

インプリント用ガラス状炭素ナノモールドの開発

電子制御工学科 清原修二, 電気・制御システム工学専攻 荒木慎司

1. はじめに

ナノインプリントリソグラフィ (Nanoimprint Lithography : NIL) 技術は, 低コストでナノサイズパターンの一括転写を実現可能で有望なナノテクノロジーの一つであり, 最も重要となるのが金型となるモールドである. 一般的にモールド材料としてシリコンや二酸化シリコンが使用されるが, 耐久性が弱く, 繰り返しの使用に耐えられないなどの問題点がある. そこで, 高硬度, 低熱膨張係数を有するダイヤモンドをモールド材料として, 最小直径と幅 500 nm の円錐と四角錐ドットのモールドを作製し, その有用性も確かめられた¹⁾. しかし, ダイヤモンドモールドは 100 回以上のインプリントに耐えられるが, 高さ 0.5 μm の先鋭化したドットしか作製できないため, ギアなどのマイクロ機械部品への応用は困難である. そこで本研究では, ダイヤモンドと似た特性を持つガラス状炭素 (Glass-Like Carbon : GC) を新たなモールド材料として提案した.

ポリシロキサン $[-\text{R}_2\text{SiO}-]_n$ を転写材料として用いた電子ビームリソグラフィにより所望のマスクパターンを形成し, 電子サイクロトロン共鳴 (Electron Cyclotron Resonance : ECR) 型酸素イオンビーム加工装置で 20 min 加工を行い, 最小直径と幅 500 nm, 高さ 1 μm の円錐と四角錐ドットを有する GC モールドを作製した. しかし, そのモールドで室温 (Room Temperature : RT) -NIL を行った結果, ドットが折れてしまった²⁾. そこで本研究では, ドットが折れてしまった原因をドットの高さが高すぎたためと考え, 転写材料の膜厚と同じ 500 nm のモールド高さが得られる加工時間を形状変化シミュレーションで見出し, モールド高さ 500 nm のモールドを作製し, その有用性を本研究で開発した RT-NIL により確認することを目的とする.

2. ガラス状炭素の ECR 酸素イオンビーム加工特性

ポリシロキサン (HSG-R7-13, 日立化成工業 (株)) は, 酸素イオンビームを照射することで表面に酸化膜を形成するため, 酸素イオンビームに対してエッチング耐性ができ, そのままマスクとして GC (PXG-35, 日立化成工業 (株)) のナノパターンを形成できると考えられる. そこで, シリコンウエハ上に膜厚 500 nm が得られるようにポリシロキサンを回転数 3000 rpm, 時間 10 sec でスピコートを行った. この試料と GC を ECR 酸素イオンビーム加工装置 (EIS-200ER, (株) エリオニクス) で加工を行い, 電子線 3 次元粗さ解析装置 (ERA-8900FE, (株) エリオニクス) で加工表面を測定した. その結果を Fig.1 に示す. GC とポリシロキサン膜の加工速度は, イオンエネルギーが増すごとに 400 eV をピークに増加し, 最大選択比はイオンエネルギー 400 eV のときダイヤモンドの 5 倍以上の 27 が得られ, これを最適加工条件とした.

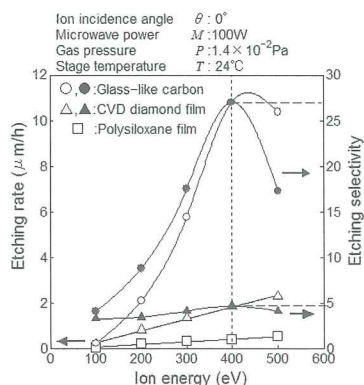


Fig.1 The dependence of the etching rate, and etching selectivity on ion energy

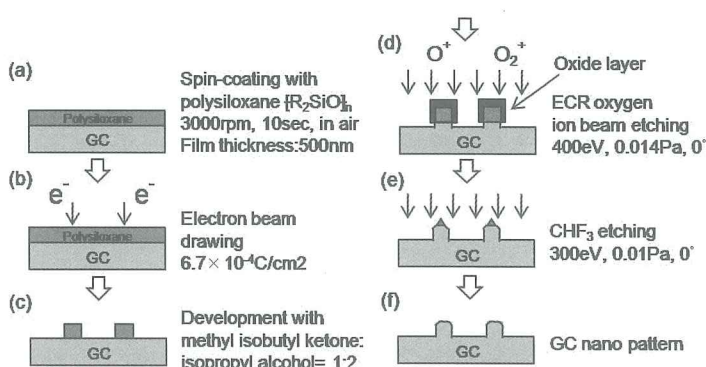


Fig.2 The nanopatterning process for GC molds using polysiloxane oxide mask

3. 電子ビームリソグラフィによるガラス状炭素モールドの作製

本研究で開発した GC モールドの作製プロセスを Fig.2 に示す. まず, 膜厚 500 nm が得られるように, 表面を機械研磨した GC (10×10 角, 3.4 mm 厚, 表面粗さ Ra 1.6 nm) 上にポリシロキサンを回転数 3000 rpm, 時間 10 sec でスピコートし, 直径と幅 500 nm の円と四角ドットパターンを電子ビーム描画した. この試料を MIBK (Methyl isobutyl ketone) と IPA (Isopropyl alcohol) を 1 : 2 の比率で混合した現像液で現像することによりマスクパターンを形成した. ここで, 形状変化シミュレーションにより, モールド高さ 500 nm となる ECR 酸素イオンビーム加工時間を 5 min と見出し, その加工時間で ECR 酸素イオンビーム加工を行った. その後, 三フッ化メタン (CHF_3) イオンビームでマスク除去を行い, GC ナノパターンを形成した. 本研究で作製したモールド高さ約 500 nm, 直径と幅 500 nm の円柱と四角柱ドットを有する GC モールドの SEM 写真を Fig.3 に示す.

4. 室温ナノインプリントによるガラス状炭素モールドの評価

膜厚 500 nm が得られるように, ポリシロキサンをシリコンウエハ上に回転数 3000 rpm, 時間 10 sec でスピコートした. 本研究で開発したコンパクトインプリント装置 (幅 30 cm, 奥行き 30 cm, 高さ 48 cm, 駆動力: DC コアレスモーター) を使用し, インプリント圧力 0.5 MPa, インプリント時間 5 min の条件でポリシロキサン膜が硬化するまで GC モールドを押しつけ, ポリシロキサン膜上にモールドパターンを転写した. インプリントされたポリシロキサン膜の原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope: AFM) (SPA-300, SII NanoTech. Inc.) 像を Fig.4 に示す. AFM 像より, ポリシロキサン膜にパターンが精度良く転写され, GC モールドの有用性が確認できた.

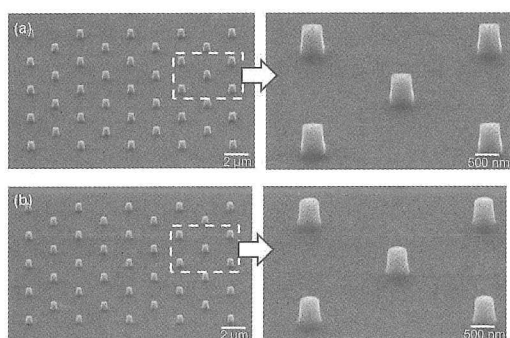


Fig.3 SEM photographs of GC molds of (a) square pole dots and (b) cylinder dots

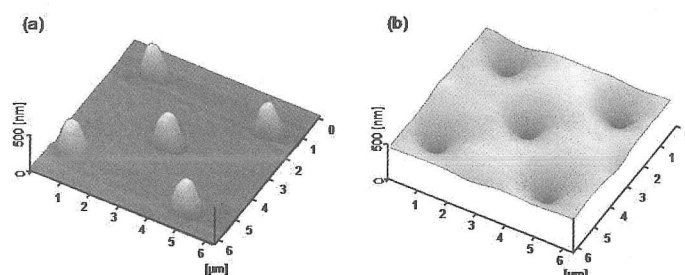


Fig.4 AFM images of (a) a GC mold and (b) an imprinted polysiloxane pattern

5. まとめ

モールド高さ 500 nm, 直径と幅 500 nm の円柱と四角柱ドットの GC モールドを作製でき, そのモールドで RT-NIL を行うと, ポリシロキサン膜に精度良く転写パターンを形成できることが確認できた. また, 加工時間を変化させることで先鋭化していないパターンも作製できるため, ギア形状のモールドを作製可能であると考えられる. 今後の課題は, ダイヤモンドモールドが耐えられるインプリント回数 (>100 回) と同等の耐久性があるかについて検討する. また, 実際にギア形状の GC モールドの作製を行う.

参考文献

- 1) S. Kiyohara, T. Kashiwagi, H. Takikawa, Y. Kurashima, Y. Taguchi and Y. Sugiyama, Nanofabrication of Three-Dimensional Imprint Diamond Molds by ECR Oxygen Ion Beams using Polysiloxane, e - J. Surf. Sci. Nanotech., 7, pp.772-776, 2009.
- 2) 荒木慎司, 柏木大幸, 清原修二: ナノインプリント用 3 次元グラッシーカーボンモールドの開発, 2009 年度精密工学会関西地方学術講演会講演論文集, pp.51-52, 2009.