

Title	Fabrication of Si Nanostructures with an Atomic Force Microscope
Author(s)	文, 元鐵
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/42148
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	文 元 鐵
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 5 4 2 7 号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	Fabrication of Si Nanostructures with an Atomic Force Microscope (原子間力顕微鏡によるシリコンナノ構造の形成に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 岩崎 裕 (副査) 教授 志水 隆一 教授 増原 宏 教授 川上 則雄 講師 斎藤 誠慈

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、シリコンナノ構造の形成を目的として、原子間力顕微鏡 (AFM) を用いたナノスケールの機械的研削及び導電性 AFM 探針を用いた陽極酸化によるシリコンの新しい微細加工プロセスに関して行った研究をまとめたもので、全6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的および意義について述べている。

第2章では、AFM 探針による走査で、化学酸化膜に覆われたシリコン表面では化学酸化膜が機械的に研削され、更に酸化膜層の下のシリコン基板にナノメートルスケールの溝が形成されることを初めて見だし、そのメカニズムについて考察している。

第3章では、導電性 AFM 探針を用い、原子間力顕微鏡による n 型シリコン (111) 表面上のナノメートルスケールの陽極酸化パターン形成に関する研究を行い、形成される陽極酸化物ドットの大きさの、シリコン-探針間バイアス電圧、電圧印加時間及び雰囲気湿度依存性を明らかにしている。これらの結果を基に、径が100nm 以下のシリコン酸化物ドットの40×400個規模の配列構造などを形成している。

第4章では、原子間力顕微鏡を用いたシリコン基板上的ナノピット形成プロセスの研究を行っている。第3章で述べた方法で陽極酸化のプロセスによりナノドットを作製し、フッ酸溶液による化学エッチングによりナノピットのパターンを作製し、化学エッチング時間の制御により、ナノピットがシリコン酸化物により埋まり表面が平坦な構造の形成も可能であることを明らかにしている。

第5章では、原子間力顕微鏡を用い、シリコン表面上の金属薄膜のナノメートルスケールのパターン形成プロセスの開発に関する研究を行っている。すなわち、先ず第3章に述べた方法により、シリコン基板表面上に陽極酸化パターンを形成し、その基板に蒸着により金薄膜を形成し、その後、金薄膜の下にあるシリコン酸化物の化学エッチングにより金薄膜の微細加工を行っている。金薄膜の厚さが1nm の場合、シリコン酸化物パターン上の金薄膜は選択的に除去され、シリコン酸化膜を犠牲マスクとするナノメートルスケールのリフトオフに類似した微細加工が可能であることをはじめて示している。

第6章では、本研究で得られた研究成果をまとめ、今後の展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

近年、量子効果を用いた新たな電子素子の可能性が注目され、走査型プローブ顕微鏡を用いてナノメートル領域の微細構造を作製する研究が盛んに行われている。原子間力顕微鏡は、大気、真空、液体中の様々な環境下で様々な材料に対して安定に動作することから、量子デバイスに加えて、マイクロエレクトロメカニカルシステムやマイクロセンサーを実現するためのナノ加工の手段として期待され、原子間力顕微鏡を用いた新たなナノ加工技術を開発することは重要な研究課題となっている。本論文は、原子間力顕微鏡を用いた、ナノメータースケールの機械的研削および導電性カンチレバーを用いた陽極酸化を利用したシリコンの新しい微細加工プロセスに関する研究をまとめたものであり、その主な成果を要約すると次の通りである。

- (1) 各種のシリコン表面、すなわち水素終端表面、アンモニア-過酸化水素による化学酸化膜、自然酸化膜、熱酸化膜が形成されたシリコン表面の原子間力顕微鏡探針によるマイクロトライボロジーの研究を行い、コンタクトモードでのシリコン窒化物探針による走査で、化学酸化膜に覆われたシリコン表面でのみ、化学酸化膜が機械的に研削され、更に酸化膜層の下のシリコン基板にナノメータースケールの溝が形成されることを初めて見出し、シリコン表面のトライボロジー挙動の相違は、化学酸化膜中に含まれる水酸基に由来するものであると推論している。
- (2) 導電性カンチレバーを用い、原子間力顕微鏡による n 型シリコン (111) 表面上のナノメータースケールの陽極酸化パターン形成に関する研究を行い、形成される陽極酸化物ドットの大きさの、シリコン-探針間の広い範囲のバイアス電圧、電圧印加時間及び雰囲気湿度依存性を明らかにし、大規模のナノスケールドット配列構造などを形成することに成功している。また、酸化物の化学エッチングにより、ナノピットをシリコン酸化物により埋めた表面が平坦な構造を形成することが可能であることを示している。
- (3) シリコン表面上の金属薄膜のナノメータースケールパターンの新しい形成プロセスとして、リフトオフに類似した微細加工プロセスの開発を行っている。金薄膜の厚さが 1 nm の場合、シリコン酸化物パターン上の金薄膜は選択的に除去され、シリコン酸化膜を犠牲マスクとするリフトオフに類似した微細加工が可能であることを示し、ナノメータースケールのパターンを形成することに成功している。

以上のように本論文は、原子間力顕微鏡を用いたシリコンの新しい微細加工プロセスについて述べたものであり、酸化膜ナノ研削プロセスを見出し、従来報告されているナノ加工プロセスの詳しい解析及びいくつかのプロセスを組み合わせた新しい微細加工プロセスを発明しており、応用物理学、特に半導体微細加工技術ならびにマイクロマシニングの分野に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。