

InAs/GaAs 量子ドット超格子を利用したホットキャリア型太陽電池

Hot-carrier solar cells using InAs/GaAs quantum dot super lattices

○渡部 大樹, 原田 幸弘, 海津 利行, 喜多 隆 (神戸大院工)

○D. Watanabe, Y. Harada, T. Kaizu, T. Kita (Kobe Univ.)

E-mail:140t270t@stu.kobe-u.ac.jp

【はじめに】以前我々は図1に示すような量子ドット超格子(QDSL)を利用した新しいホットキャリア型 SC (HCSC)を提案した[1]。1次元状態密度を持つ QDSL に高密度な電子が生成されると電子温度が上昇する。QDSL による電子温度上昇は量子井戸に比べて1桁程度高く 1000 K を上回り、また高温を維持する寿命も 1 ns をこえることが分かった(図2)[2]。このようなホットエレクトロンは伝導バンドまで染みだし、電流として取り出すことができ、45900 倍集光において 53.8% を実現すると予測した。この新しいタイプの HCSC は従来課題であったエネルギー選択電極の代わりにホスト結晶をエネルギー選択バリアとして利用できるシンプルな構造であるのが特徴である。本研究では HC による電流の取り出しの実証をめざして、QDSLs SC を作製し、詳しく評価した。

【実験】本研究の QDSL SC は分子線エピタキシー法を用いて作製した。InAs/GaAs QD を 4 nm 間隔で 9 層近接積層させた QDSL を含む p-i-n 構造を採用し、内部電界 F_{QD} は 10 kV/cm とした。これは QD 間の電子的結合を阻害しない値である[3]。電流-電圧測定は 10 K で行った。低温で測定したのは SC 自身の温度によるキャリアの熱脱出を抑制するためである。励起光には繰り返し周波数 20 MHz、パルス幅 6 ps の白色レーザーを使用した。また基底準位の発光波長が 1060 nm である QDSL を選択的に励起した際に取り出せる電流を確認するため、900 nm よりも短波長をカットするロングパスフィルターを通した励起光を集光して入射させた(below barrier, 入射スポット径: 130 μm)。比較のためにホスト結晶のみを励起して電流-電圧測定も行い、このときの励起光は 750 nm よりも長波長をカットするショートパスフィルターを通して実現した(above barrier)。

【結果】図3は QDSL SC の電流-電圧特性を様々な励起光強度下で測定した結果を、短絡電流密度(J_{sc})と開放電圧(V_{oc})の関係にしてまとめており、電流がどの擬フェルミ準位で取り出されたのかを議論できる。図3の below barrier から QDSL のみを励起しても極低温であるにもかかわらず電流電圧を取り出せることが確認できた。また J_{sc} が 100 mA/cm^2 以下の領域においては above と below の V_{oc} の差が 0.03 V と小さな値となったことから、QDSL 内で生成されたキャリアはホスト結晶を選択的に励起したときと同じ擬フェルミ準位で取り出されたことを現わす。この起源は 10 K での測定かつ SC の熱活性化エネルギー ΔE_0 を文献値[3]から見積もったところ 184 meV であったことから、SC 自身の温度による熱脱出ではないと考えられる。また QD1 層目から 9 層目にかけての電位差 V_{QD} を F_{QD} と QD 層厚さ($4.1 \times 10^{-6} \text{ cm}$)の積と定義したとき、本研究の SC は ΔE_0 (184 meV) $>$ V_{QD} (42 meV)となり、 F_{QD} によるトンネル脱出の影響は小さいといえる。以上より QDSL のみを励起して取り出せた電流電圧は主に HC 効果に起因すると示唆される。

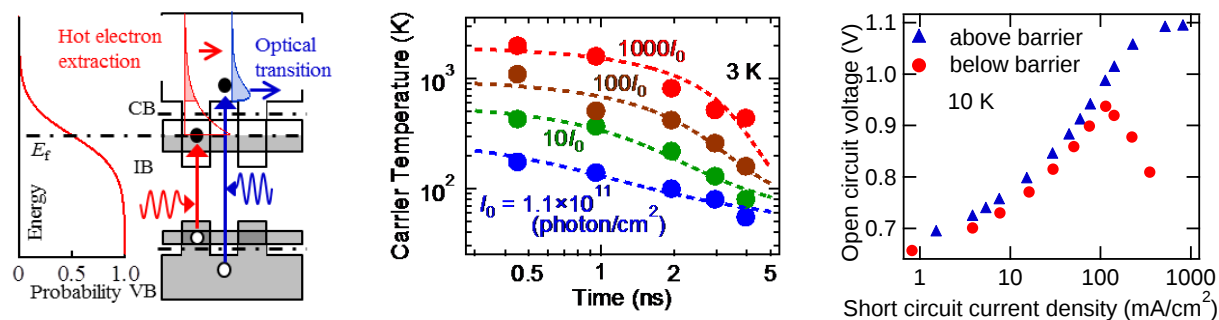


図1. 新しいHCSCの概念図。 図2. HCのクーリングの様子。

図3. J_{sc} に対する V_{oc} 。

[1] D. Watanabe, N. Kasamatsu, Y. Harada, and T. Kita. *Appl. Phys. Lett.* **105**, 171904 (2014).

[2] 原田, 他 第76回応用物理学会秋季学術講演会 (2015)

[3] N. Kasamatsu, T. Kada, A. Hasegawa, Y. Harada, and T. Kita. *J. Appl. Phys.* **115**, 083510 (2014).