

AFM/KFM による自己整合一次元連結 Si 量子ドットの局所帯電評価 Characterization of Electronic Charged States of Self-Aligned Coupled Si Quantum Dots by AFM/KFM Probe Technique

¹名大院工, ²広大院先端研 [○]¹恒川 直輝, ¹牧原 克典, ²池田 弥央, ¹宮崎 誠一
¹Nagoya Univ., ²Hiroshima Univ., [○]¹Naoki Tsunekawa, ¹Katsunori Makihara, ²Mitsuhsa Ikeda
and ¹Seiichi Miyazaki

E-mail: miyazakilab@googlegroups.com

序>Si 系量子ドットで生じる離散化した帯電状態の理解とその制御に向け、これまでに極薄 SiO₂ 膜上に自己整合的に縦積み連結した Si 量子ドットを高密度一括形成できるプロセス技術について報告した[1]。本研究では、縦積み連結ドットを低密度形成し、個々の連結ドットにおける帯電状態および連結ドット内での電荷移動を AFM/KFM により定量評価した。

実験>n-Si(100)基板上に 1000 °C、2%O₂ で膜厚~3.8nm の SiO₂ を形成後、SiH₄ ガスの LPCVD により Si 量子ドットを自己組織的に形成した。その後、GeH₄-LPCVD により Si 量子ドット上に Ge を選択成長した後、大気圧で Ge/Si 量子ドットを熱酸化した。引き続き、高温真空熱処理により、Si 量子ドットの核形成サイトとなる Si 熱酸化膜表面の OH 基の熱脱離および Ge 酸化物の揮発特性を利用した Ge 酸化膜の薄膜化を行った後、再度 SiH₄-LPCVD により二層目の Si 量子ドットを自己整合形成し、表面熱酸化を行うことにより、縦積み連結した Si 量子ドットを形成した。最後に、裏面コンタクト電極を真空蒸着により形成した。比較として、同じ酸化膜上に SiH₄-LPCVD により単一 Si 量子ドットも形成した。

結果及び考察>導電性 AFM 探針に Tip バイアス-1.5V を印加して、孤立形成した連結ドット(200nm×200nm² の領域内)を表面走査した後の表面電位像には、Tip からドットへの電子注入に起因した負帯電(電位変化量:-150mV)が認められた(Fig. 1)。一方、単一 Si 量子ドットでは、同条件で表面電位を計測した場合、表面電位変化量は-40mV 程度であった。単一ドットにおいて、等価回路[2]を用いて電位変化量から見積もった保持電子数は 1 個であることから、連結ドットにおける大幅な電位変化量の増大は、上部ドットへの単電子注入・保持を示唆する。電子注入後、表面電位像の経時変化を測定した結果(Fig. 2)、連結ドットにおける負帯電領域の表面

電位は、25 分程度までは安定に保持されるものの、30 分後の測定では、-50mV に低減しており、その後 80 分以上安定であることが分かった。これに対し、単一 Si 量子ドットでは、電子注入後における初期表面電位変化量が安定に保持される。これらの結果から、連結ドットにおける表面電位の経時変化は、電圧印加直後に表面側の上部ドットへ注入された電子が一時的に保持されるものの、チャージングエネルギーがより低い基板側の下部ドットへ移動して安定化する結果として解釈できる。

結論>熱 SiO₂ 膜上に形成した縦積み連結 Si 量子ドットの局所帯電を評価した結果、上部ドットに単一電子注入した場合、一旦上部ドットにおいて保持された後、下部ドットに移動し、下部ドット内で安定保持されることが分かった。

文献>[1] K. Makihara et al., ECS Trans., 33 (2010) 661.
[2] K. Takeuchi et al., Intern. Semicon. Techn. Conf. (2002).

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。

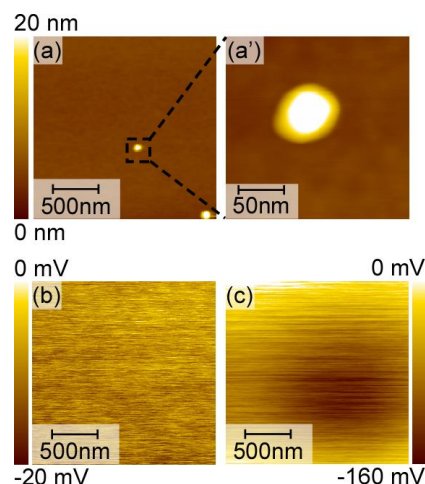


Fig. 1 Topographic ((a) and (a')) and corresponding surface potential images measured in Kelvin probe mode before (b) and after electron injection at tip bias of -1.5 V (c).

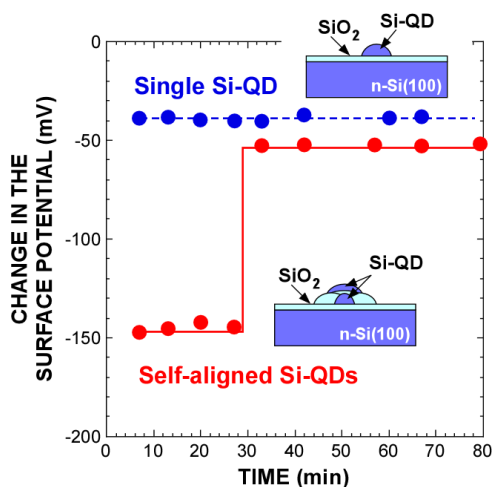


Fig. 2 Temporal changes in surface potential after electron injection into self-aligned coupled Si-QDs and single Si-QD on ~3.8 nm-thick SiO₂/n-Si(100) after applying tip bias at -1.5 V.