

微細な形状を転写する……型取り加工技術

名古屋大学 工学研究科 教授 佐藤 一雄

連載の最終回となる今回は、これまで解説してきた方法で加工した微細形状を、他の材料に転写する技術について述べる。この技術は、(1) 微細部品の量産加工を可能にする、(2) シリコンだけでなく様々な材料に対して微細加工を適用することを可能にする、という二つの大きな効果があり、マイクロマシン技術を幅広く産業に応用展開していく上で重要な技術である。

1. エッチング形状を転写する

シリコン単結晶基板をエッチングし、その表面形状を型どりすることで、基板とは異なった材質の3次元構造体を製作することができる。その一例として、シリコン酸化膜、窒化膜等の薄膜で、非平面的な構造体を作ることができる。図1は厚さが $1.2\mu\text{m}$ のシリコン酸化膜で作ったAFMのプロープである。

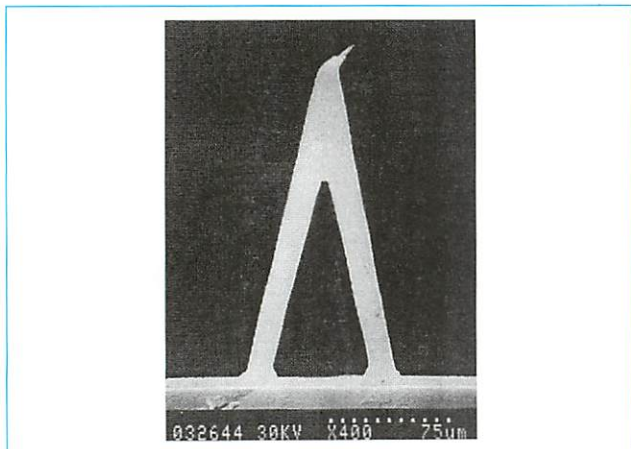


図1 シリコン酸化膜で作った先端の屈曲したAFMのプロープ (厚さ $1.2\mu\text{m}$)

先端の屈曲した構造を得るために、あらかじめシリコン基板表面に屈曲断面に相当する段差を形成し、その全表面を酸化したのち、プロープの輪郭を残して、周囲の酸化膜、シリコン基板をエッチング除去する。

また、エッチングで深穴を加工したシリコン単結晶基板表面の形を多結晶シリコン酸化膜に転写することも行われる。本連載の第2回で、薄膜で高剛性構造を作る技術として、T字型断面を持つ薄膜構造の製作例を紹介した。このほかに、ハニカム状の薄膜構造などが製作されている。加工プロセスの断面図を図2に示した。シリコン単結晶基板に反応性イオンエッチング (RIE: 連載第1回を参照) で深さ/

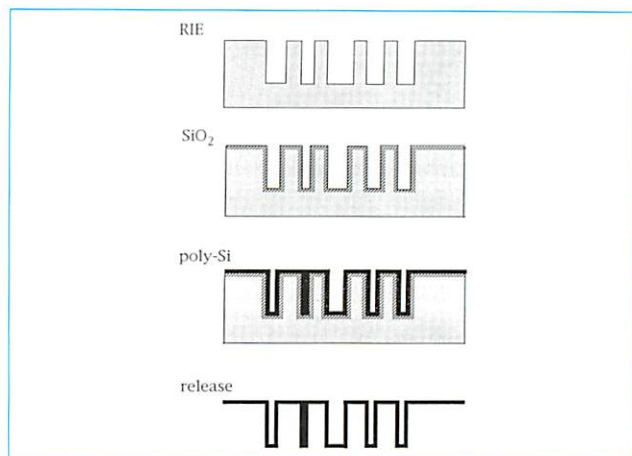


図2 多結晶シリコン薄膜によるハニカム構造の加工プロセス断面図

開口の比 (アスペクト比) の大きい加工を行った後、犠牲層としてのシリコン酸化膜、構造材料としての多結晶シリコン薄膜を順次、穴の内面を含む基板表面全面に積層し、最後に犠牲層を選択的にエッチング除去することで、薄膜の構造体が分離される。厚さが $1\sim 2\mu\text{m}$ の薄膜で、厚さが100ミクロンに及ぶハニカム構造が形成される。

最近、マイクロマシンの応用分野として期待されているバイオケミカル分野では、使い捨て型の微小流体機器が必要とされる。このような目的で、シリコン基板にエッチングで形成した微細な流路の形状をスチロール樹脂などに転写して大量に複製することが行われる。微細形状を転写する技術、すなわち、レプリカをとるという技術自体は新しいものではなく、例えば $0.1\mu\text{m}$ のピッチ間隔で機械刻線した回折格子の微細な凹凸を樹脂に転写するという技術がすでに分光機器の分野で確立されている。

2. レジストを現像した形状を転写する

厚いフォトリソ層に微細なパターンを露光・現像して微細な空洞を形成し、その内部に金属をめっきで析出させて、微細金属部品を作る技術がある。

2.1 LIGAプロセス

1986年にドイツのカーlsruエ原子核研究所で開発されたプロセスである。

- (1) リソグラフィによる空洞の形成 (ドイツ語で Lithografie)
- (2) 電気めっきを使った金属による空洞の型どり

(同じく Galvanoformung)

(3) 射出成形を使った樹脂による金属型の形状転写
(同じく Abformung)

の一連のプロセスの頭文字をとってLIGAプロセスと呼ばれる。 (1) (2) までのプロセスの加工断面図を図3に示した。このプロセスでは露光システムに、

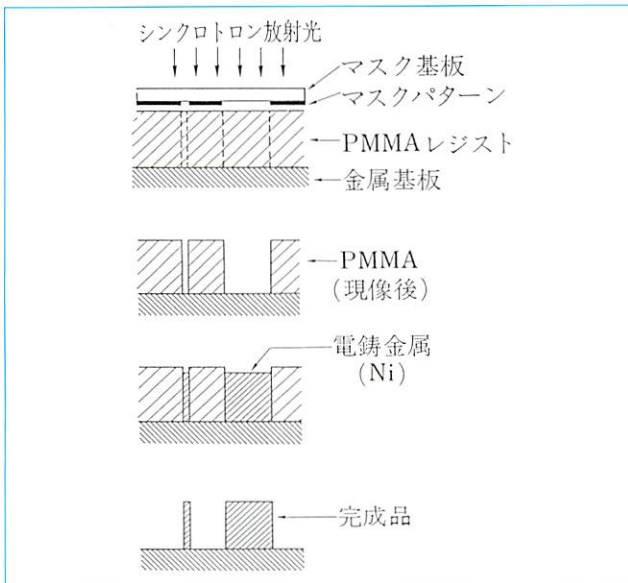


図3 LIGAプロセスによる微細金属部分の加工断面図

通常の紫外線ではなくシンクロトロン放射光 (SOR) を使うことに特徴がある。これによって、厚さがミリメートルに達するPMMA系のフォトリソに2次元のマスクパターンを深く正確に露光することができる。これを現像すると深さと開口の比が100を越える空洞が形成できる。この空洞の内部に電気めっきして形状を転写することにより、図4に示すような金属構造体が加工できる。この段階の構造物をそのまま実用に供することもできるが、これを金型としてプラスチックの射出成形を行う (図5)、さらにそれに電気めっきして形状を転写する、あるいはセラ

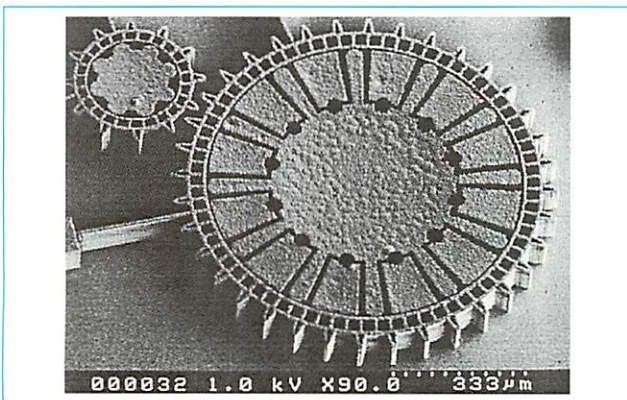


図4 LIGAプロセスによるニッケル製マイクロモータの加工例 (立命館大学杉山進教授のご好意による)

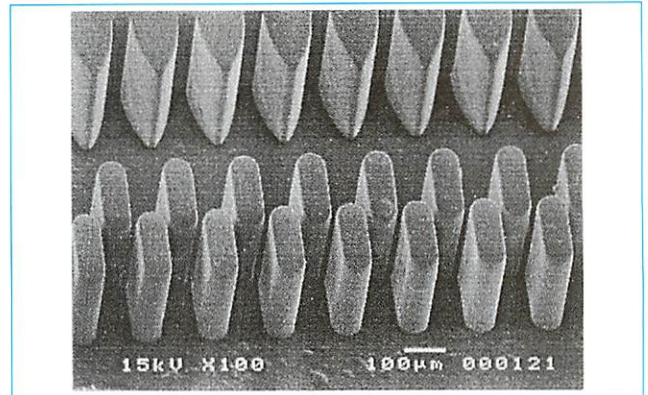


図5 LIGAプロセスによる樹脂成形加工例 (ブラザー工業株による)

ミックスの成形 (ゾル・ゲル法による) に利用するなど、さまざまな材料系に展開することができる。

深さ/開口比 (アスペクト比) に優れた高精度な加工能力から、立体的なグレーティング (回折格子) や光導波路などの光通信分野、微細流路をもつ化学分析システムへの応用などが図られている。

LIGAプロセスの課題として、放射光施設を使わなければ物ができないという制約が挙げられる。勿論、はじめの金型は放射光設備によらなければならないが、ひとたびマスターの型ができてしまえば、それ以後のプロセスは比較的少量に耐えるものと考えられる。日本では、放射光施設を使ったLIGAプロセスを、立命館大につづき姫路工大のグループが立ち上げている。

2.2 高アスペクト比紫外線レジスト

LIGAプロセスほどの加工精度は得られないが、通常の紫外線露光でも、高アスペクト比の露光・現像が可能でレジストが開発されている。例えば、IBMが開発したSU-8というレジストは、厚さ数百 μm におよぶレジスト層を紫外線で感光させることができる。露光・現像後の空洞の形状をめっきによって転写するプロセスはLIGAプロセスと全く同じである。

レジスト樹脂を除去するさいに酸素プラズマでもなかなか分解しないという欠点はあるが、手軽に紫外線露光ができる点が長所である。また、樹脂の透明性が高いことから、転写技術とは無関係に、そのまま光学部品材料として使える可能性がある。

まとめ

微細形状の転写技術によって、薄膜を使った立体構造の加工が可能になり、さらに、金属、樹脂、セラミクスなどで微細形状を作ることができるようになった。このような材料の多様性は、マイクロマシン技術に幅広い応用分野を与えることが期待される。