

## マイクロニードルの開発

— フォトファブリケーション技術による微細構造体の作製 —

材料科 材料スタッフ 増井裕久 高木 誠\* 田光伸也

## Development of the micro needle

— Production of the micro structure by photofabrication technology —

Hirohisa Masui , Makoto Takagi and Shinnya Takou

In medical and biotechnology fields, such as a micro total analysis system ( $\mu$ -TAS) and drug delivery system (DDS), fluid MEMS technology is expected. Fine parts are needed in  $\mu$ -TAS or DDS. However, when producing fine parts by machining, there are problems, producible form has restriction or like cost is high. Then, in this research, the production method of fine parts by photofabrication technology was considered, and the micro needle was developed. In this research, the cause of modification of resist, such as softening of a resist, shortage of the amount of exposure, and surface tension at the time of dryness, has been improved. The micro needle with a diameter of 125 micrometers and a height of 270 micrometers was producible using the thick film resist (SU-8).

## 1. はじめに

マイクロマシン・MEMS技術の応用として、医療バイオ分野での活躍が期待されている。なかでも微小化学分析システム ( $\mu$ -TAS) やドラッグデリバリーシステム (DDS) など微小流体を扱うシステムに注目が集まっている。これらシステムでは微細な部品が必要となるが、それらを機械加工で作製する場合、形状の制限や高コストなどの問題がある。サンプリングや薬品投与などに必要なマイクロニードルについても、従来品であるマイクロシリンドリヤガラスキャピラリーが用いられ、システム側がそれに合わせなければならないのが現状である。またシステムに合わせたパーツが作製できても、機械加工などでは形状の制限やコストが高いなどの問題がある。

そこで本研究では、フォトファブリケーション技術と精密電鍍技術を用いてマイクロニードルの開発を行った。ここでは、フォトファブリケーション技術によるマイクロニードルの作製について報告する。

本研究により、微細金型や超精密部品など微細構造体を比較的容易に安価で供給する方法の確立を目

指す。

## 2. 実験方法

ガラス基板の上にネガ型の厚膜レジストを滴下し、ホットプレート上で95°C、20時間、熱処理を行った。通常、レジストの成膜はスピコート法が用いられるが、粘度の高い厚膜レジストでは均一なコーティングも厚膜化することも難しく、スプレー法などが用いられる。しかしこの場合、装置の導入コストが高く、また500  $\mu$ m以上の厚膜の形成は難しい。またどちらの方法もエッジ部分の厚みの均一性に問題がある。一般的には膜厚が均一で高い膜厚を実現する方法としては、フィルム状にしたレジストを用いるなど別の方法が必要になるが、コストがかかる。

そこで本研究では、PDMS (ポリジメチルシロキサン) で型枠を作製し、その中にSU-8を滴下してSU-8の厚膜を作製した。その後、PDMSの枠を除去してからSU-8を塗布していない基板の面方向からマスクを用いてUV露光を行った。(基板透過露光法) この方法を用いることで、枠と接する面など膜厚の不均一の問題を排除した。現像前に95°Cで

\*) 現 富士工業技術支援センター

## 【報告】

6分間、熱処理（PEB）を行った後、PGMEA（プロピレングリコールモノメチルエーテルアセテート）を用いて現像を行い、現像終了後、2-プロパノールを用いて洗浄、乾燥を行った。その後、SEMによる観察を行った。

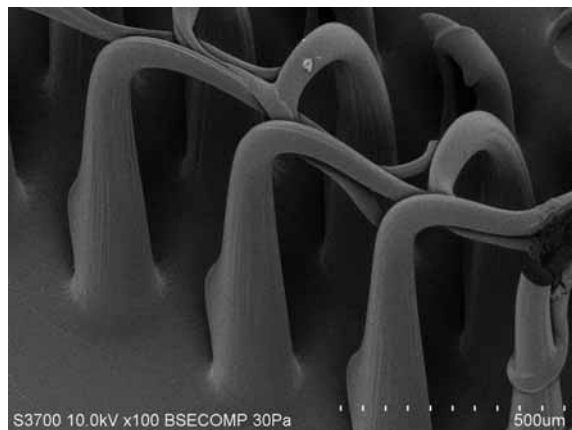
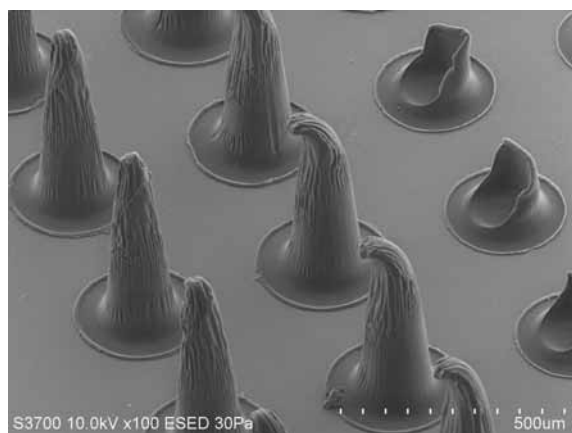
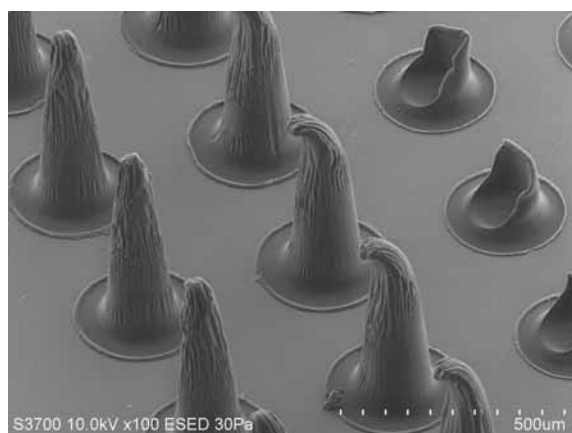


図1 通常の方法で作製したマイクロニードル



(a) PEB条件：95℃ 6min



(b) PEB条件：40℃ 24時間

図2 変形、未露光レジストの流動性を改善したマイクロニードル

使用した材料は、ガラス基板がカバーガラス（厚み0.12～0.17mm、マツナミ製）、厚膜レジストがSU-8 10及びSU-8 3050（化薬マイクロケム製）、PDMSがシルポット184（東レダウコーニング製）を用いた。また露光機は、PEM-1000（ユニオン光学製）を用いた。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 露光・現像過程での歪みについて

図1に露光現像後のマイクロニードルを示す。本研究では、マスクとして円形の紫外線透過部と一つの円の中で光の透過量を変化させたグレイスケールマスクの両方を用いてマイクロニードルの作製を試みた。これまで報告したグレイマスクリソグラフィによる方法<sup>1),2)</sup>はマイクロニードルの作製が容易に想像できるが、グレイスケールではない場合も基板透過露光法を用いた場合、先端が細くなるテーパ形状になる特性があり検討した。図1の左から1列目が通常の円形マスクで左から2列目がグレイスケールマスクで作製した構造体である。（以降の図においても同様）図1から確認されるように、先端に向かって細くなる形状が確認できるが、歪みが大きく、近くの構造体と絡まってしまっている。この原因として、SU-8が露光時にアライナの試料台とコンタクトすることにより変形してしまうこと、この変形がPEBを行ったときのSU-8の軟化による流動を引き起こし、露光形状が変形することなどが考えられた。そこで、これらの改善について検討を行った。

#### 3.2 露光時の変形及びPEBの流動性の改善

露光時にコンタクトすることによる変形およびPEB時の流動性の対策として、型枠として利用したPDMSを取り付けたままの露光を行うこと、そしてPEBの温度条件や昇温、冷却方法などについて検討した。

結果を図2に示す。図2(a)は、ホットプレート上で室温から95℃まで昇温した後、95℃で6分間保持、その後、室温まで自然冷却した。図2(b)はホットプレート上で40℃で24時間保持した後、室温まで自然冷却した。室温で48時間静置した後、現像についても検討したが、密着力が弱く、現像中に剥離したた

め、熱処理は必要であった。

図2(a)、(b)どちらについても大きく改善は見られたが、先端部分に歪みを生じている。これはグレイスケールの歪みの方向が(a)、(b)で異なることからレジストが露光されたことによる応力ではないと考えられる。また図2(a)に見られるように、非常に狭い範囲の左右の列で歪みの方向が違うことから、PEBの流動によるものではないと考えられる。以上のことから、図2で確認された歪みは、現像中もしくは乾燥時に生じたものと考えられた。

### 3.3 現像および乾燥方法の改善

露光後の現像は、ピーカー内でPGMEAに浸漬して行っている。現像後の構造体をPGMEAから取り出さずに浸漬したままマイクロスコップで確認したところ、この段階で小さな変形が確認された。これは先端部が十分な露光量を得られないことで細くなる代わりに、完全に硬化されてもいないため、柔らかい状態であることが考えられる。本方法でニードル構造を作製した場合、この柔らかい状態は避けら

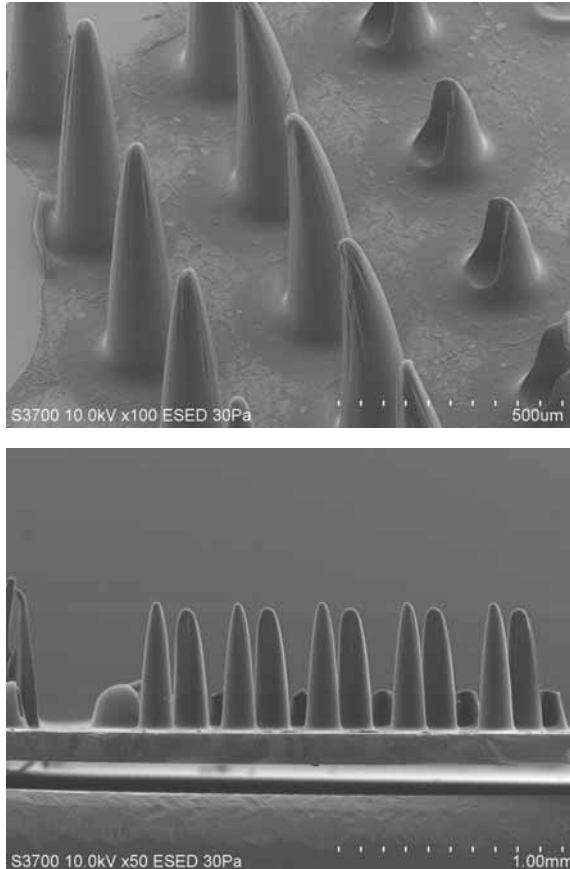


図3 現像、乾燥方法を改善して作製したマイクロニードル

### 【報告】

れない。そこでレジスト側を下に向け、静置した状態で現像を行った。この現像方法は、現像液の液の対流による影響や構造体そのものの重力による影響を受けにくいことが考えられた。また現像液により溶解したレジストは下に沈むため、現像効率も低下しないといった利点がある。ただし、露光量が不足した先端部分の硬度が改善されるわけではないので、この部分を硬化させるため、現像後、現像液に浸した状態のまま再度、紫外線露光を行った。

乾燥工程については、洗浄に用いた2-プロパノールの表面張力の影響によるものと考えられたため、表面張力の小さい溶媒の選定や乾燥方法について検討を行った。その結果、簡易的で効果があったのは、溶媒にエタノールを用い、更に表面張力を下げるために60°C、飽和蒸気圧の環境で乾燥を行う方法であった。

以上の方法により作製したマイクロニードルのSEM写真を図3に示す。グレイスケールマスクにより作製した構造は若干の歪みがあるが、再現性があることからこれは、レジストの硬化による応力と考えられる。作製方法を検討することで、幅230µm、高さ590µmのマイクロニードルを作製することができた。しかし、応力に対する影響は抑えられたものの、針として使用するには先端が丸くなっているため改善が必要である。

### 3.4 125µmφのマイクロニードルの作製

図3と同様の方法で作製した径を小さくした(125µmφ)マイクロニードルのSEM写真を図4に示す。(図中の左側の2列が通常の円形マスクで左側の2列がグレイスケールマスクによる構造体である。)隣接するマイクロニードル同士が接触していることから、細くなることで柔らかさが増し、乾燥時の表面張力の影響が現れたものと考えられる。しかし簡易的な方法で改善は難しいと考え、レジストをSU-8 3050からSU-8 10に変更して同様の実験を行った。SU-8 10の密着性はあまり良くないが、露光による硬化能力が高いため、露光後の変形が抑えられると思われた。作製したマイクロニードルのSEM写真を図5に示す。幅125µm、高さ270µmの先端も鋭利で歪みのない良好な針形状作製できた。

【報告】

ストが流動すること、先端部の露光量不足のために十分な硬さが得られていないこと、乾燥時の表面張力の影響が確認され、それぞれについての改善を行った。

参考文献

- 1) 増井裕久他：静岡工業技術センター研究報告，52，64-65，(2007)。
- 2) 増井裕久他：静岡県工業技術研究所研究報告1，5-8，(2008)。

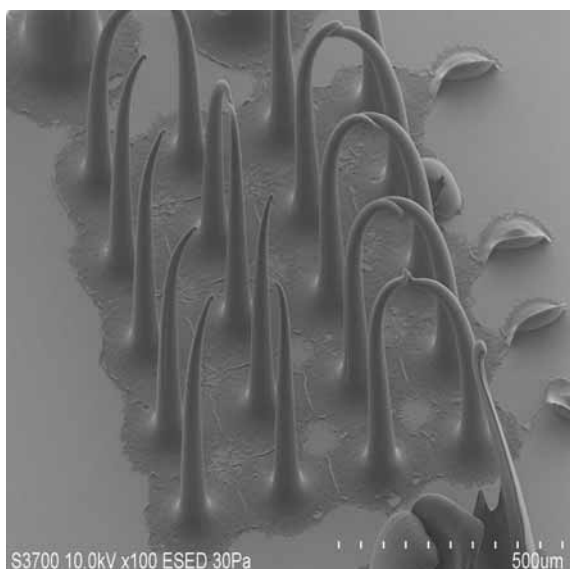


図4 SU-8 3050による  
125 $\mu$ m $\phi$  マイクロニードル

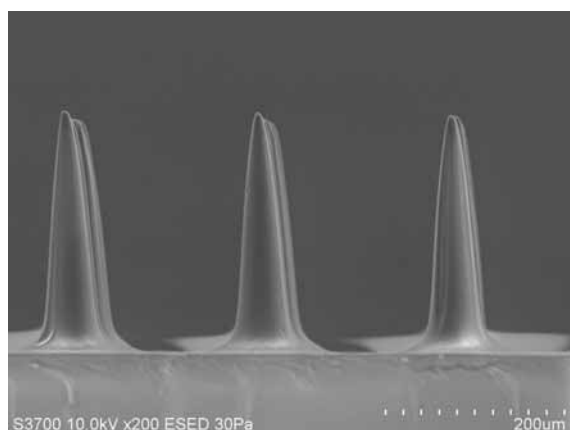
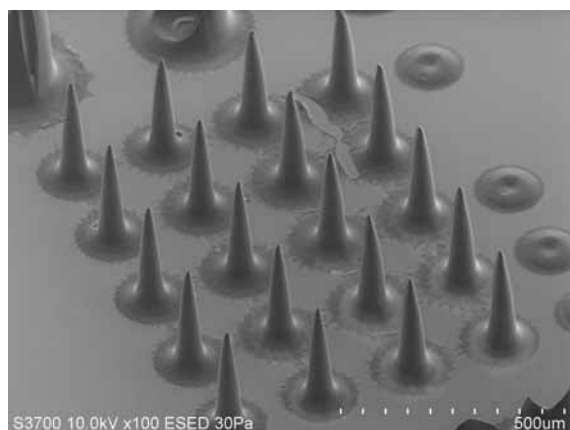


図5 SU-8 10による  
125 $\mu$ m $\phi$  マイクロニードル

4. まとめ

- (1) 幅125 $\mu$ m、高さ270 $\mu$ mの先端も鋭利で歪みのない良好なマイクロニードルが作製できた。
- (2) 厚膜レジストの基板透過露光法における露光・現像時の変形の要因として、露光後PEB時にレジ