

Dot-in-Well 中間バンド型太陽電池における 中間準位内の長い電子寿命

Long Electron Lifetime in Intermediate States for Dot-in-Well Intermediate-Band Solar Cells

朝日 重雄、寺西 陽之、渡辺 翔、渡部 大樹、海津 利行、喜多 隆 (神戸大院工)

S. Asahi, H. Teranishi, S. Watanabe, D. Watanabe, T. Kaizu, and T. Kita (Kobe Univ.)

E-mail: 118t803t@stu.kobe-u.ac.jp

【はじめに】次世代高効率の太陽電池の候補の一つである、中間バンド型太陽電池(IBSC)の実現に向け、そのキーププロセスである 2 段階光吸収の増強を目指した研究が進められている[1]。私達はホスト結晶に $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ を用い、中間準位に対し高いバリアを形成し、さらに中間準位の形成に Dot-in-Well (DWELL)構造を用いることで、中間準位内に励起電子が閉じ込められ、室温においても効率的な 2 段階光吸収が起こることを実証した[2]。さらに、 $\text{InAs}/\text{GaAs}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ DWELL-IBSC の 2 段階光電流の実験から、励起電子は中間準位内に閉じ込められる一方、励起正孔は熱及び電界により中間準位内から脱出することで、寿命が 1ms と非常に長い可能性があることを示した[3]。今回、この長い電子寿命の影響を光学的に観察することを目指し、この太陽電池の時間分解フォトルミネッセンス(TRPL)測定を行い、詳細に解析した。

【実験】太陽電池試料は固体ソース分子線エピタキシー装置を用いて n^+ -GaAs(001)基板上に作製した。太陽電池のホスト結晶には $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ を用い、中間準位の形成には InAs 量子ドット(QD)を用いた。また、InAs QD を GaAs 量子井戸 (QW)で挟む、DWELL 構造を採用した。DWELL は i 層内に 10 層成長し、中間準位を形成した。TRPL 測定では、励起光源に繰り返し周波数 80MHz のパルスレーザを使用し、励起波長を 780nm とした。この光は DWELL における、GaAs QW のバンド間遷移を誘起する[2]。また、太陽電池試料からの発光検出には、時間分解能 $\sim 20\text{ps}$ の近赤外ストリークカメラを用いた。測定では太陽電池を短絡させて行った。

【結果】図 1 に InAs QD 基底準位からの発光減衰の励起光強度依存性の結果を示す。励起光強度の増加と共に、時間 5ns 以降で発光減衰の遅い成分が観測された。これは、励起光強度の増加と共に、電子と正孔の分離により再結合が抑制された成分が顕著になることが考えられる。図 2 に最も高い励起光強度における発光減衰の温度依存性、図 3 に発光減衰時間の温度依存性を示す。300K で現れていた遅い成分が、温度の低下と共に減少した。これは、300K で発現していた電子と正孔の分離が、温度の低下と共に抑制され、遅い成分の影響が低下したことが考えられる。光電流測定から予測される 1ms という非常に長い成分が再結合発光特性に現れないのは、完全に電子と正孔が分離すると、もはや発光に寄与しないためと考える。以上のことから、2 段階光励起のさらなる増強には、高いバリアで励起電子を中間準位内に閉じ込める一方で、中間準位内の内部電界をさらに強くすることで、電子と正孔の分離を促進し、再結合を抑制することが有効であることが明らかとなった。

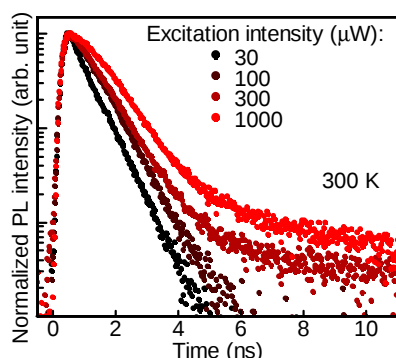


図 1. TRPL の励起光強度依存性

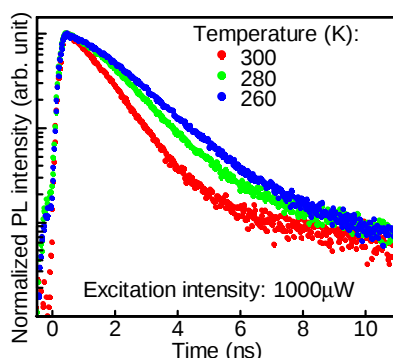


図 2. TRPL の温度依存性

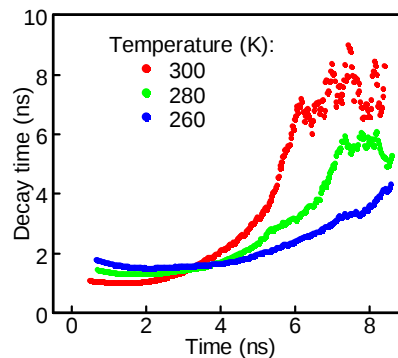


図 3. 発光減衰時間の温度依存性

[1] R. Tamaki *et al.*, Appl. Phys. Lett. **105**, 073118 (2014), T. Kada *et al.*, Phys. Rev. B **91**, 201303 (2015).

[2] S. Asahi *et al.*, J. Appl. Phys. **116**, 063510 (2014).

[3] S. Asahi *et al.*, IEEE J. Photovoltaics (Accepted for publication).