ノート

超微細成形技術によるシート型微小針アレイの開発
(第 3 報)

佐藤　健*　樋口　智*　山田　敏浩*　伊関　陽一郎*　斎藤　博**

Development of Hollow Microneedle Array by using Ultra Fine Injection Molding Ⅲ

SATO Takeshi*, HIGUCHI Satoru*, YAMADA Toshihiro*, ISEKI Yoichiro* and SAITO Hiroshi**

1. 緒　　言

医療機器産業では，患者の肉体的・精神的負担の軽減などの観点から，注射針を使用したときの痛みや皮膚ダメージなどの軽減が求められている。本研究では，プラスチック成形技術を高度化した超微細成形技術を用いて，無痛・低侵襲のシート型中空微小針アレイを開発する。

MEMS プロセスで，多数の微小突起をシリコン基板上に一括形成し，これをマスター基板として電鋳した後，超精密切削加工機で穴あけなどの微細加工を付加することによって成形金型を作製する。

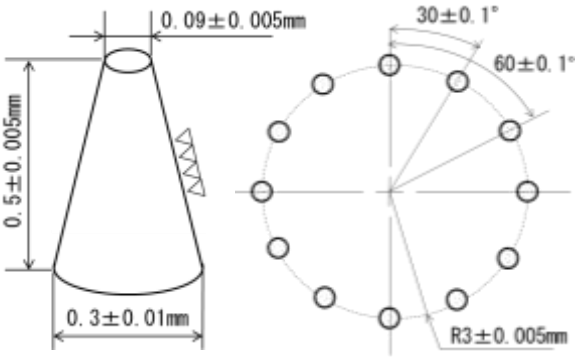
マスター基板の作製について，昨年度まではドライエッチングでシリコン基板の表面に微小突起を形成する方法を検討した。[1),2)]

今年度は，MEMS 分野において，主に高アスペクト比構造体の形成に用いられる化学増幅型の厚膜フォトレジスト（以下，単にレジストと呼ぶ）を利用した突起形成プロセスを検討したので報告する。

2. 突起形成プロセス

図 1 は，試作目標とした突起の形状と配置であり，高精度のパターニングを必要とする寸法公差となっている。

レジストには，日本化薬（株）製のネガ型レジスト KMPR-1035 を使用し，シリコンウェーハを切断したものを基板とした。図 1 の突起の形成にあたって，



(a)　形状　　(b)　配置

図 1　マスター基板に形成する突起

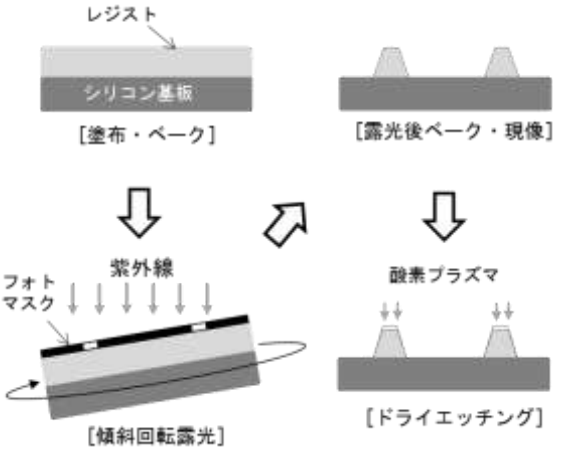


図 2　突起形成プロセス

---

*　研究開発センター

**　下越技術支援センター

①スキージ法によるレジスト成膜
②傾斜回転露光法による円錐台の形成
③ドライエッチングによる高さ調整
について検討し，プロセスを最適化した。図2にプロセスの概略を示す。

2.1　レジスト成膜

KMPR-1035は，高粘度のレジストであるが，一回のスピン塗布で成膜できる厚さは100μm程度である。本研究で必要な500μmをスピン塗布で成膜するには，塗布とベークの繰返しが複数回必要となり実用的ではない。このため，スキージ法によるレジスト成膜を検討し，以下の手順を試作に適用した。

厚さ1mmのスペーサを使用してレジストをスキージングしたのち，100℃のホットプレート上でベークして溶剤を除去する。

なお，塗布はパターン形成領域のみとし，次工程で必要なスペーサを置く領域を確保しておく。

厚さ0.5mmのスペーサをレジストが塗布されていない領域に置き，これを介してガラス製のフォトマスクをレジストに加圧密着させる。レジストを軟化させるため，この作業は50℃のホットプレート上で行う。フォトマスクを密着させることによって，レジストはスペーサと同等の厚さで平坦に成膜される。さらに，フォトマスクとのパターン変換のばらつきを抑制することができるので，上・底面径の精度が向上する。

露光後にはレジストから剥離する必要があるので，フォトマスクにはあらかじめ離型処理をしておく。

2.2　傾斜回転露光法

傾斜回転露光法[3)]とは，図3のように，傾斜させたステージに基板を置き，一定速度で回転させながら紫外線を照射する方法である。レジストは円錐台状に感光し，ステージ傾斜角を変えることによって，円錐台斜辺の勾配角を制御できる。ステージ傾斜角とフォトマスクの開口径によっては，突起内部に未露光となる領域が生じ，現像中に形状が崩れる要因となる。このような場合には，所定角よりも小さい傾斜角，あるいは傾斜なしの露光を付加することによって，

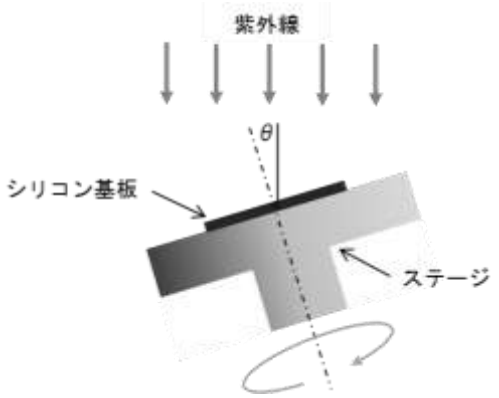
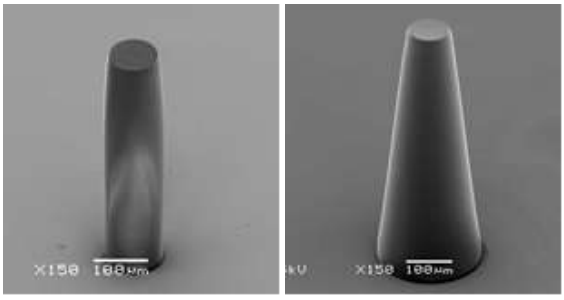
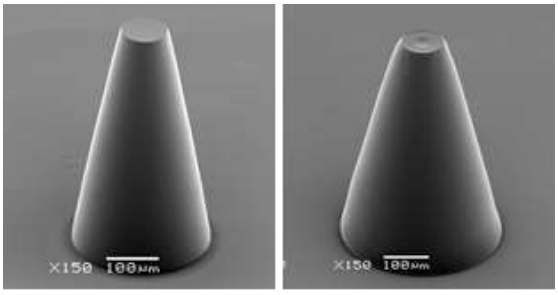


図3　傾斜回転露光法



(a)　0°　　(b)　15°



(c)　22°　　(d)　28°

図4　ステージ傾斜角と突起形状

表1　突起形状測定値

ステージ傾斜角	上面径（μm）	底面径（μm）	高さ（μm）	突起勾配角
15°	92	231	565	83°
22°	91	288	485	79°
28°	93	368	522	75°

突起全体を感光させることが必要である。

図 4(a)は傾斜なしの露光，(b)～(d)は 3 種類の傾斜角で露光した場合の突起の形状である。ステージ傾斜角に応じて，それぞれ勾配角の異なる円錐台となっており，形状の制御が可能であることを示している。

また，表 1 に上記の突起の上・底面の径と高さの測定値，これらから計算した勾配角の値を示す。図 1(a)の設計値から計算される突起の勾配角は 78°であり，露光条件としては，これと同等の形状が得られる 22°のステージ傾斜角が適当である。

なお，ここで使用したフォトマスクの開口径は φ89μm であり，この値で概ね設計どおりの上面径が得られることがわかった。

2.3　ドライエッチングによる高さ調整

突起の高さには，公差±1%という高い精度が要求されている。2.1 項で検討した成膜方法は，一基板内の突起高さの均一性には優れるものの，基板ごとのばらつきまで含めるとこの公差を実現することは困難である。そこで，酸素によるドライエッチングを突起の高さ調整に利用することを試みた。

レジストでパターン形成した基板を電鋳用マスターとして用いる場合には，基板表面のレジスト残渣を除去するために，酸素プラズマで処理することが一般的である。通常は，

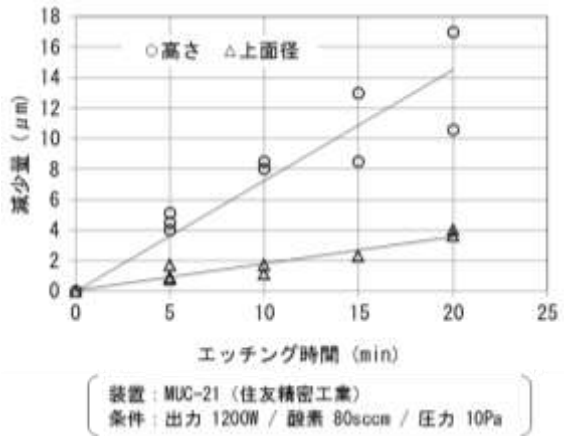


図 5　エッチング時間による寸法変化

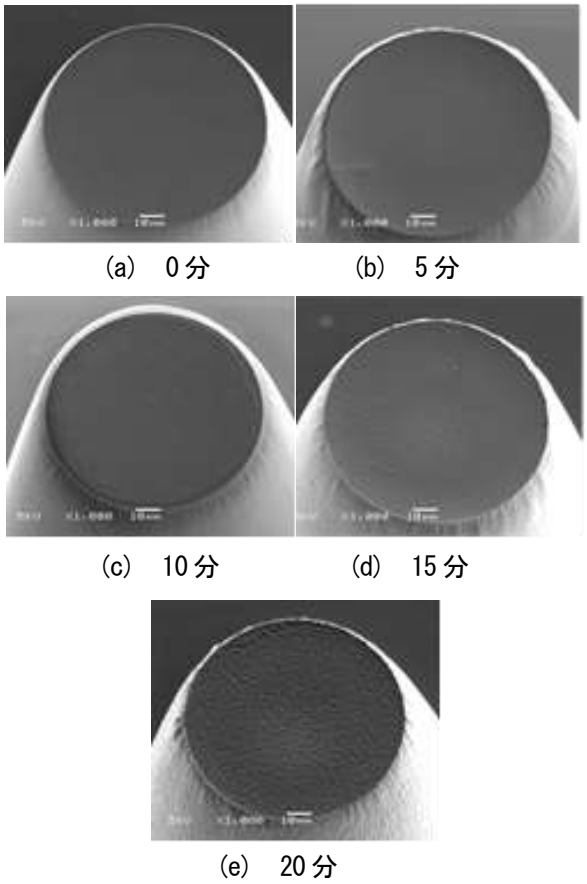


図 6　ドライエッチングによる突起表面の変化

レジストの寸法変化が生じないように，低出力で短時間の処理が行われる。本研究では，これを高出力で行い，高さを減少させる手段として利用する。パターニング後に設計上限の 505μm を超えた場合でも，高さを減少させることで公差内に収めることが可能になり，レジストの成膜精度を実質的に緩和することができる。

図 5 にエッチング時間に対する高さと上面径の寸法変化を示す。どちらも時間との相関が見られるが，上面径の変化量は比較的小さいので，ドライエッチングは高さ調整の有効な手段と考えられる。

また，図 6 にエッチング時間に対する突起表面の状態変化を示す。長時間化によって表面が荒れて行く様子が観察されており，平滑性が必要な場合には，処理時間の上限を設定しておく必要がある。

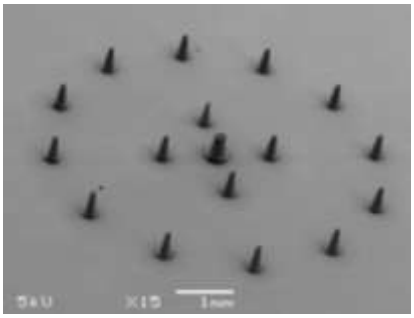


図 7　マスター基板

表 2　形状測定結果

	上面径（μm）	底面径（μm）	高さ（μm）
平均値	95	294	498
最小値	94	290	496
最大値	96	296	499

3.　マスター基板の作製

電鋳用マスター基板を作製した。これまでの検討結果をもとに，ステージ傾斜角を 22°，ドライエッチングによる高さ調整で生じる上面径の減少を考慮し，フォトマスクの開口径を φ94μm とした。作製後の外観を図 7 に示す。図 2(b)に表示のない中央部の突起は，電鋳後の機械加工の位置合せマークとして追加したものである。表 2 に測定顕微鏡（オリンパス製 STM）を用いて，外周 12 個の突起の形状測定を行った結果を示す。

フォトマスクの開口径に若干調整の余地があるものの，概ね設計どおりの形状であり，高精度のパターニングができた。

4.　結　　言

レジストを使用した円錐台形状の微小突起形成プロセスを検討し，以下の結果を得た。

(1) スキージ法およびスペーサを用いたフォトマスクの加圧密着により，厚さ500μmでレジストを成膜した。

(2) 傾斜回転露光法により，円錐台形状の微小突起を形成した。

(3) ドライエッチングが突起高さの調整手段として有効であることがわかった。

(4) 最適化した条件により高精度のパターニングを行い，電鋳用マスター基板を作製した。

なお，本研究は，平成 24 年度戦略的基盤技術高度化支援事業の成果の一部であり，経済産業省の委託を受けて行ったものである。

参考文献

1) 平石誠ほか，“超微細成形技術によるシート型微小針アレイの開発”，新潟県工業技術総合研究所工業技術研究報告書, No40, 2010, p32-34.

2) 山田敏浩ほか，“超微細成形技術によるシート型微小針アレイの開発（第2報）”，新潟県工業技術総合研究所工業技術研究報告書，No41，2011，p45-48.

3) 花井計ほか，“傾斜回転露光法による三次元加工法”，電気学会論文誌E，Vol.126，No6，2006，p.222-227.