

平成23年度第3次補正予算事業 戦略的基盤技術高度化支援事業

「次世代半導体の評価・検査用高性能プローブとその生産技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成25年2月

委託者 東北経済産業局

委託先 財団法人いわて産業振興センター

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
- 1-2 研究体制
 - 1-2-1 研究組織
 - 1-2-2 管理体制
 - 1-2-3 管理員氏名／研究員氏名／経理担当者及び業務管理者の所属、氏名
／他からの指導・協力者名及び指導・協力事項／研究推進会議 委員
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2-1 Z合金の溶解試作
- 2-2 Z合金製プローブの開発
 - 2-2-1 試作Z合金の伸線加工の検討
 - 2-2-2 プローブの部品及び部品加工の検討
 - 2-2-3 ダイナミックバーンインテスト（DBT）用プローブの試作及び評価
 - 2-2-4 多ピン・高速集積回路検査用プローブの試作及び評価
- 2-3 高周波プローブの試作及び評価
- 2-4 超小径（Φ0.1）プローブの試作及び評価
- 2-5 組立生産技術の開発

第3章 全体総括

- 3-1 研究開発成果
- 3-2 研究開発後の課題
- 3-3 事業化展開

1 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

特定ものづくり基盤技術高度化指針の、(三)電子部品・デバイスの実装に関する以下の事項に該当する。

(1)情報通信機器に関する事項 (2)自動車に関する事項

(1)情報通信機器に関する事項

①川下製造事業者等の抱える課題及びニーズ

ア.小型・高密度化 イ.多機能・高機能・大容量高速情報化

携帯電話に代表されるような情報通信機器においては多機能・高機能化と小型化（薄型化）がいっそう進んでいる。携帯電話においては、音声通信機能だけに止まらず、静止画・動画のカメラ機能、ゲーム機能、オーディオ機能、文字や映像の通信伝送機能、持ち主に対するナビゲーション機能といったように、多機能化、高機能化、大容量高速情報処理化が進んでいる。このように多様な各種サービスを提供可能としたのは、半導体・電子デバイス業界の技術の粋を集積したシステムVLSIが完成したことによるものである。

このシステムVLSIを構成する半導体の主な種類は、マイクロコンピュータデバイス、メモリーデバイス、ロジックデバイスある。このシステムVLSIの製造法は幾通りかあるが、比較的成本が安価で、また、仕様の変更が容易であるマルチチップモジュール方式が一般的である。マルチチップモジュール方式は、上記3種類のデバイスをそれぞれチップ型パッケージに作り、そのチップに取り付けた外部接続用のはんだボール電極で積層組み立てを行い、それぞれのチップの回路を接続してVLSIに作り上げるものである。VLSI組立の前工程ではそれぞれのチップ型パッケージは検査され、良品のみが使用されており、また、VLSI組立後はシステムに対する検査が行われている。この検査を行うに当たって、VLSIの構成要素である各チップ型パッケージも、またシステムVLSIも、小型化、多機能化、高密度集積化、高機能化の影響で接続電極数は多ピン化し、電極は小さく、電極ピッチは狭くなっている。このため検査対象の被検体デバイス（略称 DUT）とVLSIテスターとの接続用テストソケットやプローブ（接触子）に高い信頼性が求められている。さらに、環境問題から、DUTの接続電極には鉛フリーはんだが使用されているが、これによりプローブの接続部分へのはんだ付着が著しく、またはんだの主成分である錫がプローブ金属中へ拡散浸透し共晶合金化することにより、接続部分の抵抗値が増大し検査不良が多発している。こうしたことから、半導体メーカーにおいては、以下を満足するプローブの開発が求められているため、下記を達成するプローブを研究開発し供給することを目的としている。

- 1.パッケージの多ピン化に対応する高信頼性プローブ
- 2.鉛フリーはんだの転移付着が助長されないプローブ
- 3.錫の拡散浸透及び、共晶合金化しないプローブ

(2) 自動車に関する事項

① 川下製造業者等の抱える課題とニーズ

ア. 安全性・快適性の向上 イ. 省エネ・環境対策

自動車の安全性の面では、従来からブレーキに対するABS機能や、衝突時のエアバッグシステムなどは一般化されており、近年では衝突防止機能といった、より高度技術を必要とする装備も搭載されつつある。快適性の面では、車内の空調やオーディオなど環境面での快適性、GPS機能を利用したカーナビゲーションによる運転の快適性などは既に一般化している。また、これらの機能を更に進化させ、更に高度な安全性能や快適性が追い求められている。各自動車メーカーはこの半導体技術を利用して、より安全性が高く、省エネルギー・高効率で動く、省エネと環境を考慮した自動車開発に注力している。自動車の場合、人命に直接関わる運転機能や安全管理機能の中核部分を、大規模集積回路を使用したコンピュータシステムで制御しているため、一般産業用集積回路に比べ1～2桁上の信頼性レベルであることが求められる。

信頼性向上の目的でバーンインテスト（初期不良を取り除くための過負荷試験）が採用されている。現在実施されている過負荷試験は高温環境条件下（130～140℃）でDUTの電極にDC電圧を印可し、数時間～十数時間放置し、初期不良に繋がる可能性のあるデバイスを完全に不良にした後に最終検査を行う方式（スタティックバーンイン方式）である。しかしこの方式ではDUTの集積回路を構成している各素子に対し均等に過負荷を印可できる保障はなく、また、DUTと過負荷試験装置の接続部であるソケットやプローブ、ソケットを取り付けるプリント配線板の信頼性が低いため、DUTに過負荷を印可できず、その結果初期不良の可能性を持った不完全製品が流出してしまう。この対策として車載用半導体のバーンイン方式としてダイナミックバーンインテストが考案された。これは高温環境条件下（約140℃）で、DUTに対してファンクションテストに類似したプログラムを数時間に亘り印可し続け、その時間内に数回ファンクションテストを行い、すべてのテストを通過した製品のみ合格とする方式である。しかし、この試験条件で使用可能なプローブやソケットが現在まだ完成していない理由により、量産ラインでの導入に至っていない。自動車メーカーにおいては安全性、信頼性確保および向上のため、DBT導入を半導体メーカーに求めており、半導体メーカーはこのテストに使用可能なプローブおよびソケットの完成を強く要求している。

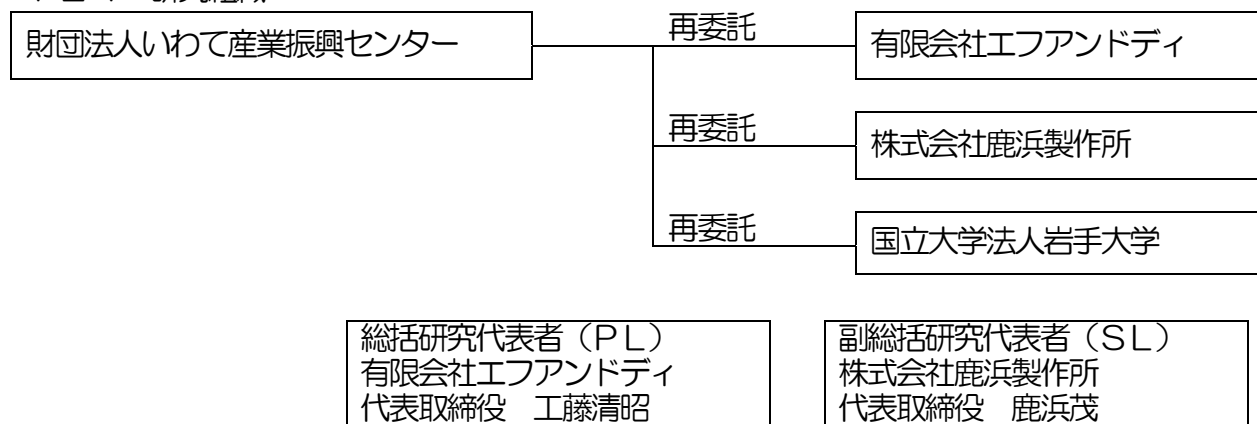
依って、高温環境下（150℃）で下記を満足するプローブが求められ、これを満足するプローブを研究開発し供給することを目的としている。

1. 性能劣化がないプローブ
2. 長時間電圧印可による鉛フリーはんだの転移が助長されないプローブ
3. 長時間電圧印可による錫の拡散浸透・共晶合金化が無いプローブ
4. 長時間連続接続が可能な高信頼性・高安定性・高性能プローブ

以上の製造技術を確立・具現化し、事業化を実現するものである。

1-2 研究体制

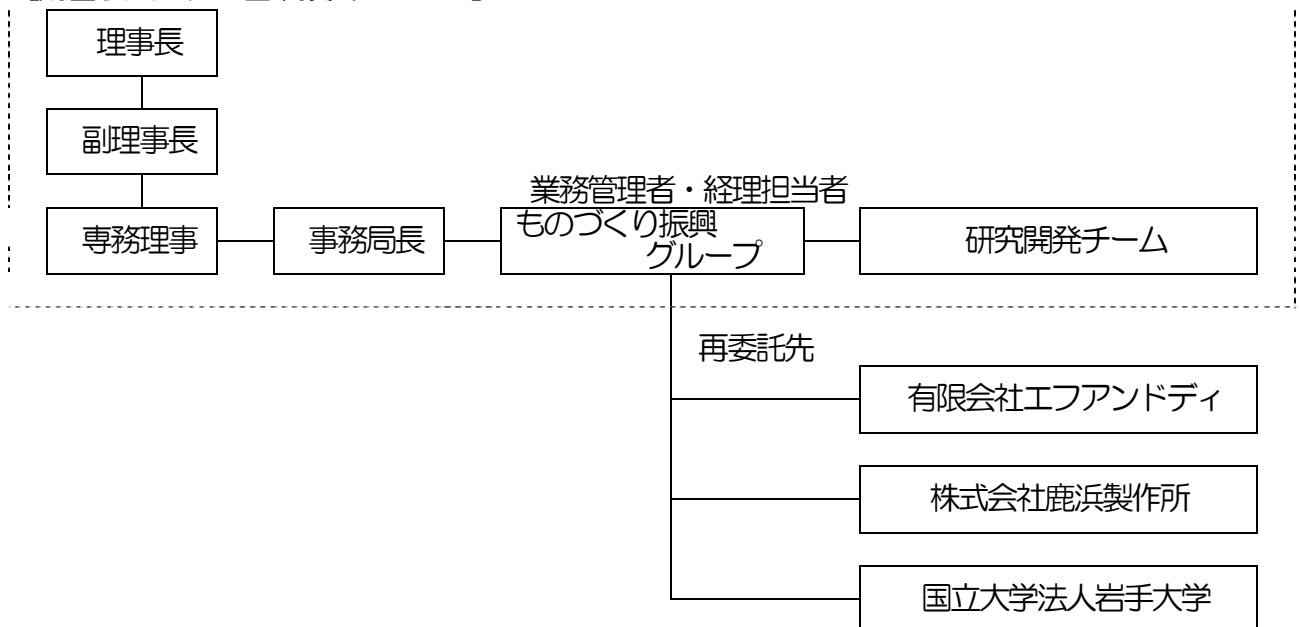
1-2-1 研究組織



1-2-2 管理体制

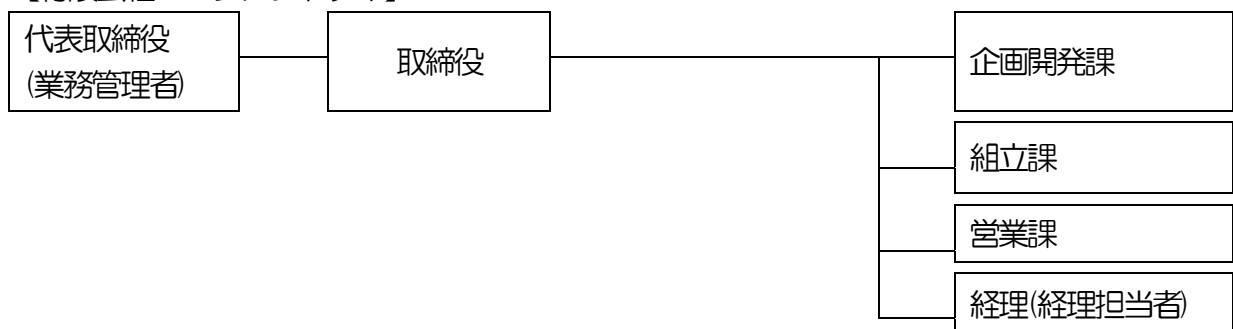
事業管理者

【財団法人いわて産業振興センター】

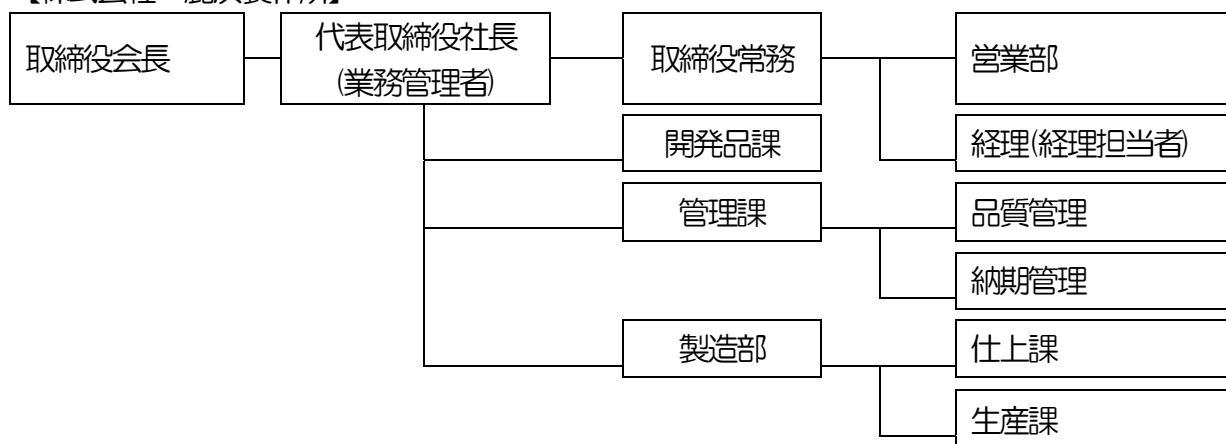


再委託先

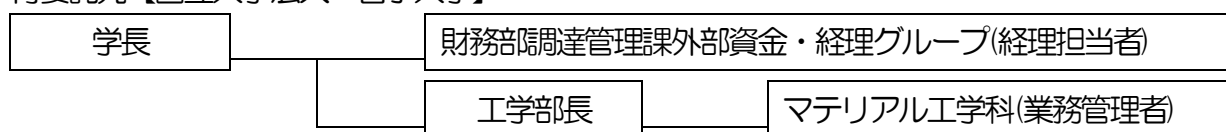
【有限会社 エフアンドディ】



【株式会社 鹿浜製作所】



再委託先【国立大学法人 岩手大学】



1-2-3 管理員氏名／研究員氏名

事業管理者(管理員)

【財団法人いわて産業振興センター】

氏名	所属	役職
平井 孝典	ものづくり振興グループ	グループリーダー
村上 淳	ものづくり振興グループ	主幹
高舘 睦	ものづくり振興グループ	主査
古山 由香利	ものづくり振興グループ	主事
山本 忠	ものづくり振興グループ	事業化プロモーター
熊谷 和彦	ものづくり振興グループ	産学連携コーディネーター
村上 あずさ	ものづくり振興グループ 補助職員	補助職員

再委託先(研究員)

【有限会社エフアンドディ】

氏名	所属	役職
工藤 清昭		代表取締役
高橋 龍次		取締役
石田 治英		技術顧問
耕野 修一	営業課	
千葉 博稔	組立課	
盛内 俊和	組立課	
田澤 潤	企画開発課	
竹田 秀幸	組立課	
菊地 昭文	企画開発課	
木下 尋斗	企画開発課	

【株式会社鹿浜製作所】

氏名	所属	役職
堀井 五郎	製造部	部長
赤穴 明夫	技術	
郷内 光雄	製造部	主任

【国立大学法人岩手大学】

氏名	所属	役職
中村 満	工学部	教授

経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

財団法人いわて産業振興センター

(経理担当者) 新事業・開発研究グループ	主事	古山由香利
(研究管理者) 新事業・開発研究グループ	リーダー	平井 孝典

【再委託先】

有限会社エフアンドディ

(経理担当者) 経理	工藤 礼子
(業務管理者) 代表取締役	工藤 清昭

株式会社鹿浜製作所

(経理担当者) 経理係長	望月久美子
(業務管理者) 代表取締役	鹿浜 茂

国立大学法人岩手大学

(経理担当者) 研究交流部研究協力課外部資金管理グループ	主査	下屋敷 司
(業務管理者) 工学部マテリアル工学科	教授	中村 満

他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
工藤 清昭	有限会社エフアンドディ 代表取締役	PL
鹿浜 茂	株式会社鹿浜製作所 代表取締役	SL
中村 満	国立大学法人岩手大学教授	
高橋 龍次	有限会社エフアンドディ 取締役	委
石田 治英	有限会社エフアンドディ 顧問	委
田澤 潤	有限会社エフアンドディ	委
平井 孝典	財団法人いわて産業振興センターものづくり振興グループリーダー	
山本 忠	財団法人いわて産業振興センター事業化プロモーター	
島田 和彦	有限会社エスエムディ 取締役社長	アドバイザー

1-3 成果概要

本研究開発は、DBT 用・VLSI 検査用プローブに使用する Z 合金を開発し、この Z 合金を用いた試作・評価・検討を行い、目標値を満足するプローブを完成させる事を目的とした。

研究開発実施項目は、①Z 合金の溶解試作 ②DBT 用 Z 合金製プローブの開発 ③情報通信機器向け集積回路の検査用プローブの開発 ④組立生産技術の開発 以上4項目でありそれぞれの成果は以下の通りである。

①Z 合金の溶解試作

Z 合金の目標値は、比抵抗： $80\sim 100\times 10^8\Omega\text{m}$ 以下、引張強度： $900\sim 1250\text{MPa}$ 以上、硬さ： $\text{Hv}280\sim 400$ 以上、とした。

22 年度は、既存 Z 合金の分析・試験を行い、試作品の方向性を確認した。岩手大学が保有している溶解装置を使用し、溶解実験を試みたが溶解能力不足により十分な実験を行うことができず課題を残した。

23 年度は、岩手大学に 2000°C での溶解が可能な装置を導入し溶解実験を行った。PZ 材に酸素を添加した3種類とPZ 材に酸素及びレアアースを添加した2種類の合計5種類である。比抵抗について、前記の3種類は目標値を達成したが後記の2種類は達成に至らなかった。引張強度については5種類全て目標値に到達しなかった。溶解時におけるガス成分の吸収、るつぼ成分の溶出等が予想され、検討課題となった。

24 年度は、想定以外の成分が混入しない溶解方法を取り、PZ 材に酸素を添加した4種類の試作を行った。試作材料に対し引張、比抵抗測定等の各種試験・分析を行った。

酸素0.6%添加材料について、引張強度： 820MPa 、比抵抗： $60\times 10^8\Omega\text{m}$ の良好な結果が得られた。

②DBT 用 Z 合金製プローブの開発と③情報通信機器向け集積回路の検査用プローブの開発において第1項は研究開発内容が同じであることから共通項目として下記に示す。

(1)伸線試作の試作

岩手大学で選定・試作した試作材料を目標値 $\Phi 0.6$ に伸線化する為の試作検討を行った。

22 年度は溶解炉の設備能力不足から試作材料を用いた伸線試作検討ができなかった。

23 年度は①項に記述した5種類の材料について伸線試作検討を行った。1種類のみ目標値である $\Phi 0.6$ に伸線を行う事ができた。スウェーピングを含む伸線工程において、割れやひびといった現象が見られ、これらは不純物や溶解条件に起因するとした。

24 年度は①項に記述した4種類の材料について伸線試作検討を行い、1種類について伸線化ができた。

(2)部品及び部品加工の検討

高温環境下で使用可能な耐熱ばねの試作を行い、プローブへ組み込み評価を行った。初期ばね荷重は安定しておりばねの製造品質は良好であると言える。高温評価での抵抗値測定においては $0.9\pm 0.5\Omega$ (700 時間)で推移している。評価初期から抵抗測定値のばらつきがあるが、その程度はほぼ一定であり抵抗値からのばねの「へたり」は伺えない。但し手動によりばねの動作を定点観察した結果からは、ばね荷重が弱くなっていることが確認されている。700 時間以降の評価を引き続き行い (25 年 5 月終了予定) 経過を観察する。初期からの抵抗値のばらつきについては、ばねの「へたり」以外の要因が推測される。抵抗値のば

らつき安定化については、ばねへの「めっき」を今後検討する。

部品加工の検討は重要部品であるプランジャーを対象とし、各種材料の切削加工性、硬度、表面粗さについて検討を行った。22年度は3種類、23年度は3種類、24年度は5種類のべ11種類（材質は7種類であるが、複数年使用した材料がある）について加工を実施し加工の難易度を見分けることができた。硬度の検討では、Z合金への時効硬化処理により硬度が上昇する事を確認した。表面粗さの検討では、はんだが付着しづらい表面加工方法を見いだした。

(3) プローブの試作及び評価

DBT 用 Z 合金製プローブの評価

DBT 用 Z 合金製プローブの評価として高温環境評価を実施した。

22 年度は評価に使用する高温環境通電試験装置を仕様検討、設計、製作し導入した。導入した装置を使用して3種類のZ合金製プローブを製作し評価を開始した。

23 年度は22 年度の継続評価に加え、3 種類のZ合金製プローブを製作し評価検討を行った。500 時間後抵抗値 2.5Ω （目標値 1.0Ω 以下）を得た。

24 年度は5 種類のZ合金製プローブを製作し評価検討を行った。700 時間後抵抗値 $0.6 \sim 1.4\Omega$ （目標値 1.0Ω 以下）を得た。

共晶化・合金化については非常に良好な結果が得られておりZ合金採用の効果が示された。

情報通信機器向け集積回路の検査用プローブの評価

情報通信機器向け集積回路の検査用プローブの評価として接続抵抗評価を実施した。

22 年度は評価に使用する接続抵抗評価装置を仕様検討、設計、製作し導入した。導入した装置を使用して3種類のZ合金製プローブを製作し評価を開始した。

23 年度は22 年度の継続評価に加え、3 種類のZ合金製プローブを製作し評価検討を行った。30 万回後 4Ω （目標値 30 万回後 1.0Ω 以下）を得た。

24 年度は5 種類のZ合金製プローブを製作し評価検討を行った。30 万回後 0.6Ω （目標値 1.0Ω 以下）を得た。

今後 100 万回までの継続評価を行うがZ合金製プローブの製品化への可能性を見いだした。又、共晶化・合金化については非常に良好な結果が得られておりZ合金採用の効果が示された。

③情報通信機器向け集積回路の検査用プローブの開発

(4) 高周波プローブの試作・評価

22 年度は既存プローブ（Be-Cu）を使用して検査用テスト治具の評価方法を検討した。

23 年度は既存プローブ（Be-Cu）を使用した 1GHz 対応の治具を製作し、客先での評価を実施、一部課題を残したものの客先からの良好な評価を得た。

24 年度は開発プローブ（Z合金）を使用した 3GHz 対応の検査用テスト治具を製作、客先で評価を行う計画であったが、Z合金製プローブの完成が本事業期間内に達成できなかったため、現時点で未着手となっている。

(5) 超小径（ $\Phi 0.1$ ）プローブの試作評価

$\Phi 5$ サイズ Z 合金製プローブの完成が本事業期間内に達成できなかったため、現時点で未着手となっている。高周波プローブ及び $\Phi 0.4$ 以下のプローブは川下企業からの要望事項（二

ッチ市場)であることから、Φ5 サイズ Z 合金製プローブを早期に完成させ、小径・超小径サイズへノウハウ展開することが必要である。

④組立生産技術の検討

22 年度はプローブ組立工程の検討を行い、課題や問題点の抽出を行った。又、部品サイズが極小である事から部品供給装置を製作し、部品供給方法の検討を行った。組立装置の構想を検討した。

23 年度は客先要求に基づくプローブの最適形状の検討を行った。又、22 年度に実施した個別工程の検討結果及び部品供給方法の検討結果を盛り込んだ手動組立装置を設計、製作しカシメの詳細検討など組立生産技術の検討を行った。不良現象の確認と原因推測は完了したが最適化には至らなかった。

24 年度は高温評価結果、接続抵抗評価結果からの組立生産技術検討・考察を行った。又プローブ単品でストローク・荷重・抵抗値が計測できる治具を新たに製作し検証を行った。プローブ製作に重要なポイントが解明された。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人いわて産業振興センター

人材・技術開発支援グループ 長谷川 英治

〒020-0852 岩手県盛岡市飯岡新田3-35-2

岩手県先端科学技術研究センター2階

TEL 019-631-3820

FAX 019-631-3830

URL <http://www.joho-iwate.or.jp>

2-1 Z合金の溶融試作

- ダイナミックバーンインテスト（DBT）用プローブのZ合金（インゴット）の開発
- 情報通信機器向け集積回路（VLSI）検査用プローブのZ合金（インゴット）の開発

2-1-1 22年度まとめ

Be-CuプローブからZ合金ベースプローブに変更し、電気抵抗値に及ぼす影響を検討し、以下の結論を得た。

- (1) プローブを変更することによりプローブ先端に生成したSn-Au、Niメッキ化合物はなくなり、Z合金とSnの物理的付着が起こることが分かった。
- (2) Z合金の溶解は装置のキャパシティで1973Kまでしか加熱できなかったため、完全固溶体の α 型Z合金材は得られなかった。
- (3) 検査用プローブでの電気抵抗値は、コンタクト10,000回以上でプローブ先端へのはんだSnの付着が起こり、不安定になった。

2-1-2 23年度まとめ

PZ合金に MnO_2 から酸素を添加し、目的の組成のOZ合金を作製した。さらに切削性改善のためRE（希土類元素）を0.1%添加し、データを取り、以下の結論を得た。

- (1) 引張強さ：目標は900MPa以上であったが、イトコー試作では478～581MPa、大学試作では212～320MPaであった。鋳造品であるため伸線（加工硬化品）より低いことはあるが、今回はかなり低く原因は溶解法の問題があった。
- (2) 硬度：イトコー試作1回目は336～379HV、大学試作は223～275HVと、比較的軟らかいサンプルが得られた。
- (3) 酸素分析：イトコー試作品は添加量より1～2割増しのデータ、大学試作品はほぼ添加通りにでた。これは溶解法の相違によると予想する。
- (4) 電気抵抗値：電気抵抗率 $100 \times 10^{-8} \Omega m$ が目標であったが、大学試作ではすべて 100×10^{-8} 以下となり、イトコー試作（RE添加）では $157 \sim 169 \times 10^{-8} \Omega m$ と高い値となった。

2-1-3 24年度まとめ

本研究ではプローブに必要な特性を満たすべく、耐食性に優れるZ合金に着目し、PZ合金にZ-O₂から酸素を添加し、目的の組成のOZ合金を作製した。その後物性評価を行い、下記のような結果を得た。

- (1) 0.60%Oを添加した場合で強度、伸び、電気抵抗率のバランスが良好な材料が得られた。
- (2) Z材への酸素添加は強度向上に有効であるが、延性については目標値を下回っており、検討が必要である。

Table 2-1-3-1 酸素量分析値(wt.%)

Alloy	O
Z-0.40%O ₂	0.45
Z-0.60%O ₂	0.65
Z-0.80%O ₂	0.91

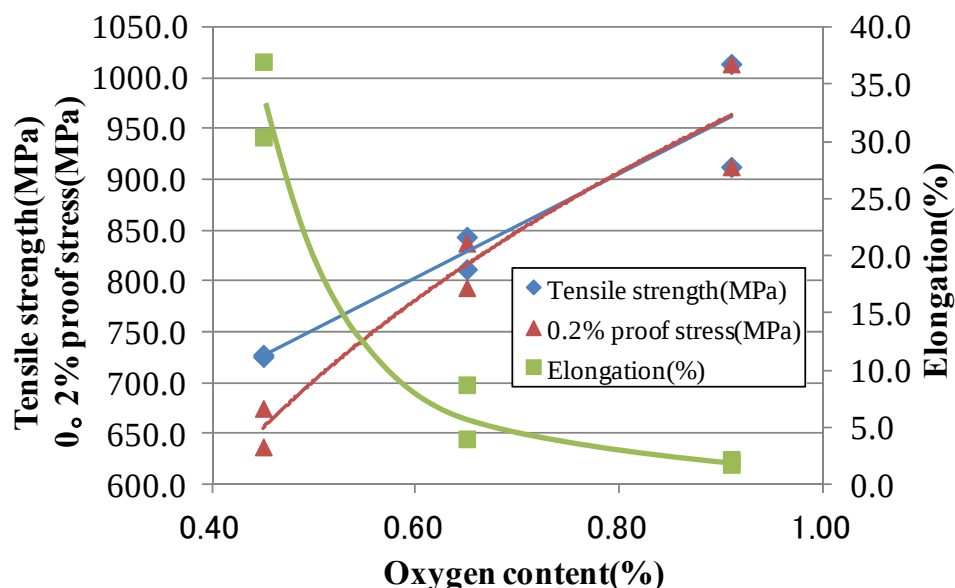


Fig 2-1-3-1 引張強度、0.2%耐力および伸びと酸素量の関係

- (3) OZ 合金の電気抵抗率はPZ 合金材のものとほとんど変わらず、酸素量が電気抵抗率に及ぼす影響は少ない。
- (4) OZ 合金の硬さに関して、酸素量との正の相関が見られた。

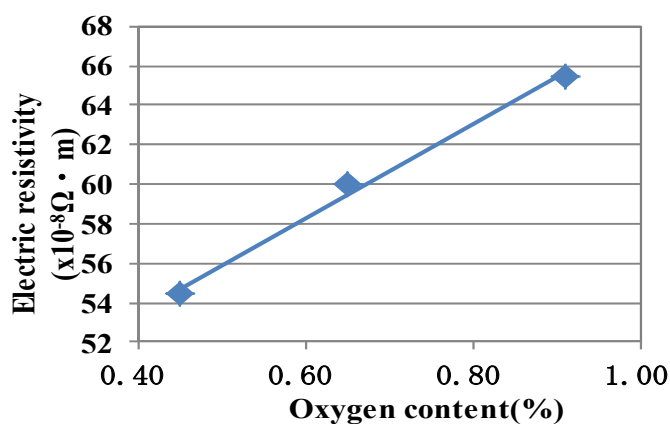


Fig 2-1-3-2 電気抵抗率と酸素量の関係

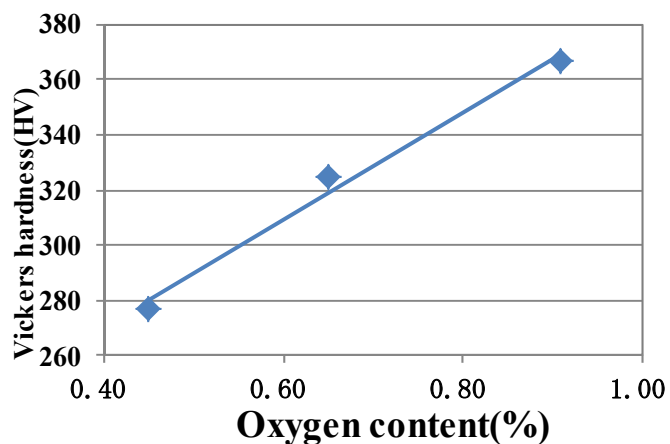


Fig 2-1-3-3 硬さと酸素量の関係

2-2 Z合金性プローブの開発

2-2-1 試作Z合金の伸線加工の検討

伸線加工の検討は、岩手大学で選定・試作した材料について検討を行い、プランジャーの旋削加工が可能となるΦ0.6mm を目標とした。

22 年度は溶解炉の設備能力不足から新合金が製作できなかった為、既存品である FZ 合金、B1Z 合金、PZ 合金の 3 種類について伸線加工を実施した。

23 年度は岩手大学で選定・試作した材料 4 種類の伸線を実施した。選定した材料は
①Z 合金+酸素 0.6% 添加 ②Z 合金+酸素 0.8% 添加 ③Z 合金+酸素 0.6% 添加+RE
④Z 合金+酸素 0.8% 添加+RE である。RE はレアアースである。

①②はΦ0.6mm の加工が完了した。③④については伸線加工前に実施するスウェーjingにおいて破損し加工を行う事ができなかった。破損した材料を Fig2-2-1-1 に示す。



Fig2-2-1-1 破損した材料 左図：0.6%RE 右図：0.8%RE

破損の原因を硬度と考え、0.8%RE に対し硬さ測定を行った。Hv750 であったことから焼鈍を施し再度測定し Hv450 となった。(Table2-2-1-2)

Table2-2-1-2 硬さ測定結果

材料	焼鈍前硬さ (Hv)	焼鈍後硬さ(Hv)	焼鈍による硬 さの変化
0.8%+RE0.1%添加材料 (引張試験片流用品)	750	450	300 低下

焼鈍を施した 0.8%RE へ再度スウェーjingを行ったが破損した (Fig2-2-1-3)。その後数回に渡り熱処理条件を変更して加工トライを実施したが、いずれも加工はできなかった。

破損の原因は、その後の分析等で、硬さと材料に含まれる不純物による脆化である事が確認された。

24 年度は岩手大学で選定・試作した材料 4 種類の伸線を実施した。選定した材料は
①Z 合金+酸素 0.45% 添加 ②Z 合金+酸素 0.65% 添加 ③Z 合金+酸素 0.91% 添加
④Z 合金+酸素 0.65% 添加

① ③はΦ0.6mm まで伸線を行うことができなかった (Fig2-2-1-4)。④については、Φ0.77 までの伸線加工が完了した。①から④において目標であるΦ0.6mm まで伸線ができなかった理由は 23 年度同様に不純物であると考えられる。



Fig2-2-1-3 破損した材料

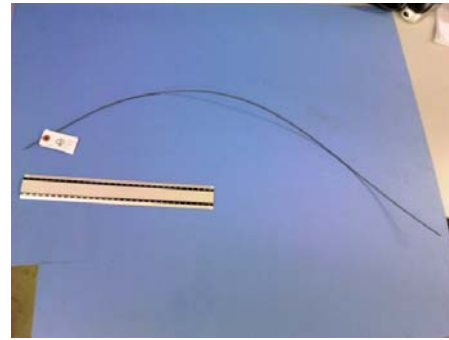


Fig2-2-1-4 途中中断した材料

伸線加工を実施するに当たり、材料サイズは $\Phi 2 \sim 3\text{mm}$ 程度である必要がある。本事業においては溶解時に1度に $\Phi 2.5$ にすることができず複数工程を要した。 $\Phi 2 \sim 3\text{mm}$ までの工程は下記の通りである。

- ①1次溶解 ($\Phi 50\text{mm}$ ・Fig2-2-1-5) ②2次溶解 ($\Phi 10\text{mm}$ ・Fig2-2-1-6)
③鍛造 ($\Phi 5\text{mm}$) ④スウェーjing ($\Phi 2\text{mm}$) ⑤伸線

この工程を進める中で特に②③において材料への不純物混入、物性変化の可能性が考えられる為、 $\Phi 2$ 材サイズの製作に関し更に検討を行う必要がある。

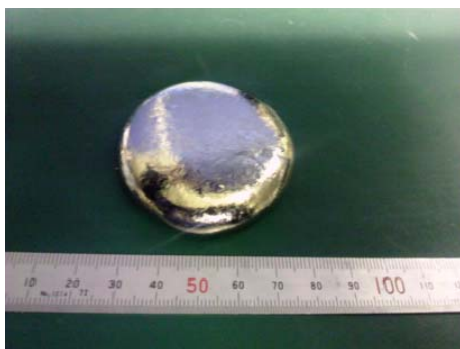


Fig2-2-1-5 1次溶解材料



Fig2-2-1-6 2次溶解材料

2-2-2 部品及び部品加工の検討

DBT用プローブで使用可能なばねの試作、検討を行った。耐熱の用途としてSUS301Hの選定が妥当であるか、検証を行った。

未使用のばね $n=5$ (サンプルNo1からNo5)、高温環境試験500時間で使用したばね $n=3$ (No12,13,15)の寸法を測定したところ、未使用のばねは全て部品仕様である $4.5 \pm 0.1\text{mm}$ を満たしており、十分な品質であると言える。500時間経過したばねは 0.2mm 程度全長が短くなっており「へたり」が発生していることが確認された。

これら8サンプルについてはばね全長と荷重の関係について測定を実施した。Fig2-2-2-1に結果を示す。ばね全長と荷重は正比例であることがわかる。この図において500時間使用した3サンプルは未使用の5サンプルに比べ荷重が低く、更に-10%荷重より下回っている。しかしプローブに組み込んだ際に実際に使用される範囲においては、十分な荷重であることを確認した。

以上より今年度試作するばねの材料として、SUS301Hは妥当であると判断した。

この結果を踏まえ、Table2-2-2-2 及び Table2-2-2-3 に示すばねを試作し、DBT 用プローブへ組み込み確認を行った。高温環境において 700 時間使用したばねについて、手動での動作確認の結果、荷重の減衰が確認された。しかしこの減衰による顕著な抵抗値の上昇は見られなかった。

試作ばねは、評価当初より抵抗値の変動が大きく（おおむね $\pm 0.5\Omega$ ）、この要因としては、ばね表面への Au めっき処理を施していないことが考えられる。この評価において、従来から使用されているピアノ線材に Au めっきを施したばねを同時評価しているが、こちらについては試作ばねに比べ抵抗値の変動が小さかった。今後試作ばねへの Au めっきを検討する。

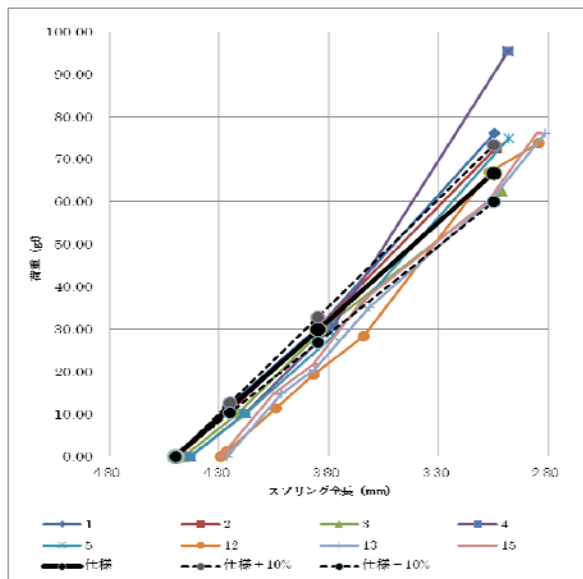


Fig2-2-2-1
23 年試作ばね 全長荷重測定結果

Table2-2-2-2 24 年試作ばね 仕様①

項目	仕様
材質	SUS301H
線径(mm)	0.09
コイル平均径	0.38
有効巻数	30
座巻数	4
総巻数	34
自由高さ(mm)	6.2
密着高さ(mm)	3.15

Table2-2-2-3 24 年試作ばね 仕様②

	荷重(g)	応力(kg)	備考
第1取付高さ	3.90	97.45	1.3ストローク
第2取付高さ	3.70	105.92	1.5ストローク

プローブ部品の検討は重要部品であるプランジャーを対象とした。

24 度は精密旋盤加工の検討を行う目的で特殊 NC 自動旋盤(Fig2-2-2-4)を導入した。



Fig2-2-2-4 特殊NC 自動旋盤



Fig2-2-2-5 顕微鏡写真-切粉 ×50

この特殊 NC 自動旋盤を使用して切削実験を行った。検討に使用した材料は、岩手大学で選定した酸素 0.65% 添加 Z 合金である。ニッパによる切断実験（予備実験）を行ない、この実験結果を考慮し切削条件を設定し加工を実施した。加工において発生した切粉及び加工品プランジャーのリード部、旋削部について、顕微鏡による観察を行なった。Fig 2-2-2-5

は、倍率 50 倍の写真である。上に写っている切粉が刃と非接触面、下に写っている切粉が刃との接触面の様子である。小さく剪断された切粉に細かな亀裂が入っている事から材質の脆さを確認する事ができる。

Fig 2-2-2-6 はリード部を倍率 200 倍で撮影した写真である。表面は細かな凹凸状で、鋳物のエンドミル加工面に酷似している。この事から材料の脆さを確認できる。Fig 2-2-2-7 は、旋削部を倍率 200 倍で撮影した写真である。切粉が細かくちぎれた効果で旋削スジはほぼ均等に形成されているが、全体的に滑り現象による光沢面が見られる事から硬度の高さを確認できる。

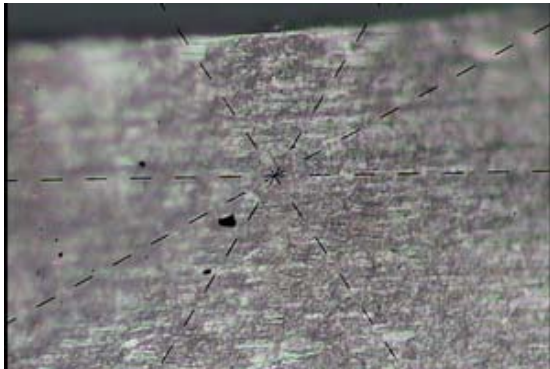


Fig2-2-2-6
顕微鏡写真-リード部 ×200

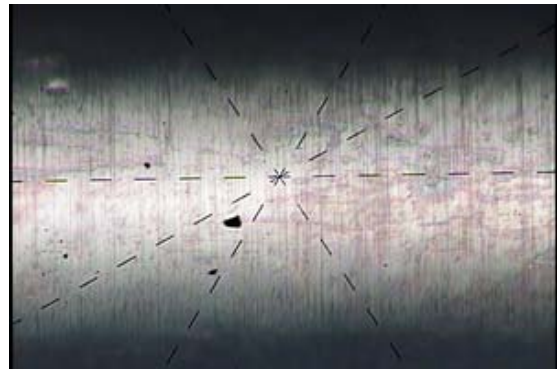


Fig2-2-2-7
顕微鏡写真-旋削部 ×200

以上より、酸素 0.65% 添加 Z 合金は旋盤加工実験の結果、硬度が高く、脆い材質であり、量産へ向けては削削性の検討が必要となる。

本事業では 7 種類の材料について、

- (1) 切削加工検討 (NC 自動旋盤による加工性の見極め)
- (2) 硬度アップ (時効硬化処理による硬度アップ)
- (3) 表面粗さの改質 (バレル研磨による表面粗さの向上)

以上 3 つの観点からの検討を実施した。結果を以下に示す。尚、試作に使用した材質は、

- ① FZ 合金 ② B1Z 合金 ③ PZ 合金 ④ B3Z 合金 ⑤ NZ 合金 ⑥ B2Z 合金
- ⑦ PZ 合金+酸素 0.6% 添加である。

切削加工検討において 7 種類の材質について加工が完了した。加工性は材質によりかなりの差があり、削り代の調整や、刃具・切削油の改良により対応した。独自の加工ランクを設定した。以下の通りである。

加工性ランク

- 切削性に優れ、量産が可能な材質……………①
- 量産用としてはもう少し削削性を増したい材質……………④⑦
- 微細切削加工には不向きな材質……………②③⑤⑥

硬度アップ検討において、時効硬化処理により Hv 400 の硬度が得られた。

表面粗さの改質検討において、10 点平均粗さ 0.41μ が得られた。切削面だけではほとんど付着が無くても、切削面の凹部にはんだが入り込み、雪だるま式に積層される事が考えられる為、この回避策として、メディアの選定、条件変更等の試験を行い、最終的に磨き工程を追加することで、粗さ・光沢が得られた。

2-2-3 ダイナミックバーンインテスト (DBT) 用プローブの試作及び評価

2-2-3-1 プローブの試作及び評価

160℃の高温環境下で使用するプローブ開発を目的として、Z 合金を使用したプローブを試作し、高温環境通電試験を実施した。評価項目は、研究年度を通じて、以下を設定している。

- プローブの特性劣化確認 (通電性能確認)
- プローブ先端へのはんだ転移付着の有無
- はんだの拡散浸透、共晶化・合金化の発生有無
- プローブ動作の異常発生有無

平成22年度から24年度において、研究開発で使用した材料の一覧をTable2-2-3-1-1に示す。

Table2-2-3-1-1 研究開発使用材料

年度	品名等	種別	引張強さ N/mm ²	伸び %	比抵抗 ×10 ⁸ Ω	狙い (目的)
22	FZ合金	α-β	≥650	≥10	125	ベンチマーク
22	B1Z合金	β	640~800	≥10	148	硬度・耐久
22	PZ合金	α	480~620	≥18	55	低抵抗
23	0.6Z合金	α	320	-	70	低抵抗・硬度
23	FZ合金	α-β	≥650	≥10	125	ベンチマーク
23	B1Z合金	β	640~800	≥10	148	硬度・耐久
24	NZ合金	α	270~410	≥15	-	低抵抗
24	B2Z合金	β	1100以上	≥10	147	硬度・耐久
24	金めっきベリリウム銅	-			85	ベンチマーク
24	FZ合金	α-β	≥650	≥10	125	ベンチマーク
24	B3Z合金	α-β	895以上	≥10	172	硬度・耐久・量産性
24	0.65Z合金	α	811~843	4~8.7	60	低抵抗・硬度

2-2-3-2 22 年度成果

高温環境通電試験、及び試験装置の構成を行なった。試験装置について連続動作試験を実施し、機械的動作の確認をした。

また、DBT 用プローブの評価試験を本年度から実施し、3種の既存品を使用して高温環境通電試験を実施、評価を行なった。試験では、プローブの先端にはんだの転移付着が見られたものの、共晶化・合金化は認められなかった。

2-2-3-3 23 年度成果

高温環境通電試験装置についてプローブ1本毎のデータ取得を目的とし、切替え回路の追加、及び制御プログラムの変更を行なった。

23 年度評価試験では、2 種の既存品と、1 種の試作品を使用し、最長 500 時間の高温環境通電試験を実施した。試験の結果、プローブ先端の共晶化・合金化は認められず、Z 合

金の効果を確認できたが、目標抵抗値（ 1Ω 以下の維持）の達成はできなかった。抵抗値上昇の原因として、ばねの“へたり”が推測され、研究課題として設定した。

2-2-3-4 24 年度成果

24 年度評価試験では、2種の既存品と3種の試作品を使用し、最長 700 時間の高温環境通電試験を実施した。また、23 年度評価試験の結果から、本年度試験では非耐熱ばね（ピアノ線・非めっき）を組み込んだプローブと、耐熱ばね（SUS301H・金めっき）を組み込んだプローブを用意し試験を行なっている。

試験の結果、共晶化・合金化の発生については、24 年度においても認められなかった。（Fig2-2-3-4-1）通電性能については、目標値（ 1Ω 以下の維持）を達成することはできなかった。（Fig2-2-3-4-2）しかし、試験データから、ばねの“へたり”が抵抗値を上昇させる要因であると結論付けられた。また、ばねのめっき処理の違いが、抵抗値のばらつきに影響を及ぼしている事が試験データから推測されたため、ばね仕様を検討する事を今後の研究課題とした。

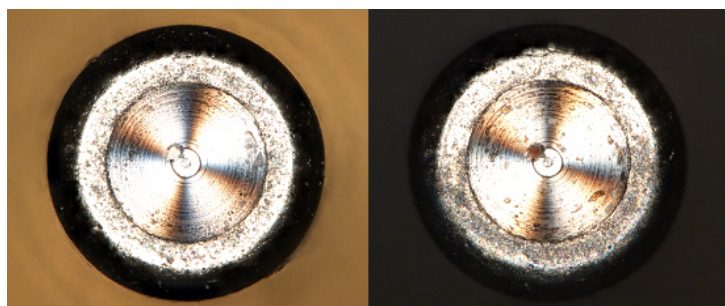


Fig2-2-3-4-1

プローブ先端部写真（左：試験開始前 右：試験 700 時間後）

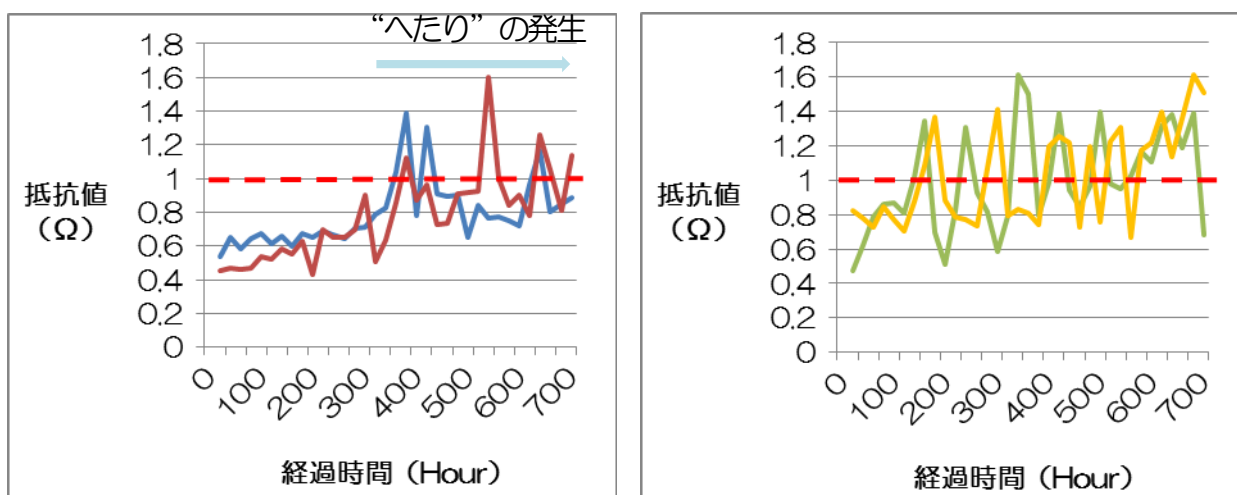


Fig2-2-3-4-2

抵抗値推移グラフ（左：非耐熱ばね使用 右：耐熱ばね使用）

2-2-4 多ピン・高速集積回路検査用プローブの試作及び評価

2-2-4-1 研究概要

パッケージの多ピン化に対応するプローブ開発を目的として、接続抵抗評価試験を実施した。評価項目は、研究年度を通じて、以下を設定している。

1. 低抵抗（目標抵抗値： 0.6Ω ）を維持するプローブ
2. 拡散浸透・共晶合金化が無いプローブ
3. 動作不良がない高信頼性・高安定性・高性能プローブ

平成22年度から24年度において、研究開発で使用した材料の一覧をTable2-2-4-1-1に示す。

Table2-2-4-1-1 研究開発使用材料

年度	品名等	種別	引張強さ N/mm ²	伸び %	比抵抗 $\times 10^8 \Omega$	狙い (目的)
22	FZ合金	$\alpha-\beta$	≥ 650	≥ 10	125	ベンチマーク
22	B1Z合金	β	640~900	≥ 10	148	硬度・耐久
22	PZ合金	α	480~620	≥ 18	55	低抵抗
23	0.6Z合金	α	320	-	70	低抵抗・硬度
23	FZ合金	$\alpha-\beta$	≥ 650	≥ 10	125	ベンチマーク
23	B1Z合金	β	640~900	≥ 10	148	硬度・耐久
24	NZ合金	α	270~410	≥ 15	-	低抵抗
24	B2Z合金	β	1100以上	≥ 10	147	硬度・耐久
24	金めっきベリリウム銅	-			85	ベンチマーク
24	FZ合金	$\alpha-\beta$	≥ 650	≥ 10	125	ベンチマーク
24	B3Z合金	$\alpha-\beta$	895以上	≥ 10	172	硬度・耐久・量産性
24	0.65Z合金	α	811~843	4~8.7	60	低抵抗・硬度

2-2-4-2 22年度成果

接続抵抗評価試験、及び試験装置の構成を行なった。試験装置について動作の確認を行った。プローブ用材料としてZ合金を選定し、これをもとに新材開発と性能評価を行った。新材は、溶鋳炉の問題により開発を延期した。Z合金の性能評価の結果、従来主流品の問題点であったはんだの拡散浸透・共晶合金化に対して良好。しかし、接続抵抗値が不安定で、目標抵抗値を超えるサンプルがあった。

2-2-4-3 23年度成果

新材開発において、溶鋳炉の問題を解決し、試作材5種を用意したが、2種類が目標抵抗値以上、全種類が目標引張強度以下となった。溶解時のガス成分混入による脆化が原因と想定されるため、24年度に再検討とする。性能評価において新材と同種のZ合金を検証。接続抵抗評価試験30万回の結果、共晶合金化は認められなかったが、目標抵抗値 0.6Ω に対

して4Ω程度となった。原因はプローブ形状、酸化被膜形成と推測した。また、サンプルの一部に動作不良を確認した。プランジャが摺動により摩耗し、クリアランスが大きくなり折れ曲りが発生したものと推測。どちらの問題も、プランジャリード見直し品を使用し検証・対応を行う。

2-2-4-4 24 年度成果

プローブ形状を見直し、2種の既存品と3種の試作品を用意し、接続抵抗評価試験を行った。評価中、抵抗値のばらつきはプローブのクリアランスと密接に関係していることを究明した。ストローク・荷重・抵抗値計測治具を製作し、接続抵抗評価装置各所の調整を行って、プローブ形状やクリアランスを調整し、試験体制の向上を図った。30 万回時点の FZ 合金最良品においては、共晶合金化も認められず (Fig2-2-4-4-1)、目標抵抗値 0.6Ω 近辺を維持し (Fig2-2-4-4-2)、動作不良もなかった。このことから、Z 合金によって高性能プローブを開発するという目的を達成する可能性を見出した。年度末に試作材が完成し、初期性能評価の結果は FZ 合金並に良好である。25 年度に向けて開発を進める。

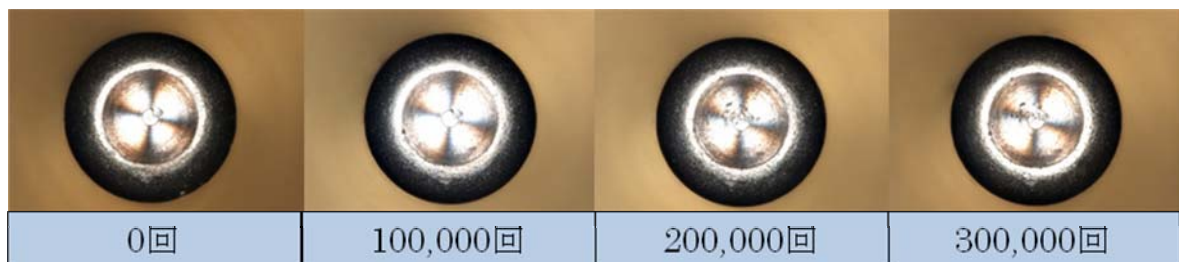


Fig2-2-4-4-1 プローブ先端の経時変化

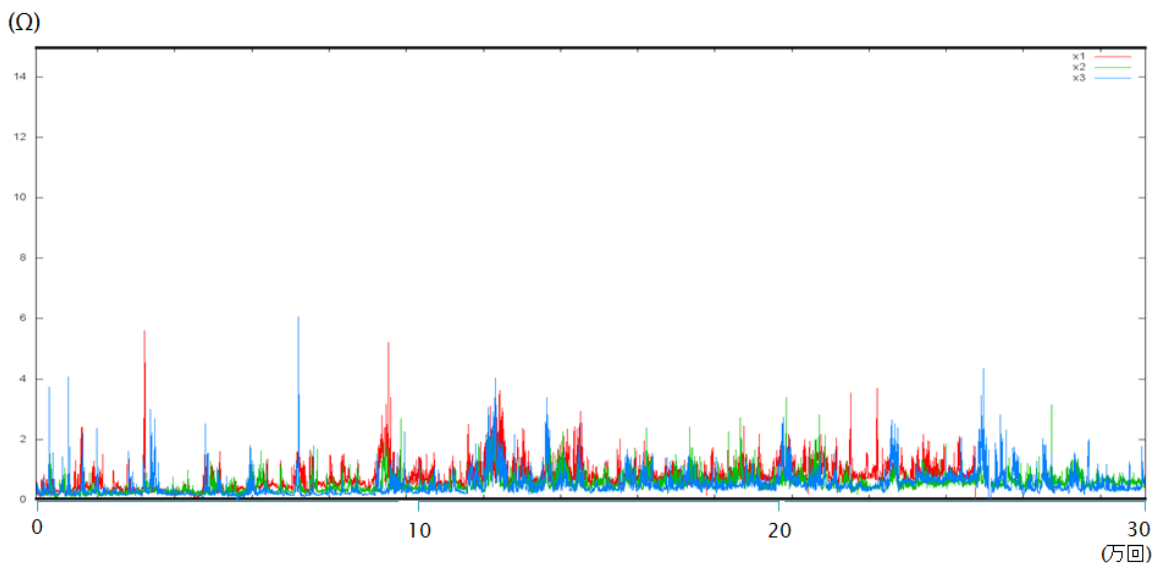


Fig2-2-4-4-2
30 万回時点における Z 合金最良品の経時抵抗値

2-3 高周波プローブの試作及び評価

23年度は既存プローブ(Be-Cu)を使用して検査用テスト治具の評価方法を検討し客先評価を実施した。周波数1.9GHzから2.0GHzの帯域で評価を行い、減衰率、電圧定在波比とともに既存治具とほぼ同様の波形を示すことが確認され、同社での使用が可能であるとの報告を受けた。客先での使用に当たっては2つの課題がある。1つは、テスト治具の特性インピーダンスが既存治具に比べ値が低いことである。既存治具50Ωに対してテスト治具が48.5Ωである(客先計測値)。これはテスト治具のマイクロストリップラインの仕様修正を行う事で対応が可能である。2つめは、マイクロストリップラインの電気容量に対しGNDが弱いことである。これはスルーホール穴径を小さくし穴数を増やす等の修正で対応が可能である。

24年度は3GHzの周波数に対応した高周波基板と高周波コネクタ及びZ合金製プランジャーを使用したプローブから構成されるテスト治具を設計・製作し、客先における評価を実施する計画であったが、Z合金製プローブの完成が本事業期間内に達成できなかった為、現時点で未了となっている。

2-4 超小径(Φ0.1)プローブの試作及び評価

Φ0.5サイズプローブの研究開発結果を超小径プローブへ展開する計画であったが、Φ0.5サイズのZ合金製プローブの完成が本事業期間内に達成できなかった為、現時点で未了。

2-5 組立生産技術の開発

22年度はプローブ組立工程の検討を行い、課題や問題点の抽出を行った。又、部品サイズが極小である事から部品供給装置を製作し、部品供給方法の検討を行った。組立装置の構想を検討した。組み立て工程検討にしたカシメ検討装置をFig2-5-1に示す。

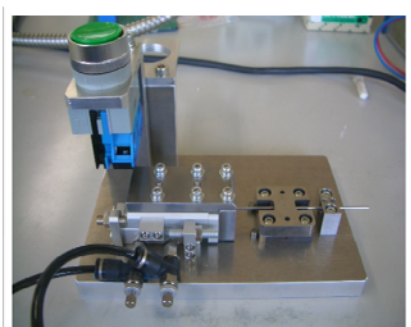


Fig2-5-1 カシメ検討装置

Table2-5-2 手動組立装置構成

	ユニット名	機能
①	組立・荷重測定ユニット	スプリング・プローブの荷重測定とプローブ組立
②	動作確認ユニット	組立品の動作確認
③	回転角確認ユニット	組立品のプランジャー回転角確認
④	拡大鏡	プローブの外観確認、回転角確認

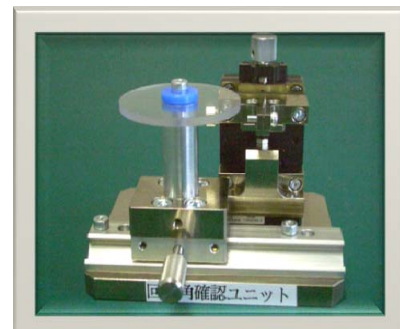


Fig2-5-3 手動組立装置 左：組立・荷重測定ユニット 中：動作確認ユニット 右：回転角確認ユニット

23 年度は手動組立装置を設計、製作しカシメなど組立生産技術の検討を行った。Table2-5-2 と Fig2-5-3 に製作した手動組立装置を示す。客先要求に基づくプローブの最適形状の検討を行った。不良現象の確認と原因推測は完了したが、最適化には至らなかった。

24 年度は23 年度検討を継続した。特にプランジャーはリードを3 水準(40°、60°、80°・Fig2-5-1)、リード先端形状を2 水準(平坦部面積 小、大)、側面部品質(バレル研磨量) 2 水準(良、並) を試作し、プローブ性能(抵抗値) への影響を高温評価装置、接続抵抗装置を用いて確認した。又プローブ単品でストローク・荷重・抵抗値が計測できる治具を新たに製作し検証を行った。プローブ製作に重要なポイントが解明された。Fig2-5-4 より、先端部平坦部が小、側面部品質が良 のサンプルが先端部平坦部が大、側面部品質が並 のサンプルに比べ抵抗値が低く安定している事が顕著に確認される。先端部平坦部、側面部等のプランジャー形状がプローブの抵抗値に大きく影響する事が確認され、プランジャーの高精度・高品質加工が本プローブ製作における重要なポイントである。

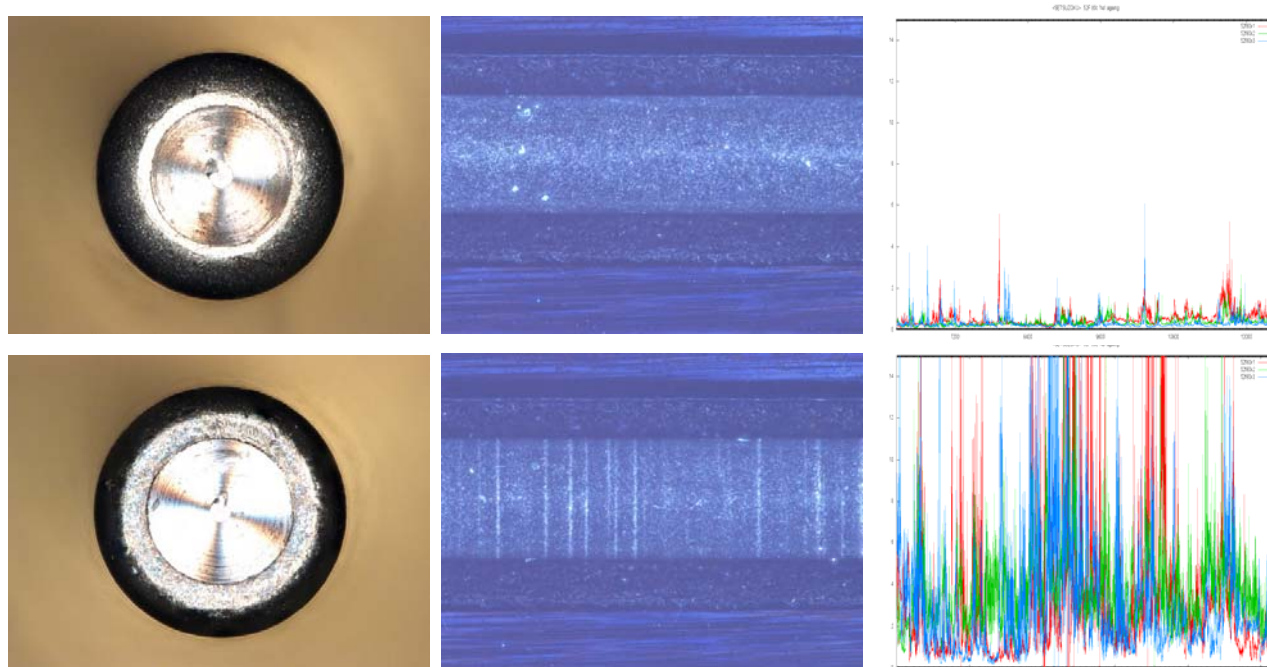


Fig2-5-4

上図左から リード先端形状：小 側面品質：良 抵抗値：安定
 リード先端形状：大 側面品質：並 抵抗値：変動大

3 全体総括

3-1 研究開発成果

新材料開発を目的とした①Z合金の溶解試作 においては酸素量を調整した材料の試作と物性評価が完了した。添加物を酸素に絞る事により抵抗値上昇を抑えつつ、強度を上げることができた。

高温環境試験結果で示される②DBT用プローブの開発においては、はんだ中成分である錫の共晶化及び合金化が発生しない事が確認されZ合金が有効な材料であることがわかった。

接続抵抗評価結果で示される③情報通信機器向け集積回路の検査用プローブの開発においては、30万回後の抵抗値及び動作に関して良好な結果が得られた事から、Z合金を使用したプローブの可能性が確認された。

高周波プローブ及び超小径プローブの開発については、客先ニーズの調査を更に進めながら25年度以降の補完計画に組み込んでいく事とする。

組立生産技術の検討においては、各種試験・評価において、昨年度まで明確でなかった不具合現象に対する原因・要因が明確に解明された。今後生産規模を踏まえた量産用自動組立装置（半自動装置）の具体設計・製作にステージを進めていくが、本研究で得られた「プローブ製作に重要なポイント」をこれら設計・製作に適用する事とする。

23年度前倒し事業の実施項目と評価をTable3-1-1に示す。

Table3-1-1 23年度前倒し事業の実施項目と評価

大項目		中項目（小項目）			評価	
①	Z合金の溶解試作	1	DBT用プローブのZ合金（インゴット）の開発		80%	
		2	情報通信機器向け集積回路検査用プローブのZ合金（インゴット）の開発			
②	DBT用Z合金製プローブの開発	1	試作Z合金の伸線加工の検討		80%	
		2	プローブの部品及び部品加工の検討		75%	
		3	プローブの試作及び評価		70%	
③	情報通信機器向け集積回路の検査用プローブの開発	1	多ピン・高速集積回路検査用プローブの開発	1	試作Z合金の伸線加工の検討	80%
				2	部品及び部品加工の検討	75%
				3	プローブの試作及び評価	70%
		2	大容量情報処理集積回路用高周波プローブの試作・評価	1	検査用テスト治具の製作（3GHz対応）	5%
				2	客先評価	5%
		3	超小径プローブの試作・評価（φ0.1）	1	超小径プローブの部品加工の検討（φ0.1）	5%
				2	超小径プローブの試作及び評価（φ0.1）	5%
④	組立生産技術の開発	1	プローブの組立生産技術の検討			75%

3-2 研究開発後の課題

最終年度の研究開発期間を終えた時点で高性能プローブ開発に関して残されている課題をTable3-2-1へ示す。

酸素添加により目標をほぼ達成した材料開発であるが、プローブのライフに係わる耐摩耗性、生産効率に係わる被削性については検討の余地があり今後の課題とする。

DBT 用プローブ開発においては、耐熱ばねの形状や表面処理等の検討課題がある。

情報通信機器向け集積回路の検査用プローブの開発においては、重要部品であるプランジャーについて加工安定が課題であり、現行方式である NC 旋盤の精密加工検討はもとより、金型による部品加工も検討する予定である。

プローブ共通の課題として、組立品質の安定化も重要な課題である。

Table3-2-1 研究開発後の課題

項目	課題
新材料開発	酸素以外の成分添加により →耐摩耗性UP、被削製UP
DUT用プローブ開発 (高温環境)	ばね劣化による抵抗値変動 →耐熱ばねの検討
情報用プローブ開発 (接続抵抗)	プランジャー加工の安定化 →旋盤による精密加工の追求 →金型による加工の検討 →表面品質向上 (Auメッキetc)
共通	組立品質の安定化 →プランジャーvsスリーブのクリアランス制御 →カシメの安定化

3-3 事業化展開

本研究開発事業の提案から約3年が経過し、客先要求の変化も推測されることから、24年度下期より客先における聞き取り調査を開始している。

客先においては、「はんだ付着」問題に不満はあるものの、コスト優先の方針が明確である。半導体向けプローブについては安価なプローブを提供する台湾・韓国などの海外メーカーとのコスト競争となる。一方、高級機実装基板は、品質が最重要視される為、高性能プローブの需要が見込まれる。但し、ここでもコストはシビアであり販売単価 500 円前後での供給が必要となる。これらを踏まえ、事業化当初は半導体向けプローブ（大量生産）へは参入せず、ニッチ市場（高級機実装基板向け等）への参入を検討する。

半導体業界においては、プローブは客先仕様に合わせカスタマイズするのが一般的であるが、本製品は標準プローブを設定し市場開拓を行っていく。

これらをベースとし、5,000 本/月で成り立つ事業化計画を検討・立案する。

又、事業化を加速・推進する目的で材料調達～部品加工～組立をエフアンドディ社で一貫（生産・管理）して行えるインフラ整備を行っていく。