

多価 Ar ビームを用いたマイクロ加工

- 多価効果 -

高知工科大学 百田 佐多生, 野尻 洋一, 浜川 恒圭, 濱口 顕典,
東京理科大学基礎工 谷口 淳, 大野 博久

Micro Manufacturing by Use of Highly Charged Ar Ion Beams

- Highly Charge Effect -

Kochi Univ. of Tech. Sadao MOMOTA, Yoichi NOJIRI, Hisayoshi HAMAGAWA, Kensuke HAMAGUCHI,
Tokyo Univ. of Science Jun TANIGUCHI, and Hirohisa Ohno

Highly charged ions, which have the very high activity, have been applied to the ion-beam lithography. Ar^{1+} and Ar^{9+} , which were accelerated up to 90 keV and separated by the analyzer magnet, were irradiated onto spin-on-glass (SOG) applied on a Si substrate through a Cu stencil mask. The SOG, which was irradiated by Ar ions, was etched by a solution of HF. The etching pattern was transferred to SOG with an Ar^{9+} beam as well as with an Ar^{1+} beam. The etching depth of SOG increases with the dose of Ar^{9+} ions linearly. And, it is found that the etching depth of SOG with the dose of Ar^{9+} ion was about three times deeper than that with the dose of Ar^{1+} ion.

1. はじめに

イオンビームを利用したリソグラフィーは、ナノ構造を形成するための有力な手段のひとつである。現在この手法の研究は、主に一価イオンを使って行われている。一方、原子から電子を2個以上取り去った多価イオンは、1価イオンより強いクーロン力を持ち被照射物質により大きな影響を与える。この強いクーロン力を持つ多価イオンを試料に照射すれば、一価イオンと比較してより効率的な加工あるいは特徴的な構造の形成が期待できる。リソグラフィーにおける多価イオン効果の研究の第一歩として、今回は1価と9価のArビームを試料に照射し、照射効果の違いをエッチング処理によって形成される段差の深さの差として観測した。

2. 実験方法と実験条件

Si上に塗布した厚さ約500Åのspin on glass (SOG)に、高知工科大学の多価重イオンビーム発生装置¹⁾によって90 keVに加速した Ar^{1+} 、 Ar^{9+} イオンを銅製のマスクを通して照射した。表1に、イオンビームの照射条件を示す。多価イオンは、多価イオンの生成に適しているECRイオン源によって生成され、引き出し電極と加速電極によって発生する電場によって加速される。生成したイオンビームは分析磁石によって分析され、特定のイオン種のみを選択して試料に照射することが可能である。銅製のマスクは、20 μmの間隔でならば

表1 イオンビームの照射条件

被照射試料	SOG	SOG
照射イオン	Ar^{1+}	Ar^{9+}
加速電圧 (kV)	90	10
照射量(Ptcl./cm ²)	$2.0\sim 9.8 \times 10^{13}$	$3.9\sim 9.8 \times 10^{13}$

一辺が40μmの正方形の孔を持つ。

つぎに0.43mol/LのHF水溶液で一分間エッチング処理した後、光学顕微鏡による表面の観察と段差計による段差測定を行った。

3. エッチング処理後の段差構造の評価

図1は、HF水溶液でエッチング処理後の試料を顕微鏡で観察した結果の一例である。この結果より、Arイオンの照射によって銅マスクのパターンがSOGに転写されていることがわかった。

図1 エッチングした試料の顕微鏡像

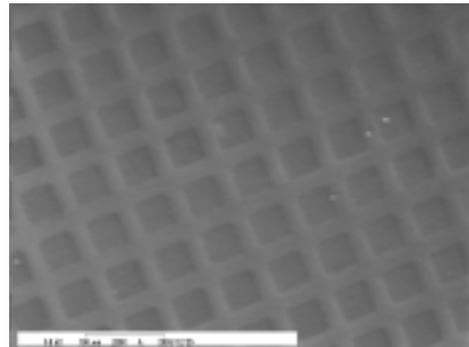
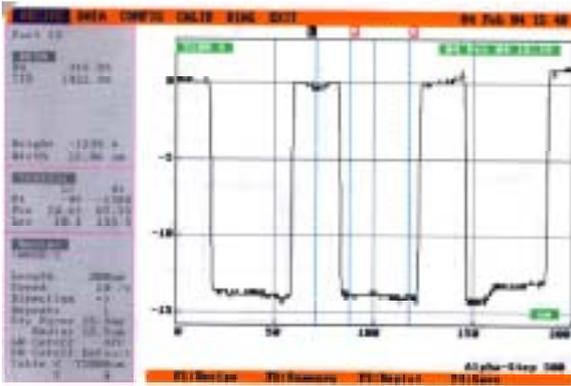


図2は、エッチング処理した試料の表面の段差を段差計で測定した結果の一例である。図2の凹部の幅は、銅マスクの孔の大きさである40μmと一致している。このことから、SOGのエッチング速度がArイオンの照射によって速まり、段差構造が形成されたと考えられる。観測された連続する3つの凹部の深さの平均値を段差深さと定義する。図2の場合、段差深さは133nmとなる。

図2 Ar⁹⁺イオンを照射した SOG 表面の段差構造



4. 段差深さの照射量依存性

エッチング処理によって形成した段差深さを Ar イオンの照射量の関数として測定した。その結果を図3に示す。

図3 段差深さの Ar イオンの照射量依存性

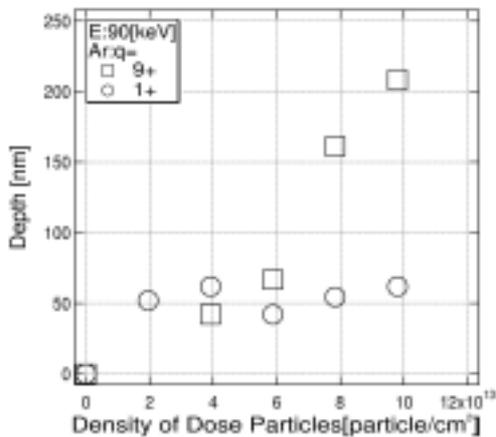


図3から分かることは、以下の3点である。

- 1) Ar¹⁺と Ar⁹⁺イオンのいずれでも段差構造が観測された。
- 2) 段差深さが、Ar イオンの照射量とともに増加する。特に Ar⁹⁺イオンに関しては、0 ~ 1 × 10¹² [particle/cm²]の範囲でほぼ線形関係が成り立っている。
- 3) Ar⁹⁺イオンを照射した場合のほうが Ar¹⁺イオンを照射した場合より段差深さが深い。特に、Ar イオンの照射量が 1 × 10¹² [particle/cm²]のときの段差深さは、約3倍深い。

5. 考察

今回の実験結果から、Ar イオンを照射した SOG の HF 水溶液に対するエッチング速度に関して以下の2つの仮説が導き出される。

- 1) エッチング速度が、Ar イオンの照射量とともに増加する。
- 2) エッチング速度が、イオンの価数とともに増加する。

Ar イオンの照射部では SOG の非晶質化が起こり、HF 水溶液に対する溶解性が増加していると考えられる。1)は、Ar イオンの照射量の増加とともに SOG の非晶質化が進行することで理解することができる。一方2)は、多価イオンが持つ強いクーロン力の影響によって SOG の非晶質化を促進させていることを示唆している。

一方、Ar イオンは SOG 中で徐々にエネルギーを失いある深さまで進入した位置で静止し、この深さを飛程と呼ぶ。今回の実験における Ar イオンの SOG 中の飛程は、TRIM を使

って計算すると約 100nm となる。Ar イオン自身が直接引き起こす SOG の非晶質化は、表面から飛程である 100nm までの深さで起こる。しかし、実験では 100nm より深い段差構造が形成されており、非晶質化にはストラグリングの効果や二次電子など間接的效果も関与していることが予想される。

6. まとめ

今回の実験で、1価と9価の Ar イオン照射と HF 水溶液によるエッチングにより、SOG にマスクパターンを転写することに成功した。パターンの段差深さは、Ar イオンの照射量および価数とともに増加した。この結果は、イオンビームリソグラフィーをはじめとする微細加工に対する多価イオンの有効性を示唆している。

多価イオン効果に関するより詳細な情報を引き出すためには、エッチング時間依存性など基礎データの蓄積が必要である。今後引き続き研究を進めていく予定である

参考文献

- 1) S. Momota et al. : Rev. of Sci. Inst., 75 (2004) 1497