

平成26年度
ものづくり中小企業・小規模事業者等連携事業創造促進事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「次世代高周波半導体デバイスに対応する
高性能コンタクトプローブの製品開発」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者 近畿経済産業局
委託先 公益財団法人京都高度技術研究所

目次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	3
1-2-1 研究組織	3
1-2-2 管理体制	3
1-2-3 管理員及び研究員	5
1-3 成果概要	7
1-3-1 高周波対応電鍍浴の開発	7
1-3-2 高周波対応電鍍プロセスの開発	7
1-3-3 高周波に好適なコンタクトプローブ構造及び試作評価開発	7
1-3-4 量産化プロセスの確立	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	9
2-1 高周波対応電鍍浴の開発	9
2-1-1 高導電率を有する新規銅系電鍍浴組成の確立	9
2-2 高周波対応電鍍プロセスの開発	11
2-2-1 電鍍プロセスの最適化条件の確立	11
2-2-2 高周波特性の評価・確立	13
2-3 高周波に好適なコンタクトプローブ構造及び試作評価開発	13
2-3-1 高周波に好適なコンタクトプローブ構造の開発	13
2-3-2 コンタクトプローブ試作評価開発	14
2-4 量産化プロセスの確立	15
2-4-1 量産化プロセスの開発	15
2-4-2 量産化プロセスに対応した電鍍プロセス管理技術の確立	17
2-4-3 量産化プロセス試作品の評価	19
最終章 全体総括	22
3-1 研究開発の成果	22
3-2 事業化への取り組み	23

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

コンタクトプローブは半導体デバイスの量産プロセスにおける最終の品質検査(全数検査)で利用される消耗品で、半導体産業の必需品となっている。

近年、情報通信のブロードバンド(高速大容量)化が急速に進み、情報通信システムを支える半導体デバイスの高周波化がますます求められている。したがって、品質検査のコンタクトプローブにおいても高周波帯域への対応が要求されているが、現在は、その上限が 10GHz であるため半導体の高周波帯域にコンタクトプローブが追従せず、検査結果を補正し、半導体デバイスの出荷基準の最終判定を行っている。検査結果の補正值を最終判定基準とするため、品質管理の判定基準を厳しくせざるを得ないため、歩留まりの低下が課題となっている。そこで、本研究開発では次世代高周波半導体デバイスに対応可能な 40GHz の高周波帯域まで絶対的に高周波特性評価可能となり、さらに他の電気特性が従来と同等以上の半導体最終検査用高性能コンタクトプローブの製品開発を行う。

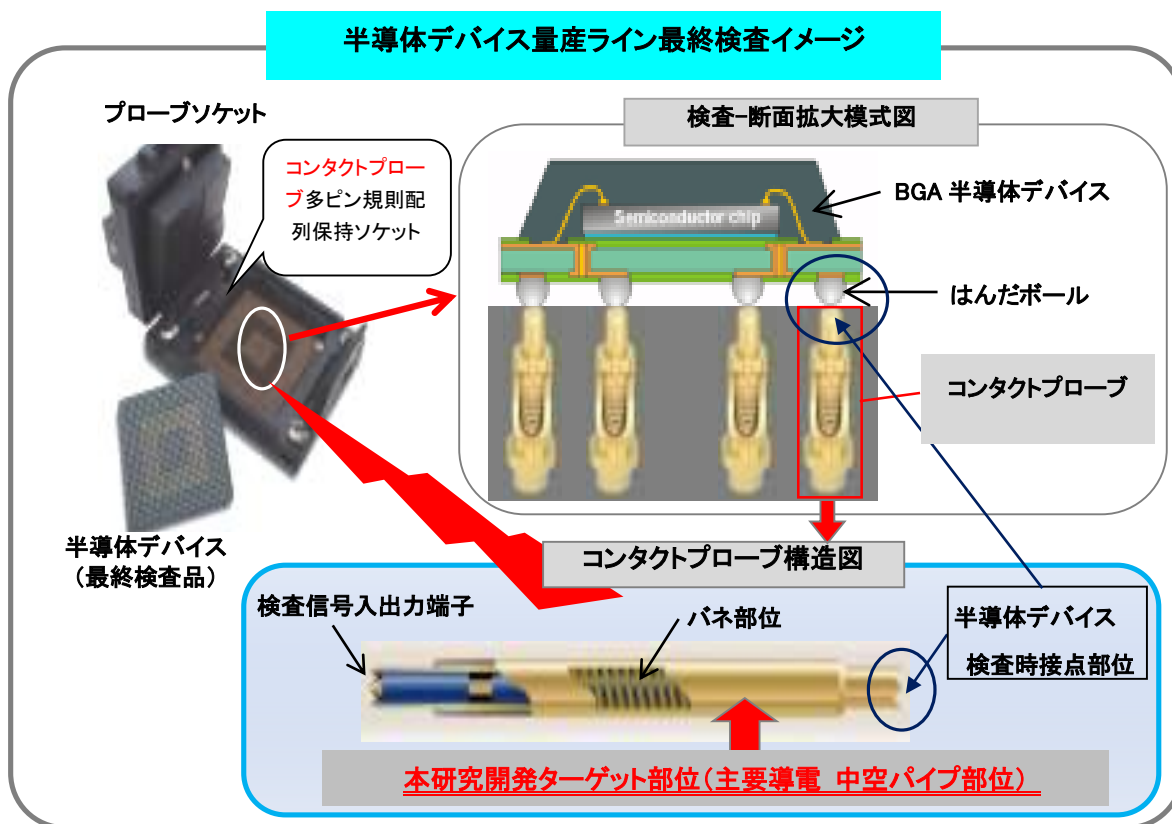


図 1-1. 半導体デバイス量産ライン最終検査イメージ図

従来技術と新規技術の比較

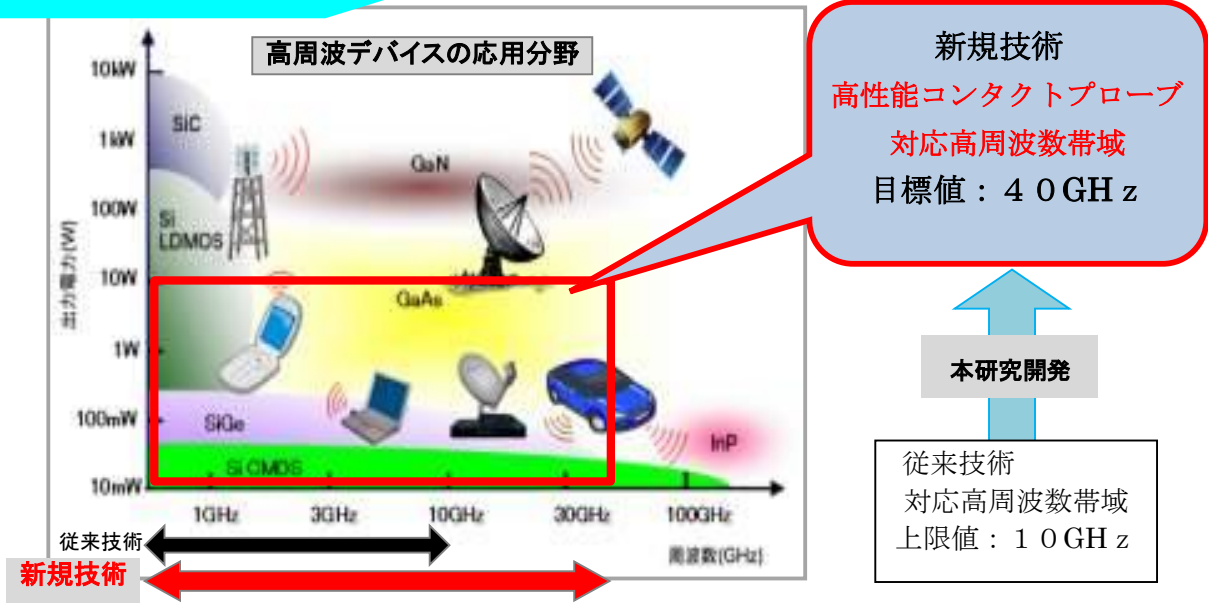


図1-2. 従来技術と新規技術の比較図

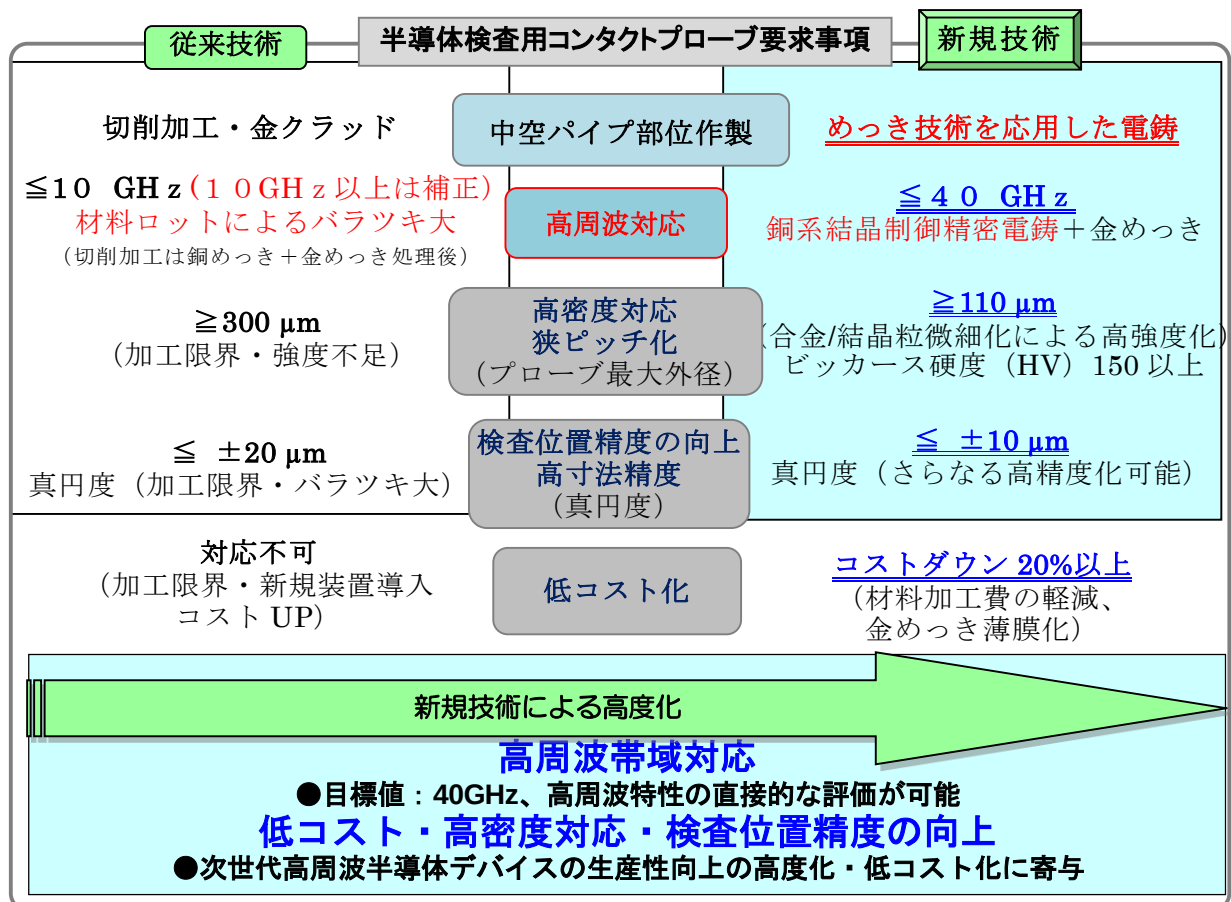
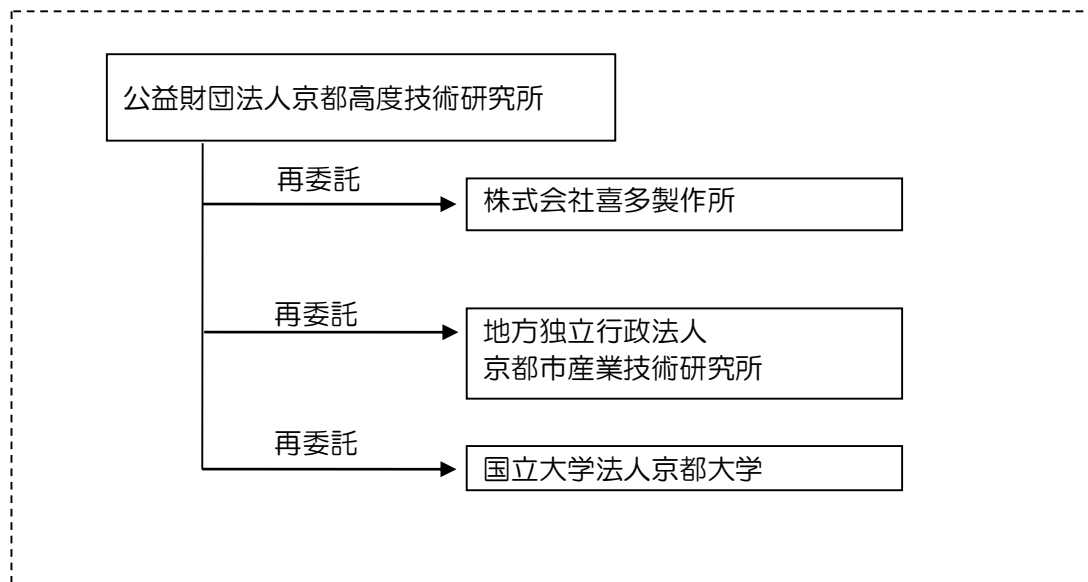


図1-3. 半導体検査用コンタクトプローブ要求事項

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織

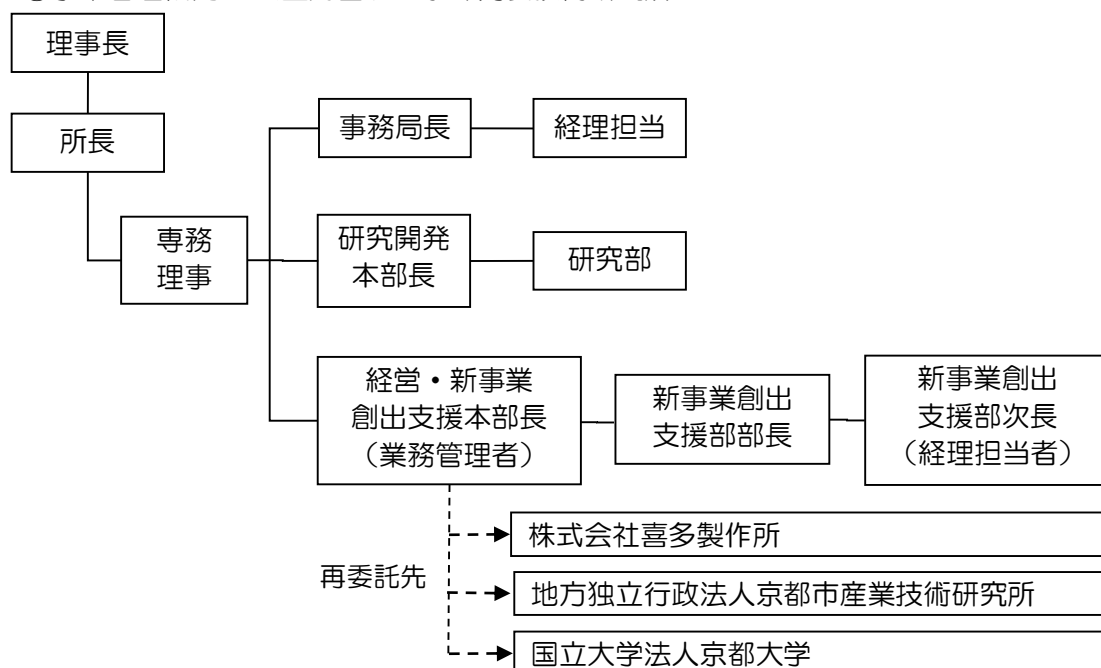


総括研究代表者（PL）
 所属：株式会社喜多製作所
 役職：課長
 氏名：中林 義孝

副総括研究代表者（SL）
 所属：地方独立行政法人
 京都市産業技術研究所
 役職：研究主幹
 氏名：中村 俊博

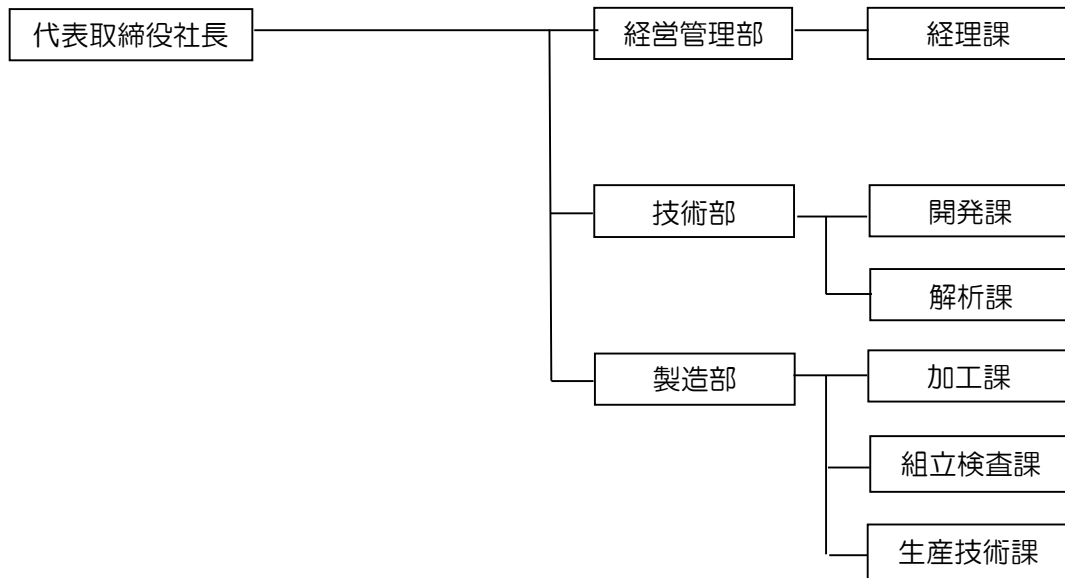
1-2-2 管理体制

①事業管理機関：公益財団法人京都高度技術研究所

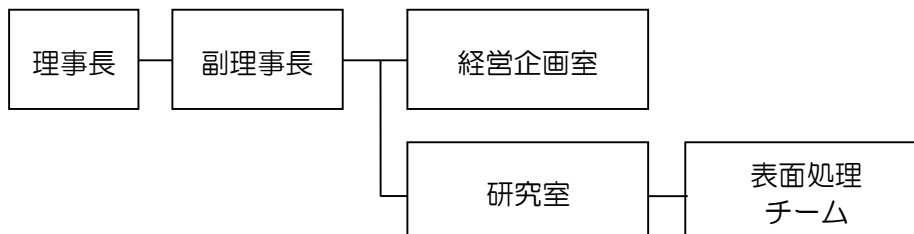


②（再委託先）

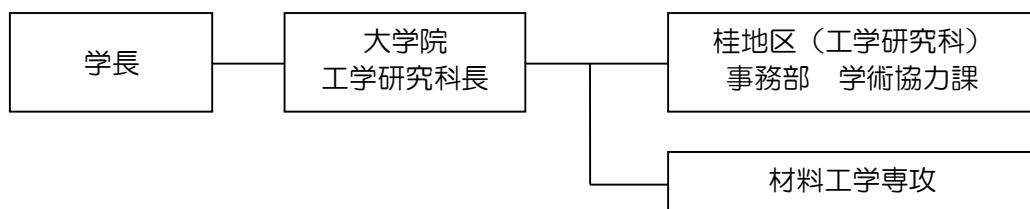
株式会社喜多製作所



地方独立行政法人京都市産業技術研究所



国立大学法人京都大学



1-2-3 管理員及び研究員

【事業管理機関】

公益財団法人京都高度技術研究所

① 管理員

氏 名	所属・役職
孝本 浩基	経営・新事業創出支援本部長
山口 敏	新事業創出支援部・次長
石川 匡美	新事業創出支援部

② 研究員

氏 名	所属・役職
篠原 長政	新事業創出支援部・担当部長

【再委託先】

株式会社喜多製作所

氏 名	所属・役職
中林 義孝	製造部生産技術課 課長
杉田 純	技術部・執行役員
高橋 岳	製造部・執行役員
浮城 利行	製造部加工課・課長
藤本 義雄	製造部加工課
吉本 純	製造部加工課
木村 吉秀	技術部開発課
神藤 彰布	技術部開発課
松崎 匡一	技術部開発課
宇津 大地	技術部解析課
浅田 真孝	製造部組立検査課・課長
小田 貴宣	製造部組立検査課
南 武利	製造部組立検査課

地方独立行政法人京都市産業技術研究所

氏 名	所属・役職
中村 俊博	表面処理チーム・研究主幹
永山 富男	表面処理チーム・主席研究員
山本 貴代	表面処理チーム・研究員
小谷 有理子	表面処理チーム・研究員

国立大学法人京都大学

氏 名	所属・役職
邑瀬 邦明	大学院工学研究科 材料工学専攻・教授
北田 敦	大学院工学研究科 材料工学専攻・助教

1-2-4. アドバイザー

氏 名	所属・役職
板谷 太郎 久米 英司	独立行政法人産業技術総合研究所

1-3 成果概要

1-3-1 高周波対応電鍍浴の開発

(目標)

目標値：導電率（純銅比）70%以上の電鍍浴組成の確立

(達成状況)

種々の微量添加剤による検討を行った結果、トレードオフの関係にある導電率（純銅比）と硬度を両立し、コンタクトプローブとして必要なビッカース硬度150HV以上の機械的強度及び導電率（純銅比 70%以上）を実現する好適な添加剤を見出し、高導電率・高硬度を有する新規銅系電鍍浴組成を確立することにより、技術目標値を達成した。

1-3-2 高周波対応電鍍プロセスの開発

(目標)

目標値：高周波特性（40GHz以上）、パイプ外径（ $\phi 110\mu\text{m}$ 以下）、真円度（ $\pm 10\mu\text{m}$ 以下）、ビッカース硬度（150HV以上）、電鍍プロセスコスト（現行品の20%以上ダウン）

(達成状況)

各めっき条件及び電鍍プロセスの最適化を図ることにより本事業目標値をすべて達成した。

1-3-3 高周波に好適なコンタクトプローブ構造及び試作評価開発

(目標)

目標値：高周波特性 40GHz以上

(達成状況)

上記「高周波対応電鍍プロセスの開発」で得られたプロセスを適用し、コンタクトプローブ試作と評価を検討した結果、目標値を達成できた。

1-3-4 量産化プロセスの確立

(目標)

目標値：コスト（現行品の20%以上ダウン）、高周波特性（40GHz以上）、パイプ外径（ $110\mu\text{m}$ 以下）、真円度（ $\pm 10\mu\text{m}$ 以下）、ビッカース硬度（150HV以上）

(達成状況)

コスト軽減に貢献できる電鍍量産化プロセス生産設備の検討、量産化プロセス試作品の実証試験、安定した電鍍膜が量産化できる電鍍プロセス管理技術を確立することにより、目標値をすべて達成した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人 京都高度技術研究所

経営・新事業創出支援本部長 孝本 浩基

〒600-8813 京都市下京区中堂寺南町 134 番地

TEL: 075-315-3625 (代表) FAX: 075-315-3614

E-mail: komo@astem.or.jp

第2章 本論

本研究開発では、次世代高周波半導体デバイスに対応可能な半導体最終検査用高性能コンタクトプローブの試作開発を行うことを目的とした。

2-1 高周波対応電鍍浴の開発

コンタクトプローブの主要導電部となるパイプ形状部位の高周波化対応を目的として、新規組織制御型の銅系精密電鍍プロセスを構築するために、新規銅系電鍍浴の開発を行う。開発指針としてめっき皮膜特性の導電率に着目し、コンタクトプローブの機械的強度を考慮した上で、導電率（純銅比）70%以上のめっき皮膜が得られる銅系電鍍浴組成を確立する。

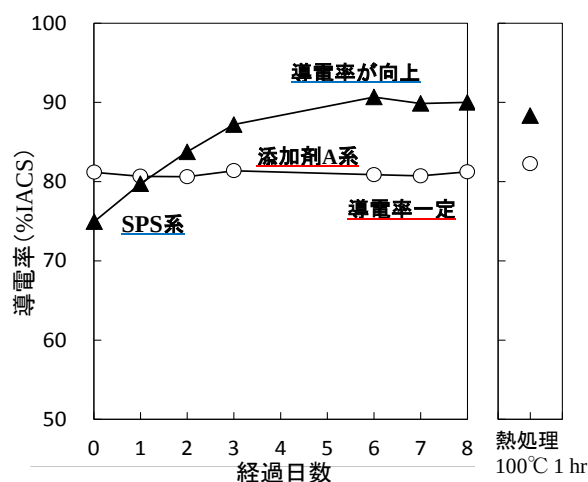
本研究開発では、種々の微量添加剤の適用による検討を行い、トレードオフの関係にある導電率（純銅比）と硬度を両立し、コンタクトプローブとして必要なビッカース硬度 150Hv 以上の機械的強度及び導電率（純銅比 70%以上）を実現する好適な添加剤を見出し、高導電率・高硬度を有する新規銅系電鍍浴組成を確立することにより、最終技術目標値を達成した。

2-1-1 高導電率を有する新規銅系電鍍浴組成の確立

一般的に見て、導電性と硬度はトレードオフの関係にあり、さらに組成が銅100%に近い銅めっき皮膜においては、室温再結晶により硬度が低下することが知られている。そのため、電析直後の特性評価だけでは不十分で、その室温経時変化の影響について検討することが必須である。

高導電性電鍍浴の確立を目指し、種々の添加剤について検討した結果、添加剤 A を硫酸銅基本浴に添加することで、比較的高い導電性と硬度を有する皮膜が得られることが判明した。そこで、得られた皮膜の導電率に及ぼす室温経時安定性を評価した結果、一般的な銅微細配線に適用されていて高導電率を有するSPS系添加剤の比較試料と、ほぼ同等な高い導電率 80%IACS を有することがわかった。室温放置 8 日後の試料に対して加速劣化試験としてさらに 100℃ 1 時間の熱処理を施しても、その導電率は電析直後と同等であり、高い導電率を維持できることが判明した（図2-1）。

高導電性電鍍浴の開発－導電率



添加剤Aは経時安定性に優れ、導電率80%以上を有する

図2－1. 導電率の経時安定性

硬度－結晶子サイズ

回折パターンとシェラーの式より結晶子サイズを算出(シェラー定数:0.9)

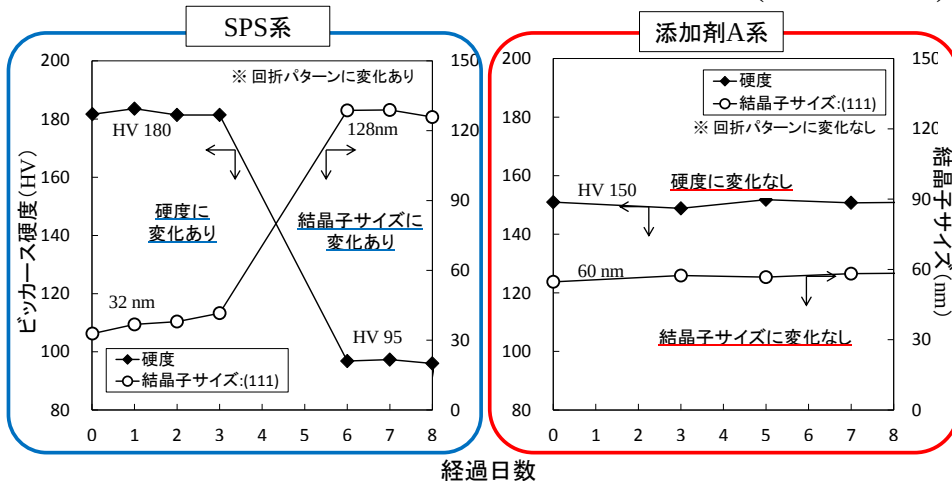


図2－2. 硬度－結晶子サイズの経時安定性

添加剤 A を硫酸銅基本浴に添加することで高い硬度（ピッカース硬度 150HV、基本浴の約 1.4 倍）と良好な導電率（IACS 比 約 80%）を有する皮膜が得られるとともに、室温経過（～8 日間）及び加速劣化試験（熱処理 100℃ 1 時間）後においても硬度並びに導電率は電析直後と同等で、極めて経時安定性に優れた皮膜が得られることが判明した。

添加剤 A を適用することで、さらなる高導電率化ならびに硬度を有する新規銅系電鍍浴組成を確立することができた。

2-2 高周波対応電鍍プロセスの開発

上記「2-1 高周波対応電鍍浴の開発」で得られためっき皮膜における高周波特性に好適な結晶組織等を見出すための、電鍍電解条件を検討した。

本研究開発では、電鍍の型となる芯線の前処理条件・各めっき条件及び電鍍プロセスの最適化、株式会社喜多製作所（主たる研究実施場所）に導入した量産対応型電鍍試作装置である細線試験器を用いた電鍍条件の検討を行い、好適な前処理条件を確立した。また、高周波特性を評価するための治具等の設計開発を行い、40GHz 以上の高周波特性を評価可能とする手法を確立することができた。

高周波対応、高密度対応・狭ピッチ化（極細プローブ外径）、検査位置精度の向上・高寸法精度、低コスト化に対応するため、下記の技術目標値が得られる高周波対応電鍍プロセス（均一電着性・高周波優位構造プロセス・量産化プロセス・コスト低減プロセス確立）の研究開発を行い、目標値を達成した。

目標値：高周波特性（40GHz 以上）、パイプ外径（ $\phi 110\mu\text{m}$ 以下）、真円度（ $\pm 10\mu\text{m}$ 以下）、ピッカース硬度（150HV 以上）、電鍍プロセスコスト（現行品の 20%以上ダウン）

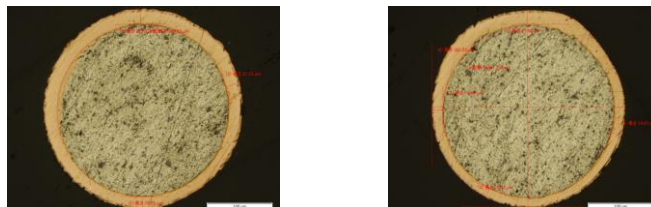
2-2-1 電鍍プロセスの最適化条件の確立

前述のとおり、好適な微量添加剤を見出すことにより高導電率かつ高硬度 150HV 以上を達成できた。そこで、コンタクトプローブの検査位置精度の向上、高寸法精度化が図れる、すなわち好適な真円度を達成するための電鍍プロセスの最適化条件について検討した。

好適な真円度を達成するためには、めっき浴の均一電着性が重要である。均一電着性は、電流密度・攪拌・めっきプロセスに依存することから、特に、これらの条件について種々検討を行った。本研究開発の為に、喜多製作所に設置した細線試験機を用いて、電鍍プロセスの最適化を図った結果、好適な真円度が得られることがわかった（図 2-3）。また、真円度について、芯線を除去したパイプ形状の状態で評価した結果、真円度は $\pm 5\mu\text{m}$ 以下であり、技術目標値：真円度 $\pm 10\mu\text{m}$ 以下を達成できた（図 2-4）。

均一電着性(試作ライン-断面写真)

➤ H25年度 ビーカー



➤ H26年度 試作ライン

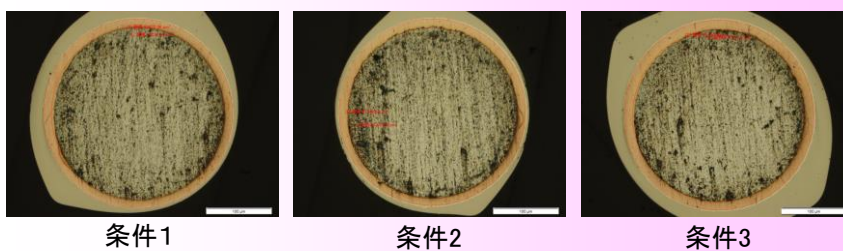
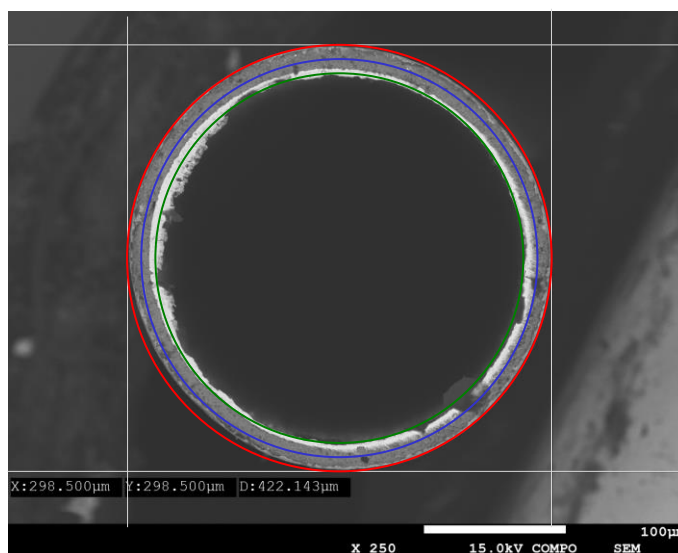


図 2－3．めっき厚さ分布に及ぼす電解条件の影響

真円度



技術目標値: 真円度 $\pm 10\mu$ m以下を達成！

図 2－4．真円度—試作ライン

2-2-2 高周波特性の評価・確立

本研究開発では、高周波特性の評価手法について更なる検討を重ねた結果、高周波特性について再現性よく効率的に測定出来る評価手法を確立出来た。更に、測定に用いる治具について、最良な測定を実施することが出来る材質・構造が明確となり、測定の最適化を図ることがことにより、高周波特性の評価手法を確立することが出来た。

次に、高周波測定時のノイズを除去する手法を確立した結果、ノイズを確実に除去することが可能となり、測定結果をより確実に評価できるようになり、高周波特性は、40GHz以上となり、技術目標値を達成することが出来た。（図2-5）

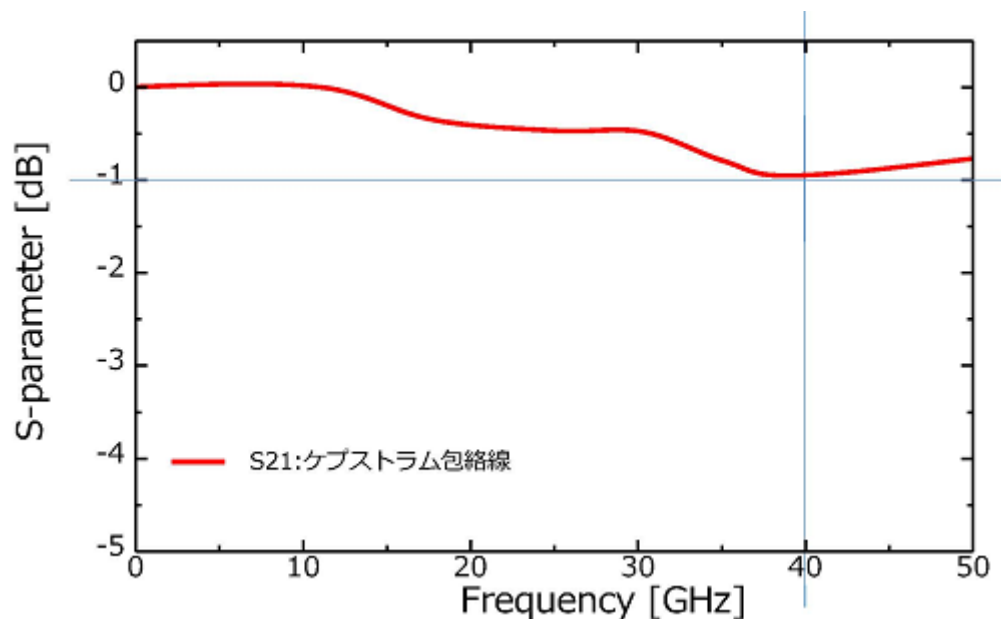


図2-5.コンタクトプローブの高周波測定結果

2-3 高周波に好適なコンタクトプローブ構造及び試作評価開発

2-3-1 高周波に好適なコンタクトプローブ構造の開発

コンタクトプローブ構造の開発としては、コンタクトプローブ使用時温度要求（150℃）に耐え得て、かつ、抵抗率が安定することで、コンタクトプローブの品質を確保することである。

2-3-1-1 高周波に好適なコンタクトプローブ構造の検討

本研究開発では、銅電鍍めっき液を使用して、高周波に好適なコンタクトプローブ構造を実験により、導いた。コンタクトプローブ使用に関しての品質安定・電気特性安定などの観点より検討し、銅電鍍を主とした積層めっきによる電鍍構造を確立した。

コンタクトプローブの使用時の耐熱温度として、コンタクトプローブ使用時温度要求150℃での品質確保が必要となる。このことより、コンタクトプローブが150℃で熱変化しないことを確立した。

コンタクトプローブ構造の検討を実施した結果、高周波に好適なコンタクトプローブ構造の研究開発目標は達成した。

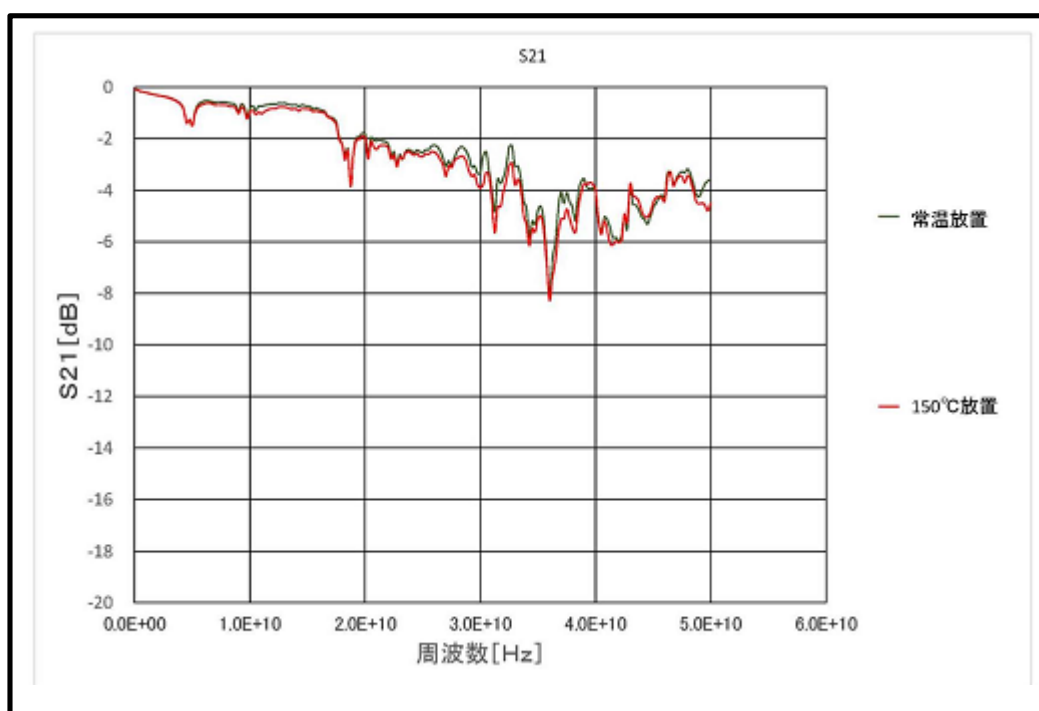


図2-6 常温放置と150℃放置コンタクトプローブの高周波特性比較

2-3-2 コンタクトプローブ試作評価開発

2-3-2-1 高周波に好適な銅電鍍コンタクトプローブ試作の検討

本研究開発では、株式会社喜多製作所（主たる研究実施場所）に導入した量産対応型電鍍試作装置である細線試験器を用いた電鍍試作にて試作開発を実施し、好適な試作条件の確立と試作条件よりの量産化条件を得ることが出来た。

主な研究開発内容として、量産化対応電鍍パイプの電鍍条件開発を実施。開発成果として、同一種の試作品について、同一精度で出来る条件及び手法を確立することが出来た。

2-3-2-2 高周波に好適な加工部材試作の開発

本研究開発では、コンタクトプローブ構成部品であるパイプ部以外の加工部品で、パイプ同様に高周波特性に好適な表面の面粗度の向上が必要となることが判明した。加工金属部品の面粗度向上のため、面粗処理と粗処理後のめっきプロセスについて量産試作時に研究開発を行い、成果として、好適な試作条件の確立と試作条件より、量産化条件を得ることが出来た。

研究開発成果として、同一種の試作品について繰り返し試作が、同一精度で出来る条件及び手法を確立することが出来た。

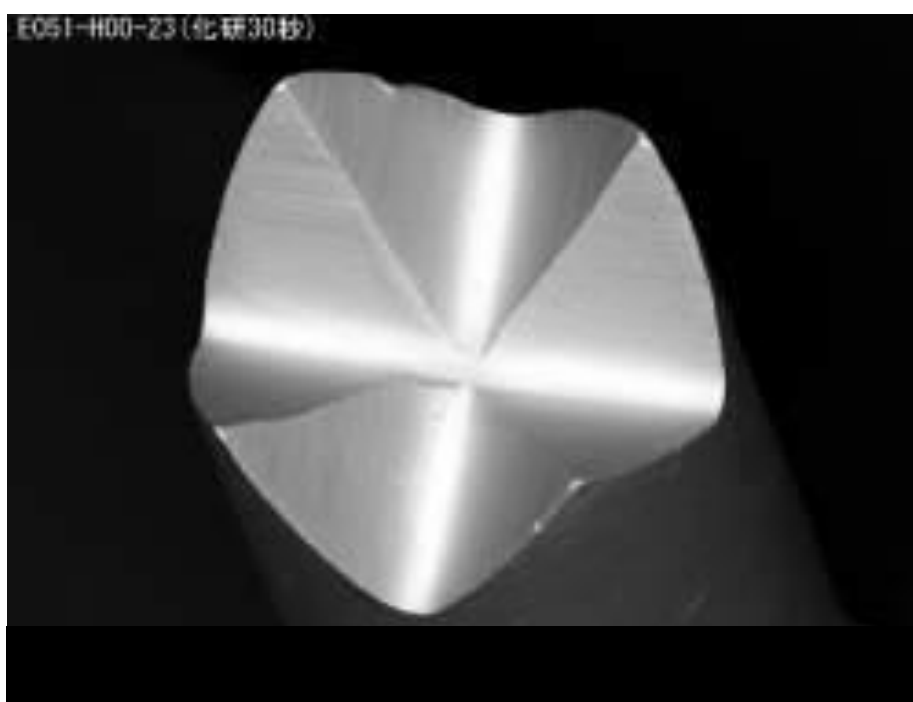


写真2-1. 平成26年度研究成果のパイプ部以外加工部品面粗度写真

2-4 量産化プロセスの確立

- ・目標値： コスト（現行品の 20%以上ダウン）、高周波特性（40GHz 以上）、パイプ外径（110 μ m以下）、真円度（ $\pm 10\mu$ m以下）、ビッカース硬度（150Hv 以上）

2-4-1 量産化プロセスの開発

2-4-1-1 真円度向上量産化技術の確立

本研究開発では、安定した品質の電鍍パイプの真円度を株式会社喜多製作所（主たる研究実施場所）に導入した量産対応型電鍍試作装置である細線試験器を用いた電鍍試作にて、品

質向上で量産化することをめざし、好適な真円度試作条件を確立し、プロセス条件を確立したことにより、量産化条件を得ることが出来た。

研究開発結果として、真円度は $\pm 5 \mu\text{m}$ 未満であり、技術目標値を達成できた（写真２－２）。

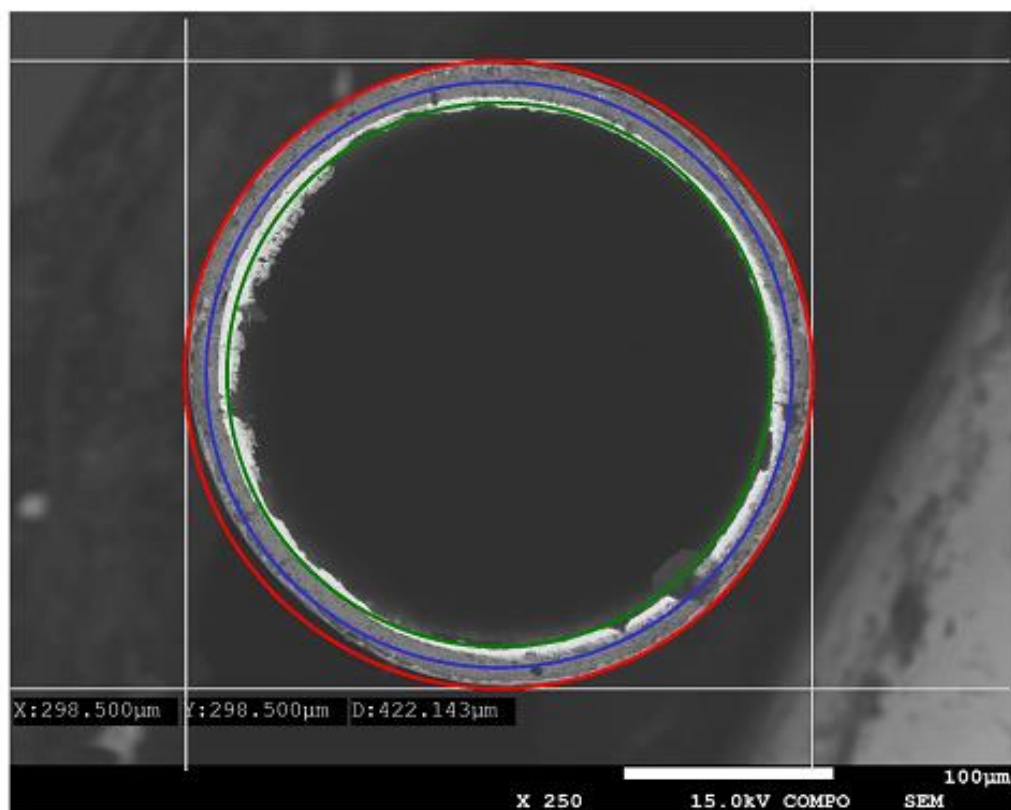


写真２－２

２－４－１－２ 細系コンタクトプローブ製造技術の確立

本研究開発では、電鍍用芯線の前処理条件、電鍍パイプの電鍍条件を確立するプロセスについて、株式会社喜多製作所に導入した量産対応型電鍍試作装置である細線試験器を用いた電鍍試作にて、細系パイプの量産化開発を実施し、好適な量産化条件を得ることが出来、パイプ外径 $\phi 110 \mu\text{m}$ 以下（写真２－３）の技術目標値を達成できた。

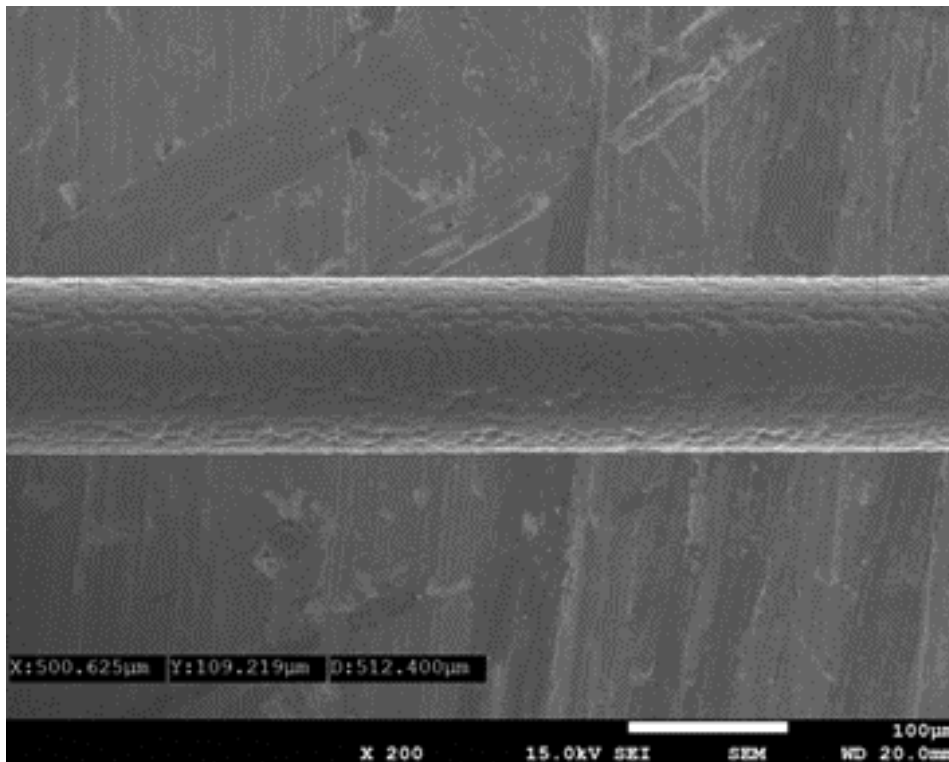


写真2－3．細系パイプ外観写真

2－4－2 量産化プロセスに対応した電鍍プロセス管理技術の確立

本研究開発では、上記「2－1 高周波対応電鍍浴の開発」、「2－2 高周波対応電鍍プロセスの開発」で得られた電鍍膜と比較検討し、安定した電鍍膜が量産化できる電鍍プロセス管理技術を確立した。

硬度に及ぼす室温経時変化は、Cu めっき浴中の Cu イオン及び硫酸濃度に大きく依存することが判明したことから、量産化プロセスに対応しためっき浴の加速電解試験を行い、建浴直後と電解試験後の導電率及び硬度の影響を検討した。

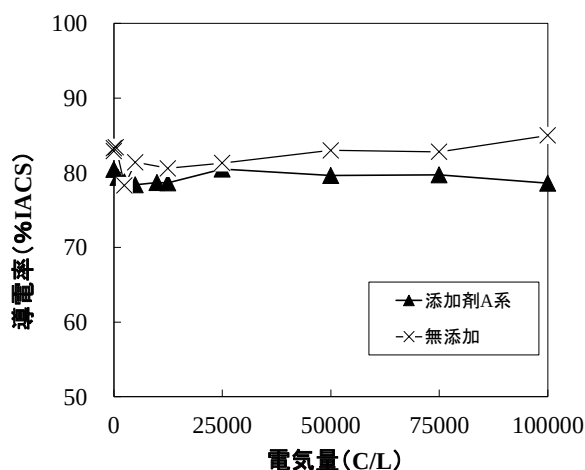
試作ライン約 3 万回めっき後に相当する電解試験（浴負荷）後においても建浴直後と同程度の良好な導電率 80%IACS、及び硬度 150Hv を維持できることが判明した（図2－7、2－8）。さらに、硬度に及ぼす室温経時変化の影響について、加速劣化試験として熱処理を行い評価した結果、300℃の熱処理後においても建浴直後と同程度の硬度 150Hv を維持できることが判明した（図2－8）。

また、めっき浴の成分は、簡便な従来の銅めっきの滴定法が利用できること、添加剤の補給は電気量（電解時間）で管理できることがわかった。

以上のことから、添加剤 A 系のめっき浴は、めっき浴負荷に対して非常に優れており、硬度の経時安定性については熱処理による加速劣化試験により品質管理技術の効率化が図れるとともに、比較的簡便なめっき浴管理技術により、安定した電鍍膜が量産化できることが判明した。

これらのことより、コンタクトプローブの仕様を満足することが明確になり、量産化プロセスに対応した電鍍プロセス管理技術を確立した。

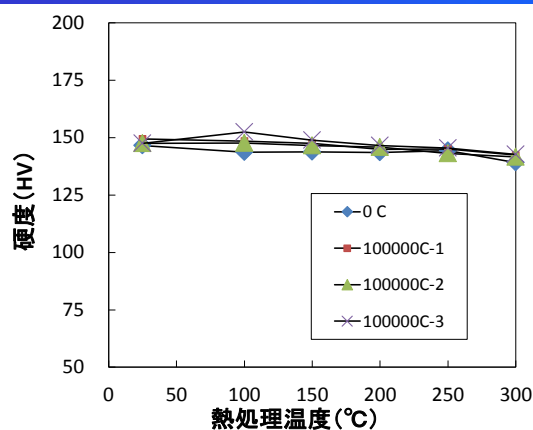
量産に対応した加速電解試験



試作ライン約3万回めっき後に相当する浴負荷後においても建浴直後と同程度の良好な導電性を維持できることが判明した。

図 2 - 7. 導電率に及ぼす加速電解試験の影響

加速電解試験＋熱処理(添加剤A系)



試作ライン約3万回めっき後に相当する浴負荷後、さらに熱処理後において若干の硬度低下が認められるものの建浴直後と同程度の硬度を維持できることが判明した。

図 2 - 8. 硬度に及ぼす加速電解試験・熱処理の影響

2-4-3 量産化プロセス試作品の評価

2-4-3-1 コンタクトプローブ製造コスト低減の確立

本研究開発では、電鍍芯線の品質安定・電鍍プロセスの量産化条件確立・電鍍浴の技術確立・電鍍浴の品質安定確立について株式会社喜多製作所（主たる研究実施場所）に導入した量産対応型電鍍試作装置を用いて実現したことにより、製造コストが、現行のコンタクトプローブ対比で25%低減し、技術目標値である製造コスト20%以上ダウンを達成した。

コスト計算については、現行技術で製産出来る近似品の価格を100%として、技術目標達成した、コンタクトプローブの製造コストから、コストダウン率を計算した。

2-4-3-2 40GHz高周波対応コンタクトプローブの確立

2-4-2までの全ての技術開発及び技術目標を達成したことにより、 $\phi 110\mu\text{m}$ 外形のコンタクトプローブにて、技術目標値40GHz以上を達成した。

以下にコンタクトプローブ写真（写真2-4）と高周波特性図（図2-9、2-10）を示す。

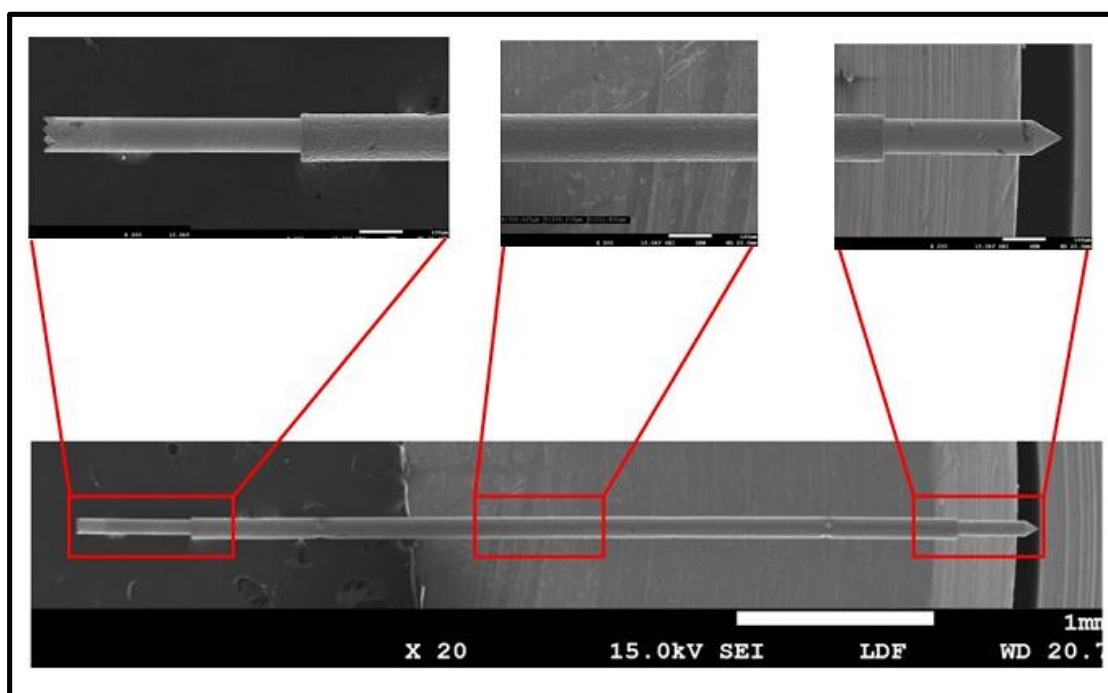


写真2-4.平成26年度技術目標達成成果コンタクトプローブ写真

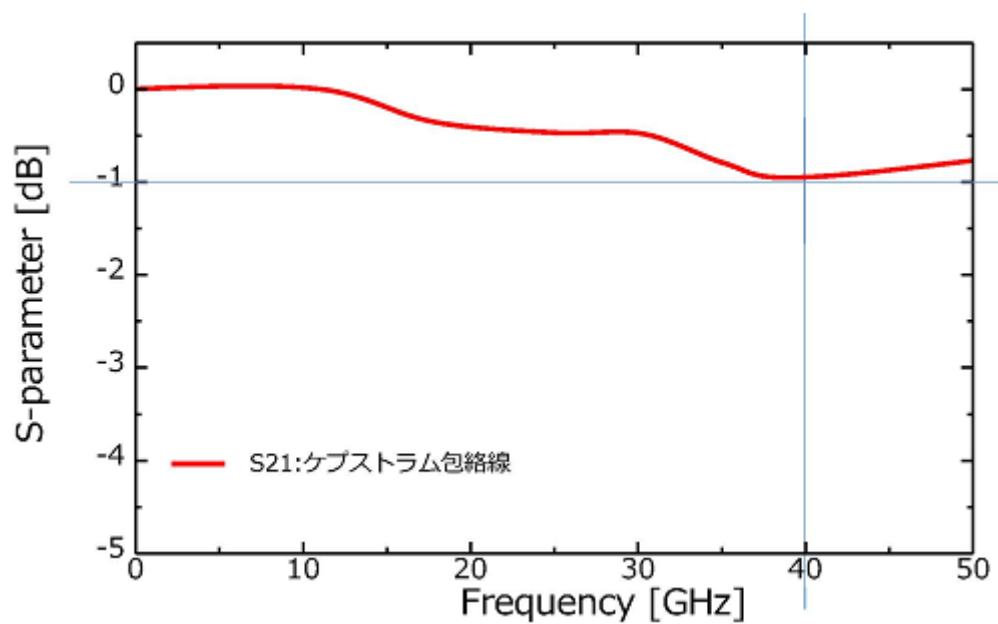
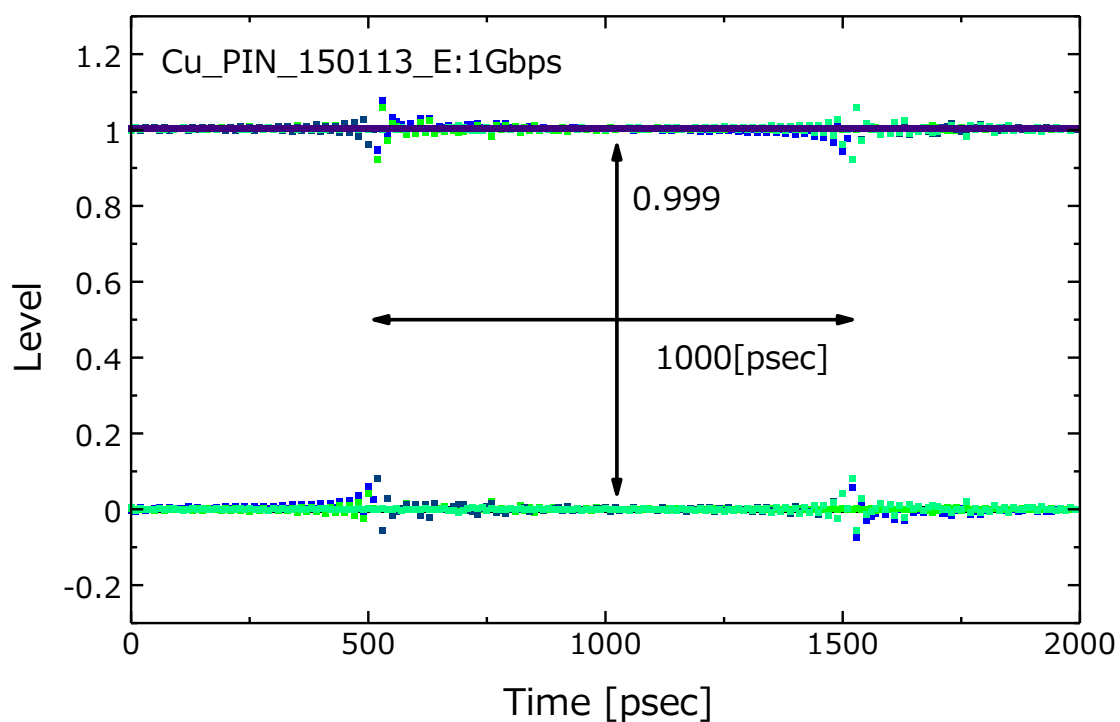


図2-9. 平成26年度技術目標達成成果コンタクトプローブの高周波特性結果1



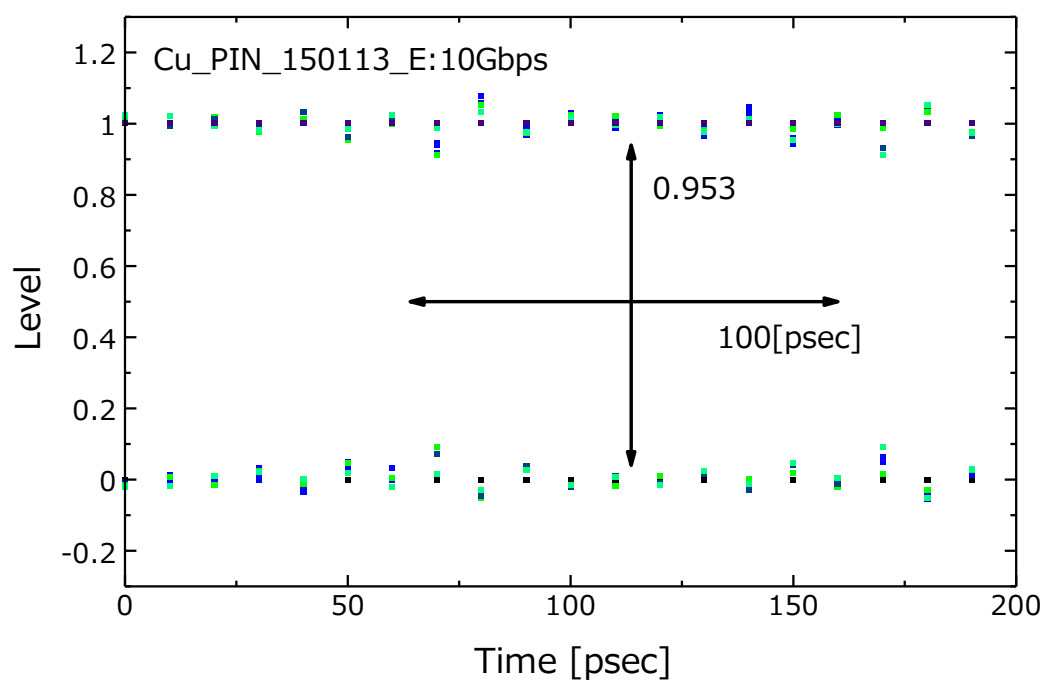
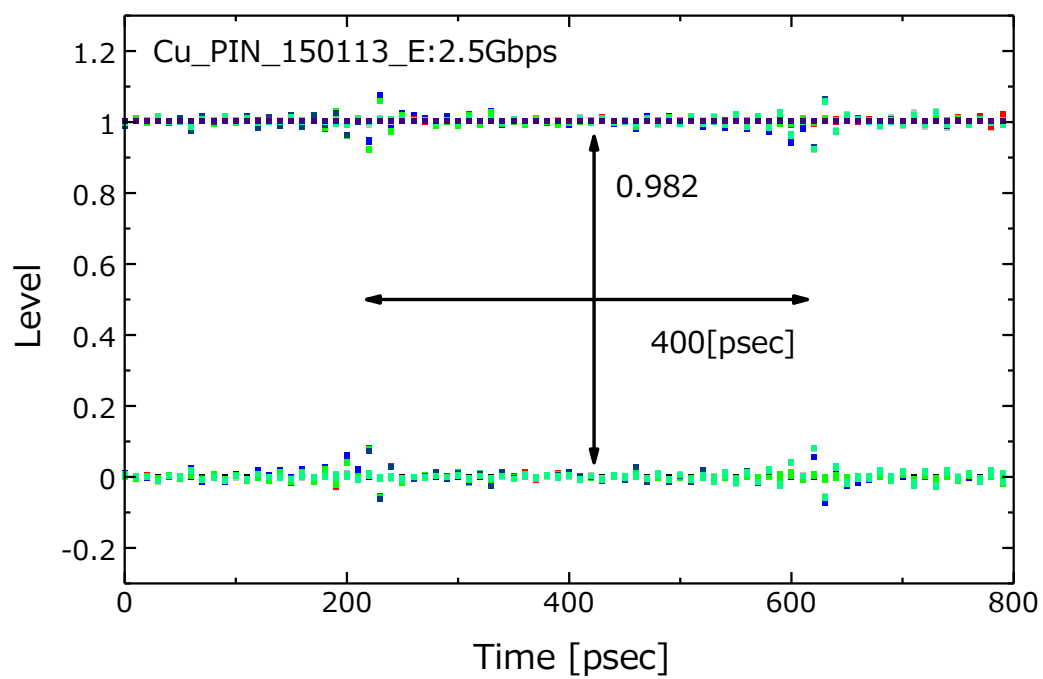


図2-10. 平成26年度技術目標達成成果コンタクトプローブの高周波特性結果2
(EYEパターン 1Gps, 2.5Gps, 10Gps)

最終章 全体総括

3-1 研究開発の成果

平成 24 年度より取り組んだ本事業は、次世代高周波半導体デバイスに対応可能な 40GHz の高周波帯域まで絶対的に高周波特性評価可能となり、さらに他の電気特性が従来と同等以上の半導体最終検査用高性能コンタクトプローブの研究開発を行う。コンタクトプローブの主要導電部となるパイプ部位の高周波化対応を目的に新規組織制御型の銅系精密電鍍プロセスを研究開発し、川下企業の課題及びニーズとなっている高周波（40GHz）、高密度（狭ピッチ）、高精度、低コストを満足する高性能コンタクトプローブの研究開発及び事業化を狙い、研究開発にて事業化を視野に入れて量産化を確立したことにより、当初の事業目的を達成した。

本事業成果は、主に以下とおりである。

【高周波対応電鍍浴の開発】

種々の微量添加剤による検討を行った結果、トレードオフの関係にある導電率（純銅比）と硬度を両立し、コンタクトプローブとして必要なビッカース硬度 150HV 以上の機械的強度及び高周波化に必要な導電率（純銅比 70%以上）を実現する好適な添加剤を見出し、高導電率・高硬度を実現する新規銅系電鍍浴組成を確立することが出来、技術目標値を達成した。

【高周波対応電鍍プロセスの開発】

各めっき条件及び電鍍プロセスの最適化を図ることにより、本事業最終目標値（平成 26 年度）：高周波特性（40GHz 以上）、パイプ外径（ $\phi 110\mu\text{m}$ 以下）、真円度（ $\pm 10\mu\text{m}$ 以下）、ビッカース硬度（150HV 以上）、電鍍プロセスコスト（現行品の 20%以上ダウン）のすべてを達成した。

【高周波に好適なコンタクトプローブ構造及び試作評価開発】

「高周波対応電鍍プロセスの開発」で得られたプロセスを適用し、コンタクトプローブ開発と評価を実施した結果、高周波特性 40GHz 以上を達成することが出来、技術目標値を達成した。

【量産化プロセスの確立】

コスト軽減に貢献できる電鍍量産化プロセス生産設備の開発、量産化プロセス試作品開発の実証試験、安定した電鍍膜が量産化できる電鍍プロセス管理技術の確立開発をすることにより、本事業目標値である、コスト（現行品の 20%以上ダウン）、高周波特性（40GHz 以上）、パイプ外径（ $110\mu\text{m}$ 以下）、真円度（ $\pm 10\mu\text{m}$ 以下）、ビッカース硬度（150HV 以上）をすべて達成した。

3-2 事業化への取り組み

研究開発より得られた、研究開発結果を基に、設備・事業体制の更なる量産化体制を構築することによって、新規製品として現行製品と差別化を行い、事業化を図る。

現行品市場で市場開拓出来ていない市場に参入することにより、現在より事業化拡大を行う。

今回の成果品の市場として、以下市場の参入により、事業化を確実にするものである。

- 現市場への高特性品としての追加参入。
- 峽ピッチ市場への新規参入
- パワー半導体（S i C）市場への新規参入
- 高周波半導体市場への新規参入
- 研究開発によって得られた開発技術力で、顧客ニーズに対応し、市場拡大を行う