

GaAs_xSb_{1-x}/GaAs 量子ドットのキャリア寿命の As 組成依存性

As composition dependence of carrier lifetime in GaAs_xSb_{1-x}/GaAs quantum dots

1 東大院工, 2 東大先端研, 3 産総研

○橋本 悠亮^{1,2,3}, 庄司 靖³, 宮下 直也², 岡田 至崇^{1,2}

1 School of Engineering, Univ. of Tokyo, 2 RCAST, Univ. of Tokyo, 3 AIST

○Yusuke Oteki^{1,2,3}, Yasushi Shoji³, Naoya Miyashita², Yoshitaka Okada^{1,2}

E-mail: oteki@mbe.rcast.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】量子ドット太陽電池は量子準位を介した 2 段階光吸収過程による電流密度の増大により、変換効率の向上が期待される。2 段階光吸収レートを改善するために、キャリア寿命が長い Type-II 型 GaSb 量子ナノ構造を用いることが有効であると考えられる[1]。我々は太陽光と量子準位のスペクトルマッチングをとるため GaAs_xSb_{1-x}/GaAs 量子ドット(QDs)を検討している。今回、GaAs_xSb_{1-x}/GaAs QDs の As 組成の変化に対するキャリア寿命の変化について調べた。

【実験および結果】試料は分子線エピタキシーを用いて GaAs(001)基板上に成長した。まず 200 nm 厚の格子緩和 GaAs_xSb_{1-x} 薄膜を作製した。Sb flux は 8×10^{-6} Pa で固定し、As flux を 0, 1, 3, 4.5, 6×10^{-4} Pa と変化させた。高分解 X 線回折により As 組成は 6%, 11%, 21%, 30%, 38% と見積もられた。

次に同 As/Sb flux 条件を用いて単層 QDs を成長し、150 nm 厚の GaAs で埋込んだ。5K における各 GaAsSb QDs からの発光の時間分解スペクトルを測定し、2 成分(τ_1, τ_2)の指数関数モデルを用いてフィッティングを行った。Fig.1 に示すようにキャリア寿命 τ_1, τ_2 は As 組成 20% 程度の試料で最大となった。

Fig.1 の組成変化の要因を調べるため、nextnano を用いて電子と正孔の波動関数の重なりからキャリア寿命の As 組成依存性を計算した結果[2][3]、QD 近傍の光キャリアの蓄積がない(キャリア密度 0 cm^{-3})ときは Fig.2 の青線のようにキャリア寿命は As 組成が大きくなるにつれて減少した。一方、光照射によるキャリアの蓄積を考慮してキャリア密度 $1 \times 10^{25} \text{ cm}^{-3}$ を与えるとキャリア寿命は As 組成 17% 前後で最大となり、実験結果と同様の傾向が得られた。

Type-II 型のバンド構造では、光照射により励起した電子が QDs 近傍に局在化すると考えられている[3]。As 組成が大きくなると伝導帯オフセットが減少し、QDs 近傍に局在する電子の波動関数分布が小さくなることでキャリア寿命が増大したと考えられる。

【謝辞】本研究は、国立研究開発法人 NEDO「壁面設置太陽光発電システム技術開発」の委託の下で行われた。

- [1] Y. Shoji *et al.*, AIP Advances 7 (2017) 065305.
- [2] C. W. Lee and A. J. Peter, Phys. Scr. 85 (2012) 015704.
- [3] nextnano³ semiconductor software solutions, <https://www.nextnano.de/index.php> (2021).
- [4] M. Jo *et al.*, Nanoscale Res. Lett. 7, 654 (2012).

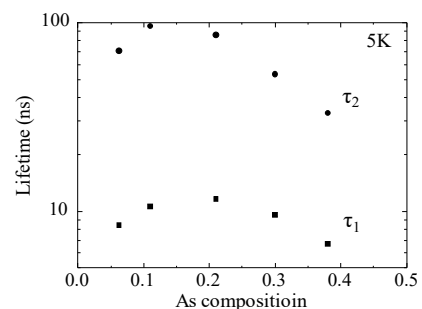


Fig.1. As composition dependence of carrier lifetime obtained in experiments.

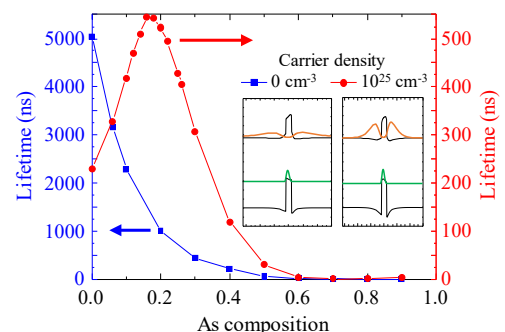


Fig.2. As composition dependence of carrier lifetime calculated with carrier density 0 cm^{-3} (blue) and $1 \times 10^{25} \text{ cm}^{-3}$ (red) of QDs with a 4 nm-height, 10 nm-diameter, and 0.3 nm-wetting layer thickness. Insets show band diagrams of QDs with 20% As composition.