

不純物添加 Si 量子ドット多重集積構造のエレクトロルミネッセンス

Study on Electroluminescence from Multiply-Stacking Valency-Controlled Si Quantum Dots

¹名大院工, ²広大院先端研 ^{○1}山田 敬久, ¹牧原 克典, ²池田 弥央, ¹宮崎 誠一¹Nagoya Univ., ²Hiroshima Univ., ^{○1}Takahisa Yamada, ¹Katsunori Makihara, ²Mitsuhsa Ikeda and ¹Seiichi MiyazakiE-mail: miyazakilab@googlegroups.com

序> これまでに、高密度に多重集積した真性 Si 量子ドットにおいて、量子準位間遷移に対応するエレクトロルミネッセンス(EL)が認められ[1]、Si 量子ドットへ B 添加すると、量子準位-B アクセプト準位間遷移による発光再結合が顕在化することを明らかにした。前回、P 添加ドットと B 添加ドットを積層した P/N ドット積層構造において、B 添加 Si 量子ドット集積構造に比べ、キャリア注入効率の向上に起因して発光強度が顕著に増大することを報告した[2]。本研究では、不純物添加および P/N 制御 Si 量子ドット多重集積構造からの室温 EL 特性を評価し、不純物添加がキャリア注入・発光効率に及ぼす影響を評価した。

実験> n-Si(100)基板を RCA 洗浄後、1000 °C、2%O₂で膜厚~3.5nm の酸化膜を形成した。その後、100mmφ の石英管に配置した 1 ターンのコイル状アンテナで励起したリモート型 ICP プラズマを用いて、Ar プラズマ処理および H₂ プラズマ処理を順次行って、反応活性サイトとなる表面 OH 結合の密度を制御した。引き続き、同一チャンバ内で SiH₄-LPCVD により高密度の Si ドット(面密度:4.5×10¹¹cm⁻²)を自己組織化形成し、更にドット表面をリモート O₂プラズマにより約 2nm 酸化した。Si 量子ドット内への P あるいは B 添加(δドーピング)には、SiH₄-LPCVD 時に He 希釈 1%PH₃および 1%B₂H₆をパルス供給した。この一連のドライプロセスを 6 回繰り返して、P、B および B(電極側 3 層)/P(基板側 3 層)添加 Si 量子ドット/SiO₂多重集積層構造を形成した。その後、窒素雰囲気中で 1000 °C、30 分のアニール処理を施し、最後に上部電極として、半透明 Au 電極(~10nm)を真空蒸着により形成した。

結果および考察> いずれの Si 量子ドット多重集積構造の電流-電圧特性においても、基板と上部電極との仕事関数差を反映した整流特性が認められ、順方向バイアス印加時に n-Si(100)基板からの電子注入と、Si 量子ドットから Au 電極への価電子放出による正孔注入に起因した近赤外域 EL が観測され、17Hz の交流電圧印加(V_{pp}:~7.0V)でも、DC 測定と同様な近赤外域 EL が観測された(Fig. 1)。得られた EL スペクトルの積分強度を投入電力依存性でまとめた結果(Fig. 2)、いずれの試料においても EL 強度は、べき乗則に従うものの、その傾きは、P および B 添加 Si 量子ドットの場合、~0.9 であるのに対し、P/N 制御 Si 量子ドットでは~1.7 であった。また、P 添加ドットの EL 強度は、投入電力に依らず B 添加に比べ低い。P 添加 Si 量子ドットでは、基板側からの電子注入効率が向上し、B 添加 Si 量子ドットにおいては、上部電極側からの正孔注入が促進されると考えられるため、この結果は、Si 量子ドットへの正孔注入効率の増加が顕著に EL 強度の増大に寄与することを示している。また、P/N 制御 Si 量子ドットにおける傾きの増大は、電子および正孔がともに高効率に注入されることに起因して発光効率が向上していると解釈できる。さらに、EL 積分強度の周波数依存性を評価した結果(Fig. 3)、B 添加 Si 量子ドットの場合は、数 kHz 程度まで EL 強度がほぼ一定であるのに対し、P 添加および P/N 制御 Si 量子ドットでは、一桁以下の周波数領域で、EL 強度が急激に低下することが分かった。この結果は、高周波領域では、P 添加 Si 量子ドットと同様に、正孔注入が発光再結合を律速することを示している。

結論> Si 量子ドット多重集積構造におけるドット内の発光再結合は正孔注入に律速されており、また、高効率発光には P/N 制御 Si 量子ドットの積層構造が極めて有効であることが分かった。

文献> [1] K. Makihara et al., Proc. AWAD (Seoul, Korea, 2005) p. 173. [2] 山田他, 第 61 回春季応用物理学会, 19p-D9-12, 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。

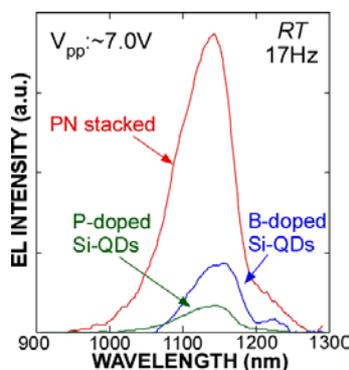


Fig. 1 EL spectra from Au-top electrode LEDs with impurity doped Si-QDs.

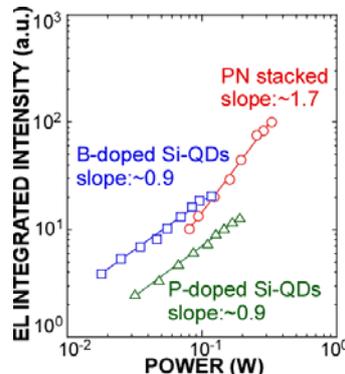


Fig. 2 Input power dependence of EL integrated intensities of impurity doped Si-QDs.

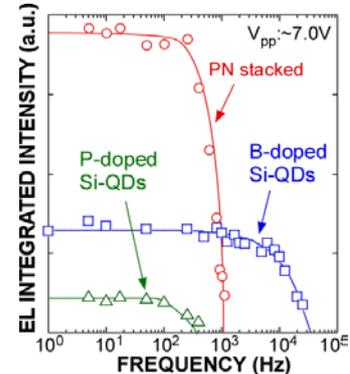


Fig. 3 Frequency dependence of EL integrated intensities of impurity doped Si-QDs.