

自己組織化形成 Si 系量子ドットの選択成長 Selective Growth of Self-Assembling Si-based Quantum Dots

¹名大院工, ²広大院先端研 ^{○1}牧原 克典, ²池田 弥央, ¹宮崎 誠一

¹Nagoya Univ., ²Hiroshima Univ., ^{○1}Katsunori Makihara, ²Mitsuhisa Ikeda and ¹Seiichi Miyazaki

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

序 SiH₄ の LPCVD において、SiO₂ 表面の Si-OH 結合が Si 量子ドット核形成の反応活性サイトとなり [1]、さらに SiH₄ と GeH₄ の LPCVD の反応初期過程を交互に精密制御することによって、熱酸化膜上に Ge 核を有する Si 量子ドットを自己組織化形成できることが分かっている [2]。本研究では、SiO₂ 表面に局所的に Si-OH 結合を形成することで、Si および SiGe 量子ドットの配列を試みた。

実験 p-Si(100) 基板の上に 1000°C で膜厚~10nm の SiO₂ 膜を形成後、EB リソグラフィおよび HF による wet エッチングにより、膜厚~5nm、線幅 50~100nm の SiO₂ ラインパターンを形成した。その後、0.1%HF 処理を行うことで、SiO₂ ライン表面を OH 終端、Si 表面を H 終端した後、O₂ 中雰囲気において 800°C で熱酸化した。800°C の熱処理においては、表面 Si-OH 結合は安定保持される一方、H 終端 Si 表面には Si-O-Si 結合で終端された膜厚~1nm の SiO₂ 膜が形成される。これにより同一基板内にライン状に OH 終端した SiO₂ パターンが形成される。その後、同一チャンバー内で大気に曝すことなく、10%Si₂H₆ の LPCVD(400°C、0.2Torr)による初期核形成および pure SiH₄ ガスの LPCVD(560°C)による Si 量子ドットの自己組織化形成を行った。引き続き、10%GeH₄ の LPCVD(400°C)を行うことで SiGe 量子ドットの形成を試みた。

結果及び考察 AFM 表面形状像から求めたドット密度の SiH₄ 圧力依存性を Fig. 1 に示す。また、図中にはドット密度比(OH 終端領域/酸素終端領域)を示した。Si₂H₆-LPCVD による初期核形成を行わなかった場合、SiH₄ 圧力 100 および 20mTorr では、酸素終端領域のドット密度は~7x10⁹cm⁻²に抑制されているものの、表面 OH 終端した SiO₂ ライン上でのドット密度も 10¹¹cm⁻²には達していない。これに対して、400°C Si₂H₆-LPCVD による初期核形成を行った場合、SiH₄ 圧力を 10mTorr に低減することで、選択性を大幅に向上(密度比~58)して、SiO₂ ライン上で~1x10¹¹cm⁻²のドット密度が得られた。これは、反応活性な OH 終端表面には高密度に核形成されるが、酸素終端領域では、低温での Si₂H₆-LPCVD において核発生が抑制されることに加え、その後の低圧力 SiH₄-LPCVD でのドット成長において、臨界サイズに達しない初期核が熱解離するためと考えられる。これらの結果に基づいて、~50nm 幅の SiO₂ パターン上に Si 量子ドット形成後、GeH₄-LPCVD を行うことで、一次元配列した SiGe 量子ドットを選択形成できた(Fig. 2(a))。~50nm 幅 SiO₂ パターン上に配列した SiGe 量子ドット表面を-3V および+4 電圧印加した導電性 AFM 探針で走査した後の表面電位像において、明瞭な負帯電および正帯電が認められた(Fig. 2(b))。これは、SiGe 量子ドットへの電子注入・保持およびドットからの電子放出で説明できることから、一次元配列制御した SiGe 量子ドットは、電氣的に絶縁分離していることを示している。

結論 SiO₂ 膜表面の OH 結合終端領域に、Si 量子ドットを同一基板内の酸素終端領域に対して選択比~58 で選択成長させることができ、さらに~50nm 幅の OH 終端領域において、SiGe 量子ドットを一次元配列することに成功した。

文献 [1] S. Miyazaki et al., Thin Solid Films Thin Solid Films 369 (2000) 55. [2] Y. Darma et al., Nanotechnology 14 (2003) 413.

謝辞 本研究の一部は、科研費基盤研究(A)の支援を受けて行われた。

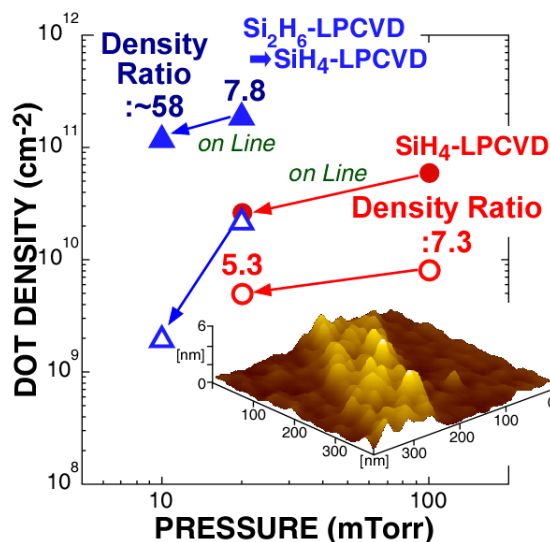


Fig. 1 Areal dot density on OH- and O-terminated SiO₂ surfaces as a function of pressure during SiH₄-LPCVD. An AFM image after Si-QDs formation with initial nucleation prior to SiH₄-LPCVD on OH-terminated SiO₂ is shown in the inset. Nucleation was carried out by using Si₂H₆ at a pressure of 100 mTorr and substrate temperature of 400°C. Si-QDs growth was performed at a SiH₄ gas pressure of 20 mTorr at 580°C.

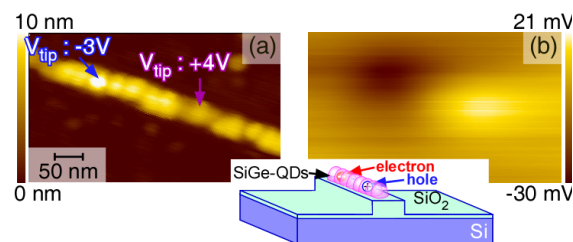


Fig. 2 Topographic (a) and corresponding surface potential images (b) measured in Kelvin probe mode after electron injection and extraction at tip bias of -3.0 V and +4.0 V (b), respectively.