

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動作実証 Demonstration of hot-carrier solar cell operation using InAs/GaAs quantum-dot superlattices

○岩田尚之, 渡部大樹, 原田幸弘, 朝日重雄, 喜多隆 (神戸大院工)

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

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

【はじめに】近年、次世代高効率太陽電池が数多く提案されている中、最大集光下で80%を超える非常に高い理論変換効率が報告されているホットキャリア型太陽電池(HCSC)[1]が注目を集めている。HCSC 動作を実証するためには、効率的なホットキャリア(HC)生成と長い熱緩和時間を実現する光吸収層と、HCの引き抜きが可能なエネルギー選択電極が必要となる。我々はこれまでに、図1に示す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を内包する宿主結晶のバンドギャップをエネルギー選択バリア(ESB)として動作するHCSC(QDSL-HCSC)を提案した[2]。状態密度の低次元化に伴い熱緩和時間が長くなり[1]、QDSLでは量子井戸と比べて熱緩和が抑制されるため、励起密度の増加に伴う電子温度上昇率が一桁程度高くなる[2]。また、QDよりもstate-fillingが生じにくいいため、QDSLはHCSCに適すと考えられる。本研究では、 I - V 特性の励起光子密度依存性からQDSL-HCSCの動作を評価した。

【実験】分子線エピタキシー法を用いて、 i 層に9層近接積層InAs/GaAs QDsから成るQDSLを含むGaAs p - i - n SC(QDSL-SC)を n^+ -GaAs(001)基板に作製した。また、内部電界によるトンネル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[3]として n 層(145 nm)を挿入してQDSLに印可される内部電界を1.3 kV/cmに低減させた。リファレンス試料として、QDSL-SCと同構造で超格子を形成していないQD-SCを作製した。HCSC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見逃すことができる10 Kで I - V 特性を測定した。励起光源には、QDSLとQDの励起準位を励起できる発振エネルギー1.27 eVのレーザーダイオードを用いた。

【結果】図2と図3にQDSL-SCおよびQD-SCの短絡電流密度(I_{sc})と開放電圧(V_{oc})の励起光子密度依存性をそれぞれ示す。GaAsバンドギャップエネルギーよりも低い励起エネルギーで I_{sc} が観測された結果は、InAs/GaAs QDSLとQDの励起準位に励起された電子がESBであるGaAs伝導帯(CB)へ引き抜かれたことを示唆している。電子の引き抜きが二光子吸収やオージェ再結合によって生じている場合、 I_{sc} は励起光子密度に対して非線形に増大する。図2に示すようにQDSL-SCとQD-SCでは I_{sc} が励起光子密度に比例することは、電子がHCとして引き抜かれたことを示している。また、すべての励起光子密度において、QDSL-SCの I_{sc} はQD-SCよりも高い電流値を示している。1次元状態密度を有するQDSLでは、量子準位内に生成されたHCが高エネルギー側に分布するため、0次元の離散的な状態密度を有するQDsに比べて、より多くのHCが電流として取り出されたものと考えられる。また、図3においてQDSL-SCの V_{oc} がQD-SCよりも高いことから、QDSL-SCでは宿主結晶へHCが引き抜かれたことによって電子の擬フェルミレベルの低下が回復していることが示唆される。これらの結果から、QDSL-SCはQD-SCよりもHCSCに適していることが明らかになった。

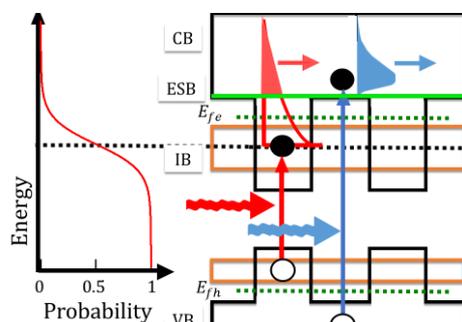


図1 QDSL-HCSC 概念図。

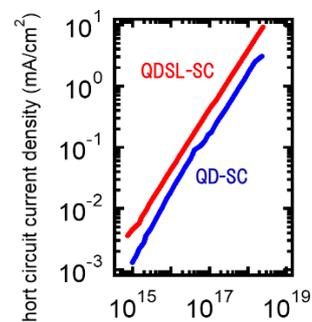


図2 I_{sc} の励起光子密度依存性。

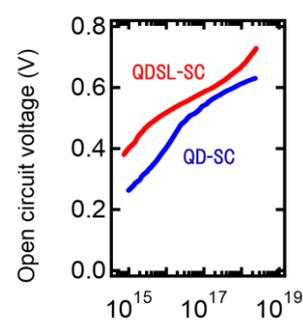


図3 V_{oc} の励起光子密度依存性。

[1] L. C. Hirst *et al.*, IEEE Journal of Photovoltaics **4**, 244 (2014).

[2] D. Watanabe *et al.*, Applied Physics Letters **105**, 171904 (2014).

[3] A. Marti *et al.*, Thin Solid Films **516**, 6716 (2008).