

半導体検査用金属ガラス製マイクロプローブの精密成形技術の開発

中部大学 工学部 機械工学科

教授・鈴木浩文

(平成21年度一般研究開発助成 AF-2009021)

キーワード：半導体検査用プローブ、金属ガラス、超精密切削、マイクロ放電加工、ガラス成形、超硬金型

1. 研究の目的と背景

ウェハテストでは IC 上に形成された電極に一時的にテストと接続しテストパターンに従って電圧をかけ、出力を期待値と比較することで IC の良否を判定されている。その際、チップ上の端子にプローブ(探針)と呼ばれる針を正確にあてることが必要である。プローブを素早く正確に電極へ接触させるために、IC 上の電極配置パターンへあわせてプローブを配置しセットにして使いやすくしたプローブカードが用いられる。例として図 1 にカンチレバー型の外観図を示す。カンチレバー型プローブカードはプローブの形状が方持ち梁 (C antilever) の構造を持ちプローブカードの周りから中心部へ向けて配置されている。一般的に使用されているタイプで多数個チップの同時測定に優れている。パッドに対する位置精度が高く平行度にも優れる。

最近では、最近では、LSI の微細化・高集積化によってチップ内のボンディングパッドの狭ピッチ化が進み、メモリでは 150~120 μm 程度のピッチが、100 μm 以下になろうとしている^{1, 2)}。さらにデバイスによっては 4 μm に迫るものもあり、それに対応してプローブカードに対してもプローブの微小化・狭ピッチ化・低荷重化が要求されている。またプローブカードは一定回数検査に使用されると交換される消耗品であるが、1 個あたりの価格が数百万円から高いものになると 3 千万円を超える高価なものもあるため長寿命化も要求されている。

次世代プローブカードに搭載されるプローブ材料に求められる条件として以下のことが挙げられる。

- i) 高強度・高弾性を有する。
- ii) 長寿命である。
- iii) 導電性を有する。
- iv) 高周波領域で使用できる
- v) マイクロ構造が実現できる。
- vi) 耐熱性がある。

以上のように、LSI の微細化に伴い検査用プローブの微細化が求められている。つまり LSI 端子の狭ピッチ化に対応可能な次世代プローブの開発が求められている。そこで本研究ではアモルファス合金である金属ガラスに着目し、金属ガラス製マイクロプローブの開発を目的とし、生産性に優れる精密プレス成形を利用したマイクロプローブ作製プロセスを提案した。基礎プレス成形実験を行い、マイクロ構造の転写性を評価することで金属ガラスの成形特性を検討した。さらにプレス成形により得られた金属ガラス部品に研削加工及び切削加工を行うことでそれぞれの加工特性を調べ、提案した作製プロセスの有意性を検討する。また実際の IC プローブを模した微細形状が成形可能であるかを検討する。

また、従来のように金型に機械化王により微細加工を施し、成形するだけでは微細化の限界がある。そこ

で、図 2 に示すように超硬などの材料にマイクロダイヤモンド工具で微細溝パターンを形成し、それを一次金型として 2 次金型を作成し、さらに成形を繰り返し、様々なプロセスを複合させることにより、従来得られなかったような寸法、精度の成形品を量産することが可能となると考えられる。

そこで本研究ではアモルファス合金である金属ガラスに着目し、金属ガラス製マイクロプローブの開発を目的とし、生産性に優れる精密プレス成形を利用したマイクロプローブ作製プロセスを提案する。さらにプレス成形により得られた金属ガラス部品に研削加工および切削加工を行うことでそれぞれの加工特性を調べ、提案した作製プロセスの有意性を検討した。また実際の IC プローブを模した微細形状が成形可能であるかを検討したので報告する。

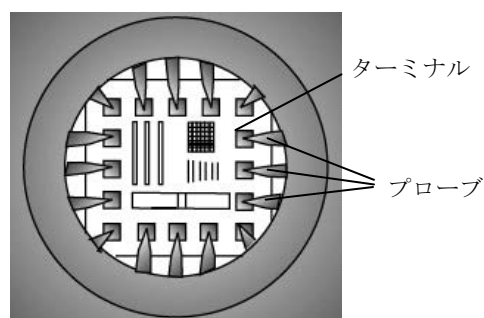


図1 カンチレバー型の概略図

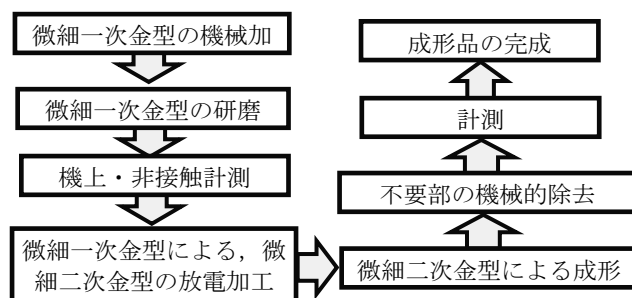


図2 電気加工、物理加工、マイクロ転写成形の複合成形プロセス

2. マイクロ微細プローブと整形金型の設計

今回、大まかな形状と寸法を想定して試作設計したマイクロ微細部品の概略図を図3に示す。15本のプローブ部分とそれらを固定する部分から構成されている。プローブの断面や寸法は加工時の耐久性を考慮し、矩形断面(25×50 μm)とし、間隔は90 μm とした。また先端に高さ20 μm 山形状の突起を設けた。これはウェハテスト時に IC プローブと LSI 側の電極パッドの接触部分

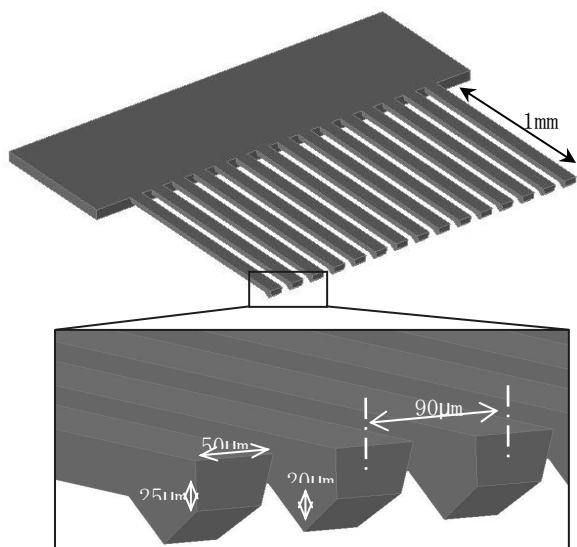


図3 試作設計したマイクロ微細部品の概略図

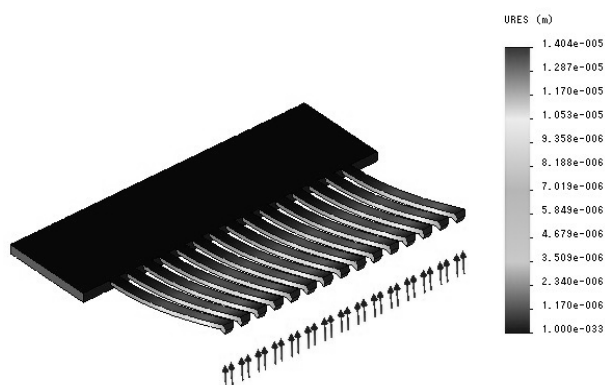


図4 接触時のプローブの変異解析結果

となるように模したものである。この接触には確実な接触と適度な荷重が必要であるため先端が尖った形状は有効であると考えられる。なお、各プローブの絶縁についてはここでは考慮せずに試作している。

また部品のプローブ部分の柔軟性を検証するため有限要素解析を行った。解析にはシミュレーションソフト COSMOS Works を用いた。図4に変位の解析結果を示す。プローブの先端が約 $14\mu\text{m}$ 変位するときの荷重は 0.5mN であった。

図3で想定した金属ガラス製のプローブ形状を整形した設計したマイクロ金型の模式図を図5に示す。金型は $\phi 6\text{mm}$ の微粒子超硬合金 (WC) 製金型を用いた。中央にプローブ形状の微細溝を加工する。形状は5.1節で設計したプローブの寸法 (幅 $50\mu\text{m}$ 、深さ $25\mu\text{m}$ 、長さ 1mm) で溝の先端部分の底部から深さ $20\mu\text{m}$ 幅 $40\mu\text{m}$ の山形状の窪みを有する。この溝が $90\mu\text{m}$ ピッチで並ぶように15本加工する。またそれらを固定する部分を成形するための溝Aと、少し離れた位置に溝Aと同形状の溝Bを設けた。この2本の溝により成形品に微細プローブとは別に平面状の突起部分が成形されることになり、この部分を利用して不要部分の除去加工時に、ジグとの固定の安定性の向上を図る。また2本の高さを同じにすることにより、ワーク固定時の傾き抑制に利用する。

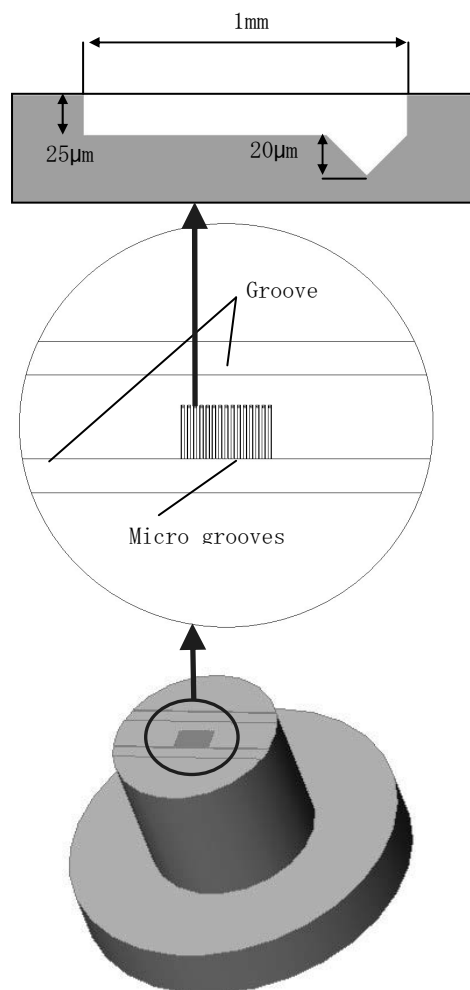


図5 設計した金型の模式図

金型中央の微細溝は精密切削加工や研削加工を用いての加工が考えられるが、微細溝先端に設けた山型の窪みの加工はこれらの加工方法では困難を伴うことが予想される。そこで本研究では型彫り放電加工を用いて金型の加工を試みる。型彫り放電加工は任意形状の電極を加工物に近づけアーク放電により加工物を少しずつ除去していくため溝の中に窪みがあるような複雑な形状も加工可能であると考えられる。また加工中に加工物にかかる力も小さいため微細溝加工に適していると考えられる。

3. マイクロ微細プローブと成形金型の試作

はじめに放電加工に用いる電極の作成を行った。電極には銀タングステンを用いた。銀タングステンは一般に放電加工に用いられる銅電極に比べ加工が困難であるが、より高精度に加工することができ、また放電加工時における電極の消耗が少ないため超硬合金の微細放電加工に適していると考えられる。電極の形状は放電加工時に電極と加工物の間に隙間 (放電ギャップ) が必要であるため、放電ギャップ分の寸法を考慮して作成する必要がある。本加工では放電ギャップを片側 $5\mu\text{m}$ とした。

3.1 放電加工電極の超精密切削

まず金型中央の微細溝部分を加工する電極の加工を行った。電極の表面に微細溝の形状を凸形状で加工する。加工に用いた超精密加工機（東芝機械製 ULG-100D (SH³)）を図6に示す。本機はレンズや成形用金型などを非球面研削または切削加工することを目的とする同時4軸加工機である。研削スピンドルおよびC軸（ワークスピンドル）には空気制圧軸受、送りテーブル（X, Y, Z軸）にはV-V転がり案内テーブルを搭載し、個々に独立した高精度な送り駆動系を有している。



図6 金型加工に用いた超精密加工機
（東芝機械製 ULG-100D (SH³)）

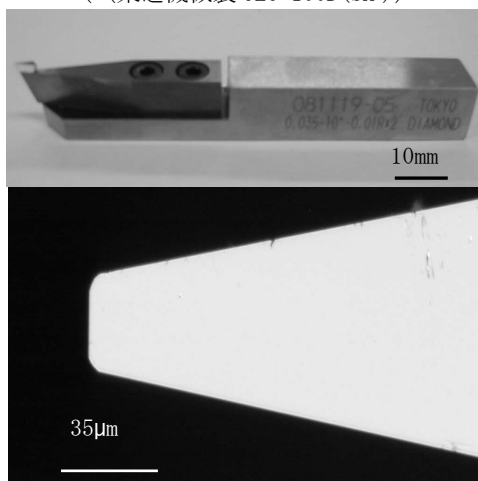


図7 単結晶ダイヤモンドバイトの全体写真と
刃先のノマルスキー顕微鏡写真

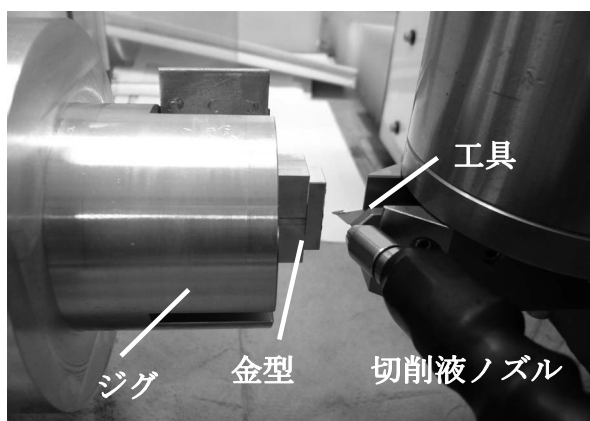


図8 超精密切削加工実験の様子

加工はダイヤモンドバイトを用いたシェーパ加工にて行った。ダイヤモンドバイトの全体写真と刃先のノマルスキー顕微鏡写真を図7に示す。バイトは先端の幅35μm台形状で逃げ角は15°である。加工実験の様子を図8に示す。工作物はジグを介して真空チャックで固定し、電気マイクロメータを用いて傾きを調整した。また工具の逃げ面側から白灯油を噴霧している。工具の動きを図9に示す。谷となる位置では工具を水平に送り、山の部分では工具を所定の位置まで送った後、突起部分を作成するため工具を斜め45度前方に逃がすようにプログラムを作成した。逆側の突起部分の加工はC軸を用いて加工物を180度回転させて加工を行った。表1に切削条件を示す。工具や加工物への負担を軽減させるために一ヶ所を集中的に加工するのではなく全体的に順に1μmずつ切り込み、繰り返し加工を行った。

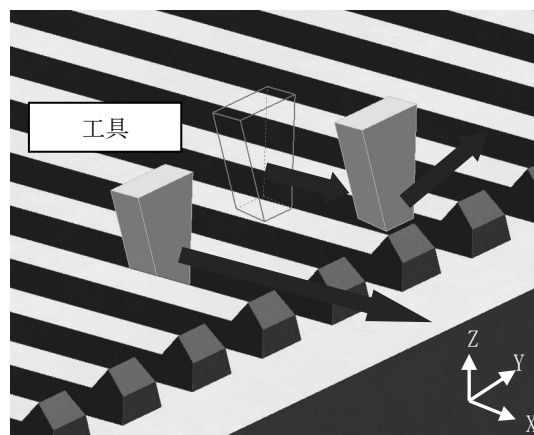


図9 工具の動き

表1 切削条件

工具	単結晶ダイヤモンド
幅	0.035 mm
すくい角	15 deg.
金型材	銀タングステン合金
切込み	1 μm
送り	200 mm/min
切削液	泊灯油

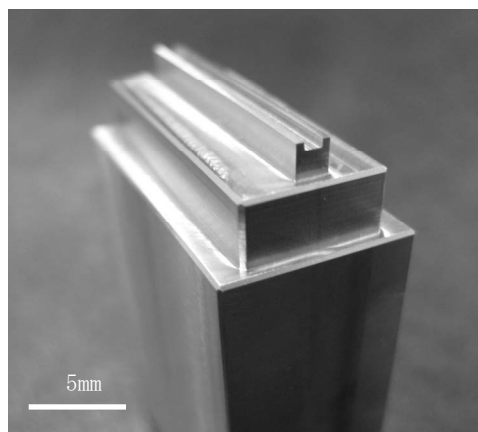


図10 加工した電極のノマルスキー顕微鏡写真

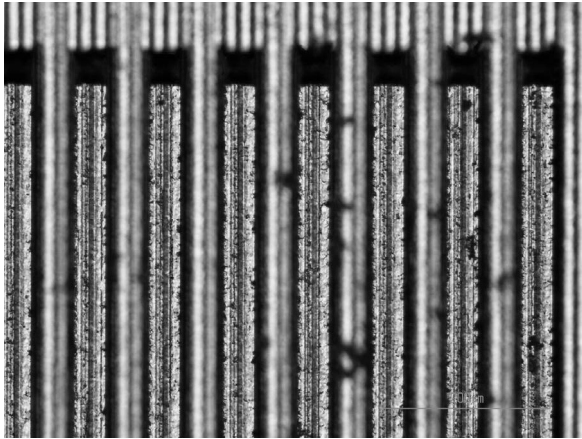


図 11 金型の 2 本の溝加工に用いた電極

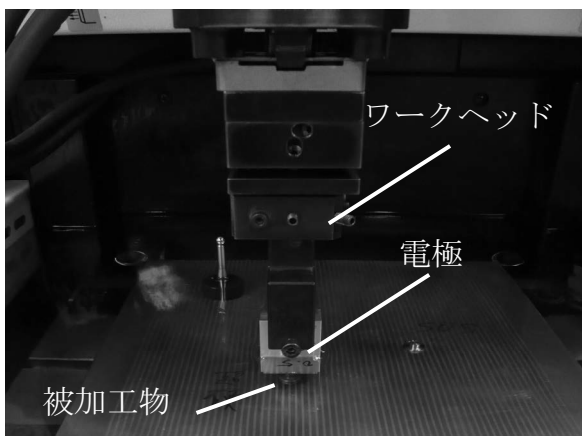


図 12 放電加工の様子

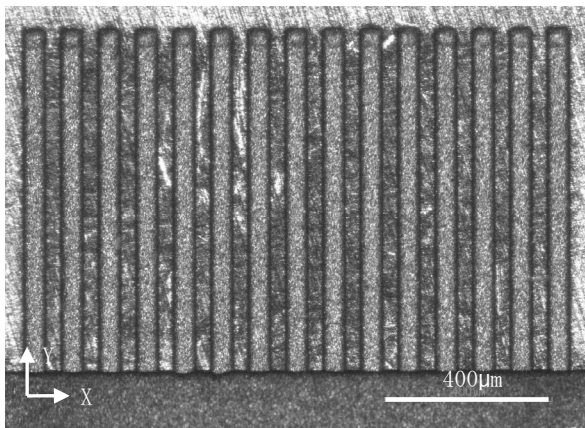


図 13 銀タングステン金型で放電加工した超合金製金型

加工した電極のノマルスキー顕微鏡写真を図 10 に示す。微細溝と同じ形状の 15 本の凸部分が加工されていることを確認した。また金型の 2 本の溝加工に用いた電極を図 11 に示す。材質は同じく銀タングステンとし、一度の放電加工で 2 本同時に加工することが可能である。

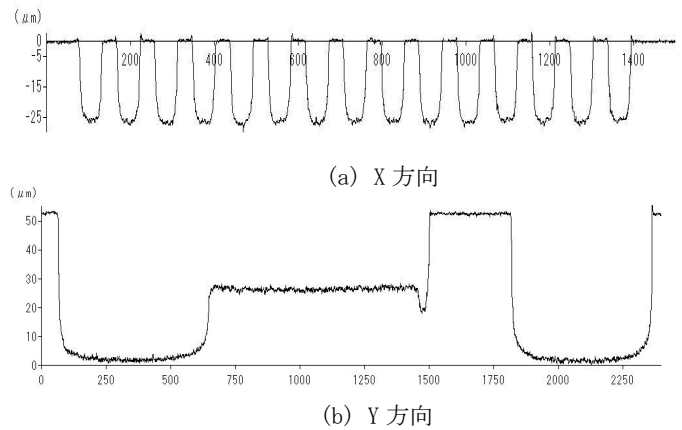


図 14 放電加工した金型の微細溝の形状

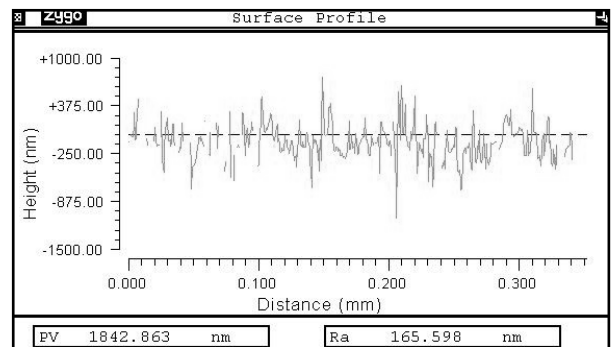


図 15 放電加工した溝部の表面粗さ曲線

3.2 放電加工による第 2 次金型へのマイクロ転写

次に、微細切削した銀タングステン製の第 1 次金型（電極）を用いて、図 12 に示すように NC 放電加工機（牧野フライス製 EDAC1）により微粒子超硬製の第 2 次型を放電加工により微細パターンの転写を行った。加工は合成油中で行った。放電加工後の第 2 次型のノマルスキー顕微鏡写真を図 13 に示す。微細なパターンが良好に転写されている。

15 本の微細溝と 2 本の広い溝が加工されたのを確認した。次に溝の形状を非接触式形状測定装置 NH-3（三鷹光器製）により測定した。図 13 に示した X, Y 方向の測定結果を図 14 に示す。X 方向の測定では微細溝の中央を通るように測定したところ深さ 25 μm の溝が 15 本加工されたことが確認できた。底面部分には小さな凹凸が見られた。また Y 方向の測定では広い溝から微細溝の中心を通るように測定したところ深さ約 50 μm の溝 2 本が加工されたことを確認した。微細溝の底部から設けた窪みは電極の突起とほぼ同形状であることがわかる。しかしながら深さは約 10 μm と加工目標より 10 μm 浅かった。そこで電極の突起部分の形状を測定すると大きく減っていることがわかった。これは電極のエッジ部分にはエネルギーが集中するため平坦部分に比べて消耗が大きいと考えられ、加工途中に突起部分が丸くなってしまい窪みの深さに影響を与えたのではないかと考えられる。

また広い溝の表面粗さを非接触式の表面粗さ測定装置（ZYGO 社製 Newview6200）により測定したところ、図 15 に示すように約 2 μmRz の表面を得た。

3.3 プレス成形による金属ガラスへの転写

次に、3.2 節で試作した 2 次金型を用いて、金属ガラスへの加熱プレスにより成形転写を行った。成形材料は Zr 基金属ガラス (Zr₅₅Cu₃₀Al₁₀Ni₅) を用いた。Zr 基金属ガラスは広い過冷却液体域を持つためにガラス形成性が高い³⁻⁷⁾。実験条件を表 2 に示す。金属ガラスの形状は $\phi 3\text{mm} \times t 0.55\text{mm}$ とした。実験装置は高精度ガラス成形装置 GMP-311V-SS (東芝機械製) を用いた。成形温度は 450℃、成形荷重は 1 kN、プレス時間は 90 秒で実験を行った。

実験は以下の手順で行った。

- (1) 下型の上に成形材料をセットし成形条件を入力した後プログラムをスタートさせる。
- (2) 下型の軸が予熱位置まで上昇した後、成形チャンバ内を真空排気し、窒素ガスを充填させる。
- (3) 赤外線ランプにより、金型と成形材料を目標温度まで均一に加熱する。
- (4) 下軸が上昇し、成形材料のプレスが行われる。
- (5) 再び窒素ガスを流し込み冷却する。
- (6) 金型を取り出し、成形品を金型から離型する。
- (7) 成形品を SEM により観察し考察を行う。

(2)～(5)の工程は、金型温度、圧力、金型位置の NC 制御のもと実行した。

プレス成形後の微細部品の SEM 像を図 16 に示す。放電加工により先端部が丸くなっているが良好に転写されているのがわかる。以上のように提案した超精密機械加工、放電加工、マイクロインプリント技術を複合させることにより、従来できなかった形状の構造体が加工できることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では、高弾性率であアモルファス合金である金属ガラスに着目し、金属ガラス製マイクロプローブの開発を目的とし、超精密機械加工、放電加工、マイクロインプリント技術を複合させたマイクロプローブ作製プロセスを提案した。さらにプレス成形により得られた金属ガラス部品に研削加工および切削加工を行うことでそれぞれの加工特性を調べ、提案した作製プロセスの有意性を検討した。そして実際の IC プローブを模した微細形状が成形可能であるかを検討した。以上の結果、提案した超精密機械加工、放電加工、マイクロインプリント技術を複合させることにより、従来できなかった形状の構造体が加工できることが明らかとなった。

謝辞

本研究は、天田金属加工機械技術振興財団の一般研究開発助成を受けて行われたものである。ここに深く感謝の意を表します。

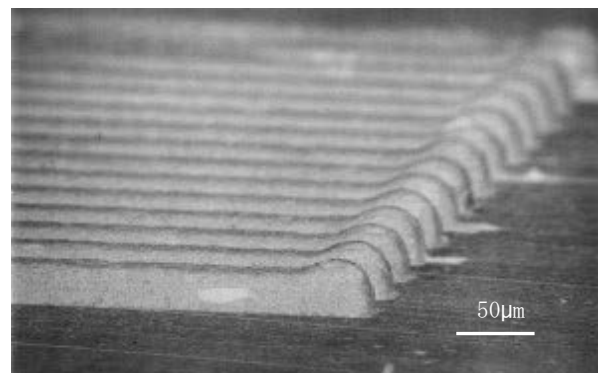
参考文献

- 1) 「半導体 LSI のできるまで」編集委員会：よくわかる半導体 LSI のできるまで 改訂第 2 版，(2001)，1-8，日刊工業新聞社
- 2) 安田幸夫，大山英典，葉山清輝：半導体デバイス工学，(2004)，115-151，森北出版株式会社

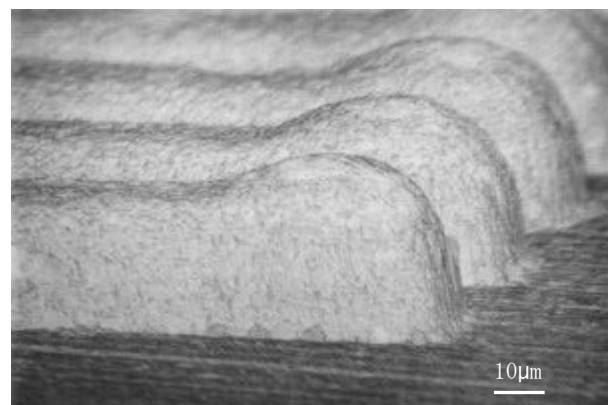
- 3) 井上明久：新しい工学用材料としてのバルク金属ガラス，精密工学会誌，Vol. 70，No. 9，(2004)，1154-1158
- 4) 秦誠一ほか：薄膜金属ガラスアクチュエータ，精密工学会誌，Vol. 68，(2002)，657-661
- 5) 山口正志：金属ガラス材料による変換スリーブの開発，YKK Technical NEWS，19，(2003)，2-3
- 6) 石田央ほか：高強度 Ni 基金属ガラスを用いたマイクロギヤの作製，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，(2004) 1025-1026
- 7) 秦誠一ほか：金属ガラスの精密・微細加工に関する研究，日本機械学会論文集(C 編)，65，633，(1999-5)，346-352

表 2 マイクロインプリント成形条件

成形材料寸法	Zr 系金属ガラス Zr ₅₅ Al ₁₀ Ni ₅ Cu ₃₀ (atom %) $\phi 3\text{ mm} \times 0.15\text{mm}$
金型材料外径	微粒子超硬合金 $\phi 6\text{ mm}$
成形温度	450 °C
成形荷重	1.0 kN
成形時間	90 s
成形圧力	0.25 kN



(a) 全体像



(b) 詳細像

図 16 成形した金属ガラス製プローブの SEM 写真