

P 添加 Si 量子ドット多重集積構造の電界電子放出特性 Characterization of Electron Emission from Multiply-Stacking P-doped Si Quantum Dots by Atomic Force Microscopy Using a Conducting-Probe

¹名大院工, ²名大 VBL, ³広大院先端研 ^{○1}竹内 大智, ¹牧原 克典, ²大田 晃生,
³池田 弥央, ¹宮崎 誠一

¹Nagoya Univ., ²Nagoya Univ. VBL, ³Hiroshima Univ., ^{○1}Daichi Takeuchi, ¹Katsunori Makihara,
²Akio Ohta, ³Mitsuhsa Ikeda and ¹Seiichi Miyazaki

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

序 > これまでに、n-Si(100)基板上に高密度形成した Si 系量子ドット積層構造において、極薄 Au 電極形成後、導電性 AFM 探針を用いて表面形状像と二次元電流像を大気中で非接触測定することで、基板バイアス-5V 以上で Fowler-Nordheim トンネルに起因した電子放出が顕在化することを報告した [1]。本研究では、P をデルタドーピングした Si 量子ドット積層構造を形成し、Si 量子ドットへのイオン化不純物添加が電子放出に及ぼす影響を同様の手法を用いて評価した。

実験 > n-Si(100)基板を RCA 洗浄後、1000°C、2%O₂ 中で膜厚 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。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: $4.5 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$)を自己組織化形成した。Si 量子ドットへの P 添加 (δ ドーピング)は、He 希釈 1% PH₃ をパルス導入によって行った。Si 量子ドット形成後、リモート He 希釈 1% O₂ プラズマにより ~2nm のラジカル酸化膜をドット表面に形成した。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 多重集積構造を形成した。最後に、上部に極薄 Au 電極 (~10nm) および裏面 Al 電極を真空蒸着した。形成した Si 量子ドット集積構造からの電子放出特性は、上部 Au 電極を接地電位、下部 Al 電極に直流負バイアスを印加した状態で、接地電位の導電性 AFM 探針(Au コート Si カンチレバ)を用いて上部 Au 電極上を非接触で二次元電流像を観察することで評価した。

結果及び考察 > 接触測定した真性および P 添加 Si 量子ドット 6 層集積構造の表面形状像および探針-試料間距離 ~200nm で非接触測定した DC バイアス印加(-10V : 上部 Au 電極接地電位)時の二次元電流像を Fig. 1 に示す。二次元電流像は、電流密度の高い領域が白色に表示されている。いずれの試料においても、電子放出に起因した高伝導領域が明瞭に観測され、その電流レベルは、真性 Si 量子ドットでは ~1nA であるのに対して、P をデルタドーピングした場合には ~3nA であり、表面全体から均一に電子放出が起きていることが分かる。これらの結果は、P デルタドーピングでは P ドナーから生じた伝導電子が Au 上部電極に放出され、P ドナーの正電荷が顕在化し、n-Si(100)基板からの電子注入効率が向上するためと考えられる。また、P 添加 Si 量子ドット集積構造において電子放出に起因する電流レベルを印加電圧に対してまとめた結果(Fig. 2)、電子放出のしきい値電圧は、~6V であり、印加電圧の増大に伴い、電流レベルは指数関数で増加することが分かった。これは、基板から注入された電子が、P 添加 Si 量子ドット集積構造内を弾道伝導し、極薄 Au 電極を貫いて大気へ放出していると解釈できる。

結論 > P 添加 Si 量子ドット集積構造では、P 添加なし真性 Si 量子ドット集積構造に比べ、弾道電子放出が増大(放出電流レベルで ~3 倍)することが明らかになった。これは、P ドナーから生じた伝導電子の放出に起因した正電荷の顕在化した結果と解釈できる。

文献 > [1]竹内大智 他、第 61 回応用物理学会春季学術講演会 (19p-D9-13) 2014

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。

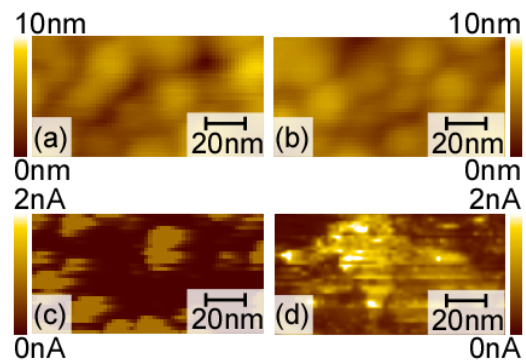


Fig. 1 Topographic (a, b) and current images (c, d) of multiply-stacked undoped (a, c) and P-doped (b, d) Si-QDs structures covered with a semitransparent Au electrode. The current images were taken by applying DC bias to the Al back contact with respect to the top Au electrode at -10V

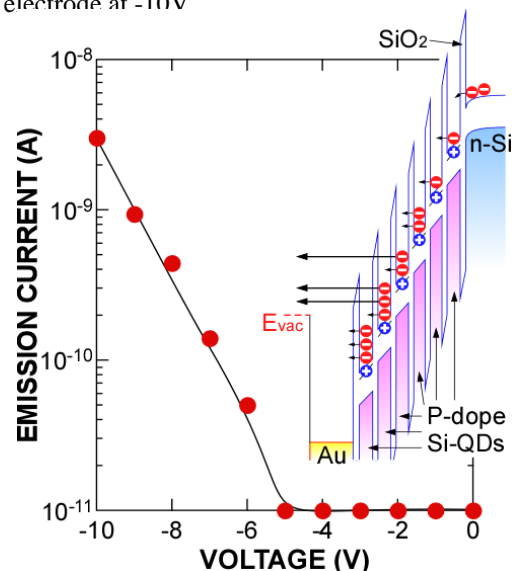


Fig. 2 Emission current from a multiply-stacked P-doped Si-QDs structure as a function of applied bias. Energy band diagram of the sample, in which -10 V was applied to Al back contact with respect to the top Au electrode, was shown in the inset.