

InAs/GaAs 量子ドット超格子太陽電池における 量子準位へのキャリア緩和過程が 2 段階光吸収に与える影響

Effect of carrier relaxation to the quantized states in InAs/GaAs quantum dot superlattice solar cell on the two-step photon absorption

神戸大院¹, °加田智之¹, 朝日重雄¹, 海津利行¹, 喜多隆¹

東大先端研², 玉置亮², 岡田至崇², 宮野健次郎²

Kobe Univ.¹, °Tomoyuki Kada¹, Shigeo Asahi¹, Toshiyuki Kaizu¹, and Takashi Kita¹
RCAST, The Univ. of Tokyo², Ryo Tamaki², Yoshitaka Okada², and Kenjiro Miyano²

E-mail: kada@stu.kobe-u.ac.jp

【はじめに】中間バンド型太陽電池(IBSC)では、非集光で最大 48%、最大集光で 68%と極めて高いエネルギー変換効率が期待されている[1]。高効率 IBSC の実現には、中間バンド(IB)を介した 2 段階光吸収(TSPA)が不可欠であり、効率よく IB 内に電子を生成し、伝導バンド(CB)へ励起する必要がある。TSPA 過程における 2 段階目の光吸収については、励起波長によってその感度が異なることが明らかにされている[2]。本研究では、QD 超格子を含む IBSC 試料を用い、TSPA 効率の IB からの励起波長に対する依存性を測定した。価電子帯(VB)から IB に励起した電子が、第 2 の赤外光照射によって IB から CB に励起することが明瞭に観測された。今回この赤外光照射による光電流の増加が、IB に励起される電子密度に大きく依存することを見出した。

【実験と結果】QD-IBSC 試料は固体ソース分子線エビタキシ法によって作製した[3]。活性層内における内部電界は 7 kV/cm であった。この内部電界かつ低温条件下では、QD での光吸収によって生成したキャリアの大部分が、熱励起や電界起因のトンネルで脱出することなく、QD 内に留まっている[4]。また、QD 基底準位からの PL 発光強度の温度依存性より、QD 基底準位から CB 連続準位までの熱活性化エネルギーは 0.26 eV であった。

2 段階光励起による生成光電流を、2 種類の励起光源を用いた手法で測定した。VB からキャリアを励起する第 1 の光源には、ハロゲンランプの白色連続光を分光して用いた。IB からキャリアを励起する第 2 の光源には波長可変パルス光を用い、 6.5×10^{18} photon/cm²/s の強度で光子エネルギーを変化させた。TSPA 効率は、第 1 の光源のみを照射した際に得られた光電流を分母に、第 2 の光源による光電流増分を分子とし、 $\Delta \text{EQE}/\text{EQE}$ と定義した[3]。

図 1 に、各単色連続光励起下における TSPA 効率の、赤外パルス光光子エネルギー依存性スペクトルを示す。QD 基底準位からの熱活性化エネルギー 0.26 eV よりやや高エネルギー側に、矢印で示した QD 束縛準位間の遷移によるピークが観測された。ピークの位置は、単色連続光波長の短波長化と共にレッドシフトしている。単色連続光波長の短波長化によって光吸収が増加し、生成される電子が増える。すなわち、図 1 の変化は、CB やぬれ層準位からの多数の緩和電子が QD 基底準位を占有し、フェルミレベルが上昇したことを示唆している。すなわち、IB における電子が満たされているエネルギーレベルが上昇した分だけ、CB への遷移エネルギーが小さくなったことを示している。

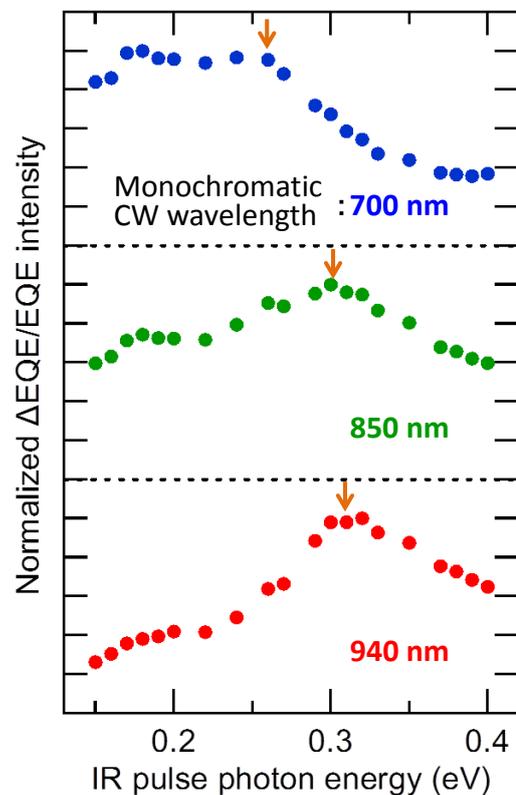


図 1. 各単色連続光励起下における TSPA 効率の赤外パルス光光子エネルギー依存スペクトル。矢印は QD 束縛準位間の遷移によるピークの位置。

[1] 喜多隆「太陽電池のエネルギー変換効率」コロナ社 (2012).

[2] R. Tamaki, Y. Shoji, Y. Okada, and K. Miyano. The 61st JSAP Spring Meeting, 2014, 19p-D7-13.

[3] T. Kada, S. Asahi, T. Kaizu, T. Kita, R. Tamaki, Y. Okada, and K. Miyano. The 61st JSAP Spring Meeting, 2014, 19p-D7-14.

[4] T. Kada, A. Hasegawa, and T. Kita, 2013 MRS-JSAP Joint Symposia, 17p-M2-7.