

P/N 制御 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

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, ¹鈴木 善久, ²池田 弥央, ¹宮崎 誠一¹Nagoya Univ., ²Hiroshima Univ., ^{○1}Takahisa Yamada, ¹Katsunori Makihara, ¹Yoshihisa Suzuki,²Mitsuhisa 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)特性を報告した。また、Si 量子ドットへの B 添加によって、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[1]。本研究では、B 添加 Si 量子ドットと P 添加 Si 量子ドットの多重集積構造を形成し、EL 特性を評価した。

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[2]。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。この一連のドライプロセスを6回繰り返して、Si 量子ドット/SiO₂多重集積層構造を形成した。尚、下層3層および上層3層のドット形成時に1%PH₃、1%B₂H₆をパルス添加することで n 型集積構造と p 型集積構造とを積層した。その後、窒素雰囲気中で 1000°C、30 分のアニール処理を施した。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＞形成した B/P 添加制御した Si 量子ドット多重集積構造の電流-電圧特性において、PN 接合と類似の整流特性(整流比:3桁@+/-2V)が認められ、順方向バイアス (~2.3V 以上)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 が観測された。17Hz の交流電圧印加では、電圧振幅 V_{pp}~4.6V 以上で、DC測定と同様な近赤外域ELが観測された(Fig. 1)。Fig.2にEL積分強度のバイアス依存性を示す。横軸のバイアスは Au と n-Si 基板の仕事関数差を考慮した順方向における実効印加電圧に換算している。比較として、B 添加 Si 量子ドット6層積層構造の結果も示している。何れも発光強度はべき乗則に従うが、B/P 添加制御集積ドットにおいては、B 添加のみの場合に比べ顕著に強く、実効印加バイアスの約3乗で増加することが分かった。この結果は、下層 P 添加 Si 量子ドットでは P ドナーから生じた伝導電子が上層 B 添加 Si 量子ドットへ移動することで顕在化したイオン化 P ドナーの正電荷に起因して電子注入効率が向上することに加えて、上層 B 添加 Si 量子ドットでは B アクセプターからの正孔移動によって負電荷が顕在化することから、正孔注入も促進されることを示すと考えられる。

結論＞B/P 添加制御した Si 量子ドット集積構造では、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がわかった。

文献＞[1] K. Makihara et al., Proc. AWAD (Seoul, Korea, 2005) p. 173. [2] 山田他, 第 60 回春季応用物理学会, 29a-G6-10, 2013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。

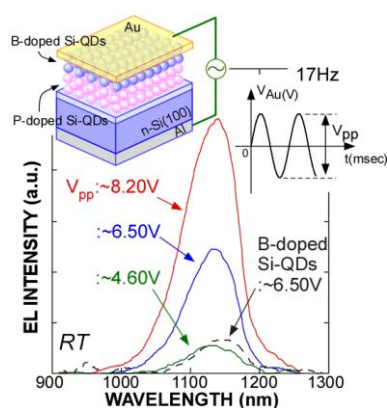


Fig. 1 EL spectra from Au-top electrode LEDs with PN stacked Si-QDs, which were taken at different AC biases at 297K. The device structure is schematically illustrated in the inset.

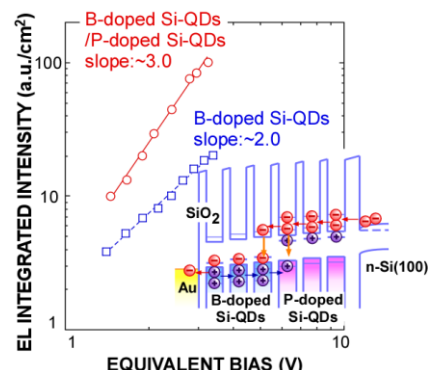


Fig. 2 Equivalent bias dependence of EL integrated intensities of PN stacked Si-QDs. B-doped Si-QDs stack is also shown as a reference. Energy band diagram of Au-LEDs with PN stacked Si-QDs is shown in the inset.