

Si 量子ドット多重集積構造からの電界電子放出特性評価

Characterization of Electron Emission from Multiply-Stacking Si Quantum Dots

名大院工¹, 名大 VBL², 広大院先端研³°竹内 大智¹, 牧原 克典¹, 大田 晃生², 池田 弥央³, 宮崎 誠一¹Nagoya Univ.¹, Nagoya Univ. VBL², Hiroshima Univ.³,°Daichi Takeuchi¹, Katsunori Makihara¹, Akio Ohta², Mitsuhsu Ikeda³, Seiichi Miyazaki¹

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

研究背景ナノメートルサイズの Si 構造は、量子閉じ込め効果やクーロンブロック効果室温で顕在化するため、多値メモリ、発光デバイス等への応用が期待されている。これまでに我々は、リモートプラズマ処理による Si 熱酸化膜表面の改質、Si ドット形成およびドットの表面酸化を繰り返すことで、Si ドットの多重集積構造が形成できることを報告してきた[1]。本研究では、Si 量子ドット多重集積構造からの電子放出を定量評価し、さらには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調べた。

実験方法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: 4.5×10¹¹cm⁻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。

特色と独創的な点本研究は、申請者らが独自考案した、導電性 AFM 探針を用いた高感度電子放出検出技術を用いて Si 量子ドットからの弾道電子を計測し、さらには Si 量子ドットへのイオン化不純物が弾道電子放出へ及ぼす影響を明らかにした。

研究成果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。

参考文献 [1]K. Makihara et al., Trans. MRS-J 31(2006)133.

キーワード Si 量子ドット、電界電子放出、AFM

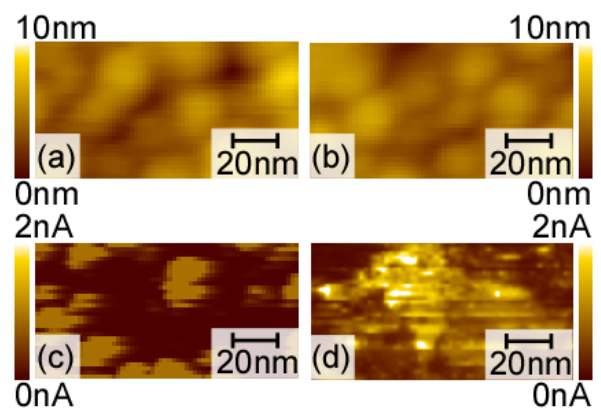


Fig. 1 Topographic (a, b) and current images (c, d) of multiply-stacked undoped (a, c) and P-doped (b, d) Si-QDs structures covered with a semitransparent Au electrode. The current images were taken by applying DC bias to the Al back contact with respect to the top Au electrode at -10V.