

InAs/GaAs 量子ドット超格子太陽電池におけるホットキャリア電流取り出し特性 Hot-carrier current extraction characteristics in InAs/GaAs quantum-dot superlattice solar cells

神戸大院工¹ °岩田尚之¹, 渡部大樹¹, 原田幸弘¹, 朝日重雄¹, 喜多隆¹

Kobe Univ.¹, °N. Iwata¹, D. Watanabe¹, Y. Harada¹, S. Asahi¹, and T. Kita¹

E-mail: 176t209t@stu.kobe-u.ac.jp

【はじめに】近年、Shockley-Queisser 限界[1]を越える高い変換効率の実現に向けて新原理で動作する太陽電池の開発が注目を集めている。中でも、ホットキャリア型太陽電池(HCSC)[2]は、最大集光下で80%を超える高い理論変換効率が期待されている。HCSC 動作には、高効率な HC 生成と長い HC の熱緩和寿命を実現する光吸収層と、高エネルギーHC を選択的に取り出す電極構造が必要となる。我々はこれまでに、1 次元的な状態密度を有する量子ドット超格子(QDSL)を光吸収層に用いて、QDSL を内包するホスト結晶をエネルギー選択バリア(ESB)として用い、半選択的に HC を取り出すことで動作する HCSC を提案した[3]。QDSL では1 次元状態密度の形成に伴う長い熱緩和時間に起因して、励起フォトン密度の増加に伴う電子温度上昇率が量子井戸よりも一桁程度高くなる[3]。また、エネルギー準位が完全に離散化している QD に対して QDSL は連続エネルギー分散次元を有するので HCSC に適すると考えられる。本研究では、QDSL 内で生成されて高エネルギー領域まで分布した HC が電流として取り出される過程を J - V 特性の励起フォトン密度依存性から明らかにした。

【実験】分子線エピタキシー法を用い、 i 層に9層近接積層 InAs/GaAs QDs から成る QDSL を含む GaAs p - n - i - n SC(QDSL-SC)を n^+ -GaAs(001)基板上に作製した。内部電界によるキャリア脱出の影響を抑制するため、 p 層と i 層の間にフィールドダンピング層[4]として n 層(145 nm)を挿入して内部電界を 1.3 kV/cm に低減させた。HCSC としての動作原理を検証するために、環境温度によるキャリアの熱励起効果を無視できる 15 K で J - V 特性を測定した。白色レーザーを分光し、励起エネルギーは QDSL の励起準位を励起できる 1.32 eV とした。

【結果】図1に、QDSL-SC における短絡電流密度(J_{sc})で規格化した J - V 特性を示す。 J_{sc} は励起フォトン密度の増加に伴って線形に増加したことから、二光子吸収や過飽和吸収など非線形過程は生じていない。したがって、GaAs バンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーで励起して得られた電流は、InAs/GaAs QDSL において生成された HC が ESB である GaAs 伝導帯へ引き抜かれたことを示唆している。また、 J - V 特性の形状は励起フォトン密度に強く依存し、弱励起条件では約 0.5 V の電圧において光電流を取り出せていない。この結果は、光励起キャリアが QDSL 内に局在していることを示唆している。励起フォトン密度を増加すると図1のように電流電圧特性は非局在化した。我々は図2に示す J_{sc} -開放電圧(V_{oc})特性から、詳細平衡モデル[1]を用いてキャリア温度を見積った。 J_{sc} の増加に伴うキャリア温度の非連続的な変化は state-filling による高い状態密度を有する高次準位におけるエネルギー緩和の影響が考えられる。

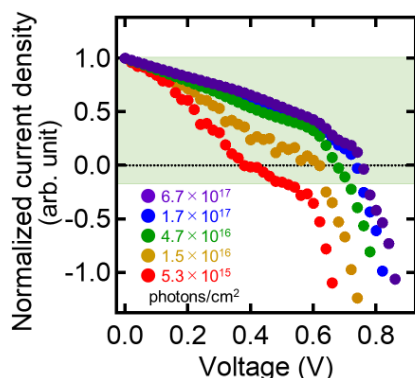


Fig. 1. The excitation photon density dependences of the J - V characteristics of QDSL-SC measured at 15 K.

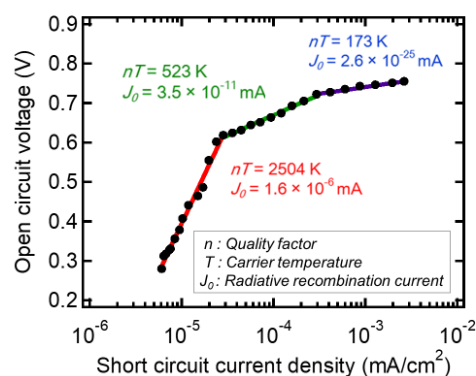


Fig. 2. V_{oc} as a function of J_{sc} at 15 K.

[1] W. Shockley *et al.*, J. Appl. Phys. **32**, 510 (1961). [2] L. C. Hirst *et al.*, IEEE J. Photovolt. **4**, 244 (2014).

[3] D. Watanabe *et al.*, Appl. Phys. Lett. **105**, 171904 (2014). [4] A. Marti *et al.*, Thin Solid Films **516**, 6716 (2008)