InAs/GaAs 量子ドット超格子太陽電池における 超高速過渡光電流応答

Ultra-fast Transient Photo-carrier Response in InAs/GaAs Quantum Dot Superlattice Solar Cell ⁰谷渕 泰三、加田 智之、笠松 直史、松村 拓哉、朝日 重雄、喜多 隆(神戸大院工)

°T. Tanibuchi, T. Kada, N. Kasamatsu, T. Matsumura, S. Asahi, and T. Kita (Kobe Univ.)

E-mail: 144t242t@stu.kobe-u.ac.jp

【はじめに】高変換効率太陽電池の実現に向けて、電子を3次元的に閉じ込め可能な量子ドット(QD) を用いた次世代太陽電池の研究が盛んに行われている。量子ドット超格子(QDSL)を活性層に含む中間 バンド型太陽電池(QD-IBSC)では、QDSLにおいて価電子帯と伝導帯とは独立したミニバンドが形成さ れることによる2段階光吸収(TSPA)過程の顕在化が期待される[1]。現在、QD-IBSCにおけるTSPA過 知らたとれることによる2段階光吸収(TSPA)過程の顕在化が期待される[1]。現在、QD-IBSCにおけるTSPA過

程による外部量子効率増大に関する研究は進んできているが[1]、 QDSLにおけるキャリアの QD 間でのトンネリング、熱緩和、熱励起が寄与する成長方向におけるキャリアダイナミクスは解明 されていない。QDSL から抜け出したキャリアは太陽電池動作 下では電流として取り出されるため、キャリアダイナミクスの 解明は極めて重要となる。そこで本研究では、QDSL における 成長方向のキャリア走行[2]に焦点をあて、その励起光強度依存 性を明らかにすることを目的とした。

【実験と結果】固体ソース分子線エピタキシ法により、9層近 接積層 InAs/GaAs QDSL 層[3]と InAs/GaAs probe QD 層を含む QD-IBSCを作製した。probe QDの発光ピーク波長は17Kで1189 nm であり、QDSL の発光スペクトル (ピーク波長:1050 nm) と分離するように制御した。また、活性層内における内部電界 は OD 間での電子的結合が保たれている 28 kV/cm に設計した[3]。 時間分解フォトルミネッセンスによって QD-IBSC におけるキャ リア走行を評価した。励起光には、励起波長 420 nm、繰り返し 周波数 80 MHz のパルス光を用い、発光は時間分解能~20 ps の近 赤外ストリークカメラによって検出した。キャリア走行過程の ダイアグラムを図1に示す。(i) p層厚(150 nm) が励起光に対 する GaAs の侵入長(約30 nm)よりも十分厚いことから、キャ リアの生成は p 層でのみ起こるものと仮定できる。(ii)p 層で生 成されたキャリアは内部電界によって n 層側ヘドリフトし、 QDSL 層で捕獲・脱出を繰り返しながら一部のキャリアは QDSL で再結合する。(iii)また、ODSL で再結合せず抜け出したキャリ アはその後、probe QD に到達し再結合する。

図2に、4Kにおける probe QD の発光時間減衰プロファイル の励起光強度依存性を示す。励起光強度が増加すると発光の遅 延時間は短くなり、減衰時間は減少した。一方、QDSL の発光 遅延時間と減衰時間に変化はなかった。また図3に示すように、 probe QD での発光強度は31.25 pJ 以下ではほとんど変化しなか ったのに対し、31.25 pJ 以上では急増する傾向を示した。この結 果は、励起光強度の増加に伴う QDSL でのキャリアのフィリン グ、または probe QD へ拡散する正孔数の増大を示唆している。

参考文献

- [1] R. Tamaki et al., Appl. Phys. Lett. 105, 073118 (2014).
- [2] K. Toprasertpong et al., IEEE J. Photovoltaics 4, 1518 (2014).
- [3] N. Kasamatsu et al, J Appl. Phys. 115, 083510 (2014).



Fig. 1 Carrier dynamics in QDSC with probe structure.



Fig. 2 Decay profile of probe QD at various excitation pulse energy.

