

Title	陽極酸化を用いた廉価なナノ微細加工技術とその応用に関する研究
Author(s)	橋岡, 真義
Citation	
Issue Date	2003-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	none
URL	http://hdl.handle.net/10119/2151
Rights	
Description	Supervisor: 松村 英樹, 材料科学研究科, 博士

1. 序論

本研究は、将来の半導体微細加工技術の微細化にともなうコストの上昇およびスループット低下の問題をふまえ、低コストで大量生産が可能なナノ微細加工技術の開発を行うことを目的としている。具体的には、従来技術であるフォトリソグラフィ技術と陽極酸化技術を組み合わせることによるナノメートルサイズ ($0.1\ \mu\text{m}$ 以下) の新規パターニング技術を開発し、その応用可能性を示す。さらに、最小線幅 $10\ \text{nm}$ にいたる加工において高精度を実現し、プレーナプロセス応用の可能性および新規の DNA センシング法への応用可能性を検討する。

本研究では、従来技術であるフォトリソグラフィと陽極酸化を組み合わせることにより、ナノメートルサイズのスリット開口幅を有する密着型マスク (以下、ナノメートルスリットマスク) の作製に成功しており、その加工寸法の制御にも陽極酸化時の最大印加電圧の変化という簡便な手法によりナノメートルオーダーで行うことに成功し、最小で $10\ \text{nm}$ までのサイズの形成が確認されている。図 1 にナノメートルスリットマスクの加工プロセスを示す。まず、石英基板上に堆積した Ti 薄膜をフォトリソグラフィおよびドライエッチングによりパターニングし、サイドウォールを形成する (a)。サイドウォールから Ti を横方向に陽極酸化し、幅数十 nm の TiO_x 細線をパターンに沿って形成する (b)。この上から、Ti 薄膜を堆積して (c)、リフトオフを行なう。最後に TiO_x 細線を選択的にエッチングすることにより、Ti 薄膜間に幅数十 nm の開口幅を有するナノメートルスリットマスクが形成される (d)。

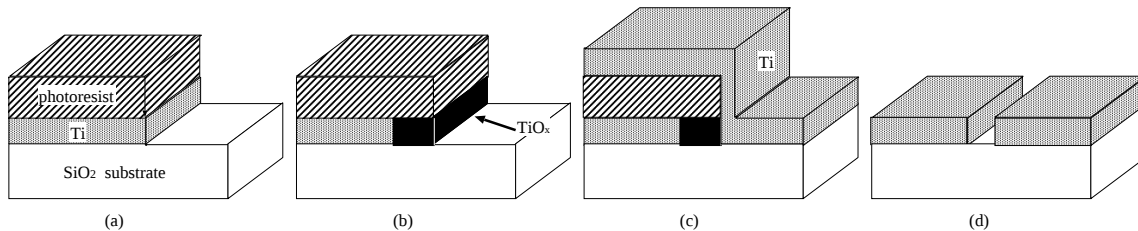


図 1 ナノメートルスリットマスク加工プロセス

2. ナノメートルスリットマスクのプレーナプロセス応用の検討



図 2 ナノトレんチの断面 SEM 像

ナノメートルスリットマスクを利用した半導体基板や金属細線の加工を行った。Si 基板上に表面保護層として CeO_2 を堆積し、その上にナノメートルスリットマスクを形成、さらにスリットを介して CeO_2 層および Si 基板をエッチングし、Si 基板中にナノメートルサイズの溝 (ナノトレんチ) を作製した。図 2 に作製したナノトレんチの一例として断面 SEM 像を示す。また、石英基板上にパターニングした Ti 細線上にナノメートルスリットマスクを作製し、Ti 細線の局所酸化にも成功した。このことから、ナノメートルスリットマスクのプレーナプロセス応用の可能性が示された。

3. 交番陽極酸化を用いたナノエッチラフネスの低減

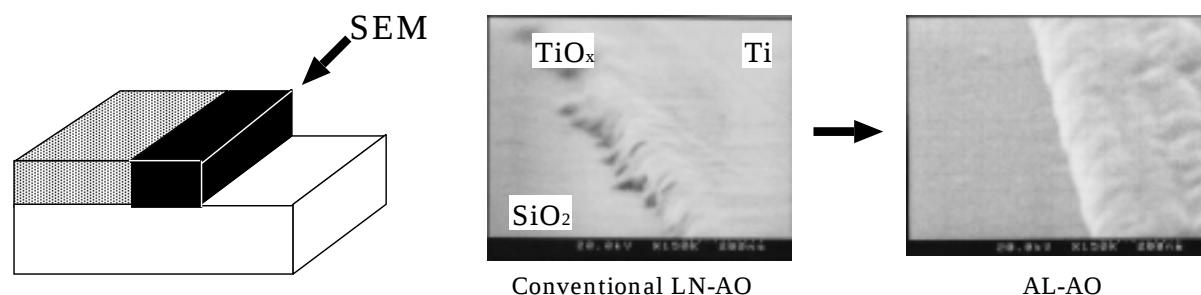


図 3 交番電界陽極酸化による側壁ラフネスの改善

次に、ナノメータスリットマスクの寸法のばらつき、すなわちエッチラフネスの改善を行った。図 1(b) に示す陽極酸化工程において、線型に昇圧する従来の陽極酸化法 (LN-AO : Linear Anodic Oxidation) と、交番電界を用いた手法 (AL-AO : Alternating Anodic Oxidation) (電圧の極性を変えながら昇圧していく) を採用することにより、サイドウォールから成長する TiO_x の側壁ラフネスが低減することが明らかになった。図 3 にその改善例を示す。

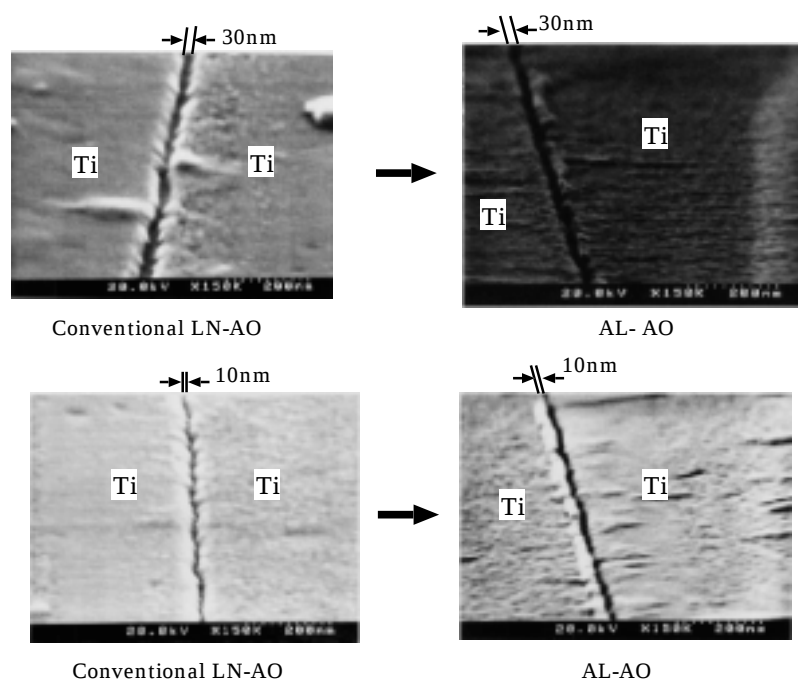


図 4 ナノメータスリットマスク中のナノエッチラフネスの改善

さらに、この手法によりナノメータスリットマスクの作製を行った例を図 4 に示す。図から、スリット側壁の微細なくびれが低減されていることが見い出される。また、ラフネスを加工寸法の標準偏差で評価したところ、約 30 nm のスリット加工寸法において約 4 nm まで、約 10 nm のスリット加工寸法において約 2 nm まで低減させることに成功した。これは、市販の電子線レジストと同レベルの精度である。このことから、本微細加工技術は電子線リソグラフィと同様に利用可能であることが明らかとなった。

4. ナノメータスリットマスク中のラフネス低減に関する詳細な検討と考察

交番電界陽極酸化の利用によって TiO_x の側壁ラフネスが低減する原因として、サイドウォール上の微小な突起をきっかけとして正バイアス時に TiO_x 側壁に凹凸が成長し、負バイアス印加時に TiO_x 側壁の凸部に電界が集中し、選択的に還元されるためと考えられる。また、ナノメータスリットマスク中のナノエッチラフネスのさらなる低減には、高精度のフォトリソの使用が必要であると考えられる。

5. ナノギャップ素子の作製および DNA センサへの応用

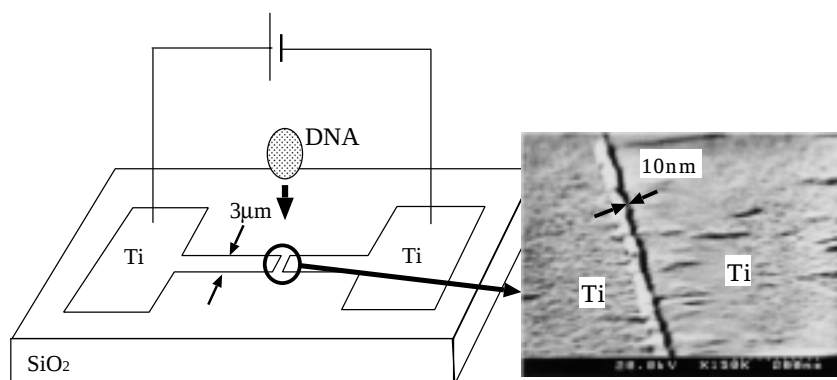


図 5 ナノギャップ素子の構造

ナノメータスリットマスクの作製技術を利用したナノギャップ素子の作製を行い、ギャップ間に DNA を挿入した場合の電気的特性の評価を行った。図 5 にナノギャップ素子の構造を示す。幅約 $3\ \mu\text{m}$ の Ti 細線中に開口幅約 $10\ \text{nm}$ のギャップを有している。

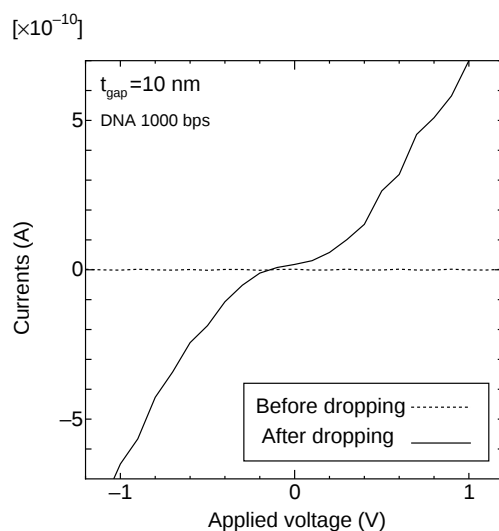


図 6 ナノギャップ素子中の DNA の電流-電圧特性

図 6 に、ナノギャップ素子中に配置した DNA の I-V 特性を示す。点線が DNA 滴下前、実線が滴下・乾燥後のナノギャップ素子の I-V 特性をそれぞれ示している。図から、DNA 滴下前はギャップ間にほとんど信号電流が確認されないのに対して、滴下後は印加電圧 $1\ \text{V}$ で約 $0.7\ \text{nA}$ の信号電流が流れていることが確認される。このことから、ギャップ間に DNA を配置することによって DNA 中を流れる電流を検知している可能性を示唆しており、本手法により作製したナノギャップ素子によって DNA のセンシングを実現する可能性が示された。

6. 結論

以上の結果から、本ナノメータ加工技術は、将来のナノ微細加工技術の一手法として適用可能であり、医用デバイスへの応用可能性も有するものと考えられる。

博士論文目次

1 章 序論	1
2 章 ナノメータスリットマスクのプレーナプロセス応用の検討	18
3 章 交番陽極酸化を用いたナノエッチラフネスの低減	44
4 章 ナノメータスリットマスク中のラフネス低減に関する詳細な検討と考察	57
5 章 ナノギャップ素子の作製および DNA センサへの応用	74
6 章 結論	89

業績

1. S. Hashioka and H. Matsumura, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39 (2000) 7063.
2. S. Hashioka and H. Matsumura, Mat. Res. Soc. Symposium proceedings Vol. 584 (2000) 313.
3. S. Hashioka, T. Mogi and H. Matsumura, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42 (2003) 4169.