

17a-F8-3

CIGS 薄膜および太陽電池の評価技術の現状

Advanced characterization of CIGS films and solar cells

愛媛大工¹,○白方 祥¹Ehime Univ.¹

E-mail: shirakata.sho.mx@ehime-u.ac.jp

Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS)太陽電池はすでに実用の域にある。しかし、物理的解明の研究はスタートしたにすぎない。太陽電池の変換効率の向上の為に多くの技術を用いた評価が行われており、本報告では、これらを系統的に整理する。その後、著者の行っている光学評価を紹介する。

(1) 特に光生成キャリアの再結合過程の解明とバルクおよび界面再結合の低減が開放電圧の向上に不可欠であり、フォトルミネッセンス(PL)や時間分解 PL(TR-PL)などによる評価が行われている。(2) CIGS 薄膜の成長過程のその場(in situ)観察が X 線や偏光解析法により行われており、stoichiometry や異相の生成に関する実験がある。(3) CIGS 太陽電池のヘテロ接合のバンドアラインメントの決定の為に、光電子分光、逆光電子分光、軟 X 線を用いた実験が行われている。(4) 結晶粒の仕事関数の研究の為にケルビンプローブなどが有用である。

セル特性の向上にはこれら評価に基づいた CIGS 薄膜の結晶性の向上、ヘテロ構造の最適化、およびセルプロセスの技術の向上が不可欠である。以下に光を用いた評価とそれを用いたセル特性の向上の試みを示す。バルク再結合の評価には、PL と TR-PL が有用であり、PL の強度や寿命とセル特性との間に強い相関がある。CIGS 系薄膜には価電子帯頂上から上 0.8eV に欠陥レベルが存在する事がアノキメス法や過渡フォトキャパシタンス法(TPC)により知られている。これは CIGS の禁制帯幅の増加に伴い間接再結合中心として働く deep として wide-gap 系での開放電圧を低下させる一因とされている。また ZnO/CdS/CIGS 系セルでは、narrow-gap 系 CIGS でバルク再結合が支配的であり wide-gap 系 CIGS で界面再結合が支配的である。これはデバイスシミュレーションや光電子分光により CIGS 混晶系の禁制帯幅とヘテロ接合のバンドアラインメントの関係が詳細に検討された結果、ヘテロ接合の伝導帯が ZnO/CdS/CIGS 系では narrow-gap のスパイクから wide-gap のクリフに変化することや、OVC を含む価電子帯の構造が明らかになり、光生成キャリアの再結合の過程が明らかになりつつある。評価に基づいた CIGS 薄膜の高品位化、ヘテロ接合の最適化や界面制御によるセル特性の向上に関しては、評価とデバイスの研究者の密接な共同研究が必要である。著者は光を用いた CIGS 太陽電池の評価技術の開発を行ってきたが、CIGS セルプロセスを立ち上げて PL, PL マッピングや TR-PL を CIGS 太陽電池の各プロセスにおいて行うことにより多くの知見を得た。Mo/SLG 上に 3 段階法で作成した CIGS 薄膜は短時間で PL の強度と寿命が低下する。この劣化過程は SIMS 測定により CIGS 表面にパイルアップした Na と関係しており、CIGS 薄膜中の Na の in-depth profile の制御より CIGS 太陽電池のセル特性の向上と、光起電力分布のセル表面での均質化の可能性を 2 次元 PL マッピング法で示した。特に共同研究では CIGS 薄膜は大気中での表面劣化があるために時間が経過した試料の評価には十分な注意が必要である。