

薄膜中間バンド型太陽電池の電流増大に向けた量子ドット位置の最適化

Optimizing the quantum dot layer positions for increasing current density

in thin-film intermediate band solar cells

東大院工¹, 東大先端研² ◯榑木 悠亮^{1,2}, 北原 健渡^{1,2}, 宮下 直也², 岡田 至崇^{1,2}

Univ. of Tokyo¹, RCAST², ◯Yusuke Oteki^{1,2}, Kento Kitahara^{1,2}, Naoya Miyashita², Yoshitaka Okada²

E-mail: oteki@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】量子ドット中間バンド型太陽電池(IBSC)では、バンドギャップ内の中間準位を介した2段階光吸収により電流密度が増大し変換効率の向上が期待されるが、量子ドットの光吸収は母体材料のGaAsバルクと比べて小さいことが課題である。そこで我々は、Fabry-Pérot光閉じ込め構造[1]に着目し、InAs/GaAs量子ドットが吸収する光の内部電界強度を増大させる構造を検討している[2]。今回、Fabry-Pérot共振によって太陽電池の電流密度の増大が最大となる量子ドット層の配置を求めた。

【実験および結果】厚さ1800nmのGaAs層の裏面に銀ミラーを配置した図1(a)に示した薄膜太陽電池に太陽光(AM1.5G)を入射したときの光の内部電界強度を有限要素法を用いて計算を行った。GaAs及びInAsの複素屈折率はバルクの値を用いた[3]。量子ドットの高さは光の波長より充分小さいため、量子ドット層の位置は光の内部電界分布にはほとんど影響しない。このとき光の内部電界分布から各バンド間の光生成レート (G_{ci}) 、及び価電子帯→中間バンド間の光生成レート (G_{iv}) がともに大きいときに最大となるため $P = G_{ci} \times G_{iv}$ を計算し、図1(b)の赤点に示した P が大きい位置の順に計30層のInAs量子ドット層を20nm以上の間隔をあけて配置した。量子ドットがない位置では $G_{ci} = G_{iv} = 0$ とし、ドリフト拡散モデルから電流密度-電圧特性($J-V$)を求めた。また比較のため銀ミラー有り/無しの場合のGaAs構造についても同様に計算した。図2に銀ミラー有り/無しの薄膜太陽電池の太陽電池の $J-V$ カーブを示す。裏面銀ミラー無しの場合、短絡電流密度(J_{sc})は薄膜GaAsセルで 17.8 mA/cm^2 、薄膜IBSCは 18.7 mA/cm^2 程度で、約 0.9 mA/cm^2 増大した。しかし開放電圧(V_{oc})は低下し、変換効率は14.6%から13.9%に低下した。一方、裏面銀ミラー有りの場合、 J_{sc} はGaAsセルで 18.3 mA/cm^2 、薄膜IBSCでは 20.4 mA/cm^2 に増大し、 2.1 mA/cm^2 増大した。また J_{sc} 増大量が V_{oc} の減少分を上回るため、変換効率は15.1%から15.3%と増大した。薄膜IBSCでは2段階光吸収がFabry-Pérot共振により増強され、 J_{sc} 及び効率が向上したためと考えられる。

【謝辞】本研究は、国立研究開発法人NEDO「壁面設置太陽光発電システム技術開発」の委託の下で行われた。

[1] B. Behaghel *et al.*, Appl. Phys. Lett. 106, 081107 (2015). [2] 榑木 他, 第68回応用物理学会春季学術講演会, 18p-Z23-13 (2021). [3] S. Adachi., J. Appl. Phys. 66, 6030 (1989).

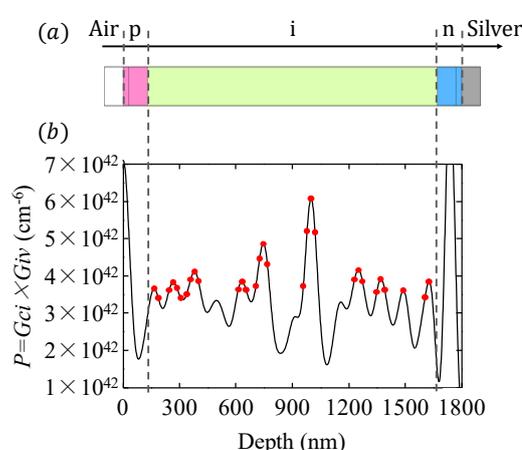


Fig.1. (a) Schematic structure of a 1800nm-thick GaAs solar cell with a silver rear mirror. (b) Calculated $P = G_{ci} \times G_{iv}$ distribution in the GaAs layer. The red circles show the positions of InAs quantum dots placed in descending order of P .

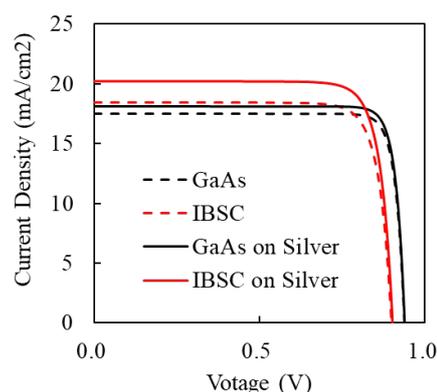


Fig.2. Current-density voltage ($J-V$) curve of a InAs/GaAs quantum dot intermediate band solar cell (red) and GaAs reference cell (black) with a rear silver mirror (solid) and without a silver mirror (dash).