

Formation of Si Quantum Dots and Its Application to Memory Devices

Seiichi Miyazaki and *Atsushi Kohno

Hiroshima University, *Fukuoka University

1. はじめに モノシラン(SiH_4)の減圧CVDの初期反応制御により、自己組織的にSi量子ドット(Si QD)をシリコン酸化膜(SiO_2)上に高密度・一括形成することができる。本研究では、その形成メカニズムを解明し、Si QDのサイズ及び位置制御に関する研究を行ってきた。昨年度までに、サブミクロン SiO_2 パターン上のOH終端表面に選択的にSi QDを形成する技術を開発した[1]。また、多値メモリの実現を目指して、Si QD フロティングゲート(FG)MOSメモリの開発を行い、Si QD FG MOSFETが室温でメモリ動作することを実証し、ドットへの電子注入がゲート電圧に対して多段階的に起こることを示した[2]。本年度は、AFM Siカンチレバー及びSTM PtIr 探針を用いたSi QDの位置制御技術の開発とSi QD FG MOSFETの電子注入特性の解明に向け研究を推進した。

2. 極微小 SiO_2 パターンを用いたSi量子ドットの位置制御 AFM Siカンチレバーを利用した局所酸化法によりSi表面に極微小 SiO_2 島(直径約40nm)を規則配置した後、0.1%HF処理により極微小 SiO_2 表面をSi-OH結合終端し、それ以外の表面は水素終端Si表面とした。この表面を750°Cで再酸化して、厚さ約1nmの SiO_2 膜を形成した。この時、750°C熱酸化では極微小 SiO_2 表面のSi-OH結合は安定に保持される。この表面に対して、水素終端Si表面には、Si-O-Si結合が形成されるので、 SiO_2 表面上に極微小Si-OH結合領域が形成される。その後、 SiH_4 のLPCVDによりSiドットを形成することにより、極微小Si-OH結合表面に選択的にSiドットを形成することができた(Fig. 1)。

3. STM探針を用いたSi量子ドットの位置制御 Si基板に厚さ1nmの SiO_2 膜を形成後、 $\sim 10^{-7}$ Torrの水素分圧下で、STM PtIr探針に-9.9V印加した状態でラインスキャンした。この時、PtIr探針から SiO_2 表面へ低エネルギー電子ビームが照射されダングリングボンドが形成されると同時に、PtIr探針表面に室温で解離吸着した原子状水素が、電界蒸発により SiO_2 表面に照射される。この結果、電子ビームを照射した領域にSi-OH結合が形成される。電子ビーム照射後の SiO_2 表面にLPCVDによりSiドットを形成すると、ライン上にSiドットを選択的に配列することができた(Fig. 2)。

4. Si QD MOSメモリの電子注入・保持特性 p型Si(100)基板上に3.5nmのトンネル酸化膜を形成した後、 SiH_4 のLPCVDによりSi QDsを形成した。このSi QDsの表面を酸化した後、1回目と同じ条件で2回目のドット形成を行い、QDsの2層構造を作製した(平均ドット高さ約5nm、ドット密度約 $6 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$)。約7.5nmのコントロール酸化膜及び n^+ poly-Siゲートを形成し、Si QD FG MOSFETを作製した。Si QD FG MOSFETのゲートに、0.8Vのパルス電圧(パルス幅0.1s)を1秒周期で繰り返し印加した時のドレイン電流(I_D)の時間変化をFig. 3に示す。パルス印加回数1~5サイクルでは、 I_D はパルス電圧(V_G)印加直後に極小値を示し、その後徐々に増加する。これは V_G 印加によりドットに注入された電荷の一部がゲート電圧0Vにおいて保持されず基板へ放出されるためである。 I_D の極小値は1~5サイクルまでは各サイクルともほぼ一定値をとり、6サイクルから減少し始め、10サイクルで飽和する。また、10サイクル以降パルス印加前後で I_D は殆ど変化しなくなる。この理由は、基板側(1層目)のドット層では電子を安定保持できず充放電が繰り返されている間に、1層目のドット層からゲート側(2層目)のドット層への電子移動が起こり、最終的に2層目のドット層でドット当たり約1個の電子が安定保持されるためである。

5. 結論 AFM Siカンチレバーによる局所酸化法或いは H_2 分圧下STM PtIr探針による局所電子ビーム照射法により、Si QDを位置制御することができた。また、QD FGを2層構造にすると、1層目から2層目のQDへの電子移動が起こることが分かった。

参考文献 [1]S. Miyazaki *et al.*, Thin Solid Films 369 (2000) p. 55.

[2]A. Kohno *et al.*, Ext. Abst. of the 2000 Int. Conf. on SSDM (Sendai, 2000) p. 124.

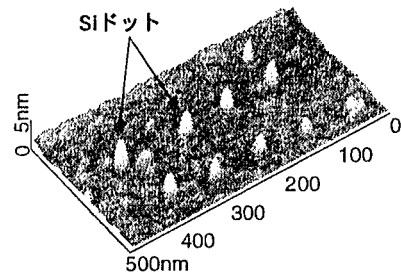


Fig. 1 An AFM image obtained after Si dot formation on an extremely-fine- SiO_2 pattern formed by local oxidation of silicon surface using a AFM probe.

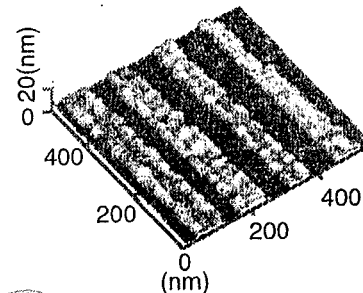


Fig. 2 An AFM image obtained after Si dot formation on the SiO_2 surface multiline-scanned by a STM tip.

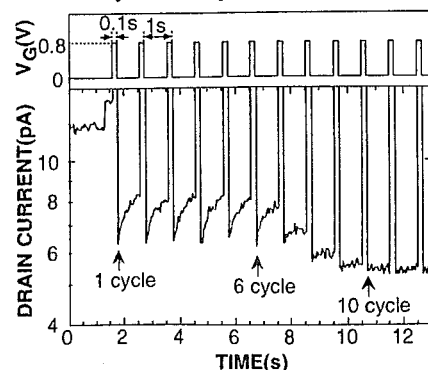


Fig. 3 Temporal change in drain current of an Si QD FG MOSFET for writing operation by pulse gate bias.