2206 ICP エッチングによる狭周期格子パターンの作製

Fabrication of narrow pitch grating pattern using ICP-RIE

○正 野田大二 (兵庫県立大学), 非 徳岡篤 (兵庫県立大学), 正 フェロー 服部正 (兵庫県立大学)

Daiji NODA, Atsushi TOKUOKA, Tadashi HATTORI
Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry, University of Hyogo

Silicon dry etching technology makes it possible to fabricate rectangular structures by repeating two steps of etching process and protection process. Therefore, our research introduces the ability of Si dry etching technology in order to fabricate un-tapered, high precision microstructures containing rectangular grating patterns with narrow pitch of submicron level. In the present study, a high precision Si microstructure was fabricated using ICP-RIE apparatus. In these techniques, we have succeeded in fabricating about 40 μm height, void-free gold microstructures in a space as narrow as 2.6 μm in large effective area of 60 mm squares. In this research, we are trying narrower space and high aspect ratio microstructures. Therefore, it is expected to be used in the production of a wide variety of micro-devices that have not yet been put into practice.

Key Words: ICP-RIE, narrow pattern, Si etching, grating, Si mold, imprint

1. はじめに

近年, レントゲンに代わる新しい X 線イメージングとして, 位相を利用した技術が研究されている。これは, 既存の X 線イメージングは画像コントラストの吸収能の違いを利用することから, 生体軟組織のような軽元素に対するコントラストは原理的に得ることが難しい。そこで, X 線の位相情報を利用すれば軽元素に対するコントラストが大幅に向上することが期待出来, その手法として X 線タルボ干渉計による画像取得を行っている^[1]。我々は, X 線タルボ干渉計に要求される微細高アスペクト比構造を有する X 線格子を X 線リソグラフィ技術により作製してきた^[2]。しかし, X 線リソグラフィは大がかりな施設が必要であり, また大面積 X 線マスクの作製が容易ではない。

そこで本研究では, X 線格子の作製をシリコンのドライエッチングを用いて作製することを新たに提案し, 研究を進めている^[3]。ICP-RIE (Inductively Coupled Plasma Reactive Ion Etching)法によるシリコン深掘り加工は微細かつ高精度に形成出来ることから, X 線格子の作製に向いていると言える。また X 線格子の周期をサブミクロンレベルまで狭周期化することで, X 線タルボ干渉計の高度化に対する知見を得ることを目的とする。

2. ICP エッチング法によるシリコン加工

ICP-RIE によるシリコンドライエッチングは, ボッシュプロセスが用いられる。SF₆プラズマ中の F イオン, ラジカルによる RIE によるエッチング工程と, C₄F₈プラズマ中の CF_xイオン, ラジカルによる重合反応によってテフロンに近い組成となるポリマー膜を形成する保護膜形成工程を交互に繰り返すプロセスである。側壁の角度はほぼ垂直にすることが出来ることから, 高精度な加工が可能なのが特徴である。実際に ICP-RIE 装置 (サムコ (株) 製 RIE-800iPB) を用いて周期 5.3 μm のパターンに対して約 80 μm の加工を行った結果を図 1 に示す。この時得られたアスペクト比は約 30 であり, 微細高アスペクト比構造体が形成出来ることがわかる。このようにして加工したシリコン構造体を利用して, 微細溝内に金をめっきにて形成して X 線格子を作製した。4 インチウエハ上に有効面積 60mm 角に対して, 周期 5.3 μm としたパターンとした。加工深さはボッシュプロセスのサイクル数のみで調整が可能であり, 今回使用した条件では数 μm から図 1 に示した 80 μm 程度の加工深さまでわずかに条件調整のみで良好な矩形形状が得られることを確認している。

Fig. 1 SEM image of high aspect ratio Si pattern by ICP-RIE.

3. シード層形成の検討

金構造体を作製する方法として電解めっきを利用した。電解めっきにはめっきする部分に電極となるシード層を形成する必要がある。このシード層がめっきの成長に大きな影響を与える。本研究のように微細高アスペクト比構造体に電解めっきを行うには, 底部からめっき膜を成長させることが必須となる。しかし, 底部のみに金属薄膜を形成してシード層とする^[3]ことは難しく, 容易ではない。

そこで, これまでに低抵抗シリコン基板を用いることで基板自体をシード層とし, ボッシュプロセスの側壁保護工程を利用して側壁の絶縁性を高めることで底部のみシード層として機能するように工夫してきた^[3]。しかし, 40 μm 程度の加工深さになるとアスペクト比は 15 を超えており, 側壁保護の絶縁膜として利用しているポリマー膜の剥離がめっき中に発生したことからの別の方法の検討を行ってきた。

本研究では長時間のめっき中でもシリコン構造体との密着性が高く簡易に形成可能な方法として, シリコンを熱酸化化したシリコン酸化膜を側壁保護膜とする方法を考案した。

4. 側壁保護による Au めっき

シリコンの熱酸化は古くから緻密で且つ良質な酸化膜が得られる方法として知られている。また, 熱酸化の温度, 時間などで形成されるシリコン酸化膜の厚みは制御可能であり, 薄くても絶縁耐性が期待出来る。本研究で使用した低抵抗シリコンは 0.001 Ωcm 程度であり, 構造体側壁を 100nm 程度の酸化膜で保護膜として機能すると考えられる。

熱酸化による酸化膜を形成後底部のみシリコンを露出させる必要があるが、異方性エッチングで除去する際に、上部の酸化膜も同時に除去されることになる。そこで本研究ではシリコン構造体を加工する前に酸化膜を形成し、加工後も酸化膜を残した状態とした。そうすれば後工程で酸化した際に上部の酸化膜の厚みは底部の酸化膜よりも厚くなり、底部酸化膜を除去しても上部にも側壁にも酸化膜が残ることとなり、底部のみにシリコンが露出してシード層となり得る。

底部のみシード層として機能するか、実際に構造体加工深さ $40\mu\text{m}$ に対して金めっきを行った。金めっき液には、日本高純度化学(株)製のテンペレジストめっき液を使用した。めっき浴温度を 50°C とし、電流密度 $0.2\text{A}/\text{dm}^2$ にて電解めっきを行った。得られた構造体の SEM 写真を図 2 に示す。この時の金めっき膜厚は約 $40\mu\text{m}$ であり、X 線格子に要求される金吸収体膜厚を得ることに成功した。また図 3 に金めっき後の 4 インチシリコンウェハ全体の写真を示す。この写真からもわかるように、金めっき膜は良好に底部から成長しており、高アスペクト比且つ大面積に対して本手法が有効であることが示せた。

Fig. 2 SEM image of Si pattern after Au electroforming.

Fig. 3 Picture of pattern on 4 inch Si wafer with effective area of 60 mm squares.

5. 狭周期化の検討

周期 $5.3\mu\text{m}$ で加工深さ $40\mu\text{m}$ の X 線吸収体層の形成が実現したことから、更に狭周期化についての検討を行った。加工深さは同じ $40\mu\text{m}$ とし、周期を $4.5\mu\text{m}$ とした X 線格子の作製を試みた。加工した後、酸化膜を形成し、金めっきを行ったところ、図 4 に示すように良好に金を形成することに成功した。このように ICP エッチングによる加工は狭周期化に対応しやすく、高度化した X 線格子が作製出来ることがわかった。さらに ICP エッチングによる加工は、図 5 に示すように周期 $1.4\mu\text{m}$ 、加工深さ約 $10\mu\text{m}$ 程度まで得られており、サブミクロンレベルの線幅でありながら、高アスペクト比構造が実現可能であり、更なる X 線格子の高度化に寄与出来るものと考えられる。

Fig. 4 SEM image of narrow pitch Si pattern after Au electroforming.

Fig. 5 SEM image of Si pattern with a pitch of $1.4\mu\text{m}$.

6. まとめ

ICP エッチングは周期 $5.3\mu\text{m}$ でありながらアスペクト比 30 以上の構造体が作製可能な技術である。そこで本研究では、ICP エッチングによるシリコン深掘り加工を利用し、高精度な X 線格子を作製するための検討を行った。位相イメージングに要求される周期 $5.3\mu\text{m}$ に対して $40\mu\text{m}$ 程度の金膜厚を電解めっきにて形成することとした。

電解めっきのシード層には低抵抗シリコン基板を利用し、微細構造体の側壁をシリコンとの密着性が高い熱酸化膜を用いることで構造体底部のみにシリコンシード層とし、底部からのみ金めっきが形成するようにした。実際に金めっきを行った結果、膜厚が約 $40\mu\text{m}$ 形成出来ており、 60mm 角全体で良好に形成出来た。また、狭周期化した周期 $4.5\mu\text{m}$ でも実現出来ることを示した。ICP エッチング技術は更に狭周期にも対応可能であり、本手法で大面積でも良好な X 線格子を精度良く作製できる可能性が示せた。

今後は、狭周期かつ高アスペクト比微細構造体に対して同様なプロセスを行うことで、高度化した微細高アスペクト比 X 線格子の作製を進めてゆく。

謝辞

本研究は、JST 先端計測分析技術・機器開発事業「高アスペクト比 X 線格子を用いた位相型高感度 X 線医用診断機器の開発」、および科学研究費補助金若手研究(B)の助成を受けて実施されたものである。

参考文献

- [1] A. Momose, S. Kawamoto, I. Koyama, Y. Hamaishi, K. Takai, Y. Suzuki: Jpn. J. Appl. Phys., Vol.44, pp.6355-6367 (2005).
- [2] D. Noda, T. Tanaka, K. Shimada, W. Yashiro, A. Momose: Microsyst. Technol., Vol.14, pp.1311-1315 (2008).
- [3] 野田大二, 徳岡篤, 服部正: 日本機械学会論文集 C 偏, Vol.77, pp.691-697 (2011).