

Ge コア Si 量子ドット/Si 量子ドット多重集積構造からの電界電子放出 Electron Field Emission 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> SiH₄ の LPCVD において、反応初期過程を精密制御することで Si 熱酸化膜上に Si 量子ドットを高密度・一括形成でき、SiH₄-LPCVD とドット表面酸化を繰り返すことで Si 量子ドット多重集積構造が形成できることを報告してきた。さらには、n-Si(100)上に形成した Si 量子ドット多重集積構造において、極薄 Au 上部電極を形成し 6V 以上印加した場合、Au 電極直下の最上段の 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、Au 電極近傍に電界が集中する結果、Si 量子ドット多重集積構造から電子放出が起きることを明らかにしてきた[1]。本研究では、ドット多重集積構造における電界集中の促進を意図して、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 量子ドット多重集積構造上に 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た。引き続き、同一チャンバ内にて SiH₄-LPCVD により Si 量子ドット(面密度: $4.5 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ 、平均ドット高さ: ~3.0nm)を自己組織化形成後、熱酸化することでドット表面に~2nm の SiO₂ を形成し、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 を精密制御することで Ge コア Si 量子ドット (面密度: $4.0 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ 、ドット高さ: ~8.3nm、コア高さ: ~2.3nm)を形成した。その後、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、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)の多重集積構造を形成した。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(陽極酸化 Au プレート: 10mm×10mm)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 11 層積層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> 作製した試料の電流-電圧特性には整流特性が認められ、順方向バイアス印加時において、Ge コア Si 量子ドットを形成した試料の電流レベルは、Si 量子ドット 11 層構造に比べて総膜厚(層数)が増大しているにもかかわらず大幅に増大した。また、順方向バイアス~8V 以上において、明瞭な電子放出が認められ、印加電圧の増大に伴い電子放出電流は指数関数的に増加した。一方、Si 量子ドット多重集積構造では、印加電圧~10V 以上において電子放出が認められる。これらの結果は、順方向バイアス印加により、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、Si 量子ドットに比べ電界集中がより顕著になるため、基板からの電子注入レートが増大したとして解釈できる。

結論> Ge コア Si 量子ドット/Si 量子ドット多重集積構造の電子放出特性および試料電流-電圧特性を評価した結果、最上層に配置した Ge コア Si 量子ドットの正帯電が電界集中を促進し、電子放出電圧の低減に有効であることが分かった。

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。

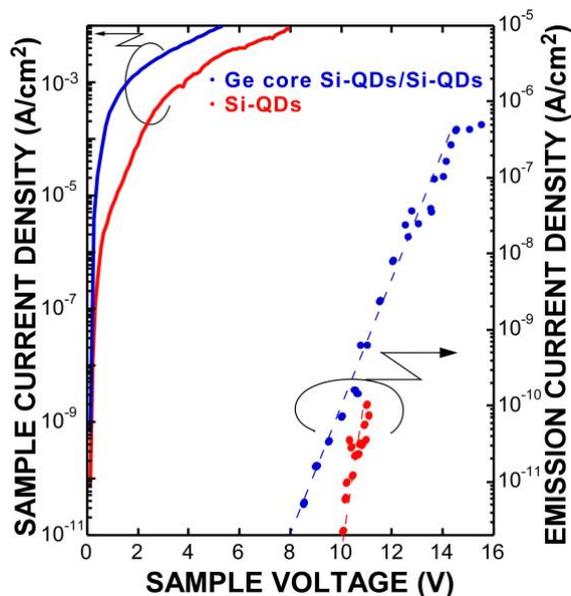


Fig. 1 Electron emission and current-voltage characteristics of multiply-stacked Si-QDs with and without Ge core Si-QDs.