平成 20～平成 22 年度　戦略的基盤技術高度化支援事業

「めっき技術を応用したプローブ針の高機能化に関する研究開発」

研究開発成果等報告書

平成 23 年 3 月

委託者　　中国経済産業局

委託先　　財団法人やまぐち産業振興財団

目　　次

第１章　研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標　・・・・・・・・・・・・・　1

１－２　研究体制　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　2

１－３　成果概要　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　5

１－４　当該事業の連絡窓口　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　6

第２章　　プローブ先端の電流密度の均一化

２－１　プローブへの Si02 絶縁皮膜の形成　・・・・・・・・・・・・・　7

２－２　電流制御板によるめっき電流制御　・・・・・・・・・・・・・　10

第３章　　微小領域への粒状めっきの生成

３－１　粒状めっきの生成過程の解析　・・・・・・・・・・・・・・・　13

３－２　極微小領域への最適めっき条件の検討　・・・・・・・・・・・　16

３－３　粒状めっきプローブの特徴　・・・・・・・・・・・・・・・・　19

３－４　アルミの付着状況と接触抵抗値の推移　・・・・・・・・・・・　22

第４章　　粒状めっきプローブカードの総合評価

４－１　粒状めっきプローブカードの試作と総合評価　・・・・・・・・　25

４－２　総合評価試験でのアルミの付着状況　・・・・・・・・・・・・　28

最終章　全体総括と今後の課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・　32

第１章　研究開発概要

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標

(1)川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）

該当する特定ものづくり基盤技術高度化指針；

（一）めっき技術　(3)情報家電に関する事項

ア．半導体本体及び半導体基板の高機能化

イ．ダウンサイジングに資するめっき技術の向上及び開発

半導体製造の検査工程ではコンタクト試験と呼ばれる検査を行っている。この検査工程では、プローブカード上に配置されたプローブ針をウェハー上に作られた IC 回路のボンディングパッドに接触させ、IC 回路の電気的な評価を行っている。酸化雰囲気中の測定であるため、ボンディングパッドの表面の酸化皮膜が測定値に影響を与えることから、プローブ針はボンディングパッド表面に生成したアルミの酸化膜を削り取った後に再度ボンディングパッドに接触し、電気的な接触を安定させ、その状態で電気信号を IC 回路に送り込むという重要な役割をしている。この検査はウェハー上の全ての IC 回路について行われている。

しかし、この検査方法では細いプローブ針の先端部に削り取られたアルミ屑が付着し、そのアルミ屑の付着が電気的に不安定な状態となる現象が発生する。これにより良品を不良品と判断してしまう誤判定が発生している。現在は、1 つのウェハー内での不良品判定の割合が高くなった場合、プローブ針先を研磨して付着したアルミ屑を取り除き、電気的接触を安定化させてから不良品と判断された回路の再検査を行っている。現状では多くのウェハーで再検査が行われており、稼働率や歩留まりの低下をもたらしている。また、プローブ針を研磨することで針先が消耗することで、プローブカードの再購入費が増えてしまうという問題もおこっている。そのため、検査時のプローブ針へのアルミ屑の付着を低減させ、電気的な接触を安定させることで、検査工程での良品に対する誤判断を減らし、再検査率を低減させることが急務となっている。

こうした状況の中で、申請者らはめっき技術を用いて直径数十ミクロンのプローブ針の先端に耐酸化性に優れためっき皮膜と特殊形状（φ0.5～4μm の粒形状）を付加することでアルミ屑の付着を低減させ、接触抵抗値を安定させることができることを確かめた。

しかしながら、今後、量産化ラインへの本技術を使用したプローブ針の投入を検討する上では、この特殊めっき皮膜の均一性や耐久性の向上、多ピン化によるボンディングパッドの小型化・狭ピッチへの対応といった問題を解決していく必要がある。

(2)上記を踏まえた高度化目標

該当する高度化目標；イ．電気伝導性、低接触抵抗、耐食性、はんだ付け性、耐摩耗性の付与及び抵抗特性の付与及び向上（主に素子・センサ部材を対象とする）

上記ニーズを踏まえ、申請者らが開発したアルミ屑の付着を低減させることで接触抵抗値を安定させることができる特殊めっき技術について、以下の 3 の高度化目標を設定し研究開発を進めていくこととする。

①複雑な位置へ配置された針先に、均一な粒形状のめっきを析出させる技術の開発

②CVD の不導体化皮膜を利用して、プローブ針の先端部だけに、粒形状のめっきを析出さ

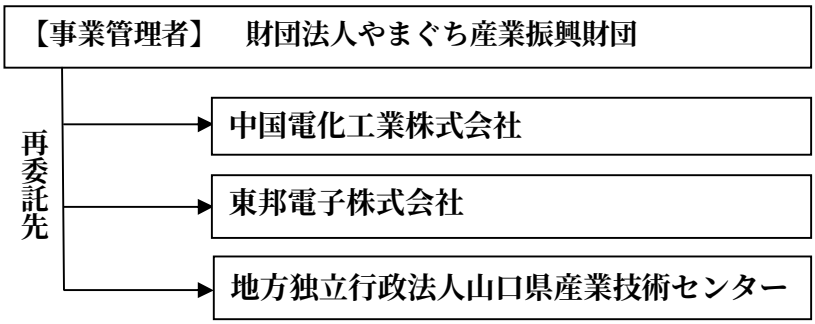
せる技術の開発（多ピン化によるボンディングパッドの小型化・狭ピッチ化への対応）

③プローブ針単独の状態で、針先へ粒形状のめっきを析出させたプローブ針を使用して、新たなプローブカードを製作する技術の開発

以上のめっき技術の高度化を行うことで、検査時のプローブ針へのアルミ屑の付着を減らし、接触抵抗値を安定させることで、検査工程での良品に対する誤判断を減らし、再検査率を低減させることができる。　また、粒形状に加工された針のみを市場へ供給することで、他のプローブカードメーカーも、高機能なプローブカードを製作できるようになり、市場規模の広がりと開発された技術が迅速に水平展開することが可能になる。

１－２　研究体制

①　研究組織



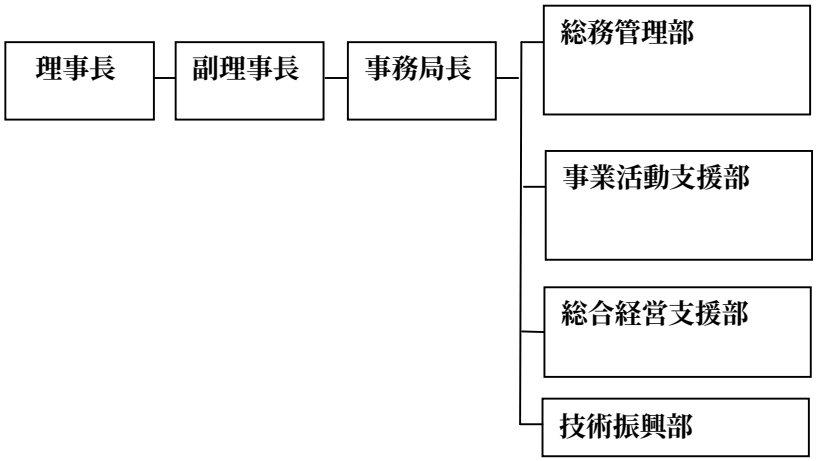
総括研究代表者（ＰＬ） 中国電化工業株式会社　第三製造部 リーダー　国信栄作	副総括研究代表者（ＳＬ） 地方独立行政法人山口県産業技術センター 企業支援部技術相談室ｻﾌﾞﾘｰﾀﾞｰ　前田秀治

※【総合評価試験の協力】　ルネサスセミコンダクタ九州・山口㈱　山口工場

②　管理体制

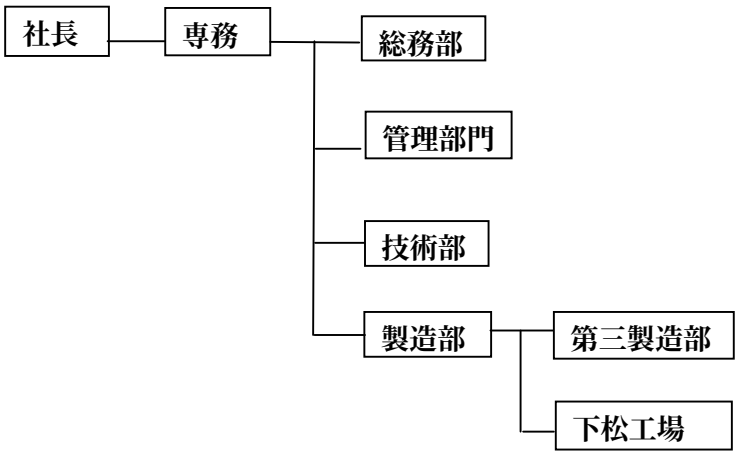
【事業管理者】

［財団法人やまぐち産業振興財団］

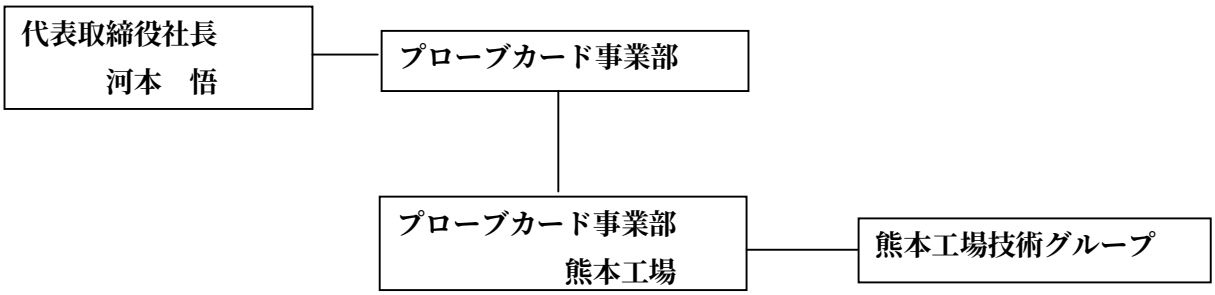


【再委託先】

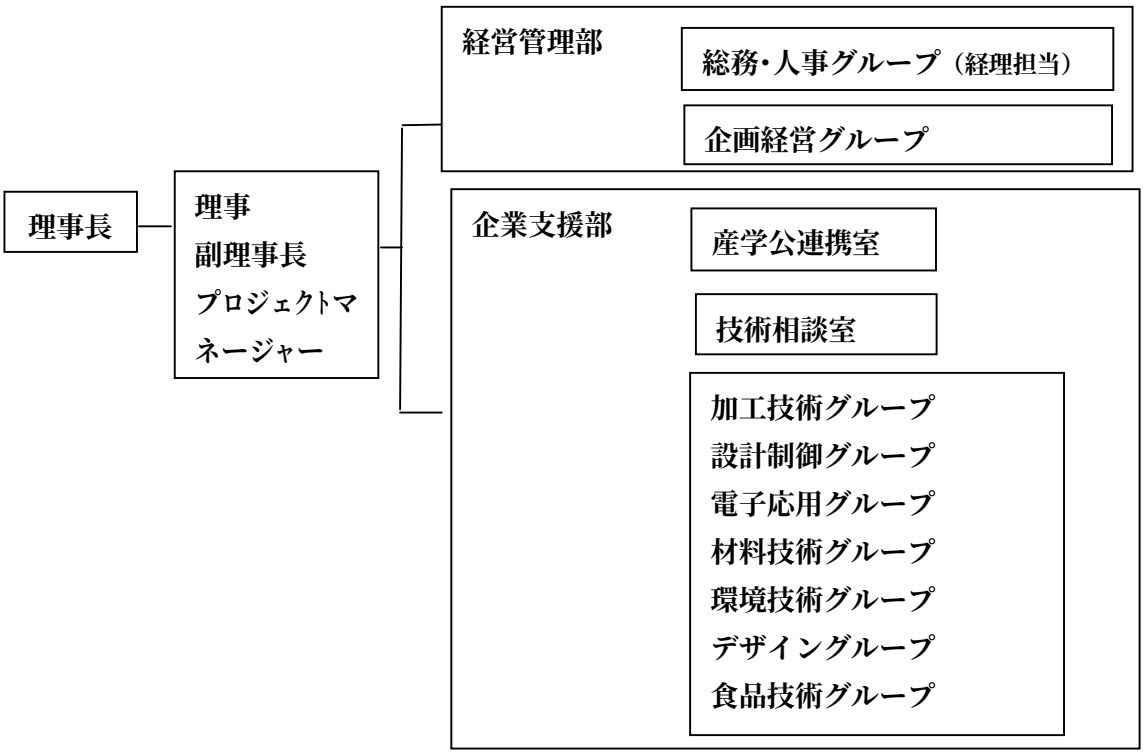
[中国電化工業株式会社]



[東邦電子株式会社]



[地方独立行政法人山口県産業技術センター]



③ 研究者及び協力者

【研究者】

氏　名	所属・役職	
中国電化工業株式会社	第三製造部リーダー	国信 栄作
東邦電子株式会社	プローブカード事業部部長	井上 幸喜
	熊本工場工場長	板坂 禎二
	プローブカード事業部	笹嶋 剛志
	プローブカード事業部	坂本 栄進
地方独立行政法人 山口県産業技術センター	経営管理部副部長	石田 浩一
	企業支援部技術相談室室長	有村 一雄
	企業支援部技術相談室ｻﾌﾞﾘｰﾀﾞｰ	前田 秀治
	企業支援部加工技術グループ 専門研究員	永田 正道

【アドバイザー】

氏　名	所属・役職	備　考
ルネサスセミコンダクタ九州・ 山口株式会社　山口工場	拡散製品技術チーム チームマネージャー	藤野 繁生
	拡散製品技術チーム	原田 涼子
サムコ株式会社	開発部長	本山 慎一
国立大学法人東京農工大学	大学院教授	安藤 泰久

１－３　成果概要

（１）プローブ先端の電流密度の均一化

①プローブへの Si02 絶縁皮膜の形成

密度の異なる 3 層構造の膜とすることで絶縁性の高い SiO2 皮膜を成膜することができた。1 層目は密な皮膜を形成し、2 層目の SiO2 皮膜は Teos の割合を O2 より高い比率を設定することで、疎な皮膜とした。3 層目は再び密な条件で、膜厚は 1 層目よりも厚くすることでピンホールの発生を防ぐことができた。また、3 層構造の SiO2 絶縁皮膜の耐久試験では、100 万回のコンタクトでも SiO_2 被膜への損傷は見られなかったことから、検査工程での使用に十分耐えられると思われる。

②電流制御板によるめっき電流制御

プローブの先端位置に合わせた形状の穴を有する電流制御板をフォトリソグラフィー技術により作成した。めっき電極とプローブの間に電流制御板を入れることで、プローブ先端部に生じていためっき膜厚のバラツキを少なくすることができた。変動係数で比較すると、従来のアクリル治具は 17.17、フォトリソ治具は、9.29 まで小さくなった。

（２）微小領域への粒状めっきの生成

①粒状めっきの生成過程の解析

粒状めっきの生成過程では、パルス Ni めっきを行っていく中でプローブ表面に非常に小さな球状の「核」が発生した後、粒の成長過程では針状組織となって放射線状にめっきが成長していく。核となる組織だけで形成される粒状めっき条件だけで粒を成長させると、下地となる直流 Ni めっきとの間に空隙が発生しやすい。

定電圧パルスめっき条件で粒状めっきを行っていく場合、核となる非常に細かい球状のめっき組織と核から放射状に成長する針状めっきへの変化は、電流値の変化に現れる。

②極微小領域への最適めっき条件の検討

プローブ全体へ SiO2 皮膜を成膜して先端部のみに粒状めっき皮膜を析出させることができた。先端部への粒状めっき皮膜の析出には、定電圧に設定したパルス電流を流すことで、粒形状の成長と共に電流が増加することで粒状めっき皮膜が析出する。パルス波形の ON 時間は長いと先端部に焼けが発生し、短いと皮膜が成長しない。OFF 時間が長い場合、めっき皮膜の成長が止まり、先端部全体へめっき皮膜が広がらない。また OFF 時間が短い場合、粒状めっき皮膜が析出しないことがわかった。

③粒状めっきプローブの特徴

どのような粒形状がプローブの長寿命化に有効であるかを検討するため、粒状めっきの形状管理指標の提案とコンタクト試験器の試作、コンタクト試験時の基本的なアルミ屑とコンタクト痕の状態を観察した。結果は以下のとおり。

（１）粒状めっきの凹凸を制御する上で、簡単に測定する手法としてレーザー顕微鏡によ

る表面測定が有効である。凹凸の指標としてプローブ先端から所定の高さ（今回の設定は 1μm）での仮想接触面積と、その時の仮想接触面積／投影面積の値を指標とできることがわかった。

（２）NC 加工機を流用したコンタクト試験機を作成することができ、その動きは IC 製造現場のチェッカーと同様の動きとコンタクト状況を示した。

（３）標準プローブと粒状めっきを施したプローブでは明らかにコンタクト状況に差があることが明らかとなった。Re-W プローブではコンタクト状況が滑り的な因子の影響が大きく、粒状めっきを施したプローブではスパッタされたアルミの十分な塑性変形状態での接触が行われている可能性があることがわかった。

④アルミの付着状況と接触抵抗の推移

粒状めっきを付加したプローブ針は、接触抵抗の不安定要因となる金属光沢を持った塊状のアルミ屑の凝着が起こり難いことがわかった。また、その効果も粒形状の凹凸差が大きく、基板材料と多点接触となるように粒状めっきの高さが揃っていることが望ましい。

（３）粒状めっきプローブカードの試作と総合評価

①粒状めっきプローブカードの試作と総合評価

粒状めっきプローブカードを試作し IC 製造メーカーで総合評価を行った結果、既存のプローブカードと比較して、約 3 倍の不良検出量を示す結果となった。この原因はプローブ先端に形成させた粒状めっき最外周の酸化防止めっき層の割れや欠落であった。多くの粒状めっきプローブにはアルミ屑の付着が少なく、粒状めっきの効果は確認できた。

②総合評価でのアルミの付着状況

総合評価試験で評価された粒状めっきプローブカードと従来品のカードについて、プローブ先端に付着したアルミ屑の詳細な観察と解析を行った結果、接触抵抗を阻害している要因となっているアルミ屑は、結晶質と非晶質の両方の性質を持つアルミの圧粉体の様なものであった。また、粒状めっきを施したプローブに付着するアルミ屑は、通常のめっきを施していないプローブと比較して非晶質アルミが少なく、プローブ最外周の酸化防止めっき層との界面で密着していない領域が発生しやすいことが確認できた。

以上のことから、粒状めっきプローブに付着するアルミ屑は、圧粉体のように脆い状態で付着しているため、再びその状態でコンタクトしても強固に凝着するまでには至らず、コンタクト試験中に生成・脱落を繰り返しているためにアルミ屑の付着が少ないものと推察される。

１－４ 当該研究開発の連絡窓口

事業管理者　財団法人やまぐち産業振興財団
TEL（０８３）９２２－９９２６　　FAX（０８３）９２１－２０１３

第２章 プローブ先端の電流密度の均一化
２－１プローブへの Si02 絶縁皮膜の形成

①CVD 法によるプローブに適合した Si02 絶縁皮膜の成膜条件の確立

１ 目 的

導電性のあるプローブにめっきを行なう場合、目的とする針先端だけでなく、プローブの全表面にも通電されるため、プローブ先端の面積と比較してプローブ胴部の面積の割合が大きく、プローブ先端に安定してめっきを行なうことができないという問題がある。そこで、プローブの表面を CVD 法により SiO2 絶縁皮膜で被うことにより、プローブ先端に電流を集中させることで安定して粒状めっきを生成できると考えられる。本実験では、CVD 法による絶縁皮膜の成膜条件を検討する。

２ 実験内容と成果

Si02 膜の電気絶縁性

プローブ表面へ CVD 装置を用いて、SiO2 電気絶縁性膜を成膜した。SiO2 皮膜の電気絶縁性を調べるためにプローブに電気を流して、金、ニッケルめっき処理を行った。SiO2 皮膜にピンホールの欠陥が存在する場合、プローブ表面に金、ニッケルめっき皮膜が析出することで、Si02 皮膜欠陥の有無と欠陥場所を特定できる。 図 1 に電気絶縁性試験方法を示す。

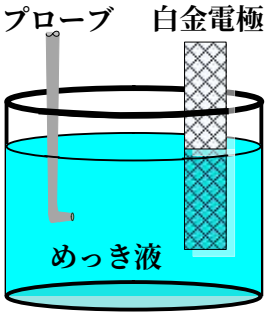


図 1 Si02 電気絶縁性試験

成膜条件が不適切な場合、図 2 に示すように、根元近くで SiO2 皮膜がプローブ表面より剥離した。この SiO2 絶縁皮膜の剥離発生を抑えるために、成膜時にチャンバー内の圧力を高くすることで、SiO2 皮膜の成膜速度を上げ、皮膜応力が小さく疎な皮膜を作った。皮膜応力が小さくなる成膜条件で処理することで、プローブ表面に剥離が起こりにくくなった。

絶縁性試験用のめっき条件は、粒状めっきが析出するパルス条件と同じ条件でニッケルめっき処理をおこなった。また、めっき皮膜の析出を分り易くするために、プローブやニッケルめっき皮膜の銀色と異なる色調の金めっき処理を行い SiO2 皮膜の電気絶縁性を調べた。

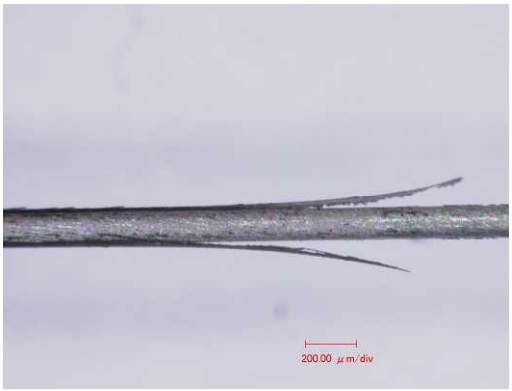
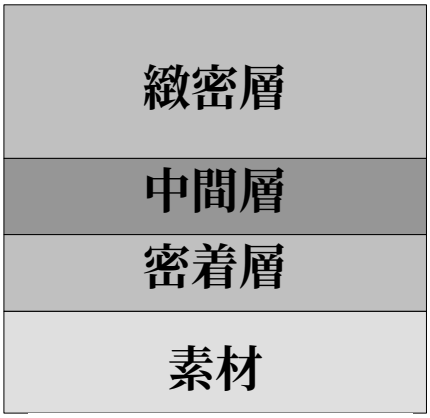


図 2 Si02 皮膜剥離拡大

図 3 プローブのテーパー部を拡大

SiO2 絶縁皮膜の電気絶縁性試験の結果を図 3 に示す。プローブのテーパー部にニッケルめっきが数カ所、粒状に析出した。これは、SiO2 絶縁皮膜のピンホール欠陥を通して、プローブに電気が流れてめっき皮膜が析出したものと考えられる。

ここで、新たな成膜条件として、密度の異なる 3 層構造の膜とすることで絶縁性の高い SiO2 皮膜を成膜した。1 層目は密な皮膜を形成し、2 層目の SiO2 皮膜は Teos の割合を O2 より高い比率を設定することで、疎な皮膜とした。3 層目は再び密な条件で、膜厚は 1 層目よりも厚くすることでピンホールの発生を防ぐことができた。絶縁性の確認のため、めっきによる絶縁性試験を行った結果を図 4 に示す。研磨により SiO2 絶縁性膜を除去した先端部以外の場所には、めっき皮膜の析出は見られず、絶縁性は良好であった。



SiO2 皮膜（3 層構造）

図 4　先端部拡大

②プローブに成膜した Si02 絶縁皮膜の耐久性の検討

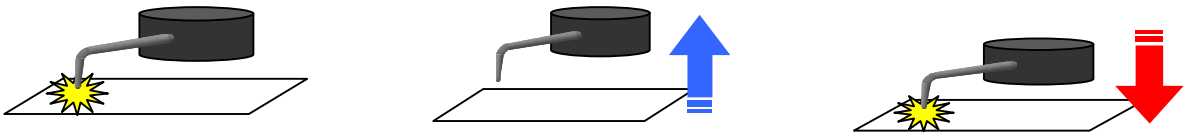
1 目　的

SiO_2 絶縁性皮膜の耐久性を評価するために、単一プローブでの耐久性試験装置を作製し、100 万回を目標に SiO_2 絶縁皮膜の割れや剥離の観察をしながら検討を行う。

2　耐久試験条件

2－1　基本条件

耐久試験では、コンタクト回数が“1,000 回”,“1 万回”,“10 万回”,“100 万回”ごとに、試験機を一旦停止し、金めっき付着試験による、SiO_2 被膜の損傷状態の確認を行った。



(1) 接触感知
(Zゼロ位置合わせ)

(2) ＋50μm上昇

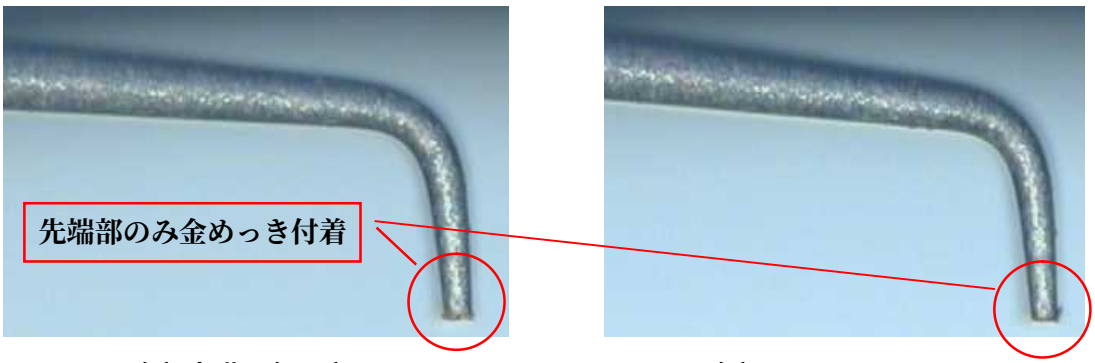
(3) －50μm下降 (2秒間保持)

図 5　耐久試験での試料初期設置状態のイメージ図

図 6　耐久試験装置全体

２－２　試験結果と考察

各試験回数で、金めっき付着試験を行ったプローブ針の外観観察結果を図 7 に示す。100 万回経過後も、電気導通のため SiO_2 被膜を除去してあるプローブ先端部以外には、目立った金めっきの付着物は無く、SiO_2 被膜に損傷が発生していないことが確認できた。これより、今回作成した SiO_2 被膜は、コンタクト時のプローブ針の変形状態に対して十分な強度を示しており、プローブカードに問題なく使用可能な性能を有していると考えられる。



（a）初期（0 回）　　（e）1,000,000 回

図 7　耐久試験結果

4　まとめ

（1）プローブへ絶縁性の高い SiO2 皮膜を成膜するために、密度の異なる 3 層構造の膜とすることで絶縁性の高い SiO2 皮膜を成膜した。1 層目は密な皮膜を形成し、2 層目の SiO2 皮膜は Teos の割合を O2 より高い比率を設定することで、疎な皮膜とした。3 層目は再び密な条件で、膜厚は 1 層目よりも厚くすることでピンホールの発生を防ぐことができた。

（2）3 層構造の SiO2 絶縁皮膜の耐久試験では、100 万回のコンタクトでも、SiO_2 被膜への損傷は見られなかった。検査工程での使用に十分耐えられると思われる。

２－２　電流制御板によるめっき電流制御

①フォトリソグラフィーによる電流制御板の作成

１ 目的

プローブカードに装着されるプローブの先端部分に最適な粒状めっき皮膜を施すために、電流制御板を介して先端部に流れるめっき電流を制御する。電流制御板はプローブ先端部と同じ位置に穴を開けて作成するために、寸法精度の高いフォトリソグラフィー技術を用いて作成する。

２ 実験方法

基板には両面に 8μm の銅張りを施した厚さ 50μm のポリイミドフィルム（東洋メタライジング製メタロイヤル）を用いた。両面銅張りポリイミド板にドライフィルム（レジスト）を貼り付け、パターンニング後、エッチング液（サンハヤト製 H-1000A）でエッチング加工した。ドライフィルム（レジスト）の現像条件は、日立化成工業(株)製 18 段ステップタブレットを用いて、ST 段数＝5 における適正露光量から決定した。ポリイミドフィルムのエッチング液は、東レエンジニアリング製 TPE3000 を用いた。

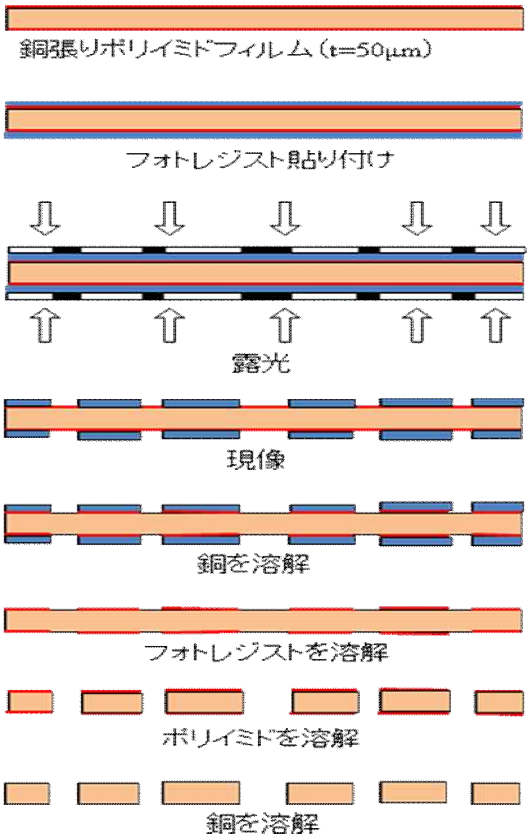


図 8　電流制御板の作製工程

３　実験結果及び考察

エッチングにより得られた穴径は 100μm で穴と穴の近接限界距離は 50μm 程度（穴中心間の距離は 100μm）まで可能であった。距離がこれ以上小さくなると、穴と穴が結合されて 1 つの穴になる傾向があった。電流制御板の穴径は、フォトマスクの穴径（100μm）より 10%程度大きく広がった。

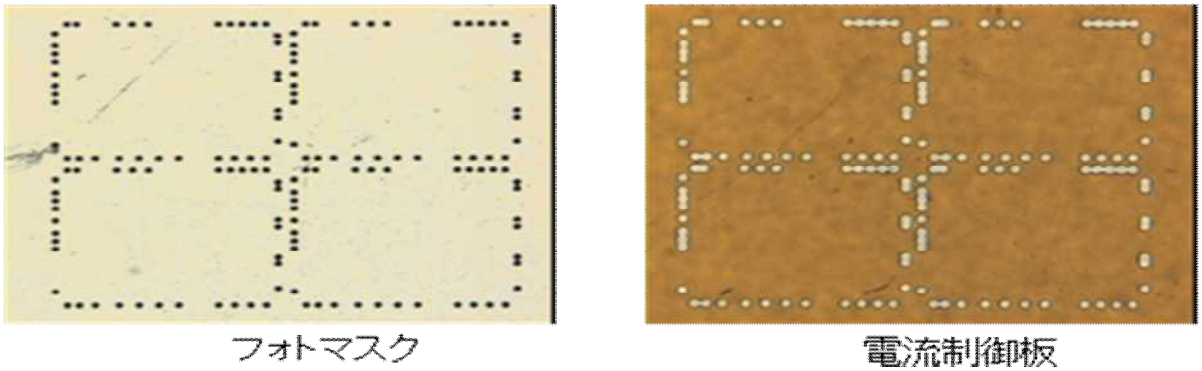


図 9　電流制御板の試作例

②穴径や穴形状の検討による電流密度の制御

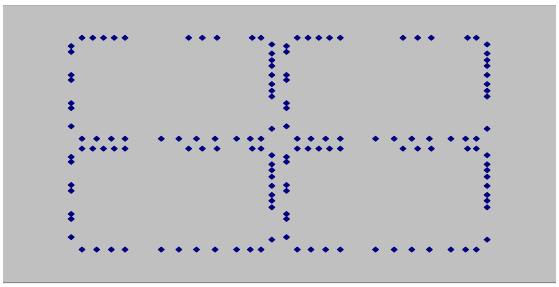
1 目　的

複雑に配置されたプローブ先端に均一なめっき電流が流れるように、電流制御板の穴やスリットの大きさ、形状の違いによる電流密度分布についてシミュレーション解析を行い、均一な粒形状のめっきが得られるめっき条件を確立する。

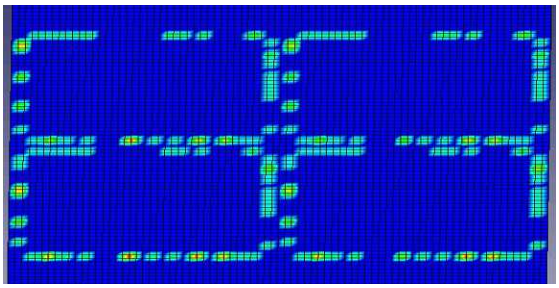
2 実験方法

電流制御板の作製

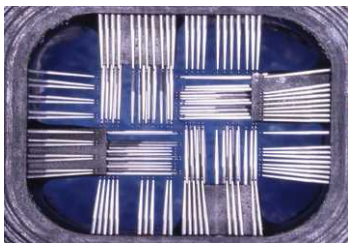
実験に用いるために、複雑に並べたプローブを持ったプローブカードを作製した。148 本のプローブを用いて、プローブの先端部位置とテーパー部の位置を接近させた配置で作製した。プローブカードのプローブ先端部へ均一なめっき膜厚が析出するように、電流密度分布のシミュレーション解析を行い、その結果を基に電流制御板の穴径や穴形状を変更して作製した。電流制御板の試作例を図 10 に示す。



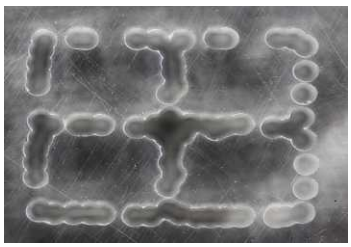
プローブ先端の配置



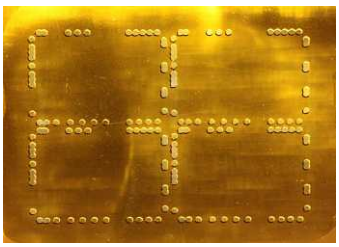
プローブ先端の電流密度分布
（シミュレーション解析）



複雑な並び



従来の治具



フォトリソ治具

図 10　電流シミュレーションと電流制御板の試作例

めっき液と電解条件

実験に用いたニッケルめっき液は、スルファミン酸ニッケルを主体としためっき液を用いてめっき処理を行った。

実験に用いたスルファミン酸ニッケルめっき液の組成

・スルファミン酸ニッケル・4 水和物　300ｇ／Ｌ　塩化ニッケル・6 水和物　50ｇ／Ｌ　ホウ酸　30ｇ／Ｌ　ＰＨ＝3.0　液温度　55℃　スルファミン酸ニッケルめっき液の電解には、北斗電工製　電気化学測定装置 HZ－5000 をめっき電源として実験に用いた。

3 実験結果と考察

めっき処理した時の最大、最小の膜厚差は、治具なしで 4.10μm、従来の治具では、5.38μm であったが、今回試作したフォトリソ治具では、2.20μm の膜厚の差に抑制された。

先端部の位置と膜厚の関係は、疎な配列で膜厚のバラツキが大きくなる傾向があらわれ、密な並びでは小さい傾向にあることがわかった。

表 1 電流制御板の有無による膜厚バラツキ

	治具なし	従来の治具	フォトリソ治具
最大値	10.51	9.83	8.64
最小値	6.41	4.45	6.44
(最大-最小)	4.10	5.38	2.20
平均値	8.17	7.24	7.41
標準偏差	1.09	1.24	0.69
変動係数	13.39	17.17	9.29

膜厚バラツキは、変動係数で表し(1)式から求めた。

変動係数（%）＝（標準偏差／平均値）×100・・・・(1)

4 まとめ

プローブの先端位置に合わせた形状の穴を有する電流制御板をフォトリソグラフィー技術により作成した。めっき電極とプローブの間に電流制御板を入れることで、プローブ先端部に生じていためっき膜厚のバラツキを少なくすることができた。変動係数で比較すると、従来のアクリル治具は 17.17、フォトリソ治具は、9.29 まで小さくなった。

第３章 微小領域への粒状めっきの生成

３－１　粒状めっきの生成過程の解析

１ 目　的

粒状めっきのめっき条件を変化させた粒状めっきプローブを作成し、それぞれの断面をSIM(Scanning Ion Microscope)観察することで、粒状めっきの生成過程を解析する。

２ 試料作成装置と作成条件

粒状めっきの組織を観察するために、めっき条件を変化させながら作成した粒状めっきプローブ先端をFIB(Focused Ion Beam)加工を行った後に、SIM観察を行った。試料の前処理として、試料表面にチャージアップを防止する目的でCを蒸着した。さらに、目的箇所の表面保護のためにFIB装置内でPtを約1μmデポジションしている。

３ 粒状めっき組織の観察

図11に粒状めっきプローブ断面のSIM像を示す。

図より、粒状めっき層の組織は、Niめっきで形成されており、黄色矢印（1）のように、粒形状の中心となる「核」を持っている。また、核を中心として針状に結晶が成長した「成長層」を有しており、薄膜の結晶成長で見られるエピタキシャル成長に酷似している。(3）では針状に成長した結晶を成長方向と垂直な方向で切断したために、小さな断面として観察され、明らかに「核」を基点として、放射状に針状結晶が成長していることがわかった。また、(4）の中央部分の不連続な部分が出来た後でも、核が形成され粒状めっきとなって成長している様子がわかる。

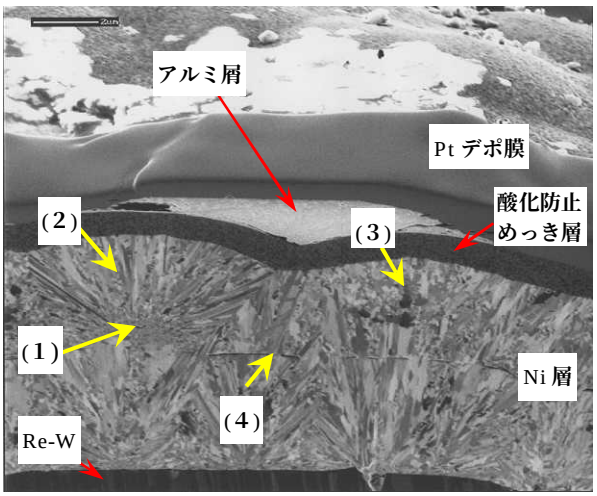


図 11 粒状めっき断面の SIM 像

さらに、粒状めっきの核付近をTEM（透過型電子顕微鏡）で拡大したものを図12に示す。図より、その組織形態を分類分けすると、(1) 核の中の異物の様に見える物質、(2) 非常に細かい粒状の組織の核、(3) 核と針状組織の中間層、(4) 針状組織に分類される。さらにそれぞれの部分についてEDS 分析を行った結果、4 つの部分ともNi 元素単体からなるものであることがわ

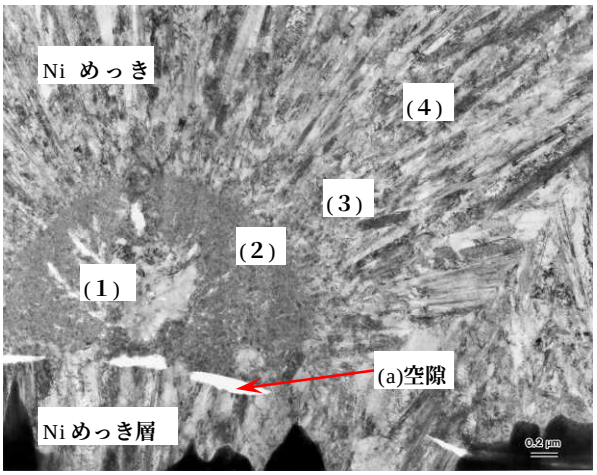


図 12 粒状めっきの核付近の TEM 像

かった。同時に酸素の含有も若干認められたが、それぞれに優位的な差異はなかった。また、(a) の空隙でのわかるように、粒状めっきの成長過程で電気条件を変化させた、あるいは電流を流さない時間など、何らかの阻害要因で、粒状めっきの Ni 層の中に不連続な部分が発生することがわかった。

4 粒状めっきの電気条件と組織変化

粒状めっきを施した試料は 3 種類作成した。粒状めっきの電気条件を表 2 に示す。1 試料には 4 本のプローブがたてられており、4 本同時に電流を流している。粒状めっきは、Ni パルス層だけで形成できるが、その後のコンタクト試験も考慮に入れ、最外周に酸化防止用めっきを施している。

電気条件については、Ni パルスめっきの下地の金めっき、直流 Ni めっき皮膜の厚みで粒状めっきの核の発生の有無に影響があるされることが経験上わかっていた。そのため、下地の状態を変化させて粒状めっきを生成させる実験をおこなった。

このときに流れた経過時間と電流量のグラフを図 13 に示す。電流値の推移の特徴として、サンプル A は 1 パルス目では低い電流値であったが 2 パルス目から 2.3～2.4mA の安定した電流値となっている。サンプル B は 3 パルス目までは 1.5mA でとどまっているが、4 パルス目から、2.5mA の電流値となっている。サンプル C は全てのパルス電流が 1.5mA 付近で推移しており、A, B とは異なった推移を示した。

電気条件 A、B でできた粒状めっきの断面の SIM 像を図 14 に示す。図より定電圧パルスめっき条件では非常に小さな球状の組織を持った核が発生する時は、結果的に電流値が粒状めっきが成長するときの電流値よりも小さくなることがわかった。

表 2　粒状組織確認のための電気条件

	めっき皮膜	処理条件	A	B	C
1	金めっき	10V、0.3mA	10 秒	90 秒	10 秒
2	直流ニッケル	2.45V、0.3mA	30 秒	10 秒	10 秒
3	パルスニッケル	2.45V、30mA On3 秒×6 回 OFF5 秒	6 回	6 回	6 回
4	酸化防止めっき	1.8V、1mA×30 秒	30 秒	30 秒	30 秒

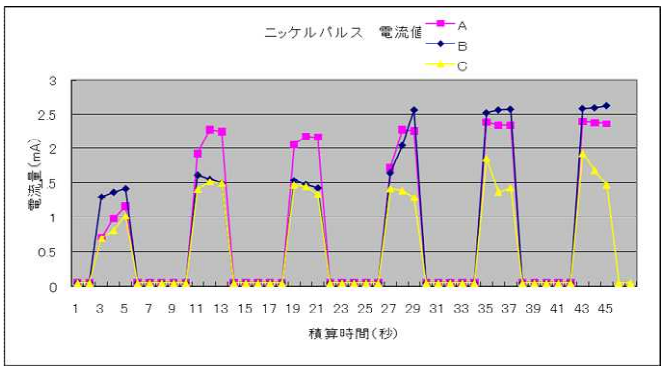
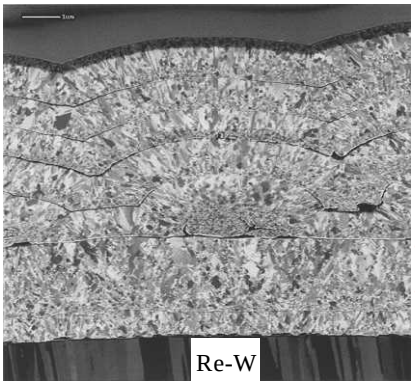
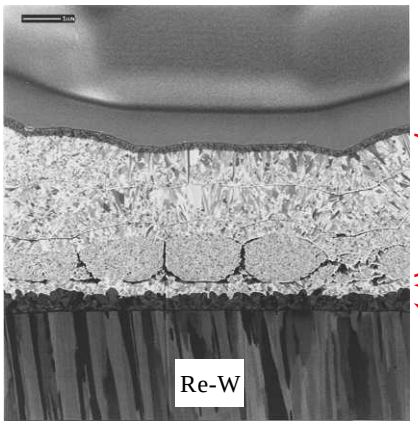


図 13　粒状組織確認のための電気条件



(a) めっき条件 A



(b) めっき条件 B

図 14 各種めっき条件での粒状めっき断面

今回の場合、1.5mA 付近の電流値が、核となる組織のできる領域であった。この電流値が継続すると、針状の組織が発生せず非常に細かい球状組織だけの粒形状のめっきが成長することとなる。このときの下地の直流 Ni めっきとの間に空隙が発生していることが多く、密着性の良い粒状めっきは成長しないことがわかった。

5 まとめ

粒状めっきのめっき条件を変化させ、それぞれの断面を SIM 観察することで、粒状めっきの生成過程を解析下結果、以下のことが明らかとなった。

（1）粒状めっきの生成過程では、パルス Ni めっきを行っていく中で非常に小さな球状の「核」が発生した後、粒の成長過程では針状組織となって放射線状にめっきが成長していく。

（2）核となる組織だけで形成される粒状めっきは、下地となる直流 Ni めっきとの間に空隙が発生しやすい。

（3）定電圧パルスめっき条件で粒状めっきを行っていく場合、核となる非常に細かい球状のめっき組織から放射状に成長する針状めっきへの変化は、電流値の変化に現れる。

３－２　極微小領域への最適めっき条件の検討

１ 目　的

SiO2 絶縁皮膜が成膜されたプローブは、先端部だけに限定して粒形状のめっきを析出させるため、めっきを施す面積が従来と比較すると 1／1000 程度まで減少する。このため、粒形状のめっき皮膜を形成させるには 1mA 程度の微弱な電流値の制御が必要となり、極微小領域への最適めっき条件の検討を行う。

２ 実験方法

２･１　プローブ胴体部を Si02 皮膜で絶縁処理する。

プローブの胴体部を絶縁するためには、最初にプローブ先端部を UV 硬化樹脂で覆い硬化させてから、プローブ全体に SiO2 絶縁性皮膜を成膜する。SiO2 成膜後にプローブ先端の UV 樹脂を除去して、先端部に導電性を持たせる。

２･２　めっき液と電解条件

実験に用いたニッケルめっき液は、スルファミン酸ニッケルを主体としためっき液を用いてめっき処理を行った。

実験に用いたスルファミン酸ニッケルめっき液の組成

・スルファミン酸ニッケル・4 水和物　300ｇ／Ｌ
・塩化ニッケル・6 水和物　50ｇ／Ｌ
・ホウ酸　30ｇ／Ｌ
・PH＝3.0
・液温度　55℃

スルファミン酸ニッケルめっき液の電解には、北斗電工社製 HZ-5000 電気化学測定装置を用いて実験を行った。

電解条件

パルス電流波形は、図 15 に表した波形で、パルスめっき電流を流し実験を行った。

定電圧パルス 2.5～4.0V
電流　100μA～70mA
ON 時間　μsec～sec
OFF 時間　μsec～sec
アノード 白金網
送液による液攪拌

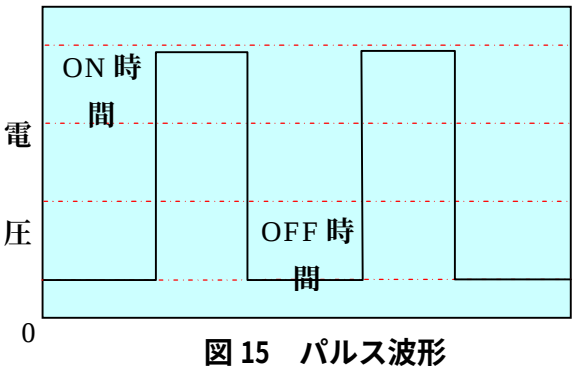


図 15　パルス波形

3 実験結果と考察

3・1　極微小領域下での粒状めっきの析出条件

プローブ先端の微小領域だけに限定してめっき皮膜が析出するように胴体部を SiO2 皮膜で絶縁し、先端部のみに粒状めっき皮膜を析出させるための実験を行った結果、パルス波形でめっきすることで、粒状めっき皮膜が析出することがわかった。

粒状めっきの析出には、定電圧に設定したパルス波形を用いることで、粒の成長が始まり粒の大きさが大きく成長するにつれて電流値も増加していく。**図 16** は、実際に粒状めっきを析出させた時に流れた電流値をグラフ化したもので、パルスの回数が増えてくると電流値も増えてくることがわかる。また、短いパルスの時間でも電流値の上昇が確認された。

このことにより、粒状めっき皮膜の形成には、定電圧に設定されたパルス波形の電流を流す必要がある。

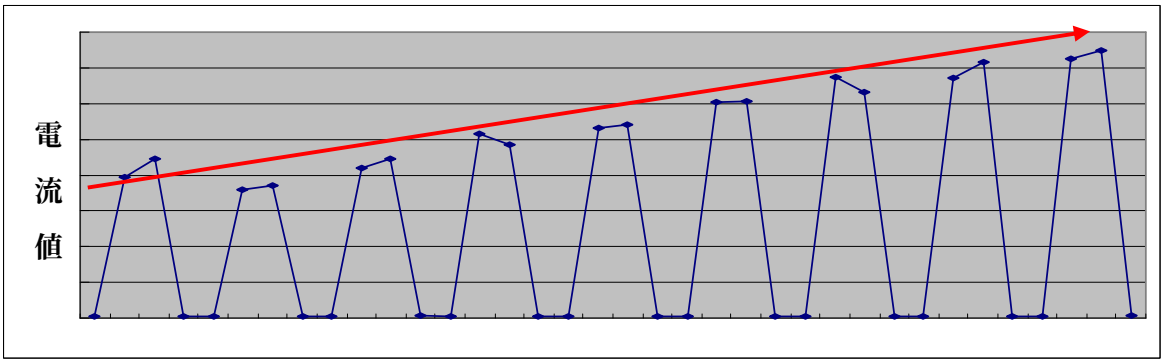


図 16　粒状めっき皮膜のパルス電流値

粒状めっき皮膜を析出させるためには、パルス波形で送られてくるめっき電流が必要で、ON 時間と OFF 時間の関係で粒の成長が始まる。実験の結果から、ON 時間が長いと表面で焼けが発生して、短いとめっき皮膜が成長しない。また OFF 時間が長いと皮膜の成長が止まり、短い場合は粒状めっき皮膜が析出しないことが実験によりわかった。パルスの回数は、粒の成長に関係しておりパルス回数が少ないと大きさの小さい粒が多数析出し、回数を増やすことで、粒の成長がはじまり高さを有する大きな粒形状が得られた。

次に、粒の成長段階を確認するために、ON 時間ごとにめっき処理を中断してプローブ表面を洗浄し、プローブ先端に析出した粒状めっき皮膜を観察した。結果を**図 17** に示す。7 回パルス電流を流したが、プローブの先端部ではめっき皮膜が全体に析出せず、1 回目に析出した一部の皮膜や粒だけが成長した。皮膜の成長が止まる理由を考察すると、パルスの ON 時間で作られた電気 2 重層が写真撮影時間経過のために破壊され、皮膜の成長が止まるためだと考えられる。

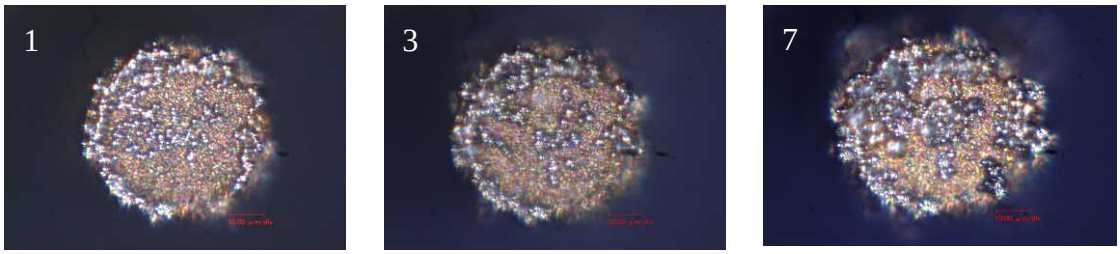


図 17　パルスごとの粒状めっき皮膜の変化

図 18 は、パルス電流を連続で流して、回数ごとにプローブ先端部へ析出した粒状めっき皮膜の状態を撮影した。最初は小さな粒がまばらに析出して、パルス回数が増えると先端部全体に小さな粒が広がって行き、さらにパルス回数が増えると粒同士が結合し大きな粒状めっき皮膜を形成する。アルミ屑の付着防止に最適な形状を得るためには、パルス電流の回数を制御することで、粒形状の大小の大きさを決めることができる。

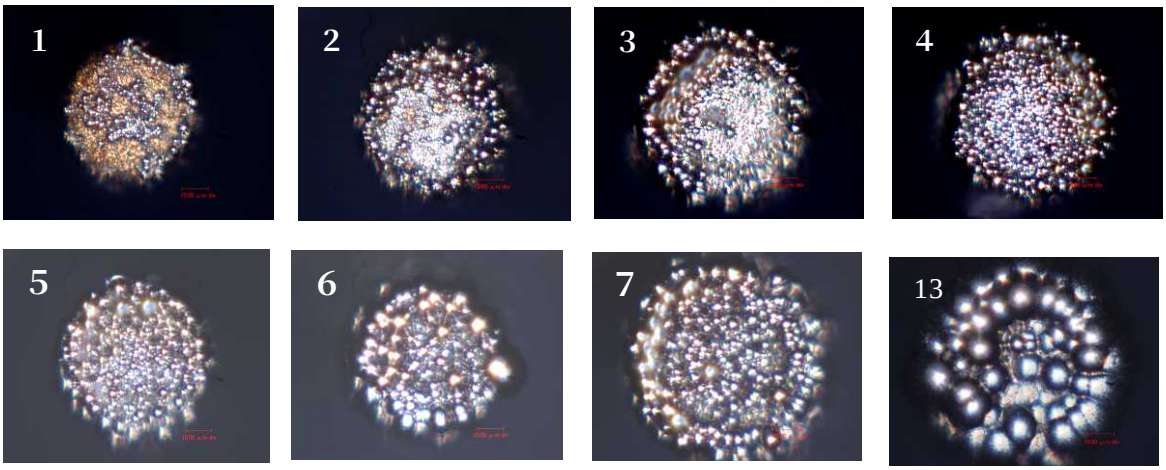


図 18　パルス回数ごとに先端部を撮影

３－３　粒状めっきプローブの特徴

１ 目　的

粒状めっきの粒形状を測定･分析することで粒形状を数値データとして表現できる指標を決定し、コンタクト試験結果と照らし合わせながら、どのような粒形状がプローブの長寿命化に有効であるかを検討する。また、実際の検査工程と同様の動きをする単一プローブ評価用コンタクト試験機を試作し、粒状めっきプローブのコンタクト状況を、アルミ屑の付着状況とアルミパッドに残されるコンタクト痕を観察することで、その特徴を検討する。

２　粒状めっきの形状の特徴

長寿命を示した粒形状と同一の電気条件で作成したプローブ先端の凹凸状態を、高さ方向の情報を得ることができるレーザー顕微鏡で測定した結果と仮想接触面の凹凸指標を考察した結果を図 19 に示す。光学顕微鏡で観察したときと同様に、(a)の連続コンタクト可能回数が多い方プローブの方が、凹凸が激しい様子がよくわかる。

ここで、プローブが電極パッドに接触した状態を考察する為に、仮想接触部（プローブ先端から 1μm の高さの断面）を設定し、そのときの接触面を表示し、検討した。(a)の連続コンタクト可能回数が多いプローブの方は接触点が少なく、突起部が連続していないことがわかる。逆に連続コンタクト可能回数の少ない(b)は仮想接触部が面的な接触となっていることがわかる。この場合の接触状態は粒状めっきを施していない無処理のプローブ先端に近いと考えられ、そのため、粒状めっきの効果が現れなかったと推察される。

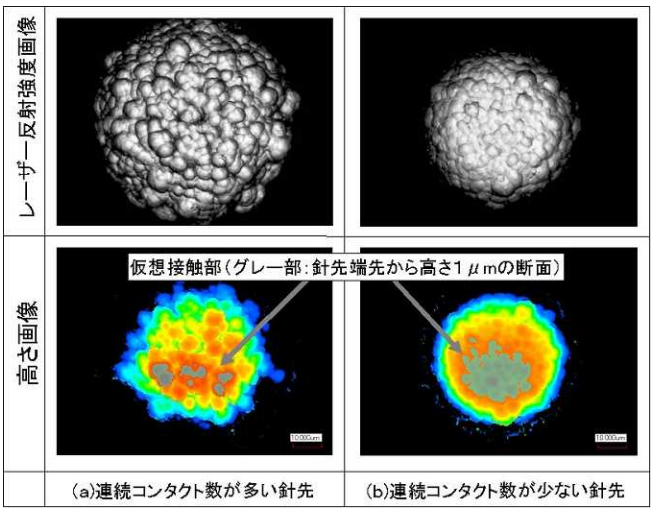
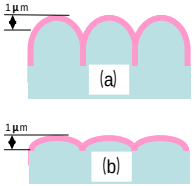


図 19　粒状めっき形状の解析



		表面積	投影面積	表面積/投影面積
(a)	針先トップから1ミクロン	141.0	92.00	1.54
	針先トップから2ミクロン	582.6	385.6	1.51
(b)	針先トップから1ミクロン	336.2	314.9	1.07
	針先トップから2ミクロン	824.7	755.3	1.09

図 20　粒状めっき評価指標

この様に、プローブ先端からの仮想接触面の状況を解析することで粒状めっきの凹凸指標として使用できることがわかった。そこで、レーザー顕微鏡の機能の中で表面積測定ができることを利用し、粒の曲率測定の代わりに粒の高さ情報のパラメータを表現する「表面積／投影面積」の値に着目した。結果を図 20 に示す。仮想接触高さ（1μm、2μm）にかかわらず、(a)で 1.5、(b)で 1.0 の値を示しており、プローブ先端の評価指標として用いることができる可能性があることがわかった。

3　単一プローブ評価用コンタクト試験機の作成

コンタクト試験機を作成する場合、生産現場で使用されているチェッカーと同様のプローブの動き（接触時の速度、接触してからの押し込み速度、コンタクト位置での保持時間等）を再現する必要がある。今回流用する NC 加工機では NC 加工機の機能を流用することで、この問題に対処する。ここで、試作するコンタクト試験機の概要を図 21 に示す。プローブの動きは協力をお願いしている IC 製造メーカのチェッカーの動きに合わせて行うこととした。XY 方向の動きは NC 加工機の機能を利用して制御することとし、上下方向の動きは、ダブルコンタクトの手法（助走→接触感知→一定量の押し込み→引き戻し→助走→接触感知→一定量押し込み→保持→引き上げ）の動きとした。

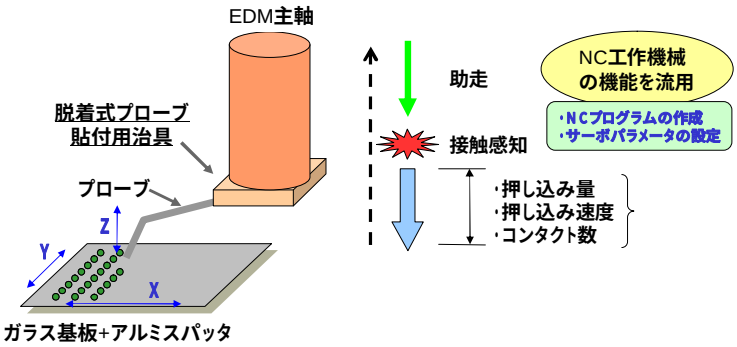


図 21　コンタクト試験機の概要

4　基本的なアルミの付着状態とコンタクト痕の観察

4－1　Re-W プローブのコンタクト状況

Re-W プローブを試作したコンタクト試験機を使用して、50μmの押し込み試験を行った時のプローブ先端に凝着したアルミ層の状況と、アルミパッドのコンタクト痕の状況を図 22 に示す。引掻き傷の状況が IC 製造現場の検査工程の傷を良く再現しているとの評価により、今回試作したコンタクト試験機は単一プローブのコンタクト実験に十分使用出来ることが明らかとなった。また、試験後のアルミ層の付着状況、コンタクト痕の状況を観察すると以下のような特徴があることがわかった。

- 接触点に凝着したアルミ層は回数を重ねると徐々に成長していく。
- プローブに付着するアルミ層は、接触点直下に成長するものと、引掻き方向後方に伸びていくものに分類される。
- 接触点では最初はプローブで引掻き傷を作成しているが、アルミ層が付着すると、その付着物により引掻き傷が作成される。
- パッド面に残るコンタクト痕には接触部前方に引っ掻かれたアルミ層が残る。
- コンタクト回数が増えると接触点前方に残るアルミ層も大きくなる。

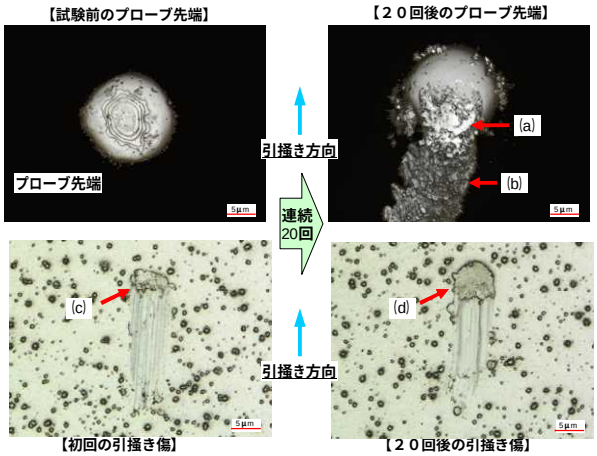


図 22　Re-W のコンタクト状況

４－２　粒状多層めっきプローブのコンタクト状況

次に、本研究で開発している粒状めっきを施したプローブによるコンタクト試験を Re-W プローブと同様の条件でコンタクト試験を行った結果を図 23 に示す。粒状めっきを施したプローブでのコンタクトでは以下の特徴があることがわかった。

・複数の接触点を有する。

・プローブに残るアルミ屑は粒状めっきの引掻き方向後方に残っている様に観察される。

・プローブに残るアルミ屑の成長は Re-W プローブと比較して少ない。

・コンタクト痕の深さは標準プローブと比較して深い。

・引掻き傷はスムーズに滑った面ではなく、進行方向に垂直な亀裂が残っている。このコンタクト痕の状態は、粒状めっきの半径 R が小さいために押し込み深さが半径 R に比較して大きくなり、滑りによるものではなく切削状態に近い可能性がある事を示唆している。

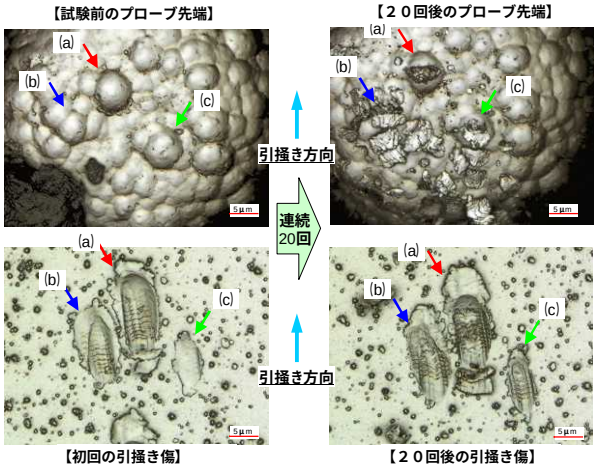


図 23　粒状めっきのコンタクト状況

5　まとめ

どのような粒形状がプローブの長寿命化に有効であるかを検討するため、粒状めっきの形状管理指標の提案とコンタクト試験器の試作、コンタクト試験時の基本的なアルミ屑とコンタクト痕の状態を観察した。結果を以下に示す。

（1）粒状めっきの凹凸を制御する上で、簡単に測定する手法としてレーザー顕微鏡による表面測定が有効である。凹凸の指標としてプローブ先端から所定の高さ（今回の設定は 1μm）での仮想接触面積と、その時の仮想接触面積／投影面積の値を指標とできる。

（2）NC 加工機を流用したコンタクト試験機を作成することができ、その動きは IC 製造現場のチェッカーと同様の動きとコンタクト状況を示した。

（3）標準プローブと粒状めっきを施したプローブでは明らかにコンタクト状況に差があることが明らかとなった。Re-W プローブではコンタクト状況が滑り的な因子の影響が大きく、粒状めっきを施したプローブではスパッタされたアルミの十分な塑性変形状態での接触が行われている可能性があることがわかった。

３－４　アルミの付着状況と接触抵抗値の推移

１ 目　的

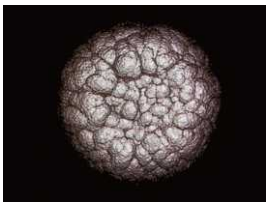
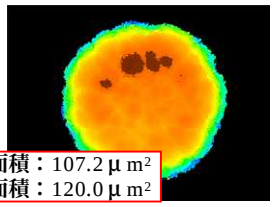
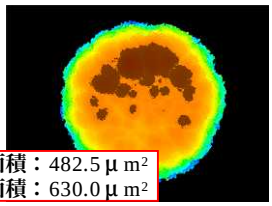
粒状めっきの効果を検討するために、アルミの付着状況と接触抵抗値の関係に着目して単一プローブでの評価を行う。

２ 研究内容と成果

①粒状めっきの形状

今回のコンタクト試験では、粒の大きさ、高さ、密度等が異なる 2 種類の粒状めっきを付加したプローブ針試料を作製し、実験を行った。**図 24** に、測定結果より得られたレーザー反射強度画像”、“高さ情報のカラーマップ画像”及び“粒状めっき先端部付近の断面輪郭プロファイル”の一例を示す。カラーマップ画像には、基板材料との仮想接触断面として、粒状めっきの先端部から高さ 1μm 及び 2μm の断面を設定した。

めっきパターン①

レーザー反射強度画像	高さ情報のカラーマップ画像	
	仮想接触断面（1μm）	仮想接触断面（2μm）
		

めっきパターン②

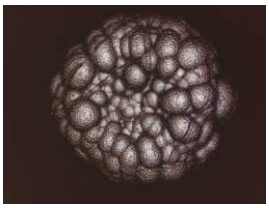
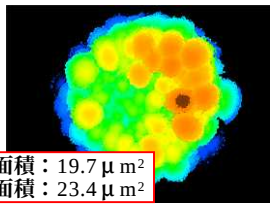
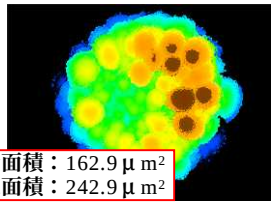
レーザー反射強度画像	高さ情報のカラーマップ画像	
	仮想接触断面（1μm）	仮想接触断面（2μm）
		

図 24 レーザー顕微鏡による粒状めっき形状解析結果

めっきパターン①は、粒が比較的均一に成長した約 2μm 程度の凹凸差を持った粒状めっきで、めっきパターン②は、粒も大きく不規則で約 5μm 程度凹凸差を持った粒状めっきであることが分かる。また、仮想接触断面による接触領域の変化から、めっきパターン①は数 μm の押込みでも基板材料と広い範囲で接する面接触に近い接触状態となり、めっきパターン②は基板材料と局所的な多点接触に近い接触状態になると思われる。これまでの研究結果より、めっきパターン②の方が、より多くの連続コンタクト回数に耐えうる可能性が高いと推察される。

なお、今回の供試体では、ニッケルによる粒状めっきの凹凸形状の上に酸化防止めっきを施している。

②各種プローブでのコンタクト状況と接触抵抗値の推移

図 25 に、各プローブ試料のコンタクト回数 5000 回までの接触抵抗測定結果とアルミ屑の凝着状態、及びコンタクト痕を示す。

図より、試験初期から著しい抵抗上昇を示す Re-W プローブに比べて、プローブ先端部に粒状めっきを付加したプローブは、急激な抵抗上昇も起こらず比較的安定した抵抗値で推移しており、その傾向は、めっきパターン①では 2500 回程度まで、めっきパターン②では 5000 回に到達しても維持されていることが分かる。1000 回毎に行ったアルミ屑凝着状態の観察結果より、Re-W プローブでは 1000 回で金属光沢の大きなアルミ屑の塊が存在したが、めっきパターン①では 2000 回まで、めっきパターン②では 5000 回の試験終了まで、このような金属光沢のアルミ屑の塊は存在せず、細かな金属粉のようなアルミ屑が付着するだけであった。これらのことから、プローブ先端でのアルミ屑の著しい凝着が、抵抗値の上昇に大きく影響しているものと考えられる。めっきパターン①の試料において、2500 回以降、大きな抵抗上昇が起こり始めたのも、3000 回で金属光沢のアルミ屑が存在していることから、著しいアルミ屑の凝着の影響によるものと推察される。

また、電極材試料上の引っ掻き傷は、Re-W プローブでは単一の傷跡であるが、粒状めっきを付加したプローブでは、複数の傷跡が残る多点接触状態となっていることが分かる。更に、引っ掻き傷の状態を比較すると、Re-W プローブでは針先で擦られ、磨り潰された後、引き剥がされた様な跡がついており、コンタクト後、針先にアルミ屑が引き摺られている様子が伺える。しかし、粒状めっきを付加したプローブについては、粒状めっき先端で抉られた部分が潰れたような状態にはあるものの、引き剥がされておらず、そのまま試料表面に留まっている様に見受けられる。また、めっきパターン①の 2000 回コンタクト後のアルミ薄膜パッド表面に剥離したアルミ屑が見られることや、めっきパターン②のアルミ薄膜パッド試料表面の屑塊が、めっき表面の形状を転写したような状態で残っていることも確認できる。

3 まとめ

以上のことから、粒状めっきを付加したプローブ針は、接触抵抗の不安定要因となる金属光沢を持った塊状のアルミ屑の凝着が起こり難く、また、その効果も粒形状の凹凸差が大きく、なおかつ、基板材料と多点接触となるように粒形状の高さが揃っていることが望ましいと考えられる。

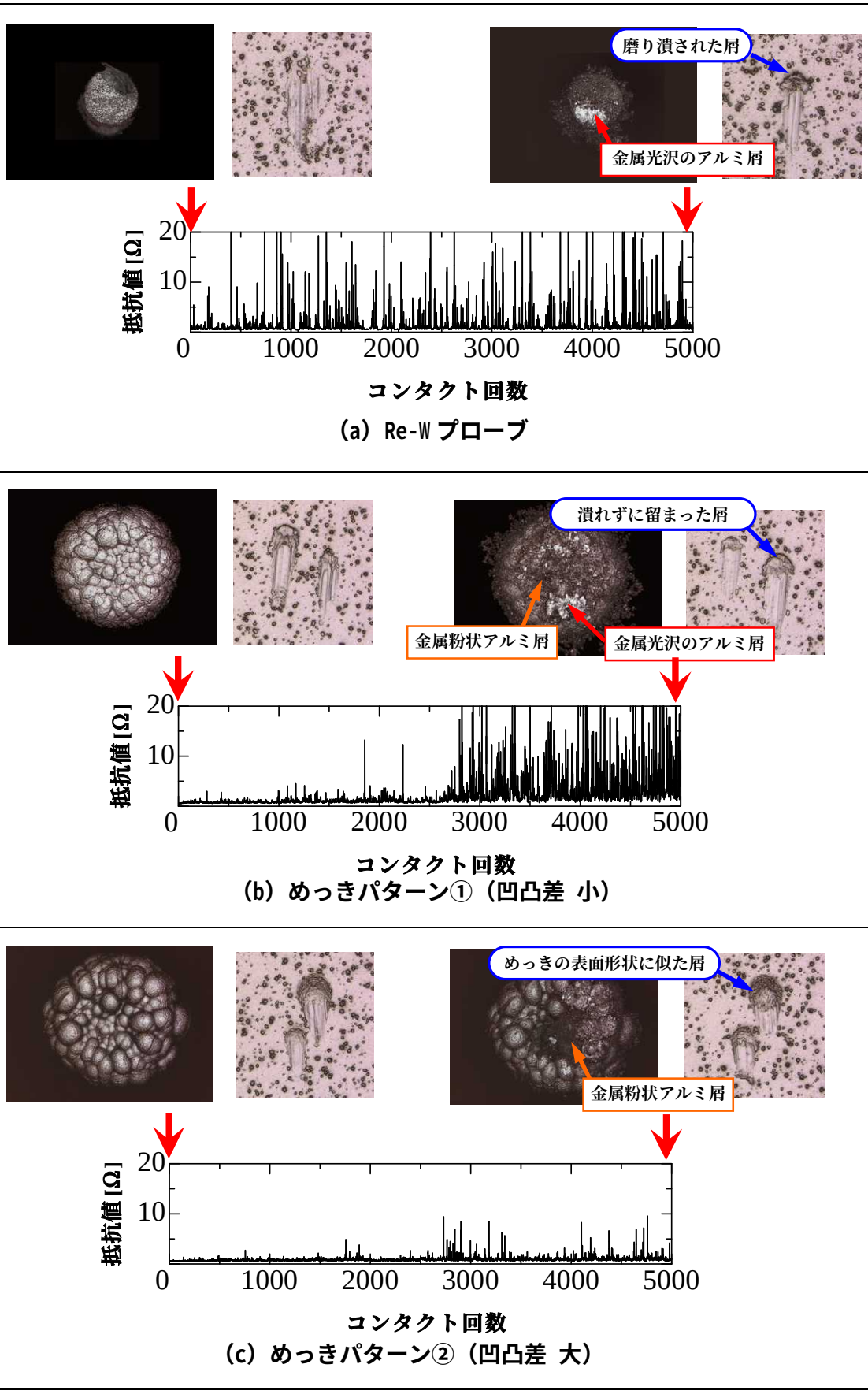


図 25　各種プローブでのコンタクト状況と接触抵抗値の推移

第４章　粒状めっきプローブカードの試作と総合評価

１ 目　的

実際の IC 製造工程でのサンプルテストを行うための粒状めっきプローブカードを作製し、生産現場での総合的な評価を行う事を目的とする。作製するプローブカードの仕様は、ルネサス・セミコンダクタ九州・山口(株)の仕様で、試験条件は同社のの試験条件で行った。

２ 粒状めっきプローブカードと試験機

試作した粒状めっきプローブカードを図 26 に、総合評価試験で使用するプローバーを図 27 に示す。

図 26　試作したプローブカード外観

図 27　検査用プローバー

３ 総合評価結果

総合評価はプローブカードの性能を現在生産ラインで使用しているプローブカードの対比という形で評価された。結果を表 3 に示す。また、この試験での代表的なコンタクト痕を図 28 に示す。評価は、①外観評価、②初回コンタクト時の電気特性評価、③連続測定評価、の 3 段階での評価となった。

表 3　量産検査工程での評価結果

評価レベル	評価項目と評価	判定
外観	・針痕が醜い（濃い） ・針先先端が大きい ・プローバー認識不良 （粒状めっき脱落プローブ）	△ 仕様段階での打ち合わせが必要
コリレーション時 （導通テスト）	・接触・ショート不良無し ・リファレンス評価　　1：1	○
N増し評価時 （実際の検査連続 4000 回）	・リファレンス評価　　1：2.96 DUT1　　1：3.93 DUT2　　1：1.50	× 約 3 倍の不良検出量

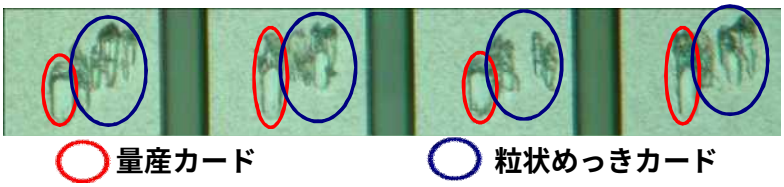


図 28　量産カードと粒状めっきカードのコンタクト痕

結果は、以下のとおり。

①の外観評価では、針痕について評価が低かったが、これについてはスクラブ量の仕様が不明確であったことから、現行の設定としたことが起因している。今後は針痕を含めた仕様の打ち合わせを行うこととする。

②コリレーション時の電気的な特性評価では、問題は無かった。

③4000 回の N 増し検査時では、量産のプローブカード（現行品）と比較して 3 倍の不良検出量となった。

プローブカードの不良率だけで評価を行うならば、リファレンス評価では 1.0 以下の数値が出る必要がある。現段階では実用レベルのプローブカードではないとの評価であった。

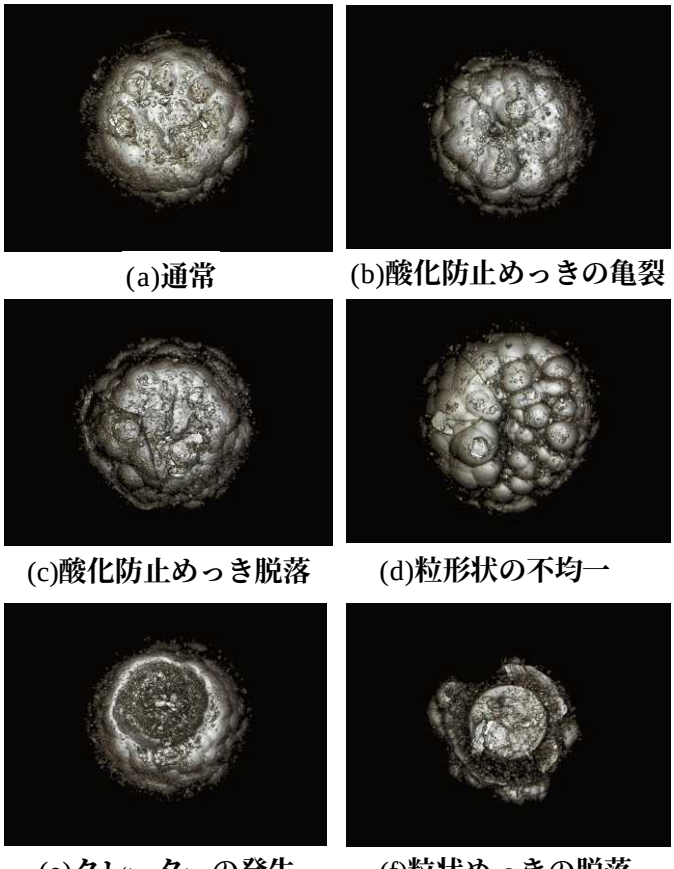


図 29　総合評価後のプローブ（阻害要因）

4　不良率増大の原因と改善点

総合評価を終えたプローブカードについて、不良率が大きくなった原因を調べるために、検査後のカードのプローブ先端の状況をレーザー顕微鏡で観察した。その中で不良検出の原因となりそうな特徴的なプローブ先端の状況を図 29 に示す。使用後のプローブを観察した結果、以下のことが不良率を増大させたと考えられる。

①(f)粒状めっきの脱落が DUT1、DUT2 ともに 1 カ所ずつ見つかった。先端に針ベースの Re-W プローブがそのまま現れていることから、下地に使っている直流 Ni めっきも欠落していると思われる。総合評価ではプローブ 1 カ所でも信号不良が出るとそのチップ検査は NG となるため、この脱落の影響は大きいと考えられる。ただし、粒状めっきが脱落してもプローブ自体は検査で使用しているものなので、完全

に導通不良とはならなかったと思われる。

②(e)クレーターの発生が各 DUT で大小含めて 10 本（約 5%）発生していた。この現象は、めっき時に発生するガスがプローブ先端に溜まった状態で粒状めっきが行われたことが原因になっていると考えられる。これについては、発生したガスがプローブ先端に溜まらないようにめっき液の撹拌状況を変えるか、プローブの針先が真下に向かないようにめっきを行うことで解決できると考えている。

③(d)粒形状の不均一によって、針先の電極パッドに接触する接点の状態が不均一となることで、接触圧が不均一になったりアルミ屑の付着状況が変化したりすることとなる。このことは接触抵抗値が不安定となる要因になると考えられる。今回の総合評価でのアルミ屑の付着状況からみると問題無いレベルではあるが、コンタクト痕が醜いとの指摘もあり、改善して行かなくてはならない。

④(b)最外周の酸化防止めっき層の亀裂と(c)同めっき層の割れと脱落。耐酸化性と耐摩耗性をプローブに与えるために、粒状めっきの最外周に酸化防止用のめっきを行っているが、今回はめっき厚が 1.5μm と厚く付けてしまった。このため、約 50%のプローブで亀裂の発生が確認された。経験上、酸化防止めっき層が 0.5μm 程度でも十分な効果が出ていたこともあり、今後 0.5μm 程度の厚みでトライしていくことにする。

4 まとめ

以上、総合評価を終えた後の改善項目の列記であったが、4000 回のコンタクト試験後のアルミ屑の付き方は、めっき無しの Re-W プローブとは異なり大きなアルミ屑の塊は少なかった。このことは、IC 生産現場レベルでも粒状めっきがアルミの付着を抑制する効果を十分持っていることが確認できる結果であった。

４－２ 総合評価試験でのアルミの付着状況の解析

１ 目　的

プローブに付着するアルミ屑について詳細な分析を行うことにより、接触抵抗を阻害していると考えられるアルミ屑の付着原因を検討する。

２ 分析方法と使用機器

分析に使用した機器を表４に示す。試料の前処理として、試料表面にチャージアップを防止する目的でＣを蒸着し、目的箇所の表面保護のためにFIB装置内でPtを約１μmデポジションした。その後、マイクロサンプリングにより目的箇所を取り出しCu製の支持台に固定後、FIB装置を用いて断面TEM観察用の試料作製を行った。

表４　TEM分析で使用した機器

測定装置（略称）	メーカー・型式	備考
集束イオンビーム装置（FIB）	日立製 FB-2000C	加速電圧 40kV
透過型電子顕微鏡（TEM）	日本電子製 JEM-2010	加速電圧 200kV
電界放射型透過電子顕微鏡（STEM） ナノビーム回折像（NBD）	日本電子製 JEM-2010F	加速電圧 200kV カメラ長 50cm ビーム径約 60nm
エネルギー分散型Ｘ線分光装置 Si(Li)半導体検出器(EDS)	ノーラン製 UTW	ビーム径 1nm

３　プローブに付着したアルミ屑

Re-Wプローブでコンタクト試験を行った時のアルミの付着物の拡大写真を図30に示す。赤矢印で示した箇所は、細かい線状の組織が流れた様な組織となっており、青色矢印で示した一様なコントラストの塊のアルミとは異なることがわかる。また、この流れた層は、幾重にも重なった状態で存在している。黄色印で示した箇所は透過電子の量から考えると空隙であると思われる。

ここで、TEMでの金属の観察では結晶構造を示す組織である場合、青色矢印で示したように一様なコントラストの塊となって観察される傾向がある。また、赤矢印で示したように非常に細かい線状の流れた様な組織は、アモルファス状の金属を観察したときに見られることが多い。アルミの付着物には、結晶性を有している部分とアモルファス状になっている部分があり、このア

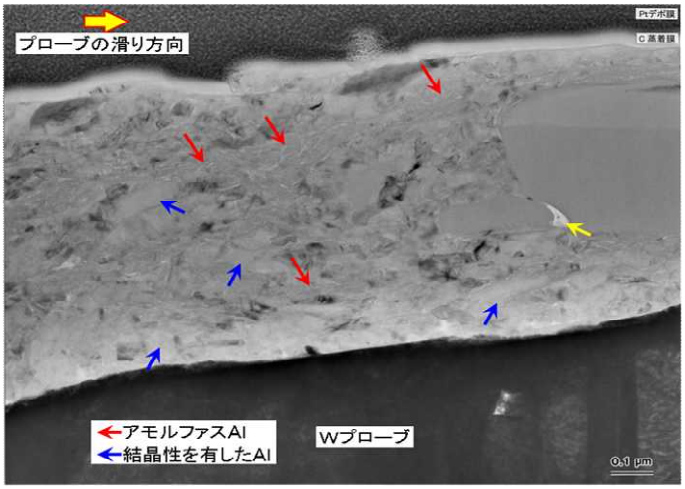


図30　アルミ付着物の拡大写真（TEM像）

モルファス状の部分は幾重にも重なった状態であることがわかった。このように複雑に何層にも重なった状況であることは、検査工程が酸化雰囲気中で行われていることから、それぞれの層の表面には電気伝導性の悪いアルミの酸化膜があることが予測され、検査時の電気抵抗を増加させている要因になっていると推察される。また、機械的に圧縮や剪断しただけで結晶構造をしたアルミがアモルファス構造の組織に、しかも、流れたような組織になるとは考えにくく、極端な電流の流れによる発熱であるとか、接触時の放電現象であるなどの何らかの熱エネルギーが加わった可能性も考える必要があることを示唆していると思われる。

次に、アルミ付着物の組成を明らかにするために、EDS 分析（エネルギー分散型 X 線分析）を行い構成元素でのマッピングを行った。マッピング分析を行う元素は、定性分析で画像中に多く存在している元素をターゲットにした。結果を図 31 に示す。この分析結果より、アルミ付着物の層には、アルミと酸素の分布が多いことがわかる。また、酸素もアルミも一様に分散されておらず、不均一な様子がわかる。散乱電子像と照らし合わせると、アルミの付着物の組織と良く一致したコントラストであると思われる。

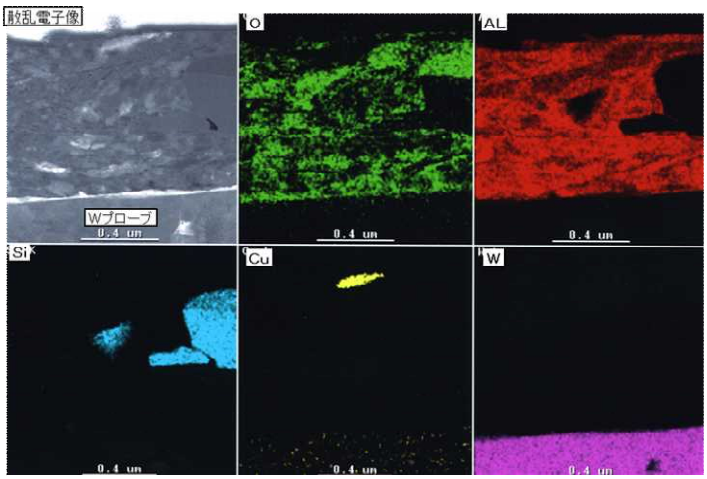


図 31　アルミ付着物の EDS マッピング分析

ここで、アルミの付着物の状況を明確にするため、散乱電子像と酸素、アルミの元素にターゲットをあて、酸素とアルミの重ね合わせを行った結果を図 32 に示す。左画像が散乱電子像、右画像が元素マッピングの重ね合わせ像である。赤色の部分がアルミ、緑色の部分が酸素の多く含まれている部分である。この画像から、前述のアモルファス的な組織となっていると予測される、細かい組織が流れている部分は、酸素が多いことがわかる。また、結晶性があると考えられる一様なコントラストを見せていた塊は、アルミの含有量が多く、逆に酸素は少ないことがわかった。

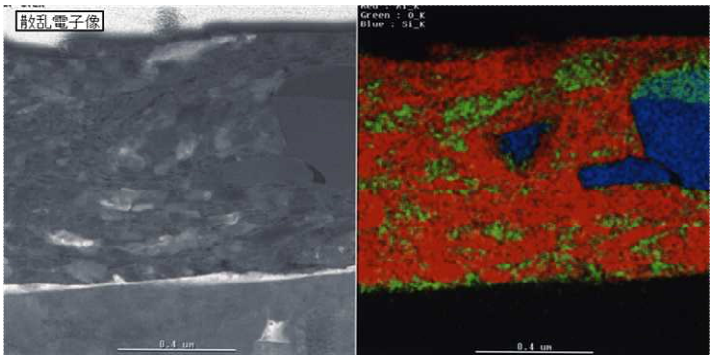


図 32　アルミ付着物の重ね合わせマッピング像

前述での TEM 観察で考察した、アルミの付着物の組織は、①結晶性の有る塊と②アモルファス状の組織の流れた様な組織の混合したものと、この元素分析結果を合わせると、①結晶性の有る塊はアルミの金属の粉の様なものであり、②のアモルファス状の組織の部分は酸化アルミが多く含まれている様なアモルファスであることが推察される。以上のことから、アルミの付着物が電気を通しにくいアモルファス状のアルミの酸化物の薄膜が幾重にも折り重なったものであると推察され、検査工程での接触抵抗値を大きくしている原因であると考えられる。

４･１　粒状めっきプローブに付着したアルミ層の TEM 観察

次に、総合評価で使用した粒状めっきプローブに付着したアルミ層の観察を行った。図 33 に FIB 加工後の断面と TEM 分析箇所を示す。総合評価試験で使用したプローブカードは全部で 202 本のプローブが装着されており、その役割で大きく分類すると①電源用、②検査信号用、③グランド用の３種類のプローブがある。今回はそれらの中から、代表的な検査信号用プローブ No.R-56 の断面観察を行った。

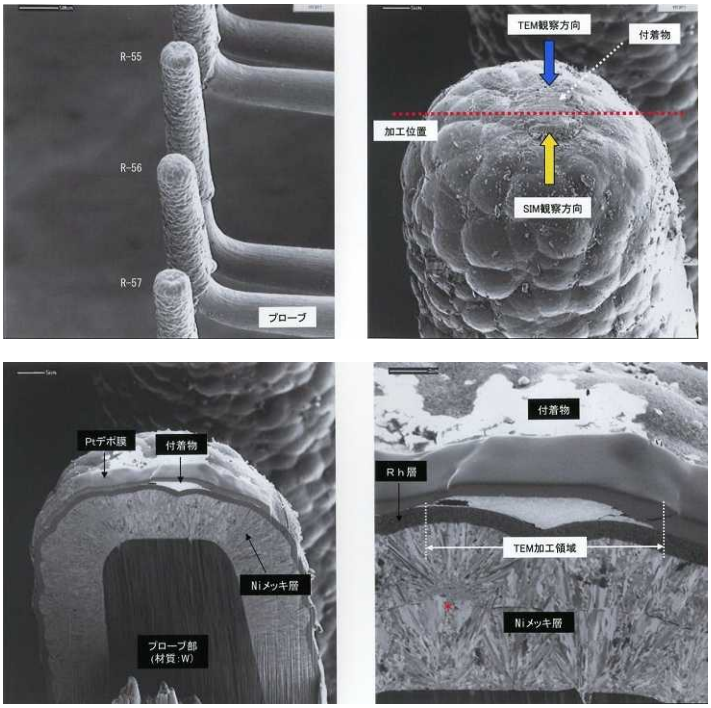


図 33　粒状めっきプローブの断面と TEM 分析箇所

次に図 34 に粒状めっきプローブに付着したアルミ層の断面の TEM（透過型電子顕微鏡）像を示す。赤矢印で示した白色の部分は観察結果から空隙であった。粒状めっきプローブ最外周の酸化防止めっき層とアルミ層との間に空隙が多くあるということは、従来の Re-W のプローブと比較してアルミ層のプローブへの密着力が小さいと考えられる。

また、組織を観察すると、アルミ層は従来の Re-W にめっきを施していないアルミ層と同じように、結晶構造をした塊の部分と、アモルファス状の流れている部分があったが、従来の Re-W プローブよりも、結晶構造をした塊の部分の方が圧倒的に多かった。また、その分布の傾向としては、粒状プローブの最外周の酸化防止めっき層との境界部にアモルファス層が多く、アルミ層の塊になっている部分のほとんどは結晶性を示すアルミ層の粉の様な組織であった。また、少ないながらもアモルファス層が確認できたのは粒状めっき凸部の滑り方向前方でのみ確認され、凹部境界部ではほとんどが結晶性のアルミの粉の様な組織であった。今回の粒状めっきプローブのアルミ層ではアルミ層がアルミの粉を固めた「圧粉体」の様な様相が顕著に表れていた。

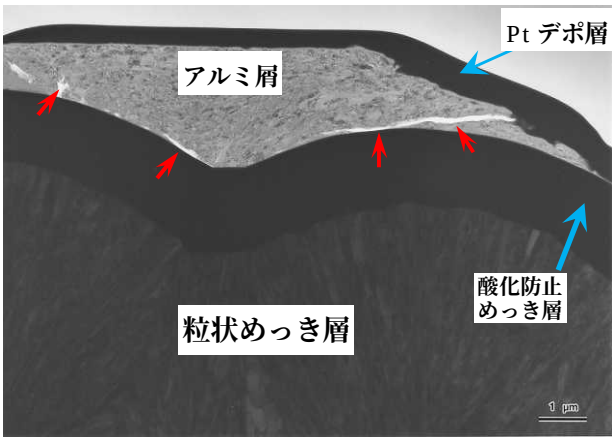


図 34　粒状めっきプローブに付着したアルミ層（TEM 像）

4 まとめ

総合評価試験で評価された粒状めっきプローブカードと従来品のカードについて、プローブ先端に付着したアルミ屑の詳細な観察と解析を行った結果、以下のことが明らかとなった。

（1）接触抵抗を阻害している要因となっているアルミ屑は、結晶質と非晶質の両方の性質を持つアルミの圧粉体の様なものであった。

（2）結晶質アルミと比較して非晶質アルミは酸化の度合いが大きい。

（3）粒状めっきを施したプローブに付着するアルミ屑は、通常のめっきを施していないプローブと比較して非晶質アルミが少なく、プローブ最外周の酸化防止めっき層との界面近傍で密着していない領域が発生しやすいことが確認できた。

以上のことから、粒状めっきプローブに付着するアルミは、圧粉体のように脆い状態で付着しているため、プローブ先端にアルミ屑が付着している状態で再びコンタクトしても大きく凝着するまでには至らず、コンタクト試験中に生成・脱落を繰り返しているためにアルミ屑の付着が少ないものと推察される。

最終章　全体の総括と今後の課題

全体の総括

プローブ針へのアルミ屑の付着量低減を目的として、プローブ先端へ粒状めっき皮膜を均一に析出させ、連続コンタクト回数 100 万回の実現を目指して研究開発を行った。

プローブ先端にのみ粒状めっきを析出させるため、先端部以外を SiO2 絶縁皮膜で覆うことにより、めっき析出電流をプローブ先端部へ集中可能とするための成膜技術を確立した。また、複数のプローブ針先端部へ流れる電流をより均一にするために、フォトリソ技術を用いたポリイミド樹脂製電流制御板の作製技術を確立した。その際、穴径と穴の位置は、電流分布解析ソフトウェアーを用いたシミュレーションを行い、最適な穴径と位置を求めて、電流制御板の作製を行った。

作製した単一の粒状めっきプローブ針についてコンタクト試験を行い、アルミ屑の付着低減に対する粒状めっきの有効性を確認した。

粒状めっきプローブ針を用いた評価試験用のカードを作製し、ルネサスセミコンダクタ九州・山口株式会社山口工場で評価を行なったが、プローブ先端部の粒状めっきの形状にばらつきがあり、効果を得ることができなかった。この結果を踏まえて、粒状めっきプローブ針を用いたプローブカードの製品化には、以下の 2 つの課題を解決する必要がある。

今後の課題

1　粒状めっき皮膜

粒状めっき皮膜の断面を詳細に分析したところ、最初のニッケルパルス電流で、ニッケルの核が析出する。次のパルス電流では核の成長、または、皮膜成長の 2 通りの析出が発生していた。成長は、先端部に流れる電流値が増加すれば、皮膜の成長へと変化し、増加が少ない場合は、ニッケルの核のみが成長する。均一な粒形状のめっき皮膜を得るためには、先端部へ流れる電流の制御技術を確立することが必要である。しかしながら、核の成長と皮膜の成長が、どのような条件で決定されているのか明確でないので、引き続き検討をしていく必要がある。

2　均一な粒形状のめっき皮膜

複雑に配列されたプローブの先端部へ均一な粒状めっき皮膜を析出させるには、先端部へ流れる電流値を制御するだけでは粒形状のバラツキは解消されないことがわかった。バラツキが解消されない原因は、めっきが析出する先端部周辺の金属イオン濃度が不均一な為で、並びの粗密により面積辺りの金属イオン濃度が異なるので、粒形状のバラツキが生じると考えられる。先端部の金属イオン濃度を均一にするためには、多数のプローブを何回かに分けてめっき処理を行うことで、面積辺りの金属イオン濃度を均一にすることができる。先端部に均一な粒状めっき皮膜を得るためには、金属イオン濃度も均一にする技術を確立する必要がある。