

E-MRS 2019 Fall Meeting

三木 健司

Kenji MIKI

物質化学専攻修士課程 2年

1. はじめに

2019年9月16日～19日の期間に開催されたE-MRS 2019 Fall Meetingに参加した。この学会で、私は「Fabrication of p-type conductive BaCu(Se,Te)F films and application to the back contact of CdTe solar cells」というタイトルで口頭発表を行った。

2. 研究背景

再生可能エネルギーである太陽光エネルギーを利用した太陽光発電が注目されている。多接合型太陽電池はバンドギャップの異なる複数の光吸収層を積層させた構造を持ち、太陽光スペクトルを効率良く利用出来るため高い変換効率を達成できると期待されている。多接合型太陽電池の光吸収層はp型半導体であるため、その裏面電極にはp型透明導電膜が適しているとされている。しかし、p型透明導電膜はn型透明導電膜に比べて電気伝導率が低く、まだ研究段階にある。

我々の研究室ではp型透明導電膜としてBaCuSeFとそれに関連する化合物に注目して研究を行っている。BaCuSeF膜をCdTe太陽電池の裏面電極に用いることで9.91%の変換効率を報告している。また、BaCuSeFのBaをSrに置換したSrCuSeF膜をCdTe太陽電池の裏面電極に用いると11.6%の変換効率を得られた。さらに我々はp型のSrCuSeFと電気伝導率の高いn型の $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ (ITO)からなる積層膜を太陽電池の裏面電極に应用することで変換効率を向上させることに成功し、14.3%もの変換効率を報告している。つまり裏面電極の電気伝導率の向上が太陽電池の効率向上に寄与していることが考えられる。そこで本研究では、p型透明導電膜の電気伝導率向上をはかるべ

く、BaCuSeFのSeの一部をTeに置換したBaCu(Se,Te)Fの合成と薄膜の作製を行った。さらにこのp型BaCu(Se,Te)Fとn型ITOの積層膜をCdTe太陽電池の裏面電極に応用し、その特性を評価した。

3. 実験操作

BaCu(Se,Te)F膜はパルスレーザー蒸着(PLD)法により作製した。固相法にて調製したBaCu(Se,Te)FセラミックスターゲットにKrFエキシマレーザーを照射してガラス基板上にBaCu(Se,Te)F膜を作製した。

また、BaCu(Se,Te)F/ITO積層膜はBaCu(Se,Te)F膜の製膜に先立ち、ITO膜を製膜することで作製を行った。まず、RF-スパッタリング法により、ガラス基板上にITO膜を200nm堆積させたのち、PLD法を用いてBaCu(Se,Te)F膜を30nm堆積させた。電気特性はDark *I-V*測定により評価した。

BaCu(Se,Te)F/ITO積層膜をCdTe太陽電池の裏面電極に応用した。木更津工業高等専門学校で作製したCdTe太陽電池のCdTe表面にCdCl₂処理を施したのち、プロマイド-プロメイト溶液によるエッチング処理およびCu拡散処理を施した。その後、CdTe表面上にPLD法を用いて基板温度200℃でBaCuSF膜を30nm、続いてITO層をRF-スパッタリング法によって室温で200nm堆積させることで太陽電池デバイスを作製した。太陽電池特性は*J-V*測定、*EQE*測定により評価した。

4. 結果

製膜したBaCu(Se,Te)F膜は102配向を有しており、仕込み比通りのSe/(Se+Te)=0.5の膜が得られていた。その平均可視光透過率は40%未満であり、この値は既報のBaCuSeF、BaCuSFと比較して低い値となっていた。また、BaCu(Se,Te)F膜のバンドギャップは約2.7eVと算出された。さらにBaCu(Se,Te)F膜の電気伝導率は3.2 S/cmで、キャリア濃度、移動度はそれぞれ $2.5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 、0.79

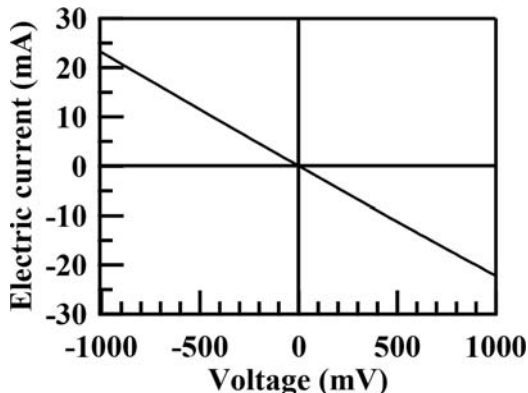


Fig. 1 BaCu(Se,Te)F/ITO 積層膜の Dark I - V 特性

cm^2/Vs であった。BaCu(Se,Te)F 膜の電気伝導率は、BaCuSeF や BaCuSF と同程度の値が得られているものの、ITO 膜の電気伝導率 $1.0 \times 10^3 \text{ S/cm}$ に比べてかなり低い。そこで、BaCu(Se,Te)F 膜を CdTe 太陽電池の裏面電極に応用するために、電気伝導率の向上を目指し BaCu(Se,Te)F と ITO からなる積層膜について検討を行った。

Fig. 1 に BaCu(Se,Te)F/ITO 積層膜の Dark I - V 測定の結果を示す。積層膜の Dark I - V 特性はオームック性を示した。これは、高キャリア濃度の BaCu(Se,Te)F 層と ITO 層の間でトンネル接合が形成され、十分な電気伝導率が得られたことを示している。続いて BaCu(Se,Te)F/ITO 積層膜の CdTe 太陽電池の裏面電極への応用を検討した。

Fig. 2 に作製した CdTe 太陽電池の光電流密度-電圧 (J - V) 特性の測定結果を示す。Fig. 2 より、積層膜を裏面電極に用いた太陽電池が全てのデバイスパラメーター（短絡電流密度、開放電圧、フィルファクター）で、BaCu(Se,Te)F を単層膜で裏面電極に用いた場合よりも高い値を示したことがわかる。BaCu(Se,Te)F/ITO 積層膜を裏面電極に用いた CdTe 太陽電池は変換効率 12.1% を示した。この値

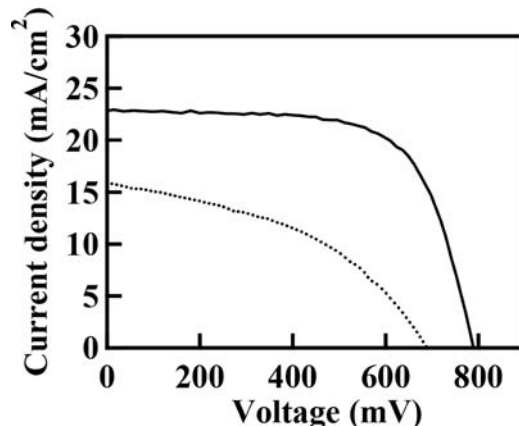


Fig. 2 CdTe 太陽電池の電流-電圧 (J - V) 特性
実線、裏面電極：BaCu(Se,Te)F/ITO 積層膜；点線、裏面電極：BaCu(Se,Te)F 膜

表 CdTe 太陽電池のデバイスパラメーター

裏面電極	変換効率 (%)	開放電圧 (mV)	短絡電流密度 (mA/cm^2)	フィルファクター
積層膜	12.1	790	23.0	0.675
単層膜	4.32	690	14.4	0.434

は、BaCuSF/ITO 積層膜や SrCuSeF/ITO 積層膜を裏面電極に用いた CdTe 太陽電池の変換効率（それぞれ 13.9%、14.3%）に比べて少し低い。そこで、今後は BaCu(Se,Te)F/ITO 積層膜の各層の厚さを最適化することで、さらに高い変換効率の達成を目指したいと考えている。

5. 学会を通じて

学会発表を通じて、他大学等の研究者に自身の研究を説明することのむずかしさを改めて実感した。また国際学会であったこともあり、あらためて英語の重要性を実感した。今回の学会での発表は非常に貴重な体験で、この経験をこれからの研究に生かしていきたいと考えている。