

フォトフィリング効果を考慮した2段階光吸収の定量評価

Quantitative Analysis of Two-Step Photon Absorption Considering Photofilling Effect

○玉置 亮、庄司 靖、岡田 至崇、宮野 健次郎（東大先端研）

○Ryo Tamaki, Yasushi Shoji, Yoshitaka Okada, and Kenjiro Miyano (RCAST, The Univ. of Tokyo)

E-mail: tamaki@mbe.rcast.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】次世代の高効率太陽電池の候補である量子ドット超格子を有した量子ドット中間バンド型太陽電池において、量子準位を介した2段階光吸収により、単接合太陽電池では透過損失となる赤外光スペクトルを利用して光電流の増大が得られる。我々はこれまで、赤外バイアス光照射下での差分外部量子効率(ΔEQE)測定により2段階光吸収過程について理解を進めてきた[1]。一方、2段階光吸収による光電流増大を最適化するためには、量子ドットの占有状態を制御する必要があり、制御方法として光キャリア注入による状態占有:フォトフィリングが挙げられる[2]。今回、量子ドット層におけるフォトフィリング効果を考慮した解析による、2段階光吸収効率の定量的な評価と得られた解析結果について報告する。

【実験と結果】20層の多積層 $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}/\text{GaAs}$ 量子ドットを有する量子ドット太陽電池について、中赤外パルス光照射下における ΔEQE 測定を9 Kの低温で行った。 GaAs バルク(1.70 eV)と2次元ぬれ層(WL; 1.45 eV)を励起した場合に、束縛一連続状態間遷移(0.48 eV)によりそれぞれ0.33%, 0.15%の EQE 増大が得られた。平均赤外光強度は太陽光赤外スペクトル($>1.4 \mu\text{m}$)積分値のおよそ100倍である。一方、 ΔEQE 測定を行った短絡状態(0 V)と十分大きな逆バイアスを印加した状態(-1.5 V)を比較した EQE 減少量(EQE_{loss})は、図から見積もられる通り GaAs と WL 励起それぞれに対し4.2%, 5.4%だった。 EQE の減少を量子ドットの光キャリア捕獲によると考えると、 EQE_{loss} から ΔEQE 測定時のフォトフィリングによる量子ドット占有状態を見積もることができる。

$\Delta EQE/EQE_{\text{loss}}$ は GaAs と WL 励起に対してそれぞれ0.08, 0.03となり、1段階目のバンド間遷移で GaAs バリア層を励起した方が、 WL を励起した場合より2段階光吸収による電流取り出し効率が高い。この結果は、量子構造における光キャリアダイナミクスを反映しており、 GaAs 励起では電子と正孔のキャリア分離により、より効果的なフォトフィリングと高効率な2段階光吸収が得られていると考えられる。

本研究は、NEDO革新的太陽光発電技術研究開発の委託の下で行われた。

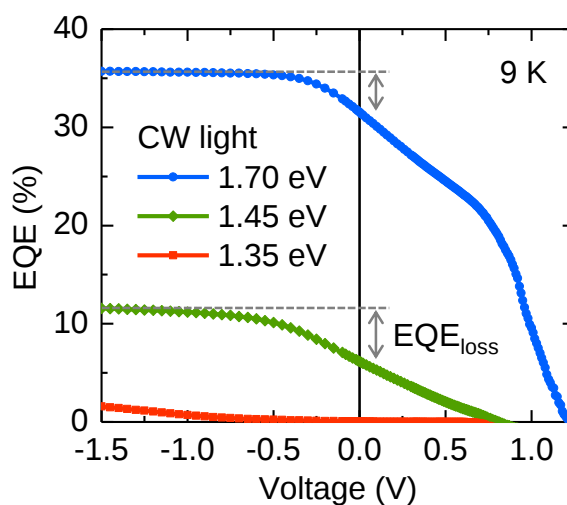


Fig 1. DC bias voltage dependence of EQE at 9 K.

[1] Y. Okada *et al.*, J. Appl. Phys. **109**, 024301 (2011); R. Tamaki *et al.*, Appl. Phys. Lett. **105**, 073118 (2014).

[2] R. Strandberg and T. W. Reenaas, J. Appl. Phys. **105**, 124512 (2009); K. Yoshida *et al.*, *ibid.* **112**, 084510 (2012).