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2報)

山田　敏浩*　斎藤　博**　坂井　修*　樋口　智*　菅野　明宏*

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

YAMADA Toshihiro*, SAITO Hiroshi**, SAKAI Osamu*,HIGUCHI Satoru*and KANNO Akihiro*

1. 緒　　言

医療機器産業では，患者の肉体的・精神的負担の軽減等の観点から，注射針を使用した時の痛みや皮膚ダメージ等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樹脂成形技術を用いて，無痛・低侵襲のシート型中空微小針アレイを開発する。微小針の数は1シートあたり10～20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 プロセスと超精密切削加工を用いる。

本報では MEMS 加工による微細突起形成，微小針の刺通性評価，およびシリコンの超精密切削加工について検討を行った結果について報告する。

2. 微小針アレイ成形型作製プロセス

成形型の作製プロセスを図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。つぎに，薬液が通過する穴を超精密切削加工機で高精度に加工する。その後，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行い,形状を転写し,成形型とする。

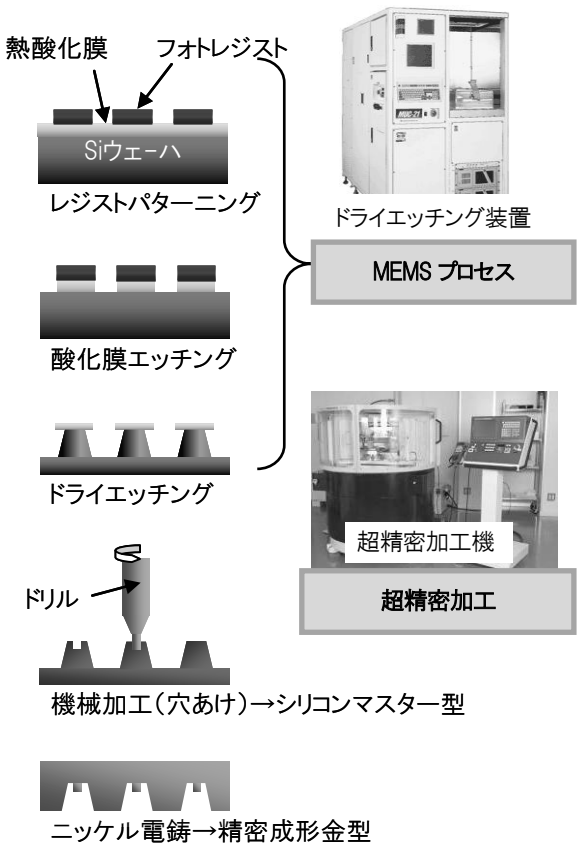


図1 微小針アレイ成形型の作製プロセス

3. ドライエッチングによる微小突起の形成

本報では，シリコンのマスター型を，垂直壁を形成する Bosch プロセスとサイドエッチングを利用するテーパーエッチングを用いて形成する。今年度の突起の高さの目標は500μm とした。

*　研究開発センター
**　下越技術支援センター

3.1　Bosch プロセス

Bosch プロセスでは 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を形成する。加工例を図 2 に示す。

3.2　テーパーエッチング

テーパーエッチングは，サイドエッチングを活用したプロセスである。図 3 に円形マスクを用いてテーパーエッチングを行ったものを示す。エッチングガス中に含まれる酸素量は，(a)，(b)，(c)，(d)の順に多い。酸素量により側面の傾斜を変えることができる。

3.3　微小突起の形成

垂直壁を形成するプロセスである Bosch プロセスとサイドエッチングを活用したプロセスであるテーパーエッチングを併用することで，目的とする針高さ 500μm の突起形状を形成できるか検討した。

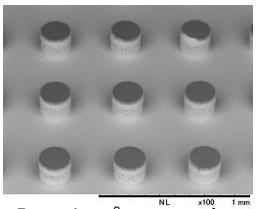


図 2 Bosch プロセス加工例

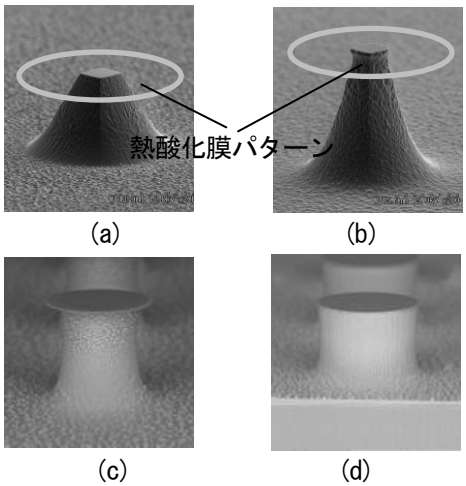


図 3 テーパーエッチング加工例

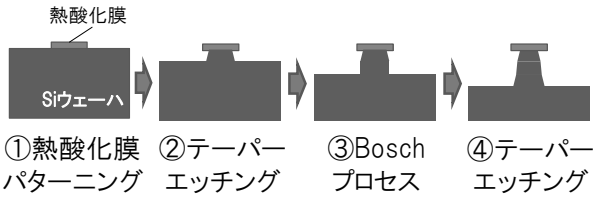


図 4　微小突起形成テーパーエッチング

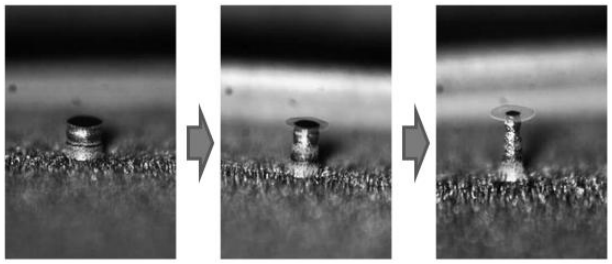


図 5　微小突起加工例①

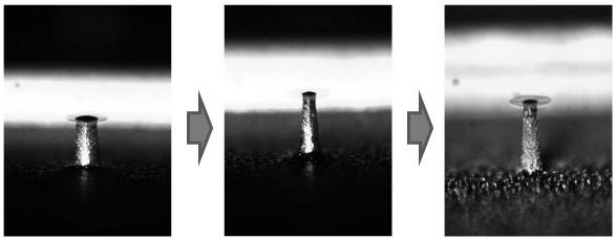


図 6　微小突起加工例②

プロセスの概要を図 4 に示す。手順は次のとおりである。

①熱酸化膜をパターニング
②テーパーエッチングでテーパー形状を形成
③Bosch プロセスで垂直壁を形成
④テーパーエッチングでサイドエッチング

④の後，③と④を繰り返し行うことでテーパー形状を形成する。

図 5, 図 6 に加工例を時系列に並べて示す。傾斜角はテーパーエッチングの酸素流量と加工時間で調節可能である。図 6 の針高さは 500μm である。

4.　シリコンへの微細穴加工

成形する微小針には中空穴が設けられるため，マスター型の製作時，シリコンに高精度な穴加工をする必要がある。ここでは，ダイヤモンドドリルによる微小穴加工と超硬ドリルを用いた超音波援用微小穴加工について検討した。

4.1　ダイヤモンドドリルによる微細穴加工

超精密加工機を用いて，φ30μmの単結晶ダイヤモンドドリルによるシリコンへの穴加工について検討した。使用したダイヤモンドドリルを図7に示す。表1の加工条件によりシリコンで作製した突起の上面に穴加工を行ったものを図8に示す。脆性破壊は生じず，真円度も良好であった。

4.2　超硬ドリルによる超音波援用微小穴加工

ダイヤモンドドリルと比べてコスト面で有利な超硬合金ドリルを用いて，超音波援用切削加工について検討した。

超音波発生ユニットを図9に示す。振動子は工具軸方向のみ振動する軸振動子を用いた。

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（Φ30μm）
主軸回転数（min^{-1}）	60,000
送り速度（mm/min）	0.03
ステップ量（mm）	0.0005
クーラント	放電加工用油を間欠供給

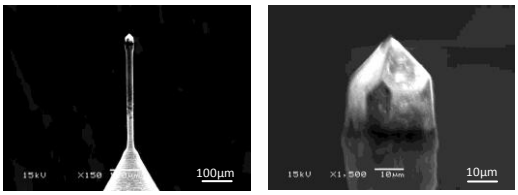


図7 ダイヤモンドドリル

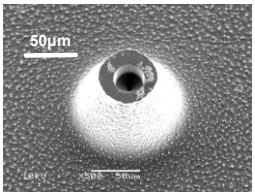


図8　シリコン突起上面への穴加工

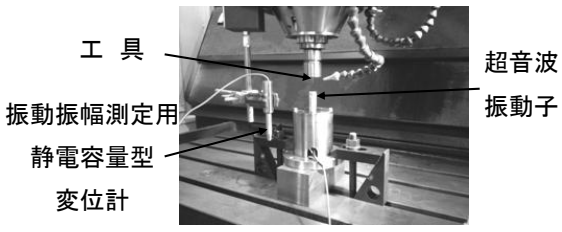
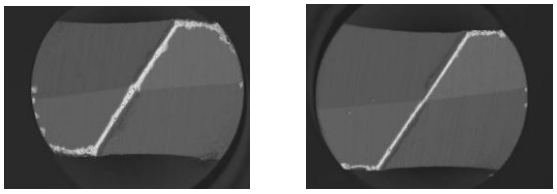


図9　超音波発生ユニット

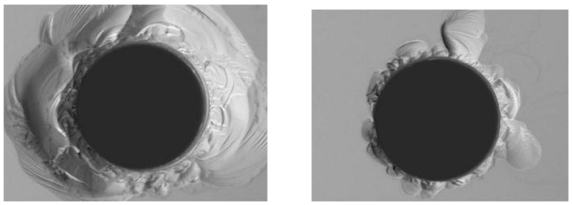
表2 超音波加工条件

被削材	単結晶シリコン
工具	超硬合金ドリル（Φ0.1mm）
振動周波数（kHz）	31.84
振動振幅（μm）	1
主軸回転数（min^{-1}）	60,000
穴深さ（mm）	0.7
ステップ量（mm）	0.01
クーラント	エアー



(a) 超音波加工　　(b) 慣用加工

図10　工具先端摩耗



(a) 超音波加工　　(b) 慣用加工

図11　加工後の微細穴

加工装置はNCフライス盤を使用した。加工条件を表2に示す。実験は送り速度のみを変化させ実施した。

送り速度10mm/minにおける加工後の工具先端の様子を図10に，穴の様子を図11に示す。工具先端の磨耗量は，実験を行った送り速度ではいずれも慣用加工に対し優位性は認められなかった。

5.　刺通特性評価

成形した針の刺通特性について検討した。針を弾性体に押し込み，針がその弾性体を穿刺するときの様子を図12に示す。まず，針の押込み始めには，針には弾性変形抵抗だけが加わる。その後，針を押込み続けると，弾性変形が限界に達して弾性体が引き裂かれて穿刺が生ずる。このときに荷重曲線は屈曲し，その屈曲点における荷重が穿刺荷重である。微小針における刺通特性を評価するためには，この屈曲点の荷重を測定する必要があ

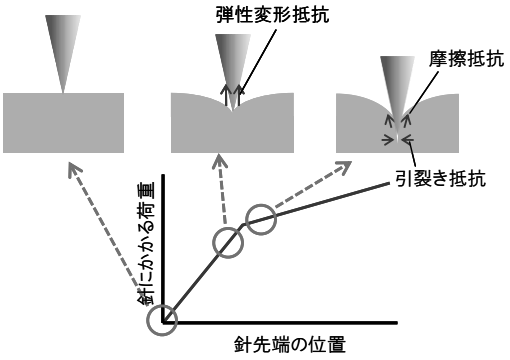
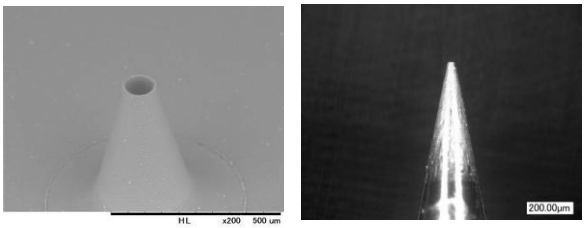


図 12　刺通特性曲線のイメージ図



(a) PP 製試作針
先端外径 90μm

(b) 金属針
先端外径 90μm

図 13　試作針

る。ここでは，昨年度に構築した高感度荷重測定システムを用いて，本開発で試作した微小針のシリコンゴムに対する押込み荷重測定を実施した。また同様に，金属製の針による押込み荷重試験も実施して比較することで，本開発の針における刺通特性の考察を行った。

ポリプロピレン（以下 PP）製試作針と金属製針を図 13 に示す。これらについて，シリコンゴムへの押込み荷重測定を行った結果を図 14 に示す。押込み量と荷重はほぼ同様の傾向が得られた。すなわち，針先端部の形状が刺通特性に大きく影響を及ぼすことがあらためて確認できた。金属製針では，押込み量が約 380～500μm において，最初の荷重屈曲点が現れていることから，本形状の針において穿刺を生じさせるには，それ以上の針長さが必要であると考えられる。また，金属製の針をシリコンゴムへ押込んだ場合に，最初の屈曲点が生じる最小荷重が約 0.34N であることから，本開発品の先端形状で長い PP 製針を用いた場合においても同程度以上の刺通力が生じるものと推察できる。

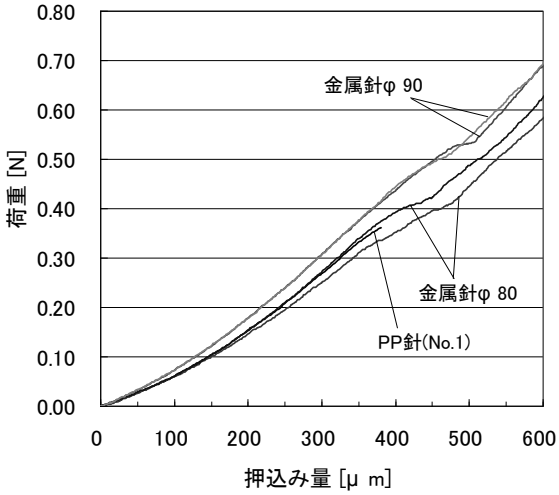


図 14　荷重測定結果

6. 結　　言

シート状の微小針アレイを開発するため，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等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500μmの微小突起を一括作製した。

(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30μmを達成した。

(3) 汎用工作機械と超硬合金工具による微細穴加工について，超音波援用加工を試みたが最適条件の把握までには至らなかった。今後は早急な最適条件の把握が課題である。

(4) PP 製試作針と金属製針についてシリコンゴムへの押込み荷重測定を行った結果，押込み量と荷重はほぼ同様の傾向が得られた。針先端部の形状が刺通特性に大きく影響を及ぼすことを確認した。

なお，本研究は，平成 23 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。