

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

1. 緒言

ナノインプリント技術は、主に超微細加工のためのリソグラフィ技術として検討されていたが、近年このようなプリンタブルによる工程を従来の加工工程との置き換えやステップアップの手法として取り扱おうとする事とも検討され始めている。

本研究では、これまでに開発したナノインプリント技術を用いた加工技術の検討をおこなった。

2. 実験方法

2.1 ナノインプリント技術

ナノインプリントは、昨年度開発したスタンプ技術をもとに行っている。まずナノレベルの凹凸が形成されたフィルムモールドを薄いガラスに貼り付けたフレキシブルなスタンプを作製し、それを基板上にスピコートで塗布された光硬化性樹脂（レジスト）に押し当てる。するとその際に生じるキャピラリーフォースで凹凸にレジストが充填される。続けて紫外線光源でレジストを光架橋させた後、端から引き剥がすように基板からスタンプを離型させる。

今回用いたフィルムモールド表面には、φ230nm で深さ200nm のホールが多数形成してあり、これで成型することで基板表面側にはピラー形状のナノ構造体が得られる。このレジストピラーをマスクとしてドライエッチング工程をおこなうことで基板の微細加工が可能になる。

2.2 シリコン基板の加工方法

レジストをエッチングマスクとした工程を効果的に機能させるためには、エッチング工程に十分耐えうる厚いレジスト膜が必要となる。しかしながら、ナノインプリントによるパターン形成の場合、エッチングを進めたい部分にも薄いレジスト残膜が生じてしまう。それを最小

限にするためには、非常に薄い膜厚で基板上にレジスト塗布をおこない、パターン形成後において生じる残膜を最小限にする必要がある。しかし、形成されたエッチングマスクは非常に薄くなるため、エッチング可能な基板の加工深さは限定されるものになる。そこで本研究では、シリコン基板を加工する工程（エッチング）に加え、レジストの保護および横方向へのエッチングを抑制するための工程（デポジション）を繰り返す、いわゆるボッシュプロセスを導入することで基板の効果的な加工をおこなった。また、微細加工をおこなったシリコンを酸化するなどをして、微細なエッチングが困難なガラスでのナノ構造体の作製を試みた。

フォトリソは、協立化学産業（株）製の XIP を用い、およそ 80nm の膜厚でシリコン基板へ塗布した。プリベークをおこなった後、スタンプを密着させ、60~300sec 間の露光（Broadband h-line で約 30mW/cm）をおこなった。十分にレジストが硬化すると、基板とスタンプは容易に離型された。

ボッシュプロセスでは、デポジションとエッチングの工程サイクルを繰り返すが、各工程時間のバランスでエッチング形状が決定されるため、その影響も調査した。

3. 実験結果および考察

Fig.1 はボッシュプロセスのサイクル数とエッチングされたシリコンの深さ（ピラー高さ）である。エッチング初期は残膜として 30nm 程度あるレジストへのエッチングが行われるため、シリコンのエッチングが進行しない。4~5 サイクルからシリコンの加工が始まり、サイクル数

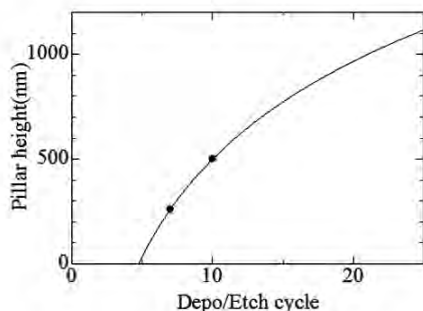


Fig.1 Bosch cycle VS Pillar height

Table.1 Etching condition

	deposition	Etching
Standard(Std)	4sec	7sec
Short Cycle	2sec	3.5sec
Depo Rich	5sec	7sec

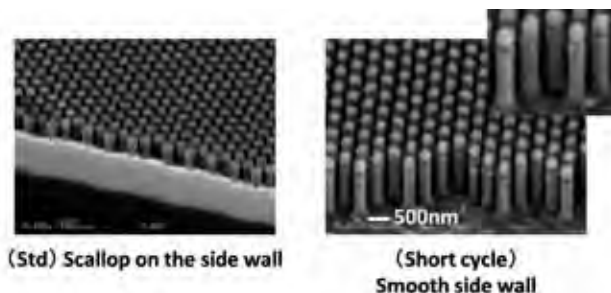


Fig.2 Etching result on short cycle condition

にしたがってエッチングが進み、ピラー形状が出来上がってくることを確認できた。

工程のサイクルバランスを Table.1 のように設定し、エッチングした結果が Fig.2 である。通常のエッチング、デポリッチ条件ではエッチング側面にスキヤロップが形成されるが、各工程の時間を短くすると（ショートサイクル）それが抑制されスムーズなピラーが得られている。また、エッチング時間の比率が短くなることでレジストへのダメージも抑制され、1 μm 以上の加工においてもレジストが消滅することがなかった。

上記の工程で加工したシリコンを高温（1050 $^{\circ}\text{C}$ ）酸素雰囲気中で熱酸化した結果が Fig.3 である。基板表面に触れた酸素はシリコン表面へ拡散し、SiO₂（ガラス）層を形成している。ピラーの直径は約 200nm なので 1 時間程度の処理で表面のシリコンがすべてガラスに変化している（酸化厚の約半分はシリコンが消費された厚みである）。Fig.4 はフッ酸処理をおこなったもので、ガラス化したシリコンピラーが溶解することを確認できた。

この結果を利用することで、表面に光学構造を形成したガラスを容易に作製可能である。例えば幅広い波長で透明な石英ガラスにスパッタ蒸着でシリコン膜を形成し、塗布されたレジストにナノインプリント、続いてそれを基にしたエッチング加工、熱処理を行なうことで、反射防止膜などをスタンダードなシリコンプロセスで形成す

ることができる。実際に石英基板上にナノ構造を作製し、ドライエッチング後に残ったシリコンを酸化することで石英表面に透明なガラス構造を形成することができた。

今回の結果を用いることで従来のデバイスに容易にナノ構造を取り入れることができ、またシリコン基板上へのシリコンあるいはガラス微細構造を形成することも可能になった。例えばヘルスケアチップにおいては、チップ表面のタンパク固相化密度を向上させることができるため、蛍光による抗原抗体反応などを高感度に検出できる（Fig.5）。また形成するナノ突起を先鋭化させるなどできれば、高効率な電界電子放出特性が得られることも期待できる。さらに従来多層膜などのプロセスで作られるような波長フィルター機能などもデバイス上に形成できるなど応用範囲は広いものと思われる。

4. 結言

ナノインプリント技術を用いたナノ構造の作製を行った。保護膜となるレジストの膜厚や加工条件を最適化することなどによって、サブミクロンレベルの加工を安定して実現することが可能になった。シリコン以外の材料の加工においても、本研究の知見をもとに条件等を検討することによって短期間で微細構造の作製が可能になると思われる。

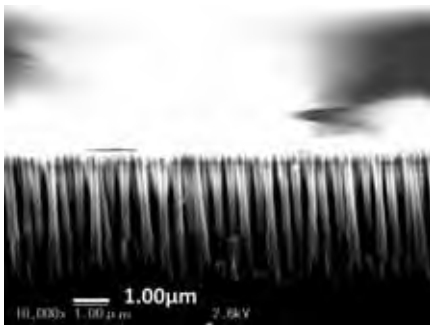


Fig.3 SiO₂ nano-pillar

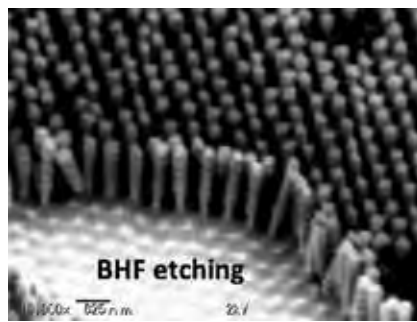


Fig.4 Etched SiO₂ nano-pillar



Fig.5 Comparison of antibody labeling intensity on health care chip

キーワード：ナノ構造、インプリント、ドライエッチング

Development of nano- structure formation technology by nanoimprint

Processing Technology Section; Tsutomu OBATA, Evaluation Engineering Section Masaaki NASUNO

We studied to prepare the fine structure using nano-imprint technology . By optimizing the film thickness of the photoresist and etching method of the working material, it was attained the processing of nano-order . And also silicon deposited on the quartz glass was carried out for manufacturing a nano- structure of the glass by oxidation.