

Ge コア Si 量子ドットの発光メカニズム

Photoluminescence Mechanism of Si Quantum Dots with Ge Core

名大院工 °近藤 圭悟, 池田 弥央, 牧原 克典, 宮崎 誠一

Nagoya Univ., °Keigo Kondo, Mitsuhsa Ikeda, Katsunori Makihara and Seiichi Miyazaki

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

序> これまでに、 SiH_4 および GeH_4 の LPCVD において、反応初期過程を精密制御することによって、Si 熱酸化膜上に Ge コア/Si シェル量子ドット構造を自己組織的に高密度・一括形成でき [1]、フォトルミネッセンス (PL) の温度依存性から、このコア/シェル構造からの発光は、Ge コアにおける量子準位間の発光再結合に起因する $0.6\sim 0.8\text{eV}$ のブロードなスペクトルを示し、P 添加 Ge コアでは、P ドナー準位を介した発光再結合が顕在化することが分かった [2]。本研究では、Ge コア Si 量子ドットの発光メカニズムに関する知見を得るため、低温における PL の励起光強度依存性を評価した。

実験> n-Si (100) 基板上に 1000°C で膜厚 $\sim 4\text{nm}$ の SiO_2 膜を形成し、希釈 HF 処理後、pure SiH_4 ガスおよび 5%He 希釈 GeH_4 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、He 希釈 1% O_2 のリモートプラズマにより $\sim 2\text{nm}$ のラジカル酸化膜をドット表面に室温で形成した。また、 GeH_4 CVD 中に He 希釈 1% PH_3 をパルス導入することで、P をデルタドープした Ge コアを含有する Si 量子ドットを作成した。尚、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 $\sim 10^{11}\text{cm}^{-2}$ (平均ドット高さ $\sim 8.0\text{nm}$) で形成されていることを確認している。PL 測定は、検出器に PbS フォトダイオード、励起光源に半導体レーザー (波長: 979nm) を用い 72K で行った。尚、レーザー出力は $0.5\sim 15\text{W/cm}^2$ で変化させた。

結果および考察> 真性および P 添加 Ge コア Si 量子ドットをレーザー出力 $\sim 15\text{W/cm}^2$ で励起したときの 72K での PL には、 $0.6\sim 0.8\text{eV}$ にブロードなスペクトルが観測され、真性ドットのスペクトルは 4 成分 (Comp. 1: $\sim 0.69\text{eV}$, Comp. 2: $\sim 0.72\text{eV}$, Comp. 3: $\sim 0.75\text{eV}$, Comp. 4: $\sim 0.65\text{eV}$)、P 添加ドットは、真性ドットの 4 成分と Comp. 5 ($\sim 0.68\text{eV}$) で分離することができる (Fig. 1)。また、各成分の温度依存性から、Comp. 1-3 は、Ge コアの量子準位間の発光再結合であり、Comp. 4 は、Si クラッドの伝導帯の量子準位から Ge コアの価電子帯の量子準位への電子遷移に伴った発光であると考えられる。尚、P 添加 Ge コアで観測された Comp. 5 は Ge コアの価電子帯の第一量子準位と P ドナー準位間の発光再結合として解釈できる。また、 72K において、P 添加 Ge コアの各 PL 成分における発光強度の励起光強度依存性をまとめた結果 (Fig. 2)、いずれの成分も励起光強度の増大に伴い、発光強度の増大が認められるが、Ge コアの量子準位間の発光再結合に起因する Comp. 1-3 の発光強度は、励起光強度 $\sim 6\text{W/cm}^2$ 以上で飽和することが分かった。これは、光励起キャリア密度の増大によりオージェ再結合が顕在化する結果として説明できる。

結論> Ge コア Si 量子ドットにおいて、 $0.6\sim 0.8\text{eV}$ に観測された Ge コアの量子準位間の発光再結合に起因する PL の強度は、励起光強度 $\sim 6\text{W/cm}^2$ 以上で、オージェ再結合が顕在化するため飽和することが分かった。

文献> [1] Y. Darma et al., Nanotech. 14 (2003) 413. [2] K. Kondo et al., J. Appl. Phys. 119 (2016), in press.

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

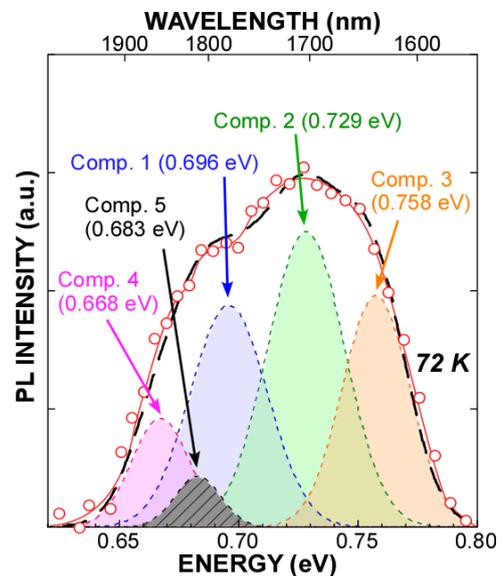


Fig. 1 PL spectra for Si-QDs with P-doped Ge core at 72K and its synthetic spectrum.

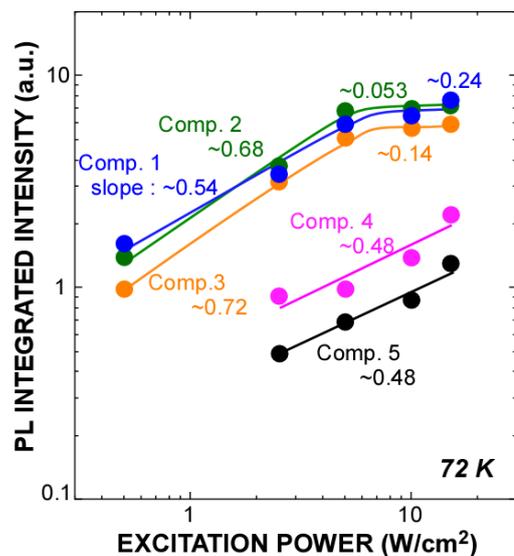


Fig. 2 Excitation power dependence of PL intensity for each components of Si-QDs with P-doped Ge core.