

タイプII型Ge/Si量子ドットの作製と太陽電池応用

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}

¹東京工業大学 大学院総合理工学研究科 物質科学創造専攻

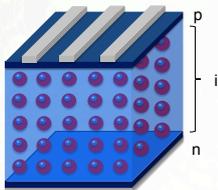
²産業技術総合研究所

研究の目的 —中間バンド型太陽電池—

中間バンドを導入した新概念太陽電池

- 高エネルギーの光子 価電子帯 (VB) と伝導帯 (CB) の光学遷移 (VB→CB)
- 低エネルギーの光子 中間バンドを介した2段階の光学遷移 (VB→IB, IB→CB)

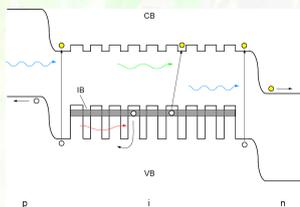
理論限界効率 ≤ 63% (最大集光下)^[1]



量子ドット超格子による中間バンドの形成^[2]

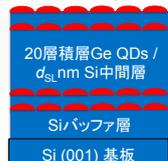
研究課題

- 高均一、高密度な量子ドットの形成
- 量子ドットの配列の制御
- 発光再結合損失の抑制



実験

固体ソース分子線エピタキシー法 (SS-MBE)



成長手順

1. RCA洗浄
2. 熱クリーニング (850 °C, 10分)
3. Si バッファ層 (600 °C, 150nm)
4. Ge量子ドット形成

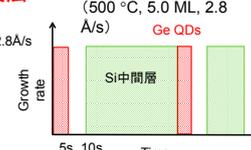
Ge量子ドットの新たな成長法

パルス成長法^[3]

高速堆積 + 成長中断
(500 °C, 5.0 ML, 2.8 Å/s)

連続成長法 (従来法)

低速堆積
(560 °C, 6.0 ML, 0.2 Å/s)

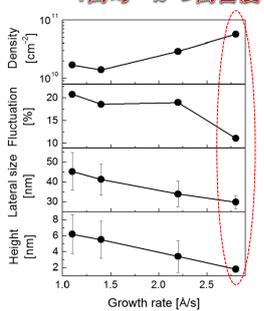
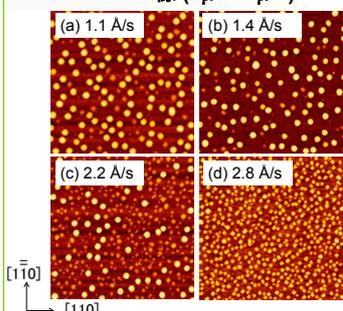


結果

Ge量子ドットの堆積速度依存性

AFM像 (1μm×1μm)

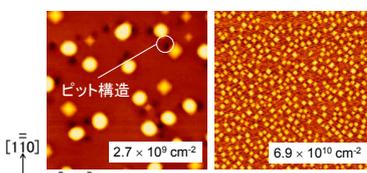
パルス成長法
: 高均一かつ高密度



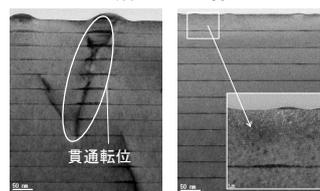
Ge量子ドットの積層成長

AFM像 (1μm×1μm)

連続成長法 (20 QD) パルス成長法 (20 QD)



断面STEM像



積層Ge量子ドットの中間層膜厚の検討

パルス成長法により作製

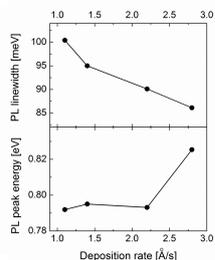
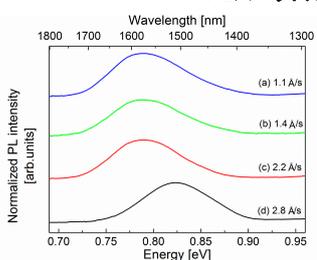
(a) $d_{SL} = 40$ nm (b) $d_{SL} = 20$ nm (c) $d_{SL} = 10$ nm

d_{SL} [nm]	40	20	10
配列確率 [%]	7.1	36.0	82.7

- Si中間層の薄膜化により配列率が向上 ⇨ 歪の伝搬^[4,5]
- 中間層を10 nmに薄膜化させても転位は発生しない

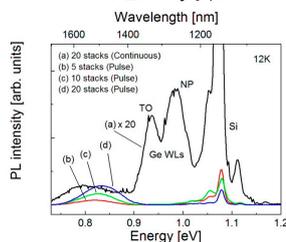
PL発光ピークエネルギーの励起光強度依存性

PLスペクトル



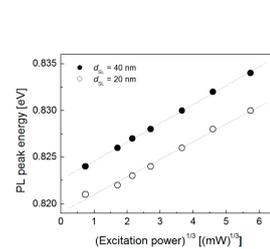
- ドーム型の量子ドット, ピラミッド型のPL発光エネルギーは, それぞれ ~0.79 eV, 0.82 eV ⇨ 量子サイズ効果^[6]
- 堆積速度2.8 Å/s (パルス成長)において狭線幅 (FWHM ~ 86.1 meV)

PLスペクトル



- パルス成長法で作製された量子ドットからのPL発光は, 連続成長法に比べて強度が約20倍強い
- パルス成長法において, PL発光強度は積層数に比例して増大

タイプI



タイプII

- PL発光ピークエネルギーは, 励起光強度の3乗根に比例 ⇨ タイプIIヘテロ構造^[7]

結論

- SS-MBE法を用いてSi基板の上に積層Ge自己形成量子ドットを作製し, 中間バンド太陽電池への応用を検討した.
- 堆積速度2.8 Å/s, 成長中断5sから成るパルス成長法を用いた場合, 高均一 (サイズ揺らぎ: ~10%), かつ高密度 (~7 × 10¹⁰ cm⁻²) のGe量子ドットが形成された.
- パルス成長法を用いることにより, 構造的, 光学的に高品質な多重積層Ge量子ドットが作製できた.
- Ge/Si量子ドットからのPL発光がタイプII型の発光特性を示すことが分かった.

参考文献

- [1] A. Luque *et al.*, Phys. Rev. Lett. **78** (1997) 5014.
- [2] A. J. Nozik, Physica E **14** (2002) 115.
- [3] K. Gotoh *et al.*, J. Cryst. Growth. (in press).
- [4] J. Tersoff *et al.*, Phys. Rev. Lett. **76** (1996) 1675.
- [5] Vinh Le Thanh *et al.*, Phys. Rev. B **60** (1999) 5851.
- [6] H. Sunamura *et al.*, Appl. Phys. Lett. **66** (1995) 3024.
- [7] N. N. Ledentsov *et al.*, Phys. Rev. B **52** (1995) 14058.