

ナノインプリントによるナノ構造形成技術の開発

加工技術課 小幡勤 評価技術課 奈須野雅明 機械電子研究所 横山義之*1

1. 緒言

ナノインプリントはナノメートルオーダーでのものづくり技術の一つである。CDやDVDなどの光ディスク制作に用いられるエンボス技術を発展させて、そのスケールをさらに小さくしたもので、ナノレベルの構造体を大量に生産できる技術として注目されている。

本研究では当センターで保有しているナノインプリント装置を用いて、ナノ構造体の形成技術の開発を行った。

2. ナノインプリント技術開発

2.1 ナノインプリント用フォトレジスト

ナノ構造体は、その反転型となるスタンプを用いて形成される。開発はすでに昨年度開発しているフィルムモールドベースのスタンプを使用し、基板上のフォトレジストをUV硬化させることでナノ構造を転写している。

フォトレジストはナノインプリント専用のネガ型レジスト（協立化学産業株式会社製 XIP シリーズ）を用いている。所望の構造体のスケールに合わせてフォトレジストを選択し、約40~100nmの膜厚範囲で基板上に塗布した。ここで注意する点は、フォトレジストがラジカル硬化型である場合 UV硬化時に酸素阻害を受けるため、光重合開始剤の量を膜厚によって調整する必要がある。適宜最適化することによって、50nm程度の膜厚においても十分なUV硬化が得られることを確認している。また膜厚を100nm前後程度にする場合、開始剤の含有量が多いと露光過多になる可能性があるため、極薄膜用レジストよりも減らす必要がある。本研究ではメーカーと共同で2種類のレジストを作製し、適宜選択することで歩留まりを向上させた。

2.2 エッチング加工

前述のレジストを用いることで基板上にナノ構造体が形成される。レジストを永久膜として利用すれば、個々に作製された構造体を基にしたアプリケーションの開発をすることが可能となる。また、作製されたナノ構造をマスクとして基板をエッチングし、基板表面にナノ構造体を作製するというニーズも多くある。その場合、多くはドライエッチング法にて基板を加工し、フォトレジストのエッチング耐性が劣る点を考慮して、基板とレジスト間に挿入した中間層をフォトレジストで加工し、それをマスクに基板を追加加工するという手法がとられる。本研究では、従来の多層膜によるマスクエッチングではな

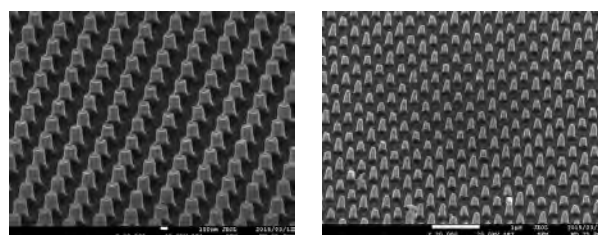


Fig.1 Nano pillar (Photoresist) Fig.2 Si nano pillar

く、フォトレジストのみで直接基板をエッチングすることを試みた。基板はシリコン基板を選択し、インプリント後にICPドライエッチング装置（DRIE：住友精密工業（株）MUC-21）を用いて直接エッチング加工した。また、通常エッチング前の前処理として行われる残膜処理を省略し、フッ素系ガスを用い、一括で残膜除去→基板エッチングまでを行う工程とした。基板はインプリントによるフォトレジスト・ナノ構造体形成後、ダイシングで10mm角に切り出し、それをトレイ基板に貼り付けることでDRIE装置に導入している。

3. 実験結果および考察

フィルムモールドは、200nm径、500nm高さのナノピラーが正三角形格子配列されたものを使用した。フォトレジストは約100nm程度の膜厚で塗布し、ナノインプリント装置（SussMicroTec MA6 SCIL）でインプリント、露光を行った。

Fig.1はインプリント後の電子顕微鏡写真である。明るい構造色が見られる場所は、200~300nm高さ程度のピラーが形成されている。基板最表面に残るフォトレジストの残膜は50nm以下と思われ、酸素プラズマによる残膜処理を行っても、基板表面に変化が見られなかった。

次にDRIE装置でシリコン基板をエッチングした。SF6ガス単独でのエッチングでは、シリコン加工中にサイドエッチングが進みピラー形状が得られなかった。そこで短い周期で保護膜形成（C4F8）→エッチング（SF6）を繰り返すことで、レジストの減膜とピラーのサイドエッチングを抑制しながら加工することを試みた。4~5周期程度のプロセスを繰り返すことで、サイドエッチングを抑制しながら300~600nmのシリコンピラーを形成することに成功した。Fig.2は加工したシリコンピラーの走査型電子顕微鏡写真である。シリコンナノピラーが座屈することなく形成されていることがわかる。ここでナノピラーの径は約150nm前後であり、モールドの設計値より

*1 現 商工企画課

も細くなっている。また先端も丸くなっており、サイドエッチングの影響を受けていることを示している。サイドエッチングを抑制するには、保護膜形成の時間を長くすることにより調整可能であり、保護膜形成→エッチングの工程バランスを最適化することで改善されるものと考えられる。またナノ構造の場合、エッチングの際のプラズマによる熱の影響を考慮する必要がある。フォトリソグ resist 及び保護膜のエッチング耐性は温度が上がると劣化することが知られており、エッチング中の基板冷却を適宜制御することが必要となる。

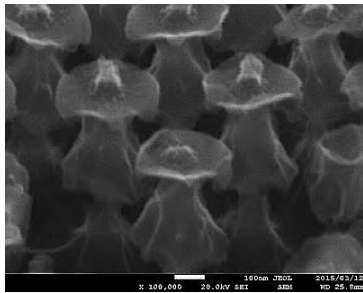


Fig.3 Nano flowers

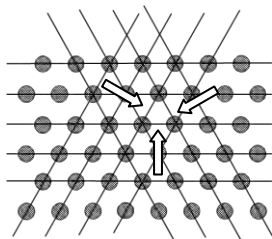


Fig.4 Trihedral nano pillar mirror



Fig.5 Nano mirror scanner

Fig.3 は、エッチング中の基板冷却を抑制し、サイドエッチングを意図的に進めて作製したナノフラワーである。フォトリソグ resist がマスクしたところは、花の部分となり、サイドエッチングが進んだ側壁部が茎になっている。このようにエッチング現象を利用することで1万分の1mmスケールの花模様を咲かせることができる。

以上のようにして作製したナノピラーを利用して、光デバイスへの応用も検討した。作製したナノピラーは正三角形格子配列となるため、Fig.4 のように3面（裏を含めて6面）の反射面を仮想することができる。ここにコリメート光であるレーザーなどの点光源を導入すると、通常円柱反射の場合に横に拡張される光が、点状を保ったままに反射する。またピラー列により6つの反射面が形成され、ピラー構造体を回転させると入射した光が6つの反射光となってスキャンされるようになる。回転を高速化することで連続的にレーザー光が描画されるようになり、ポリゴンミラーと同様の現象が確認できた。Fig.5 は作製した回転ナノ構造体にレーザー光を入射して、光スキャナとして動作させたものである。

4. 結言

フィルムモールドを応用したナノインプリント技術でシリコン基板上にナノ構造体を形成し、それをマスクとしたエッチングをおこなった。保護膜形成とエッチングプロセスを組み合わせることで、シリコンを残膜処理なしに加工可能であることを確認した。また、加工したナノ構造体を用いて光デバイスの動作を確認した。

謝 辞

終わりに、フォトリソグ resist を提供及び開発協力をしていただいた協立化学産業株式会社様に感謝致します。SUSS MicroTec AG 社（独）のアドバイスに感謝致します。

キーワード：ナノインプリント、フィルムモールド、ナノピラー、光スキャナ

Development of Nano-structure Fabrication Technology Using Nanoimprint Lithography

Processing Technology Section; Tsutomu OBATA, Masaaki NASUNO and Yoshiyuki YOKOYAMA*1

Nanoimprint lithography is realized a simple high-resolution patterning method. Nano-scale structures is generated in the thin photoresist layer by embossing. We built polymer nanostructures shaped by pressing the stamp on Silicon substrate and processed using as an etching mask. Silicon nanostructure(nanopillars) is formed by etching via Deep Reactive Ion Etching(DRIE) equipment. It is confirmed that silicon nanopillars are realized a minute mirror for reflecting collimated light and worked as optical scanner. By selection of the etching conditions, silicon structure can be changed variously.