

InAs/GaAs 量子ドット超格子中間バンド型太陽電池特性のミニバンド形成の効果

Effect of miniband formation on characteristics of InAs/GaAs quantum-dot superlattice solar cells

神戸大院工 [○]平尾和輝, 朝日重雄, 海津利行, 喜多隆

Grad. Sch. of Eng. Kobe Univ., [○]Kazuki Hirao, Shigeo Asahi, Toshiyuki Kaizu, and Takashi Kita

E-mail: 161t252t@stu.kobe-u.ac.jp

【はじめに】量子ドット中間バンド型太陽電池(QD-IBSCs)は、QD の量子準位を中間バンド(IB)として利用することでバンドギャップ以下のエネルギーの光を2つのサブバンド間吸収(価電子帯→IB、IB→伝導帯(CB))を通して吸収できるため、超高効率太陽電池として注目されている[1]。しかし、現状ではQDへの励起キャリアのエネルギー緩和、熱脱出、QD内でのキャリア再結合などにより理想通りの動作は実現できていない。これまでにInAs/GaAs QDを近接積層した超格子(SL)構造で電子と正孔が内部電界により空間的に分離して再結合寿命が増大し、IBを介した2段階光励起が増強することを報告してきた[2]。また、熱脱出については障壁層の障壁を高くすることで抑制でき、室温でも動作することを示した[3]。本研究ではInAs/GaAs QDSLにおいて熱脱出を抑制するためにQDサイズを制御して量子準位を従来よりも深くしたQDSL-IBSCを作製し、ミニバンド形成の評価と太陽電池特性を詳細に調べることによって太陽電池特性に及ぼすミニバンド形成効果を明らかにした。

【実験と結果】QDSL-IBSC試料は、固体ソース分子線エピタキシー法によって n^+ -GaAs(001)基板上にp-i-n構造を作製し、i層内に9層近接積層したInAs/GaAs QDSL層を挿入した。i層内における内部電界は7 kV/cmであり、QDSLで光生成したキャリアの電界に起因するトンネル脱出はほぼ無視できる。また、キャップ層成長温度を480℃と430℃とした。キャップ層成長温度を下げることで量子ドットのサイズが大きくなり、吸収端が長波長化する[4]。GaAsキャップ層はそれぞれ4nm, 6nmと薄いためQDはSLを形成している。図1に励起波長659 nm, 励起光強度0.1 mWでの20 KにおけるPL測定結果を示した。430℃でキャップしたQDSL-IBSC(図1(a))ではQDのサイズが大きくなっており、量子サイズ効果が基底準位が深くなっているために、480℃でキャップしたQDSL-IBSC(図1(b))に比べ発光波長が長波長化している。さらにこれらのQDSL-IBSCを用いて2段階光励起による光生成電流の測定を行った。1段階目の光励起によりQD内にキャリアを供給し、2段階目の光励起でIB中の電子をCBに励起した。この2段階目の励起光をライトチョッパにより800Hzに変調して電流値をロックインアンプで読み取り、2段階目の励起光による電流の増加分を読み取った。この電流値を入射光子数で割った値を ΔEQE と定義した。図1に10 Kにおける結果を示した。480℃キャップのQDSL-IBSCでは940 nm付近から ΔEQE が落ち込むのに対して、430℃キャップではPLのピーク波長付近から急激に落ち込む。これらの結果は、ミニバンド形成準位がGaAsキャップ成長温度で異なっていることを示しており、430℃キャップでは基底準位がミニバンドを形成するために2段階光応答特性が長波長側に大きく拡大することが明らかになった。

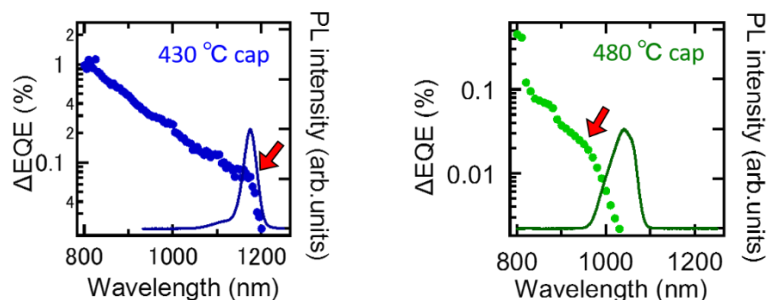


図1: (a) 430℃キャップ試料と(b) 480℃キャップ試料における(左軸) ΔEQE スペクトルと(右軸)PLスペクトル

【参考文献】

- [1] A. Luque and A. Martí, Phys. Rev. Lett. **78**, 5014 (1997).
- [2] T. Kada, S. Asahi, T. Kaizu, Y. Harada, T. Kita, R. Tamaki, Y. Okada, and K. Miyano, Phys. Rev. B **91**, 201303 (2015).
- [3] S. Asahi, H. Teranishi, N. Kasamatsu, T. Kada, T. Kaizu, and T. Kita, J. Appl. Phys. **116**, 063510 (2014).
- [4] T. Kaizu, T. Matsumura, and T. Kita, J. Appl. Phys. **118**, 154301 (2015).