

平成 23 年度研究助成対象・研究成果報告

MEMS 技術活用マイクロ金型の研究

研究報告者 伊 藤 高 廣



～プロフィール～

最 終 学 歴	昭和 60 年 3 月
	東京大学大学院工学系研究科
	産業機械工学専攻修士課程修了
専 門 分 野	MEMS, マイクロメカニズム
学 位	博 士 (工学)
所属団体名	国立大学法人九州工業大学 大学院情報工学研究院 機械情報工学研究系
役 職 名	教 授

今 後 の 抱 負

平成 23 年度に助成いただき、研究開発を進め、MEMS 技術を活用したマイクロ金型の作製手法について多くの知見を得ることができました。

具体的には、半導体基板研磨用のパッドについて本技術を用いて作製するための条件や研磨目的に最適なパッド表面形状を得ました。

今後は、実用化に向け、MEMS 金型大面積化の開発を進めていきます。

本研究では、マイクロマシン、Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術を用いて、 μm オーダの表面パターンを持ったマイクロ金型を作製し、低コストで微細構造を持つ製品を生産することを目的とした。著者らはMEMS微細加工技術を用いて金型マスターをSi基板に作製する技術、めっきによる転写技術を研究開発し、成果を得てきた。しかし、表面構造のパターン寸法が数十 μm オーダ以上のものに限られていた。そこで本研究では、半導体基板研磨に効果のある、数 μm 以下の構造寸法のマイクロ金型作製を試み、開発を行ったので結果を報告する。

1. はじめに

ミクロンオーダの微細パターンが連続するような金型は、従来からの工作機械による加工では製作が困難であった。そこで、X線リソグラフィ技術によるLIGAプロセスを用いた製作方法がドイツのカールスルーエ技術研究所を中心を開発されてきた。しかし、放射光施設など大規模で高価な設備を必要としていた。これに対し、本提案では、MEMS微細加工とめっき技術を組み合わせることで、低コストかつ微細な金型を実現する。原型からめっき金型へ転写後の剥離方法などの問題点を解決し、商用化を目指した。

マイクロ金型の具体的な適用対象としては、半導体基板用研磨パッドを取り上げた。集積回路では配練パターンがサブミクロンオーダとなり、微細化の限界に近い。そこで、図1に回路断面写真を示すように、多層化して厚み方向にも集積化する研究が進められてきた。多積層化では層ごとの精密研磨が求められる。半導体基板研磨装置の略図を図2に示す。図で下方の回転テーブルの上に研磨パッドを設置し、そこに上から半導体基板を押し付け、スラリーと呼ばれる研磨液を供給し浸しながら研磨を行う。従来は研磨パッドの表面を荒らして研磨性能を上げてきたが、MEMS微細加工パッドが同等以上の性能を発揮できることがわかつってきた^{1,2)}。MEMS微細加工パッドの略図を図3に示す。表面の凹凸形状を自由に変更し、さらなる性能向上ができる。しかし、パッド面積が制限され、大面积化がネックになっていた。

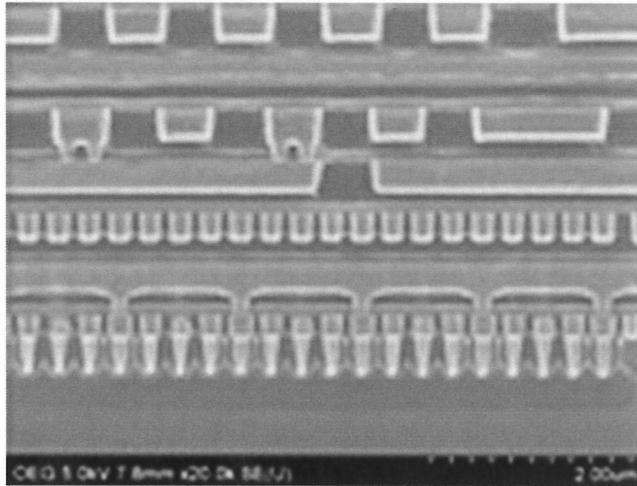


図1 多層化された集積回路断面 SEM 写真

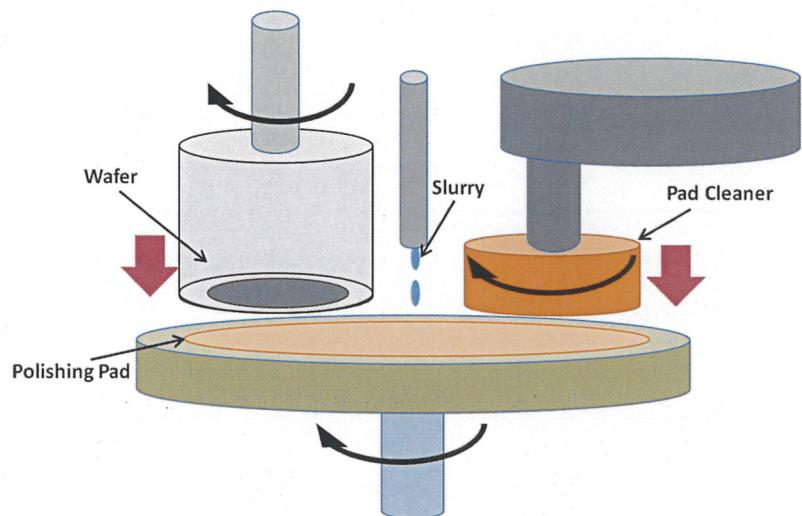


図2 半導体基板研磨装置略図



図3 MEMS微細加工研磨パッド略図

本提案では、精密めっき技術により転写した金型を用いることで大面積化を目指す。金型技術を応用して、多積層化ウェハの平坦化が可能な、低コスト研磨パッド製造方法の研究開発を行い高集積半導体の創出に貢献する。

2. MEMS 金型の作製

2-1 半導体基板研磨への適用背景

各種電子機器は高精度・高機能化が進んでおり、使用される半導体性能は飛躍的な発展を遂げている。携帯端末などの市場からは小型化・軽量化の要求が強く、製品に使用される各種部品は小型軽量を図るために半導体の内部配線パターンをミクロンオーダからサブミクロンオーダとなり微細化による集積度アップを行っているが、ほぼ限界になっているので

厚さ方向に積層する研究が進められている。多積層を行うにはウエハ表面の平坦化特性と各層の精密な研磨が求められるが、現在一般的に用いられている CMP パット材は発泡ポリウレタン系でこれ以上の平坦化特性を望むのはむずかしくなってきているので、CMP 工程で安定なパット材の開発が必要となっている。申請者は MEMS 技術で製作したパット形状をめっきにより転写金型を作成する手法を確立した。従来は微細構造を形成した基板の面積で制限されていたパッドが、金型を用い複数組み合わせることで実用化に向け大面積化が可能となる。これらの研究を効率的に進められるのは、本学情報工学部にマイクロ化総合技術センター(半導体前工程後工程)、先端金型センター CMP 研磨技術などの各種設備があり、CMP パット最適形状研究環境が整っているためである。スクラッチが発生しない平坦化特性の良い CMP パット開発により高集積半導体の創出に貢献することを目的に研究開発を進めた。

2-2 Si マスターの作製

MEMS 金型作製のために必要となる、金型マスターを Si 基板表面の三次元微細加工を用いて作製した。図 4 にプロセスフローを示す。 μm オーダの三次元構造を一度に多数作るため、MEMS 異方性ウエットエッチング技術を用いた。半導体集積回路の材料である Si 基板には、その結晶構造によりエッチング液による溶解速度が面方位により異なる性質がある。この性質を用いて四角すい形状を表面に形成する加工が従来から使われてきた。本研究でもこの手法を用いて Si マスターを製作した。基板として Si 4 インチ (100) ウエハを、エッチング液には TMAH (テトラメチルヒドロキシ溶液) を用いた。

図 4 に示すプロセスにおいて、工程は次のとおりである。

- (1) Si ウエハに熱酸化炉を用いて SiO_2 酸化膜を形成する
- (2) Si ウエハ上にフォトレジストをスピナーを用いて塗布する
- (3) フオトマスクを基板に被せて露光を行う
- (4) フオトレジストの現像により Si ウエハ上にパターンを形成する
- (5) フオトレジストで覆われていない部分の酸化膜を除去
- (6) フオトレジスト除去
- (7) TMAH 液による Si ウエットエッチング
- (8) 酸化膜除去
- (9) めっきを行うための金属薄膜形成
- (10) Ni めっき
- (11) Si 基板をとりはずし、金型完成

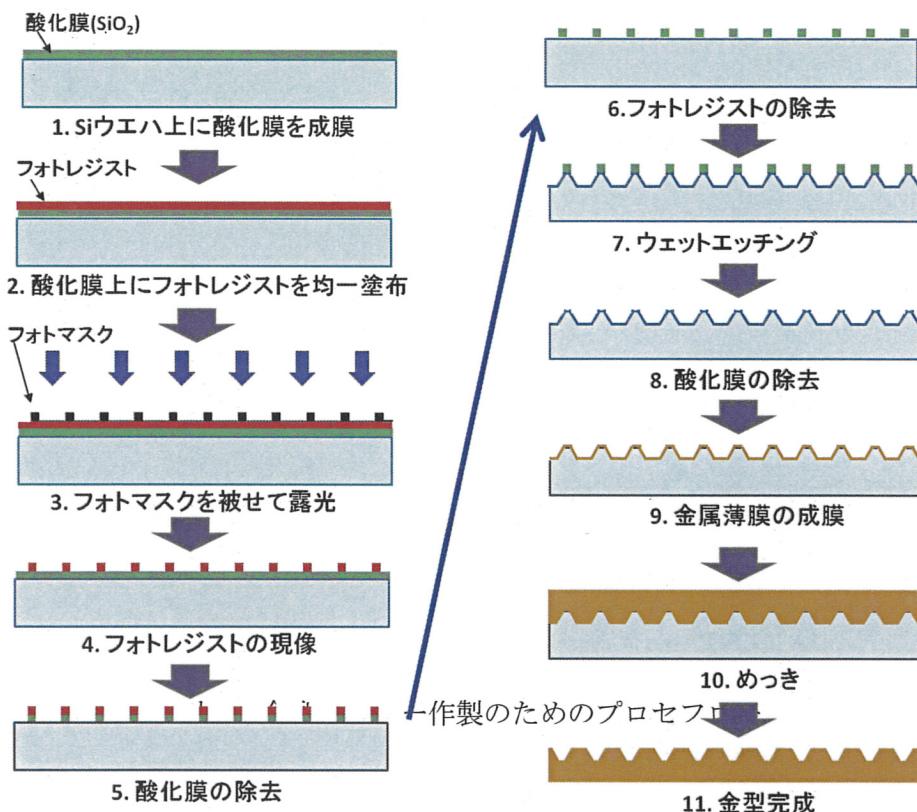


図4 MEMS 金型マスター作製のためのプロセスフロー

従来は、プラズマを用いたドライエッティングにより、図5に示すような、 $30\text{ }\mu\text{m}$ 直径の円柱を多数並べたタイプの金型マスターを成型する加工の実績があった。しかし、本研究では数 μm の幅、高さの四角い構造の加工であり、1ケタ小さな構造であり、いくつかの困難が生じた。その解決方法を以下に示す。

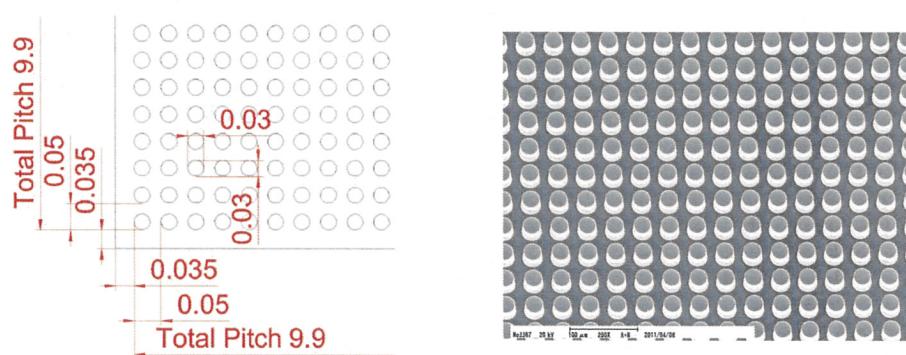


図5 直径 $30\text{ }\mu\text{m}$ の円柱構造を持つ Si 金型マスター

通常、Si 異方性ウェットエッチングでは、正方形のマスクパターンによって四角すい立体形状が得られる。しかし、稜線部分の尖ったところがウェットエッチングの際形崩れを起こしやすく、意図した四角すい形状にならない問題があった。そこで、図6(a)に示すような補償パターンと呼ばれる改良パターンを用い、エッジ部分を保護することにより、図6(b), (c)に示すような、崩れのない四角すい形状に加工することができた。

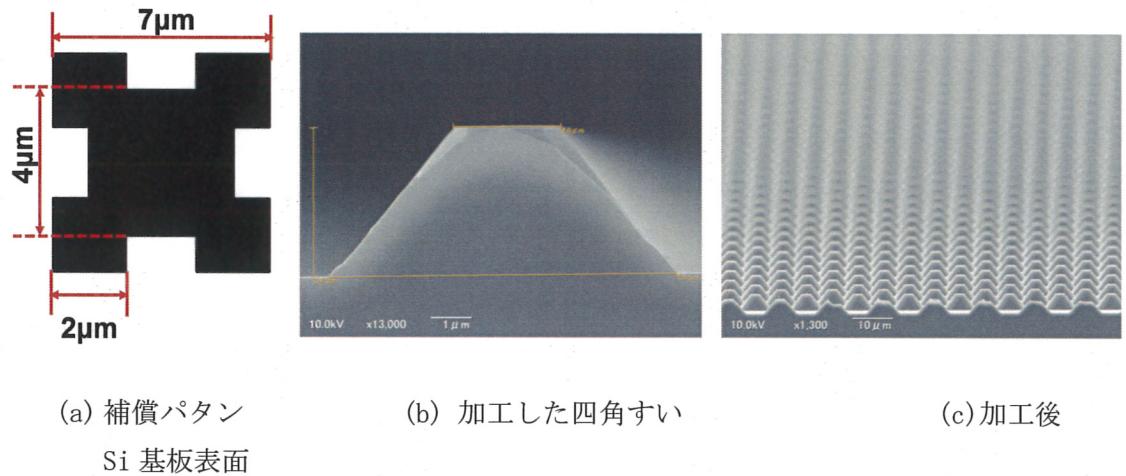


図6 Si ウェットエッチングによる四角すい形状加工結果

設計通りの四角すい形状を得るために、補償パターン形状を含む適切なマスクパターン形状を選出する必要があり、四角すい底面の幅が、 $3\text{ }\mu\text{m}$ 幅となるもの1種、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 幅となるもの3種、 $7\text{ }\mu\text{m}$ 幅となるもの18種 を実験により比較し、合計22種の内から1種のパターンに確定した。決定後の最適パターンを用いて加工を行い得られたSiマスター四角すい形状を図7に示す。

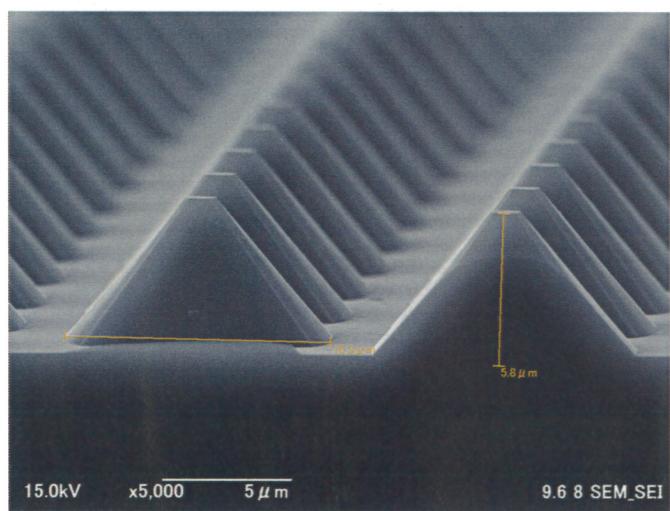


図7 最適マスクパターンを用いて加工し得られたSiマスター四角すい形状

得られた Si マスター表面形状をレーザ顕微鏡を用いて計測評価した結果を図 8 に示す。四角すい形状が規則正しく形成されていることが確認できた。

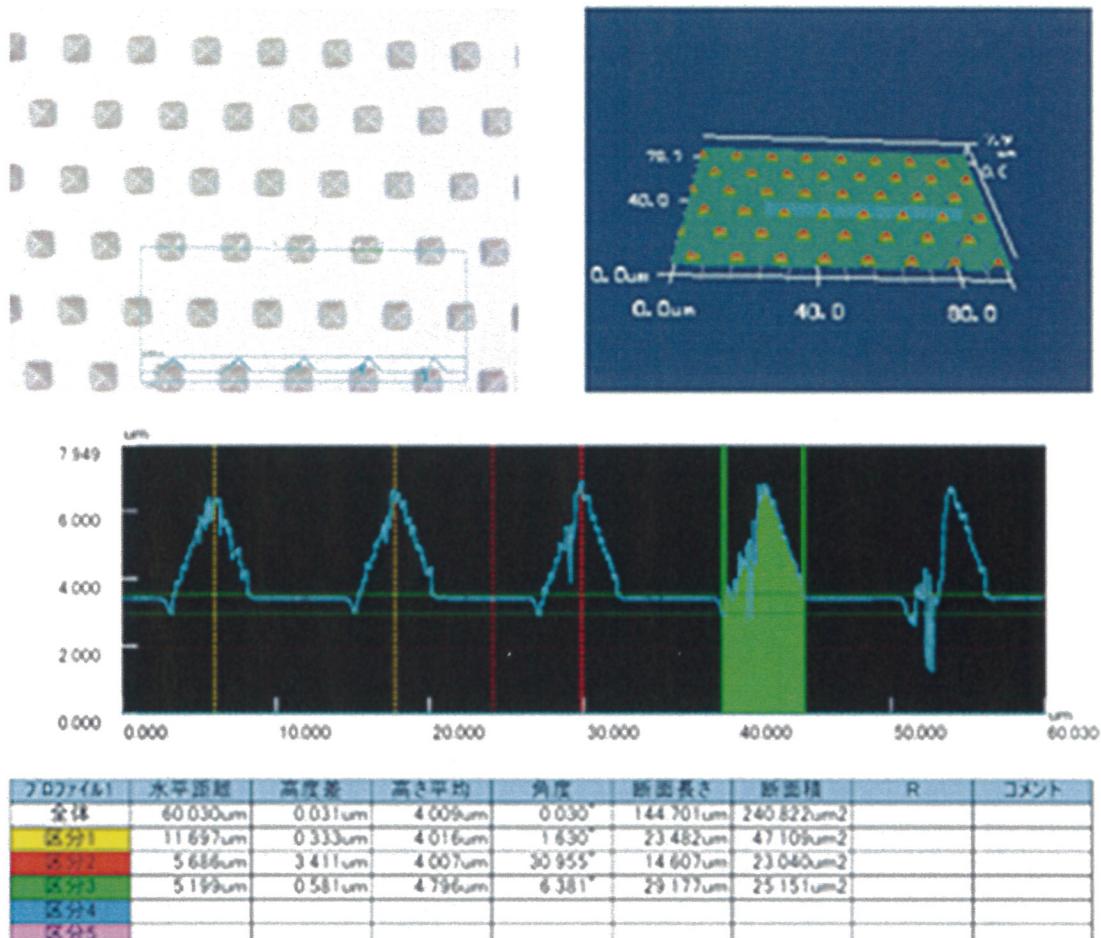
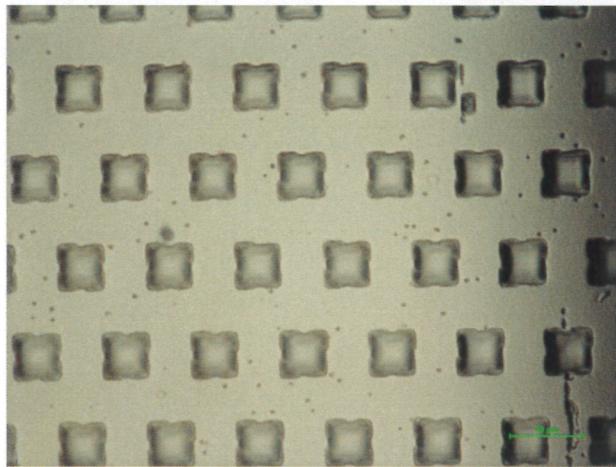


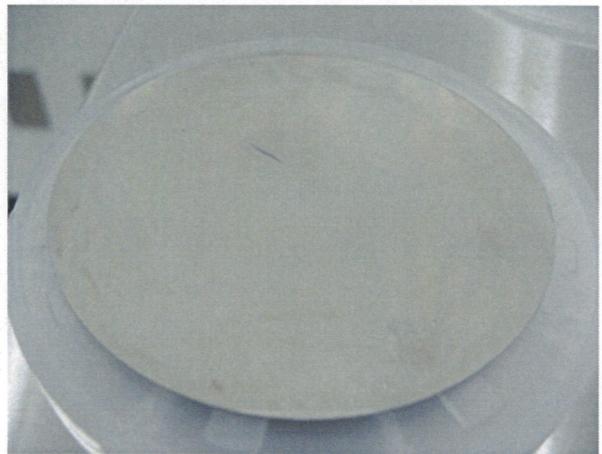
図 8 Si マスター表面形状測定結果

2-3 めっき金型の作製

MEMS プロセスにより作製した Si マスターを用いて、Ni めっきで金型を作製した。図 9 にめっき金型の顕微鏡写真と全景を示す。



(a) 金型表面四角すい穴部分



(b) めっき金型全景

図9 めっき金型

樹脂を用いて転写し製作したマイクロパターンパッドを用いて基板研磨実験を行い、表面の四角すい底面の一辺長さ： $7\text{ }\mu\text{m}$ ， $5\text{ }\mu\text{m}$ ， $3\text{ }\mu\text{m}$ で比較を行った。その結果、

$7\text{ }\mu\text{m}$ ：従来のパッドと同等の性能を確認

$5\text{ }\mu\text{m}$ ：耐久性能に優れることを確認

$3\text{ }\mu\text{m}$ ：パッド材料の型からの離型に難点

という結果が得られ、マイクロパターンパッド用表面形状を $5\text{ }\mu\text{m}$ 幅の四角すいに決定した。

3 まとめ

本研究ではMEMS技術とめっき技術を用いて、 μm オーダの表面構造をもつ金型を作製する方法を提案した。本手法を用いて半導体基板研磨用パッド作製に適用し、適切な表面形状を求めた。

参考文献

- 1) 木村景一, カチヨーンルンルアン・パナート, 橋山雄一, 鈴木恵友 : SiO_2 系膜のCMPにおける材料除去メカニズムの研究（第1報）, 2010年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, pp. 147-148.
- 2) 磯野慎太郎, 木村景一, 鈴木恵友, カチヨーンルンルアン・パナート, 占部正和 : CMP用マイクロパターンパッドの開発—ポリシングへの適用—, 2012年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, pp. 71-72.