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

平石　誠*　樋口　智*　山田　敏浩*　斎藤　博*

Development of Hollow Microneedle Array by using Ultra Fine Injection Molding

HIRAISHI Makoto*, HIGUCHI Satoru*, YAMADA Toshihiro* and SAITO Hiroshi*

## 1. 緒　言

健康・医療に対する意識が高まる中，治療や検査で多用される注射針を使用した時の痛みや皮膚ダメージ，精神的ストレスの軽減が要望されており，注射針のマイクロ化が期待されている。

本研究は，プラスチック成形技術を高度化した超微細樹脂成形技術を用いて，シート状の微小中空針アレイを開発することを目的とする。微小針の数として 1 シートあたり 10～100 個を想定しており，成形金型の作製には，多数の微細形状を一括して形成できる MEMS プロセスが有利である。

本報では MEMS 加工と超精密切削加工の複合技術によるシリコンマスター型の作製について基礎的な検討を行った結果を述べる。

## 2. 金型製作プロセス

金型の作製手順を図 1 に示す。

まず，フォトリソグラフィとドライエッチングからなる MEMS プロセスによりシリコンウェーハ上にアレイ状に配列した微小突起を作製する。

各微小突起には薬液が通過する穴が設けられる。薬液の安定した流れを作るためには，穴の直径や内面の粗さを高精度に加工する必要があることから，超精密切削加工機を用いて穴加工を行う。

作製された形状をマスター型として，これにニッケル電鋳を施し形状を転写する。マスター型は剥離または溶解により除去され，電鋳が成形金型となる。

なお，今年度の針形状の目標値は，針高さ 300μm，針の先端径 90μm，針内径 80μm，公差±15%とした。

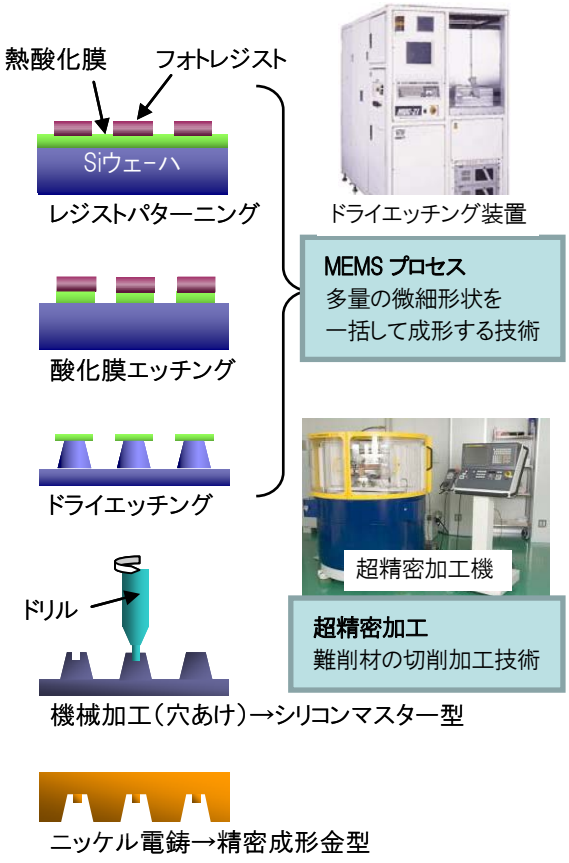
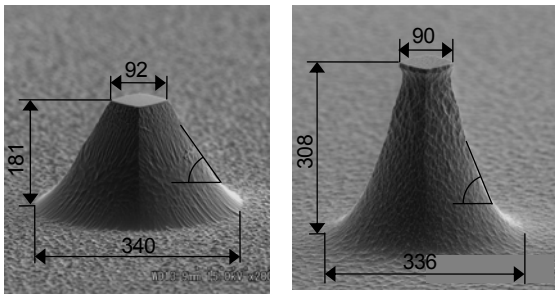



図 1　シート状微小針アレイ用成形金型のプロセスフロー

---

*　研究開発センター




(a) 酸素流量：多　　(b) 酸素流量：少

図 2　テーパーエッチングにおける
酸素流量の影響（単位：μm）

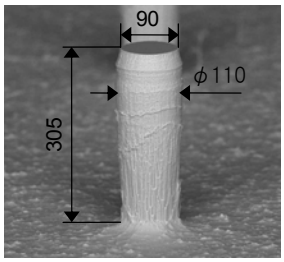



図3　垂直エッチングにて作製した突起
（単位：μm）

## 3.　ドライエッチングによる微小突起の多数形成

シリコン基板のドライエッチングでは，エッチングレートがシリコンと熱酸化膜とで大きく異なることを利用する。突起を形成する箇所にフォトリソグラフィにより熱酸化膜を配置し，これをエッチングマスク（以下マスクと略す）として，その周囲のみを選択的にエッチングする。

エッチングの断面形状は等方性エッチングと異方性エッチングに大別される。前者では $SF_6$ ガスを用い，サイドエッチングが積極的に利用される。一方，後者の代表的なものに Bosch プロセスがある。$SF_6$ ガスによるエッチングと $C_4F_8$ ガスによる側壁保護を繰り返すことにより垂直壁が形成される。

### 3.1　テーパーエッチング

本プロセスは，等方性エッチングと同様にサイドエッチングを活用したプロセスであるが，突起の側面がより直線的な傾斜になることを特徴とする。

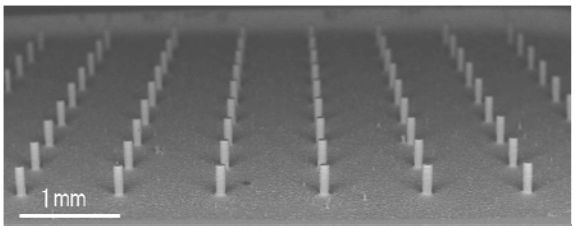



図4　アレイ状突起（1 ㎜ピッチ）

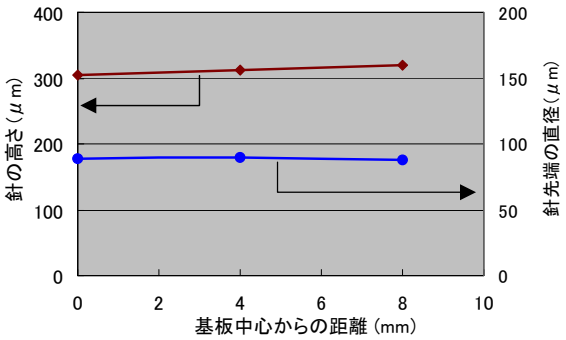



図5　突起の高さおよび直径の分布

φ350μm の円形マスクを用いてテーパーエッチングを行った（図 2）。同図(a)，(b)はエッチングガス中に含まれる酸素量がエッチング形状に及ぼす影響を比較しており，酸素流量が少なくなると勾配が大きくなることがわかる。酸素流量の減少によりサイドエッチングが抑制されたものと考えられる。

突起の底面の大きさ，形状はマスクとほぼ同等となった。一方，上面は四方が角張り，正方形に近くなった。これはエッチングレートが結晶方位により異なることに起因する。このことからエッチングレートが大きい面方位の距離を予め長くしたマスクを用いることにより，真円に近いエッチング形状を加工できることが期待される。なお，突起の傾斜面の粗さが大きい理由としては結晶方位の影響が考えられる。

### 3.2　垂直エッチング（Bosch プロセス）

図 3 にφ110μm の円形マスクを用いて Bosch プロセスにてエッチングを行った結果を示す。Bosch プロセスに先立ちテーパーエ

ッチングを行うことによって上部のテーパーを形成した。上面から 1/3 程度まではマスク径と同等の直径が維持されているが，それ以下では直径が小さくなり，傾斜面が下向きの逆テーパーになった。成形金型とするためにはむしろ順テーパーである必要があり，本プロセスを適用する際の課題である。

1mm ピッチのアレイ状に配置された円形マスクを用いて同条件でエッチングを行った（図 4)。図 5 に突起の高さ，および突起先端直径の測定結果を示す。突起の高さは基板中心から外周に向かって高くなる傾向を示したが，基板中心から 8mm の領域においては±2.5%の加工精度が得られた。突起の高さ分布はエッチングレートの差に起因し，これはエッチングチャンバー内のプラズマ密度もしくは温度分布の影響によるものと思われる。また，先端直径は位置による差異はほとんどなく，±1.5%以下のばらつきに抑えられた。

## 4. 超精密加工機による微細穴加工

ドライエッチングで加工された微小針には中空穴が設けられる。成形品で薬液の安定した流れを作るためには，マスター型の製作段階において穴の直径や内面の粗さを高精度に加工する必要がある。しかし，単結晶シリコンなどの結晶性の高い脆性材料の切削加工に関する事例報告は少ない。そこで，単結晶シリコンの加工特性について検討した。

加工条件を表 1 に示す。工具は単結晶ダイヤモンドドリルとした（図 6)。

前述の Bosch プロセスにて作製した突起の上面に穴加工を行った（図 7)。穴のストレート部の長さは 160μm であり，アスペクト比は 2 である。入口エッジ部分に若干の欠けが確認できるものの（丸で囲んだ部分）大きな脆性破壊は生じず，真円度も良好である（図 8)。

課題としては加工時間の短縮やより小径の工具への対応が挙げられ，超音波援用加工の適用について検討中である。

表 1　微小穴加工条件

| | |
|---|---|
| 被削材 | 単結晶シリコン |
| 工具 | 単結晶ダイヤモンドドリル（$\phi$80$\mu$m） |
| 主軸回転数 | 50,000min$^{-1}$ |
| 送り速度 | 0.01mm/min |
| ステップ量 | 0.0005mm |
| クーラント | 放電加工用油を間欠供給 |

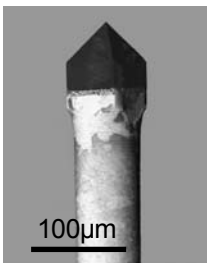



図 6　ダイヤモンドドリル

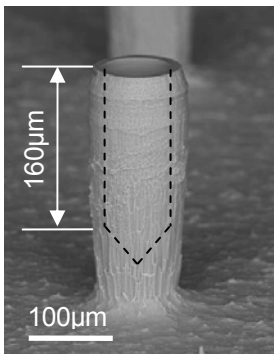



図 7　突起上面への穴加工

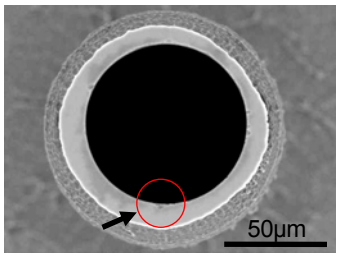



図 8　突起上面への穴加工

## 5. 結　　言

シート状の微小針アレイの成形金型を開発するため，ドライエッチングと超精密切削加工によるシリコンマスター型の作製について検討を行った。得られた結果は以下のとおり。

(1) シリコンウェーハ上にドライエッチングにより高さ 300μm，先端径 90μm の微小突起を 9×9 のアレイ状に配列し一括作製した。

(2) 微小突起上面に単結晶ダイヤモンド工具による超精密加工を実施し，穴径80μm，アスペクト比2を達成した。