

タイプ II 型積層 Ge 量子ドットの近接化と太陽電池応用

Fabrication of type-II multi-stacked Ge quantum dots for solar cells application

東工大¹, 産総研², [○]後藤和泰¹, 大島隆治², 菅谷武芳², 坂田功², 松原浩司², 近藤道雄^{1,2}

Tokyo Tech¹, AIST², [○]K. Gotou¹, R. Oshima², T. Sugaya², I. Sakata², K. Matsubara², M. Kondo²

E-mail: gotou.k.ab@m.titech.ac.jp

【はじめに】

現在、価電子帯と伝導帯の間に中間バンドを導入した高効率中間バンド型太陽電池が注目されている。中間バンド型太陽電池は、従来の価電子帯と伝導帯間の光学遷移に加えて、中間バンドを介した 2 段階の光学遷移を利用することにより太陽光スペクトルとの整合性が向上し、高い変換効率が得られることが予測されている（最適バンド構成かつ最大集光下で 63%）[1]。我々は、中間バンドを形成するために量子ドット超格子を用いることを検討している。この時、高均一かつ高密度な量子ドットを近接化させた構造が必要である。前回、Ge の高速堆積と成長中断からなるパルス成長法により、高均一かつ高密度な Ge 量子ドットの作製について報告した[2]。今回、パルス成長法で作製した積層 Ge 量子ドットを近接化させた結果について報告する。

【実験】

MBE 法を用いて Si(001) 基板の上に 20 層積層 Ge 量子ドット構造を作製した。Si および Ge 原料は電子ビームにより加熱した。Si 基板の表面処理には一般的な RCA 洗浄を用いた。その後、基板温度 850 °C で熱クリーニング処理を行い、基板温度 600 °C で約 150 nm 厚の Si バッファ層を成長させた。次に、基板温度 500 °C に下げ、堆積速度 2.8 Å/s で 5 ML 厚の Ge を堆積し、Ge 量子ドットを形成させ、Si 中間層により埋め込んだ。このときの Si 中間層膜厚 (d_{SL}) は、40 nm, 20 nm, 10 nm である。

【結果】

図 1 は、 $d_{SL} =$ (a) 40 nm, (b) 20 nm, (c) 10 nm の積層 Ge 量子ドット試料の断面 STEM 像である。パルス成長法により作製した量子ドット構造は、近接化させた場合に顕著化する局所歪みの蓄積や格子緩和によるミスフィット転位が生じていないことが分かる。これは、パルス成長法により高密度かつサイズの小さな Ge 量子ドット（平均高さ：1.8 nm, 平均直径：29.9 nm, 面密度： $\sim 5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ ）が形成されるために、残留歪みが面内に局在化しにくい量子ドット構造であると考えられる。また、Ge 量子ドットの積層方向の配列率は(a) 7.1%, (b) 36.0%, (c) 82.7%であり、中間層が薄いほど配列率が高くなった。これは、直下の Ge 量子ドット層の歪みの伝搬が、中間層が薄いほど強くなることを示している。図 2 は、各積層 Ge 量子ドットの 12 K での PL スペクトルである。PL ピーク位置はそれぞれ(a) 0.831 eV, (b) 0.829 eV, (c) 0.816 eV であり、中間層を薄くするに従って PL 発光が長波長化した。さらに、(c) $d_{SL} = 10 \text{ nm}$ の試料の PL 発光強度が顕著に減少しており、電気的結合が生じている可能性が考えられる。

〈参考文献〉

- [1] A. Luque and A. Martí, Phys. Rev. Lett. **78** (1997) 5014.
 [2] 2013 年春季 応用物理学術講演会 (28p-PA2-3) .

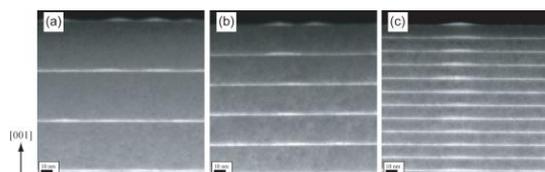


Fig. 1 Cross-sectional STEM images for 20-layer stacked Ge QDs embedded with $d_{SL} =$ (a) 40 nm, (b) 20 nm, and (c) 10 nm, respectively.

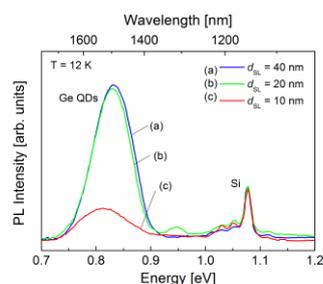


Fig. 2 PL spectra at 12K for 20-layer stacked Ge QDs embedded with $d_{SL} =$ (a) 40 nm, (b) 20 nm, and (c) 10 nm, respectively.