

論文の内容の要旨

論文題目 光照射ケルビンプローブフォース顕微鏡による
光起電力計測を通じたCu(In,Ga)Se₂太陽電池の局所的物性評価
(Local characterization on Cu(In,Ga)Se₂ solar cells through photovoltaic measurements
by photo-assisted Kelvin probe force microscopy)

氏 名 龍 顯得

私は、太陽電池材料の局所的な光起電力評価が可能な光照射ケルビン・プローブ・フォース顕微鏡(Photo-assisted Kelvin Probe Force Microscopy、以下 P-KFM)を CIGS 太陽電池に適用し、特に、照射光をオン・オフ変調した際の変調周波数と P-KFM で観測される時間平均光起電力の関係を調べる独自の方法を用いて、光起電力の減衰時定数や、光励起キャリアの再結合プロセスの中で速い再結合が占める割合等を調べている。

本研究で用いた P-KFM は原子間力顕微鏡 (AFM) の応用であり、従来の Photoluminescence 法などに比べると分解能が非常に高いことから、微結晶系である CIGS 材料において様々な物性に対する結晶粒界の影響等を理解するのに適している。また、ピエゾ抵抗型自己検知カンチレバーを使用することで、正確な光起電力の計測を可能にしている。さらに、KFM は電位計測にフィードバック制御が必要なため、本来は時間分解能に乏しい手法であるが、時間平均光起電力の変調周波数依存性から光起電力の減衰時定数などを求める独自の手法を導入してその弱点を克服している点にも大きな特長がある。

本研究で用いた太陽電池は、ITO/ZnO/CdS/CIGS/Mo/Glass の一般的な構造を有しており、CIGS 材料内の Ga/(In+Ga)の割合が 0.23、0.32、0.38、0.5 の 4 種類の試料を用意した。我々は、これらの試料における光励起キャリアの再結合プロセスとしては、速いもの（時定数が短いもの）と遅いもの（時定数が長いもの）があると考えている。そこで、P-KFM を用いて、全体の光起電力に対して速い再結合プロセスで消失するキャリアが寄与する比率 r と、遅い再結合プロセスの時定数 τ を、これら 4 種類の試料においてそれぞれ計測した。また、それらの光強度に対する依存性も調べた。

Ga 組成の異なる 4 種の試料において測定された遅い再結合プロセスの時定数 τ は図 1(a)で示す。この図より、Ga 組成が高まるほど長くなることもわかった。ここでの τ は、表面 n 型層に蓄積されていた光励起電子が CIGS 層側に戻るのに必要な時間に対応すると考えており、

高 Ga 組成の CIGS では伝導帯端が高エネルギー側にシフトするためにそのような電子移動が妨げられ、その結果として τ が長くなるものと理解される。一方、図 1(b) で速い再結合プロセスの寄与比率 r は、Ga 組成が高くなるほど速い再結合の割合が増えていることがわかる。それらの速い再結合は CIGS 領域内部もしくは CdS バッファ層との界面で起こっていると考えられ、また、そのような再結合は光の照射中でも起こることから、 r の増大は再結合損失の増大に対応すると見ることができる。実際、Ga 組成が高い試料では変換効率が低下しており、ここでの結果とよい対応関係が見られている。

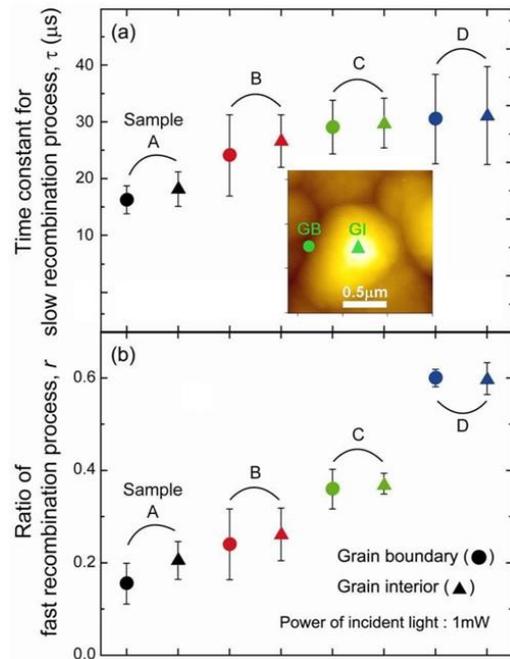


図 1. Ga組成が違う試料での速い再結合の割合、 r と遅い再結合の時定数 τ を結晶粒界(GB)と粒内(GI)で調べた実験結果