

マイクロマシン技術を用いたリードスイッチの開発

虎澤 裕康

有馬 尚邦

マイクロマシン技術¹⁾で一般的な手法であるフォトリソ技術とメッキ技術、エッティング技術を導入し、 0.56×0.056 (mm) の小型接点素子を実現した。さらに、この素子基板をガラス基板に貼り合せ、個片分離することで、 $2.0 \times 1.0 \times 0.75$ (mm) のマイクロマシンリードスイッチを実現した。

リードスイッチとは

リードスイッチは、磁性材料からなる一対のリード片がガラス管内に封入されている構造を有している²⁾。リード片は、必要となる電気的、機械的特性仕様に合わせて設計した形状をプレス加工により成形されており、さらにリード片の先端部には、ロジウム、イリジウムなどの高融点金属をメッキ処理し、接点メッキ面が形成されている。ガラス管の両端は、加熱溶融され封止される。封止されたガラス管内部には、不活性ガスが充填されているため、リードスイッチの接点部は外部環境から遮断され、一定の環境を維持できる構造となっている。この結果、接点部は、長期間に渡り外部環境の影響を受けることなく、リードスイッチの高信頼性を実現している。

図1にリードスイッチの構造を示す。このような特長を持つリードスイッチは、従来の製造方式において、ガラス管を加熱溶融し一対のリード片を対向配置し封止するためには、封止部分に少なくとも $1.0\text{mm} \times 2$ 箇所の長さが必要となる。このため、十分なバネ特性を有するリード片のより一層の小型化の実現が難しく、ガラス管長が5mm以下のリードスイッチを安定して製造することは困難な状態にあった。

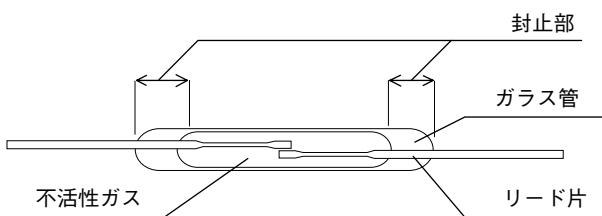


図1 リードスイッチの構成

小型リードスイッチを実現するには

このため、当社では、従来の製造プロセスではなく全く新しい技術によるリードスイッチの形成を目指した。この有力な技術として、マイクロマシン技術があり、この技術による小型リードスイッチの製造を検討した。

素子構造は、マイクロマシン技術によって梁部を形成する片持ち梁構造³⁾とした。また、接点の駆動方式は、リードスイッチと同様に磁気駆動とした。さらに、マイクロマシンリードスイッチをパッケージ化するにあたっては、表面実装タイプを前提とし、チップ抵抗を参考にした。

(1) 素子形成

マイクロマシン技術には、薄膜形成技術、フォトリソ技術、エッティング技術といったさまざまな要素技術があり、半導体微細加工技術がベースとなるものである。マイクロマシン技術を用いることで、微小な構造体を実現することが可能となる。

マイクロマシン技術を用いて開発したマイクロマシンリードスイッチの特長は、フォトリソ技術によるパターン形成と電解メッキ処理とを数回繰り返すだけで接点素子を形成できる点にある。2種類のメッキ膜を組み合わせ、

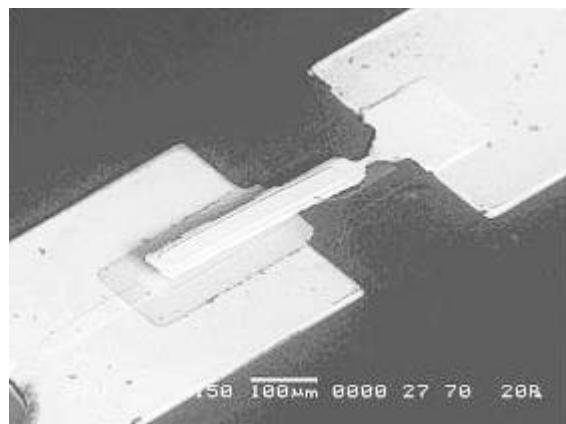


写真1 マイクロマシンリードスイッチの接点素子外観

積層することで接点素子を形成する。最終的にメッキから成る犠牲層と下地金属膜をエッチング処理することにより、接点ギャップを形成する。以上のようにいたって簡単なプロセスのみで接点素子を形成する。写真1にマイクロマシンリードスイッチの接点素子外観写真を示す。接点となる片持ち梁と下部電極の内部には、外部磁界の作用によって、磁化し磁気吸引力を発生させるための磁性体が存在する。

(2) パッケージング

パッケージングの方法を検討した場合、接点素子を形成した基板をパッケージ内に固定し、結線する方式では、必然的にパッケージサイズが大きくなる。したがって、パッケージ自体の無駄なスペースを低減することを検討した結果、基板自体をパッケージとして利用する形態を採用した。この場合、パッケージに形成される電極と接点素子電極を電気的に接続する必要がある。このため、基板にスルーホールを設け、スルーホール面にメッキ膜を形成し、2つの電極を接続する構造とした。

写真2にマイクロマシンリードスイッチのパッケージ外観写真を示す。

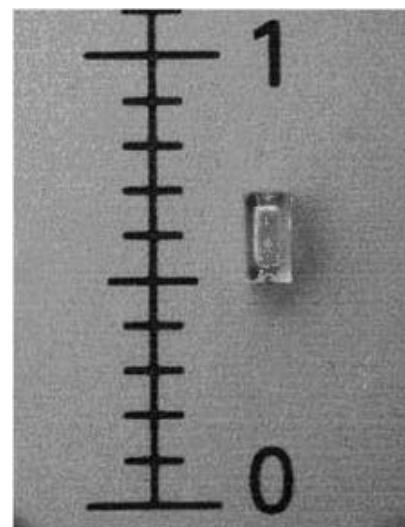


写真2 マイクロマシンリードスイッチのパッケージ外観

接点素子形成基板の検討

マイクロマシンリードスイッチの開発では、設備入手、導入がしやすいこと、安定した条件設定が望めることから、基板の大きさは4インチサイズを前提とした。

今回開発したマイクロマシンリードスイッチは、制御

用回路、信号処理用回路などを必要しない。また、メッキ膜を積層し接点素子を造型するため、基板自体を接点素子構造の要素とする必要はない。このため、マイクロマシンリードスイッチの素子を形成する基板は、シリコン基板である必要はなく、ガラス基板、セラミック基板、プラスチック基板などでも可能となる。以下に、使用する基板の要件を示す。

- ① 基板表面は絶縁性が高いこと。
- ② メッキ処理が可能であること。
- ③ 基板表面の粗さは、電解メッキによって形成されるメッキ膜を数層積層しても影響を及ぼさない程度の平坦度として、 $\pm 1 \mu\text{m}$ 以内が必要。
- ④ 基板全面にスルーホールの形成が可能であること。
- ⑤ スルーホールの配列精度、加工精度が得られること。
- ⑥ 素子保護用基板と素子形成基板を貼り合せるため、透明である方が望ましい。

以上の点を考慮した結果、使用する基板はガラス基板に決定した。ただし、素子形成では、メッキ処理が必要となることから、ガラス基板の表面には通電できるように、金属薄膜を着ける必要がある。

ガラス基板と下地金属膜の密着性

ガラス基板と下地金属膜の密着性がどの程度得られるかが懸念された。このため、ガラス表面への金属膜付け状態に関して、金属膜の種類、および成膜方法の違いによる密着力の差に関して評価を行った。表1にこの評価の水準を示す。また、図2に評価ガラス基板の構造の概略図を示す。さらに、評価結果を表2と図3に示す。これより、無電界NiPの下地は、ガラスとの密着性はやや高いものの、薬品処理による影響のため、ガラス自体が脆くなり、

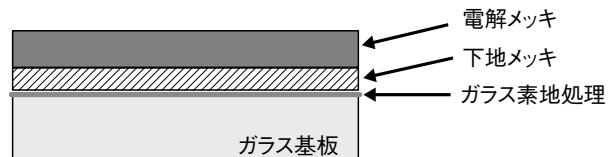


図2 評価ガラス基板の構造説明

表1 成膜方法の違いによる密着力評価水準

	水準1	水準2	水準3	水準4	参考
ガラス素地処理	薬品処理	プラスト	酸化亜鉛	脱脂	—
下地メッキ $0.2 \mu\text{m}$	無電解NiP	無電解NiP	無電解NiP	Niスパッタ	無電解Cu
電解メッキ $5 \sim 6 \mu\text{m}$	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu
基板	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラエボ

表2 密着性評価結果

ガラス素地処理	薬品処理	プラスト	酸化亜鉛	脱脂	ガラエボ
下地めっき0.2 μm	無電解NiP	無電解NiP	無電解NiP	Niスパッタ	無電解Cu
電解めっき5~6 μm	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu
引張り試験AVE	4.8	0.0	4.4	3.7	9.9
1	3.6	0.0	7.0	2.4	10.8
2	6.0	0.0	5.0	3.7	10.6
3	3.3	0.0	4.0	3.4	9.9
4	6.8	0.0	3.0	5.8	9.2
5	4.4	0.1	2.9	3.2	8.8
セロテープ試験 (剥離パッド/5)	2/5	3/5	0/5	0/5	0/5
エッティング後の外観	NiP残あり 導通有り	NiP残あり 導通有り	Zn皮膜 Ni-P皮膜 残り、導通 有り	良好	良好
テープ試験後外観	黒色膜付着 導通なし	ガラス界面 から剥離	テープでNiP Zn膜剥離 導通なし		

下地金属とガラス基板の密着性

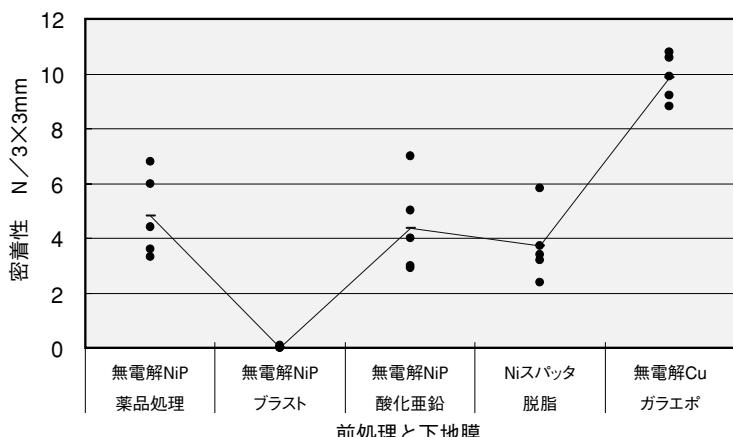


図3 成膜方法の違いによる密着力評価結果

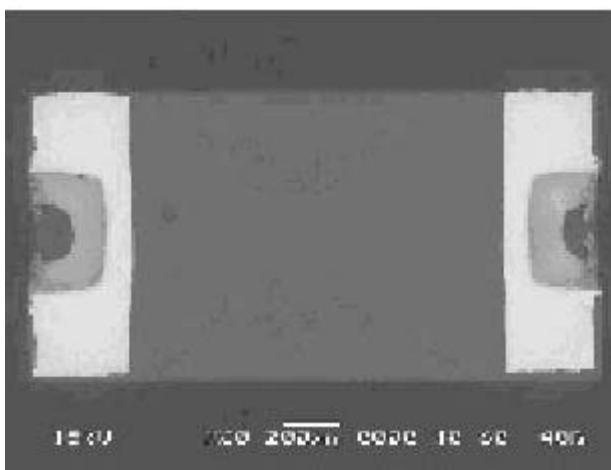


写真3 マイクロマシンリードスイッチのパッケージ電極形状

基板強度が低下した。また、酸化亜鉛は、塩化鉄のみのエッティング処理では、完全に除去できない状態となった。この結果、スパッタリングによるニッケル下地膜を選択した。スパッタリングによるニッケル下地膜では、2N以上の密着性（剥離強度）であることが確認できた。この密着性は、接点素子を形成するプロセス上で支障はないものの、パッケージに形成する電極の強度としては十分とはいえない。このため、パッケージの電極に対しては、基板実装後に接合強度が増加するように、アンカ効果が作用するような電極形状を検討した。写真3にこの電極形状を示す。基板実装した際、このアンカ部分にはんだが入り固定できるため、はんだ接合強度が向上する。

接点素子の保護用基板

接点素子を保護し、パッケージするために、接点素子保護用の基板が必要となる。素子保護用基板に関しては、素子形成基板と同材質、同サイズの基板に、形成された接点素子を覆うための加工を施した基板を用いた。加工は、サンドブラストによる掘り込み加工を施し、0.15mmの凹部を基板全面に設けた。

この素子保護用の基板と素子形成された基板とを接着剤を用い貼り合せた後、スクライプ処理し、個片分離し、マイクロマシンリードスイッチの最終製品が完成する。

試作評価結果

(1) 素子特性

表3にマイクロマシンリードスイッチの開発目標仕様と試作評価結果の比較を示す。この結果、接点抵抗が 0.5Ω となり、目標仕様より高い値であった。この点に対しては、梁構造面とプロセス面の両面から調査をしている。梁構造面では、磁気吸引力と接点接触圧の関係を再度見直している。また、プロセス面では、接点表面の汚染状態をエッティング残渣と接着剤ガスの影響について調査している。

(2) パッケージ電極のはんだ固定強度

電極をはんだで固定し、パッケージ電極の密着性（剥離強度）を確認した結果、7N程度の値を示し、接合強度は増加していることを確認した。

ま と め

現状のリードスイッチの更なる小型化を目指すために、マイクロマシン技術を導入し、フォトリソ技術とメッキ技術、エッティング技術を用いることで、接点素子を作製することが可能となった。そして、 $2.0 \times 1.0 \times 0.75$ (mm)

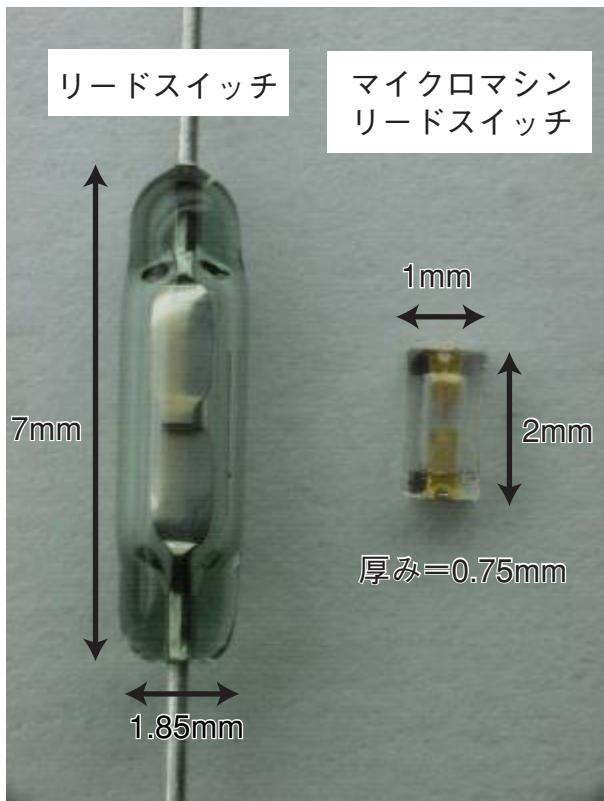


写真4 リードスイッチとマイクロマシンリードスイッチの外観

表3 マイクロマシンリードスイッチの開発目標仕様と試作結果の比較

特性項目	条件	目標仕様	評価結果
接触抵抗	$1V-1mA/10mT$	0.2Ω	0.5Ω
最大開閉電流	$10mT/10Hz$	$50mA$	$50mA$
最大開閉電圧	$10mT/10Hz$	$5V$	$5V$
最大通電電流	$10mT$	$100mA$	$150mA$
寿命	無負荷 $10mT/10Hz$	1×10^7 回	1×10^7 回
応答速度	$1V-1mA$ $10mT/10Hz$	動作時間 5ms 復帰時間 5ms	動作時間 2ms 復帰時間 1.5ms

の大きさでパッケージ化し、超小型のリードスイッチとなるマイクロマシンリードスイッチを実現した。写真4に従来リードスイッチとマイクロマシンリードスイッチの外観を示す。

今後の課題

現在、素子形成、およびパッケージングのプロセスが定まった状況にある。今回の試作結果で、接触抵抗を除き、目標仕様を満たす特性が得られた。今後、接触抵抗の達成に向けた改善を行っていく予定である。さらに、マイクロマシンリードスイッチに関しては、多くのユーザ要求に応えていくためにも、開発スピードをより加速する必要がある。



■参考文献

- 1) 江刺正喜：MEMS Technology Outlook, 電子ジャーナル, p.9, 2003年
- 2) 矢野孝男, 川喜田千尋, 安田正晴, 日野原邦夫 : Reed Switches, 沖電気工業株式会社, p.5, 1987年
- 3) Gabriel M.Rebeiz : RF MEMS Theory, Design, and Technology, John Wiley & Sons, Inc., p.31, 2003

●筆者紹介

虎澤裕康 : Hiroyasu Torazawa. 株式会社沖センサデバイス 開発設計部 開発課 課長
有馬尚邦 : Naokuni Arima. 株式会社沖センサデバイス 開発設計部 開発課