解・説

マイクロマシニング技術と実装

Micromachining Technologies Related to Packaging

1 はじめに

ホトリソグラフィやエッチングといった微細加工技術の急速な進歩は、シリコン基板上に電子回路を形成するだけでなく、微細な機械的構造体を製作することも可能にした。このような微細構造体の加工技術をマイクロマシニングと呼ぶ。マイクロマシニング技術の進歩は、微細構造体を駆動する技術の進歩とあいまって、センサ・アクチュエータの超小形化、さらにマイクロマシンの開発に大きく貢献している。これまでに開発された製品は、圧力・加速度・回転角速度などの力学量センサの他、最近では光スイッチ、リレースイッチ、インクジェットプリンタヘッド、ビデオプロジェクタ素子など情報関連機器分野にも適用が広がりはじめた。さらに、生化学分析を目的とした微量流体制御システムの研究も盛んである。

一般にセンサ・マイクロマシンデバイスの実装は、デバイス機能を外界から保護するという使命とともに、デバイスの入出力を外界と結びつけるという使命も持っている。センサ・マイクロマシンにおける入出力の対象とは、配線を要する電気はもとより、配管との接続を要する流体や、光ファイバとの接続を要する光信号など多岐にわたる。このような事情から、マイクロセンサ、マイクロマシンにおいては、デバイス本体よりもむしろ実装技術が製造原価を左右すると言っても過言でない。なぜなら、デバイス本体の製作は、半導体基板上に微細加工技術を展開することで達成されるが、その実装にあたっては、上記のような多岐にわたる仕様を反映してデバイスごとにその解決策を見いださねばならないからである。

本稿では、マイクロセンサ、マイクロマシンの実装の典型的な形態を紹介し、さらに、マイクロマシニング技術が実装技術一般にいかに関与できるかという視点でマイクロマシニング技術と実装技術との関わりを論じたい。

2 マイクロマシンの実装

マイクロマシンデバイスは、ハードウェアの構成上いくつかの形態に分類される。シリコン基板そのものに三次元

佐藤 一雄
Kazuo SATO

◎1948年1月生まれ

1970年横浜国立大学工学部機械工学科卒業、(株)日立製作所 中央研究所・機械研究所勤務を経て、1994年名古屋大学工学研究科教授

◎研究・専門テーマは、マイクロ加工、マイクロマシンシステム

◎正員、名古屋大学 工学研究科
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町/
E-mail : sato@mech.nagoya-u.ac.jp)

構造を形成するバルク型、シリコン基板表面に成膜した薄膜で構造を作る薄膜型、がその代表的なものである。それぞれの形態について、実装上の問題にどう対処しているかを以下に紹介する。

2-1 バルク型デバイス

シリコン基板やガラス基板にエッチング、薄膜形成などの微細加工を施し、それらを2枚あるいは3枚積層してデバイスを構成するのがバルク型デバイスである。エッチング加工した溝が、微細な流路となったり、多数の光ファイバの整列、位置決め利用される。基板間の接合には、シリコンとガラス基板の静電接合、シリコン基板同士の拡散接合、はんだ接合、接着剤などが使われる。接合温度の制限、接合界面の材料の多様性、接合領域の限定など、接合プロセスの課題は多い。

この種のデバイスの代表的な実装形態を図1に示す。実装上の課題は、接合した基板の内部からいかに電気配線、流路、光導波路などを外部に取り出すかにある。基板表面に形成した薄膜電気配線を対向する他の基板に接触させずに取り出すには、樹脂などの封止材料でデバイス内部を封止しなければならない。また、流体を外部の細管と接続するインタフェースでは依然としてニップルを接着剤で基板に接合する形態を採ることが多い。外部と接続される光ファイバコアの先端の位置合せにはファイバの外径基準で、ファイバを整列させるのが一般である。

デバイスごとにこのような実装の問題に対処するマイク

ロマシンの開発コストを低減するため、光、流体、電気配線など、入出力対象ごとにモジュール化したインタフェースを使うほうが低コスト化できるのではないかという考えがドイツから提案されている⁽¹⁾。

2-2 薄膜型デバイス

基板表面に構造体となる薄膜を中間層薄膜（犠牲層と呼ぶ）を介して積層し、最後に犠牲層を除去して基板から分離する加工プロセスを表面マイクロマシニングという。これまでの応用例として、加速度センサのパネー質量系、電気信号フィルタ用の機械振動子などが薄膜材料で製作されている。このタイプのデバイスの加工プロセス断面図を図2に示した。

このような薄膜構造では、犠牲層を除去したあとの構造体と基板表面との間隔は1～2ミクロンと小さく、ここにちりが入り込むと、たちまち機能に障害をもたらす。このような不具合を防いだり、機械振動子を真空中で共振させるには、運動部材の周囲の空間を外気から封止しなければならない。

最近、気密封止パッケージ構造も表面マイクロマシニング工程の中で作ってしまうことが行われている⁽²⁾。図2において犠牲層エッチングの前段階で気密封止薄膜を最外層に形成し、この封止用薄膜の微細な孔から犠牲層をエッチングして除去した後、完全に封止してしまう。運動部材の加工プロセス中にパッケージング工程を内包する技術であるという点で注目される。

図1 バルク型マイクロデバイスにおける入出力インタフェースの諸形態

図2 薄膜型マイクロデバイスの加工プロセスに内包したパッケージング処理の一例

3 実装のためのマイクロマシニング技術

前章で例示した薄膜材料による気密封止パッケージング技術にみられるように、マイクロマシニングによる三次元構造体製作技術は、マイクロマシン以外のデバイス実装にも応用できる可能性がある。以下に、いくつかの技術シーズを紹介して読者の評価を仰ぎたい。

3-1 三次元微細構造の加工

基板両面の配線パターン接続、立体配線などの課題解決に役立つ可能性があるものとして、以下に述べる技術がある。

- (1) 高段差の凹凸をもつ基板表面にリソグラフィーパターンを形成する技術

要素技術：電着によるレジスト塗布とプロキシミティ露光技術⁽³⁾

- (2) 基板の表裏を貫通する高アスペクト比エッチング技術

要素技術：ICPプラズマによる反応性イオンエッチング

- (3) リソグラフィーで感光膜に作った微細な雌型に金属メッキを施してつくる三次元構造体製作技術

要素技術：LIGAプロセス⁽⁴⁾、あるいは特殊レジストを使った紫外線露光技術⁽⁵⁾

3-2 フレキシブルな機能素子の製作

例えば、シリコン基板表面に電子デバイスを形成したのち、その表面にポリイミド薄膜を塗布して固化した後、基板の下部をエッチング除去することによって、フレキシブルなポリイミド薄膜上にシリコンデバイスを作ることができる。航空機翼の曲面状の風速分布計測用センサ⁽⁶⁾やフレキシブルな能動内視鏡の内部に設置するアクチュエータ制御デバイスのへの応用を目的に研究されている。

4 おわりに

マイクロマシニング技術とマイクロマシン実装の現状を紹介した。微細な三次元構造を加工するマイクロマシニング技術は、マイクロマシンだけでなく電子デバイスの実装にも関わる技術的シーズを持っている。また、マイクロマシンは本質的に機械的なデバイスであるが、その微細性やそれを構成する材料の特殊性から入出力インタフェースが未成熟である。マイクロマシンデバイスの普及を加速するには、この部分の標準化が必要と考える。

(原稿受付 2000年1月24日)

● 文 献 ●

- (1) Schuenemann, M. ほか, A Highly Flexible Design and Production Framework Modularized Microelectromechanical Systems, *Proceedings of IEEE MEMS Workshop*, (1998), 597-602.
- (2) Lebouitz, K.-S. ほか, Vacuum Encapsulation of Resonant Devices Using Permeable Polysilicon, *Proceedings of IEEE MEMS Conference*, (1999), 470-475.
- (3) Linder, S. ほか, Photolithography in Anisotropically Etched Grooves, *Proceedings of IEEE MEMS Workshop*, (1996), 38-43.
- (4) Becker, E. W. ほか, Fabrication of Microstructures with High Aspect Ratios and Great Structural Heights by Synchrotron Radiation Lithography, Galvanoforming, and Plastic Moulding (LIGA Process), *Microelectronic Engineering*, 4 (1986), 35-56.
- (5) Lorentz, H. ほか, High-aspect-ratio, Ultrathick Negative-tone Near-UV Photoresist and Its Applications for MEMS, *Sensors and Actuators A*, 64-1 (1998), 33-39.
- (6) Jiang, F. ほか, Flexible MEMS Technology and Its First Application to Shear Stress Sensor Skin, *Proceedings of IEEE MEMS Workshop*, (1997), 465-470.
- (7) Kaneko, S. ほか, Monolithic Fabrication of Flexible Film and Thinned Integrated Circuits, *Proceedings of IEEE MEMS Workshop*, (1997), 471-476.