

私は、2014年の11月23日から11月27日の5日間、京都で開催された The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6) に参加しました。この学会で私は「Wide band gap Cu(In,Ga)S₂ solar cells with the junction prepared on the rear surface of the 3-stage Cu-deficiency absorber films」という題目でポスター発表を行いました。

2. 研究背景

Cu(In,Ga)S₂ (CIGSuf) 固溶体は Ga/In 比比率に応じて 1.5 から 2.43 eV のバンドギャップを持つことができる。そのため、タンデム構造のトップセルに CIGSuf 吸収層を用いる。Cu-deficiency CIGSuf 吸収層から高効率の太陽電池を得ることが困難であることはよく知られている。その理由の一つは、n 型の Cu(In,Ga)_sS₈ との二相の偏析であり、Cu/In 比がわずかに 1 を超えるときでさえ存在するためである。第二の理由は、Cu-poor 膜が低キャリア密度であるためである。3段階同時蒸着による Cu-deficiency 膜は 2段階目で Cu-excess に 3段階後で Cu-deficiency に達する。したがって、ある程度まで膜の下の部分で Cu-excess の有益な効果（単相、大きな粒径、高キャリア密度）が保っていると考えられる。Cu-deficiency 膜の表面よりも裏面に接合を置くことによって良好な太陽電池を達成することができると思われる。

本研究では、3段階蒸着法により Cu-deficiency CIGSuf 薄膜を作製し、lift-off 法を用いて太陽電池を作製し、評価した。

3. 実験方法

Mo を成膜した soda lime glass (SLG) 上に 3 種類の犠牲層を用いた (1: Mo の硫化, 2: Mo の酸化, Mo 上に NaF 成膜)。Cu-deficiency CIGSuf 膜 (Cu/(In+Ga)=0.8, Ga/(In+Ga)=0.2) を犠牲層上に 3段階蒸着により作製した。次に吸収層を反転させるためにリフトオフ法を適用した。Mo 層を裏面電極として CIGSuf 膜上に堆積し、エポキシ接着剤を使用して別の SLG 基板をその上部の Mo 層に接着した。最後に、CIGSuf/犠牲層界面の剥離により元の基板から SLG/接着剤/Mo/CIGSuf 構造になるようにスタックを剥がした。その構造上に CdS のバッファー層と i-ZnO/ZnO:Al 窓層を堆積することで太陽電池を作製した。電極を得るために、シャドウマスクを介して Ni/Al を蒸着した。

lift-off 法前の Cu-deficiency CIGSuf 膜を調べるために斜入射 X 線回折 (GIXRD) 測定を行った。引き剥がし前後の CIGSuf 膜を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察し、波長分散形 X 線分光器 (WDS) を用いて吸収体の組成を推定した。太陽電池特性を 25°C でシミュレーションされたエアマス 1.5 照度で波長依存外部量子効率 (EQE) と電流密度-電圧 (J-V) 曲線を測定することによって調べた。

4. 結果および考察

GIXRD による lift-off 前 CIGSuf 薄膜の X 線入射角度に対する Cu(In,Ga)_sS₈ (440)/CIGSuf (112) と CIGSuf (204)/CIGSuf (112) 強度比を図 1 に示す。X 線入射角度が大きくなるにつれて Cu(In,Ga)_sS₈ (440)/CIGSuf (112) 強度比が小さくなっていることがわかった。このことから、表面近くで Cu(In,Ga)_sS₈ の偏析を確認できた。GIXRD では、Cu/(In+Ga) ≥ 0.90 の膜では Cu(In,Ga)_sS₈ のピークは観察できなかったが、TEM では、Cu/(In+Ga) < 1.00 の膜で Cu(In,Ga)_sS₈ 結晶を観察できた。

図 2 に示すように 3 段階の蒸着時間から算出した全体の Cu/(In+Ga) 比は WDS による Cu/(In+Ga)

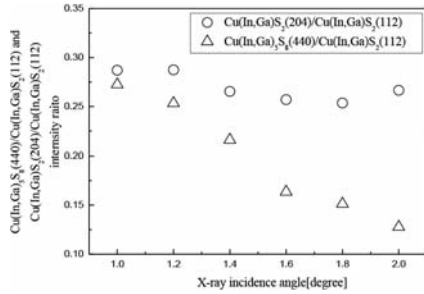


Fig. 1 $\text{Cu}(\text{In,Ga})_5\text{S}_8(440)/\text{Cu}(\text{In,Ga})_5\text{S}_8(112)$ and $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2(204)/\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2(112)$ intensity ratio by GIXRD as a function of X-ray incidence angle of $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2$ films ($\text{Cu}/(\text{In}+\text{Ga})=0.81$) before lift-off process.

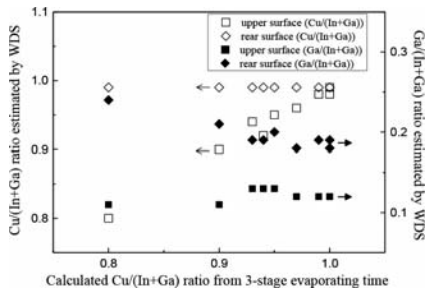


Fig. 2 $\text{Cu}/(\text{In}+\text{Ga})$ and $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$ ratio estimated by wavelength dispersive X-ray spectrometry (WDS) on upper surface and rear surface as a function of calculated $\text{Cu}/(\text{In}+\text{Ga})$ ratio by 3-stage evaporating time.

比と共に減少した。一方、lift-off後の $\text{Cu}/(\text{In}+\text{Ga})$ 比は一定 (0.99) であった。

このことから $(\text{In}+\text{Ga})$ -excess が上面に偏析した $\text{Cu}(\text{In,Ga})_5\text{S}_8$ 相が存在する層に取り込まれることを示唆する。

WDSによる上面の $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$ 比が0.10から0.13 (バンドギャップ1.60~1.62 eV) の範囲内であった。裏面の $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$ 比は、0.18から0.24 (バンドギャップ1.67~1.72 eV) の範囲内であった。EQEでは1.71~1.75 eVのバンドギャップであった。上側は裏側よりもはるかにバンドギャップが高い。これは、3段階蒸着膜の $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$ の傾き

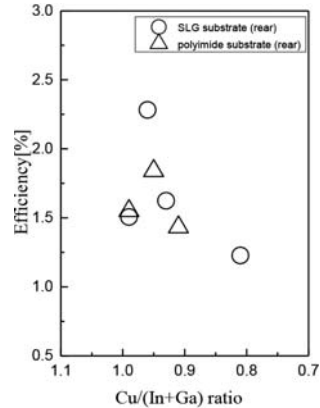


Fig. 3 Efficiencies of CIGSuf solar cells prepared on SLG and polyimide substrate using lift-off process as a function of $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$ ratio estimated by WDS on the upper surface.

から容易に説明できる。

吸収層を反転させて作製した Cu-poor CIGSuf 太陽電池の変換効率は2.3% ($\text{Cu}/(\text{In}+\text{Ga})=0.96$) を得られた。ポリイミド基板を用いたとき、効率の大幅な悪化を観察できなかった。

5. 結論

本研究では、lift-off法を用いて3段階蒸着法により Cu-deficiency $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2$ 薄膜を作製し、太陽電池を作製した。lift-off法を用いて作製した太陽電池の変換効率は2.3%を得られた。1.71 eV以上のバンドギャップはWDS表側の組成から計算した値よりもはるかに高かった。

6. おわりに

今回のポスターセッションは、研究でのアトバイスを頂き非常に有意義な発表となりました。この経験を今後の研究活動に活かしたいと考えております。最後に、学会参加に際してご指導賜りました海川龍治教授および研究室の方々に深く御礼申し上げます。