平成20年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「情報家電向け電子デバイスへの環境対応型鉛フリーめっきプロセスの開発」

研究開発成果等報告書

平成21年 3月

委託者 : 中国経済産業局 委託先 : 財団法人岡山県産業振興財団 目 次

1. 研究開発の概要

1	研究開発の背景・目的及び目標・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2	研究体制(研究組織·管理体制、研究者氏名、協力者等)····································
3	成果概要••••••••••••••••••••••6
4	当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

2. 本論

②「錫めっきのはんだ濡れ性及び耐ウィスカーのメカニズム解析」に関する研究開発・・・・・16
 * 主担当
 * 開発技術
 * 研究成果及び今後の取組み

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・目的及び目標

①川下製造事業者等の抱える課題及びニーズ

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

- ・近年、ソニーEMCS(㈱殿に代表される PC、携帯電話等をはじめとする情報家電産業では、
 機器のダウンサイジングが強く求められており、それに伴い、使用される半導体・電子部品
 も短小軽薄化と性能の向上・長寿命化が求められている。また日本圧着端子製造㈱に代表されるコネクターをはじめとする接点部品についても、ミリオーダからミクロンオーダーにまでダウンサイジングされている中で、これまで以上に相手部品との接合信頼性が要求される。
- ・このダウンサイジングによる接点部品に対する相手部品との接合信頼性に関して、従来、優れた接合性が得られるはんだ(錫と鉛の合金)めっきが適用されてきた。しかし、RoHS規制を代表する最近の環境保護に関する条項において、有害物質の使用が厳しく制限されている。はんだめっきについても鉛の使用が厳しく制限され、鉛を使用しない代替はんだめっき技術の開発が強く望まれている。
- ・鉛を使用しない代替はんだめっきとして、良好なはんだ濡れ性を示す錫及び錫合金めっきが 有望視されているが、デバイス装着後に錫めっきからウィスカーが発生し、このウィスカー がダウンサイジングされた接続部での配線相互間のショート(短絡)事故等を起こし、機器不 良を発生させる。そのため、ウィスカーの発生しない錫めっきの開発、工業化が強く要望さ れている。
- ②上記を踏まえた高度化目標

<u>イ.</u>電気伝導性、低接触抵抗、耐食性、はんだ付け性、耐摩耗性及び抵抗特性の付与及び向 上(主に素子・センサー部材を対象とする。)

カ. その他性能(膜厚精度、膜硬度、高集積化、高積層化、高平滑化)の向上

- ・ウィスカーの発生しない良好なはんだ濡れ性および接合強度の高いめっき技術を開発するため、以下の課題に取り組む。
 - はんだ付け性が優れたウィスカーフリー錫めっき技術としての多層めっきの開発 Sn/Ag/Cu などの多層めっきを行い、ウィスカーの発生しない良好なはんだ濡れ性および 接合強度の高いめっき技術を開発する。
 - 3. 錫めっきのはんだ濡れ性及び耐ウィスカーのメカニズム解析
 3. 錫ー鉛合金めっきの結晶構造を金属学的なアプローチから解析し、はんだ濡れが良好でウィスカーフリーのめっき得るためのメカニズムの知見を得る。
 - 3. 錫めっきリフロー処理技術へのレーザー処理の適用によるウィスカー抑制技術の開発 錫めっきに対して、レーザ照射によるめっき皮膜の溶融処理を行い、拡散層などの組織制 御を行い、ウィスカーの発生しない良好なはんだ濡れ性および接合強度の高いプロセスを 開発する。
 - 高信頼性、高精度の部分錫めっき技術の開発
 部分錫めっきの要求に対して、マスキングおよびレーザトリミングを用い、0.5mm以下の
 部分めっき技術を開発する。

本研究開発は、4つのサブテーマから構成される。サブテーマ毎の開発技術、開発目標、担 当企業等を 〈表1〉 に示す。

ここで、本文中の数値目標は、事業完了後の値である。

<表1> サブテーマ毎の開発技術、開発目標、担当研究団体

	開発技術	開発目標	主担当
① はんだ付け 性が優れたウィ スカーフリー錫 めっき技術とし ての多層めっき の開発	錫/銀/銅 等の多層めっきを 行い、ウィスカーの発生しな い良好なはんだ濡れ性及び 接合強度の高いめっき技術 を開発する。	* 錫-鉛合金めっきと同等 の恒温恒湿による加速試 験後のはんだ濡れ性の劣 化50%以下のこと。 * ボール荷重ウィスカー試 験にて240時間後に50µ m以下であること。 * 自然放置下1,000時間 でウィスカーの発生なきこ と。	オーエム産業 株式会社 豊橋鍍金工業 株式会社
②錫めっきのは んだ濡れ性及 び耐ウィスカー のメカニズム解 析	錫一鉛合金めっきの結晶構造を金属学的なアプローチから解析し、はんだ濡れ性が良好で、かつウィスカーフリーのめっき皮膜を得るため、そのメカニズムを解明する。	* 錫ウィスカーの発生メカ ニズムの解明 * はんだ付け強度のメカニ ズム解明	オーエム産業 株式会社 国立大学法人 愛媛大学 岡山県工業技 術センター
③ 錫めっきリフ ローの 型 の し 一 近 ボ ー 、 の し の で の に よ る ウィスカ 開 発	錫めっきに対して、レーザー 照射によるめっき皮膜の溶 融処理を行うことにより、拡 散層等の組織への制御が 行え、ウィスカーの発生しな い良好なはんだ濡れ性を有 し、かつ接合強度の高いリフ ロー処理が可能な半導体レ ーザーとそのめっきプロセス を開発する。	* ボール荷重ウィスカー試 験にて240時間後に50µ m以下であること。 * 自然放置下 1,000時 間でウィスカーの発生なき こと。	オーエム産業 株式会社 岡山県工業技 術センター
 ④高信頼性·高 精度の部分錫 めっき技術の開 発 	部分錫めっき方法としてレジ ストインキ法を採用し、めっ きプロセスに組み込んで、高 い公差精度を有する部分め っき技術を開発する。	* 部分めっき精度 公差0.05mm以下 * めっきプロセスにおい て、高速(1 秒以内)でマス キングが行えること。	オーエム 産 業 株式会社
⑤プロジェクト の管理・運営			財団法人岡山 県産業振興財 団

1-2 研究体制

研究体制

1)研究組織(全体)



- 2)管理体制
 - ① プロジェクト管理法人
 - 【 財団法人 岡山県産業振興財団 】



【オーエム産業株式会社】



【 豊橋鍍金工業株式会社 】



【 岡山県工業技術センター 】



【 国立大学法人 愛媛大学 】



③ 研究員 及び プロジェクト管理員(役職、実施内容別 担当)

【 管理法人 】

財団法人 岡山県産業振興財団

<u>管理員(プロジェクト管理員)</u>

氏	名	所 属・役 職	<u>実施内容(番号)</u>
松成	博和	財団法人岡山県産業振興財団·技術支援部·部長	5
三島	佳洋	財団法人岡山県産業振興財団·技術支援部·副部長	5
本位田	和昭	財団法人岡山県産業振興財団·技術支援部·次長	5
宮内	隼	財団法人岡山県産業振興財団·技術支援部·主事	5
井田	雅文	財団法人岡山県産業振興財団·技術支援部·主事	5

【再委託先】(研究員のみ)

オーエム産業株式会社

氏名	所属・役職	<u>実施内容(番号)</u>
高見沢 政男	オーエム産業株式会社・取締役・めっき部・部長	2
剣持 仁志	オーエム産業株式会社・技術グループ グループ長	1 3 4
仲俊秀	オーエム産業株式会社・めっき部・開発係	1 3 4
福田 千紗	オーエム産業株式会社・めっき部・開発係	1 3 4
森麻利子	オーエム産業株式会社・めっき部・開発係	1 3 4
多田篤	オーエム産業株式会社・めっき部・開発係	1 3 4

豊橋鍍金工業株式会社

氏	,名	所属・役職	<u>実施内容(番号)</u>
高木	幹晴	豊橋鍍金工業株式会社·代表取締役·社長	1
鈴木	督久	豊橋鍍金工業株式会社·品質保証部·部長	1
福田	新之助	豊橋鍍金工業株式会社·品質保証部	1
福井	啓太	豊橋鍍金工業株式会社·機能部品加工部	1
筒井	賢一	豊橋鍍金工業株式会社·機能部品加工部	1
藤本	剛史	豊橋鍍金工業株式会社·加工一部	1

岡山県工業技術センター

氏	名	所 属・役 職	<u>実旅</u>	<u>地内容(番号)</u>
日野	実	岡山県工業技術センター・機械系技術部・金属材料グ ループ・専門研究員	2	3
國次	真輔	岡山県工業技術センター・機械系技術部・金属材料グ ループ・研究員	2	3
村上	浩二	岡山県工業技術センター・機械系技術部・金属材料グ ループ・技師	2	3
水戸岡	豊	岡山県工業技術センター・機械系技術部・金属材料グ ループ・技師	2	3

国立大学法人 愛媛大学

B	氏 名	所 属・役 職	<u>実施内容(番号)</u>
仲井	清眞	国立大学法人愛媛大学·大学院·理工学研究科·教授	2
阪本	. 辰顕	国立大学法人愛媛大学·大学院·理工学研究科·助教授	2

④ 他からの指導・協力者名 及び 指導・協力事項

【 推進委員会委員 】

ш	<i>A</i>	正 屋 . 	供去
Д		川 禹 12 戦	加巧
高見》	尺 政男	オーエム産業株式会社・取締役めっき部・部長	PL
日野	実	岡山県工業技術センター・機械系技術部・金属材料グル ープ・専門研究員	SL
高木	幹晴	豊橋鍍金工業株式会社·代表取締役社長	
仲井	清眞	国立大学法人愛媛大学·大学院理工学研究科·教授	
小田	喜一	岡山県工業技術センター・所長	
松成	博和	財団法人岡山県産業振興財団·技術支援部·部長	
難波	圭太郎	オーエム産業株式会社・代表取締役社長	
気賀	智也	ソニーイーエムシーエス株式会社・幸田テック・信頼性技 術課・統括課長	アドバイザー
赤田	智	日本圧着端子製造株式会社・名古屋技術センター・品質 保証課	アドバイザー

⑤ 研究実施場所一覧表

管理法人

* 財団法人 岡山県産業振興財団(最寄り駅:西日本旅客鉄道株式会社/山陽本線/岡山駅) 〒701-1221 岡山県岡山市芳賀 5301 番地

研究実施場所(主たる研究実施場所に下線表記)

- * <u>オーエム産業株式会社(最寄り駅:西日本旅客鉄道株式会社/山陽本線/岡山駅)</u> 〒700-0971 岡山県岡山市野田三丁目 18 番 48 号
- * 豊橋鍍金工業株式会社(最寄り駅:東海旅客鉄道株式会社/東海道新幹線/豊橋駅) 〒441-8011 愛知県豊橋市菰口町三丁目 17番地
- * 岡山県工業技術センター(最寄り駅:西日本旅客鉄道株式会社/山陽本線/岡山駅) 〒701-1296 岡山県岡山市芳賀 5301 番地
- * 国立大学法人 愛媛大学(最寄り駅:四国旅客鉄道株式会社/予讃線/松山駅) 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番

1-3 成果概要

①「はんだ付け性が優れたウィスカーフリー錫めっき技術としての多層めっきの開発」

多層めっきとしてバリアA仕様が、すべてのウィスカー試験にて良好であり、コネクター製品に おいても同様な結果となった。また、その他の製品性能試験、めっき皮膜としての評価項目にお いても良好な結果となった。

FPCコネクター、電源コネクター、フレキシブルプリント板、42Aloy材料など、幅広い製品に対して ウィスカー抑制能力が高く、なお且つはんだ濡れ性の良好なめっき皮膜である事が判明した。

コネクター、フレキシブルプリント板において、既に実製品の評価を実施しており実用化の目処が たった。

②「錫めっきのはんだ濡れ性及び耐ウィスカーのメカニズム解析」

Snめっきからのウィスカーの発生及び成長のメカニズムを「原子空孔論」及び「転位論」の2本立 てで提案を行った。また、本研究の多層めっき及びレーザーリフローの解析を行い、本研究で提案 したウィスカー抑制技術の裏付けを実証する事が出来た。

③「錫めっきリフロー(加熱溶融)処理技術へのレーザー処理の適用によるウィスカー抑制技術の 開発」

本試験において、レーザーによるリフローSn めっきで選択性のある Sn リフローめっきが可能となった。通常のリフローとの比較において、ボール荷重試験 50µ m 以下、自然放置 1000 時間でウィスカー発生のない事が確認できた。また中間層のめっきについても同様の性能が確認でき、多層 めっきにおいても必要であればレーザーによる選択性のあるリフロー処理が可能となる事がわかった。

④「高信頼性·高精度の部分錫めっき技術の開発」

レジストプロセスにおいて重要な要素である露光及び現像の基礎条件を得る事ができた。また 実製品において実用レベルの性能を備えており、今後の課題についても抽出できた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口
 財団法人岡山県産業振興財団(担当:本位田)
 連絡先 tel. 086-286-9651 Fax. 086-286-9676

第2章 本論

① はんだ付け性が優れたウィスカーフリー錫めっき技術としての多層めっきの開発

【主担当】オーエム産業株式会社・・・FPC コネクター、フレキシブルプリント板の製作

- 豊橋鍍金工業株式会社・・・電源用ソケット、42Aloy リードフレームの製作 【開発技術】 錫/銀/銅 等の多層めっきを行い、ウィスカーの発生しない良好なはんだ濡れ性及
- 【開発技術】 麺/ 蝨/ 輌(等の多層のつきを打い、ワイスカーの発生しない良好なはんに濡れ性が び接合強度の高いめっき技術を開発する。

【開発目標】

- * 錫一鉛合金めっきと同等の恒温恒湿による加速試験後のはんだ濡れ性の劣化50%以下 のこと。
- * ボール荷重ウィスカー試験にて240時間後に50µ m 以下であること。
- * 自然放置下 1,000時間でウィスカーの発生なきこと。

【具体的実施内容】

1-オ Step3:実製品の製作

実製品について、連続めっき及びバッチめっきの各ラボラインで、中間層めっきによる拡散防止が良好なサンプルをそれぞれ作成する。対象となる製品はフレキシブルプリント用コネクター (FPCコネクター)、電源用コネクター、フレキシブル基板、42Aloyリードフレームの4種類とする。 FPCコネクター

OM-FZ-R01 OM-FZ-R02 OM-FZ-R03	銅				0 2 5 5 5 5	4-1				
OM-FZ-R02 OM-FZ-R03	銅				3 ミクロン	なし	0			
OM-FZ-R03					3 ミクロン	Rf	0			
		<i>t</i> >1	<i>†</i> >1		3 ミクロン	Lf	0			
OM-FZ-R04		ふし	ふし		3 ミクロン	なし	0			
OM-FZ-R05	ニッケル				3 ミクロン	Rf				
OM-FZ-R06					3 ミクロン	Lf				
OM-FZ-01			0.05		1 ミクロン	なし				
OM-FZ-03			0.01			なし				
OM-FZ-04			0.05			なし	0			
OM-FZ-05	銅		0.05		3 ミクロン	Lf	0			
OM-FZ-06		バリアA	0.1			なし				
OM-FZ-13						0.05			Rf	0
OM-FZ-17			0.05	フープ	5 ミクロン	なし				
OM-FZ-07			0.05		クミクロング	なし	0			
OM-FZ-14	-9770		0.05		35907	Rf	0			
OM-FZ-02			0.15		1 ミクロン	なし				
OM-FZ-08		バリアB				なし				
OM-FZ-09			0.3			なし	0			
OM-FZ-10	銅	バリアB	0.3		3 ミクロン	Lf	0			
OM-FZ-11			0.3			なし				
OM-FZ-15			0.15			Rf				
OM-FZ-18		NUFB	0.15		5 ミクロン	なし				
OM-FZ-12			0.3		22001	なし	0			
OM-FZ-16	-9770		0.15		ッミクロノ	Rf				
OM-FZ-19	銅	バリアB	0.05		 光沢 Sn	なし	0			

通常リフロー:Rf、レーザーリフロー:Lf

フレキシブルプリント板

サンプル No	下地	中間層	厚み	工法	錫めっき厚	備考	製品評価
OM-FPC-R01	なし	なし	なし	ラック			0
OM-FPC-02		バリアA	0.05		フツク	フック	max5 ミクロン

OM-FPC-05	バリアB	0.05		0

電源用コネクター

サンプルNo	下地	中間層	厚み	工法	錫めっき厚	備考	製品評価		
TM-VH-R01		なし	なし				0		
TM-VH-01		バリアA	0.05	1. II			0		
TM-VH-03		到月	·03	1170	0.05	NUN	42702		0
TM-VH-04		NULB	0.1						

42Aloy リードフレーム

サンプルNo	下地	中間層	厚み	工法	錫めっき厚	備考	製品評価
TM-42-R01		なし	なし	ラック	10ミクロン		なし
TM-42-01		バリマム	0.1				
TM-42-02	<i>+</i> >1	NOTA	0.5				
TM-42-03	ふし		0.01				
TM-42-04		バリアB	0.05				
TM-42-05			0.1				

*TM-VHの錫めっきは硫酸酸性浴の光沢錫めっきを施す。TM-42は有機酸浴 無光沢錫 めっきを施す。

実製品の評価

(a) コネクター嵌合(かんごう)試験

ユーザーにて製品組み立て後、FPC コネクターは Au めっきを施したフレキシブル基板との 嵌合試験を実施し、1000 時間後、2000 時間後のウィスカー発生数量と発生率を調査した。 (JEITA RC-5241)

FPC コネクター

					ウィスカー	·発生本数
コネクタ	下地	中間層	膜厚(µ m)	Sn めっき厚 (µm)	1000h	2000h
OM-FZ-R01	Cu	Ι	_	3µ m	4/144	80/144
OM-FZ-R02	Cu	Ι	_	3µ m(IJフロー)	0/144	1/144
OM-FZ-R04	Ni	Ι	_	3µ m	2/144	8/144
OM-FZ-04	Cu	バリアA	0.05	3µ m	0/240	0/240
OM-FZ-07	Ni	バリアA	0.05	3µ m	0/240	0/240
OM-FZ-09	Cu	バリアB	0.3	3µ m	2/240	4/240
OM-FZ-12	Ni	バリアB	0.3	3µ m	1/240	7/240
OM-FZ-19	Cu	バリアB	0.05	3µ m	1/240	3/240

中間層バリアAめっきについて、嵌合試験では 50µ m 以上のウィスカー発生が見られなかった。中間層バリアBめっきについては、従来の Sn/Cu めっきと同様のウィスカー発生数量であった。

電源用圧入型ソケットは基板圧入、1000時間後のウィスカー発生数量と発生率を調査する。

					ウィスカー発生本数
サンプルNo	下地	中間層	厚み	錫めっき厚	1000h
TM-VH-R01	<u></u>	なし	なし		15/100
TM-VH-01	判刑	バリアA	0.05	42707	0/100

TM-VH-03	バリアロ	0.05	0/100
TM-VH-04	N976	0.1	0/100

中間層バリアA、中間層バリアBともに 1000 時間でのウィスカー発生は認められなかった。

フレキシブルプリント板は Au めっきを施した FPC コネクターと嵌合試験を行い、1000 時間 後、2000 時間後のウィスカー発生数量と発生率を調査する。(JEITA RC-5241)

フレキシブルプリント板

					ウィスカー	·発生本数
サンプル No	下地	中間層	厚み	錫めっき厚	1000h	2000h
OM-FPC-R01		なし	なし		15/144	35/144
OM-FPC-02	なし	バリアA	0.05	max5 ミクロン	0/144	0/144
OM-FPC-05		バリアB	0.05		2/144	3/144

中間層バリアAめっきについて、嵌合試験では 50µ m 以上のウィスカー発生が見られなかった。中間層バリアBめっきについては、従来の Sn/Cu めっきと同様のウィスカー発生数量であった。

(b) 実装はんだ付け試験

製品組み立て後のはんだ濡れ性についてユーザーにて評価をしてもらう。評価方法は 240℃ピーク表面実装条件でのはんだ濡れ不具合の端子をカウントした。

FPC コネクター

サンプル No	下地	中間層	膜厚(µ m)	Sn めっき厚 (µm)	NG 数
OM-FZ-R01	Cu	-	-	3µ m	0/144
OM-FZ-R02	Cu	Ι	1	3µ m(IJフロー)	4/144
OM-FZ-R04	Ni	Ι	1	3µ m	0/144
OM-FZ-04	Cu	バリアA	0.05	3µ m	0/240
OM-FZ-07	Ni	バリアA	0.05	3µ m	0/240
OM-FZ-09	Cu	バリアB	0.3	3µ m	0/240
OM-FZ-12	Ni	バリアB	0.3	3µ m	0/240
OM-FZ-19	Cu	バリアB	0.05	3µ m	2/240

はんだ付け実装装置での実装において中間層バリアA、中間層バリアBともにはんだ濡 れ性に問題なかった。

(c) 電気特性試験

製品それぞれの電気特性についてユーザーにて評価をしてもらう。評価方法は客先社内 評価試験による。評価試験は熱衝撃試験を0から125サイクルまで実施し、その時のフレ キシブル基板とコネクターの接触抵抗値の変化を確認する。



どの仕様も接触抵抗の変化は±10%以内であり、性能として問題なし。

- (d) 長期信頼性試験
 - (断面確認)

めっき後 FIB	断面加	工後の SIM (
サンプル No	下地	中間層	厚み	錫めっき厚	リフロー	SIM 像
OM-FZ-R01	鉰	なし	なし	3ミクロン	なし	
OM-FZ-R02	鉰	なし	なし	3ミクロン	Rf	
OM-FZ-R04	ニッ ケル	なし	なし	3 ミクロン	なし Rf	

-						
OM-FZ-R05	ニッ ケル	なし	なし	3ミクロン		
OM-FZ-01	銅	ѵ҅҅҅҄҄҆҅҅҄҄҆ӯ҆҂ѧ	0.05	1 ミクロン	なし	
OM-FZ-03	鉰	ѵ҅҅҅҄҄҆҆҅҄҄҆ӯ҆҂ѧ	0.01	3ミクロン	なし	
OM-FZ-04	銅	ѵ҅҅҅҄҄҆҆҄҆҄҆ӯ҆҂ѧ	0.05	3ミクロン	なし	
OM-FZ-06	銅	ѵ҆҅҅҄҆҄ӯ҆ӯѧ	0.1	3ミクロン	なし	
OM-FZ-13	鉰	ѵ҅҅҅҄҄҆ӯӯѧ	0.05	3ミクロン	Rf	
OM-FZ-17	銅	ŃIJŢA	0.05	5 ミクロン	なし	

OM-FZ-07	ニッ ケル	バリアム	0.05	3ミクロン	なし	
OM-FZ-14	ニッ ケル	ѵ҅҅҅҅҄҄҅҅҄҄҄ӯҏ	0.05	3ミクロン	Rf	
OM-FZ-02	鉰	バリアB	0.15	1 ミクロン	なし	
OM-FZ-09	銅	バリアB	0.3	3ミクロン	なし	
OM-FZ-11	銅	バリアB	0.3	3ミクロン	なし	
OM-FZ-15	銅	バリアB	0.15	3ミクロン	Rf	
OM-FZ-18	鉰	バリアB	0.15	5 ミクロン	なし	

OM-FZ-12	ニッ ケル	バリアВ	0.3	3 ミクロン	なし	
OM-FZ-16	ニッケル	バリアВ	0.15	3 ミクロン	Rf	
OM-FZ-19	銅	バリアB	0.05	3 ミクロン 光沢 Sn	なし	

中間層バリアAは下地めっきの不均一な金属間化合物の形成が非常に少ない。リフローす ると特徴的な斜方晶の形成が見られる。中間層バリアBもAと同様に下地めっきの不均一 な金属間化合物の形成が少ないが、Sn 結晶粒界に多く存在しており、リフローすると金属 間化合物の形成が多く見られ、抑制効果が弱い事がわかった。

(ウィスカー試験)

イ 自然放置試験(FPC コネクター、電源用圧入型ソケット、フレキシブルプリント板) 温度 25℃ 相対湿度 50%RH±25%RH の環境下で、各サンプルの特定部位を以下の 時間ごとに定点観察を行う。

観察時間	500H,1000H,2000H,4000H,
------	-------------------------

自然放置試驗	〕 〔	大ウィスク	り一長さ)								
								自然加	女置時間		
サンプル No	뇌	中間	厚み	錫めっき	リフ	011	2501	500U	1000	200011	4000
	地	層		厚			2301	300H		20001	40000
OM-FZ-R01	<u></u>				なし	0	10	30	50	50	72
OM-FZ-R02	Ou	<i>t</i> el	<i>t</i> el	35005	Rf	0	0	0	0	0	0
OM-FZ-R04	NI	120	14 C	32702	なし	0	0	0	0	0	0
OM-FZ-R05	INI				Rf	0	0	0	0		0
OM-FZ-01			0.05	1 ミクロン	なし	0	0	0	0	0	0
OM-FZ-03			0.01			0	0	10	20	20	20
OM-FZ-04	<u>с</u> .,	バリア	0.05	ッミクロン		0	0	0	0	0	9
OM-FZ-06	ou	ו••	0.1	32702		0	0	0	0	0	0
OM-FZ-13		A			Rf	0	0	0	0	0	0
OM-FZ-17			0.05	5 ミクロン	なし	0	0	0	0	0	23
OM-FZ-07	Ni			3 ミクロン	なし	0	0	0	0	0	0

OM-FZ-14					Rf	0	0	0	0	0	0
OM-FZ-02			0.15	1 ミクロン	なし	0	0	0	0	0	0
OM-FZ-08			0.15								
OM-FZ-09	C		0.3	25001	なし	0	0	0	0	0	0
OM-FZ-11	Gu	バリア	0.3	3 2902		0	0	0	0	0	0
OM-FZ-15		в	0.15		Rf	0	0	0	0	0	0
OM-FZ-18			0.15	5 ミクロン	なし	0	0	0	22.5	57	57
OM-FZ-12	NI:		0.3	25001	なし	0	0	0	0	0	0
OM-FZ-16	INI		0.15	3 2902	Rf	0	0	0	0	0	0
OM-FZ-19	Cu	バリア B	0.05	光沢 Sn	なし						

フレキシブルプリント板

サンプル No	下	中	厚み	錫めっき厚			自然放	置時間		
	地	間 層			ОH	250H	500H	1000H	2000H	4000H
OM-FPC-R01		なし	なし		0	20	25	33	48	48
OM-FPC-02	な	バリ アA	0.05	max5 ミクロン	0	0	0	0	0	0
OM-FPC-05		バリ アB	0.05		0	0	0	0	0	0

電源用コネクター

サンプルNo	下	中	厚	錫めっき厚			自然放	置時間		
	地	間 層	み		0H	250H	500H	1000H	2000H	4000H
TM-VH-R01		なし	なし		0	0	50	60	62	68
TM-VH-01		バリ	0.05		0	0	0	0	0	0
	銅	アA	0.05	4ミクロン						
TM-VH-03]	バリ	0.05		0	0	0	0	0	0
TM-VH-04		アΒ	0.1		0	0	0	0	0	0

自然放置試験においては、中間層バリアAめっき厚みが 0.01µm では中間層の働きを果た していない。中間層を形成しためっき皮膜は自然放置下ではウィスカー、ノジュールの発生で 抑制される事が量産製品でも確認された。

口 荷重試験(JEITA RC-5241 7.2)

温度 25℃ 相対湿度 50%RH±25%RH の環境下で荷重試験を行いウィスカーの発生数 量と発生率を調査する。観察時間は 120 時間。有効な変化が見られない場合は時間の延長 をする。

荷重試験(最)	大ウィス	カー長さ、「	ウィスカー	発生数量)				
サンプル No	下地	中間層	厚み		リフロー	反射電子像	最大長さ	発生 数量
OM-FZ-R01	銅	なし	なし	3 ミクロン	なし		21.2µ m	38 本
OM-FZ-R02	銅	なし	なし	3 ミクロン	Rf		80.0µ m	18 本
OM-FZ-R04	ニッ ケル	なし	なし	3 ミクロン	なし		31.8µ m	29 本
OM-FZ-R05	ニッ ケル	なし	なし	3 ミクロン	Rf		20.0µ m	6本
OM-FZ-01	銅	バリアA	0.05	1ミクロン	なし		8.2µ m	1本
OM-FZ-03	銅	バリアA	0.01	3 ミクロン	なし		48.2µ m	53 本
OM-FZ-04	銅	バリアA	0.05	3 ミクロン	なし		15.3µ m	17本

OM-FZ-06	銅	バリアA	0.1	3 ミクロン	なし	30.1µ m	36 本
OM-FZ-13	銅	バリアA	0.05	3 ミクロン	Rf	5.9µ m	8本
OM-FZ-17	銅	バリアA	0.05	5 ミクロン	なし	26.8µ m	19 本
OM-FZ-07	ニッ ケル	バリアA	0.05	3 ミクロン	なし	35.4µ m	13 本
OM-FZ-14	ニッ ケル	バリアA	0.05	3 ミクロン	Rf	60.0µ m	29 本
OM-FZ-02	銅	バリアB	0.15	1 ミクロン	なし	10.5µ m	20 本
OM-FZ-09	銅	バリアB	0.3	3 ミクロン	なし	29.6µ m	55 本
OM-FZ-11	銅	バリアB	0.3	3 ミクロン	なし	24.7µ m	71 本
OM-FZ-15	銅	バリアB	0.15	3 ミクロン	Rf	69.4µ m	36 本
OM-FZ-18	銅	バリアB	0.15	5 ミクロン	なし	34.2µ m	51 本
OM-FZ-12	ニッ ケル	バリアB	0.3	3 ミクロン	なし	40.0µ m	41 本
OM-FZ-16	ニッ ケル	バリアB	0.15	3 ミクロン	Rf	44.3µ m	27 本
OM-FZ-19	Cu	バリアB	0.05	光沢 Sn	なし		

中間層バリアAに関しては、めっき厚にかかわらず、長いウィスカーの発生が極めて稀である。 反対にノジュールが多く観察される。一方、中間層バリアBに関しては Ni 下地は長いウィスカー が出る傾向がある。またウィスカーの発生本数が多いのが特徴である。

- ハ 温度サイクル試験(42Aloy リードフレームのみ実施)
 - -55℃ 125℃ 500 サイクル後のウィスカーの発生数量と発生率を調査する。 42Aloy に関して、中間層を形成するとウィスカーが発生しない。

二 恒温恒湿試験

85℃ 85%で 500 時間後のウィスカーの発生数量と発生率を調査する。

高温高湿環境においては、中間層バリアAは特に大きな変化は見られない。中間層バリアB は、Sn めっき表面が腐食によると思われる形状の変化が大きい。腐食領域も確認される。た だしリフローすると大きな変化はなく特徴的な状態を示している。

ホ アクリル圧縮試験(FPC コネクター、電源圧入型ソケット)

アクリル板による圧縮試験を行い、240、500、1000 時間後に観察を行う。観察時間は 500H,1000H,2000H,4000H で行った。

アクリル圧縮試験から、従来の Sn めっきと比較してウィスカーの発生速度、発生長さともに中間層を形成すると良化している事が判明した。特にリフローしたものについては効果が大きかった。



②半田濡れ性試験(EIAJ ET-7401 平衡法による表面実装部品のはんだ付け性試験方法)

EIAJ ET-7401 平衡法による表面実装部品のはんだ付け性試験方法に基づきゼロクロスタイムを測定 してはんだ濡れ性の評価を行う。前処理として85℃ 85% 飽和 4時間を行い、ゼロクロスタイム3秒以 内である事。

はんだ濡れ試験において、すべての製品でゼロクロスタイム 3 秒以下を達成した。また現状の Sn リフロ ーめっきと比較しても濡れ性の向上が図られている。

③耐熱密着性

150℃ 1000時間後に180°折り曲げ折り返し試験を行い折り曲げ部分でのめっきの密着 性を20倍顕微鏡にて観察評価する。

下地めっきが銅めっきの場合、中間層を形成すると銅めっき界面部でカーケンダルボイドに よる剥離が確認された。ニッケルめっき下地の場合は発生しなかった。

④耐食性

- イ 塩水噴霧試験(JISH8502) 塩水噴霧試験 48 時間後の RN での腐食率の評価を行った。RN=8 以上を確保すること。 塩水噴霧試験において、有意な腐食は確認されず RN でも8 以上を確保できた。
- ロ ガス腐食試験

2 種混合ガス試験 96 時間後の RN での評価。 ガス試験条件 H₂S 1ppm、SO₂ 2ppm 相対湿度 80% 温度 40℃ 2 種混合ガス試験において特に腐食は見られなかった。

② 錫めっきのはんだ濡れ性及び耐ウィスカーのメカニズム解析

【主担当】岡山県工業技術センター・・・ウィスカー発生、成長、抑制メカニズムの解明 国立大学法人 愛媛大学・・・ウィスカー発生、成長メカニズムの解明 オーエム産業株式会社・・・メカニズム解明のためのめっき支援

【開発技術】

錫一鉛合金めっきの結晶構造を金属学的なアプローチから解析し、はんだ濡れ性が良好で、

かつウィスカーフリーのめっき皮膜を得るため、そのメカニズムを解明する。

- 【開発目標】
 - * 錫ウィスカーの発生メカニズムの解明
 - * はんだ付け強度のメカニズム解明
- 【具体的実施内容】

錫めっきウィスカーの解析

(a) バルク錫のウィスカー解析

Snバルクから発生したウィスカーの解析を行い以下の知見を得た。 ウィスカー核生成・成長および変形に関して

- 1. らせん転位および刃状転位が局部的に集積する(pile-up)。
- 2. ウィスカー生成箇所は、不均一となる。例えば、結晶粒界や転位セル境界等に優先してウィ スカーが発生する可能性が大きい。
- ウィスカーがまっすぐ伸びる場合は、高密度のらせん転位が表面に対して垂直に存在する と考えられる。
- ウィスカーがまっすぐ伸びない場合は、らせん転位が表面に対して垂直でないと考えられる。めっき膜中に転位運動の障害物があると、ウィスカーが生成しにくいか、長く伸びない。





Sn バルクのラウエ写真

5. ウィスカーが途中から折れ曲がっている場合があるが、変形後も方位が変わらないか、わ ずかに変わるのみということから、転位のすべり運動あるいは転位同士の相互作用による小 角粒界の生成に起因した現象であると考えられる。



空孔はバルク内から拡散

(b) 錫めっきウィスカーの解析



錫めっきウィスカーの解析を行い、以下の知見を得た。

TEM観察(加速電圧 2000kV)



- ウィスカは根元で屈曲するが、根元結晶粒と既出ウィスカの結晶方位は大きくとも5°程度である。この屈曲は、根元結晶粒の結晶方位変化に応じて、ウィスカが非対称に成長した結果であると考えられる。
- 2. めっき皮膜を構成する Sn は、室温での変形に際して動的回復・再結晶・結晶方位回転を示すとともに、静置状態で結晶粒成長を起こす。根元結晶粒の方位回転は、これらの現象に起因し、方位変化が連続的に起こる場合には、曲線状ウィスカが形成されると考えられる。
- 3. ウィスカーの最表層にはアモルファス構造の酸化皮膜が確認された。
- (c) Cu/Sn界面での化合物形成に及ぼすPbの影響

錫と下地界面に形成する金属間化合物の形成にあたえるPbの影響をAES、EPMA, XPS, GDS を用いて解明する



- Cu上Sn-Pbめっき皮膜におけるPbは、母相のSnに固溶するとともに、Snの結晶粒界、界面に析出 する. 固溶Pbは、Cu₆Sn₅の核生成・成長を均一化すると同時に、めっき皮膜表面に形成される酸 化皮膜を脆弱にすると考えられる。
- 2. 析出Pbは、Cu₆Sn₅発生ならびに外力によって生じた不均一なひずみ、即ち自由エネルギー勾配によって移動し、ひずみを緩和する. その結果、Cu上Sn-Pbめっきでは、表面にSnのみならずPbの小塊が多数観察されるとともに、圧縮試験ではより顕著なPbの移動とOstwald成長が確認され、ウィスカの抑制の役割を果たしている。
- 3. 小塊の発生ならびにウィスカの伸張に伴う表面自由エネルギーの増加量を計算した結果、表面張力、即ちめっき皮膜表面の酸化皮膜の強固さが低い場合に小塊が発生しやすく、ある接触角度で張り出した小塊が発生した後は、根元の伸張へと成長様式が移行することが示された。
- ウィスカー抑制技術の解析
 - (a) 多層めっきの構造解析
 - サブテーマ①にて最良の結果が出たSn/Pd/Ni仕様のめっきの構造解析を行い以下の知見を得た。
 - 1. 中間層Pdの存在により、基材の拡散を抑制するバリア層が確認された。
 - 2. 斜方晶のPd4Snの金属間化合物の形成が確認された。
 - 3. リフローによる熱処理後においてもPd4Snの金属間化合物の形成状態に変化は無かった。



- (b) レーザ処理をした錫めっきの構造解析
 - レーザーリフローにおいてめっきの構造解析を行い以下の知見を得た。
 - 1. 下地、中間層の違いで投入熱量のサンプル内の拡散は異なる。
 - 2. 拡散層の形成において通常リフローと異なった粒子成長がみられるのは、反応界面での層間の温度差によるものと考える。
 - 3. 界面での層間の温度差は、厚さの違いによる比熱の差や物質毎の熱拡散係数の違い によるものと考える。
 - レーザーの照射方法を急熱急冷状態から緩和する事で、現行リフローと同等の成膜を 実施する事ができる。
- ③ 錫めっきリフロー処理技術へのレーザー処理適用によるウィスカー抑制技術の開発

【主担当】オーエム産業株式会社・・・実製品の生産技術的な検討及び製品製作

岡山県工業技術センター・・・レーザーリフローの最適化条件の検討

【開発技術】

錫めっきに対して、レーザー照射によるめっき皮膜の溶融処理を行うことにより、拡散層等の 組織への制御が行え、ウィスカーの発生しない良好なはんだ濡れ性を有し、かつ接合強度の 高いリフロー処理が可能な半導体レーザーとそのめっきプロセスを開発する。

【開発目標】

- * ボール荷重ウィスカー試験にて240時間後に50µ m 以下であること。
- * 自然放置下 1,000時間でウィスカーの発生なきこと。
- 【具体的実施内容】

③-ウ レーザー加工条件の検討



熱量の依存性を確認するために、焦点距離 145.3mm、照射角度 10°、スポット径 2.7mm の 条件にてレーザー出力に対する溶融エリアを確認した(照射時間 2秒)。またレーザー出力を 固定して照射時間を変えて溶融エリアを確認した(レーザー出力 43.9W)。

上記の結果から基本条件を以下に決定した。赤線枠にレーザーを照射し、熱伝導により社射 部以外も溶融させる事を前提とした。





レーザーの出力と溶融位置、処理時間と溶融位置についてはほぼ直線関係が得られた。

③-エ リフロー処理めっき皮膜のサンプル作成とその評価

(a) サンプルの作成

サンプル No	下地	中間層	厚み	工法	錫めっき厚	リフロー
OM-FZ-R03	銅	なし	なし			
OM-FZ-R06	ニッケル	なし	なし		ッミクロン	1.5
OM-FZ-05	銅	バリアA	0.05)_)	32902	LI
OM-FZ-10	銅	バリアB	0.3			

レーザーによる溶融は、レーザー照射による直接的な溶融、熱伝導による溶融の2つの溶融 モードを想定して製品の位置決めを行った。

(b) はんだ濡れ性試験(はんだ濡れ試験機)

レーザー処理による半田濡れ性の低下は見られなった。また中間層バリアA, Bともに濡れ 性に問題はなかった。

(c) ウィスカー試験

イ 自然放置試験

温度 25℃ 相対湿度 50%RH±25%RH の環境下で、各サンプルの特定部位を以下、 時間ごとに定点観察を行う。観察時間は 500H,1000H,2000H,4000H までである。

自然放置試験	最)多	大ウィスカー長さ)								
							É	自然放置明	寺間	
サンプル No	下	中間層	厚み	錫めっき	リ					
	地			厚	フ	011	05011	50011	100011	000011
						UH	250H	500H	TUUUH	2000H
					—					
OM-FZ-R03	Cu	なし	なし	3 ミクロン	Lf	0	0	0	0	0
OM-FZ-R06	Ni	なし	なし	3 ミクロン	Lf	0	0	0	0	0
OM-FZ-05	Cu	バリアA	0.05	3 ミクロン	Lf	0	0	0	0	0
OM-FZ-10	Cu	バリアB	0.3	3 ミクロン	Lf	0	0	0	0	0

自然放置試験において、レーザーリフローでのウィスカー発生は全く確認されなかった。

口 荷重試験(JEITA RC-5241 7.2)

温度 25℃ 相対湿度 50%RH±25%RH の環境下で荷重試験を行いウィスカーの発生数 量と発生率を調査する。観察時間は 120 時間。有効な変化が見られない 場合は時間の延 長をする。

荷重試験(最	大ウィス	カー長さ、「	ウィスカー	発生数量)				
					1			発生
サンプル No	下地	中間層	厚み	錫めっき	リフロー	反射電子像	最大長さ	数量
				厚				
OM-FZ-R03	銅	なし	なし		Lf		80.0µ m	26 本
	ニッ			ッミクロン	1.5		42.011 m	15 ★
	ケル	なし	0.05	32702	LI		43.0µ m	15 4
OM-FZ-05	銅	バリアA	0.05]	Lf		43.4µ m	7本

OM-FZ-10	銅	バリアB	0.3		Lf	
----------	---	------	-----	--	----	--

荷重試験においては、有意性は見られなかった。

二 恒温恒湿試験

85℃ 85%で 500 時間後のウィスカーの発生数量と発生率を調査する。

ウィスカーの発生は全く見られなかった。

ホ アクリル圧縮試験

アクリル板による圧縮試験を行い、240、500、1000時間後に観察を行う。



アクリル試験において、レーザーリフローを実施したサンプルは、ウィスカー抑制に非常に 優れている結果となった。これは、リフローされることによるヨリ現象のためにアクリルによる荷 重がかからないためと考える。

④ 高信頼性・高精度の部分錫めっき技術の開発

【主担当】オーエム産業株式会社

【開発技術】部分錫めっき方法としてレジストインキ法を採用し、めっきプロセスに組み込んで、 高い公差精度を有する部分めっき技術を開発する。

【開発目標】

* 部分めっき精度 公差 0.05mm 以下のこと。

* めっきプロセスにおいて、高速(1 秒以内)でマスキングが行えること。

【具体的実施内容】

④-イ 紫外線硬化装置の検討

露光装置は使用する薬品に合わせて、OOOOnmの波長の紫外線ランプを採用し、ミラーを 用いての疑似平行光のが照射できる仕様とした。

1.	2. 2. 2.

④-ウ レジストマスク試験装置の設計、製作

露光装置、現像装置の仕様として以下の仕様で製作を行った。

(+11		-
〈素材	:ハルセル 板(Cu)	
レジスト膜厚	: 10µm	
レジストマスク	: 250µmストライプ	
·露光条件		
UVランプ出力	:400~500W	
積算光量	: 350~550mJ/cm ²	
露光時間	:11~16sec	
·現像条件		
現像液温度	: 50° C	
現像液噴射圧	: 0.75MPa	
現像時間	:15~40sec	

④-エ レジストエ程の評価

(a) プロセスの評価



ライン間スペース 250µ m のメタルマスクを作成して各条件による現像精度、密着性の確認を行った。

試験結果					
Ŧ	算光量	剥離幅			
35	0mJ/cm ²	レジスト剥離			
40	0mJ/cm ²	レシスト到離			
45	0mJ/cm ²	251 µ m			
50	0mJ/cm ²	245 µm			
55	0mJ/cm ²	242 µm			

積算光量は 450mJ/cm2 が露光に要する最低光量である事が判明した。また積算光量が 低いとレジストの密着性に影響し、高くなるとメタルマスクとのマスク精度が 0.5%/50mJ で 悪化している事がわかった。

・UV ランプ出力による影響

試驗結果

積算光量を一定にして UV ランプ出力を変化させてマスク精度の確認を行った。

UVランプ出力	剥離幅	露光時間
400W	251	16s
450W	252	13s
500W	レジスト剥離) 11s



UV ランプの出力で 500W 以上となるとエッジ部分でのバラツキが発生することが判明した。

・現像時間による影響

現像工程にて適正な処理時間をエリア精度で確認する。

試験結果

411		
2	現像時間	剥離幅
	15s	240 µ m
	20s	251 µ m
	25s	250 µ m
	30s	251 µ m
	35s	レジスト剥離

露光時間が35秒以上になるとレジスト膜が剥離する現象が見られた。また15秒以下では 成膜不足の現象が見られた。

(b) 露光方式の評価

本試験においては露光方式は疑似平行光での試験を行った。





立体面のマスク成膜が確保できており、疑似平行光によるマスクエリアの精度は±0.004mmであった。

(c) レジスト剥離の評価

現像の処理時間によりレジスト膜の厚み及び剥離界面の状態を観察した。



現像時間 30 秒まではレジスト膜の厚み及び界面精度に問題ないが、40 秒以上となると現 像液によるレジスト膜への浸食が発生し厚み、界面精度ともに劣る結果となり、現像時間の 重要性が把握できた。 ④-オ 部分めっきのエリア精度の評価

最適条件におけるエリア精度と各プロセスにおける影響を調べた。



エリア精度においては 250µ m 幅に対して、±0.006mm での公差で確保する事ができた。当 初の計画の±0.05mm を大幅にクリアする事が出来た。

- ④-カ 実用製品への適用
 - (a) 平板製品への適用と評価

平板へのライン間スペース 250µ m のメタルマスクを作成して各条件による現像精度、 密着性の確認を行った。



エリア精度においては 250µm幅に対して、±0.006mmでの公差で確保する事ができた。当初の計画の±0.05mmを大幅にクリアする事が出来た。

(b) 成形製品への適用と評価

下図、成型品へのレジスト膜を形成して評価を行った。



レジスト膜を形成した製品を実装リフロー炉を3回処理した後のレジスト膜の厚みの変化を 確認した。リフロー回数が増す毎に厚みが小さくなる傾向が見られ、実装炉の熱による影響 で膜質が変化している。

最終章 全体総括

① はんだ付け性が優れたウィスカーフリー錫めっき技術としての多層めっきの開発

多層めっきとしてバリアA仕様が、すべてのウィスカー試験にて良好であり、コネクター製品 においても同様な結果となった。また、その他の製品性能試験、めっき皮膜としての評価項 目においても良好な結果となった。

FPCコネクター、電源コネクター、フレキシブルプリント板、42Aloy材料など、幅広い製品に対してウィスカー抑制能力が高く、なお且つはんだ濡れ性の良好なめっき皮膜である事が判明した。

コネクター、フレキシブルプリント板において、既に実製品の評価を実施しており実用化の 目処がたった。



② 錫めっきのはんだ濡れ性及び耐ウィスカーのメカニズム解析

Snめっきからのウィスカーの発生及び成長のメカニズムを「原子空孔論」及び「転位論」の2 本立てで提案を行った。

また、本研究の多層めっき及びレーザーリフローの解析を行い、本研究で提案したウィスカ 一抑制技術の裏付けを実証する事が出来た。



③ 錫めっきリフロー(加熱溶融)処理技術へのレーザー処理の適用によるウィスカー抑制技術の 開発

本試験において、レーザーによるリフローSn めっきで選択性のある Sn リフローめっきが可能となった。通常のリフローとの比較において、ボール荷重試験 50µ m 以下、自然放置 1000時間でウィスカー発生のない事が確認できた。また中間層のめっきについても同様の性能が確認でき、多層めっきにおいても必要であればレーザーによる選択性のあるリフロー処

理が可能となる事がわかった。

- ④ 高信頼性・高精度の部分錫めっき技術の開発
 - 1.露光条件

・レジスト皮膜の硬度が低すぎる(3~5Hv)ため、硬度による露光状態の確認は難しい。新たな評価方法の確立が必要である。

・レジストの硬化には、十分な光量と時間(積算光量)が必要であり、処理時間として13秒が 必要である。目標としていた1秒以内での成膜に到達しなかった。しかしながら、更に強いUV ランプ(2000Wなど)を用いる事で可能である事は確認できた。

2.現像条件

・現像時間のコントロールにより制御可能である。最適時間は20秒である。

3.加工精度

・露光、現像条件を管理することで、加工誤差は±0.006mmに抑えられる。目標とした±0.05mmを大幅に達成できた。

- 4.耐熱性
- ・アクリル系レジスト膜では耐熱環境において寸法に影響が発生する。ポリイミド樹脂等の採用について今後検討を行い、耐熱環境での使用を前提とした膜の開発を行う。

実用化に向けた補完研究

(項目1)

・多層めっきで最良の結果となった錫/パラジウム/ニッケルめっき仕様の錫めっきの種類、
 条件及び最終のめっきプロセスの検証を行う。

(項目2)

・ウィスカー抑制能力がある錫/パラジウム/ニッケルめっきの構造解析及びめっき後、リフロー後の挙動変化を解析して、ウィスカーの抑制メカニズムを解明する。

以上