

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特性評価 Characterization of 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, ²Mitsuhisa Ikeda and ¹Seiichi Miyazaki

E-mail: yamada.takahisa@g.mbox.nagoya-u.ac.jp

研究背景> 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 アクセプタ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。また、P 添加ドットと B 添加ドットを積層した P/N 制御 Si 量子ドットにおいて、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。

実験方法> 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い、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:~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。

特色および独創性> 価電子制御 Si 量子ドットの多重集積構造において、P/N 制御ドットでは、電子・正孔の注入効率の向上に起因して、高効率室温 EL が実現できることを実証した。

研究成果> いずれの試料の電流-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、Au 電極からの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)においても 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い、P/N 制御 Si 量子ドットにおける傾きは、P および B 添加 Si 量子ドットに比べ~2 倍であった。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ことが考えられるため、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 応答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 応答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。この結果から、~400Hz 以上の周波数領域においては、正孔輸送が EL レスポンスを律速していると解釈できる。

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.

キーワード> Si 量子ドット、エレクトロルミネッセンス

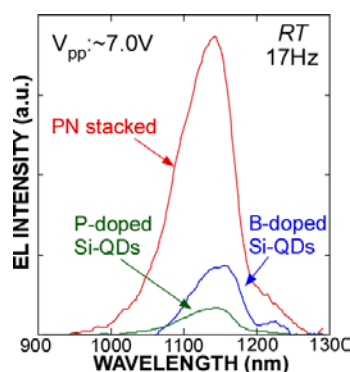


Fig. 1 EL spectra from Au-top electrode LEDs with impurity doped Si-QDs.

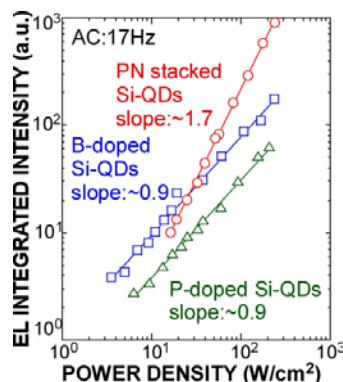


Fig. 2 Input power dependence of EL integrated intensities of impurity doped Si-QDs.

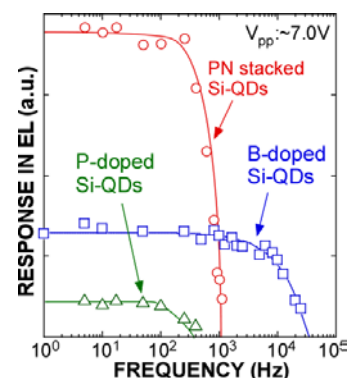


Fig. 3 Frequency dependence of response in EL from impurity doped Si-QDs.