

Ge コア Si 量子ドット/Si 量子ドット多重連結構造からの電界電子放出特性 および電子放出エネルギー評価

Characterizations of Electron Field Emission and Kinetic Energy of Emitted Electrons from Multiply-Stacked Structures consisting of Ge-Core Si Quantum Dots and Si Quantum Dots

名大院工 °二村 湧斗, 牧原 克典, 大田 晃生, 池田 弥央, 宮崎 誠一

Nagoya Univ. °Yuto Futamura, Katsunori Makihara, Akio Ohta, Mitsuhsa Ikeda and Seiichi Miyazaki

E-mail: makihara@nuee.nagoya-u.ac.jp

序>n-Si(100)上に形成した Si 量子ドット多重連結構造において、上部に形成した極薄 Au 電極に 6V 以上印加した場合、最上段の Si 量子ドットから上部電極への価電子トンネリングによる正帯電が顕在化し、連結構造上部に電界が集中することに起因して、電子放出が認められる[1]。本研究では、ドット多重連結構造における内部電界分布の制御を意図して、正帯電に有効な閉じ込めポテンシャルが実現できる Ge コア Si 量子ドットに着目し[2]、Si 量子ドット多重連結構造上に Ge コア Si 量子ドットを形成したハイブリッド構造において電界電子放出特性及び電界放出電子の運動エネルギーを評価した。

実験>n-Si(100)基板を RCA 洗浄後、800°C 酸素雰囲気中(933Pa)で~2nm の熱酸化膜を形成し、SiH₄-LPCVD により Si 量子ドット(面密度: 4.5×10¹¹cm⁻²、平均ドット高さ: ~3.0nm)を自己組織化形成した。その後、熱酸化によりドット表面に~2nm の SiO₂を形成した。これらのプロセスを繰り返すことで 11 層の Si 量子ドット多重集積構造を形成した。その後、SiH₄-LPCVD と GeH₄-LPCVD により Ge コア Si 量子ドット(面密度: 4.0×10¹¹cm⁻²、ドット高さ: ~8.3nm、コア高さ: ~2.3nm)を形成した後、H₂O₂:H₂O=3:7 の溶液中(80°C)において~2nm の酸化膜をドット表面に形成した。これらを繰り返すことで Ge コア Si 量子ドット(2 層)/Si 量子ドット(11 層)の多重連結構造を形成し、最後に、極薄 Au 上部電極および Al 裏面電極を蒸着形成した。電子放出特性は、真空中(~10⁻²Pa)において、試料表面から~10mm の距離に 40V 印加したアノード電極を配置し、裏面電極に電圧印加(上部電極: 接地電位)することで評価した。尚、比較として Ge コア Si 量子ドットを形成していない Si 量子ドット 13 層連結構造においても同様に電子放出特性を評価した。

結果及び考察>Ge コア Si 量子ドットを積層した場合、電界電子放出が認められ、Si 量子ドット多重連結構造と比較して大幅な電子放出の増大および電子放出の閾値電圧の低下が確認できる(Fig. 1)。また、試料電圧 14V 一定とし、アノード電極に減速バイアスを印加することで測定した運動エネルギー分布から、最大放出電子密度の運動エネルギーは、Ge コア Si 量子ドットを積層することで~2eV 増大することが分かった(Fig. 2)。また、運動エネルギー分布から算出した最大放出電子電流が得られた運動エネルギーを試料電圧に対してまとめた結果、Ge コア Si 量子ドットを積層することで放出電子の運動エネルギーは増大し、試料間電圧の増加に伴い運動エネルギーのピーク差も増大する結果が認められた。これらの結果は、Ge コアの正孔に対する深い閉じ込めポテンシャルに起因して、上層に形成した Ge コア Si 量子ドットから上部電極への価電子放出に伴う正帯電が顕在化し、Ge コア Si 量子ドット-Si 量子ドット間の層間絶縁膜の電界集中がより顕著になるため、放出電子電流が大幅に増大したと解釈できる。

結論>Ge コア Si 量子ドット/Si 量子ドット多重連結構造の電界電子放出について評価した結果、Ge コア Si 量子ドットの正帯電による内部電界集中に起因して、放出電子の運動エネルギー及び放出電子電流が増加することがわかった。

文献>[1] D. Takeuchi et al., Thin Solid Films 602 (2016) 68. [2] Y. Darma et al., Nanotech. 14 (2003) 413.

謝辞>本研究の一部は、科研費基盤研究(S)の支援を受けて行われた。

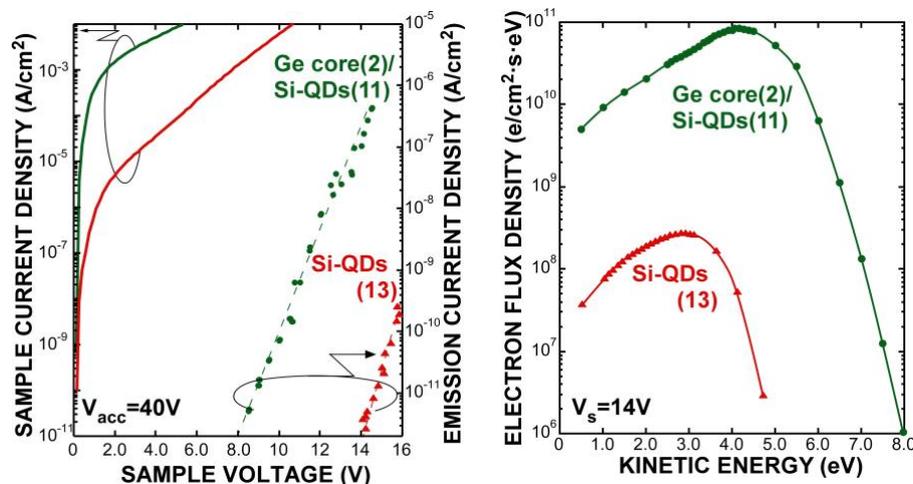


Fig. 1 Sample current-, and electron emission current-voltage characteristics of multiple stacked Si-QDs with and without Ge core Si-QDs.

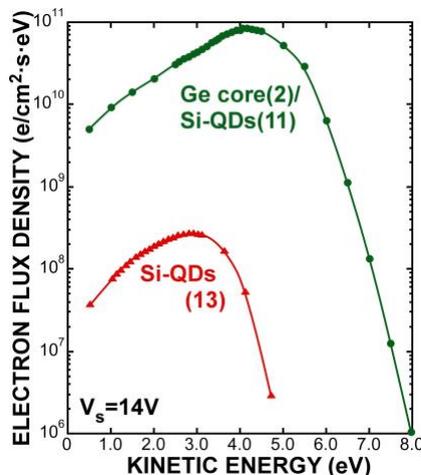


Fig. 2 Kinetic energy distributions of electrons emitted from multiple stacked Si-QDs with and without Ge core Si-QDs.

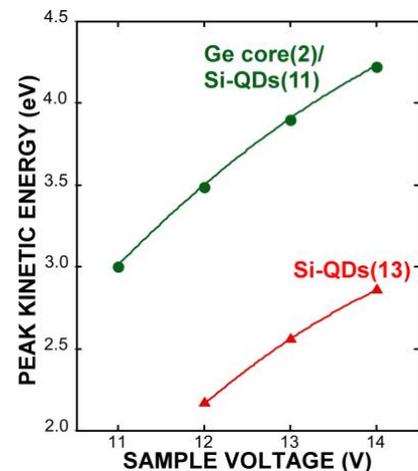


Fig. 3 Bias dependences of peak kinetic energy of electrons emitted from the samples as shown in Fig. 2.