マイクロマシンプローブカードへのフリッティングコンタクト プロセスの適用可能性*

伊藤 寿 浩** 片岡 憲一*** 須賀 唯 知**

Applicability of Fritting Contacts to Micromachined Probe Cards

Toshihiro ITOH, Kenichi KATAOKA and Tadatomo SUGA

The fritting of thin oxide on metal surface is indispensable to realize micromachined probe cards, because each microprobe cannot endure the force required to break the oxide on the surface of IC pads mechanically. In order to clarify the force required for fritting-contact make, the relationship between contact forces and the fritting has been investigated using an atomic force microscope (AFM) system and micromachined cantilever probes with a pyramidal tip. The following results are obtained on the fritting between electroplated Au tip and Al or Cu films: (1) A stable low-resistance contact to Al and Cu films can be obtained without applying contact forces larger than 30 μN , when the applied voltage is larger than 15 V. (2) Then the adhesion forces between the probe and films are less than 30 μN . (3) The fritting contact of Cu film is easily obtained with low contact force and low applied voltage compared to that of Al film. (4) Contact resistance decreases with increasing the fritting current. In addition, it is concluded that probe cards consisting of micromachined cantilevers can be applied to the test of peripheral pad configuration IC with the pad pitch of 20 μm , in consequence of simple calculations.

Key words: micromachined probe card, fritting contact, micromachined cantilever, contact force, contact resistance, atomic force microscope

1. 緒 言

半導体素子の動作試験に用いられるプローブカードには、従来タングステン針などをプリント基板上に手作業で組み付けたものが用いられてきた。しかし、DRAM、CPU、システムLSIなどの試験では、電極パッドサイズ/ピッチの微細化、多ピン化、パッド配列のエリア（アレイ）化、電極のバンパ化、および試験の高速化等により、従来のプローブカードの使用が困難になりつつある。上に挙げた問題の多くは、プローブカードをマイクロマシニング技術でパッチ製作することにより解決することができる。一部実用化されているメンブレンプローブカードは、プローブが非独立であるという問題はあるが、基本的にはこの“マイクロマシニングプローブカード”タイプに分類することができ、多層配線基板を用いることにより、相当な狭ピッチ（100 μm 前後）で自由にプローブポイントの配置を行うことが可能である。また、プローブポイント先端までをストリップライン伝送路にすることによりインピーダンス整合をとり、高速試験への対応が可能であることなどが特徴となっている。しかし、プローブに独立コンプライアンスを持たせ、かつさらなるプローブピッチの微細化を実現するためには、個々のプローブのマイクロマシニングが必要となる。現在のマイクロマシニング技術を駆使すれば、個々のプローブにアクチュエーターを搭載してアクティブ化を図ることも可能であり、それにより異なるパッド配列を持つ様々なチップへコンタクトが可能なユニバーサルプローブカード¹⁾や、コンタクトポイントが自由に切り替え可能なウェハバーンイン用のプローブカード²⁾などが実現できると考えられる。

しかしながら、個々のプローブがマイクロマシニングしたプローブカードの最大の問題点は、従来Alパッド表面の酸化膜

を機械的に破壊してコンタクトを得るのに必要だとされてきた力（100 mN以上）に、個々のプローブが構造的に耐えられない、あるいはその力を作り出すことができないということである。この問題に対し、Beileyらは、酸化膜を機械的に破る代わりに、フリッティング現象という一種の絶縁破壊現象³⁾を利用することにより、0.7 mN程度の接触圧で2 Ω 以下の接触抵抗を得ている⁴⁾。さらに、筆者らは、Auバンパや表面をAuコートしたNiバンパを用いて、Al薄膜に対するフリッティング特性を測定した結果、フリッティングを利用すれば、外部から接触圧を印加しなくても1 Ω 以下の低抵抗コンタクトが得られることを明らかにした⁵⁾。本論文では、特に、マイクロマシニングプローブとして原子間力顕微鏡（AFM）用のカンチレバーを用いるとともに、より精密な接触力の測定が可能なAFMシステムを利用することにより、ICパッド材料として代表的なAl電極薄膜とCu電極薄膜のフリッティング特性を調べ、マイクロマシニングプローブカードの実現可能性について検討することを目的とする。

2. 実験装置および方法

図1にAFMを利用した実験装置を示す。市販の光てこ検出方式のAFM（Digital Instruments社製Nanoscope III - AFM）を用い、図に示すような構成で、プローブとしての導電性のマイクロカンチレバーと電極薄膜試料との間の電圧値および電流値を測定しながら、Z（チューブ）スキャナを駆動することによってプローブ接触力を変化させた。Zスキャナの駆動は、AFMコントローラで行ったが、上記の電圧・電流値とともに、Zスキャナ印加電圧（Zスキャナ変位量）およびフォトダイオード出力を記録し、これらの値とレバーのばね定数から接触力を求めた。なお、基本的には、印加電圧と最大電流とを電源で設定して実験を行った。また、カンチレバーには、市販のAu薄膜がコートされている導電性カンチレバー（セイコーインスツルメンツ社製SI-DF3-A）に5 μm 厚のAuめっきを施したものを

* 原稿受付 平成13年1月17日

** 正会員 東京大学先端科学技術研究センター（東京都目黒区駒場4-6-1）

*** 学生会員 東京大学大学院（東京都文京区本郷7-3-1）

Fig. 1 Experimental setup for contact resistance and force measurement using a Au-coated microcantilever, AFM photodetector and piezoelectric stage.

Fig. 2 SEM micrograph of Au-electroplated Si microcantilever. The spring constant was measured as 100 ~ 120 N/m.

いた。Auめっき処理を施した理由は、フリットティング現象における接触点での材料の溶融⁹⁾などにより、もともとコートされていた薄いAu膜では、コンタクトを繰り返すうちに探針先端のAuが消耗され、安定したコンタクトが得られなかったためである。なお、Auめっき形成前のカンチレバーのばね定数は、カタログ値で1.6 N/mであるが、Auめっき形成後に、このAFMシステムを用いてばね定数を測定したところ、100 ~ 120 N/mであった。図2に測定に用いたAuめっきカンチレバーのSEM像を示す。

また、Al電極薄膜とCu電極薄膜については、Siウエハ上にIC製造時と同等の条件でスパッタリング蒸着したものを用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 フリットティングコンタクトの条件

プローブと薄膜との間にあらかじめ一定の電圧を印加しておき、Cu電極薄膜をプローブに近づけたり (forward)、遠ざけたり (backward) した場合の接触抵抗の変化を図3示す。図3(a)および(b)はそれぞれ印加電圧15 Vおよび1.0 Vの場合である。なお、最大電流は電源側で30 mAに設定した。まず図3(a)に示すように、印加電圧が15 Vのときには、プローブがCu薄膜に接触すると同時に、フリットティングが起こり、接触抵抗は2 Ω程度にまで急激に減少した。特に、図3(a)の場合には、水の凝集によるメニスカス力の影響で、プローブに引力が働いたのと同時にフリットティングが起こっている。

一方、印加電圧が1.0 Vのときには、図3(b)に示すように、プローブとCu薄膜が接触した時にはフリットティングは起こらず、接触後0.5 μm プローブを押し込んだところで初めて抵抗の急激な低下 (フリットティング) が起こっている。図3(a)の場合と異なり、フリットティング後の接触抵抗は100 Ω程度と高く、かつプローブをさらに押し込むと抵抗が大きく変動しており、コンタクトが不安定であることを示している。なお、この場合のフリットティング時のプローブ接触力は、カンチレバーのばね定数100 N/mを用いると、50 μNと見積もることができる。この結果が示しているのは、比較的低い接触圧でも、プローブの押し込みにより、機械的に薄膜電極表面の酸化膜の一部を破

Fig. 3 Cantilever deflection and contact resistance when driving a Cu film chip on the piezoelectric stage forward and backward to a Au-coated microcantilever probe. (a) 15 V and (b) 1.0 V were applied between the film and probe.

壊し、その膜厚が小さくなったような場所を生じさせることができるということである。しかしながら、この場合はフリットティングで生ずる電流路の大きさがある程度機械的プロセスで制限されるため、安定な電気特性が得られるとは限らない。

図4は、Al電極薄膜とCu電極薄膜とについて、印加電圧に対してフリットティングが起こるために必要な接触力を測定した結果 (プローブのばね定数値は100 N/mを使用) をまとめたものである。なお、図中の負の値は、図3(a)の場合のように、探針先端が薄膜表面に接触する前に、メニスカス力によりプローブが薄膜表面に引きつけられた時にフリットティングが起こったことを示している。特に、低印加電圧のデータにはかなりのばらつきが見られるが、まず、Cu薄膜の場合には、印加電圧が2 V以下でも100 μN以下の接触力を印加すれば、フリットティングが起こることがわかる。そして、印加電圧が15 V以上では、10 μN以下の印加力で確実にフリットティングが起こる。一方、Al薄膜の場合には、印加電圧が2 V以下の時には、今回の測定システムの最大の接触力300 μNを加えてもフリットティングは起きないが、印加電圧が4 V程度になれば、200 ~ 300 μNの印加力でフリットティングが起こるようになる。必要な接触力は、印加電圧の増加とともに減少していくが、印加電圧が13 V以上では、10 μN以下の接触力でフリットティングが起こる。Al薄膜とCu薄膜を比較すると、Cu薄膜の方が低接触力でフリットティングが起きている。これは、Al薄膜表面の酸化膜よりも、Cu薄膜表面の酸化膜の方が、機械的にも電気的にも強度が低いためであると考えられる。

ところで、探針接触前にメニスカス力によってプローブが引きつけられた場合には、実際の接触力は、メニスカス力からプローブの復元力を引いた値になっている。薄膜試料を遠ざける (backward) 時に測定される凝着力は、メニスカス力とフリットティングによるプローブ-薄膜間の接合力とに因るため、メニスカス力は凝着力を越えることはない。従って、メニスカス力によって引きつけられたと同時にフリットティングが起こった場合の接触力は凝着力以下である。図5に、図4に対応した凝着

Fig. 4 Relationship between the applied voltage and contact force necessary for the initiation of fritting on Al and Cu films.

Fig. 5 Relationship between the applied voltage and the force required for the disconnection of the fritting contact.

力の測定値を示す。この場合の負の力は、プローブが薄膜表面に物理的に接触した状態で、コンタクト（電氣的接触）がとれなくなったことを示している。印加電圧が 15V 以上の場合には、いずれの電極薄膜でもメニスカス力だけでコンタクトしたが、その場合の凝着力は、30 μN 以下になっているのがわかる。従って、この場合の接触力は 30 μN 以下である。

本実験は、平均湿度が 50～60% の環境下で行われたが、メニスカス力は、湿度の影響を受けるため、フリットングコンタクトプロセスの適用に当たっては、ある程度の湿度のコントロールは必要である。それを前提にすれば、今回実験に用いたようなマイクロプローブを使用した場合に必要な接触力は 30 μN 以下であると言える。

一方、図 5 の凝着力のデータは、コンタクトを解除するのに必要な力が 30 μN 以下であることも意味している。つまり、今回用いたマイクロカンチレバーの探針形状（ピラミッド状）のような接触部を有していれば、フリットングプロセスにより低抵抗コンタクトを得るために必要な力は 30 μN 以下にでき、またそのコンタクトを解除するのに必要な力も 30 μN 以下にすることができる。

また、図 6 は、図 4 に示した実験結果を、印加電圧およびフリットング時電流と接触抵抗の関係で表したものである。特に、Cu 薄膜の場合は顕著であるが、Al 薄膜でも Cu 薄膜でも大きな電圧でフリットングさせた時の方が接触抵抗が低くなっている。さらに、図 6(b) に示すように、フリットング時の電流が大きいほど、接触抵抗は減少している。フリットングのメカニズムは完全に解明されているわけではないが、大きくは 2 段階のプロセスに分かれていると考えられており、最初の段階である A フリットングでは絶縁破壊により電流路が形成され、次にジュール熱による電流路の拡大過程（B フリットング）が続くとされる。つまり、B フリットングでは、電流が増えるほど電流路が拡大し、接触抵抗が下がるため、図 6(b) のような接触抵抗のフリットング時電流依存性が見られると考えられる。

Fig. 6 Dependence of the contact resistance on (a) applied voltage and (b) the fritting current.

3.2 接触抵抗、凝着力および接触力

以前行った円柱状の Au バンプをプローブとして用いた実験では、同様の Al 薄膜電極で、フリットング後の接触抵抗が 0.3 Ω 、コンタクト解除に必要な力は 300 μN 程度であった⁹⁾。これに対し、今回の結果の代表的な結果は、接触抵抗が 2 Ω 、コンタクト解除に必要な力は 30 μN 程度である。プローブ材料とパッド材料の組み合わせが同じ場合には、接触抵抗の違いは接合面積が異なることを意味している。特にフリットングによるコンタクトの場合には、低抵抗コンタクトは一点のみと考えられるため、接触部を円形近似して接触半径で記述することができる。接触抵抗は、この接触半径が伝導電子の平均自由行程よりも大きい小さいかで異なるモデルで記述される。特に、同じ材料による接触の場合、接触抵抗 R_c は次のように表すことができる。

$$R_c = \sqrt{\left(\frac{4\rho\lambda}{3\pi r_c^2}\right)^2 + \left(\frac{\rho}{2r_c}\right)^2} \quad (1)$$

ここで、 ρ は材料の抵抗率、 λ は伝導電子の平均自由行程、 r_c は接触半径である。なお、前項の $4\rho\lambda/3\pi r_c^2$ が Sharvin 抵抗⁹⁾、後項の $\rho/2r_c$ が Maxwell 広がり抵抗³⁾である。異なる材料間での接触の場合、Maxwell 広がり抵抗については、抵抗率を平均抵抗率で置き換えれば良いが⁷⁾、Sharvin 抵抗の方は定式化されていない。但し、今回の実験で用いたプローブ材料およびパッド材料である、Au, Cu, Al は抵抗率も平均自由行程も互いにそれほど大きな差は無いため、ここでは、Au-Au 接触で考えることにする。 $R_{\text{Au}} = 2.35 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ⁸⁾ および $\lambda_{\text{Au}} = 42 \text{ nm}$ ⁷⁾ を用いると、接触半径と抵抗の関係は図 7 のように計算される。この結果によれば、抵抗値 0.3 Ω に対応する接触半径は 49 nm、2.0 Ω に対応する接触半径は 15 nm である。面積に換算すると、0.3 Ω の接触面積は 2.0 Ω のそれのおよそ 11 倍である。接合強度は面積に比例するため、今回の凝着力が 30 μN 程度であることは、以前の Au バンプを使った実験の結果と矛盾していない。

一方、フリットングプロセスで低抵抗接合を得るために必

Fig. 7 Dependence of calculated Au-Au contact resistance on contact radius.

要な接触力の最小値は、接触抵抗に対応する接触半径を得るために必要な力であると考えられる。接触点が1点のみで、完全な塑性変形で接触面が形成されるとすると、接触面積は次の式で与えられる³⁾。

$$A_c = F/\xi H \quad (2)$$

ここで、 F は印加力、 H はMeyers硬度、 ξ は補正係数で力が小さいときは1である。 $H_{Au} = 2 \text{ GPa}$ ⁹⁾を用いると、例えば15 nmの接触半径を得るために必要な接触力は1.4 μN 、49 nmの接触半径を得るためには15 μN 必要である。しかし、これらの値は、接触点が1点である場合であり、接触点が多数ある場合には、より大きな力が必要になる。さらに、接触点が多数あってもフリットングが起こるのはその内の一点であり、その点の接触面積が十分に大きいとは限らないため、表面に細かな凹凸のあるみかけの接触面積が広い接触部よりは、錐状で滑らかな接触部の方が安定かつ低抵抗のコンタクトが得られると考えられる。

ところで、プローブの接触抵抗は低ければ低いほど良く、一般には1 Ω 以下程度が一つの目安とされる⁹⁾。今回の実験で得られた接触抵抗は、プローブ当たり2 Ω 程度であるが、後でも述べるように、フリットングプロセスを利用するためには、1パッド当たり2本のプローブが必要であり、この2本をまとめて用いれば、パッド当たり1 Ω の接触抵抗でプロービングすることが可能である。

4. マイクロマシンプローブカードへの適用可能性

最初に述べたように、プローブをマイクロマシン化した場合の一番の課題は、プローブがコンタクト時に必要な力に耐えられるかどうかということである。コンタクトのプロセスを考えると、図8に示すように、接触時とコンタクト解除時に必要な力の変位 δ_c 、 δ_d 以外に、プローブ基板および被測定基板のICチップあるいはウエハの反り、プローブ基板の被測定基板に対する傾き、プローブ高さのばらつきなどによる、プローブと電極パッド間距離分布を、吸収するための変位 δ_e を考慮しなければならない。つまり、プローブの最大変位を $\delta_{\max}$ とすると、 $k(\delta_{\max} - \delta_e)$ (k : プローブのばね定数) が、接触時には最もプローブから離れたパッドに印加される力の最大値を、コンタクト解除時には最もプローブに近いパッドが受ける力の最大値を表すことになる。ここでは、アクチュエータが搭載されていない単一材料のカンチレバー型プローブで構成されるマイクロマシンプローブカードの実現可能性を、 $k(\delta_{\max} - \delta_e)$ を考えることにより検討する。

カンチレバーの最大変位は、その材料のひずみ限界によって決まる。今、集中荷重がレバー先端に印加されたとすると、簡単な材料力学の式により、長方形断面のカンチレバーの最大変位 $\delta_{\max}$ は、材料のひずみ限界を ϵ_{limit} 、レバー厚を t 、長さを l として

$$\delta_{\max} = (2/3)\epsilon_{\text{limit}} l^2/t \quad (3)$$

Fig. 8 Probe deflections required for (a) contact-make and (b) disconnection.

と表すことができる。従って、 $k(\delta_{\max} - \delta_e)$ (f_p とする) は、先端集中荷重時のカンチレバーのばね定数が、 $Yw^3/4l^3$ (Y : ヤング率、 w : レバー幅) とできるため、

$$f_p = Yw \left(\frac{1}{6} \epsilon_{\text{limit}} \frac{l^2}{l} - \frac{1}{4} \delta_c \frac{l^3}{l^3} \right) \quad (4)$$

と書ける。レバー厚、レバー長の最大値をそれぞれ $t_{\max}$ 、 $l_{\max}$ とすると、 $t_{\max} \geq (4/9)\epsilon_{\text{limit}} l_{\max}^2/\delta_c$ であれば、 f_p は、 $t = (4/9)\epsilon_{\text{limit}} l_{\max}^2/\delta_c$ 、 $l = l_{\max}$ で最大となり、

$$f_p = \frac{8}{729} \frac{Yw l_{\max}^3 \epsilon_{\text{limit}}^3}{\delta_c^2} \quad (5)$$

となる。一方、 $t_{\max} \leq (2/9)\epsilon_{\text{limit}} l_{\max}^2/\delta_c$ であれば、 f_p は $t = t_{\max}$ 、 $l = [(9/2)t_{\max} \delta_c / \epsilon_{\text{limit}}]^{1/2}$ で最大となり、

$$f_p = \frac{\sqrt{2}}{27} Yw \sqrt{\frac{t_{\max}^3 \epsilon_{\text{limit}}^3}{\delta_c}} \quad (6)$$

となる。また、 $(2/9)\epsilon_{\text{limit}} l_{\max}^2/\delta_c \leq t_{\max} \leq (4/9)\epsilon_{\text{limit}} l_{\max}^2/\delta_c$ の場合には、 f_p は $t = t_{\max}$ 、 $l = l_{\max}$ で最大となる。

表面マイクロマシンによるカンチレバー型のマイクロ構造の場合、代表的な材料は、やはり多結晶シリコンであるが、金属材料としては、良好な弾性特性を示し、厚い構造が可能な材料として、めっきによるニッケルが挙げられる。そこで、本論文では、この代表的な2つの材料について比較する。まず δ_e の値について、見積もることとする。これは次の3つ要素、1) パッド高さのばらつき、2) プローブ高さのばらつき、3) 被試験ウエハ (チップ) とプローバー基板の平行度、の和であると考えられる。まず、パッド高さのばらつきは、ウエハを真空吸着や静電吸着で保持すれば、反りはほぼ吸収されるため、300 mm ウエハでも1 μm 程度にできる^{10,11)}。また、プローバー基板にもSiウエハを用いれば、反りについては同様に保持機構により吸収されるため、プローブ高さのばらつきはプロセスによるローカルなばらつきのみと考えてよい。レバー構造が多結晶シリコンで構成された場合でもニッケルで構成された場合でも、コンタクト部分は5 μm 厚程度のAuめっき構造を仮定する。多結晶シリコンその他配線層形成プロセスによる凹凸は1 μm 、めっきプロセスでの高さばらつきをめっき厚の20%とすると、多結晶シリコンレバーの場合のプローブ高さばらつきは2 μm 、ニッケルの場合には、最低で $(\delta_e + t + 5 \mu\text{m}) \times 0.2 + 1 \mu\text{m}$ となる。また、3) の平行度は、200 mm ウエハで5 μm 以内は可能であり、チップ内では、2 μm 以下にできる

Table 1 Mechanical properties of poly-Si and electroplated Ni¹²⁾.

	Young's modulus (GPa)	Yield strength (GPa)
polysilicon	172	1.76
nickel	231	1.55

Fig. 9 Width dependence of (a) minimum length ($l_{\min}$) required for $f_p = 50 \mu\text{N}$ and (b) thickness derived from $(4/9)\epsilon_{\lim} l_{\max}^2 / \delta_c^2$.

と考えられる。つまり、多結晶シリコンレバーの場合は、チップスケールで $\delta_c = 5 \mu\text{m}$ 、ウエハスケールで $\delta_c = 8 \mu\text{m}$ と見積もることができる。ニッケルの場合は、めっきプロセスを用いるため、 $(\delta_c + t) \times 0.2$ だけ増えることになるが、ここでは簡単のため、チップスケールの場合は $\delta_c = 7 \mu\text{m}$ を、ウエハスケールの場合には $\delta_c = 11 \mu\text{m}$ を設定する。

実験により、今回使用したマイクロプローブを用いればコンタクトに必要とされる力は $30 \mu\text{N}$ 以下にできることが判明したが、ここでは余裕をみて $f_p = 50 \mu\text{N}$ を実現するためのプローブ寸法について考える。なお、フリッティングコンタクトプロセスをプロービングに適用する場合には、一つのパッドに対して2本のプローブが必要となることを考慮する必要がある^{2,4)}。

図9(a)に $f_p = 50 \mu\text{N}$ となるための最小の $l_{\min}$ のレバー幅依存性を示す。また、図9(b)には、 $t = (4/9)\epsilon_{\lim} l_{\max}^2 / \delta_c^2$ を用いて計算されるレバー厚を示す。計算には、式(5)とGreekらの実験値(表1参照)¹²⁾を用いた。現在通常用いられているようなマイクロマシニング技術では、 $5 \mu\text{m}$ 程度の構造体を作成するのは難しいため、レバー幅の最小値を仮に $5 \mu\text{m}$ とする。この時、図9(b)からわかるように、いずれの材料・条件でも、レバー厚は製作可能範囲であると言える。レバー長については、ウエハレベルテスト対応のニッケルプローブの場合が最大で $115 \mu\text{m}$ 程度となっているが、製作上構造上問題となるような長さでは無い。現在多くのICで採用されている、パッドがチップ周辺に配置されている(ペリフェラル配置)チップを考えると、パッドピッチはレバー長を制限しないため、この $5 \mu\text{m}$ のレバープローブを採用した場合には、プローブを $10 \mu\text{m}$ ピッチで並べられ、パッドピッチ $20 \mu\text{m}$ に対応したウエハレベルのプローブカードの実現が可能となる。一方、将来はI/Oの増加によりパッドが格子状に並べられたエリア配置チップが増えてくるが、このエリア配置では、幅と同時に長さもパッドピッチに制限されるため、概ねレバー長が幅の2倍になるような場合が、テスト可能なパッドピッチを与える。このように考えると、多結晶シリコンレバーを採用し、チップスケールとした場合で、テスト可能な最小パッドピッチは $40 \mu\text{m}$ 程度であり、ニッケルレバーを採用し、ウエハスケールテストに対応した場合で、 $80 \mu\text{m}$ 程度である。多結晶シリコンは、表1にあるように、ひずみ限界が大きいので、エリア配置における狭ピッチ化への対応、すなわちプローブの微細化には若干有利であるが、製作プロセスの面からは、低温のめっきプロセスのみで厚い構造体を作ることができるニッケルの方がむしろ有利である。ニッケルプローブでも、ペリフェラル配置で $20 \mu\text{m}$ ピッ

チ、エリア配置で $80 \mu\text{m}$ ピッチのウエハスケールテストに適用できる可能性があることを考えると、次世代チップには十分に対応可能であるため、ニッケルによるマイクロマシンプローブがより実用に近いと言える。

5. 結 言

本論文では、原子間力顕微鏡システムを利用して、AuめっきマイクロカンチレバープローブとAl電極薄膜およびCu電極薄膜との間のフリッティングコンタクトプロセス特性の測定を行い、以下のような結果を得た。

- (1) 印加電圧を 15 V 以上とすれば、 $30 \mu\text{N}$ 以下の接触力でいずれの電極薄膜に対しても数 Ω 以下の安定な低抵抗コンタクトが得られる。
- (2) 錐状のAuめっき接触部を用いると、上記の条件下でのフリッティングによるプローブ凝着力も $30 \mu\text{N}$ 以下となり、めっきバンプのような接触部が平坦なものに比べ凝着力を低減できる。また、この凝着力は、金属間の直接接面積に比例していると考えられる。
- (3) フリッティング後の接触抵抗は、フリッティング時電流が大きいほど小さくなる。
- (4) Al薄膜に比べ、Cu薄膜の方が低接触圧・低電圧でフリッティングが起こる。

また、マイクロカンチレバー構造の最大変位を考えることにより、パッドピッチ $20 \mu\text{m}$ のペリフェラル配置のICテストに対応するマイクロマシンプローブカードが、フリッティングコンタクトプロセスの利用で実現可能であることを示した。

謝 辞

本研究の一部は、平成12年度科学研究費補助金(基盤研究(c)、課題番号12650049)を受けて行われた。

参 考 文 献

- 1) Ya. Zhang, Yo. Zhang, D. Worsham, D. Morrow and R. B. Marcus: A NEW MEMS WAFER PROBE CARD, Proceedings of 10th International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE, Nagoya, 1997) 395.
- 2) T. Itoh, T. Suga, G. Engelmann, J. Wolf, O. Ehrmann and H. Reichl: APPLICABILITY OF MEMS PROBE CARD TO WAFER-LEVEL TEST, Proceedings of the Pacific Rim/ASME International Intersociety Electronic & Photonic Packaging Conference (ASME, Hawaii, 1999) 123.
- 3) R. Holm: Electric Contacts - Theory and Application, 4th ed., Springer-Verlag, Berlin, 1967, 135.
- 4) M. Bailey, J. Leung and S. S. Wong: A micromachined Array Probe Card - Characterization, IEEE Trans. Components, Packaging, and Manufacturing Technology (CPMT) - Part B, 18, (1995) 184.
- 5) T. Itoh, T. Suga, G. Engelmann, J. Wolf, O. Ehrmann and H. Reichl: Characteristics of fritting contacts utilized for micromachined wafer probe cards, Rev. Sci. Instrum., 71, 5, (2000) 2224.
- 6) A. G. M. Jansen, A. P. van Gelder and P. Wyder: Point-contact spectroscopy in metals, J. Phys. C: Solid St. Phys. 13, (1980) 6073.
- 7) J. P. Beale and R. F. W. Pease: Apparatus for studying ultrasmall contacts, Proc. 38th IEEE Holm Conf., (1992) 45.
- 8) 久保亮五, 長倉三郎, 井口洋夫, 江沢 洋 編: 理化学辞典, 第4版, 岩波書店, (1987) 323.
- 9) J. P. Beale and R. F. Pease: Limits of High-Density, Low-Force Pressure Contacts, IEEE Trans. Components, Packaging, and Manufacturing Technology (CPMT) - Part A, 17, (1994) 257.
- 10) D. B. Tuckermann, B. Jarvis, C.-M. Lin, P. Patel and M. Hunt: A COST-EFFECTIVE WAFER-LEVEL BURN-IN TECHNOLOGY, Proc. 1994 Intl. Conf. Multichip Modules, (SPIE, Denver, 1994) 34.
- 11) 中田義明, 沖 伸一, 中山知之, 樋渡健次郎: ウエハバーンイン技術の現状と課題, エレクトロニクス実装学会誌, 1, 5, (1998) 429.
- 12) S. Greek, F. Ericson, S. Johansson, J. -J. Schweitz: In situ tensile strength measurement and Weibull analysis of thick film and thin film micromachined polysilicon structures, Thin Solid Films, 292, (1997) 247.