

InAs/GaAs 量子ドット超格子を用いたホットキャリア型太陽電池における開放電圧の向上

Improvement of open-circuit voltage in hot-carrier solar cell using InAs/GaAs quantum dot superlattices

○原田 幸弘、岩田 尚之、朝日 重雄、喜多 隆 (神戸大院工)

○Y. Harada, N. Iwata, S. Asahi, and T. Kita (Kobe Univ.)

E-mail: y.harada@eedept.kobe-u.ac.jp

【はじめに】ホットキャリア型太陽電池 (HCSC) は、バンド内緩和時間の長い光吸収層において生成された HC をエネルギー選択電極によって取り出す太陽電池であり、太陽光標準スペクトル (非集光) 照射下において 66% の理論変換効率を有する [1]。HCSC では、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、光吸収層として 1 次元的な状態密度を有する InAs/GaAs 量子ドット超格子 (QDSL) に着目し、QDSL では 2 次元的な状態密度を有する量子井戸よりも高いキャリア温度を 1 ns オーダーで保持できることを実証してきた [2]。さらに、ホスト半導体をエネルギー選択バリアとして用いて量子準位に励起された HC を半選択的に取り出す方法を提案し [3]、InAs/GaAs QDSL 太陽電池における HC 電流取り出しを実証した [4]。一方、QDSL の励起準位を励起した際の InAs/GaAs QDSL 太陽電池の開放電圧は 0.75 V 程度に留まっており [4]、高変換効率の実現に向けて開放電圧の向上が課題となっている。InAs/GaAs QDSL 太陽電池における開放電圧が低い原因として、1 次元状態密度に起因して QDSL における吸収率が低いことが考えられる。本研究では、QDSL を 5 周期積層した InAs/GaAs QDSL 太陽電池において、開放電圧の向上を実証することを目的とした。

【実験方法】試料作製には分子線エピタキシー法を用い、*i* 層に 9 層近接積層 InAs/GaAs QD から成る QDSL を 1 周期または 5 周期含む GaAs *p-n-i-n* SC を n^+ -GaAs(001) 基板上に作製した。InAs/GaAs QDSL 間の GaAs スペース膜厚は 150 nm とし、内部電界による QDSL からのキャリア脱出を抑制するため *p* 層と *i* 層の間にフィールドダンピング層 [5] 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。環境温度によるキャリアの熱励起効果を見逃す 15 K において、白色レーザーを分光して電流-電圧特性を測定した。励起エネルギーは InAs/GaAs QDSL の励起準位に対応する 1.32 eV とした。

【結果と考察】図 1 に、InAs/GaAs QDSL 太陽電池における短絡電流密度の励起光子密度依存性を示す。青丸と赤丸はそれぞれ、QDSL が 1 周期と 5 周期の太陽電池における結果である。短絡電流密度は励起光子密度の増加に伴って 1 乗以下で増加したことから、二光子吸収などの非線形過程は生じておらず、InAs/GaAs QDSL において生成された HC が GaAs 伝導帯へ引き抜かれたことを示唆している。InAs/GaAs QDSL 太陽電池の短絡電流密度-開放電圧特性を図 2 に示す。短絡電流密度の増加に伴う開放電圧増加量の非連続的な変化は、HC 電流の取り出しに伴うキャリア温度の低下を示唆している [4]。観測したすべての励起光子密度 (短絡電流密度) において、QDSL 周期の増加による開放電圧の向上が実証できた。開放電圧の向上は、InAs/GaAs QDSL での吸収率増加に起因すると考えられる。

【参考文献】[1] R. T. Ross and A. J. Nozic, J. Appl. Phys. **53**, 3813 (1982). [2] Y. Harada *et al.*, Phys. Rev. B **93**, 115303 (2016). [3] D. Watanabe *et al.*, Appl. Phys. Lett. **105**, 171904 (2014). [4] D. Watanabe *et al.*, Appl. Phys. Express **11**, 082303 (2018). [5] A. Martí *et al.*, Thin Solid Films **516**, 6716 (2008).

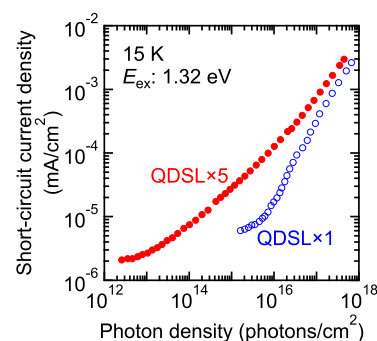


Fig. 1. Short-circuit current density as a function of the excitation photon density at 15 K.

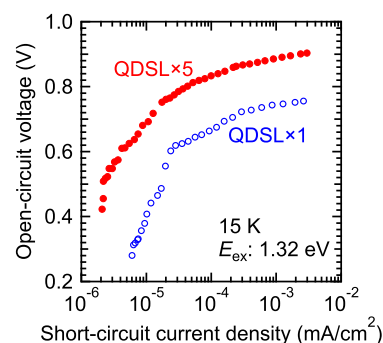


Fig. 2. Open-circuit voltage as a function of the short-circuit current density at 15 K.