

## 論文の内容の要旨

論文題目 低接触力 LSI 検査プロービング

氏 名 片 岡 憲 一

本論文は半導体デバイステスト用の低接触力マイクロマシンプローブカードを実現するための低接触力コンタクト手法を論じたものである。LSI デバイスの高集積化に伴って試験時のプロービングが困難になっている大きな要因として、従来 LSI 上電極と試験用プローブのコンタクトに必要とされてきた大きな接触力があることに着目した、従来の機械的なコンタクト手法に替わり、電氣的絶縁破壊の一種であるフリッティングおよび表面酸化膜の還元処理による除去手法を提案し、その基本的特性を明らかにすることで低接触力のプロービング手法に有効であることを示した。さらに、マイクロマシンプローブカードを設計・製作し、これらの低接触力コンタクト手法が有効であることを示した。

本論文は6章から構成されている。第1章では、研究の背景として、半導体デバイスの高密度化とそれに対応するためのマイクロマシンプローブカードについて述べ、Al 電極のスクラビングに起因する接触力の問題と低接触力プロービング手法の必要性を論じた。第2章および第3章では、新しい低接触力コンタクトの手法として、フリッティングおよび Cu 電極の還元処理について、コンタクト測定実験を行ってプロセスの最適化、原理の解明を行った。第4章および第5章では、低接触力プロービング手法のマイクロマシンプローブカードへの適用性について論じた。第4章ではフリッティングコンタクトの利点である低ダメージ性を生かしたマイクロスプリングおよび座屈マイクロカンチレバーを開発し、1~10 mN の接触力での低ダメージコンタクトを実現した。第5章では超多ピン・超高密度のマイクロマシンプローブカードへの適用のため、0.1 mN 以下の超低接触力でコンタクトするマイクロカンチレバーの開発を行った。第6章では、本論文の総括を行った。

以下、各章ごとの内容の要旨を述べる。

### (第1章)

高密度化・高速化する LSI の試験プロセスにおいて、デバイス電極の高密度化に対応するためのプローブカードの微小化が必要になっており、マイクロマシンプローブカードがそれを実現する手段と

して最も有力である。一方で、従来のプロービングにおけるコンタクト手法として用いられてきた Al 電極の機械的破壊であるスクラビングは、30~100~mN の大きな接触力を必要とし、電極やプローブに与えるダメージが大きいことが問題となっている。これまで報告されたプローブカードの例を見ると、低接触力で Al にコンタクトすることが困難になりつつあることがわかる。カンチレバーによるスクラビングコンタクトは、電極上で長さ数 10  $\mu\text{m}$  の針痕を残すため、スクラビングしない構造のマイクロマシンプローブカードがもとめられているが、接触抵抗が低く安定しないという問題がある。また、将来の超高密度・超多ピンデバイスに対応するプローブカードでは、接触力を発生することが困難である。従って、これからの高密度デバイスに対応したマイクロマシンプローブカードの実現には低接触力コンタクト手法の開発が必要である。

## (第2章)

フリッティングは金属表面酸化膜の比較的低い電圧での絶縁破壊現象と、破壊時に流れる電流による加熱によって接触部に低抵抗の電氣的コンタクトが形成されるプロセスである。これまで数 10 mN 以上の大きな接触力下での測定例が報告されているがプロービングへの適用は、一つの研究例を除いて報告されていないので、プロービングに必要な特性を明らかにするための実験を行った。

まず AFM カンチレバーを用いた、10  $\mu\text{N}$  以下の超低荷重フリッティング測定を行い、外部から力を加えることなくフリッティングが起こることがわかった。フリッティングには外部からの接触力が必要ではないことがわかった。接触力が大きいと、低い電圧でフリッティングが起こる確率が高くなること、Al 電極では 15 V の電圧印加でほぼ確実に絶縁破壊が起こることがわかった。

接触抵抗は電流による加熱によるプロセス(B フリッティング)によって低減することができ、1  $\Omega$  以下の接触抵抗は、300 mA の電流を流すことによって得られることがわかった。また、接触抵抗低減の効果を得ることのできる電流印加時間は 1 ms 以下であることがわかった。接触抵抗は電流の最大値によって決まるので、接触抵抗のばらつきを押さえるためには、電流のばらつきを押さえることが有効であることを、スイッチングで電圧を印可する方法によって示した。Al 電極上でのフリッティングを繰り返し行うことで、先端に付着物が堆積し、コンタクト不良が起こる現象が確認された。

フリッティング後、電極とプローブを引き離す際には、0.2~0.5 mN の引き離し力が観察され、フリッティング部が電流による加熱によって凝着していることが明らかとなった。

有限要素法を用いて、コンタクト部の加熱と体積変化に伴う表面酸化膜の応力分布を計算し、コンタクト部の温度が周囲に比べて 100 度程度の加熱で酸化膜の破壊強度を超える応力を生じていることがわかり、無荷重状態での酸化膜破壊のメカニズムの要因を示すことができた。

以上の結果よりフリッティングが低接触力プロービングの新しいコンタクトプロセスとして有効であることがわかり、また 1  $\Omega$  の低い接触抵抗を得るための条件として電流が重要なファクターであることを明らかにした。

## (第3章)

高速信号伝送のために、デバイスの配線材料として Cu が広く使われるようになっており、将来重要性が増すと予想される Cu 電極について、新しい低接触力プロービング手法として電極の表面酸化膜の除去について検討した。XPS を用いた分析によって、Cu 表面の  $\text{Cu}_2\text{O}$  からなる自然酸化膜が水素雰囲気中で摂氏 220 度以上の温度で加熱すると酸化膜層の厚さが減少することがわかった。還元処理によって Cu 酸化膜の厚さが減少し、接触抵抗は 2 分の 1 程度に減少する。また、還元の効果は、大気露出後 100 分～200 分持続することがわかった。また、水素雰囲気中の加熱によってプロービング時の接触抵抗が処理前に比べて 1/2 程度に減少することを示し、還元プロセスが、低接触力コンタクトでの接触抵抗の低減に有効であることを明らかにした。

#### (第 4 章)

低ダメージを目的として、スクラビングしない梁構造として、スプリング型および座屈変形で 1 mN から 10 mN のコンタクト力をもつものを設計、製作し、低接触力プロービングを行ってその効果を検証した。座屈プローブとしては、Fe/Ni 合金によって接触力 1～10 mN のマイクロプローブカードを製作した。製作したプローブは設計値どおりの座屈プローブとしての挙動を示した。Al および Cu 電極に対して、印加電圧 10 V でフリッピングコンタクトを行い、プローブ自身の抵抗を含めても 1～2  $\Omega$  の接触抵抗を得ることができた。また、スクラビングによっては安定したコンタクトを得ることができず、座屈プローブカードの接触抵抗の安定化のためにフリッピングが効果的であることが示された。

多層 Ni メッキプロセスを用いて MEMS プローブカードのためのマイクロスプリングアレイを設計、製作した。組立不要なバッチプロセスで 250  $\mu\text{m}$  ピッチの電極に対するコンタクトを行うことが可能である。製作したプローブはビームの 10000 回の繰り返し荷重に耐え変形せず、十分な機械的強度を持つことが確認された。マイクロスプリングと Al 電極のコンタクトでは、フリッピングを起こさない場合は接触抵抗が高かったが、フリッピングを用いることによって、接触力 2 mN～10 mN で Al 電極に対して 3  $\Omega$  以下の安定した接触抵抗を示した。

本章の結果より、1～10 mN の低接触力コンタクトでは、Al 電極に対して機械的な接触のみでは十分低い接触抵抗が得られないが、フリッピングを用いることで安定した低ダメージのコンタクトを実現することがわかった。

#### (第 5 章)

本章では、マイクロカンチレバープローブカードを開発し、超高密度デバイスと低接触力プロービングの関係を調べた。まず、デバイスの高密度化とそれに対応するマイクロマシンプローブカードの接触力の関係を梁の弾性変形の式から求め、100  $\mu\text{m}$  ピッチのエリアアレイに対応する Ni メッキのカンチレバープローブカードでは、100  $\mu\text{m}$  以下の非常に低い接触力で接触しなければならないことが明らかとなった。超低接触力マイクロマシンプローブカードとして、メッキ層間の応力差を利用して表面から反り上がった構造のカンチレバーを開発した。十分な応力差を得るためには異なる種類のメ

ツキ浴を用いることが有効であることがわかった。製作したカンチレバーと Al 電極の間のフリッティング特性を測定し、接触力  $10 \mu\text{N}$  以下で  $1.5\sim 2\Omega$  の接触抵抗を得ることができ、フリッティングコンタクトが超低接触力プローブカードの実現に有効であることを示した。また、破壊には第 4 章の低接触力プローブカードに比べると大きな電圧が必要であることがわかった。