

電子・正孔交互注入による Ge コア Si 量子ドット多重集積構造の発光特性

Luminescence of Multiply Stacked Si Quantum Dots with Ge Core by Alternate Carrier Injection

名大院工 ° 牧原 克典, 池田 弥央, 藤村 信幸, 大田 晃生, 宮崎 誠一
Nagoya Univ., °K. Makihara, M. Ikeda, N. Fujimura, A. Ohta and S. Miyazaki
E-mail: makihara@nuee.nagoya-u.ac.jp

序 > これまでに、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、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)において、Ge コアの量子準位間での電子-正孔再結合が支配的であることを明らかにした[2]。本研究では、p-Si(100)基板上に高密度 Ge コア Si 量子ドット 3 層積層構造を形成し、室温 PL およびエレクトロルミネッセンス(EL)特性を評価した。

実験 > p-Si(100)基板上に 850°C で膜厚~2nm の SiO₂ 膜を形成し、希釈 HF 処理後、pure SiH₄ ガスおよび 10%H₂ 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。次に、リモート O₂ プラズマにより厚さ~2nm のラジカル酸化膜をドット表面に形成した。尚、各工程における AFM 表面形状像測定から、Ge コア Si 量子ドットが面密度~10¹¹cm⁻²(平均コアサイズ:~6.0nm) で形成されていることを確認している。ドット表面酸化後、SiH₄ および GeH₄-LPCVD と酸化を繰り返し行うことで、Ge コア Si 量子ドット 3 層積層構造を形成した。その後、SiH₄ と Ar 希釈 O₂ (Ar:O₂=30:20) を用いたリモートプラズマ支援 CVD により約~10nm の SiO₂ 薄膜を堆積した後、上部および下部 Au/Al 電極を形成した。PL 測定は、励起光源に半導体レーザー(波長:976nm、出力:~0.33W/cm²)を用いて室温で行った。EL 測定は、p-Si 基板の上部電極周辺部に電子供給源を形成するため試料表面に 100W ハロゲンランプから赤外線フィルタを通して 100-800nm の光を照射し、矩形波電圧(500kHz, duty ratio:50%)を印加して基板裏面から行った。

結果および考察 > 形成した Ge コア Si 量子ドット 3 層積層構造からは、0.65~0.87eV にブロードな PL スペクトルが認められ、単層ドットと同様に 4 成分(Comp.1:~0.71, Comp.2:~0.75eV, Comp.3:~0.79eV, Comp.4:~0.83eV)でピーク分離できる[2]。EL スペクトルでは、電圧振幅±1.0V で 0.75eV 近傍に発光ピークが認められ、電圧振幅の増大に伴い EL 強度は増大し、高エネルギー側の増大がより顕著であった(Fig. 1)。また、得られた EL スペクトルは PL と同様に 4 成分でピーク分離でき、印加電圧の増加による各成分のピークエネルギー位置の変化は認められなかった。高周波 C-V 測定(1MHz)を可視光照射下において行った場合、反転容量が蓄積容量まで増加することから、光照射により上部電極周辺で光生成された電子が電極下の反転層に供給され、電極周辺部がキャリアの供給源となることが確認できる。従って、これらの結果は、パルスバイアス印加により基板からドットへ交互に注入された電子-正孔の量子準位間での発光再結合で説明できる。各 EL 成分の積分強度を印加電圧に対してまとめた結果、Comp.1 は±3V 以上において飽和傾向を示すものの、Comp.2-4 は印加電圧に対して指数関数的に増大することが分かった(Fig. 2)。尚、Comp.4 は±3V 以下では認められない。これらの結果から、Comp.2 は Ge コアにおける第一量子準位、Comp.3-4 は Ge コアにおける高次の量子準位を介した再結合発光であり、Comp.1 は Si クラッドから Ge コアへの電子波動関数の浸み出しにより生じる Si クラッドの伝導帯の量子準位と Ge コアの価電子帯の量子準位を介した電子-正孔再結合に起因した発光であると考えられる。

結論 > 可視光照射下における Ge コア Si 量子ドットの EL においては、p-Si(100)基板において光生成された電子と正孔がドットの量子準位に交互注入され、量子準位間での電子-正孔再結合に起因する発光が顕在化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) 033103.

謝辞 > 本研究は科研費基盤研究(S)の支援を受けて行われた。

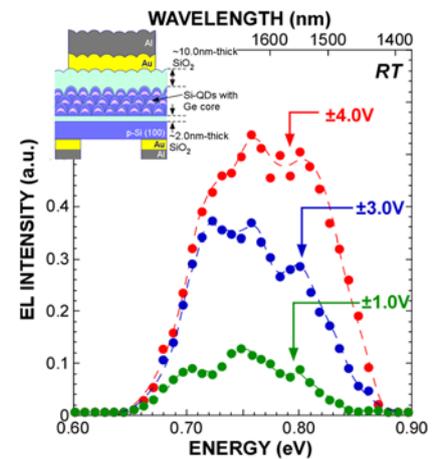


Fig. 1 EL spectra from a LED with 3-stack Si-QDs with Ge core which were taken at different square wave voltages. A schematic cross-sectional view of a LED with 3-fold Si-QDs with Ge core is shown in the inset.

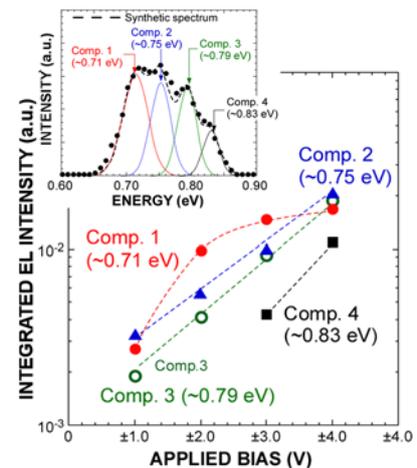


Fig. 2 Integrated EL intensity of each component as a function of applied pulsed bias. Spectral deconvolution for EL taken at a square wave voltage of ±3.0V is also shown in the inset.