

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「半導体TSV基板の平坦化技術の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成23年 9月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人三重県産業支援センター

目 次

第1章 研究開発の概要	4
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	5
1-2 研究体制	6
1-2-1 研究組織	6
1-2-2 管理体制	7
1-2-3 研究者氏名、協力者	9
1-3 成果概要	11
1-3-1 研磨パッドの再生技術の開発	11
1-3-2 TSVの研磨能率を向上するパッド加工技術の開発	13
1-3-3 TSV新素材パッドの開発	13
1-4 当該研究開発窓口	15
第2章 本論	16
2-1 研磨パッドの再生技術の開発	16
2-1-1 パッド着脱用補助板の開発 【東邦エンジニアリング株式会社】	16
2-1-2 使用済みパッドの洗浄・乾燥装置の開発 【東邦エンジニアリング株式会社】	18
2-1-3 パッド再生加工方法の検討 【東邦エンジニアリング株式会社、 株式会社小林機械製作所、国立大学法人名古屋大学、 三重県工業研究所】	20
2-1-4 再生パッドを量産プロセスに適用するための解析 【国立大学法人名古屋大学】	20
2-1-5 再生パッドの性能評価 【東邦エンジニアリング株式会社、三重県工業研究所】	21
2-2 TSVの研磨能率を向上するパッド加工技術の開発	22
2-2-1 パッド表面仕上げ技術の開発 【東邦エンジニアリング株式会社、 株式会社小林機械製作所、国立大学法人名古屋大学、三重県工業研究所】	22

2-2-2	溝加工技術の開発	23
	【東邦エンジニアリング株式会社、 株式会社小林機械製作所、国立大学法人名古屋大学】	
2-2-3	能率評価	23
	【東邦エンジニアリング株式会社、 三重県工業研究所】	
2-3	TSV用新素材パッドの開発	24
2-3-1	TSV基板の研磨レートに関する検討	25
	【東邦エンジニアリング株式会社、 国立大学法人名古屋大学、三重県工業研究所】	
2-3-2	TSV基板の面内均一性に関する検討	26
	【東邦エンジニアリング株式会社、 国立大学法人名古屋大学、三重県工業研究所】	
2-3-3	寿命評価	28
	【東邦エンジニアリング株式会社、 三重県工業試験所】	
	最終章全体総括	28

第1章 研究開発の概要

① 研磨パッド再生技術の開発

実施内容	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
①-1 パッド着脱用補助板の開発			■						
①-2 使用済みパッドの洗浄・乾燥装置の開発			■						
①-3 パッド再生加工方法の検討						■			
①-4 再生パッドを量産プロセスに適用するための解析								■	
①-5 再生パッドの性能評価							■		

② TSV基板の研磨能率を向上するパッド表面、溝加工技術の開発

実施内容	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
②-1 パッド表面仕上げ技術の開発							■		
②-2 溝加工技術の開発							■		
②-3 能率評価									

③ TSV 用新素材パッドの開発

実施内容	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
③-1 TSV 基板の研磨レートに関する検討							—————		
③-2 TSV 基板の面内均一性に関する検討							—————		
③-3 寿命評価								—————	

④ プロジェクト管理・運営

実施内容	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
④プロジェクト管理・運営			—————						
・委員会の開催				○		○		○	
・報告書作成								—————	

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

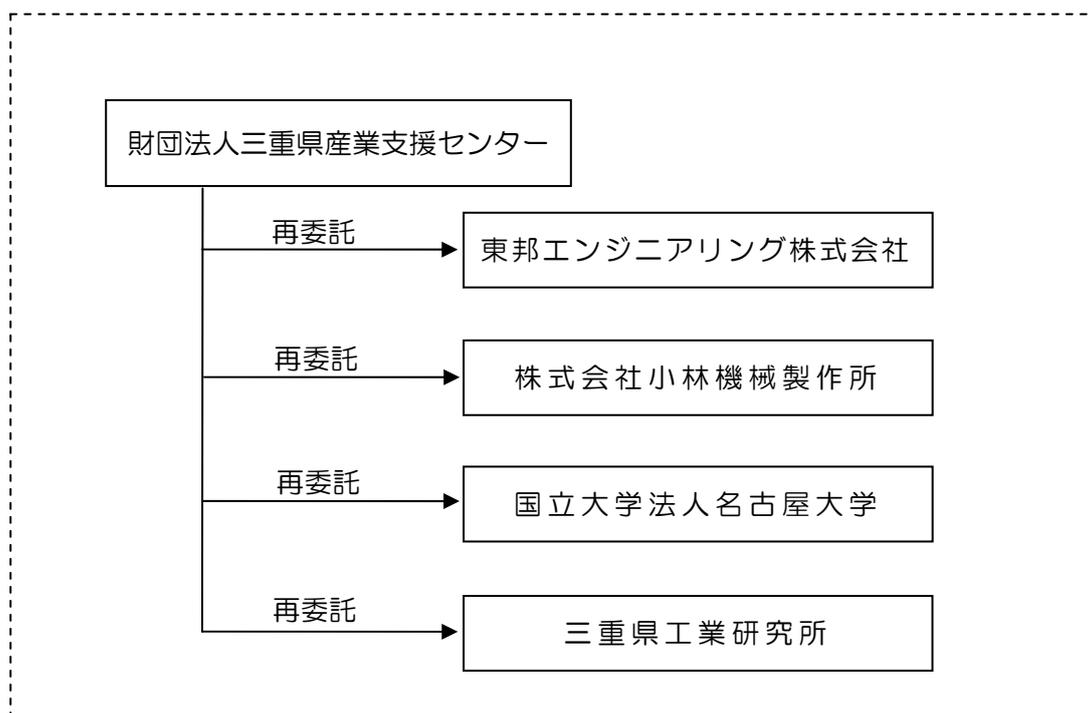
電子機器の小型化、高機能化に対応した半導体の構造は平面の2次元構造から3次元構造へ進展し、多層化による積層構造（TSV）によって集積化を達成してきた。

一方、コスト低減については、国際的に熾烈な価格競争を余儀なくされている。しかしながら、TSV 基板（以下「TSV」という。）の構造上、平坦化工程での研磨パッドの消耗が著しいため、コスト低減を目的としたパッド開発が求められている。

本研究では以上の課題を解決する半導体 TSV 基板平坦化技術の開発に取り組む。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織

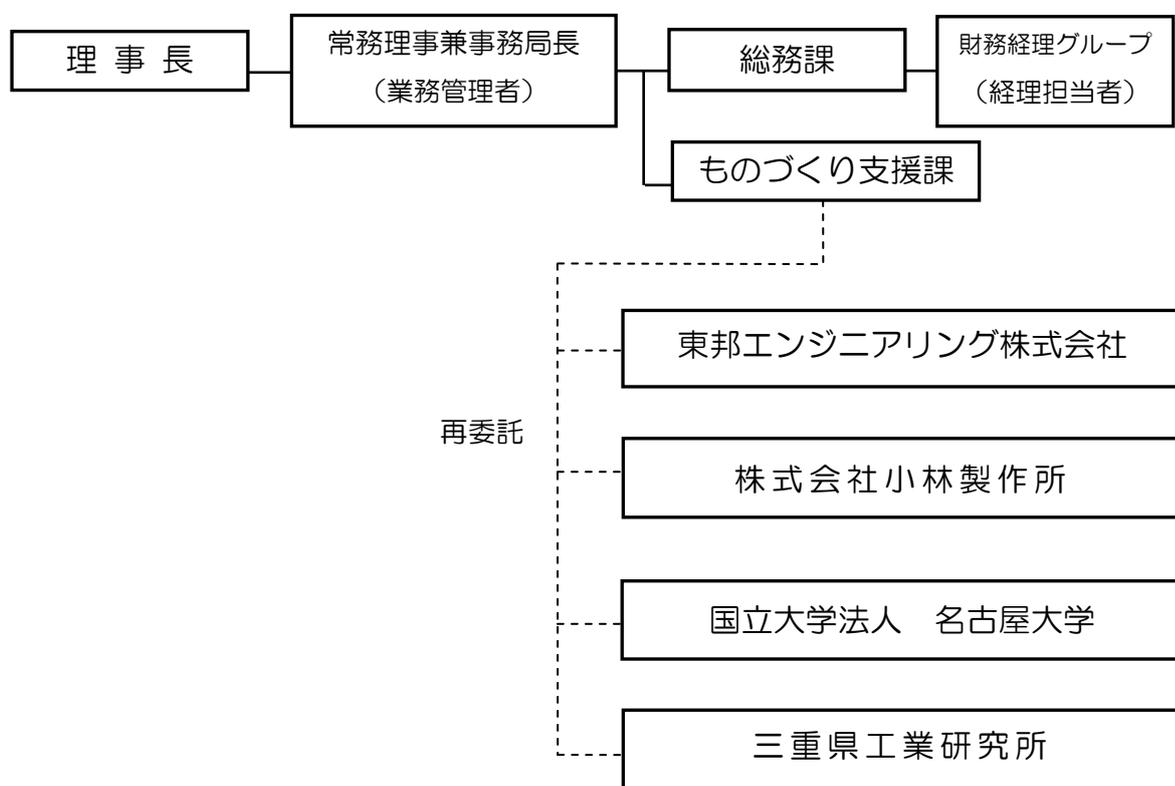


総括研究代表者（PL） 所属 東邦エンジニアリング株式会社 役職 代表取締役社長 氏名 鈴木辰俊	副総括研究代表者（SL） 所属 株式会社小林機械製作所 役職 技術係長 氏名 林 展行
--	---

1-2-2 管理体制

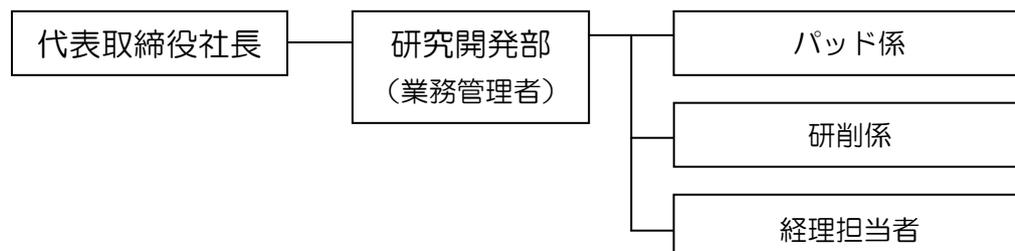
① 事業管理者

財団法人三重県産業支援センター

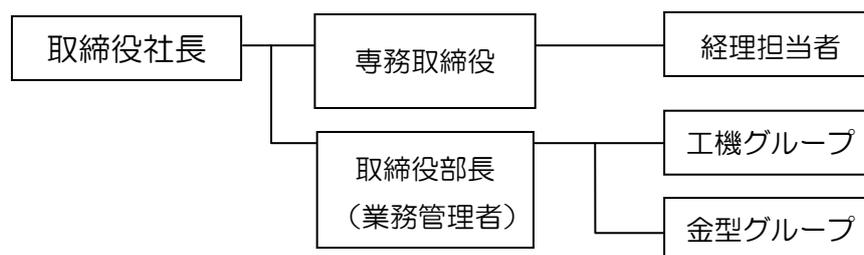


② 再委託先

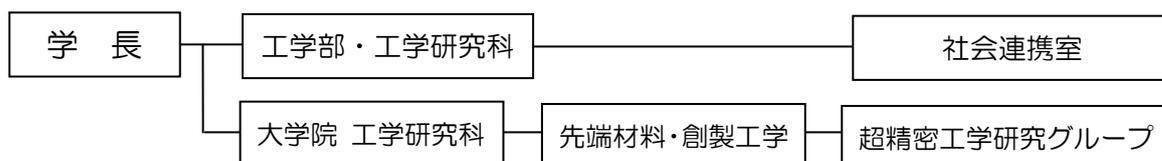
東邦エンジニアリング株式会社



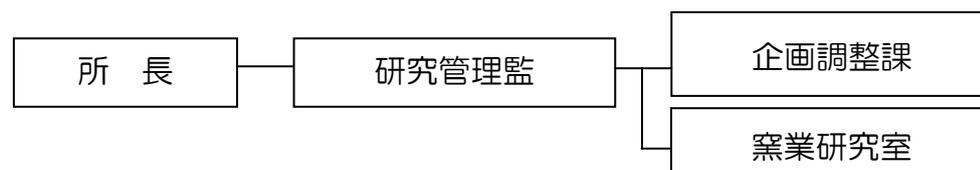
株式会社小林機械製作所



国立大学法人名古屋大学



三重県工業研究所



1-2-3 研究者氏名、協力者

【事業管理者】 財団法人三重県産業支援センター

管理員

氏名	所属・役職
片山 良夫	常務理事兼事務局長
大杉 弘和	総務課財務経理G
湯浅 幸久	ものづくり支援課長
舟木 淳夫	ものづくり支援課長補佐
藤原 基芳	ものづくり支援課
山本 勇治	ものづくり支援課

【再委託先】

研究員

東邦エンジニアリング株式会社

氏名	所属・役職
鈴木 辰俊	代表取締役社長
杉本 浩彰	研究開発部 パッド係リーダー
三井 克義	研究開発部 研削係リーダー

株式会社小林機械製作所

氏名	所属・役職
林 展行	工機グループ 係長

国立大学法人名古屋大学

氏名	所属・役職
鈴木 教和	名古屋大学大学院 工学研究科 機械理工学専攻機械科学分野 先端材料・創製工学 超精密工学研究グループ 講師

三重県工業研究所

氏名	所属・役職
稲垣 順一	窯業研究室 主任研究員
林 大貴	窯業研究室 研究員

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 三重県産業支援センター

(経理担当者) 総務課財務経理 G 主幹 大杉 弘和
(業務管理者) 常務理事兼事務局長 片山 良夫

(再委託先)

東邦エンジニアリング株式会社

(経理担当者) 鈴木 博子
(業務管理者) 研究開発部長 松本 英次

株式会社小林機械製作所

(経理担当者) 専務取締役 長田 泰宏
(業務管理者) 取締役部長 川瀬 恵嗣

国立大学法人 名古屋大学

(経理担当者) 工学部・工学研究科 社会連携室 山川 明美
(業務管理者) 大学院工学研究科 研究科長 鈴置 保雄

三重県工業研究所

(経理担当者) 企画調整課主査 浅生 高司
(業務管理者) 研究管理監 松田 泰介

1-3 成果概要

震災の影響により一部装置の完成が大幅に遅延したため、できる限り代替手段で実験を進めたが、どうしても装置の完成を待たなければならない実験があり、この課題については今後継続して研究を行う。また一部に実験未完了ものや、新たな課題が発見されたものがあり、これらについても今後継続して研究を行う。

1-3-1 研磨パッドの再生技術の開発

1. パッド着脱用補助板の開発

- ・ 研磨機の改造なしで素早く着脱できる補助板を開発できた。
- ・ 補助板の着脱を繰り返しても研磨精度が維持できて、耐久性もあることが確認できた。
- ・ 回転定盤とスラリーカバーの隙間が少ないタイプの研磨装置あることが判明したので、この装置にも着脱可能な補助板を開発した。
- ・ 補助板の固定力・吸着力ともに300mm研磨装置の最大負荷に耐えられることを研磨実験により確認できた。具体的な固定力と吸着力の数値データの計測ができていないので、今後実験方法を検討する。
- ・ パッド位置決め貼り付け装置を開発し、300mm基板用のパッドの貼り付け試験を行い、問題なく貼り付けを行うことが確認できた。

2. 使用済みパッドの洗浄・乾燥装置の開発

- ・ 微粒化した純水を高圧で吹き付ける方式のパッド洗浄装置を開発できた。
- ・ 乾燥は加熱のみで可能であることが確認できたので、この方式の乾燥装置をクリーン度と処理能力を考慮して製作した。
- ・ 従来はパッドが乾燥すると再使用できなくなるとされていたが、その原因が確認できたので、補助板を利用して対策する方法を開発した。
- ・ 乾燥後のパッド保管は、補助板を利用して密封すれば通常的环境中で長期保存できることが確認できた。
- ・ 洗浄処理した研磨パッドの表面の肉眼で確認が難しいよごれの有無を色差計で着色を数値比較する方法で確認した。その結果洗浄が不十分である場合があることが確認されたので、今後ブラシ洗浄を装置に追加する検討をする。

- ・洗淨乾燥したパッドの物性は処理前後においてほとんど変化が無いことが確認できた。

3. パッド再生加工方法の検討

- ・溝位置を自動的に検出して溝を修正加工できる装置が開発できた。今後位置検出時間を短縮できる方法を検討する。
- ・溝加工用工具は従来に比べて性能を向上することができなかつたので、今後工具材質を新規なものに変更して開発を行う。
- ・再生パッドの表面観察と定量分析を行った結果、新品パッドとの有意差は発見されなかつた。
- ・研磨実験においても補助板を利用すれば、再生パッドは新品に劣らない性能をもつことを確認できた。

4. 再生パッドを量産プロセスに適用するための解析

- ・GW モデルを用いて凹凸層の非線形弾性特性をモデル化し、圧縮試験結果と比較することで研磨パッド材料特性を同定する手法を提案した。
- ・提案手法を用いて評価を行った結果、非線形弾性特性と粘性特性を同定し得ることを確認した。
- ・高精度な研磨トルク、研磨抵抗の測定を実現する研磨定盤型の力測定装置を開発した。有限要素法解析の結果、10 倍程度の高剛性化と 20 倍以上の固有振動数の増大が期待できることを確認した。
- ・研磨パッドを取り外すことなく研磨パッドの圧縮試験を行うことのできる、機上圧縮試験装置の設計・開発を行った

5. 再生パッドの性能評価

- ・外部に依頼して300mm銅膜付基板について、再生パッドの評価を行った結果、新品パッドと比べてやや性能が低下する部分があるが特に問題なく使用できることが確認できた。
- ・今後完成が遅れていた溝加工装置を使用して、川下事業者（MEMS）の評価を受ける。
- ・TSV半導体の200mm試験用基板を再生パッドで研磨した結果、新品パッドと比べて特に支障なく研磨できることを確認できた。
- ・TSVのへこみが解消できていないため、今後実験用研磨装置で

精度良く研磨する技術開発を行う必要がある。

- ・川下事業者（半導体）に実験データの評価依頼は、まだ良好な実験結果が得られていないので、今後開発ができた時点で行う。

1-3-2 TSVの研磨能率を向上するパッド加工技術の開発

1. パッド表面仕上げ技術の開発

- ・パッド表面を切削仕上げすることにより、研磨に適した状態に仕上げる方法が開発できた。
- ・この方法によれば市販品に比べて200mm銅膜付基板研磨において、研磨レートは変わらないが、平坦性を10%ないし40%向上できることが確認できた。
- ・TSV基板にメッキされている銅膜を効率的に除去するのに、銅研磨の温度依存性が高いことが実験で明らかになった。そこで適正な温度管理することで研磨効率を向上する方法を考案した。

2. 溝加工技術の開発

- ・単層パッドの裏面にクッション性をもたせた傾斜溝をつけた研磨パッドの評価を名古屋大学の実験装置で今後実験を行う（装置完成遅れによる）。
- ・工具材質についても、実験結果に基づき今後開発を進める。

3. 能率評価

- ・装置完成遅れのため、今後継続して実施する。

1-3-3 TSV新素材パッドの開発

1. TSV基板の研磨レートに関する検討

- ・完成した無発泡樹脂の研磨パッドでTSV基板を研磨したが、ドレスが従来と同じ条件では性能が十分に発揮できないことが分かった。今回は従来パッドに適した溝形状で実験したが、今後は無発泡パッドに適した溝形状を検討する。
- ・今後銅膜付基板による基礎実験により、ドレス条件を検討し、その結果を基にTSV基板の試験を行う。

2. TSV基板の面内均一性に関する検討

- ・従来の発泡ウレタン材の研磨層に不織布のクッション層を備えた二層パッドを使用してTSV基板の研磨を行ったが、TSVのへ

こみが改善できなかった。今後研磨条件を一回の研磨工程の中で変化させていく方法を検討する。

- ・無発泡樹脂パッドに耐水性のあるクッション層を貼りTSV基板の研磨を行った結果、従来のパッドと比べて均一性に差が無いことが分かった。

3. 寿命評価

- ・TSV基板の面内均一性が確保できてから、寿命評価を行うため今後継続して研究する。

1-4 当該研究開発の窓口

研究実施機関 (機関名)	代表者 役職氏名	連絡先
東邦エンジニアリング 株式会社	代表取締役社長 鈴木 辰俊	①所在地 〒512-8041 三重県四日市市山分町字川之下 443 ②連絡先担当者氏名 鈴木英資 ③電話番号 059-364-3811 ④FAX 番号 059-364-3912 ⑤E-mail: suzuki@tohokoki.jp
株式会社小林機械製作所	代表取締役社長 森 十九男	①所在地 〒510-0947 三重県四日市市八王子町2435番地 ②連絡先担当者氏名 森十九男 ③電話番号 059-321-2121 ④FAX 番号 059-321-2126 ⑤E-mail: kobayashi@koba-ks.co.jp
国立大学法人名古屋大学	総 長 濱口 道成	①所在地 〒464-8603 愛知県名古屋市不老町 ②連絡先担当者氏名 鈴木 教和 ③電話番号 052-789-4491 ④FAX 番号 052-789-3107 ⑤E-mail: nsuzuki@mech.nagoya-u.ac.jp
三重県工業試験所	工業研究所長 河合 真	①所在地 〒514-8507 三重県津市高茶屋 5-5-45 ②連絡先担当者氏名 稲垣順一 ③電話番号 059-331-2381 ④FAX 番号 059-331-7223 ⑤E-mail: shouym00@pref.mie.jp

第2章 本論（研究の内容及び成果）

2-1 研磨パッドの再生技術の開発

2-1-1 パッド着脱用補助板の開発（図1）

主たる成果1

研磨機の改造なしで素早く着脱できる補助板を開発できた。
研磨性能は従来の直接パッドを定盤に固定する方法と変わらず、
誰でも5分以内で高精度に着脱できる。

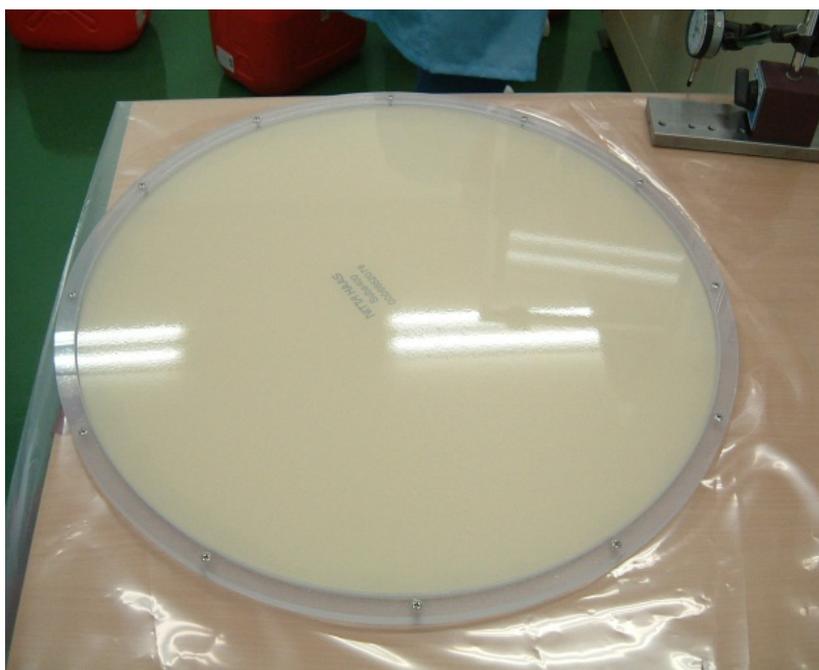
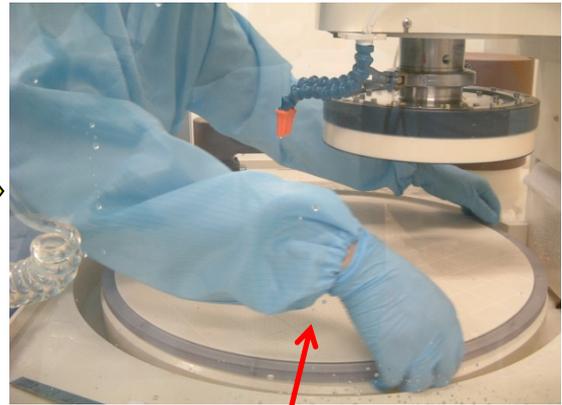


図1 開発したパッド着脱用補助板

- ① 実験方法は、初めに研磨装置 RDP500（不二越機械工業(株)製）回転定盤の上面を拭き取り、研磨パッドを装着した補助板を取り付けて行った（下図）。補助板を使用しない従来 방식は、パッドを直接回転定盤に貼り付けた。

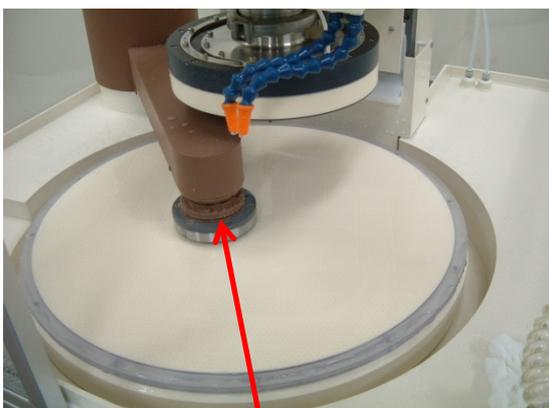


回転定盤

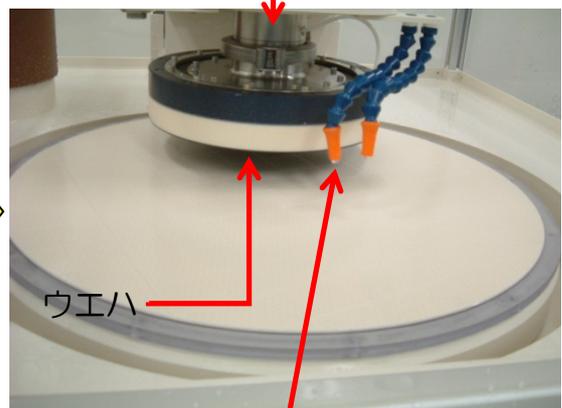


研磨パッドを装着した補助板

- ② 次に、ダイヤモンドドレッサーで研磨パッドのドレッシングを行った後、様々な研磨荷重、スラリー量による研磨レートの測定を行った（下図）。



ダイヤモンドドレッサー



スラリー供給口

2-1-2 使用済みパッドの洗浄・乾燥装置の開発

・微粒化した純水を高圧で吹き付ける方式のパッド洗浄装置を開発できた（図1）。

・乾燥は加熱のみで可能であることが確認できたので、この方式の乾燥装置をクリーン度と処理能力を考慮して製作した（図2）。



図1 洗浄装置



図2 乾燥装置

従来はパッドが乾燥すると再使用できなくなるとされていたが、その原因が確認できたので、補助板を利用して対策する方法を開発した。

洗浄処理した研磨パッドの表面の肉眼で確認が難しいよごれの有無を色彩色差計（ミノルタCR-300）で着色を数値比較する方法で確認した。この検査方法は短時間で合理的な検査ができるので、今後パッド再生の検査方法として導入したい。

- ・ 色差検査の結果洗浄が不十分である場合があることが確認されたので、今後ブラシ洗浄を装置に追加する検討をする（図3）。



色彩色差計

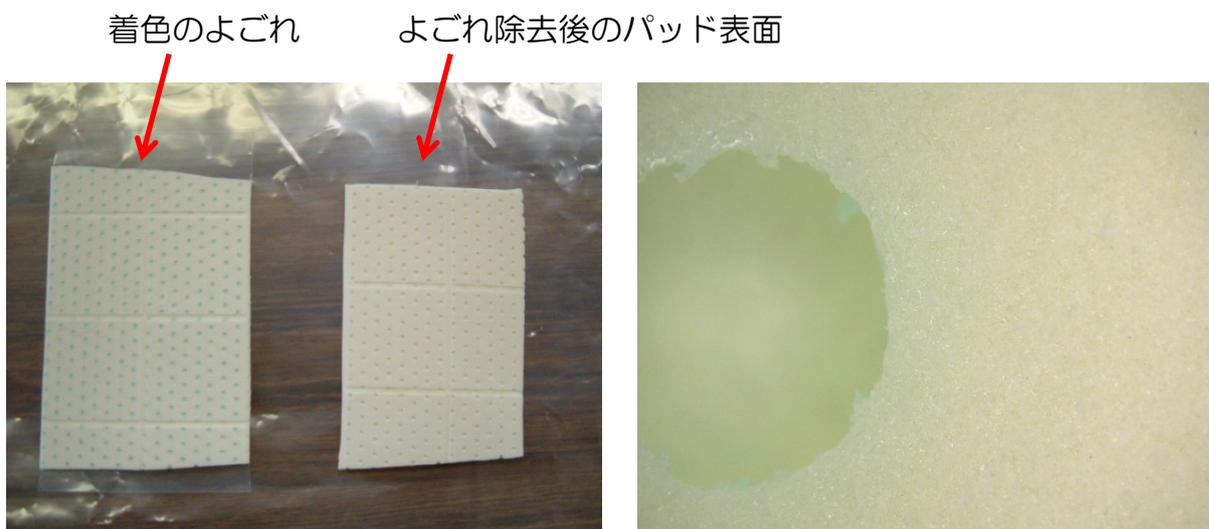


図3 検査データ パッド表面のよごれ
(右写真は、着色のよごれを拡大したもの)

2-1-3 パッド再生加工方法の検討

- ・溝位置を自動的に検出して溝を修正加工できる装置が開発できた。今後位置検出時間を短縮できる方法を検討する（図1）。



図1 溝修正加工装置

- ・溝を修正加工することにより、高品質な溝は研磨パッドの性能を向上できることが分かった。

2-1-4 再生パッドを量産プロセスに適用するための解析

再生パッドを量産プロセスに適用するための解析として、研磨パッドの表面凹凸のモデル化と圧縮試験機を用いた圧縮試験、および機上計測を実現する力測定装置と圧縮試験装置に関する検討・設計・開発を行い、以下の成果を得た。

- ・GWモデルを用いて凹凸層の非線形弾性特性をモデル化し、圧縮試験結果と比較することで研磨パッド材料特性を同定する手法を提案した。
- ・提案手法を用いて評価を行った結果、非線形弾性特性と粘性特性を同定し得ることを確認した。
- ・高精度な研磨トルク、研磨抵抗の測定を実現する研磨定盤型の力測定装置を開発した。有限要素法解析の結果、10倍程度の高剛性化と20倍以上の固有振動数の増大が期待できることを確認した。
- ・研磨パッドを取り外すことなく研磨パッドの圧縮試験を行うことのできる、機上圧縮試験装置の設計・開発を行った。

2-1-5 再生パッドの性能評価

現在 TSV が実用化されている川下製造事業者（MEMS）の指導を得て、必要な内部評価を試験用研磨装置で実施する。その後川下製造事業者（MEMS）の評価試験を受けて実用化を目指す。さらに TSV 半導体について試験用基板による内部評価を行い、川下製造事業者（半導体）からの意見を得る。

（使用設備：試験用研磨装置、ウエハ洗浄装置、膜厚計）

- ・再生パッドの表面観察（図 1：X線透過型顕微鏡）と定量分析を行った結果、新品パッドとの有意差は発見されなかった。



図 1 X線透過型顕微鏡（三重県工業研究所殿）

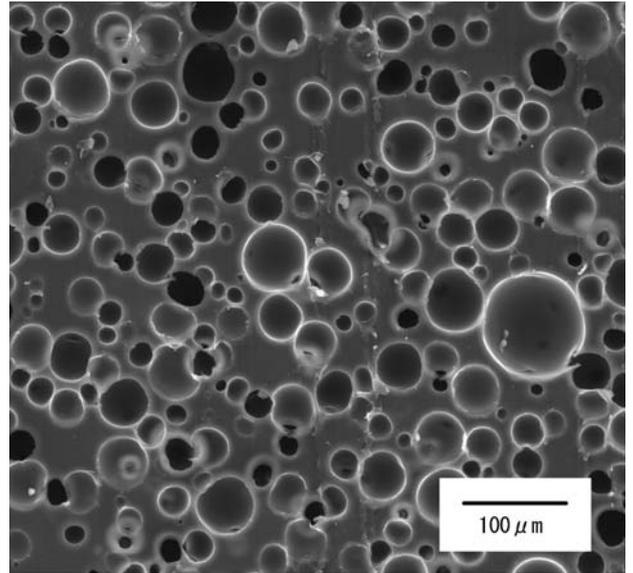
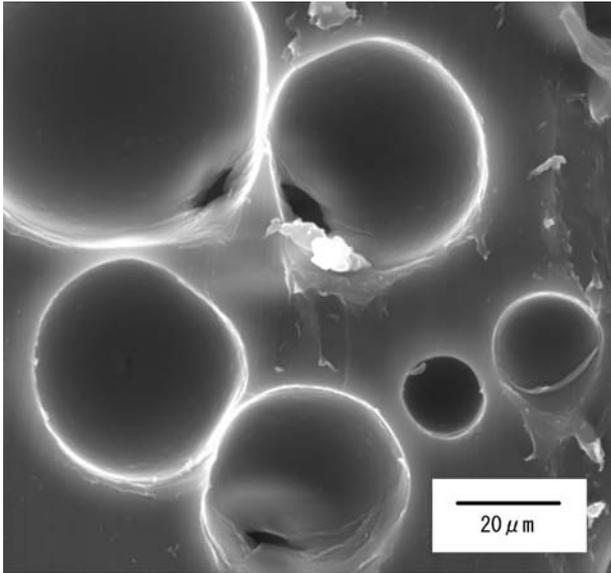
主たる成果2

補助板を利用すれば、研磨パッドを再生できることを確認できた。
開発した方法によれば、25%のコスト削減が可能である。

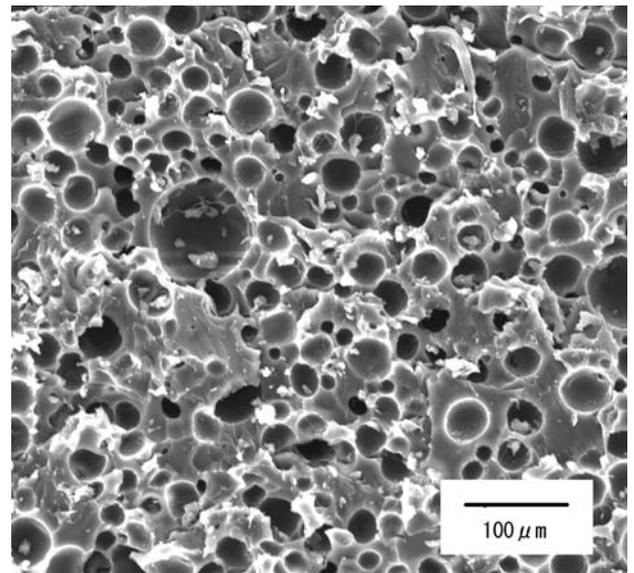
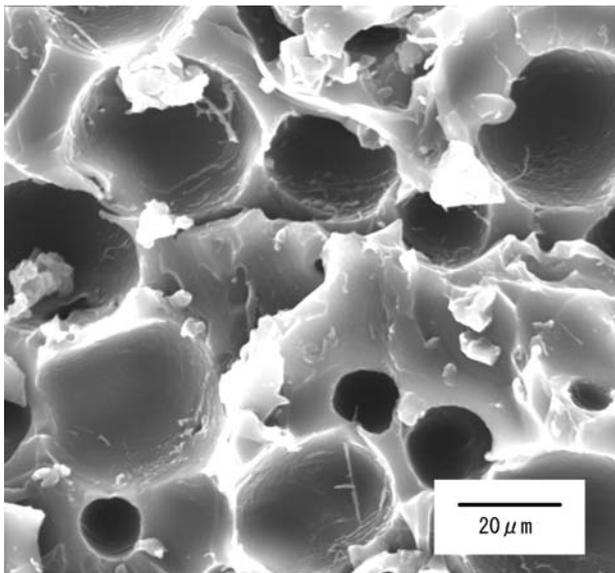
2-2 TSVの研磨能率を向上するパッド加工技術の開発

2-2-1 パッド表面仕上げ技術の開発

・パッド表面を切削仕上げすることにより、研磨に適した状態に仕上げる方法が開発できた（表面観察：SEM）。



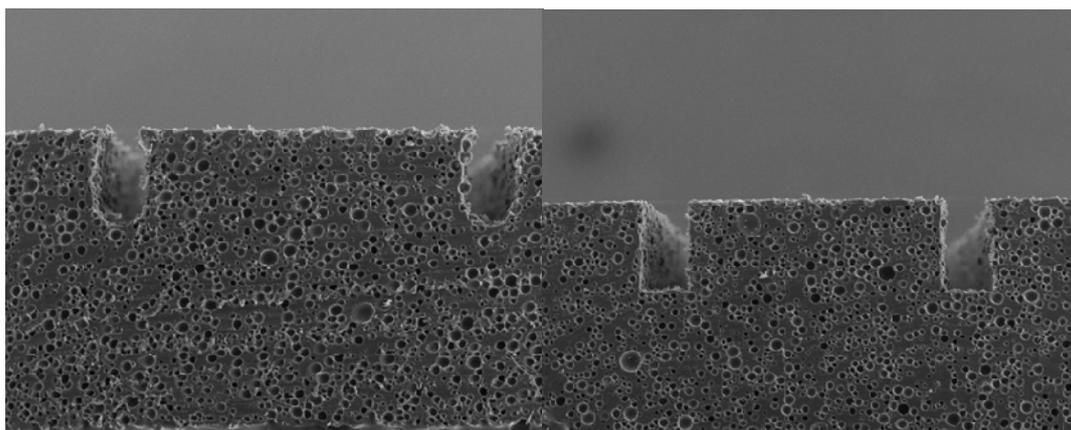
A：従来品新品パッド（材料IC1000）



C：開発品新品パッド（材料IC1000）

2-2-2 溝加工技術の開発

前項より、溝加工した開発品の方が従来品よりも平坦性が良い結果が見られる。また再生した溝加工品も平坦性が向上した。この結果から、高精度な溝加工により研磨平坦性が向上すると考えられる。(下の写真はIC1000パッドの溝形状を比較したもの)

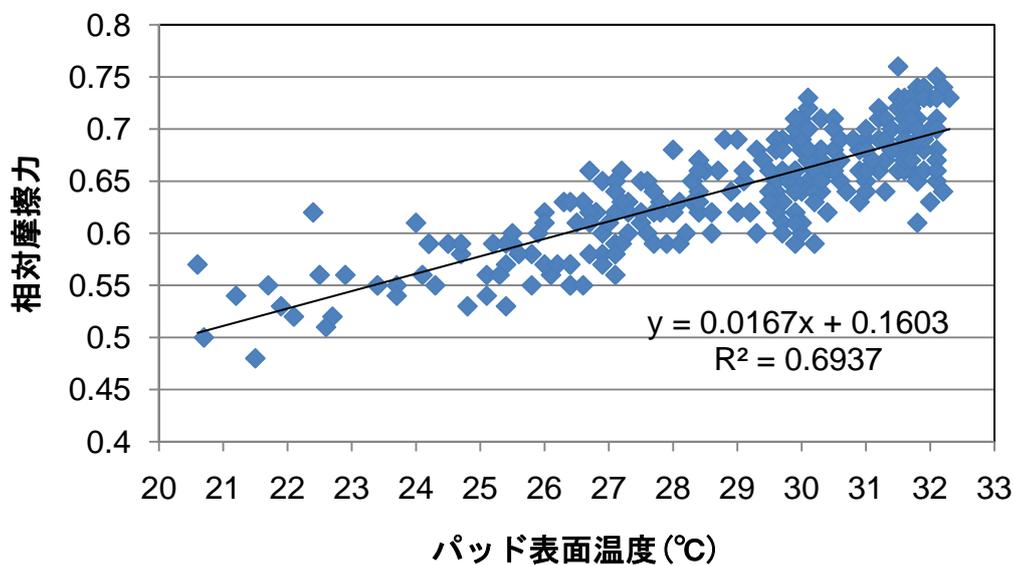


(従来品の溝断面写真)

(開発品の溝断面写真)

2-2-3 能率評価

・TSV基板にメッキされている銅膜を効率的に除去するのに、銅研磨の温度依存性が高いことが実験で明らかになった。そこで適正な温度管理することで研磨効率を向上する方法を考案した。次のグラフは研磨実験結果について相対摩擦力と温度の相関関係を調べたもので、この二つの因子間には相関関係があることが分かる。



2-3 TSV用新素材パッドの開発（図1、図2）

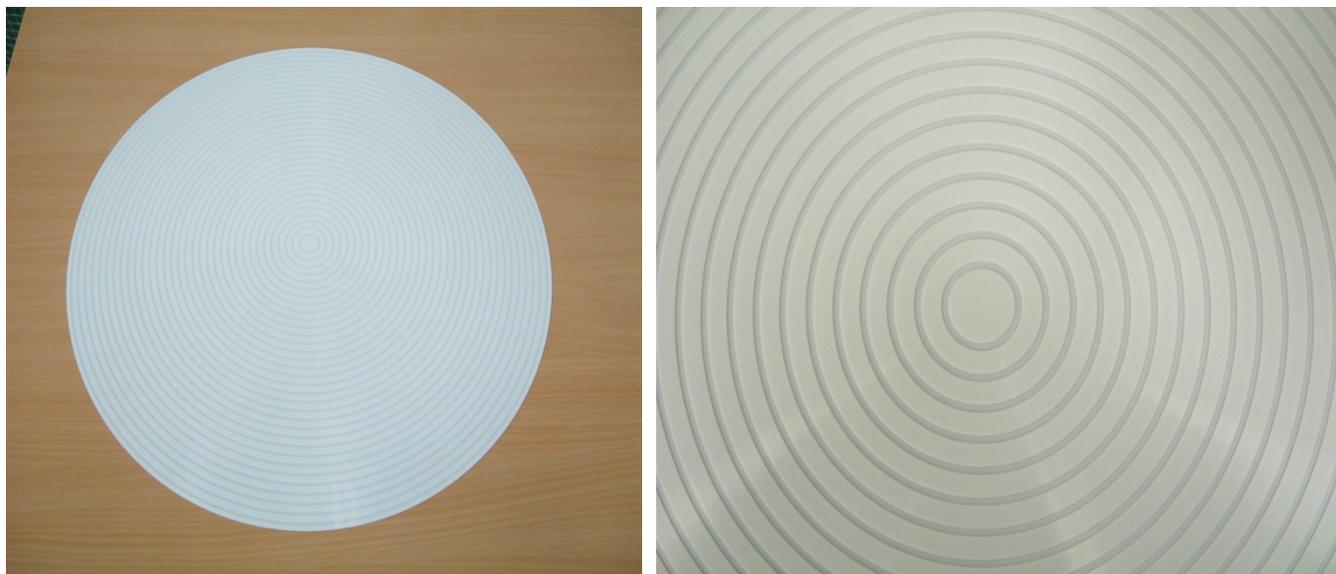


図1 円溝付きパッド（無発泡樹脂パッド）右図は拡大図

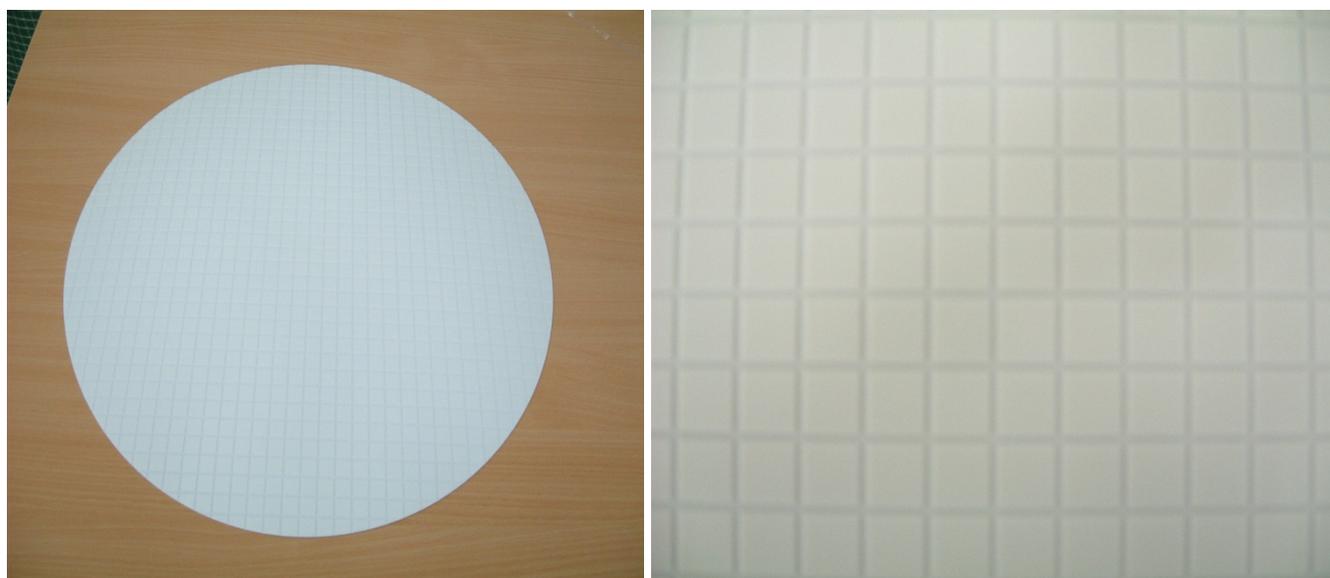


図2 格子溝付きパッド（無発泡樹脂パッド）右図は拡大図

2-3-1 TSV基板の研磨レートに関する検討

- ・無発泡樹脂材料による研磨パッドを完成したので、TSV基板の研磨試験を行った。特種スラリーを用いて、加圧 280g/cm^2 、 70rpm 、スラリー量 200cc/min の条件で研磨を行ったところ1分間当たりの研磨レート $3\mu\text{m}$ 以上を得ることができたが、図1に示すように $13\mu\text{m}$ 程度の銅膜を取ると、基板の中央部分が先に削れてしまう現象が見られた。研磨条件を対策して、図2の結果を得ることができた。今後は研磨の最後の段階で研磨条件を変える条件のより、基板全体の平坦性を向上できる方法を開発する。

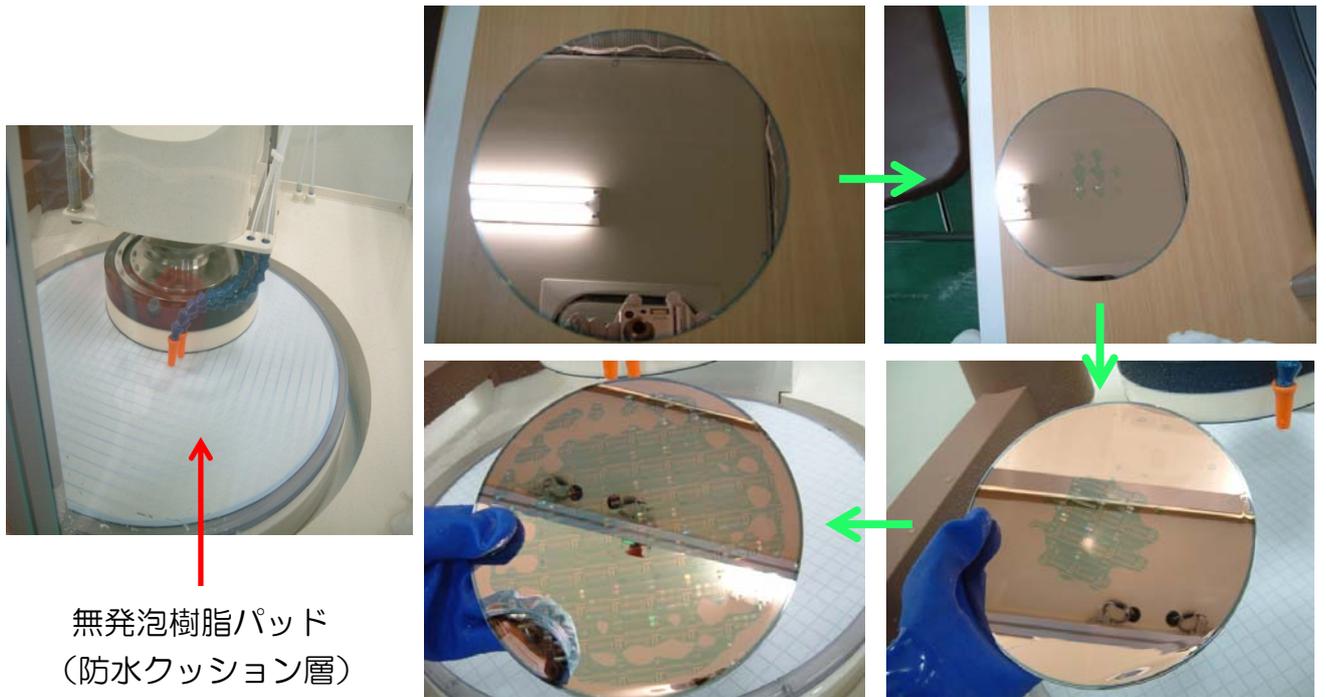


図1 無発泡材の研磨パッドによる、TSV基板の平坦化試験

2-3-2 TSV基板の面内均一性に関する検討（図1、図2）

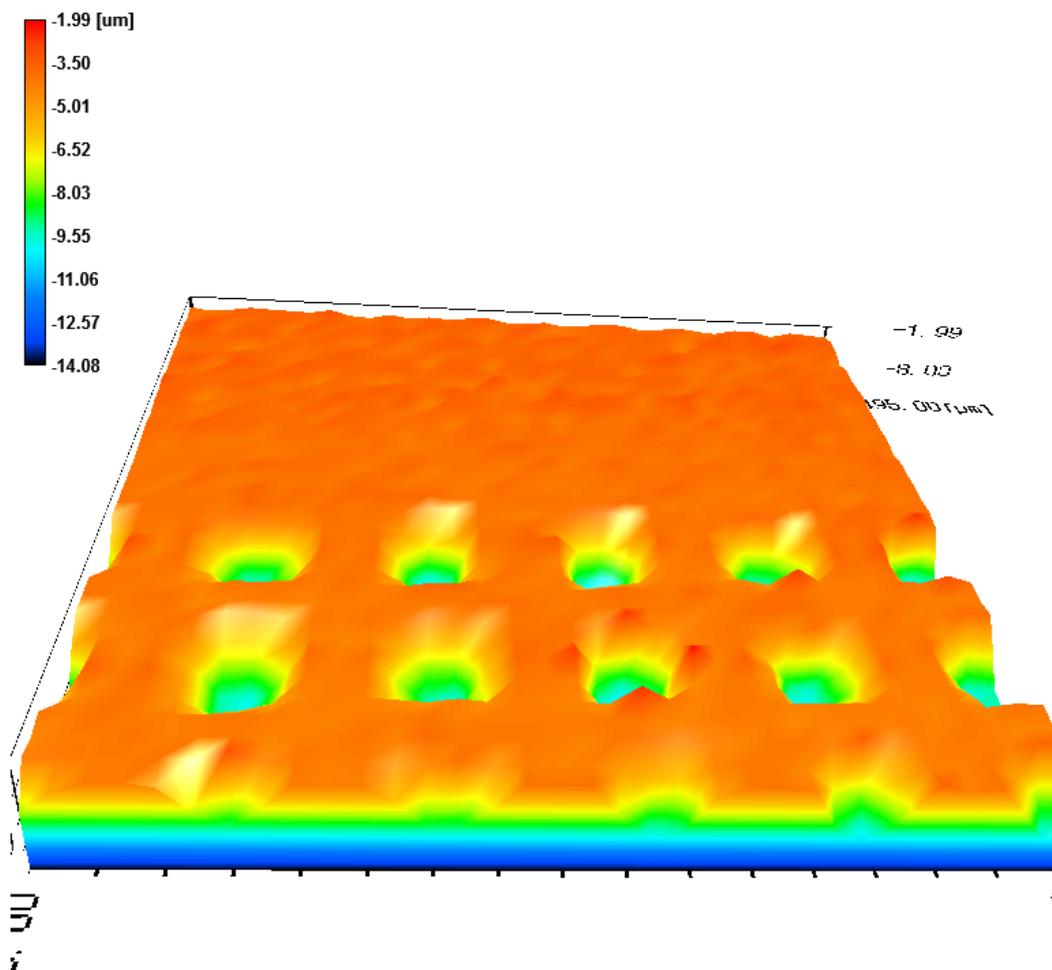


図1 TSV基板3D画像（膜厚計測装置）

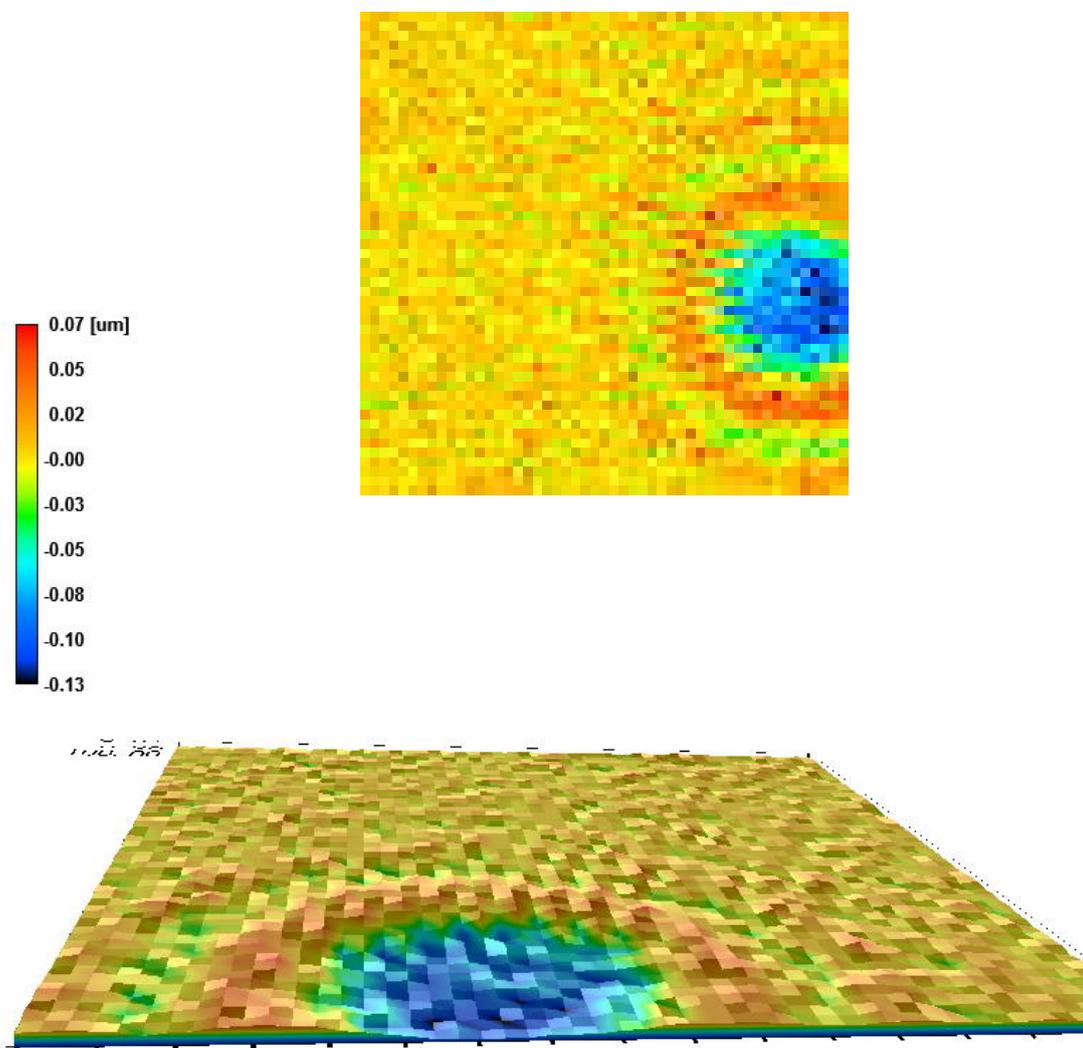


図2 TSV基板3D画像（膜厚計測装置）

2-3-3 寿命評価

- ・無発泡樹脂を使うとパッドの摩耗が少ないことが分かったが、研磨の規本性能の確認が完了していない為、寿命については今後継続して研究する。
- ・ドレスに関しては、発泡パッドと無発泡パッドの摩耗を比較すると、無発泡パッドの方が、摩耗が少ないことが分かった。

最終章全体総括

半導体の平面的微細化が限界に達し、TSV（貫通電極）による三次元化による集積化の検討が進められているが、この製造工程においてCMPパッドの消耗量の増大が予測される。ところがCMPパッドは一度使用すると、研磨液等の変質や剥がすとシワができるため、使い捨てが業界標準とされてきた。

本研究開発において、研磨装置を改造することなく容易に繰り返し着脱可能な、研磨パッド再生用補助板を実用レベルで開発することに成功した。この補助板は構造が簡便であるため償却コストが安く、パッドの再生コストは新品価格の半額にできるため、1回再生すればパッドのコストを25%削減できる。

さらにパッド表面を研磨に適した状態に仕上げることにより、新品パッドで従来よりも10%ないし40%高い研磨平坦性を得ることに成功した。まだ完全にドレスを無くせるレベルには達していないが、今後も継続して開発を進めて目標を達成したい。また溝を精密加工することによっても平坦性が向上していると判断できる。今後は高価な研磨液を削減できる溝形状についても開発を進めたい。溝加工装置の完成が遅れたこともあり、生産性20%向上の目標は今後の継続研究により達成したい。

一方でパッド摩耗を半減する目的で、従来に無い無発泡樹脂パッドをTSVに適用する開発を行った。防水性のあるクッション層を装着した研磨パッドによるTSV基板の研磨実験から、パッド寿命の延長と研磨品質の安定が期待できる結果が認められた。今後パッド表面仕上げ方法と溝加工方法について継続して研究を進め、寿命が2倍以上のTSV用無発泡樹脂パッドを完成させたい。

以上の研究課程で考案された新技術について3件の特許出願を行った。今後も外国も含めて積極的な特許出願を行い、開発した技術の保護を図っていきたい。

事業化については、本年10月に100mm基板製造企業へパッド再生事業を

開始予定である。また大手半導体川下企業に、300mm基板用研磨パッドの再生に関する提案を行い、先方での評価を依頼する。年内に評価を終えて、2012年4月から生産プロセスへの採用を目指す。

販売に関しては総合商社1社、研磨装置製造会社1社と代理店契約を結び商談を開始している。一方自社の既存顧客に対しては直販を行う。海外のパッド再生事業については、2013年に台湾での工場建設を計画をしている。その他の国については、再生装置の販売とノウハウのライセンスを予定している。