

## ZEB用の省エネ・創エネ機能を併せ持つ太陽光発電窓

立命館大学 ○峯元 高志

創エネ窓	太陽光発電化合物薄膜	ZEB半導体
------	------------	--------

### 研究の目的

Zero Energy Building (ZEB)の実現には太陽光発電 (PV) が重要な役割を果たす。ZEB には、建物の断熱性能を高める手法等による「省エネ」と、PV に代表される再生可能エネルギーによる「創エネ」の両方が必要である。PV に創エネ・省エネの両方の機能を持たせることができれば魅力的である。階数の大きい建物では電力需要が大きいいため、屋根置型の PV システムだけではビル全体の電力需要を賄うことは難しい。ZEB の実現には、従来設計 (あるいは軽量化された) の PV モジュールを壁面に設置する、あるいは、可視光が一部透過するシーソー型 ZEB 用に設計・開発された PV モジュールを「太陽光発電窓」として従来の窓と置き換えるのが有望である。本研究では、意匠性が高くかつ変換効率が高いシーソー型太陽電池を、化合物薄膜太陽電池 (特に  $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$  (CIGS)) を用いて実現することを目指した。

### 研究の内容

通常の CIGS 太陽電池の構造は、 $\text{ZnO}:\text{Al}$  (AZO, 透明電極) /  $\text{ZnO}$  (第 2 バッファ層) /  $\text{CdS}$  (第 1 バッファ層) / CIGS (光吸収層) /  $\text{Mo}$  (裏面電極) /  $\text{Glass}$  構造である。裏面電極を透明電極に置き換え、光吸収層を  $0.5\mu\text{m}$  程度の膜厚に極薄化することでシーソー化が可能と考えられる。

透明電極材料には、 $\text{Zn}$  系の  $\text{ZnO}:\text{Al}$  や、 $\text{In}$  系の  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  (ITO)、 $\text{Sn}$  系の  $\text{SnO}_2:\text{F}$  (FTO) など様々な選択肢がある。高品質な CIGS 膜の成長には  $500^\circ\text{C}$  程度の基板温度 (成長温度) が必要とされるため、耐熱性の観点から FTO を用いた。本研究では、FTO 付きガラスとして、AGC ファブリテック社製の Asahi-VU を用いた。本ガラスは、歪み点が  $500^\circ\text{C}$  であり、FTO も  $500^\circ\text{C}$  程度までは大きな特性変化 (透過率の低下や抵抗率の上昇) がないと考えられるため、CIGS の成膜に耐えることができると考えられる。一方で、表面のモルフォロジーは通常の  $\text{Mo}/\text{Glass}$  が鏡面が得られるような平坦性を有するのに対して、FTO/Glass では図 1 の走査プローブ顕微鏡像からわかるように平均二乗 (RMS) 粗さで  $41\text{nm}$ 、Peak-Valley で  $293\text{nm}$  と凹凸が大きい。通常の CIGS は平坦面に成長されるのに対して、凹凸基板上で成長することで結晶成長の様相が変わる可能性がある。

続いて、 $0.5\mu\text{m}$  厚の CIGS 膜の成長には、膜厚制御が比較的容易な  $\text{Cu}$ 、 $\text{In}$ 、 $\text{Ga}$ 、 $\text{Se}$  を同時に蒸着するという同時蒸着法を用いた。この時の基板温度 (成長温度) は  $510^\circ\text{C}$

とした。 $\text{AZO}/\text{ZnO}/\text{CdS}/\text{CIGS}/\text{FTO}/\text{Glass}$  構造の太陽電池を作製した。図 2 に (a) CIGS/FTO/Glass の表面と (b) CIGS 太陽電池断面の走査電子顕微鏡 (SEM) 像を示す。膜厚が薄いため、同時蒸着法のため、あるいは基板表面のモルフォロジーの影響かは明らかではないが、通常の  $2\mu\text{m}$  厚の CIGS ではミクロン級の結晶粒が得られているのに対して明らかに結晶粒が小さいことが分かった。また、図 2(b) から結晶粒は小さいものの、ピンホールなどはなく、FTO の凹凸を CIGS がうまく被覆していることがわかる。また、太陽電池構成層も均一に形成されているように見える。

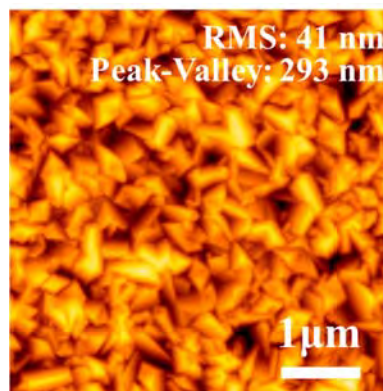


図 1 FTO/Glass の走査プローブ顕微鏡像

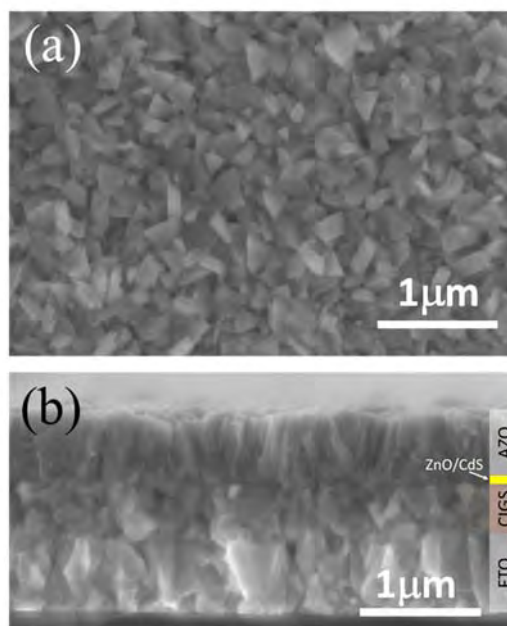


図 2 (a) CIGS 表面と (b) CIGS 太陽電池断面の SEM 像

図 3 に CIGS/FTO/Glass 構造の透過率測定結果を示す。波長 500nm までは殆どの光が吸収されているが、これよりも長波長側では薄膜化の効果で透過率が上昇していることがわかる。380nm~780nm の可視光領域での平均透過率において 2.2% が得られた。

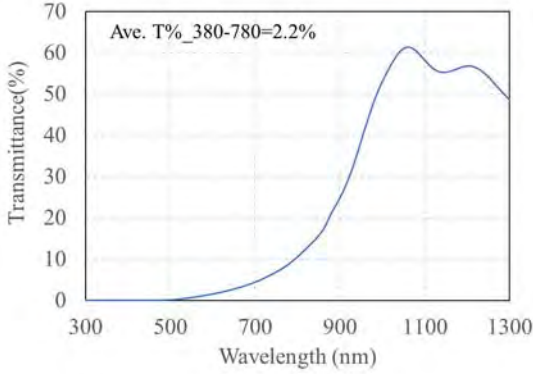


図 3 CIGS/FTO/Glass の透過率

図 4 に通常膜厚の 2 $\mu\text{m}$  とシースルー用の 0.5 $\mu\text{m}$  厚の CIGS 膜を用いて作製した CIGS 太陽電池の外観写真を示す。写真から明らかなように左の 2 $\mu\text{m}$  厚のセルでは全く下地の文字が見えないのに対して、右の 0.5 $\mu\text{m}$  厚のセルでは下地の文字が見える。もちろん、光の当て方によって見え方は異なるが、明瞭なシースルー性を有していることがわかる。図 5 に通常セルとシースルー型 CIGS 太陽電池の (a) 電流密度 - 電圧 (J-V) および (b) 外部量子効率 (EQE) 特性を示す。短絡電流密度 ( $J_{sc}$ ) は通常セルの 32.0  $\text{mA}/\text{cm}^2$  に対して、CIGS の薄膜化による光透過率の上昇により 20.9  $\text{mA}/\text{cm}^2$  まで減少している。EQE 特性から、短波長側は通常セルと比較的に近い感度を示しているが、長波長側で大幅に感度が低下していることがわかる。この  $J_{sc}$  の減少はシースルー型である以上避けることが難しい課題である。一方、開放電圧 ( $V_{oc}$ ) と曲線因子 (FF) は予想よりも低い値を示した。通常セルでは  $V_{oc}$  が 0.65V 程度が得られているのに対して、シースルー型では 0.15V 程度に留まった。これは、図 2 の SEM 像からもわかるように、結晶粒径が小さく、結晶品質が通常セルに対して劣っていることが考えられる。また、凹凸を有する FTO 上に CIGS を成長させていることから、通常の平坦基板上とは結晶成長様式が異なり、これも高品質な結晶を得ることを阻害していると考えられる。また、FF が 0.27 とほぼ短絡 (短絡の場合には  $FF=0.25$ ) に近い値を示しており、良好な整流性が得られていないことも  $V_{oc}$  を大幅に低下させた原因であると考えられる。今後は、凹凸基板上における CIGS 膜の結晶成長技術の向上によって、効率を大幅に向上できると考えられる。

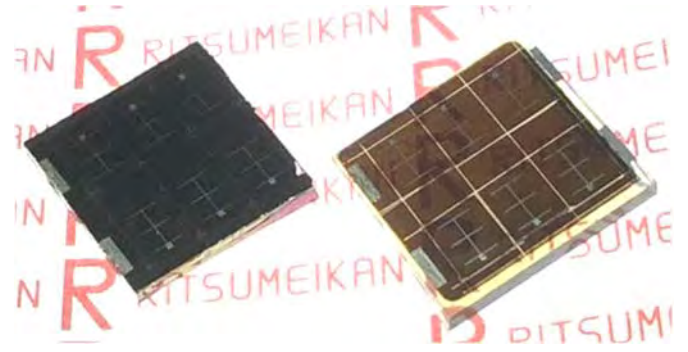


図 4 通常セルとシースルー型 CIGS 太陽電池 (CIGS 膜厚 2 $\mu\text{m}$  (左) と 0.5 $\mu\text{m}$  (右), 2cm 角) の写真

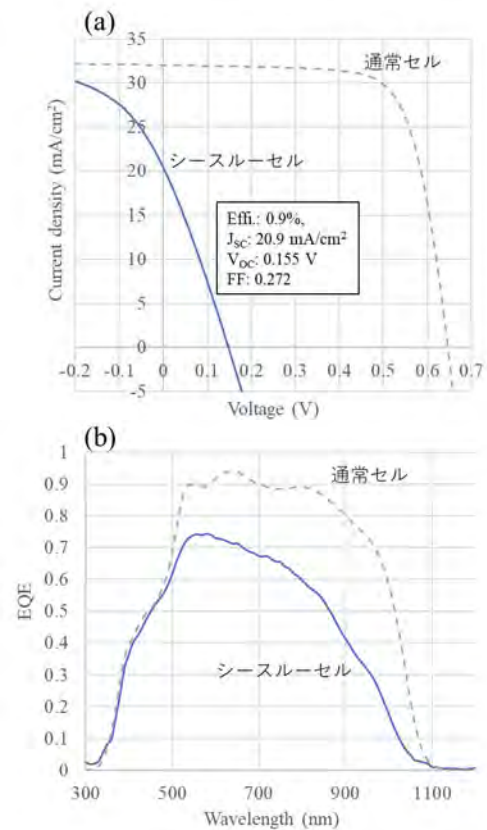


図 5 通常セルとシースルー型 CIGS 太陽電池の (a) J-V と (b) EQE 特性の比較

### 研究の成果、新知見

裏面電極に FTO 透明電極を用い、CIGS 光吸収層を 0.5 $\mu\text{m}$  まで極薄化することで、変換効率が 1% 程度ながら発電するシースルー型 CIGS 太陽電池の実現に成功した。

### 今後の予定

CIGS 膜の凹凸基板上での高品質結晶技術の開発、あるいは高耐熱かつ平坦な透明電極層の開発、そして、極薄膜でも結晶品質を向上させることによって、高効率かつシースルーな CIGS 太陽電池を実現できると考えられる。