

Applications of Highly Charged Ar Ion Beams to Ion Beam Lithography

百田佐多生* 野尻洋一** 浜川恒圭 濱口顕典

高知工科大学工学部
〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185

E-mail: *momota.sadao@kochi-tech.ac.jp, **nojiri.yoichi@kochi-tech.ac.jp

要約: 多価イオンをイオンビームリソグラフィー (IBL) 法に応用するために、1価と9価の Ar イオンをステンシルマスクを載せた spin-on-glass(SOG) に照射した。ビーム照射後にエッチング工程を施すことによって、SOG 表面に段差構造を形成することができた。Ar⁹⁺ イオンの照射によって形成された段差構造の深さは照射量とともに線形に増加し、Ar¹⁺ イオンによる深さよりも深くなることが分かった。この結果、多価イオンによる IBL 法の加工効率の向上を示すことができた。Ar⁹⁺ イオンの照射によって形成された段差構造の最大深さは、SRIM コードによって計算された Ar⁹⁺ イオンの飛程よりも深いことが分かった。

Abstract: In order to expand the applicability of ion beam lithography (IBL) method by using highly charged ions (HCI), Ar¹⁺ and Ar⁹⁺ ions were irradiated onto spin-on-glass (SOG) through a stencil mask. The step structure was successfully fabricated on SOG by the chemical etching after the irradiation. The etching depth of the SOG using the Ar⁹⁺ ions increases linearly with dose and was greater than the etching depth obtained using Ar¹⁺ ions. The results show the effectiveness of HCI for IBL. The maximum etching depth of the SOG using Ar⁹⁺ ions was deeper than the range calculated by the SRIM code.

1. はじめに

近年進展が著しいナノテクノロジーにおいて、重イオンビームはナノスケールの加工や物性改変を可能とする道具として応用が進められてきた。特にイオンビームリソグラフィー (Ion Beam Lithography, IBL) 法は、物質中での直進性を利用して半導体や光学材料上に微細な段

差構造を形成する手法として注目されている。IBL 法の開発は、イオン化が比較的簡単な一価イオンを用いて行われてきた。

一方、イオン発生技術の進展によって、原子から複数個の電子をはぎ取った多価イオンをビームとして利用できるようになった。特に、単純な構造で比較的大強度の多価イオンビーム

を生成できる ECR イオン源は、基礎科学の研究だけでなく多価イオンの幅広い応用を可能とした。

以上の経緯より、多価イオンの特徴である物質との強い相互作用を利用すれば、IBL 法による微細加工をより効果的に行えるのではないかと考えた。この仮説を検証するために Ar の多価イオンを IBL 法に適用し、その加工効率を 1 価イオンと比較した。

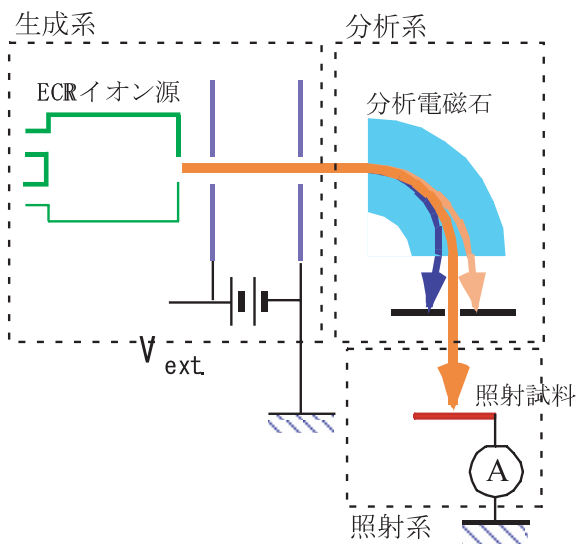


図1 重イオンビーム発生装置

2. 実験装置と方法

Ar イオンを照射するために、高知工科大学に建設した重イオンビーム発生装置(1)を用いた。この装置は、イオンビームの生成系、分析系、照射系の3つの部分から構成されている(図1)。

ECR イオン源によって生成された Ar イオンは、引き出し電極と加速電極によってビーム化される。引き出されたビームは分析電磁石によって分析され、スリットによって目的のイオンのみを選択する。選択されたイオンは照射試料に照射され、その照射量を試料電流として測定した。

今回の実験では、Si 基板上に塗布した約 500nm の厚さの spin-on-glass(SOG) に 90keV に

加速した 1 価と 9 価の Ar イオンを照射した。照射部と非照射部のパターンを形成するために、SOG 上に一辺 43 μm の正方形の穴が等間隔で並んでいる銅製のステンシルマスクをのせた。照射後の試料を 0.43mol/L の HF 水溶液で一分間エッチングし、光学顕微鏡による表面観察と段差測定器 (α ステップ) 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

エッチング後の試料表面を光学顕微鏡で観察した結果、1 価と 9 価の両方でマスクパターンの転写を確認した(図2)。また、試料表面を α ステップで測定したところ、図3のような段差構造が観測された。

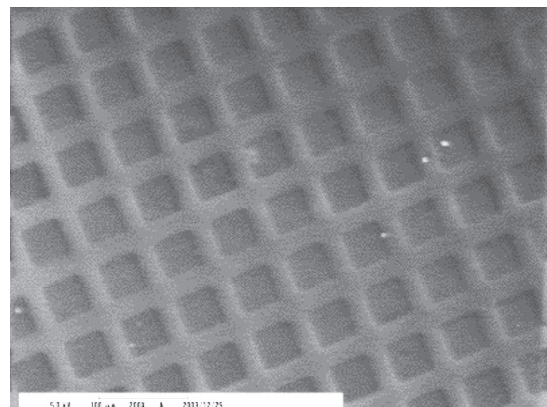


図2 エッチング後の SOG 表面の顕微鏡像

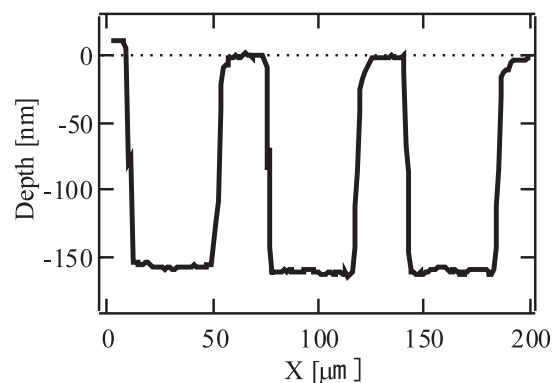


図3 エッチングによって SOG 表面に形成された段差構造

図3の凹部の幅は $44 \pm 1 \mu\text{m}$ でステンシルマスクの穴のサイズと一致する。この結果から、SOGはArイオンが照射されるとエッチング速度が早まることが分かった。凹部の平滑度は高く、連続する3つの凹部の深さは一致する。そこで、測定した連続する3つの凹部の深さの平均を段差深さと定義する。

4. 段差深さの照射量依存性

SOGのエッチング速度の向上は、Arイオン照射によるSOGの非晶質化に起因するものと考えられる。Arイオンの照射量でSOGの非晶質度を変化させ、SOGのエッチング速度を制御できる可能性がある。このことを検証するために、SOGに形成される段差深さをArイオンの照射量の関数として測定した(図4)。

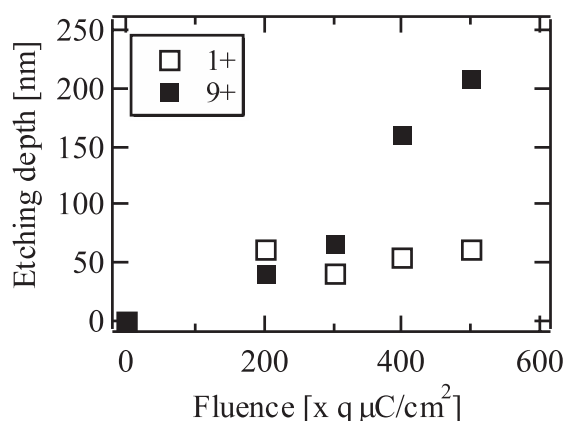


図4 段差深さの照射量依存性

図4から以下の3点に分かる。

- 1) Ar^{1+} と Ar^{9+} イオンのいずれでも段差構造が形成できた。
- 2) 段差深さが、Arイオンの照射量とともに増加する。特に Ar^{9+} イオンに関しては、 $200 \sim 500 q \mu\text{C}/\text{cm}^2$ の範囲ではほぼ線形関係が成り立っている。
- 3) Ar^{9+} イオンは、 Ar^{1+} イオンよりも深い段差構造を形成する。特に照射量が $500 q \mu\text{C}/\text{cm}^2$ のとき、 Ar^{9+} イオンで形成される段差深さは Ar^{1+} イオンの約3倍となる。

5. 考察

照射部が凹部となることから、Arイオンの照射部で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。また、エッチング時間が一定であるため、形成された段差深さをエッチング速度と対応させることができる。前章で得た結果から、SOGのHF水溶液に対するエッチング速度が、

- 1) Arイオンの照射量とともに増加し、
- 2) Arイオンの価数とともに増加することが導き出される。1)は、Arイオンの照射量とともにSOGの非晶質化が進んでいることを示している。一方2)は、多価イオンが持つ強いクーロン力によってSOGの非晶質化が促進されていることを示唆している。

SOG中におけるArイオンの最大到達深さである飛程をTRIM(2)を用いて計算したところ、約100 nmとなる(図5)。これより、Arイオンが直接引き起こすSOGの非晶質化は、表面から100 nmまでの深さで起こることになる。しかし、図4で100 nmより深い段差が形成されており、非晶質化にはストラグリング(図5)や二次電子などの間接的効果も関与していることが予想される。

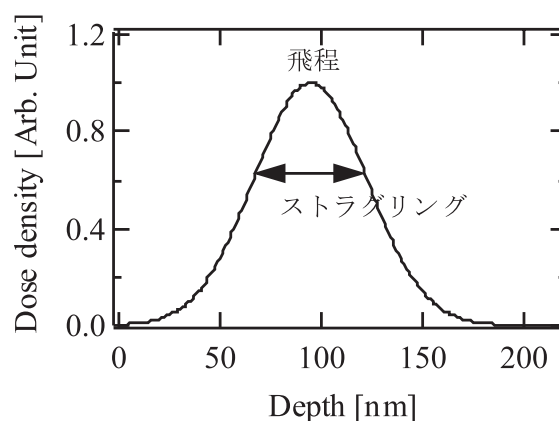


図5 Arイオンの深さ分布

6. まとめ

今回、1価と9価のArイオンビーム照射とエッチング工程の併用によって、SOGへのマスクパターンの転写に成功した。パターンの段差深さは、照射量や価数とともに増加することが分かった。この結果は、イオンビームリソグラフィを初めとする微細加工における多価イオンの有効性を示している。

文献

- (1) S. Momota, Y. Nojiri, M. Saihara, A. Sakamoto, H. Hamagawa, and K. Hamaguchi, "First Operation of ECR Ion Source at KUT", *Review of Scientific Instruments*, vol. 75, pp.1497-1498, May 2004.
- (2) J.P. Biersack, J.F. Ziegler, "The Stopping and Ranges of Ions in Matter", Pergamon Press, New York, 1985.