

パルスバイアス印加が一次元連結 Si 系量子ドットの電界発光に及ぼす影響 Impact of Pulsed Bias Application on Electroluminescence Properties from One-dimensionally Self-Aligned Si-based Quantum Dots

¹名大院工, ²広大院先端研 ○¹鈴木 善久, ¹牧原 克典, ¹高見 弘貴, ²池田 弥央, ¹宮崎 誠一
¹Nagoya Univ., ²Hiroshima Univ., ○¹Yoshihisa Suzuki, ¹Katsunori Makihara, ¹Hiroki Takami,
²Mitsuhisa Ikeda and ¹Seiichi Miyazaki
E-mail: miyazakilab@googlegroups.com

序＞これまでに、Si(100)上に形成した半透明 Au 電極一次元連結 Si 系量子ドットダイオード構造において、順方向バイアス印加 (n-Si 基板から電子、Au 電極から正孔注入) することで、上層ドットおよび下層ドットにおける電子-正孔再結合に起因する近赤外領域の室温 EL が認められることを明らかにした[1]。さらに、下層 SiGe ドットの正孔保持特性を反映して、SiGe ドットからの発光波長~1140nm のピーク強度が印加電圧および投入電力に対して強い依存性を示すことを報告した[2]。本研究では、一次元連結 Si 系量子ドットダイオード構造におけるキャリア蓄積に関する知見を得るために、パルス電圧印加後の EL 減衰特性を定量評価した。

実験＞n-Si(100)基板を 1000°C ドライ酸化(2%O₂)した後、希釈 HF 処理による薄膜化によって、膜厚~1.0nm の SiO₂ 薄膜を均一形成した。希釈 HF 処理後の OH 終端した SiO₂ 表面を He 希釈 10%GeH₄ に室温暴露(100Torr, 10min)した後、Si₂H₆-LPCVD(400°C)により超高密度(~10¹³cm⁻²)Si 量子ドットを自己組織化形成した。その後、GeH₄-LPCVD(380°C)により Si 量子ドット上に Ge を選択成長した後、大気圧で表面熱酸化した。引き続き、高温真空熱処理により Ge 表面酸化層の熱脱離を行った後、再度 SiH₄-LPCVD(580°C)および表面熱酸化を行い、縦積み連結した Si 系量子ドットを形成した。最後に、半透明 Au 電極(~2nm)を真空蒸着により形成した。EL 減衰特性は、Au ゲート電極に矩形パルス電圧 (Duty 比 50%)印加し、室温で行った。

結果および考察＞半透明 Au 電極ダイオード構造に、高電位を一定として、異なる低電位(V_L: -8 ~ +1V) の矩形パルスを印加した結果、何れの印加電圧範囲においても、近赤外光領域における明瞭な発光が認められ、短波長側に裾を引く特徴的なスペクトルが得られた。また、パルス電圧印加によって得られた EL スペクトルは、直流電圧印加時[1]と同様に、~1140 nm と ~1100nm にピーク波長を持つ 2 成分で分離できることから、電極側 Si ドットおよび基板側 SiGe ドットにおける発光で説明できる。発光の減衰特性を調べるため、波形分離して得られたピーク波長 1140 および 1100nm において、パルス電圧を印加した際の EL 強度の時間変化を調べた (Fig. 1)。逆バイアス(V_L)の増加による減衰時間の減少は、負バイアス印加により正バイアス印加時に基板から注入された伝導電子の基板側へ再放出が加速することに加えて、正バイアス印加時に Au 電極への価電子放出によってドット内に生じた正孔が、Au 電極からの電子注入で消失することが相乗した結果として解釈できる。上層 Si ドット(~1100nm)における減衰時間は、逆方向バイアスの増加に伴い線形的に僅かながら減少するが、下層 SiGe ドット(~1140nm)では、逆方向バイアス 2V まで減衰時間に変化は認められず、4V 以上の逆方向バイアス印加によって減少する。これは、基板側は価電子帯のポテンシャル井戸が深い SiGe であることから、2V 以下の逆方向パルス印加では基板側 SiGe ドットからの正孔放出レートが電極側 Si ドットと比べより顕著に減少するためであると考えられる。また、逆方向バイアスを印加したにも関わらず、減衰時間が大幅に減少しない結果は、n-Si(100)基板の空乏化に伴って、ドットへの実効バイアスが増加しないためと考えられる。実際に、Au 電極上部から白色光を照射して減衰特性を調べた結果、暗時に比べ 10%程度の減衰時間の減少が認められた。

結論＞半透明 Au 電極/一次元連結ドット/n-Si(100)ダイオード構造に、矩形波パルス電圧印加して、発光の減衰特性を評価した結果、連結ドット内に注入された伝導電子および正孔の基板および電極への放出が逆方向バイアス印加によって加速されるため、パルス応答速度の向上には、逆方向バイアスの印加が有効であることが分かった。

文献＞[1] K.Makihara et al., Jpn J.Appl.Phys. (2012) 04DG08.[2] 高見 他, 第 59 回春季応用物理学会, 18p-A1-5, 2012 年

謝辞＞本研究の一部は、科研費基盤研究(A)の支援を受けて行われた。

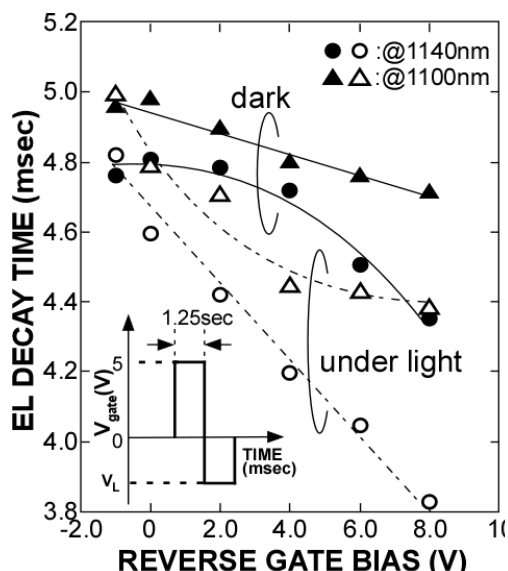


Fig. 1 EL decay time of 1100nm and 1140nm emission components as functions of reverse gate bias in a Au/self-aligned Si-QDs/n-Si(100) diode, which were measured with and without cold light irradiation.