

P 添加が Ge コア Si 量子ドットの PL 特性に及ぼす影響

Effect of P-Doping on Photoluminescence Properties of

Si Quantum Dots with Ge Core

名大院工 °近藤 圭悟, 牧原 克典, 宮崎 誠一

Nagoya Univ., °Keigo Kondo, Katsunori Makihara and Seichi Miyazaki

E-mail: makihara@nuee.nagoya-u.ac.jp

序 > SiH₄ と GeH₄ の LPCVD において、反応初期過程を交互に精密制御することによって、熱酸化膜上に Ge 核を有する Si 量子ドットを自己組織化形成でき[1]、このコア/シェル構造におけるフォトルミネッセンス (PL) は、Ge コアからの発光が支配的であることを明らかにした[2]。本研究では、P をデルタドーピングした Ge コアを有する Si 量子ドットを形成し、Ge コア内へのイオン化不純物添加が発光特性に及ぼす影響を評価した。

実験 > n-Si (100) 基板上に 1000 °C で膜厚 ~4nm の SiO₂ 膜を形成し、希釈 HF 処理を施した後、pure SiH₄ ガスおよび 5%He 希釈 GeH₄ ガスを用いた LPCVD により、Ge コア Si 量子ドットを自己組織化形成した。その後、リモート He 希釈 1%O₂ プラズマにより ~2nm のラジカル酸化膜をドット表面に形成した。また、GeH₄ CVD 中に He 希釈 1% PH₃ をパルス導入し、P のデルタドーピングを行った。PL 測定は、検出器に PbS フォトダイオードを用い、励起光源は半導体レーザー (波長:979nm、出力:~40W/cm²) を使用した。

結果および考察 > 作成した試料の AFM 表面形状像から、P 添加の有無に依らず Ge コア Si 量子ドットが面密度 ~10¹¹cm⁻² (平均ドット高さ :~8.0nm) で形成されていることを確認した。形成した真性および P 添加 Ge コア Si 量子ドットの室温 PL スペクトルは、いずれも 0.6~0.8eV のブロードなスペクトルであり、真性ドットからの PL スペクトルは、4成分(Comp. 1 :~0.695eV, Comp. 2 :~0.726eV, Comp. 3 :~0.751eV, Comp. 4 :~0.656eV)で分離することができた(Fig. 1(a))。一方、P 添加 Ge コア Si 量子ドットでは、真性ドットの 4 成分に加え、新たな成分(Comp. 5 :~0.684eV)が認められる(Fig. 1(b))。これらのスペクトル成分は、低温(~77K)PL スペクトルにおいても、同様のエネルギー成分で波形分離することができ、PL の温度依存性から、Comp. 1~3 は、温度の低下とともに、いずれも同様に積分強度が増大することから、これらの成分は、Ge コアの量子準位間での電子-正孔再結合で説明できる(Fig. 2)。また、P 添加 Ge コア Si 量子ドットで新たに認められた発光成分は、第一量子準位間での発光より僅かに低エネルギー側であることから、P ドナー準位-Ge 価電子帯での発光再結合であると解釈できる。また、Comp. 4 の室温での発光強度は、P 添加により大幅に低減していることから、Si-Ge 界面における P ドナー準位より深い準位が寄与していると考えられる。

結論 > Ge コア Si 量子ドットからの PL は、Ge コアでの電子-正孔再結合が支配的であり、Ge コアへの P のデルタドーピングにより、P ドナー準位を介した発光再結合が顕著に増加することがわかった。

文献 > [1] Y. Darma et al., Nanotech. 14 (2003) 413. [2] 近藤 他, 第 61 回春季応用物理学会, 19p-D9-11, 3 月 2014 年

謝辞 > 本研究の一部は、科研費基盤研究(A)および若手研究(A)の支援を受けて行われた。

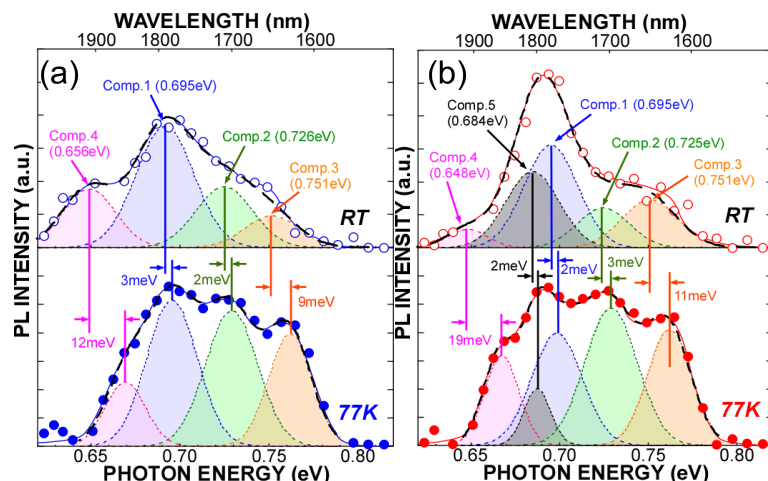


Fig. 1 PL and deconvoluted spectra from undoped (a) and P-doped (b) Ge core Si-QDs at room temperature and 77K.

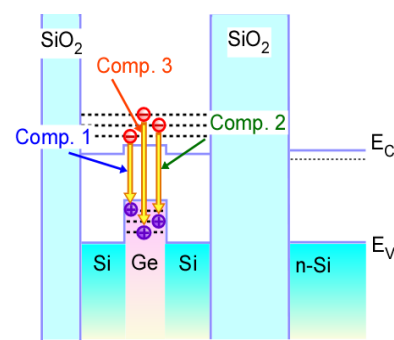


Fig. 2 Energy band diagram of Ge core Si-QDs.