

平成30年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「イリジウムの温・熱間伸線加工技術による、
半導体ウエハテスト不良率低減を目的としたプローブピンの開発」

研究開発成果等報告書

令和元年5月

担当局 九州経済産業局
補助事業者 公益財団法人くまもと産業支援財団

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	3
1-2 実施体制	4
1-3 成果概要	5
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論	
1. 基本技術の確立と評価	7
(1-1) 伸線加工プロセスにおける純イリジウムの最適加工条件の検討	7
(1-1-1) スエージャーによる伸線加工	
(1-1-2) ローラーダイス加工機による伸線加工	8
(1-1-3) 最終目標φ0.1 mmの細線加工	9
(1-2) 純度の高いイリジウムインゴットの作製技術開発	10
(1-3) 直進性を出すための矯正加工技術の確立	10
2. イリジウムプローブピンの開発と評価	11
(2-1) イリジウムピンプローブカードの作製方法の確立	11
(2-2) イリジウムピンプローブカードの基礎評価	12
(2-3) 顧客満足度評価	13
最終章 全体総括	15
3-1 研究成果のまとめ	14
3-2 研究開発後の課題	14
3-3 事業化展開について	15

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

車載用 IC やカメラ用 CMOS センサ等の半導体製造におけるウエハテストにおいて、アルミ層の付着が原因で良品が不良品と判断される等のテスト不良率増加が問題となっている。

現在使用されているプローブカードはタングステンやパラジウムといった針が多く、ボンディングパッドに針当てする際に発生するウエハの削り屑やウエハの表面にできる酸化膜の影響で安定した連続コンタクトが得られにくいことが頻繁に発生している。

タングstenは固有抵抗が低く安定した接触が得られるが酸化しやすい性質を持っているため、大電流を流す際に表面酸化が原因で溶断しやすくなってしまふ。またウエハ上に蒸着されたアルミとの親和性がよく削り屑が付着しやすい。一方パラジウムは固有抵抗が高く、硬度も柔らかいためウエハ表面の酸化膜を削ることができず安定性が得られにくい。弊社ではこれまでに様々な貴金属をプローブ化しテストを行っているが、その中でも接触性・屑付着状況・許容電流量で一番優れていた材料がイリジウムであったことを検討結果で得ている。

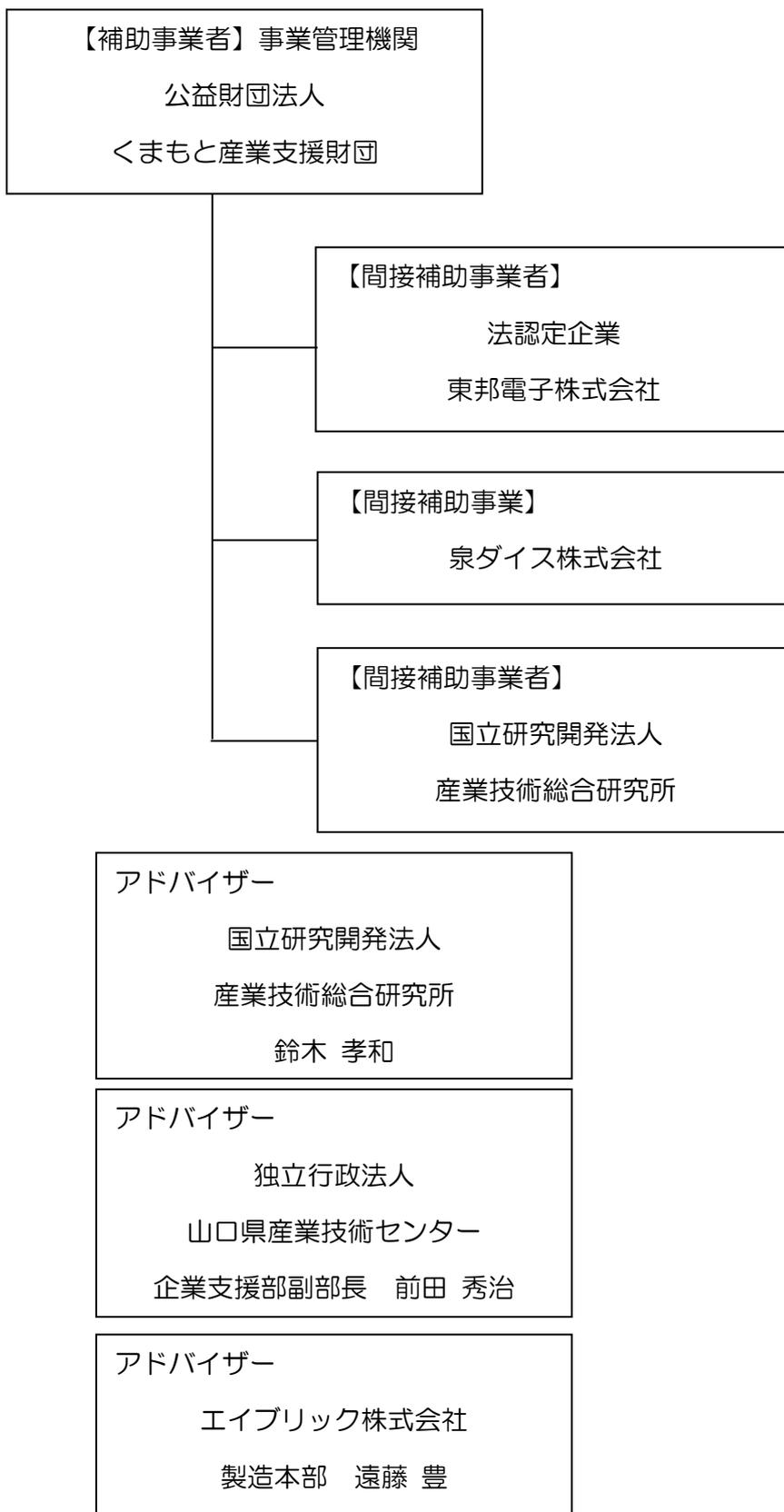
しかし、これまで行ってきた開発の中で、イリジウムピンは加工ロットによって針として加工できないピンや実際のテスト中に針が中央から裂けるようなイリジウム貴金属特有の難加工性の問題点が浮上しており、プローブカードの材料として継続的にしようすることは不可能となっていた。

そこで本研究開発では雰囲気制御プロセスとイリジウムの安定的加工を確立し、性能の良いイリジウム材の伸線加工技術及びそのプローブ化について研究を行い、イリジウム材を使用したプローブカードの開発を行う。これはウエハテストにおける不良率を0.1～3%以上低減させ半導体メーカー数社で年間数十億円規模のコスト削減が実現でき、半導体産業において省資源化と高効率化を可能とする。

またこのような研究は加工条件によって脆くなる材料や多くの難加工材の加工法に多くの有意義な指針を与えるものと考えられる。

1-2 研究体制

1-2-1 実施体制



1-3 成果概要

【1】基本技術の確立

(1-1) 伸線加工プロセスにおける純イリジウムの最適加工条件の検討

イリジウム材をプローブのピンにするまでのプロセスの中で、イリジウムインゴットから $\phi 0.1$ mmまでのワイヤにする工程が必要となり、そのプロセスの中で先付機とダイス加工により最小 $\phi 0.9$ mmまでのワイヤを作製することができた。しかし、最終目標となる $\phi 0.1$ mmまでは、作製することができておらず、今後も $\phi 0.1$ mmを目標に補完研究を進めていく。

(1-2) 純度の高いイリジウムインゴットの作製技術開発

当初はイリジウムをインゴットの状態で購入し伸線加工を行う予定としていたが、コスト的な面で事業化展開が難しいと判断し、比較的安価なイリジウムパウダーからインゴットを作製する方向に進めた。

イリジウムをパウダーの状態から、アーク溶解機で細長いインゴットに仕上げが高純度のイリジウムでは、その後の加工に影響を及ぼすため、添加剤としてイリジウムとは別の貴金属を0.1%程度混ぜ合わせて溶解することで伸線加工可能となるインゴットに仕上げることができた。



【2】イリジウムプローブピンの開発と評価

(2-1) イリジウムピンプローブカードの作製方法の確立

イリジウムピンプローブカード専用の治具及び作製方法を確立することができた。

- ① 専用の治具の完成
- ② 専用治具作製に当たり条件の確立

(2-2) イリジウムピンプローブカードの基礎評価

タングステンとイリジウムの基礎評価を行い、接触抵抗、傷痕を確認しイリジウムの優位性を確認した。

【2】顧客満足度評価

(3-1) 川下企業にて実際の半導体製造ウエハテストによる不良率の確認実証

本事業で評価できるイリジウムピンが完成しなかったため、評価を実施することができなかった。この確認実証においても、補完研究内でイリジウムピンを完成させ、評価を実施する。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

東邦電子株式会社

プローブカード事業部 坂本 栄進

〒861-2106 熊本県熊本市東区東野 2-10-23

TEL : 096-214-6512 FAX : 096-214-6510

E-mail : sakamoto@toho-inc.co.jp

第2章 本論

1. 基本技術の確立と評価

(1-1) 伸線加工プロセスにおける純イリジウムの最適加工条件の検討

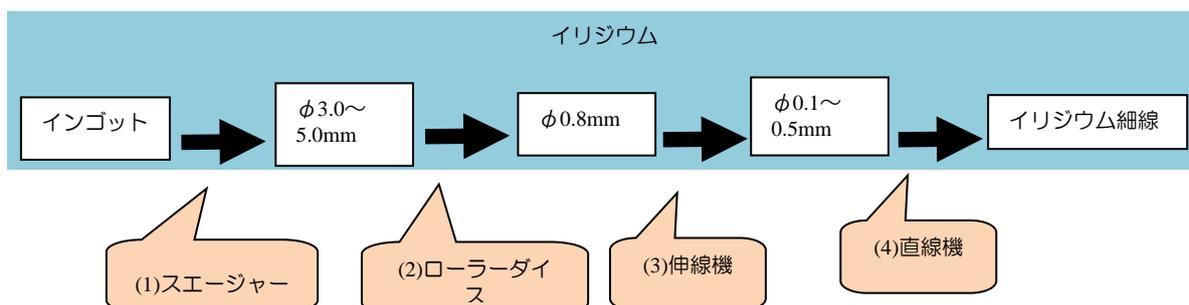
精製、インゴットにされた状態からワイヤに形成するプロセスの条件を確立する。

イリジウムの材料はこれまでの研究で展延性に乏しく、割れ、断線しやすいことが確認されているため、一般的な金属のように伸線することができない。専用のロールやスエージャーを用いてインゴットから $\phi 0.1 \sim 0.5\text{mm}$ までのワイヤを製造するイリジウム専用の伸線加工機と伸線加工条件が必要となる。



純イリジウム

図1 イリジウム細線の加工プロセス



通常の金属であれば、伸線用穴ダイスだけで連続伸線していくが、イリジウムの場合、これまでの検証で通常の伸線加工が通用しないことが分かっている。スエージャー、圧延ロール、伸線機の機器や治具の耐熱温度を考慮すると冷間・温間での加工となるが困難な場合熱間加工となる。冷間加工が可能な場合、金型素材として超合金を使用することができ、超合金は耐摩耗・耐衝撃に非常に優れているという特性がある。しかし、イリジウムは室温では展延性に乏しい材料のため、温間加工、熱間加工を行う場合はダイス・ロール・スエージャーの材質、形状をイリジウムに合わせたものにすることが最重要となる。

金型素材の比較

金型素材	加工温度	耐摩耗・耐衝撃	備考
超硬合金	冷間	非常に強い	数百種類存在の為選択肢が多い
焼結ダイヤモンド	冷間	超硬合金に比べ耐摩耗性は数十倍ある	細線機用ダイスは安価
バインダーレス超硬合金	温間(600℃以下)	やや強い	融点の低いコバルト量が少ない
モリブデン合金	熱間(600℃以上)	弱い	1550℃まで使用が可能

<熱処理について>

すべての工程において、温間、熱間伸線で誘導加熱装置とアニール装置を使用する。これらの装置は温度のコントロールが容易であり 2500℃まで加熱が可能であるが、今後の競争力を付けていくためには加工コストが低い冷間加工又は低温（200℃以下）での温間加工の実現を最終的に目指すものとしていたが、これまでの研究の中で 400℃以上、850℃以下での温度条件が望ましいと判断した。

(1-1-1) スエージャーによる伸線加工

研究結果としては先付機による伸線を取り入れることにより当初予定していた図1「イリジウム細線の加工プロセス」のスエージャー工程を削減することができ、目標値はφ3.0mm 以下、長さ 500mm 以上であるが、φ5.0mm であれば先付機での伸線が可能になるので、このプロセスでの目標は達成とした。

またスエージャー工程を削除できたことで簡略化とコスト削減が可能となった。

(1-1-2) ローラーダイス加工機による伸線加工

1-1-1 で作成したφ5.0mm のインゴットを先付機にて伸線する。ここでも冷間での加工は割れが発生したため、熱間での加工を行う。イリジウムの棒を高周波加熱装置で 1500℃に熱し、先付機で少しずつ細くしていく。実験の結果、ローラーダイスを用いなくとも、先付機だけで最終的にはφ3.5mm、長さ 500mm のイリジウムワイヤの伸線に成功した。

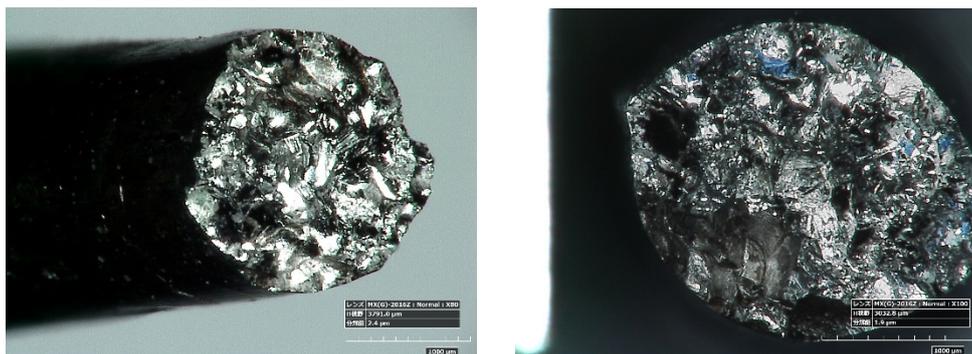
しかし、できあがったワイヤはとても脆く、ものによっては、手でわずかに曲げようとして力を入れただけで破断するものもある。そこで、ひずみを取り除くため、焼鈍しを行った。

1500℃で30分間の焼鈍しを行ったところ、ワイヤは非常に柔軟になり、簡単には折れなくなった。φ3.5mmであればダイスでの伸線が可能になるので、このプロセスでの目標は達成となる。

(1-1-3) 最終目標φ0.1mmの細線加工

1-1-2でできたφ3.5mmのイリジウムワイヤを伸線機にかけ、ダイスで伸線する。この時、冷間では割れてしまうので熱間での伸線を行った。

ところが、ワイヤをダイスで伸線しようとしたところ、ワイヤがダイスにかかった瞬間に断線し安定した伸線ができなかった。



折れたイリジウムの断面

温度やダイスのリダクションを変え、伸線を試みたがどれも結果は同じで、安定した伸線ができなかった。

イリジウムの伸線結果

温度／リダクション	5%	15%	25%
800℃	×		
1000℃	×		
1200℃	×	×	
1500℃	×	×	×

この実験で安定した伸線加工ができなかったため、既存製品のイリジウムピンとの比較を行った。既存製品のイリジウムピンをペンチで折ってみたところ、上記の断面とはまったく違うことが分かった。



ピンを折ったところ。繊維状に割れることが分かる。

最終的には $\phi 0.9$ mmまで伸線を行うことができたが、目標としている $\phi 0.1$ mmまでは伸線できていないため、引き続き補完研究として研究を行っていく。

(1-2) 純度の高いイリジウムインゴットの作製技術開発

イリジウムパウダーに添加剤の貴金属を入れ加工しやすい組成のイリジウムを作製する方向とし、アーク溶解炉を導入し、イリジウムパウダーからイリジウムインゴットを作成した。



アーク溶解炉



チャンバー内の銅ハース

イリジウムパウダーを溝に入れ、アークで溶かしていく。玉になってしまう等の問題が生じたが、ハースの形状や深さを変えることで、長細い形状のインゴットを作製することができた。

(1-3) 直進性を出すための矯正加工技術の確立

直線伸線機を購入し、熱間で伸線ができるような改造を施した。矯正加工が必要なイリジウムワイヤ径まで開発ができていないために、イリジウムでの検証は行っていないが、そのほかの材料で矯正加工を検証した結果、問題なく直進性を出すことができた。

2. イリジウムプローブピンの開発と評価

(2-1) イリジウムピンプローブカードの作製方法の確立

伸線加工、矯正加工においてできあがったイリジウムワイヤをプローブに形成し、プローブカードに組み込む際に極力負荷を与えないような方法で作製しなければならない。プローブカードは作り始めから、最終位置合わせまで、狙った座標から数十ミクロンずれる可能性がある。数十ミクロンずれることで、そのずれた量の針を動かし、負荷をかけてしまうことになるため、割れや折れの起点を作ってしまう可能性がある。

そこで、イリジウムプローブ専用のプローブカード治具を作製し、最終位置合わせで極力動かさなくてもいいような作製治具と作製方法を確立させる。高温で硬化させるため、粘着付のフィルムでは高温化に耐えられず、位置が動いてしまうことが分かっている。またフィルムを貼りつける土台も加工しやすいベーク材（紙を圧縮した素材）を使用しているため、熱の影響を受けやすい。熱硬化する際に動かないようにするために熱に強いセラミックを使用した治具の作製を検討した結果、図2のようにセラミックの板に微細穴を開け、土台となるALの板にドッキングさせる方法を検証した治具と図3のALの板に直接微細穴を開けた構造の治具では、図3の治具が大きな位置ズレも生じることなく、非常に精度の良いリングを作製することができた。

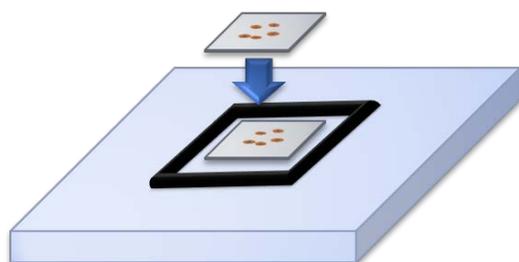


図2: セラミックに穴開けするタイプ

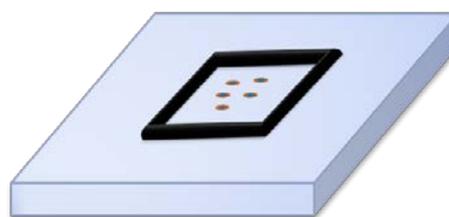


図3: AL板に穴開けするタイプ

写真1のようにAL板タイプに、直接PAD座標値に穴を開け、そこに針を並べる構造となる。

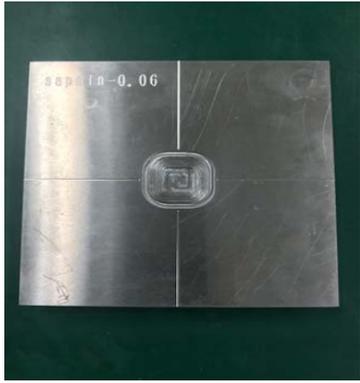


写真1:AL 板タイプ全体

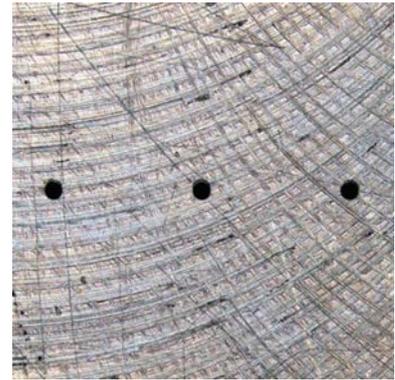
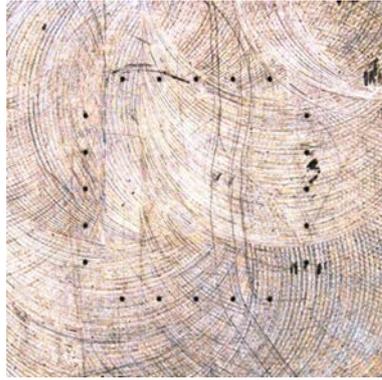


写真2、3:AL 板タイプ穴部拡大

(2-2) イリジウムピンプローブカードの基礎評価

事前の研究で、全ての項目で高性能と判明しているイリジウムプローブカードだが、本研究で開発されたイリジウムピンが同等の性能であるか確認する必要がある。プローブカードとしてできあがった製品において、接触抵抗、耐久テスト、耐電流テスト、アルミ層の付着状況を、仮のウエハにコンタクトさせ性能（基礎データ）の確認を行う。

東邦電子では開発されたイリジウムピンとの比較を行うため、従来のタングステンピンを用いてプローブカードの基礎データとなる接触抵抗値、耐久テスト、耐電流テスト、アルミ層付着状況等のデータを取得する。また本研究で作製したイリジウムのピンも同等の評価を行い、基礎データのフィードバックを図る。

基本パラメータ

材質	針径 (mm)	先端径 (μm)	先端長 (μm)	入射角 ($^{\circ}$)	実測針圧 (g)		傷パラメータ	
					OD50	OD100	長さ	深さ
タングステン	0.2	33	300	5	6	12	49	1.4
イリジウム (従来品)	0.2	32	300	5	6	12	55	1.5

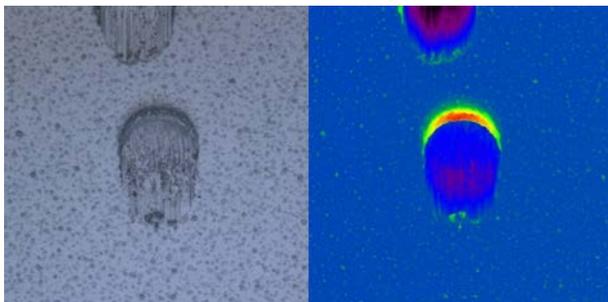


写真 1:タングステン傷跡

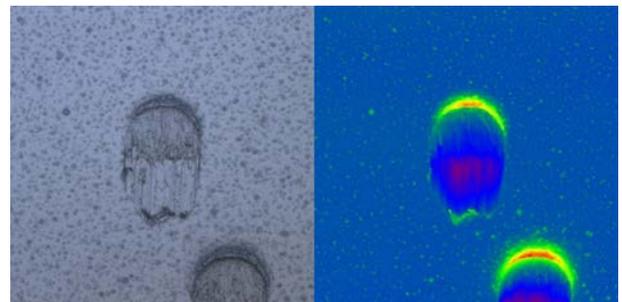


写真 2:イリジウム傷跡

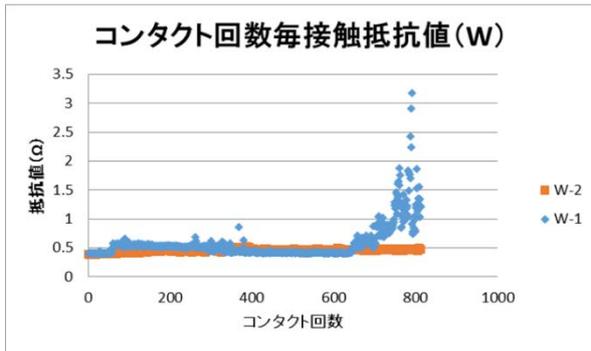


図 1: タングステン接触抵抗 (対 AL)

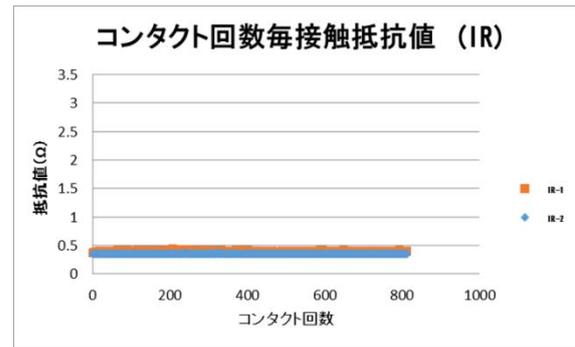


図 2: イリジウム接触抵抗 (対 AL)

通常使用されているタングステンと従来使用しているイリジウムの性能を比較した際、接触抵抗と針先ごみ付着状況に差異が確認できた。従来のイリジウムは、性能的には問題なく非常にいい特性も持っているが、耐久性に欠けているため、このプロジェクトで作製しているイリジウムを使用して今回と同様の特性であれば問題ないと判断できる指標となる。本来であれば、本プロジェクトで開発したイリジウムの性能評価まで行いたかったが、開発に時間がかかっており、この評価も補完研究中にできあがり次第性能評価を実施する。

(2-3) 顧客満足度評価

川下企業にて実際の半導体製造ウエハテストによる不良率の確認・実証

本研究で完成したイリジウムピンプローブカードを実際の半導体ウエハテストに使用し検証する。

アドバイザーとして本研究連携体に参加しているエイブリック株式会社（川下企業）の工場、量産ラインにイリジウムピンプローブカードを使用してもらい、不良率やプローブカードの寿命等を考察する。

測定内容としては、オープンショート、電流値測定、漏れ電流を行うが、その他にも通常テストで必要となる項目をテストし比較を行う。

現状はまだイリジウムピンができあがっていないため、補完研究でできあがり次第評価を実施する。

最終章 全体総括

3-1 研究成果のまとめ

本研究開発により、以下の成果が得られた。

【1】伸線加工プロセスにおける純イリジウムの最適加工条件の検討

φ0.9 mmまでの伸線加工プロセスは確立できたが、それ以下の線形にする場合は材料（イリジウムインゴット）の品質UPが必須となる。

イリジウム伸線においての、伸線温度、伸線速度、リダクションについては、現状の0.9 mmまでは確立できた。

【2】イリジウムピンプローブカードの作製方法の確立

通常のプロブカード作製プロセスとは別のプロセスを構築することができた。従来の方法であれば、作製途中でのバラツキは数十μmとなっていたが、本研究で開発した治具を使用して作製すると5μm以下のバラツキで抑えることができ、非常に精度のいいプローブカードを作製することが可能となった。

【3】川下企業にて実際の半導体製造ウエハテストによる不良率の確認・実証

川下企業でのテスト内容等評価項目を策定した。イリジウムピンが完成次第、プローブカードに組み込み実テスト評価を実施する。

3-2 研究開発後の課題

本研究開発により、伸線加工プロセスの一部とプローブカード作製プロセスは目標を達成したが、イリジウムワイヤ（ピン）については、完成まで至っていない。

そのことで、川下企業での評価もできていない状態となるため、早急にイリジウムの伸線加工を本来の目標のφ0.1 mmまで開発する必要がある。

またφ0.1 mmまでの伸線加工と平行して、プローブピンとして使用できる線径まで到達した時点でプローブとしての加工を行う。

これらが完成するまでは、補完研究を続け定期的な会議も含め、共有を行っていく。

3-3 事業化展開について

本研究開発のイリジウム伸線においては、大きな遅れが出ているため、早急に挽回できるよう今後も研究開発を進めていく。

また本研究開発にて得た技術が、派生としてその他の特殊な貴金属/金属の伸線加工技術として、様々なメーカーから引き合いが来ており、ビジネス展開へと発展しつつある。また本研究開発で得たプローブカード作製プロセスにおいても、高精度が必要とさせるプローブカードの作製に展開することで、新たな顧客の獲得など市場の拡大ができています。