

AFM/KFM による超高密度一次元連結 Si 系量子ドットの局所帯電電荷計測 Characterization of Electronic Charged States of High Density Self-aligned Si-based Quantum Dots Evaluated with AFM/Kelvin Probe Technique

名大院工 °今井 友貴, 牧原 克典, 田岡 紀之, 大田 晃生, 宮崎 誠一

Nagoya Univ., °Yuki Imai, Katsunori Makihara, Noriyuki Taoka, Akio Ohta

and Seiichi Miyazaki

E-mail: imai.yuki@g.mbox.nagoya-u.ac.jp

序 Si 熱酸化膜上に形成した Si 量子ドット上への Ge の選択成長、その後、同一チャンバ内での熱酸化・高温熱処理、SiH₄-LPCVD の精密制御により自己整合的に一次元縦積み連結した Si 系量子ドット($\sim 10^{13}\text{cm}^{-2}$)が形成できることを明らかにしてきた[1]。本研究では、超高密度形成した一次元連結 Si 系量子ドットにおいて、電荷注入後における帯電状態および電荷保持特性を AFM/ケルビンプローブ法により評価した。

実験 1000°C ドライ酸化によって、n-Si(100)基板上に膜厚 $\sim 3.8\text{nm}$ の SiO₂ 膜を形成後、0.1%希釈 HF 処理によって OH 終端した SiO₂ 表面を、He 希釈 10%GeH₄ に室温暴露した後、Si₂H₆-LPCVD(400°C)により超高密度 Si 量子ドット($\sim 1 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$)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)により縦積み連結した Si 量子ドットを形成した後、850°C 熱酸化を行った。帯電状態および電荷保持特性は、電圧印加した導電性 AFM 探針(Rh-coated Si-tip, tip apex : 10nm)を接触モードでライン掃引(ライン長 : 500nm, ライン間隔 : 250nm)した後、非接触ケルビンプローブモードにより表面形状像と表面電位像を同時測定することで評価した。

結果および考察 負バイアス印加導電性 AFM 探針により表面掃引した領域は、ドットへの電子注入に起因した明瞭な負帯電が認められ(Fig. 1(a)および(b))、電圧印加直後の表面電位変化を印加電圧に対してまとめた結果、離散的なエネルギー準位を反映した多段階的な電位変化が観測された(Fig. 1(c))。ケルビンプローブ測定等の等価回路から保持電子数を計算したところ、電圧印加直後においては、電子は全て下層ドットに保持されており、印加電圧の増大に伴い保持電子数が 1 個ずつ増加している結果と良く一致する。異なる印加電圧で電子注入・保持した表面電位の経時変化を調べた結果、空間的な電位の広がりには認められないものの、電位変化量は段階的に減少し、50 分以降では安定状態が維持できることが分った(Fig. 2)。安定状態の電位変化量の計算結果も考慮した結果、印加電圧 -0.5 V では、単一連結ドットの下層ドットに電子 2 個が安定保持されていることを示しており、-1.0 V 以上における電位変化量の減少は、下層ドットに保持されていた電子の閉じ込め効果に起因した電位上昇により、一部の電子が上層ドットに移動することで一次元連結ドットの帯電エネルギーが安定状態になると解釈できる。

結論 超高密度一次元 Si 系量子ドットの電荷注入・保持特性を評価した結果、離散化したエネルギー準位を反映した多段階的な電子注入が認められた。また、注入電子は二次元平面方向への電荷移動は認められないものの、多数電子を注入した場合では連結ドット間での電子移動により、帯電状態が安定化することが分った。

文献 [1] K. Makihara et al., Jpn. J. Appl. Phys. 51, 04DG08 (2012).

謝辞 本研究の一部は、科研費基盤研究(A)および東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究の支援を受けて行われた。

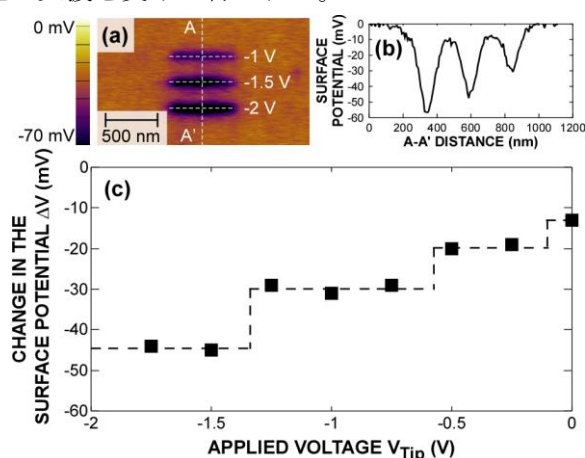


Fig. 1 (a) A typical surface potential image taken just after applied tip biases at -1.0, -1.5, and -2.0 V. (b) cross-sectional potential profile along the line A-A' shown in (a). (c) change in surface potential evaluated by the surface potential as a function of tip bias.

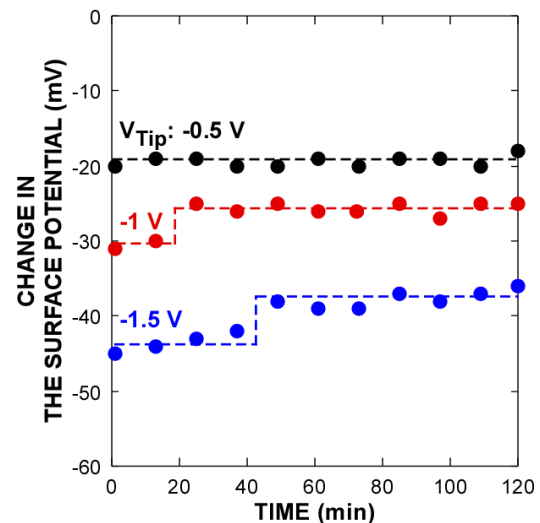


Fig. 2 Room temperature decay characteristics of surface potential changes taken after applied tip biases at -0.5, -1.0, and -1.5 V.