

ナノ機能性デバイス用インプリントモールドの開発

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, ナノパターンが形成されたモールドを押し付けることで容易に高精度なナノパターンを大量生産できるため, 光学部材¹⁾ やパターンドメディア²⁾ などにおいて実用化への期待が高まっている. この技術で最も重要となるのが金型となるモールドであるが, 耐久性に欠ける従来のシリコンに代わるモールド材料として, 高硬度, 低熱膨張係数を持つダイヤモンドを提案した. そして, 本研究で開発したモールド作製プロセスにより, 最小直径 500 nm・幅 500 nm の円錐および四角錐ドットを有するダイヤモンドナノモールドを作製し, 100 回以上のインプリントによりその有用性も確かめられた. しかし, ダイヤモンドは選択比が 4.7 と低いため, 医療用マイクロマシン用ダイヤモンドマイクロギアの作製が困難であることが分かった. そこで, ダイヤモンドと似た特性 (高硬度, 低熱膨張係数) をもち, 価格もダイヤモンド薄膜の 1/5 と安価なガラス状炭素 (Glass-like carbon : GC) を新たなモールド材料として提案した. そこで本研究では, 高硬度, 耐摩耗性などの特異な性質をもつダイヤモンドのマイクロマシン用ギアを作製するため, ポリシロキサン [$-R_2SiO-$]_n を酸化マスクとした電子サイクロトロン共鳴 (Electron Cyclotron Resonance : ECR) 酸素イオンビーム加工でマイクロギア形状の GC モールドを作製し, 室温硬化 (Room-temperature curing : RTC) -NIL によりその有用性を確認することを目的とする.

2. 実験方法および装置

本研究で開発した GC モールドの作製プロセスを Fig.1 に示す. また, 実験試料には表面を機械研磨した GC (10×10 mm 角, 3.4 mm 厚, 表面粗さ $Ra = 1.5$ nm) [PXG-35, 日立化成工業 (株)] を用いた. ここで, 酸素イオンビーム加工には, 活性ガスでも長時間安定した照射が可能な ECR 型イオンシャワー装置 (EIS-200ER, (株) エリオニクス) を使用した. 最適加工条件であるイオンエネルギー 400 eV で酸素イオンビーム加工を行った. インプリントの際に, 基板まで精度良くモールドパターンを転写するためには, 転写材料の膜厚 500 nm と同等のモールド高さが必要であることを見出した. GC に対するポリシロキサンの選択比は 27 であり, ダイヤモンドの選択比の 5 倍以上と高いため, 酸素イオンビーム加工時間を変化させることでモールド高さの制御が可能である³⁾. そこで, 形状変化シミュレーションにより見出した最適加工時間で ECR 酸素イオンビーム加工後, 三フッ化メタン (CHF_3) イオンビームで残ったマスクを除去することでマイクロギアモールドを作製した. そのモールドは, 走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope : SEM) [ERA-8900FE, (株) エリオニクス] を用いて観察した.

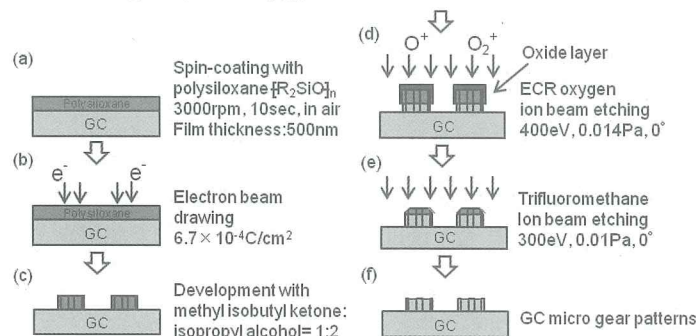


Fig.1 The nanopatterning process for GC molds using polysiloxane oxide mask

3. 実験結果および考察

本研究で開発した形状変化シミュレーションでポリシロキサン膜の膜厚と同じ高さ 500 nm の GC モールドが得られる ECR 酸素イオンビームの最適加工時間について検討した。その形状変化シミュレーションにより得られた結果を Fig.2 に示す。シミュレーション結果より、転写材料のポリシロキサン膜厚 500 nm と同等もモールド高さを有する GC モールドを作製するための最適加工時間は 5 min であることを見出した。また、加工時間が 10 min を経過するとファセットが形成され、パターンが先鋭化し始めることがわかった。この最適加工時間 5 min で ECR 酸素イオンビーム加工後、CHF₃ イオンビームでマスク除去を行うことにより、モールド高さ 500 nm、歯先円直径 30, 24, 18, 12, 6 μm および 5.4, 4.8, 4.2, 3.6, 3.0 μm の GC マイクロギアモールドを作製することができた。その SEM 写真を Fig.3 に示す。GC をモールド材料に用いることで、モールド高さが 500 nm 以下になるとモールドが先鋭化するダイヤモンドモールドでは作製できなかったマイクロギアモールドを高精度に作製できることがわかった。

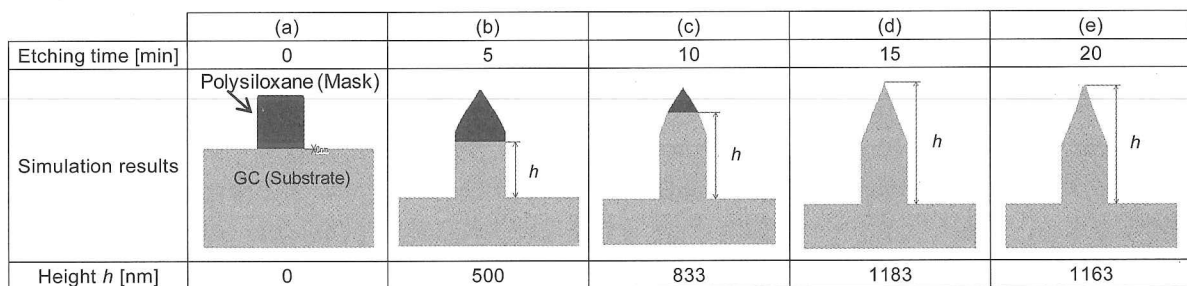


Fig.2 The simulation results of profile changes of ECR oxygen ion beam etching time

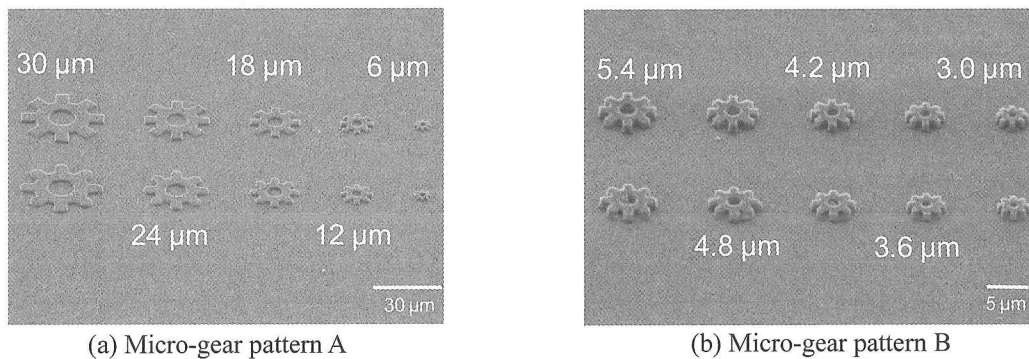


Fig.3 SEM photographs of GC molds with micro-gear patterns

4. まとめ

GC をモールド材料に使用することで、ダイヤモンドモールドでは作製することが困難であった GC マイクロギアモールドを作製できた。また、100 回以上のインプリントでも形状の変化がなく、ダイヤモンドモールドと同等の耐久性があることを確認できた。今後の課題は、作製した GC マイクロギアモールドを使用した RTC-NIL により、ダイヤモンドマイクロギアを作製することである。

参考文献

- 1) K. D. Lee, S. W. Ahn, S. H. Kim, S. H. Lee, J. D. Park, P. W. Yoon, D. H. Kim and S. S. Lee : Nanoimprint technology for nano-structured optical devices, *Curr. Appl. Phys.*, **681**, pp.149-153, 2006.
- 2) 稗田 泰之, 櫻井 正敏, 鎌田 芳幸, 喜々津 哲, 浅川 鋼児, 内藤 勝之 : 自己組織化とナノインプリントを利用したパターンメディア作製, *信学技報*, **102**, pp.37-42, 2003.
- 3) 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.