

平成31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

「加熱しても膨れない・反らないIoT 端末用低線膨張配線銅めっき液とコアレス
プリント基板の電解めっき装置の開発」

研究開発成果等報告書

令和2年 3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公立大学法人大阪 大阪府立大学

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

1－3 成果概要

1－4 当該研究開発の連絡窓口

第 2 章 本論

最終章 全体総括

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

〔研究開発の背景〕

銅は金属の中で2番目に抵抗が低いためカーエレクトロニクス、5G向け半導体、プリント基板に多用されている。そのすべての配線が電気銅めっきで表面処理し製造されている。銅めっき配線の問題はシリコンと比べて9倍線膨張係数が高いことである。シリコンの銅配線を加熱するとシリコン基板、プリント基板が反ったり、Through Silicon Via (TSV) のポンピングや Keep Out Zone (KOZ) を発生する。

本サポイン以前に発見した銅めっきでは低線膨張ではあるが繰り返しの加熱には持たなかった。本サポインで30社近くの国内外の民間会社を個別訪問して川下製造業者のニーズ調査を行っている。すべてのニーズが繰り返しの加熱にも関わらず低線膨張特性を発揮する銅めっきを必要としていることがわかった。そのため繰り返しの加熱にも対応する低線膨張銅めっきを新たに開発した。図1がその結果の一例である。通常銅の線膨張係数は $18 \times 10^{-6}/K$ である。新に開発した銅めっきでは $6 \times 10^{-6}/K$ と $1/3$ となり、図に示すように、少なくとも3回の繰り返しの加熱で、その値を示す。本サポインではこの繰り返しの加熱にも対応する低線膨張銅めっきの3つの顧客ニーズについても調査した。

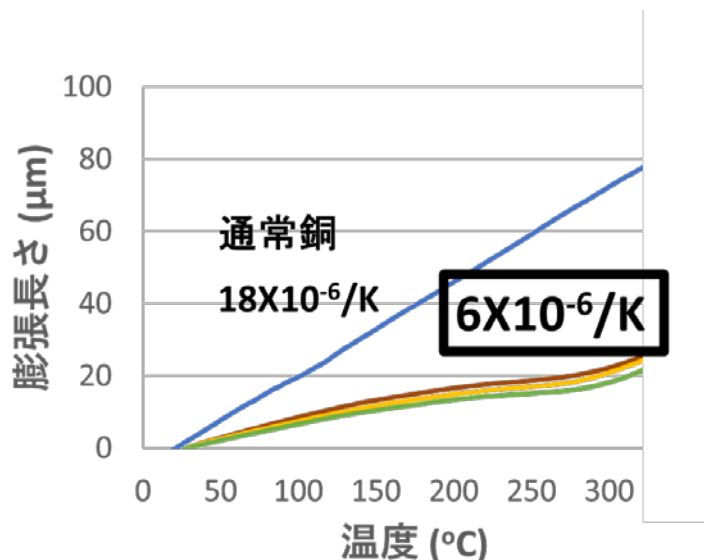


図1. 繰り返しの加熱にも関わらず低線膨張特性を発揮する銅めっき
線膨張係数は従来銅の $1/3$

〔当初の目的及び目標に対しての実施結果〕

サブテーマ番号、サブテーマ名、当初目標、実施結果、評価のまとめ

サブテーマ番号	サブテーマ名	目標	実施結果	評価
【1-1, 2】	外観評価	すぐれる	ノジュールフリー、半光沢	○
	均一性	すぐれる	$10 \mu m \pm 5\%$	○
	めっきスピード	すぐれる	$2.0 \mu m/min$	○
	めっき寿命	すぐれる	新添加剤モニターで 96hr 後生き返る	○

	線膨張率	$10 \times 10^{-6}/K$ 以下	繰り返し加熱で $6 \times 10^{-6}/K$ 以下	○
【2-1】	反り方法と量	50%	シャドーモアレ、70%	△
【2-2】	TSV ポンピング 測定方法と量	$0.1 \mu m$ 以下	新方法により 5 回の繰り返し加熱 でも $0.1 \mu m$ 以下	○
【3-1】	量産蒸着重合装置 の開発		量産型蒸着装置 作成し成膜確認	○
【3-2】	Keep Out Zone (K0Z) の減少	$2.5 \mu m$ 以下	$2.0 \mu m$ 達成	○
【4-1, 2】	500mmx500mm 基板 の大型めっき 装置	外観品位、均一 性	噴流の外観ムラ 発生、均一性は $10 \mu m \pm 5\%$	△
波及研究-1	ガラス基板	パターン周辺の 割れ	ガラス割れの発生 を止めた	○
波及研究-2	Through Glass Via (TGV)	$300^{\circ}C \times 1hr$ の封 止温度でガラス 割れ	ガラス割れが著 しく減少した。	○
波及研究-3	繰り返しの加熱 でも低線膨張を 発揮する銅めっき	当初銅めっきは 1-2 回しかもた ない	繰り返しの加熱 でも $6 \times 10^{-6}/K$	○
波及研究-4	ヒートサイクル 信頼性試験	ヒートサイクル クリア	200 回のヒート サイクルでも特 性無変化	○
波及研究-5	膨れる銅めっき	通常銅以上	通常 銅以上達成また (111) 配向	○

注；【2-1】の△は追加実験不足のためである。銅により近い線膨張の基材の選択、より低い線膨張銅めっきの適用により反りは下がる。

【4-1, 2】の△は噴流方式噴流ムラ。従来のパドル方式ではムラは従来出ていない。

・サブテーマ【】：当初のサポイン提案書に研究実施スケジュールとして記載したテーマ。

・波及研究：当初のサポイン提案書に記載がなく、ニーズとしてユーザから強い希望があり実施して研究成果をあげたテーマ。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織（全体）

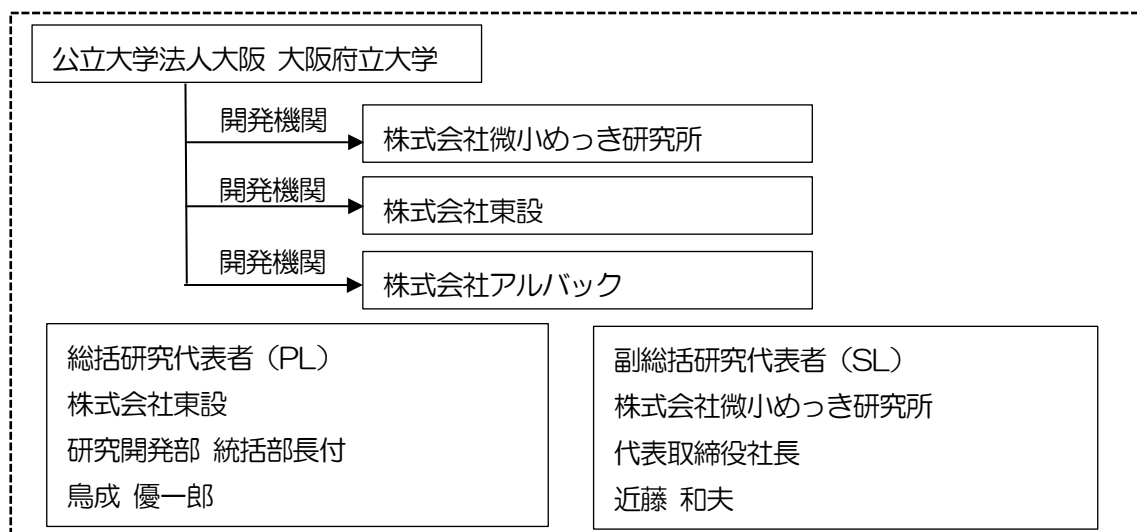
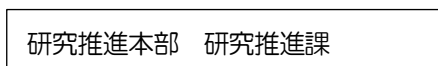


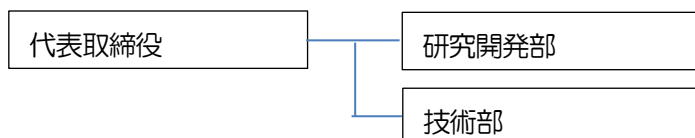
図 1-2-1 本事業全体の組織構成

1-2-2 管理体制

① 事業管理機関 [公立大学法人大阪 大阪府立大学]



② 研究機関 [株式会社 東設]



③ 研究機関 [株式会社 微小めっき研究所]



④ 研究機関 [株式会社アルバック]



また、これら事業管理者及び開発機関3社のメンバーは次のとおり。

※ 実施内容の番号は、前述の「1-1-2 研究の目的」の項目に同じ。

[株式会社東設]

氏名	所属・役職	実施内容(※)
押部 弘	代表取締役	【4-1, 2】
吉成 康之	技術部 部長代理	【4-1, 2】
藤野 真之	技術部 課長	【4-1, 2】
三宅 裕子	研究開発部 課長	【4-1, 2】
鳥成 優一郎	研究開発部 統括部長付	【4-1, 2】
小川 好明	研究開発部	【4-1, 2】
丸山 隆史	研究開発部	【4-1, 2】

[株式会社微小めっき研究所]

氏名	所属・役職	実施内容(※)
近藤 和夫	代表取締役社長	【1-1, 2】【2-1, 1】【3-2】【4-1, 2】波及研究-1, 2, 3, 4, 5
鳥成 優一郎	研究開発部	【1-1, 2】【2-1, 1】【3-2】【4-1, 2】波及研究-1, 2, 3, 4, 5
Dinh Van Quy	研究開発部	【1-1, 2】【2-1, 1】【3-2】【4-1, 2】波及研究-1, 2, 3, 4, 5
Tran Van Nhat Anh	研究開発部	【1-1, 2】【2-1, 1】【3-2】【4-1, 2】波及研究-1, 2, 3, 4, 5

[株式会社アルバック]

氏名	所属・役職	実施内容(※)
森川 泰宏	半導体電子技術研究所 第3研究部 第1研究室 室長室長	【3-1】
鈴木 亮由	半導体電子技術研究所 主事	【3-1】
村山 貴英	半導体電子技術研究所 主事	【3-1】
作石 敏幸	半導体電子技術研究所 主管	【3-1】

[塚本鍍金工業株式会社]

氏名	所属・役職	実施内容(※)
塚本 昇一郎	代表取締役	【4-1, 2】
横田 宏	工場長	【4-1, 2】

1-2-3 研究開発推進委員会

今年度は、令和元年6月26日、9月25日、12月2日に研究開発推進委員会を開催した。

この委員会は、プロジェクトの進捗確認だけでなく、研究開発した技術の性能や有用性、製品の事業性、また産業社会への貢献性を確認するとともに、川下ユーザーを中心として、様々な観点からアドバイスを受けることで、その後の研究開発にフィードバックさせることを目的とした。

[研究開発推進委員会 委員一覧]

氏名	所属・役職	備考
鳥成 優一郎	(株)東設 研究開発部 統括部長付 (株)微小めっき研究所 研究開発部	委 PL
近藤 和夫	(株)微小めっき研究所 代表取締役社長 大阪府立大学 研究推進機構 21 世紀科学研究センター 客員教授	委 SL
押部 弘	(株)東設 代表取締役	委
吉成 康之	(株)東設 技術部 部長代理	委
藤野 真之	(株)東設 技術部 課長	委
三宅 裕子	(株)東設 研究開発部 課長	委
小川 好明	(株)東設 研究開発部	委
丸山 隆史	(株)東設 研究開発部	委
Dinh Van Quy	(株)微小めっき研究所 研究開発部	委
Tran Van Nhat Anh	(株)微小めっき研究所 研究開発部	委
塚本 昇一郎	塚本鍍金工業(株) 代表取締役	委
横田 宏	塚本鍍金工業(株) 工場長	委
森川 泰宏	(株)アルバック 半導体電子技術研究所 第3研究部 第1研究室 室長	委
鈴木 亮由	(株)アルバック 半導体電子技術研究所 主事	委
村山 貴英	(株)アルバック 半導体電子技術研究所 主事	委
作石 敏幸	(株)アルバック 半導体電子技術研究所 主管	委

元吉 真	東北マイクロテック(株) 代表取締役社長	アドバイザー
秋山 政憲	(株)ケミترون 技術センター 所長	アドバイザー
藤田 淳	三菱電機(株) 先端技術総合研究所 パワーモジュール技術 部 モジュール統合化技術グループ 主任研究員	アドバイザー
江澤 弘和	東芝メモリ(株) メモリ事業部 プロセス技術開発主幹	アドバイザー
真子 玄迅	味の素(株) バイオフィン研究所 資材・用途開発研究所 素材開発研究室 機能材料グループ長	アドバイザー
廣津留 秀樹	デンカ(株) 先進技術研究所 機能性セラミックス研究部長	アドバイザー
中畠 淳	大阪府立大学 研究推進本部 研究推進課 課長	管理法人
日高 伴紀	大阪府立大学 研究推進本部 研究推進課 課長代理	管理法人
大岡 明裕	大阪府立大学 研究推進本部 研究推進課	管理法人
荒木 輝男	大阪府立大学 研究推進本部 研究推進課	管理法人

1-3 成果概要

【1-1, 2】めっき液とめっき物性の課題への対応(1. 外観品位、2. 均一性、3. めっきスピード、4. めっき液寿命)

実施結果

1. ノジュール発生を皆無にして、外観品位を向上した。半光沢を得た。
2. 均一性の $10\mu\text{m}\pm 5\%$ を達成した。
3. 目標の倍のスピードの $2.0\mu\text{m}/\text{min}$ を達成した。
4. 新しい回転リング-ディスク電極を用いた添加剤モニターを発案し、添加剤消費量の高精度分析を可能にした。96 時間電解後液に測定添加剤を滴下して、再びボイドフリーに生き返らせた。

線膨張率 ΔT : 25-450℃において、従来の $16\times 10^{-6}/\text{K}$ から $10\times 10^{-6}/\text{K}$ 以下に低減させる。

実施結果

- ・ 性膨張率は繰り返し加熱でも $6\times 10^{-6}/\text{K}$ 以下を達成した。

【2-1】低線膨張めっき液の用途開発の課題への対応(反り測定方法と反り量を従来の半減)

実施結果

- ・ シャドーモアレ法を活用することにより、250℃加熱下で反りが従来銅の 70%に低減した。

【2-2】TSV ポンピング測定方法の検討(450℃での熱処理後のポンピングの高さが $0.1\mu\text{m}$ 以下)

実施結果

5 回の繰り返し加熱でもポンピング高さが $0.1\mu\text{m}$ 以下を達成した。

【3-1】TSV 内壁応力緩和の課題への対応(TSV 内壁応力緩和有機膜(ライナー)の形成装置の開発)

実施結果

300mmSi ウエハ向けの量産型蒸着重合装置を新規製作し、実際のライナーの成膜を確認した。ただし株式会社アルバックは担当社員の配置転換により 2019 年度の研究開発は不参加となった。

【3-2】TSV（ライナー）の形成手法の研究開発(TSV の KOZ (Keep Out Zone) を $2.5\mu\text{m}$ 以下。

実施結果

KOZ を短くして $2\mu\text{m}$ を達成した。

【4-1, 2】コアレスプリント基板めっき装置上の課題への対応

外観品位、均一性の優れためっき装置の開発(500x500mm 基板で従来外観品位およびめっき膜厚 $10\mu\text{m}\pm 5\%$ 、 $1.0\mu\text{m}/\text{min}$)

実施結果

500x500mm 基板の大型めっき装置を作成・試運転した。半光沢外観が得られ膜厚が $10\mu\text{m}\pm 5\%$ 以下を達成した。また 2 倍の $2.0\mu\text{m}/\text{min}$ を達成した。

・波及研究: 当初のサポイン提案書に記載がなく、ニーズとしてユーザから強い希望があり実施して。研究成果をあがたテーマ。

【波及研究-1】ガラス上の銅配線めっきの粗大パターン周辺の樹脂加熱に伴う割れ。

実施結果

粗大パターン周辺の割れが光学顕微鏡レベルで皆無になった。

【波及研究-2】ガラス上の Through Glass Via (TGV) 周辺の樹脂加熱に伴う割れ。

実施結果

ガラスを貫通する TGV 周辺の $300^\circ\text{C} \times 1\text{hr}$ の加熱に伴う割れが著しく減少した。

【波及研究-3】繰り返しの加熱でも低線膨張を発揮する銅めっき

実施結果

当初は 1-2 回しかもたなかった銅めっきをめっき液のコンセプトを 180° 転換することにより繰り返しの加熱でも低線膨張を発揮するようにした。また $6 \times 10^{-6}/\text{K}$ のものができた。

【波及研究-4】繰り返しの加熱でも低線膨張を発揮する銅めっきにヒートサイクル信頼性試験を実施

実施結果

-40 から 200°C の 200 回のヒートサイクルをかけ線膨張係数と電気抵抗が変化しないことを確認した。

【波及研究-5】通常の銅めっきより膨れる銅めっきを見出した

実施結果

高温で膨れ、室温にもどすと通常

銅と同一となる銅めっき液を開発した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社微小めっき研究所・近藤和夫・09086029489・kkondo828@gmail.com

第2章 本論

2-1 低線膨張銅めっき物性の特性向上 (1. 外観品位、2. 均一性、3. めっきスピード)

従来のめっき物にはノジュールを発生した。図2には、ノジュールレスめっきの原理を示す。ノジュール発生原因は塩素にあった。塩素が銅めっき表面に膜を張り、その膜が局所的に破れてノジュールを発生する(図2a)。塩素レスの銅めっき液ではノジュールはなくなる(図2b)。図

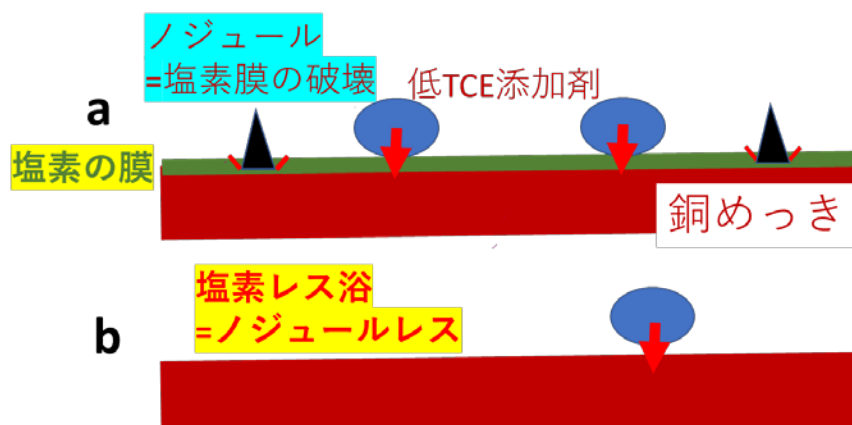


図2. ノジュールの発生機構と抑制策

aノジュールの発生原因は塩素膜の破壊、b塩素レスにするとノジュールレス

3a には $100\mu\text{m}$ 幅銅配線の SEM 観察結果を示した。ノジュールは発生しない。図3b には図3aの赤線で示した部分の断面写真である。配線高さは $20\mu\text{m}$ である。配線上には $1\sim2\mu\text{m}$ 程度の凹凸しかなく、ノジュールは発生しない。

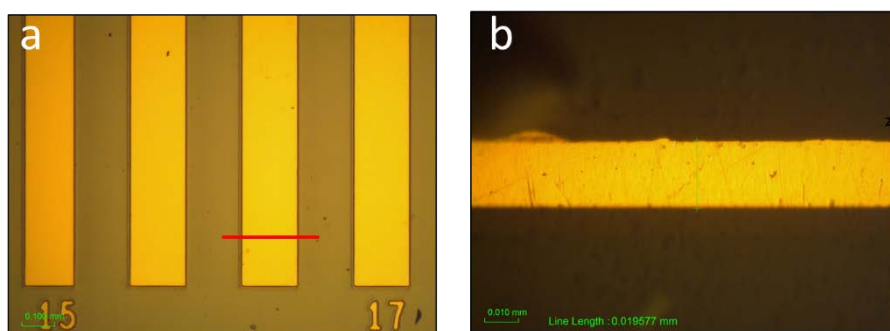


図3ノジュールレスの銅めっき配線

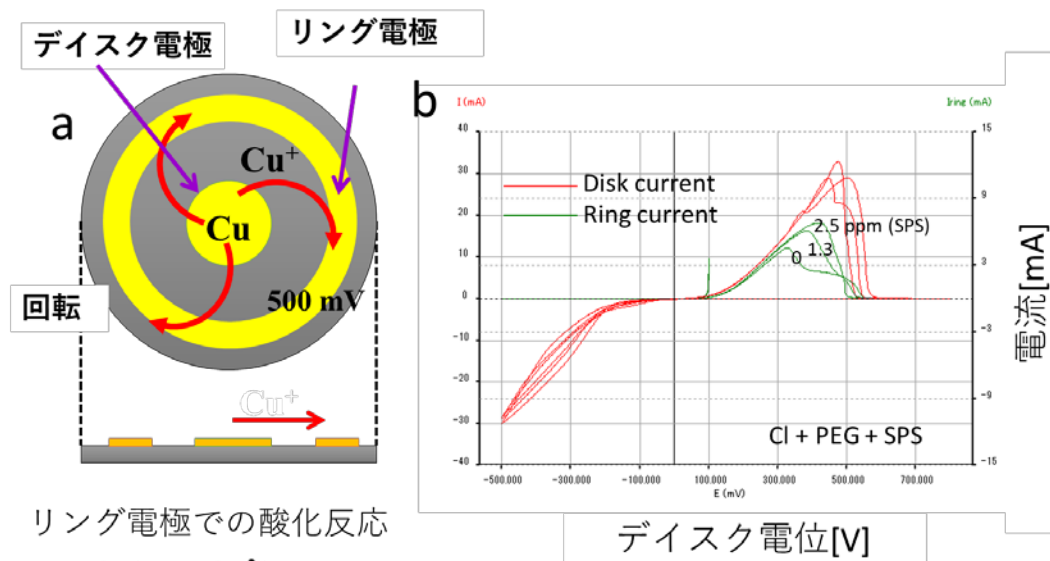
a平面観察、b断面観察

また均一性としては $500\text{mm}\times500\text{mm}$ の大型めっき

装置で $10\mu\text{m}\pm5\%$ を達成した(図12a)。また目標の倍の $2.0\mu\text{m}/\text{min}$ のめっき速度で 300°C で $8\times10^{-6}/\text{K}$ を達成した。

2-2 新規めっき液のモニター方法の確立とめっき液の維持管理

従来法の米国 ECI 社の Cyclic voltammetric Stripping (CVS) では促進剤の SPS のモニターが難点である。それは、めっき液中の SPS 量が数 ppm と微量で、かつ二量体の SPS が一量体に分解し一量体が一価銅と Cu(I)MPS の錯体を作る。この錯体や一価銅が陽極酸化したり空気分解するためである。そのためこ



リング電極での酸化反応

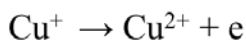


図4.回転リングーディスク電極とその測定例

a ディスクから発生する一価銅を酸化電位のリングが捉え酸化する
b ディスク電位を走査させたときのディスクとリング電流。

の微量添加剤 SPS の正確なモニター液の維持管理のキーポイントであった。従来法でも SPS のモニター法は存在したが、簡便な簡易的方法であった。

そのため私共では理論的原理に基づいた新規な回転リングーディスク電極を用いたモニター法を確立した。図 4a には回転リングーディスク電極を示す。回転リングーディスク電極にはリング電極とディスク電極との 2 電極がある。中央のディスク電極は白金電極上の銅めっきでできている。ディスク電極を酸化電位にして溶解すると一価銅を発生する。めっき液中に SPS が存在すると一量体と一価銅との錯体の Cu(I)MSP を発生する。この回転リングーディスク電極を回転すると遠心力で一価銅または Cu(I)MPS が外に放り出される。リング電極はディスク電極の円周部に存在し、放り出された一価銅または Cu(I)MPS が必ず通過する。ここでリング電極の電位を酸化電位 (-500mV) にすると次式の反応、 $\text{Cu}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + e^-$ 、が起こり電子を一つ放出する。この電子の数がリング電流である。

図 4b では横軸にはディスク電位を、縦軸にはリング電流を示す。赤曲線がディスク電流を緑曲線がリング電流を示す。まず赤曲線のディスク電流では、還元電位(めっき、マイナス)でディスク電極上に銅めっきが付きマイナスの還元電流が流れる。次に赤曲線の酸化電位(銅めっきの溶解、プラス)では白金電極上の銅めっきが溶解して溶解の電流ピークを示す。一方、緑曲線のリング電流では、酸化電位領域でリング電流が異なり、めっき液中の SPS の存在量により、0, 1.3, 2.5ppm と SPS の存在量が増大するにつれてリング電流が増大した。

この SPS 濃度によるリング電流の増大を詳細に見たのが図 5 である。図 4b と同じく酸化電位でリング電流が異なり、めっき液中の SPS の存在量(0, 0.1, 0.5, 0.9, 1.3, 1.7, 2.1, 2.5ppm)により酸化電位でのリング電流のピーク値が単調に増大する。即ち SPS の存在量はリング電流のピーク値即ち Cu(I)MPS の酸化に伴い放出した電子の数と比例している、即ちリング電流のピーク値でめっき液中の SPS の存在量がわかることになる。

図 6 はめっき液中に一定量

の SPS を入れて長時間電解したときの酸化電位でのリング電流である。0 時間ではリング電流のピークは 6.6mA と高いが、電解時間と共に減少して、12 時間では 1.6mA と低くなる。即ち長時間電解するとめっき浴中の Cu(I)MPS 量が減少し、めっき浴が消耗する。即ちめっき浴中の SPS 量は酸化電位でのリング電流値に比例することがわかる。

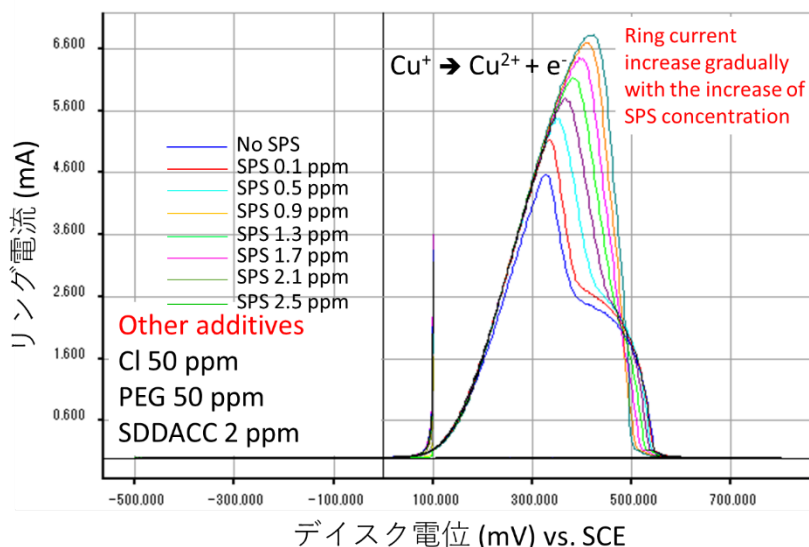


図5. めっき液中のSPS濃度を変化させた時のリング電極での一価銅錯体の酸化反応のリング電流ピーク

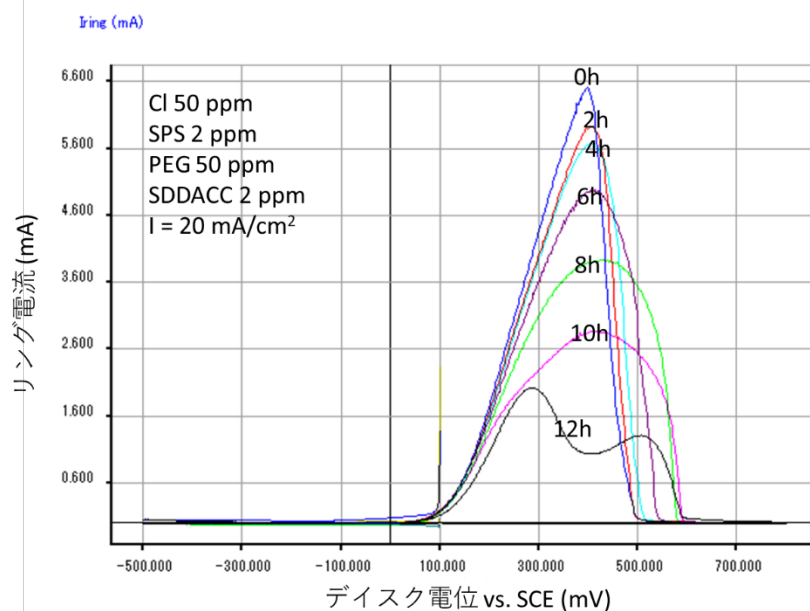


図6. 長時間電解した時のリング電極での一価銅錯体の酸化反応のリング電流ピーク

次に実際の Through Silicon Via(TSV)での長時間電解での添加剤の消耗によるめっき不良、即ちボイド発生と回転リングディスク電極により添加剤消費量を分析して、その消費量の添加剤をめっき液に滴下してめっき不良、即ちボイドが消滅するかを

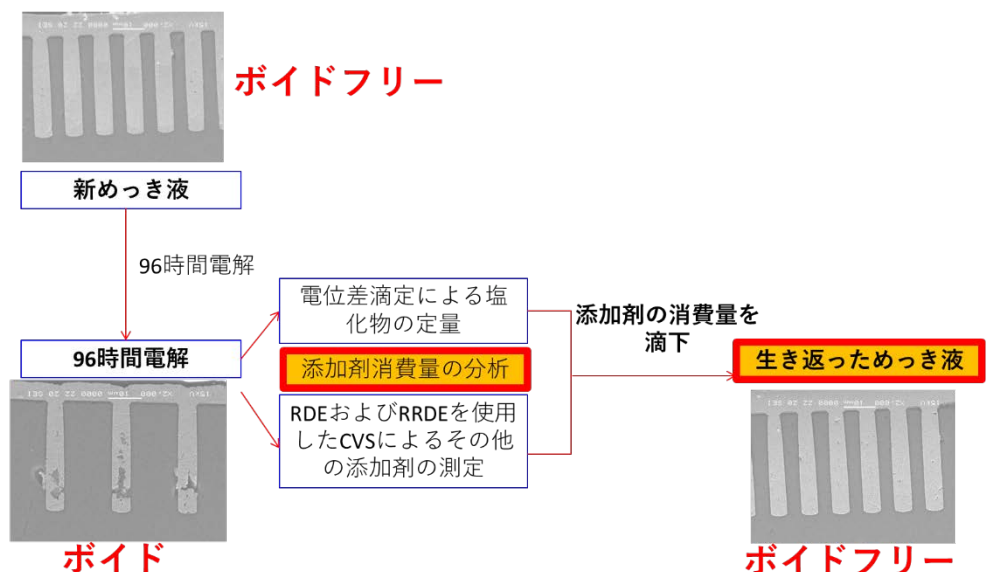


図7. TSV埋め込みめっき液添加剤とボイド発生。96時間電解すると添加剤が消費してボイドが発生。消費添加剤をCVSで分析して液に滴下するとボイドフリー。

確かめた。図7に示すように新めっき液ではボイドがでない。96時間電解するとボイドが発生する。回転リングディスク電極により添加剤消費量を分析して、その消費量の添加剤をめっき液に滴下するとめっき液は生き返り、ボイドが消滅した。即ち新めっき液モニター法でめっき液の維持管理ができた。塩素は電位差滴定による塩化物の定量により分析した。

2-3 銅めっき物の特性

図8はシャドーモアレによる反り測定結果である。シャドーモアレとは反った基板に斜め方向から光を照射し、光と反った基板との間に格子をおく。格子を通過した光が反った基板に照射し、反射して再び格子を通過する。反った基板からの反射光のため基板の反りに

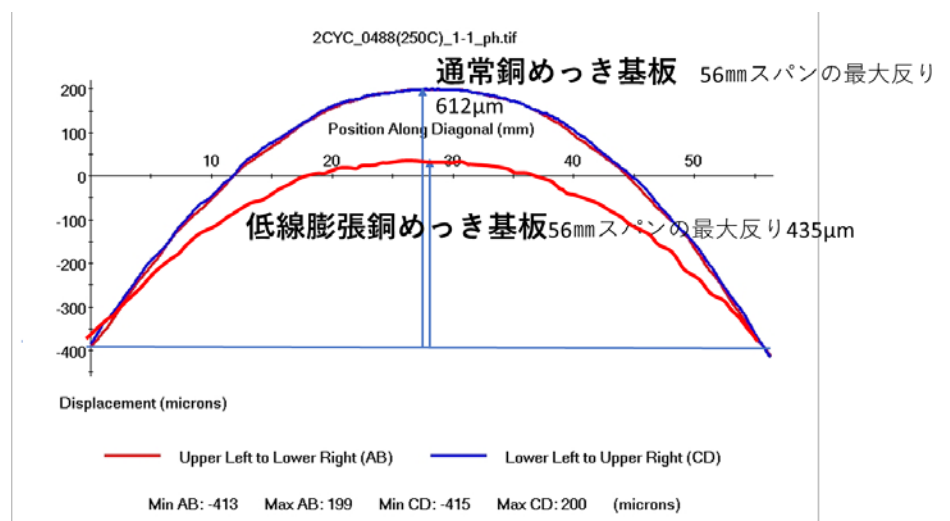


図8. 250℃でのシャドウモアレ法によるそり測定結果。低線膨張銅めっきと通常銅めっきとの比較。

由来した反射光の干渉縞を形成する。この干渉縞を解析することにより基板の反りが計算できる。シャドーモアレは光の干渉縞を用いて反りを検出するため、加熱中の基板の反りが in situ に測定できる。図8がガラスエポキシ基板に通常の銅めっきをした基板と低線膨張銅めっきをした基板との250℃の加熱反りの結果である。横軸は基板長さをmmで、縦軸は反りをμmでし

めした。基板方向の測定長さは56mmである。青と赤とを重ねた曲線の通常銅めっきでは基板中央部の反り高さが $612\mu\text{m}$ である。赤曲線の低線膨張銅めっきでは基板中央部の反り高さが $435\mu\text{m}$ と低い。250°C加熱下で低線膨張銅めっきの反りが従来銅の70%に減少した。

図9は500°C加熱した後のTSVの断面である。TSVとはシリコン中に作成した細長い筒状の孔を銅めっきで埋め込んだ孔、ビアである。通常銅と低線膨張銅めっきとの比較である。

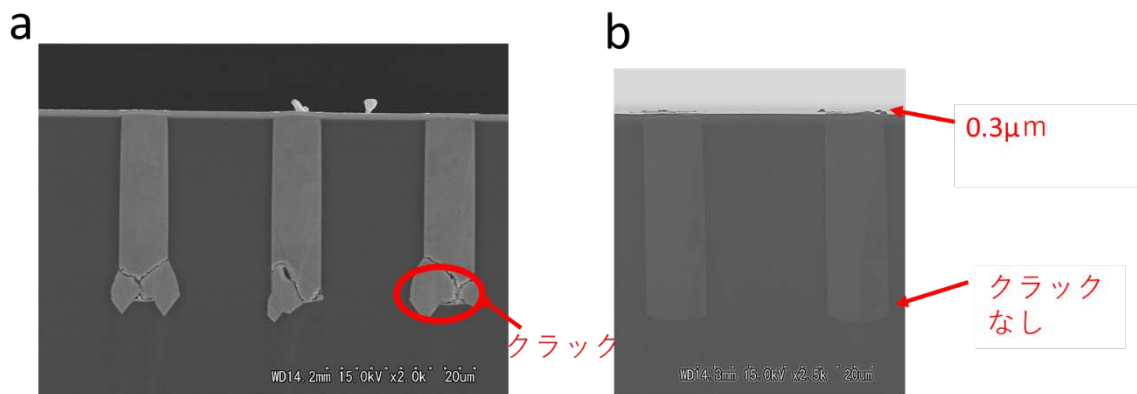


図9. 500°Cまで加熱後のTSV断面。a通常銅めっき、b低線膨張銅めっき

図9aは通常銅、bは低線膨張銅である。図9aではTSV底面角部が割れ銅めっきが染み出している、底面角部は最大応力の箇所である。またTSV上面には $1\mu\text{m}$ 程度の高さの突起(ポンピング)を発生している。bではTSV底面角部の割れが発生せず。ポンピング高さも 0.3μ 程度である。

処理をしてTSVのポンピング高さを測定した。銅めっきで孔を埋め込んだ後、化学機械研磨(CMP)でTSVの銅めっきとシリコンとを面一にする。その後、電子顕微鏡から出る電子線と70°傾斜した高温電子顕微鏡ステージに載せる。銅めっきとシリコンとが面一になった試料を高温電子顕微鏡ステージ上に載せる。試料を加熱する。加熱中の銅めっきの膨れを電子線を照射して反射した二次電子の情報から試料の凹凸を像にする。この電子顕微鏡像500°C加熱中のin situの凹凸像を撮影した。試料は電子線と70°傾斜しているため像からポンピング、即ち銅めっきの膨れ高さがわかる。5回加熱したin situ像でも飛び出し量が増加していない。即ち5回500°Cに加熱して。5回目の加熱中でも飛び出し量が増大しない。ポンピング量は5回加熱にも関わらず、 $0.1\mu\text{m}$ 以下であった。この試料のTSV間にあるシリコンにかかる局所応力を μ -Ramanで測定した。加熱すると銅が膨張するためTSV間にあるシリコンには圧縮応力がかかる。TSV周辺でこの圧縮応力が最大で、TSVから離れるほど圧縮応力が小さくなる。この圧縮応力が一定値となるまでの距離がKeep Out Zone(立ち入り禁止区域、KOZ)で $2.0\mu\text{m}$ となった。

2-4 繰り返しの加熱にも関わらず低線膨張を発揮する銅めっき

本サポイン以前に発見した銅めっきでは低線膨張ではあるが繰り返しの加熱には持たなかった。本サポインで 30 社近くの国内外の民間会社を個別訪問して川下製造業者のニーズ調査を行っている。すべてのニーズが繰り返しの加熱にも関わらず低線膨張特性を発揮する銅めっきを必要としていることがわかった。そのため繰り返しの加熱にも対応する低線膨張銅めっきを新たに開発した。図 10 がその結果の一例である。縦軸が線膨張長さ、横軸が加熱温度である。通常銅では線膨張長さとの加熱温度が青直線となり、その線膨張係数は $18 \times 10^{-6}/K$ である。私共は繰り返し

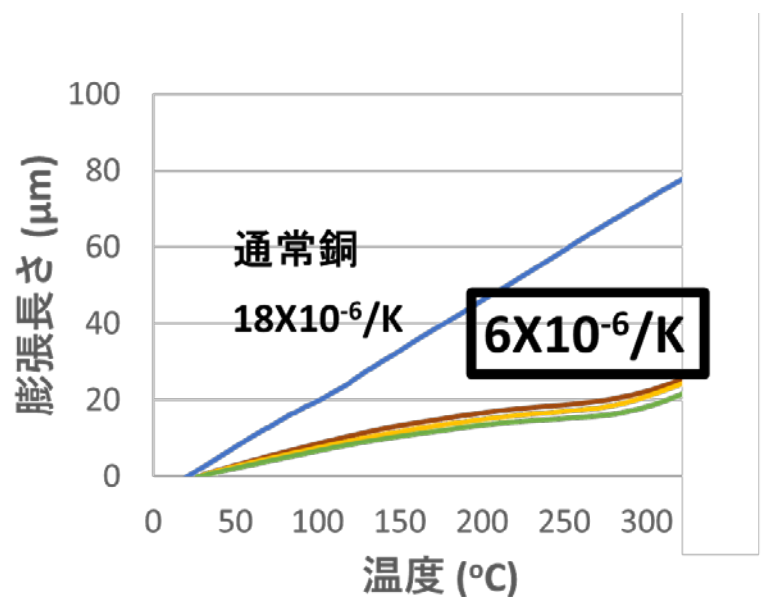


図10. 繰り返しの加熱にも関わらず低線膨張特性を発揮する銅めっき参謀長係数は従来銅の1/3

の加熱には持たなかった銅めっき液の液コンセプトを 180° 変更して、繰り返しの加熱にも関わらず低線膨張を発揮する銅めっき液を開発した。新に開発した銅めっきを赤、黄、緑で示した。赤、黄、緑は二回予備加熱をした後の線膨張長さである。赤、黄、緑とも $6 \times 10^{-6}/K$ と 1/3 となり、少なくとも 3 回の繰り返しの加熱で、1/3 の値を示す。

次に $-40^{\circ}C$ と $200^{\circ}C$ との温度を繰り返しかける熱衝撃試験を行った。200 サイクルの繰り返しの熱衝撃試験をかけて 50 サイクルごとに試料を取り出し、線膨張長さとの電気抵抗を測定した。50, 100, 150, 200 サイクルで取り出した試料の線膨張係数はいずれも通常銅よりも低く、200 サイクルでさらに低い線膨張係数をしめした。

通常の銅めっきでは $2.1 \mu\Omega \cdot cm$ となる。熱衝撃試験後の電気抵抗は通常の銅めっきより低く、50, 100, 150, 200 サイクル後の電気抵抗はいずれも通常銅より低く、 $2.0 \mu\Omega \cdot cm$ となった。

2.5 コアレスプリント基板用めっき装置の開発（株式会社東設）

2.5.1 500mm 角めっき実験機の開発

株式会社東設が設計製作を行い、大阪市内のめっき加工メーカーである塚本鍍金工業株式会社に設置し、実機テストをした500mmx500mmの大型めっき装置の全体写真を図11に示す。aがめっき槽、bが前処理、洗浄槽である。多点の噴流ノズルをブロックに配置し、そのブロックを回転揺動させることにより均一なめっき噴流を基板全面に当てる垂直噴流型めっき装置である。

評価用に片面銅箔付きガラエポ基板に最小配線幅30 μ mのレジストパターンを形成したサンプルを用意し、膜厚10 μ m、めっき速度1.0 μ m/分

でめっきした場合の膜厚分布を図12aに示す。膜厚分布の均一化のために分割アノードと遮蔽板とを用いた。分割アノードでは、内側と外側に2分割して、外

側の電流値を抑えることで膜厚分布の調整を試みたが、分割アノードのみでは基板外周の電流密度分布の集中を十分に改善できず、10 μ m $\pm$ 5%の膜厚分布を満足しなかった。基板外周部に遮蔽板を設置することにより、10 μ m $\pm$ 5%の膜厚分布を満足した。図12bは、500x500mm角基板の全面めっき後の外観写真である。噴流ブロックの揺動により、揺動に起因する円形の模様が出現した。垂直噴流方式は、大型かつ深い配線パターン基板において、高電流密度でめっきを行う場合に有効と想定しているが、噴流ノズルの配置やノズル形状の改良が今後の検討課題である。また、従来のパドル攪拌方式でもめっきを行ったところ、このような外観ムラが発生しないことも確認できたことから、シリコンウエハやプリント基板のような500mm角以下のサイズで、粗密を有する配線パターン基板においては、パドル攪拌方式を採用する方向である。

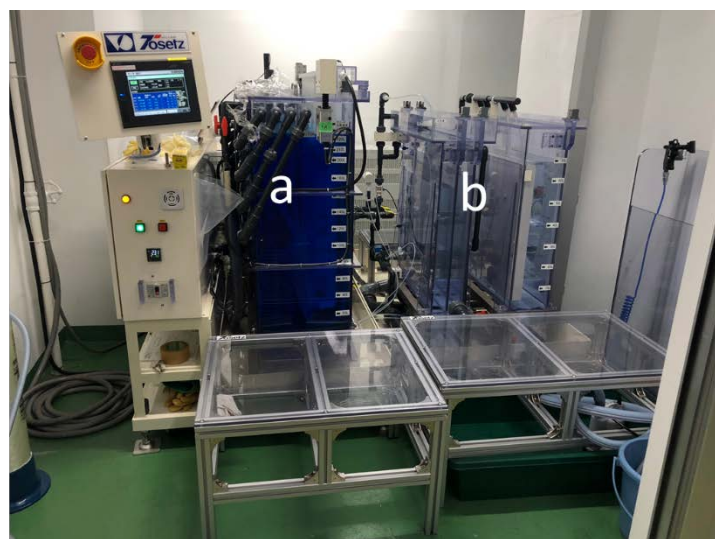


図11. 500mmx500mmの大型めっき装置の外観写真

図12a: 膜厚分布の改善効果確認

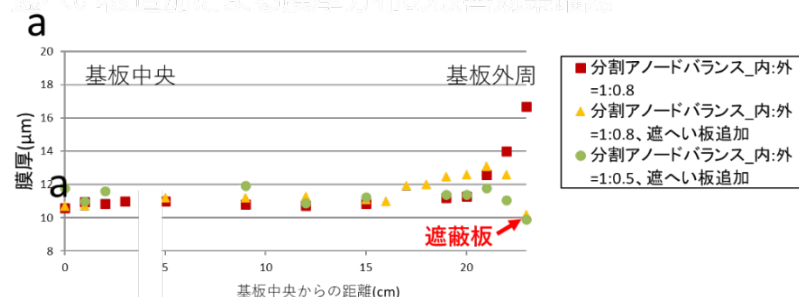
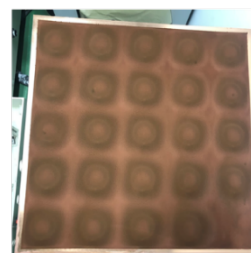


図12. 500mmx500mmの大型めっき装置でのめっき膜厚分布の測定結果。A測定結果、b 500mmx500mm基板のめっき外観写真

b



2.5.2 500mm 角基板用量産装置の仕様検討

東設において製作実績のある 380mm 角基板用のパドル攪拌式両面めっき槽 6 槽および前処理部、後処理部から構成される、自動治具搬送式めっき装置（基板は人手作業により治具にセットする）をベースに、500mm 角サイズにスケールアップした垂直噴流式めっき装置の仕様検討を行った。装置寸法 幅 8.4m（制御盤を除く）×奥行 2.2m×高さ 2.3m となる。処理能力は、めっき処理時間 30 分を想定した場合、5 分のタクトタイムとなる。

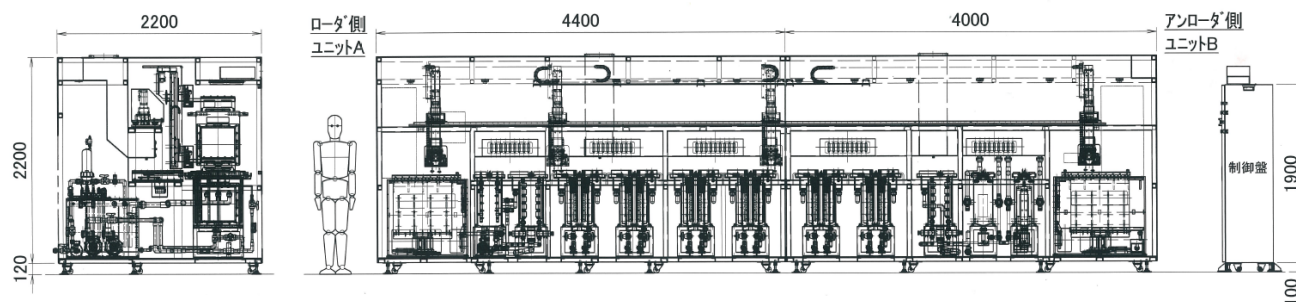
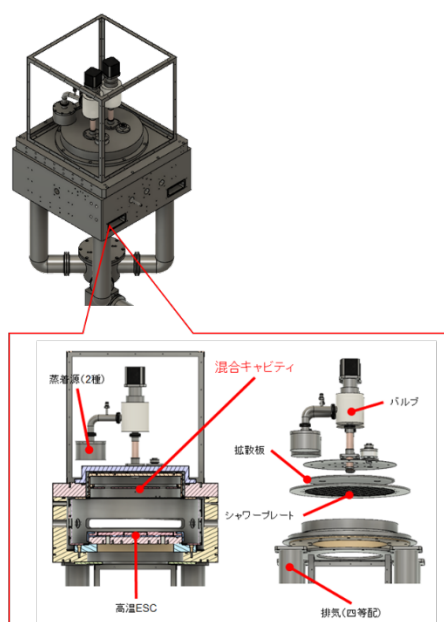


図 13 500mm 角用 6 槽式両面めっき装置 計画外観図

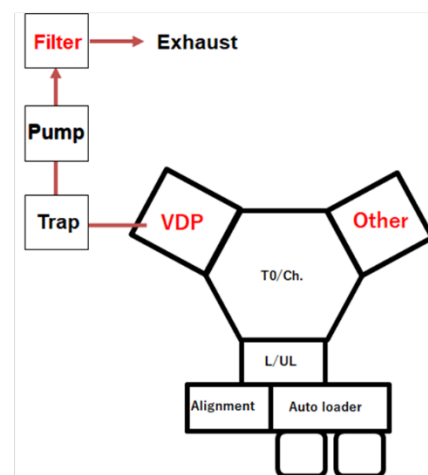
2.6 株式会社アルバックの成果 (300mm シリコンウエハ向けの量産型蒸着重合装置)

図 13 は株式会社アルバックが組み立て製造した 300mm シリコンウエハ向けの量産型蒸着重合装置である。図 13a には蒸着重合部の概念写真、その下には蒸着重合部の組み立てパーツを示す。混合キャビティは拡

a



b



- ・ 搬送系改造 (Robot修理, Stage修正)
- ・ 制御系改造 (Program改造)
- ・ 排気系改造 (集塵Filter取付)

図13. 300mmシリコンウエハ向け量産型蒸着重合装置。a蒸着重合部の概念図、b量産装置の組み立て図。

散板とシャワープレートとからなる。300mm シリコンウエハ向けの量産装置は搬送系、制御系、排気系からなる。ロボットがカセットケースからウエハを自動搬送する。

図 14 は成膜した 3 種類の耐熱膜（ポリ尿素、パリレン、ポリイミド）の耐熱性をガラス転移点 (TG) で比較した。縦軸が TG/%、横軸が温度である。ポリイミドは TG が 600℃以上であり最も良い耐熱性を示す。

最終章 全体総括

3 年間の研究開発成果は確実にあがってきた。2019 年度にアルバックが抜けたがそのサブテーマ目標のポンピング 0.1 μm 以下と KOZ2.0 μm は微小めっき研究所

がクリアした。また顧客対応の中から要望された、繰り返しの加熱にも関わらず低線膨張特性を発揮する銅めっきも、めっき液のコンセプトを 180° 変え、実現した。10 件のサブテーマ目標値のうち 8 件は○、2 件は△、さらに 5 件の波及研究を実施し顧客の満足を得た。

事業展開の課題としては本サポイン中の顧客対応から抽出した 3 つ共通課題に集中対応したい。

1. パワーデバイス・反り 2. プリント基板・反り 3. フレキシブルプリント基板・パッドずれ

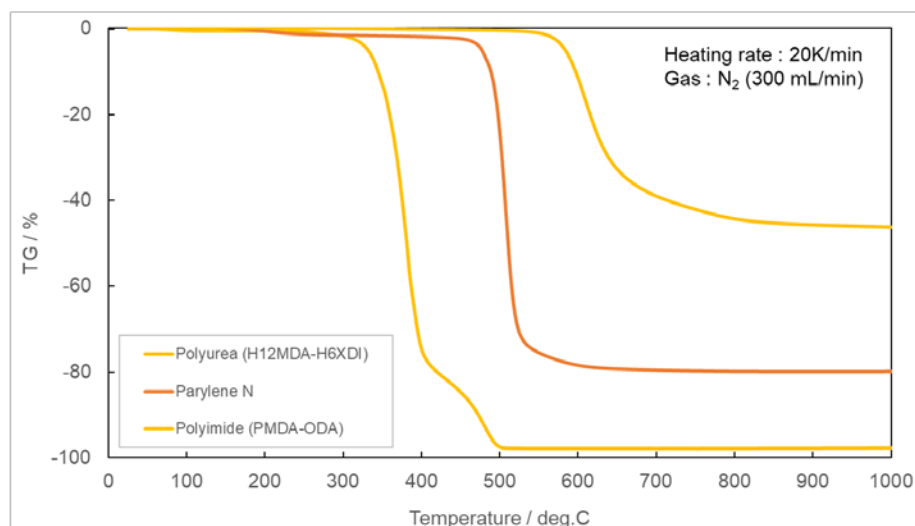


図14. 300mmシリコンウエハー向け蒸着重合装置の成膜結果。ポリ尿素、パリレン、ポリイミド