

平成23年度第3次補正予算戦略的基盤技術高度化支援事業

パワーデバイス用複合ウェーハの
精密実装技術の開発

研究開発成果等報告書

平成24年12月

委託者 近畿経済産業局

委託先 公益財団法人新産業創造研究機構

平成23年度第3次補正予算戦略的基盤技術高度化支援事業
「パワーデバイス用複合ウェーハの精密実装技術の開発」
研究開発成果等報告書

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) 研究の目的	1
(2) 研究の目標	1
(3) 研究の概要	1
(4) 実施内容	3
1-2 研究体制	5
(1) 研究組織	5
(2) 管理体制	5
(3) 管理者及び研究員	6
(4) 経理担当者及び業務管理者	7
(5) アドバイザー委嘱委員	8
1-3 成果概要	8
1-4 当該プロジェクトの連絡窓口	9
第2章 複合ウェーハ製造技術の開発	10
2-1 接合・剥離剤塗布プロセス	10
(1) 高温対応接合・剥離ポリイミドの開発	10
(2) 高温対応接合・剥離ポリイミドの評価	11
2-2 真空・加熱・加圧プロセス	14
(1) 加熱プロセス（最適条件）	14
(2) 加圧プロセス（最適条件）	14
(3) 真空プロセス（最適条件）	15
2-3 アライメントプロセス	16
(1) 外形あわせ	16
(2) マークアライメント	16
2-4 統合システムの構築	18
(1) 接合剥離材塗布プロセスからの要求	18
(2) 真空加熱加圧プロセスからの要求	18
(3) アライメントプロセスからの要求	18

2-5	高精度化試験	19
(1)	8インチ複合ウェーハの作成	19
(2)	12インチ複合ウェーハの作成	20
第3章	複合ウェーハプロセス評価技術の開発	21
3-1	8インチ複合ウェーハプロセスの評価	21
(1)	8インチ露光用複合基板の試作	21
(2)	8インチ露光用複合基板を用いたプロセス評価	21
3-2	12インチ複合ウェーハプロセスの評価	23
(1)	12インチ露光用複合基板の試作	23
(2)	12インチ露光用複合基板を用いたプロセス評価	23
3-3	パワーデバイスプロセス検証試験	24
第4章	複合接合装置の開発	25
4-1	複合接合装置の開発	25
(1)	複合接合装置全体	26
4-2	複合接合装置用要素技術	28
(1)	塗布プロセスの高度化	28
(2)	プロセス評価技術	29
第5章	総括	30

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) 研究の目的

シリコンウェーハ上にパワーデバイス用ウェーハを高精度に自動貼り合せ実装するウェーハプロセスおよび実装装置を研究開発し、

- ・パワーデバイスの開発・生産のボトルネックの解消
- ・ウェーハ技術の進展に柔軟に対応できる生産技術の確立
- ・研究・開発・生産を自動化対応で迅速に技術開発できることを目的とする技術開発を実施する。

(2) 研究の目標

具体的な目標値を以下に記す。

- A) 電子部品・デバイスの実装に関する技術目標値を以下に記す。
 - ・複合基板の表面位置： $\pm 5\mu\text{m}$ 以下
 - ・基板寸法：直径100mm、150mm、200mmに対応出来ること。
- B) プラスチックの成形加工に関する技術目標値を以下に記す。
 - ・発泡温度：350℃以上
- C) 部材の結合に関する技術目標値を以下に記す。
 - ・接合温度：250℃以上
 - ・高速に搬送する際に剥がれない十分な密着力
- D) 真空の維持に関する技術目標値を以下に記す。
 - ・貼り合せプロセスとして：接合温度 $>250^\circ\text{C}$ 、剥離温度 $>350^\circ\text{C}$
 - ・真空中の位置あわせ機構：X方向 $<50\mu\text{m}$ 、Y方向 $<50\mu\text{m}$ 、回転 $<1^\circ$

(3) 研究の概要

近年、新材料による各種パワーデバイスの開発が急速に進展している。パワーデバイス用基板は、小型・歪・反りがあることから、シリコンデバイス用の高度な生産技術の適用が困難である。本技術開発では、シリコンウェーハ上にパワーデバイス用ウェーハを高精度に自動貼り合せ実装することで、研究・開発・量産を、同一装置で実施可能とし、技術開発の迅速性・量産性・解像力の飛躍的向上を実現し、川下企業における量産実証を行う。

<複合ウェーハの実装プロセスの開発>

- ・塗布工程：8 or 12 インチのシリコン基板上に、接着・剥離剤を均一に塗布して乾燥。
- ・加熱・接合工程：塗布されたシリコン基板を真空中 250℃以上で加熱を行い、不定形もしくは2or4インチのパワーデバイス基板を、アライメント機構を用い加圧して接着。

- ・評価工程：加圧接着された複合基板を、露光装置で複合基板の表面高さを評価。
- ・露光プロセス：表面高さの変動が $\pm 5\mu\text{m}$ 以下であれば、露光・現像プロセスを実施。
- ・半導体プロセス：スパッタ、蒸着、エッチング等を実施。残留ガスなどの問題が無いことを確認。
- ・剥離工程：プロセスを終えた複合基板を 400°C 以上に加熱脱泡して、ウェーハを剥離。

<複合基板製造プロセスの技術課題>

- ・塗布工程：均一性の確保と、溶媒除去時間短縮を実現する真空・加熱条件
- ・加熱・接合工程：ポリイミド系接着剤の選定と、接着時間の短縮を実現する真空・加熱条件の最適化。特に、泡（ボイド）が発生した場合、製造された複合基板が、ボイドによって反りや傾きが発生し、基板表面位置が焦点位置からずれることから、焦点ぼけを生じ、露光パターンの寸法が変化する。露光装置では、自動の焦点調整が可能であるが、可能な範囲は、基板表面との焦点距離の差が $\pm 5\mu\text{m}$ 以下の場合のみである。この条件を実現するには、真空中でシリコンキャリアとパワーデバイス用ウェーハを、精密に位置決めアライメント作業を行いながら、真空中で加熱圧着するプロセスを開発する。
- ・評価工程：基板の表面と裏面の変形量を評価し、内部歪を定量的に評価する。
- ・露光プロセス：形成する微細パターンの仕様に従い、適切なレジスト、レジストコートシーケンス、露光量、現像条件を最適化する。
- ・半導体プロセス：半導体プロセスにおける基板温度、特に接合部の温度履歴を測定し、接着プロセスの最適化を図る。
- ・剥離工程：高温発泡剤の選択と、剥離プロセスの、真空・加熱シーケンスの最適化を行う。 100°C 以下の低温半導体プロセスの場合は、エタノールに可溶性な基板研磨用のワックスを接着剥離剤として用いることも検討する。

<統合自動化>

上記の各プロセスを最適化した後に、統合プロセスとしての生産性の向上を図る。現在、パワーデバイスの露光プロセスでは、旧式の手動アライナーと呼ばれる装置が利用されており、基板の貼り合せを含めて考えた生産性は、1時間に1枚のレベルであり、熟練者にプロセスを依存している状況である。このような、手動での複合基板の製造方法では、接合界面に塵などのパーティクルが混入し、ボイド等の発生原因となり、基板のたわみ等の悪影響をもたらす。また、熟練者の手作業で処理を行うと、作業者の熟練度によるばらつきが発生し、不具合の原因説明が非常に困難となる。従って、本技術開発では、カセットチャンバーによる自動搬送と貼り合せ機構を設ける。特に、自動的に接着剤を塗布→接合→格納ポッドによる回収を可能とする装置を開発し、カセット to カセット方式の全自動プロセスが可能となり、以下の利点が発生する。

- (i) 接合に要する時間短縮（1時間に1枚から10枚以上へ）
- (ii) パワーデバイス用ウェーハに対するクリーン環境維持と、歩留まりの大幅な向上。

(4) 実施内容

① 複合ウェーハ製造技術の開発 (アユミ工業株式会社)

①-1 接合・剥離剤塗布プロセス (アユミ工業株式会社)

独立行政法人産業技術総合研究所と連携して、剥離剤を含むポリイミド系の接合材料を均一にシリコン基板上に塗布して、均一な接着層を得るためのプロセスの開発と、プロセス装置の試作を行う。

①-2 真空・加熱・加圧プロセス (アユミ工業株式会社)

パワーデバイス用ウェーハを、シリコンキャリアに接合・剥離するためのプロセス開発を行う。真空プロセスは、接着・剥離剤に含まれる溶媒を除去するためであり、250℃以上の加熱を行うことにより、他の真空プロセスとの共存が可能となる。具体的には、ドライエッチングや金属・絶縁膜の形成プロセスへの適用が可能となる。また、発泡剤の含まれる接着剤を、大気中で無く真空中で発泡させることにより、大きな発泡体積として基板の剥離を行う事も検討する。貼り付け基板に損傷を与えないように、温度・真空度を精密に制御する。

①-3 アライメントプロセス (アユミ工業株式会社)

露光プロセスにおいては、基板の回転自由度が非常に厳しく、1°以下である。また、露光装置の基板の投入再現性は、X、Y方向ともに50μmである。露光装置の許容誤差内で、パワーデバイス用ウェーハのアライメント接合を行う。

①-4 統合システムの構築 (アユミ工業株式会社)

①-1から①-3までで確立された各プロセスを統合して、複合ウェーハの製造プロセスの確立と、製造装置を実現する。

①-5 高精度化試験 (アユミ工業株式会社)

独立行政法人産業技術総合研究所と連携して、複合ウェーハの表面位置が、目標の±5μm以下にあるようにプロセスの高度化を図る。

② 複合ウェーハプロセス評価技術 (アユミ工業株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)

②-1 8インチ複合ウェーハプロセス評価 (アユミ工業株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)

8インチ複合ウェーハ上にパワーデバイス用ウェーハの実装を行い、露光評価を行う。パワーデバイス用ウェーハの表面位置が焦点位置に対して、±5μm以下になるように、プロセスの最適化と高精度化を実施する。

②-2 12インチ複合ウェーハプロセス評価 (アユミ工業株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所)

12インチ複合ウェーハ上にパワーデバイスウェーハの実装を行い、露光評価を実

施する。特に、量産機の高速搬送に対応出来るかどうか、パワーデバイスの表面が、焦点位置にあり、良好に露光出来ることを実証する。

②-3 パワーデバイスプロセス検証試験（アユミ工業株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所）

本開発技術を最初に導入することが予定されている川下企業のパワーデバイスに対して、今回開発の8インチ複合ウェーハで露光プロセスを実施して、その有効性を確認する。

③研究全体の統括、プロジェクトの管理運営（公益財団法人新産業創造研究機構）

研究を円滑に推進するため、研究推進会議を行うと共に必要に応じ検討会を開催し、プロジェクト運営を効率的、かつ着実に推進し、年度末に成果報告書のとりまとめを行う。

③-1 進捗管理（公益財団法人新産業創造研究機構）

各研究について、進捗の状況を把握し、分担課題間を横断する問題について検討すると共に、それぞれの課題間の調整を行い、円滑な研究の進捗を図る。（含む再委託先の経理指導）

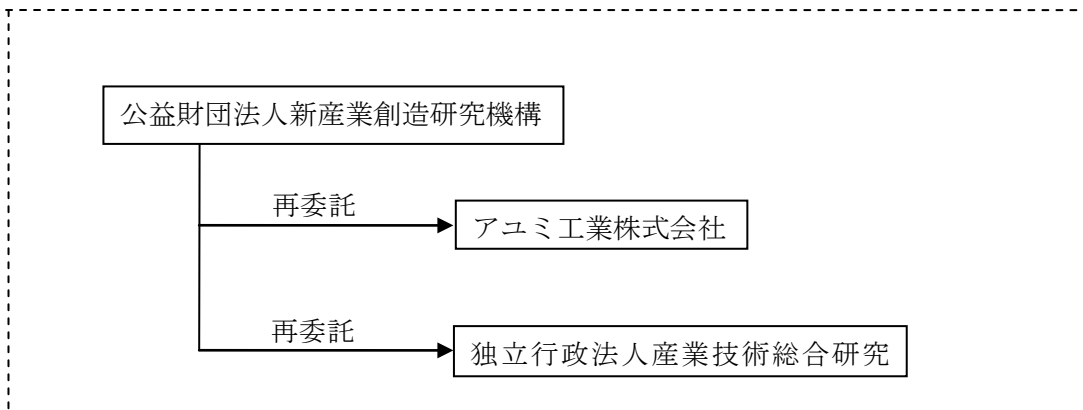
③-2 研究推進会議の開催（公益財団法人新産業創造研究機構）

研究推進のため、研究推進会議を開催すると共に、必要に応じ実務者による検討会を開催し、プロジェクト運営を効率的、かつ着実に推進する。

③-3 報告書のとりまとめ（公益財団法人新産業創造研究機構）

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

(1) 研究組織



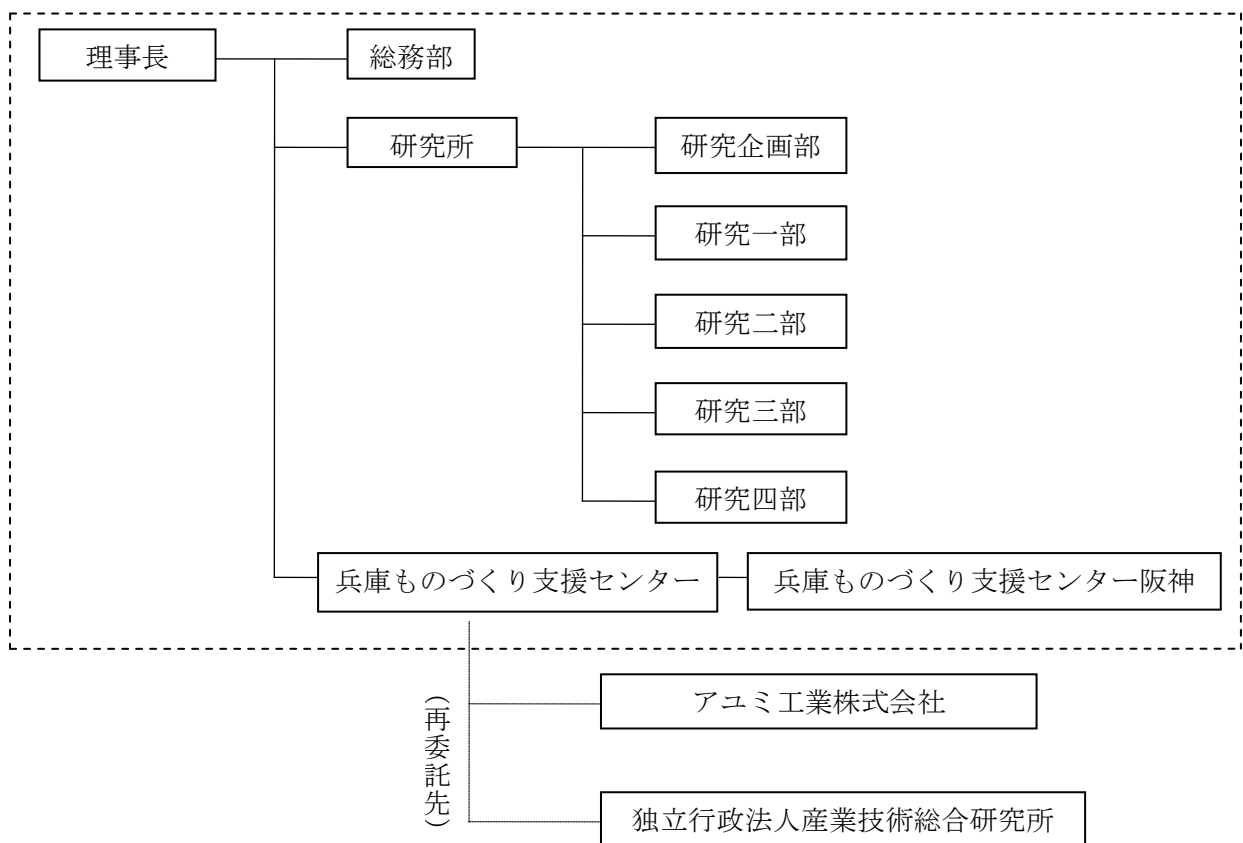
総括研究代表者（P L）
アユミ工業株式会社
技術部第二グループ マネージャー
小田 知弘

副総括研究代表者（S L）
アユミ工業株式会社
技術部第二グループ
秋田 一路

(2) 管理体制

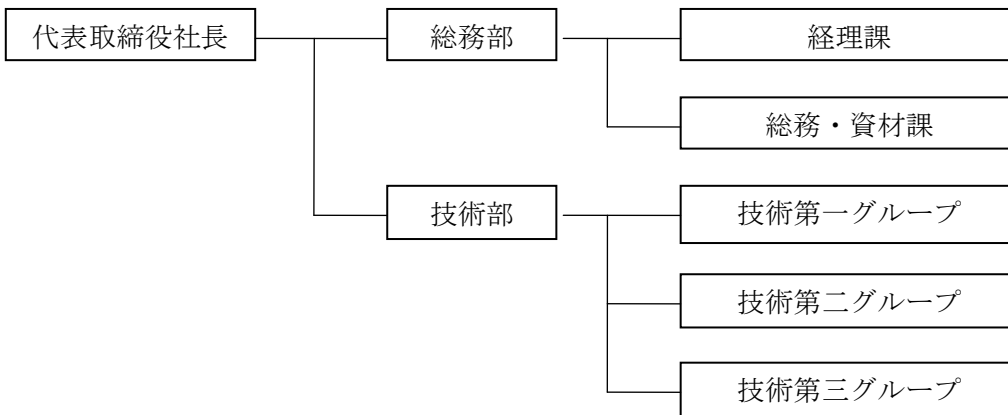
(2-1) 事業管理者

[公益財団法人新産業創造研究機構]

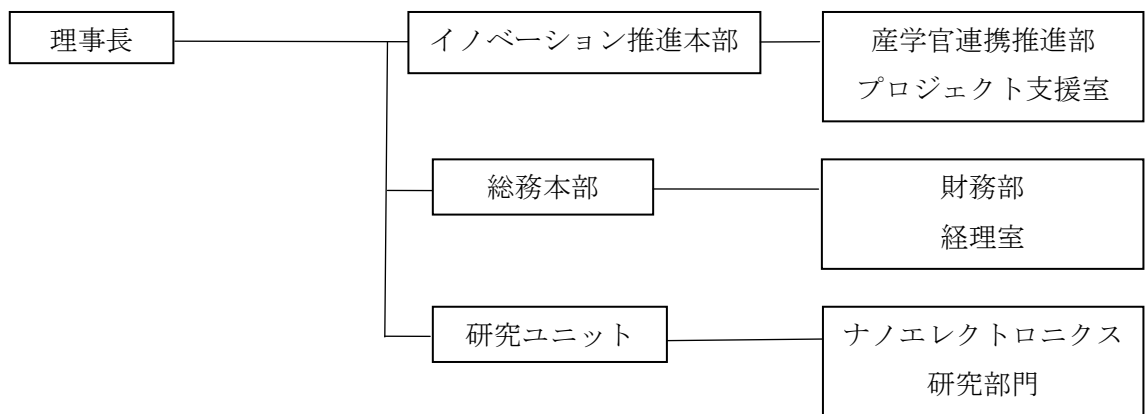


(2-2) 再委託先

[アユミ工業株式会社]



[独立行政法人産業技術総合研究所]



(3) 管理者および研究員

(3-1) 事業管理者 公益財団法人新産業創造研究機構

① 管理員 (プロジェクト管理員)

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
小坂 宣之	兵庫ものづくり支援センター阪神 研究コーディネーター	③-1、③-2、③-3
川口 雅弘	研究所所長	③-1、③-2、③-3

② 研究員： なし

(3-2) 再委託先

アユミ工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小田 知弘	技術部第二グループマネージャー	①-1、①-2、①-3、①-4、①-5 ②-1、②-2、②-3
秋田 一路	技術部第二グループ	①-1、①-2、①-3、①-4、①-5 ②-1、②-2、②-3
鎌谷 俊彦	技術部第二グループ	①-1、①-2、①-3
稲村 美希	技術部第二グループ	①-1、①-2、①-3
尾崎 武仁	技術部第二グループ	①-1、①-2、①-3
阿部 英之	代表取締役社長	①-1、①-2、①-3、①-4、①-5 ②-1、②-2、②-3

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
板谷 太郎	ナノエレクトロニクス研究部門 主任研究員	②-1、②-2、②-3、①-5
石井 裕之	ナノエレクトロニクス研究部門 研究員	②-1、②-2、②-3
亀崎 功	ナノエレクトロニクス研究部門 技術員	②-1、②-2、②-3

(4) 経理担当者及び業務管理者

(事業管理機関)

公益財団法人新産業創造研究機構

(経理担当者)	総務部長	大田 篤義
(業務管理者)	兵庫ものづくり支援センター副センター長	柏木 茂
	兵庫ものづくり支援センター阪神 研究コーディネーター	小坂 宣之

(再委託先)

アユミ工業株式会社

(経理担当者)	総務部 総務・資材課	小椋 伸治
(業務管理者)	技術部 技術第2グループ マネージャー	小田 知弘

独立行政法人産業技術総合研究所

(経理担当者)	総務本部 財務部 経理室長	山口 洋二
(業務管理者)	エレクトロニクス研究部門 部門長	金丸 正剛

(5) アドバイザー委嘱委員

株式会社ニコンテック営業部RS営業課 副主幹	大野 宏眞
昭和電工株式会社研究開発本部研究開発センター	鈴木 賢二
東北大学未来科学技術共同研究センター 准教授	福島 誉史
独立行政法人産業技術総合研究所関西センター	
イノベーションコーディネータ	堀野 裕治
産学官主幹	濱崎 浩

1-3 成果概要

(1) 進捗状況

(1-1) 当初計画の履行状況

①複合ウェーハ製造技術の開発

「接合・剥離剤塗布プロセス」「真空・加熱・加圧プロセス」「アライメントプロセス」について、本事業で開発したポリイミド系接着・剥離剤及び各プロセスを実用に耐えるレベルまでブラッシュアップを図り、複合ウェーハ接合のトータルプロセスとして各プロセス技術を確立した。

また、この確立したプロセスを複合接合装置に搭載し、装置内で稼働できるようになった。

②複合ウェーハプロセス評価技術

「8インチ複合ウェーハプロセスの評価」「12インチ複合ウェーハプロセスの評価」では、8インチSiウェーハ及び12インチSiウェーハ上にパワーデバイス用ウェーハの実装を行った評価サンプルを作製し、露光装置を用いて露光工程および高速搬送の評価を実施した結果、所期目標以上の良好な結果を得た。また、ウエットエッチングなどの他の工程についても検証し成果を得た。

「パワーデバイスプロセス検証試験」では、数社の川下企業に複合ウェーハのサンプルを提供し、量産プロセスでの検証を頂き、良い結果が得られている。更に、引き続き、実用化に耐える種々の評価を継続して進めていく。

「複合接合装置の開発」

初年度に開発した複合接合装置を中核に、事業完了までに追加導入を実施し、ウェーハ投入から接着剤塗布、プレバークニング、アライメント、接合、接合後評価、ウェーハ格納までの一貫した自動製造できる装置を、所期の目標仕様を満足して完成した。

また、各プロセスの研究テーマの成果を順次反映させて、複合接合プロセスの開発に使用し多大の貢献をした。

事業完了後、更に補完研究の推進装置として使用するとともに、実用装置としての展開を目指していく。

(1-2) 進捗管理について

(公財)新産業創造研究機構の主催する研究推進会議を各年度4～5回開催し、各機関の進捗報告を受けて研究内容の詳細を議論し、またアドバイザー委嘱委員からのアドバイスも活かして、実施計画のスムーズな履行に努めた。

1-4 当該プロジェクトの連絡窓口

公益財団法人新産業創造研究機構 (担当 小坂 宣之)

〒650-0047 神戸市中央区港島南町1丁目5-2

TEL 078-306-6801

FAX 078-306-6812

第2章 複合ウエーハ製造技術の開発

2-1 接合・剥離剤塗布プロセス

(1) 高温対応接合・剥離ポリイミドの開発

パワーデバイス用複合ウエーハの開発について、接合・剥離剤の最適化設計と技術検証を行った。具体的には、剥離剤組成物に関してはポリイミド溶液とフィラーおよび発泡剤を主成分とし、接合剤組成物はポリイミド溶液のみとした。これらに対して必要となる物性仕様は以下の通りである。

① ポリイミド樹脂溶液に対する仕様

- ・ 基板に直接塗布できるようポリイミドが溶剤に十分に可溶性を有し、かつフィラー、発泡剤等が不溶性であり、且つ溶剤は揮発性を有し容易に乾燥出来ること。
- ・ ポリイミド樹脂のガラス転移温度 T_g (熱可塑温度) が接合温度よりも低いこと。
- ・ 接合温度より高温な耐熱性を有すること (接合温度 < 熱分解温度)

② 発泡剤とフィラーに関する仕様

- ・ 発泡剤の発泡温度が、接合温度よりも高温であること。
- ・ 発泡剤およびフィラーの粒子が接合・剥離剤の塗布膜厚よりも十分に小さいこと。
- ・ 発泡剤およびフィラーの粒子が均一に分散すること。

③ 接合・剥離に関する仕様

- ・ 接合後に必要に応じたプロセスに対する耐性 (耐熱性、耐薬品性) を有すること。
- ・ 250°C以上で接合、350°C以上で剥離が可能なこと。
- ・ 剥離時にサポート基板 (例えば 8 インチのシリコン基板) に接合・剥離剤が残り、目的の基板には付着が出来る限り無いようにし、基板の洗浄プロセスが容易であること。
- ・ プロセス時の接合面の密着強度の信頼性、および剥離時の洗浄の容易性を持ち、目的の基板側には発泡剤を含んだ剥離層を、サポート基板側には発泡剤を含まない接合層の 2 層構造であること。

これらの仕様をクリアすべく、ポリイミド樹脂組成物の改良を重ねた。耐熱性・耐薬品性・溶解性を維持しつつポリイミド化した際に溶解性が増し、350°C以上のある温度において安易に分解することができる原料をポリイミドに組み込むことが効果的であることが判った。ポリイミドは主として原料を酸ジ無水物とジアミンとし、1:1 (50% : 50%) で反応して脱水重縮合で重合することにより高分子化して得られる。改良の方法をして、ビジクロ[2,2,2]オクト-7-エン-2,3,5,6-テトラカルボン酸ジ無水物 (以下、BTA) という酸ジ無水物モノマーを各一定割合で組成に加えポリイミド溶液を作成した。各ポリイミド溶液はガラス基板上に成膜後剥離して単独のフィルムとした。それらのフィルムを窒素雰囲気中での熱重量分析を行い、その重量減少度を調査した。50%が最大含有量の酸ジ無水物において、BTA 添加量を 0%から 50%まで変化させた各々のポリイミドの熱重量分析の結果を図 2-1-1 に示す。この結果から、組成への添加量に対して

400℃付近までの重量減少度には大きな変化が見られないが、添加が増加するに従い 400℃以上での重量減少の落ち込みが大きくなっていることがわかる。特に 500℃（図 2-1-1 中の青点線）において、その差が添加量に応じて大きく異なり、50%では重量減少後の残渣が初期の 30%程度まで落ちていることが明らかになった。これは、複合ウエーハの剥離を 500℃で行った際、添加量が多いほど接合剥離剤が分解して低残渣となり、剥離とその後の洗浄性の向上が期待される。これらの評価結果を以下に述べる。

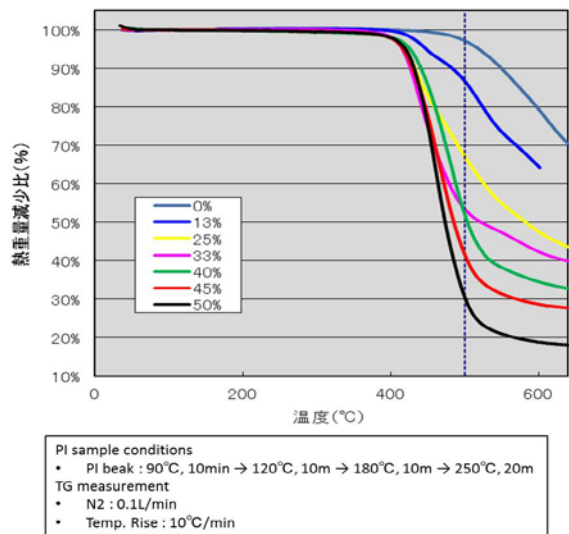


図 2-1-1 熱重量分析結果

(2) 高温対応接合・剥離ポリイミドの評価

前記で得られたポリイミド溶液（接合層用溶液）に対して、フィラー、発泡剤を混合して剥離層塗布用溶液を作成し、その溶液を用い基板上に剥離層、接合層を重ね塗布して二層膜を形成し他方の基板を重ね合わせ、簡易真空加熱プレス機にて、10Pa 以下において 300℃、10 分間、32kgf の条件で接合した。

① 曝露試験：この条件で接合した試料に 5 時間の大気中で熱曝露（熱風循環乾燥炉にて、150℃、250℃、300℃）を行い、その接合強度を引張試験機で測定し劣化具合を評価した。その結果、図 2-1-2 に示すように、いずれの温度においても測定装置検出限界の 10.7kgf/cm²であり、良好な耐熱性を示していることが確認された。

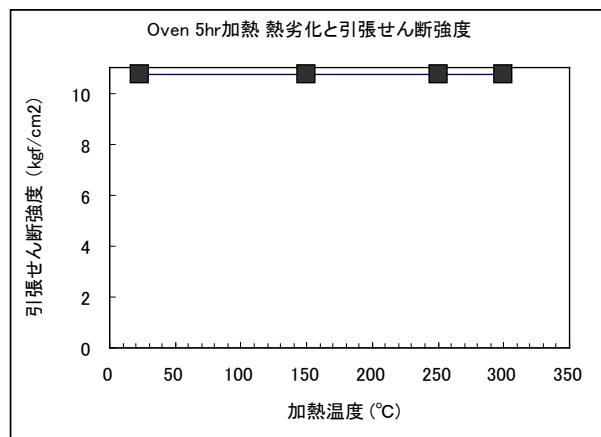


図 2-1-2 熱曝露と接着強度

② 溶媒耐性：代表的な有機溶媒として選定したケトン系溶媒のアセトン、メチルイソブチルケトン(MIBK)、アルコール系溶媒のエタノール、イソプロピルアルコール、エステル系溶媒の酢酸ブチル、アミド系溶の N-メチルピロリドン(NMP)への浸漬(3 時間)に対する耐性を評価した。その結果、図 2-1-3 に示すように接合強度の低下は観測されなかったが、NMP の場合には、

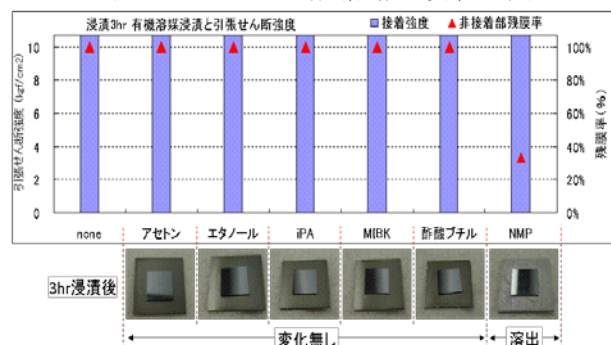


図 2-1-3 有機溶媒暴露と接着強度

接合・剥離剤（ポリイミド）自体の溶解が確認された。半導体プロセスで使用する溶液はこれら以外にも多種あるため、更なる溶媒耐性の評価が必要となる。

③ 剥離性：500°Cにおける時間に対する剥離の挙動を調べた。試料は20mm角Si基板に剥離剤、接合剤を2層構造で塗布・乾燥し、10mm角Si基板を接合させたテスト評価用試料を用いた。加熱方法は、ホットプレートとし、

その上に試料を設置し更に、熱の流出を防ぐために試料をアルミ製のカバーにて覆った。剥離層用ポリイミドはBTAが50%添加したものにおいてテストした結果を図2-1-4に示す。加熱5分では見えている非接合領域の接合剥離剤が黒色なのに対し、10分から15分で白化が進み、20分では殆ど白化している。20分で冷却した後力を加えることなく自然に剥離したが、その接合面は一部黒色のままであった。しかし、25分、30分と加熱を更に長くするにつれて試料の接合面の色も白化が進み、25分では冷却した後自然に剥離したのに対し、30分ではホットプレート上にて既に剥離していた。また、これらの各時間加熱した試料の横方向せん断強度を測定した結果を図2-1-5に示す。これらのことから、

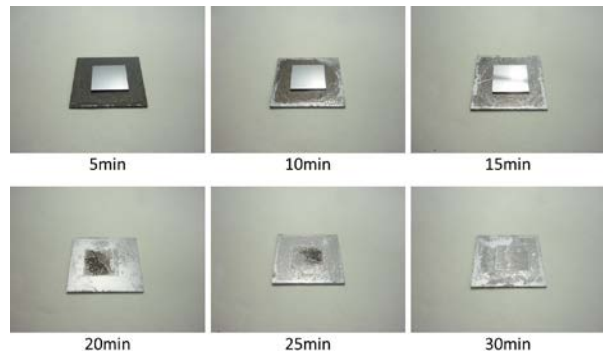


図2-1-4 500°C剥離での加熱時間変化

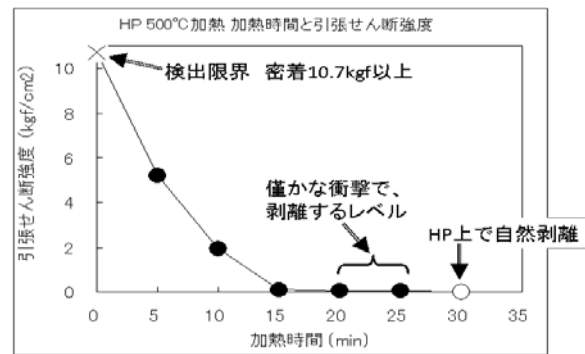


図2-1-5 500°C剥離での強度変化

接合面において白化の進行が接合力低下に必要であり、十分に接合面を白化すると、剥離できることが確認された。

④ 基板洗浄プロセスの開発：剥離した後の接合・剥離剤と触れていた基板表面は図2-1-4からも判るように大変に汚れている。この剥離した基板を、CMPで利用されているポリビニルアルコール製スポンジを用いたスクラブ洗浄を行い外観上、確認できないほど残渣をほぼ落とすことができる。その後の微細な汚れはフッ酸にてWet処理を行うことが効果的であることが判った。また、予め接合・剥離剤と触れる面に洗浄する為の洗浄用犠牲層（エッチング層）を入れることにより洗浄が安易に行うことができる。図2-1-6に示すようなプロセスを行った。熱酸化SiO₂付きシリコン基板を用いて、接合および剥離した後に、スクラブ洗浄を行っ

た。図2-1-6に示すようなプロセスを行った。熱酸化SiO₂付きシリコン基板を用いて、接合および剥離した後に、スクラブ洗浄を行っ

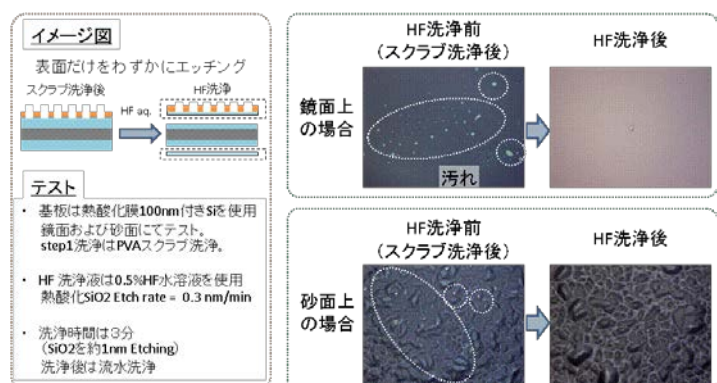


図2-1-6 洗浄用犠牲層を用いた洗浄方法検討

た試料を作成した。その状態の表面を観察し微小な付着物があることを確認した。必要以上に熱酸化SiO₂をエッチングしない為に希フッ酸に浸漬させ、表面を僅かにエッチングした。その結果、僅かなエッチング量にもかかわらず、表面の付着物が除去された。また、エッチングする量が僅かな為、数回繰り返し洗浄を行うことによって除去率を向上させることも可能と推定される。また、犠牲層はSiO₂に限らず他材料も使える可能性が大きい。

⑤ 剥離への接合面積依存性確認：時間を 30 分と固定した場合において、温度を変化させた場合を検討した。温度は 500℃から 20℃ずつ上昇させ、520℃、540℃とした。各搭載基板（＝接合面積）での剥離加熱と剥離後の搭載基板のスクラブ洗浄を行った後の外観観察の結果を図

2-1-7に示す。搭載基板 2 inch の場合、(G)500℃の剥離加熱温度で残っていた黒色物質の残渣が(H)520℃及び(I)540℃の剥離加熱温度では、外観上残渣がほぼ確認できないほど非常に少なくなっていることが判る。一方、搭載基板が 3 inch の場合は、(J)500℃に比べて(K)520℃は残渣が少なくなっているが未だ残っている状態であるのに対し、(L)540℃では外観上残渣がほぼ確認できないほど非常に少なくなっていることが判る。

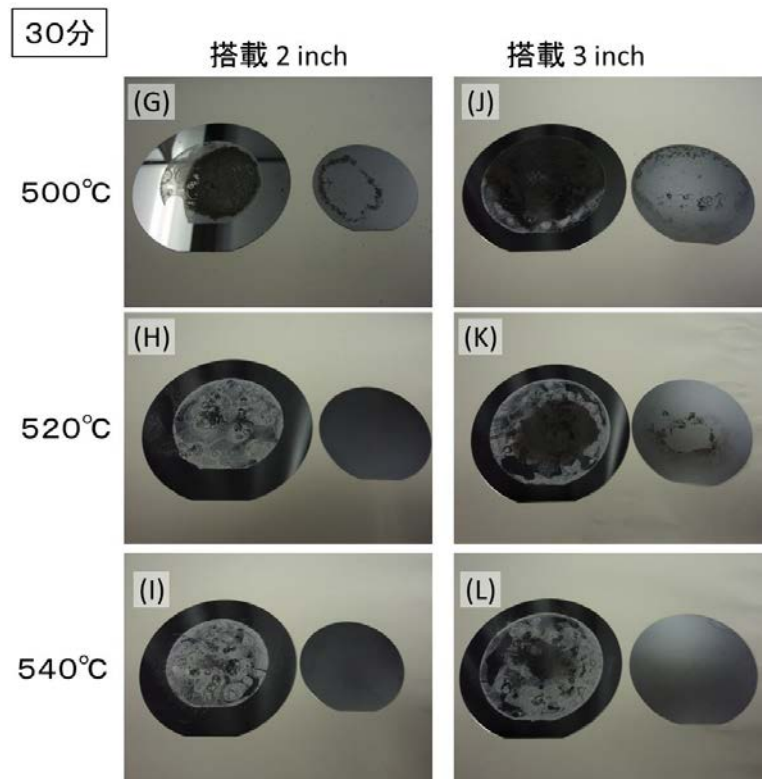


図 2-1-7 剥離加熱温度による違い

2-2 真空・加熱・加圧プロセス

産総研での接着剥離剤開発の研究から材料の加熱、加圧特性評価がなされた。
これら材料特性を踏まえて、本事業で開発した複合接合装置を用いて最適条件を検討した。

(1) 加熱プロセス (最適条件)

後工程からの要求を満たす接着剥離剤の特性から、接着温度は 250℃以上、剥離温度は 350℃以上必要としている。

昨年までの産総研での基礎実験から接着温度は高いほうが接合均一性が取れることが示唆され、これを受けて、加熱温度を最低の 250℃と 320℃の 2 条件で接合を行い、結果を評価した。

使用ウェーハ： キャリアウェーハ 8 インチ Si
 デバイスウェーハ 3 インチ Si

真空 : 10Pa

接合温度 : 250℃と 320℃ の 2 条件

結果に大きな差異は見られなかったが、接着剥離剤の接着強度特性から高温での接着条件のほうが接着強度が上がるため、320℃を最適条件とした。

また、産総研での剥離特性評価結果より、500℃程度まで加熱を行うと剥離が簡便に進行することが示唆された。図 2-2-1 にウェーハ温度を示す。

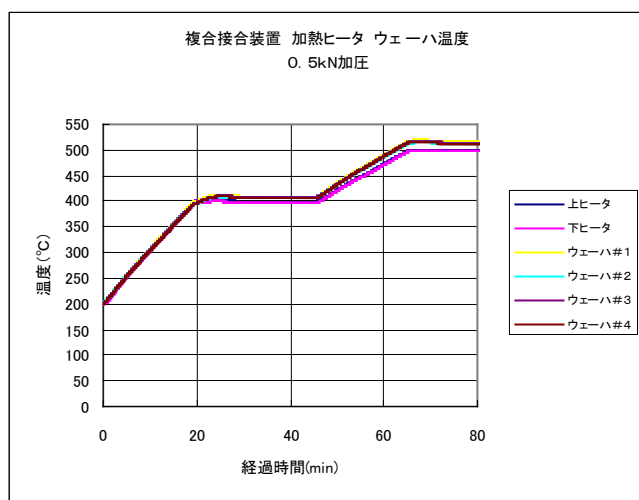


図 2-2-1 複合接合装置 ウェーハ温

(2) 加圧プロセス (最適条件)

産総研での基礎実験で加重量として 16kg/cm²、24kg/cm²、32kg/cm² での接合評価がなされた。結果は加重量が増すと均一な接着がなされることが示唆された。

複合接合装置にて 3 インチウェーハについて加圧量を 16kg/cm² (3 インチウェーハで 7kN)、32kg/cm² (3 インチウェーハで 14kN) の条件で評価を行った。

使用ウェーハ： キャリアウェーハ 8 インチ Si
 デバイスウェーハ 3 インチ Si

真空 : 10Pa
 接合温度 : 320°C
 加圧量 : 7kN or 14kN
 処理時間 : 10min

条件を比較した結果、接合状態（ボイド発生有無）については、差異は認められなかったが、デバイスウェーハへのダメージを考慮して加重量は 7kN（3 インチウェーハ）を最適条件とした。

（3）真空プロセス（最適条件）

接着剤をスピコートした 2 枚のウェーハを大気圧中で貼り合わせた場合、接合層に大気が入り込みボイドが発生することがある。これを回避するため、2 枚のウェーハを貼り合わせる前に真空状態にしてから、貼り合わせることでボイドのない接合が可能となる。また、接着層に含まれるガス成分（スピコート後のプリバークで取り除けなかった溶媒成分など）真空中で脱気することができ、より精密な接合を可能とする。10Pa 以下の真空環境下での貼りあわせによりボイドレスの接合が安定して可能である。図 2-2-2 に真空排気不良の場合のボイド発生例写真を示す（白っぽい部分が未接合部。ボイド部）。図 2-2-3 にボイドのない良好な接合例写真を示す。ボイド観察を行うため、ガラス、シリコンウェーハの組み合わせで接合を行っている。

ボイド



全体にボイド



図 2-2-2 真空排気不良によるボイド発生例



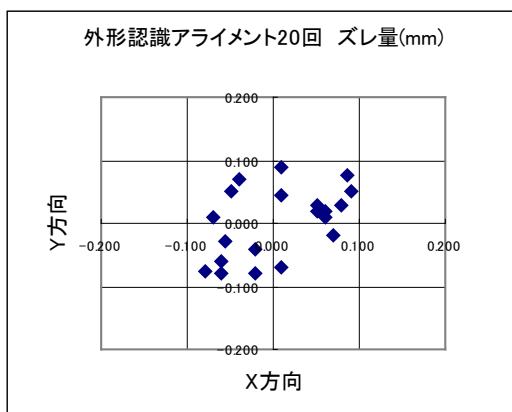
図 2-2-3 真空排気不良によるボイドなし例（真空排気 10Pa）

2-3 アライメントプロセス

(1) 外形あわせ

複合接合装置のプリアライメント部では、ウェーハ上に描画したマークを用いた微細アライメントを行う前にプリアライメントとして、微細アライメント用カメラの視野内にマークを移動させる必要がある。昨年度までの検討から、プリアライメントに光学カメラを使用した画像認識機能方式では、高額な機器（カメラ等光学機器、画像処理ユニット等）が必要となりコスト高になるため、コスト低減をねらい、カメラ、画像処理ユニットの代わりに、変位センサーを用いてプリアライメントを行うことを企画した。

ウェーハを回転させ、測長変位センサーを用いてウェーハの偏心性を測定し、偏心分だけウェーハの位置を移動させてセンター出しを行う。また、ノッチ検出については、ウェーハのセンター出し後に、同じくウェーハを回転させながら測長し、最少変位位置をノッチ位置と認識させる。プリアライメントの評価結果をに図2-3-1に示す。プリアライメント精度は $\pm 70\mu\text{m}$ 程度であり、マークアライメントのプリアライメントとしては十分な精度である。



平均(mm)	σ	3σ
0.067	0.015	0.046

図2-3-1 プリアライメント測定結果

(2) マークアライメント

大径、小径両ウェーハ上にマークをフォトリソ工程を用いて描画し、それぞれのウェーハを対向させてカメラを用いて両ウェーハ上のマークを観察。XY θ ステージを駆動させマーク位置あわせを行う。

マーク形状の比較検討結果を受け、産総研のフォトリソ工程とエッチング設備を用いて下記のようなマークを8インチシリコンウェーハと4インチSiCウェーハ上に作成した。アライメントマークは円形ドーナツ形マークと円形マークをPCD68mm位置に。また、アライメント精度の計測用にPCD80mm位置にバーニアも作成した。図2-3-2に4インチSiCウェーハの顕微鏡観察写真と8インチシリコンウェーハの顕微鏡観察写真を示す。

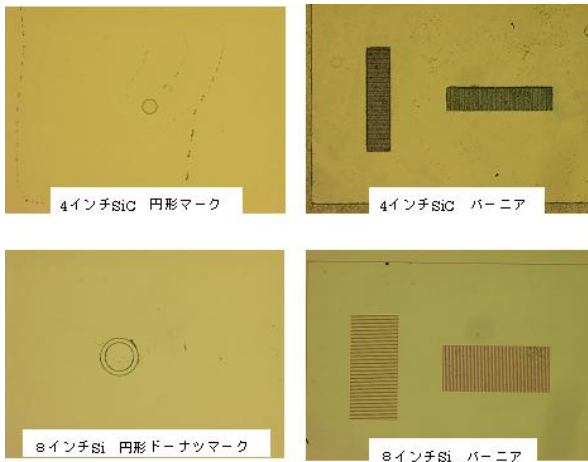


図 2-3-2 アライメントマーク

これらアライメント確認用ウェーハを用いて、複合接合装置でのアライメント精度確認を行った。図 2-3-3 にアライメント後の複合ウェーハ上マークを顕微鏡観察した画像を示す。

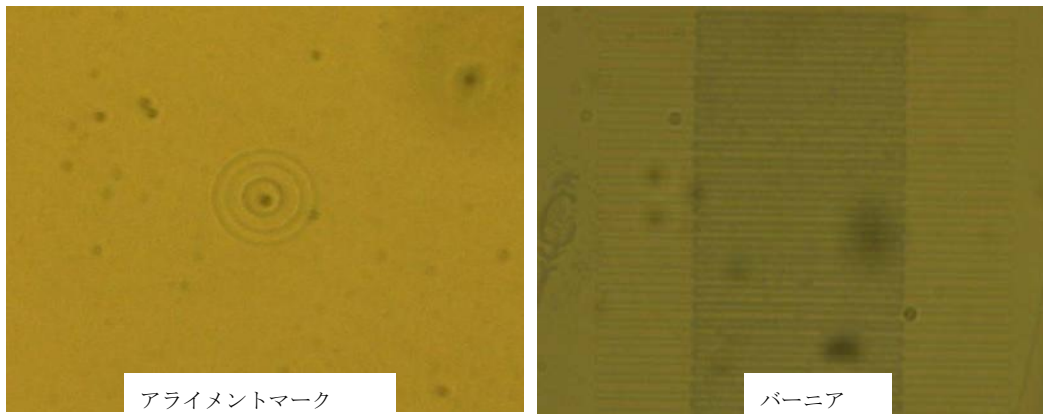
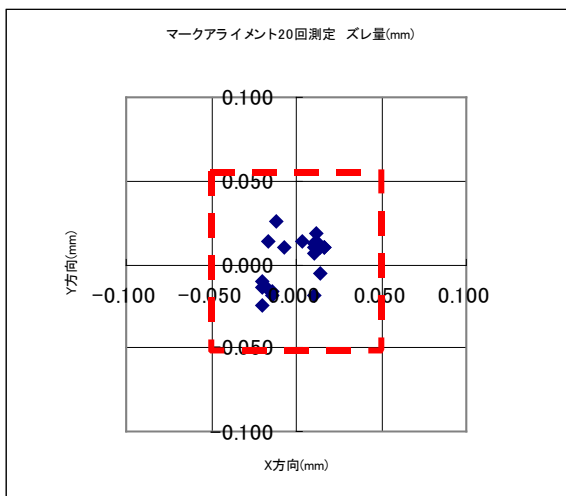


図 2-3-3 4 インチ SiC 8 インチシリコンウェーハ顕微鏡観察写真

マークアライメント 20 回実施結果を図 2-3-4 に示す。結果は $\pm 16 \mu\text{m}$ であり目標の $\pm 50 \mu\text{m}$ 以内を達成した。



平均(mm)	σ	3σ
0.016	0.004	0.013

図 2-3-4 4 インチ SiC 8 インチシリコンウェーハ顕微鏡観察写真

2-4 統合システムの構築

(1) 接合剥離材塗布プロセスからの要求

スピコート :

接着剥離剤はポリイミド樹脂、溶剤、フィラー等の混合液であるため、凝集することなく均一にスピコートすることのできる回転数が必要である。今回開発した接着剥離剤の組成調合により市販のスピコートでの塗布でも十分に塗布が可能であることが確認できている。

また、湿度により接着剥離剤の吸湿から発生する塗布ムラが問題になる可能性が示唆されたが、接着剥離剤の組成改良により湿度への配慮は低減している。産総研で基礎確認では5000rpmの回転で塗布された。また、塗布後のウェーハ裏面への薬液の周りこみや、ウェーハ外周部での盛り上がりをリンスするため、リンス液でのバックリンス、エッジリンス機能が必要である。リンス液はrBLとDOXの混合品が的確である結果から、両液を使用する。

プリベーク :

接着剥離剤に含まれる溶剤をあらかじめ乾燥させておく必要がある。スピコート及びプリベーク工程は一貫して管理することが望ましく、複合接合装置内でプロセス管理できることが望ましい。また、産総研での基礎開発からコートムラ（中央部の膜厚が薄くなる）の対策として、剥離剤塗布後のプリベーク温度として250℃以上の高温が有効であることが示唆されており、プリベーク部はmax300℃とし、剥離剤、接着剤で別温度処理が可能となるように2ステージとする。

(2) 真空加熱加圧プロセスからの要求

真空排気 :

接合するウェーハ間にガスが閉じ込められると、ボイド部（未接合部）が発生するため、ウェーハ間のガス抜きが必要となる。これは、接着剥離剤からの溶媒揮発ガス（プリベーク工程で取り除けなかった溶媒成分）、ウェーハ間に封じ込められた大気成分のガス抜きが十分になされる必要がある。複合接合装置には、サポートウェーハ、デバイスウェーハを重ねることなく保持できる構造を有し、真空排気を行えるシステムが必要である。

加熱 :

接着材の要求から250℃以上の加熱、剥離剤の要求から350℃以上の加熱が必要である。500℃程度の高温で剥離プロセスを行うと、剥離後の剥離剤クリーニングが容易であることが産総研の基礎研究により明らかとなった。これを受けて、複合接合装置の加熱max温度を500℃とした。

加圧 :

単位面積当たり16kg/cm²(3インチウェーハで7kN 4インチウェーハで14kN 6インチウェーハで28kN)の加重を加えることが必要である。複合接合装置には28kNの加重印加を可能とする必要がある。

(3) アライメントプロセスからの要求

アライメントプロセスからの要求は、位置合わせ精度が以下の通りである。

X方向<50μm

Y方向<50μm

回転<1°

・マークアライメント方式

アライメントを行う 2 枚のウェーハ上に位置合わせ用のマーク（ウェーハ上に左右 2 か所）をフォトリソ工程で作成し、対向させたウェーハ越しにマークを光学カメラで観察しモニター上に映し出す。片方のウェーハを XYθ 駆動できるステージ上に配置し、テーブルを移動させることで、もう片方のウェーハ上のマークに合わせてアライメントを行う。概念図を 2-4-1 に示す。

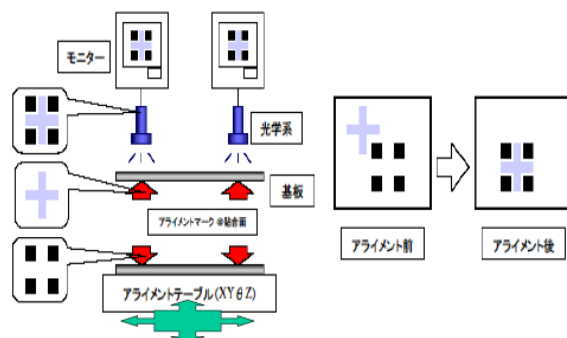


図 2-4-1 マークアライメント方式の概念図

・プリアライメント

マークアライメントを実施するためには、ウェーハ上に配置したマークをマーク観察用のカメラ視野内に収める必要がある。カメラ視野は $300\mu\text{m}$ 面積であることから、プリアライメントとして $\pm 100\mu\text{m}$ の合わせ精度が必要である。もちろん、ウェーハ外形に対してマーク描画位置の精度も重要である。プリアライメントの方式として外形計測アライメント方式を採用する。

さまざまなウェーハ外形（直径、オリフラ、ノッチ）を認識するように対応が必要である。

2-5 高精度化試験

本事業にて開発したアユミ工業製複合接合装置（複合ウェーハ製造装置）を使用して、小径ウェーハ（3、4、6 インチウェーハ）と大径キャリアウェーハ（8、12 インチウェーハ）を接合し複合ウェーハ作成を行った。

（1）8 インチ複合ウェーハの作成

小径ウェーハとして 3、4、インチシリコンウェーハと大径キャリアウェーハとして 8 インチシリコンウェーハを使用して 8 インチ複合ウェーハの作成を行った。3、4 インチシリコンウェーハはオリフラ形状、8 インチシリコンウェーハはオリフラ形状とノッチ形状のウェーハで作成を試みた。

スピコート条件、プリバーク条件、真空加熱加圧接合条件は事前に最適化されたレシピを複合接合装置にプログラムしておくことで、再現の良い複合ウェーハ作成が可能となる。

図 2-5-1 に作成した 8 インチ複合ウェーハ写真を示す。

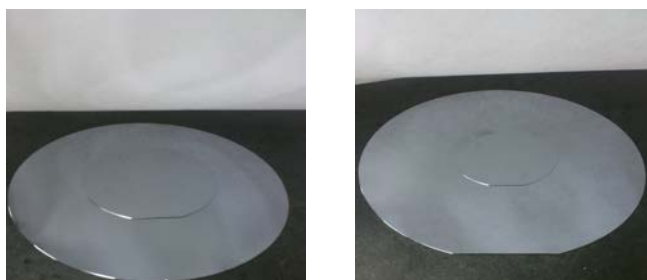


図 2-5-1 8 インチ複合ウェーハ写真

また、複合接合装置を使用して、露光評価等に使用する 8 インチ複合ウェーハの作成を行った。

処理物：キャリアウェーハ 8 インチシリコンウェーハ（オリフラ）

デバイスウェーハ 3 インチ SiC

接着剥離剤コート：3 インチウェーハにスピコート

貼り合せ処理レシピ：温度 320°C 真空 10Pa 以下 加圧 7kN 10min

図 2-5-2 に 3 インチ SiC と 8 インチシリコンの複合ウェーハ写真を示す。

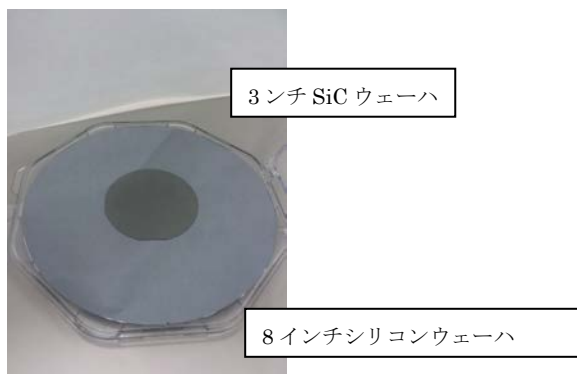


図 2-5-2 3 インチ SiC 8 インチ Si 複合ウェーハ写真

(2) 12 インチ複合ウェーハの作成

小径ウェーハとして 3、4、6 インチシリコンウェーハと大径キャリアウェーハとして 12 インチシリコンウェーハを使用して 12 インチ複合ウェーハの作成を行った。3、4、6 インチシリコンウェーハはオリフラ形状、12 インチシリコンウェーハはノッチ形状のウェーハで作成を試みた。

プロセスフローは 8 インチ複合ウェーハ作成時と同じである。

図 2-5-3 に 12 インチ複合ウェーハの写真を示す。

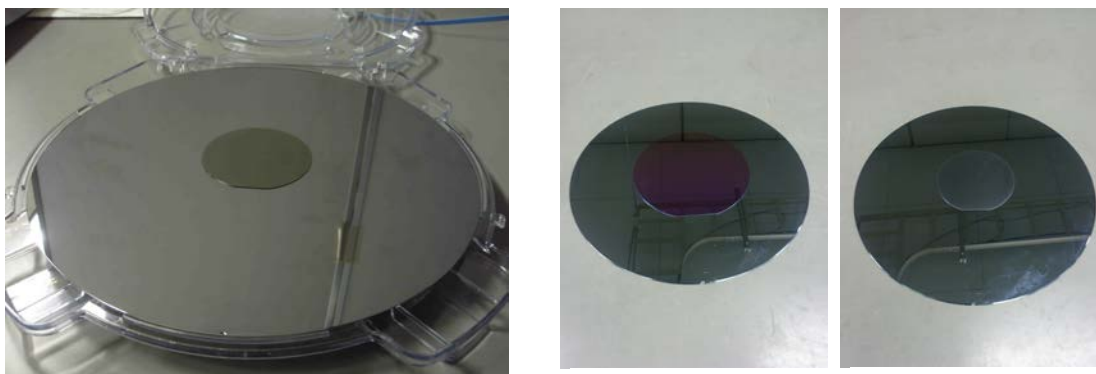


図 2-5-3 12 インチ複合ウェーハ写真

12インチ+6インチ

12インチ+4インチ

第3章 複合ウエーハプロセス評価技術の開発

3-1 8インチ複合ウエーハプロセスの評価

(1) 8インチ露光用複合基板の試作

半導体素子の8 inch ウエーハ用製造ラインでの利用を想定して、SEMI 規格8inchのSiベアウエーハをサポート基板とし、その上にパワーデバイス用途である3 inch シリコンカーバイド(SiC)ウエーハを小径搭載基板として接合を行った。接合は、アユミ工業様社で作成した複合ウエーハ製造装置を用いて実施した。接着・剥離剤には、2-1で記述したポリイミド接着・剥離剤を用いた。

接合プロセスに関しては、①接着・剥離剤の塗布、②接合・剥離

剤の乾燥、③接合で行った。接合温度と圧力は、320℃、10分、10Pa以下、圧力を7kN若しくは14kNとした。アユミ工業製複合ウエーハ製造装置での複合ウエーハ作成プロセスの概要外観を図3-1-1に示す。

図3-1-2に、製造した複合ウエーハの外観写真を示す。SiC基板が、浮き、剥がれなくサポート基板に接合されていることが判る。これを用いて次項の露光プロセスの評価を実施した。



①塗布

②乾燥

③接合

図3-1-1 複合ウエーハ作成プロセス 外観

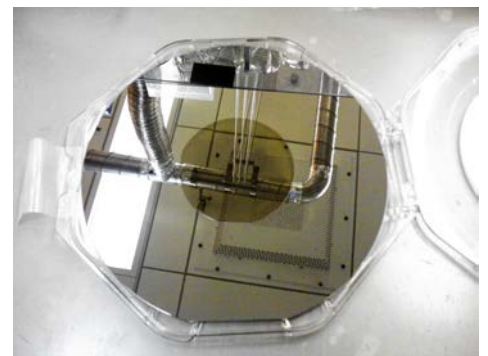


図3-1-2 SiC/Si 複合ウエーハ

(2) 8インチ露光用複合基板を用いたプロセス評価

複合ウエーハに対して露光を行うには、フォトレジストを基板に一般的にはスピコートする必要がある。この際、万が一に接合強度が不十分な場合、高速回転によりサポート基板から外れ装置内壁に衝突し破損する可能性がある。そのため、複合ウエーハには、その回転力により剥離しないだけの十分な接合強度が必要である。開発した接着・剥離剤は基板間で強い接着強度があることが確認され、複合ウエーハ上でのスピコートを実施し、その回転力に対しても十分な接着強度を有していることを確認した。前記の3inch SiC基板搭載の複合ウエーハにおいてフォトリソプロセスが問題無く行えることを確認し、SiC基板上のフラットネス計測と形成されるパターン形状に関する評価を行った。まず、フォトレジストのスピコートを行った。HMDSで処理した複合基板にポジ型レジストを用いスピコーティングした。その後、プリバークを行った。この間、塗布及びプリバーク時に搭載基板が外れる等の不具合発生は見られなかった。コーティング後のフォトレジストの膜厚は約1 μmである。このフォトレジストを塗布した複合ウエーハ

に対して、露光装置内に搭載されているウエーハ表面のフラットネス計測を、複合ウエーハに搭載した 3 inch SiC基板表面の直径 50mm範囲に関して行った。同時に 3 inchのSiC基板単独に対しても同様に計測した。その結果、3 inch SiC基板単独の場合、この表面の高低差が 2.229 μm であった。今回の複合ウエーハに搭載した 3 inch SiC基板では 2.737 μm であり、露光でのパターンニング可能な平坦性であり、SiC基板単独と比べてもほぼ変化ないことが判る。但し、SiC基板単独の平坦性が良いのは、露光装置の仕様上、フラットネス計測時は非常に平坦性の良い露光ステージ上に置かれた状態で真空チャックされるため、反りが矯正されている可能性もある。フラットネス計測の後に、フォトリソを行った。テスト用レチクルを用い露光量を 85 mJ/cm^2 、フォーカスオフセットは行わずに露光した。露光後、2.38%TMAH水溶液にて、60秒のパドル現像を行った。現像後の外観を図3-1-3に示す。露光装置における基板投入、露光ステージでの吸着等のも基板形状に由来するエラーも無く実施することが出来た。また、パドル現像中に搭載基板に浮き、剥がれ、サポート基板と搭載基板の間への染み込みもなく、現像してパターンを形成することが出来た。形成したパターンをレーザー顕微鏡にて観察したのが図3-1-4である。この観察から、複合ウエーハに搭載されているSiC基板上に、0.5 μm レベルの独立残しライン、ライン&スペースの各パターンが形成出来ていることが判る。それ以下の線幅のパターンは顕微鏡では不鮮明なので確認出来ない。SEM等での観察が必要である。また、フォトリソも厚さ 1 μm でありサブミクロンのパターン形成には適していない。露光機の光源波長に依存した限界線幅までは観察確認出来ないが、少なくとも露光条件から想定しているレベルのパターンは形成出来ていることが示された。

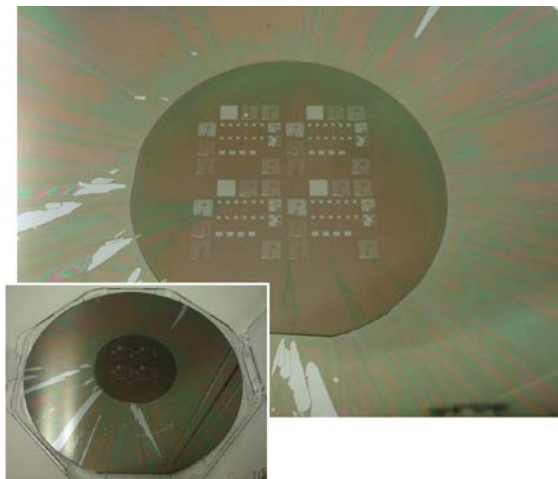


図3-1-3 リソグラフィ後外観

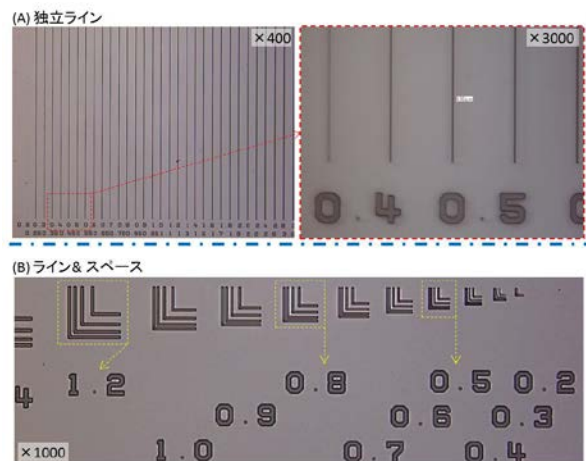


図3-1-4 リソグラフィパターン

3-2 12インチ複合ウエーハプロセスの評価

(1) 12インチ露光用複合基板の試作

12インチ複合ウエーハの試作において、SEMI規格の12インチシリコン基板上に、3インチSiC基板の裏面に、ポリイミドの接着剥離剤をスピコートして加熱乾燥したものを、真空中で加熱・加圧して試作した。スピコートにおいては、SiC基板裏面の粗さ、透明性等の条件を考慮して約15 μm の厚さに設定した。作成した12インチ複合ウエーハを図3-2-1に示す。

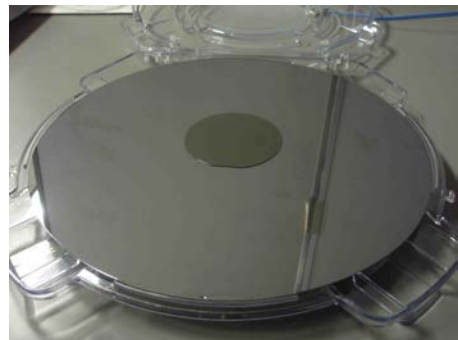


図3-2-1 12インチ複合基板

(2) 12インチ露光用複合基板を用いたプロセス評価

プロセス評価においては、2層レジストプロセスを実施した。基板上に、2.38%TMAH現像液に溶解性のあるポリマー（商品名：LOR3A）を塗布し、その上に、ポジ型フォトリソ（商品名：AZ GXR602）を塗布する。この複合基板に対し、露光量85mJ/cm²、焦点補正0 μm の条件で露光を行い、パドル現像時間75秒で、パターン形成を行った。作製された2層レジストの複合ウエーハを図3-2-2(a)に示す。SiC基板上に明瞭な2層レジストパターンが形成されている。2層レジスト構造の場合、下層のLOR層の横方向の溶解速度が速いことから、オーバーハング構造が形成され、金属パターンのリフトオフプロセスを、バリ無しに形成することが可能となる。引き続き、プロセス検証においては、2層レジストで形成されたレジストパターンを用いて金属電極の形成を行った。電子線加熱法により、チタンを5nm蒸着後、ニッケルを100nm蒸着した。その後、アセトンでフォトリソを溶解すると共に、不要な金属堆積物を除去し、次いでLOR除去液（Remover PG）で下層のLOR3Aを除去することで、図3-2-2(b)に示す金属パターンをSiC基板上に形成した。

リフトオフプロセスは、パワーデバイスにおいて、金属電極形成のみならず、エッチングマスク等にも使用できる基本プロセス技術であることから、幅広いプロセスへの展開が期待される。

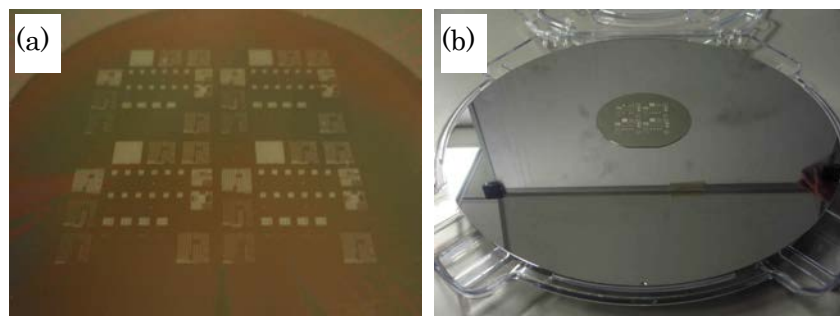


図3-2-2 12インチ複合基板

(a)フォトリソ後, (b)リフトオフプロセス後

3-3 パワーデバイスプロセス検証試験

複合ウエーハを用いてフォトリソプロセスと加工プロセスを行った後、例えば SiC 基板へのイオン注入工程では 1000℃ 付近の加熱プロセスにおいては、サポート基板から剥離する必要がある。既に 2-1 で接着・剥離剤の評価として、Si 基板と Si 基板の間における剥離の検討と評価を実施してきた。これらの結果を踏まえ、パワーデバイス用基板である 3 inch の SiC 基板とサポート基板の 8 inch の Si 基板を接着剥離剤にて接合した複合ウエーハについて剥離とその後の洗浄のテストを行った。

剥離を行う複合ウエーハは、3-1 と同様、アユミ工業製複合ウエーハ製造装置を用いて同条件にて製造した。図 3-3-1 に示すように、この基板をホットプレートを用いて簡易的に加熱して剥離テストを行った。剥離加熱条件は、540℃ で 30 分とし、SiC 基板をホットプレート熱源側（フェイスダウン）にして設置した。その結果、サポート基板から 3 インチの SiC 基板を剥離することが出来た。剥離した SiC 基板裏面の接着・剥離剤面は全面で白化していた。その SiC 基板を半分にし、片方の半円状 SiC 基板に対してスクラブ洗浄を実施した。スクラブ洗浄はポリビニルアルコール製スポンジを用いた。その結果、図 3-3-2 に示すように、SiC 基板上に堆積していた白化した接着・剥離剤を外観上残渣が確認できないほどに落とすことが出来た。

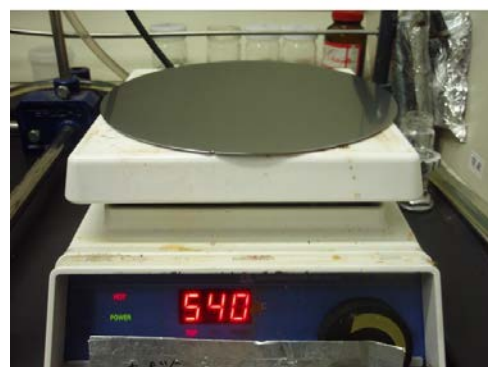
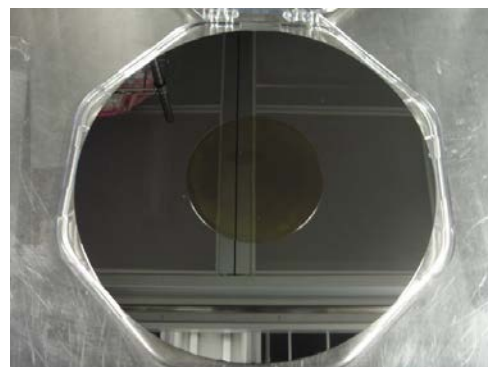


図 3-3-1 剥離テストする複合ウエーハと剥離加熱時の外観



図 3-3-2 剥離した SiC 基板とスクラブ洗浄後の外観

第4章 複合接合装置の開発

4-1 複合接合装置の開発

近年の社会情勢からパワーデバイスの開発が急速に進展しているが、パワーデバイス用基板は、小型・歪・反りがあることから、シリコンデバイス用の高度な生産技術の適用が困難であった。本技術開発では、シリコンウェーハ上にパワーデバイス用ウェーハを高精度に貼り合せ実装（シリコンキャリアーウェーハ上にパワーデバイスウェーハを搭載した複合ウェーハ作成）し、複合ウェーハを用いることでシリコンデバイス用の高度な生産技術に適応可能とする。

また、複合ウェーハを作成する全自動装置（複合接合装置）を開発することにより、作業者に依存した出来上がりの不安定性を回避することができる。

【複合接合装置の開発に対する期待】

- ・カセット to カセット方式の採用による、クリーンな環境維持。
発塵等によるパーティクル問題の低減
- ・複合ウェーハ貼り合わせ用の接着剤塗布から接合、回収を自動化することにより
プロセス管理（パラメータ管理）を可能とし、製品の安定性向上
- ・高スループットによる生産性の向上

【複合接合装置への要求性能】

複合接合装置に要求される処理能力は、

- ・大口径キャリアウエーハ（8、12インチウエーハ）と小径デバイスウエーハ（3、4、6インチウエーハ）を高精度に貼り合わせできること。
- ・位置決め精度：XY方向 $\pm 50 \mu\text{m}$ θ 方向 $\pm 1^\circ$
Z方向（厚みばらつき方向） $\pm 5 \mu\text{m}$ であること。
- ・本接合プロセスの後工程での処理温度を踏まえて（後工程での熱処理などに耐えることが要求される）、接合時温度は 250°C 以上、剥離時温度は 350°C 以上で処理が可能なこと。
- ・ボイド低減の観点から真空プロセス可能なこと。
- ・接着剥離材を均一かつ安定に塗布できること。
（接着剥離材の塗布後に、均一なプリベークができること）
- ・クリーンユニットを伴った、クリーン環境であること。
- ・これら要求を安定的に管理運用できる制御（ソフトウェア）を有すること。

(1) 複合接合装置全体

装置構成としては、

- ① 基板導入部（オープンカセット）：接合を行うウェーハ（大径、小径ウェーハ）を格納
3、4、6、8、12インチウェーハに対応
- ② コーター部：接着・剥離剤の塗布工程を実施
デバイス小径ウェーハ（3、4、6インチウェーハ）に対応
- ③ ベーキング部：処理前のウェーハの乾燥および、ウェーハに塗布した接着・剥離剤の乾燥
を実施。3、4、6インチウェーハに対応
- ④ プリアライメント部：貼り合わせウェーハのプリアライメントを実施
3、4、6、8、12インチウェーハの直径、オリフラ、ノッチ位置などの計測、
認識を行い、真空接合部でのマークアライメントが実施可能な精度までプ
リアライメントを実施
- ⑤ 真空接合部：真空中でウェーハに加熱、加圧を行い複合ウェーハの貼りあわせを実施
真空中でのマークアライメント機構を有する。
- ⑥ 基板評価部：接合後の複合ウェーハの貼り合わせ厚み精度測定を実施
- ⑦ 基板格納部（オープンカセット）：接合の完了した複合ウェーハを格納
8、12インチウェーハに対応
- ⑧ 搬送部：各ユニットにウェーハを搬送するための搬送系
3、4、6、8、12インチウェーハに対応

である。

本研究開発は3年計画であり、各年度での装置開発範囲は以下である。

【平成22年度 装置製作範囲】

- ① 基板導入部（オープンカセット）
- ⑤ 真空接合部（次年度以降でのマークアライメント増設に対応できるように配慮）
- ⑥ 基板評価部
- ⑧ 搬送部

簡易的な複合ウェーハ接合実験（アライメントなし）が可能となるよう装置製作を行った。

【平成23年度 装置製作範囲】

- ② プリアライメント部（真空接合部へのマークアライメント対応改造含む）
- ⑦ 基板格納部（基板反転部含む）

事前に接着・剥離剤を塗布したウェーハをオープンカセットにセットし処理レシピを実行すれば、自動的に複合ウェーハを作成できるシステムを伴った装置製作を行った。

基板導入部①に接着剥離剤を塗布したパワーデバイスウェーハとキャリアシリコンウェーハを投入。基板搬送部⑧の搬送ロボットで、プリアライメント部に各ウェーハを搬入。ウェーハ情報を測定後に真空接合部⑤に搬入（上基板は基板反転部でウェーハを反転後に真空接合部へ搬入）。

真空接合部⑤で所定の真空、加熱、加圧処理を行い、パワーデバイスウェーハとキャリアシリコンウェーハを接合し、複合ウェーハとして基板格納部⑦に回収を行う。

真空接合部での処理条件はあらかじめ最適化を行ったレシピをプログラムすることで、カセット to カセット処理を可能とした。

【平成 24 年度（平成 23 年度第 3 次補正） 本年度製作範囲】

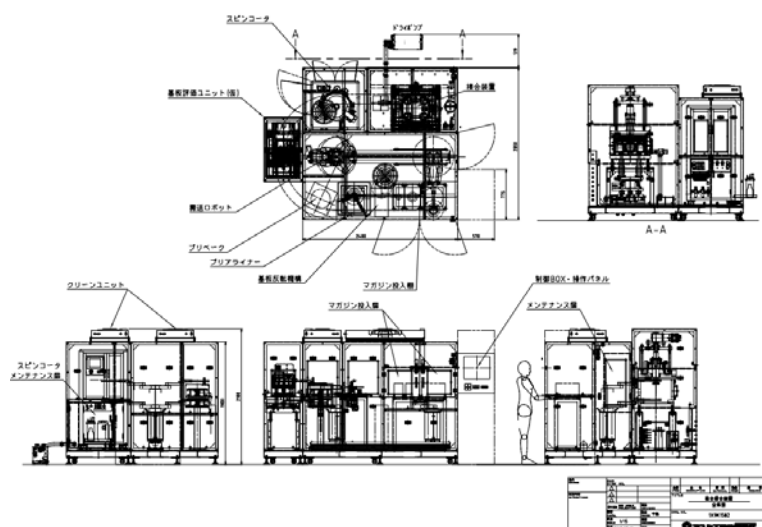
③ コーター部

④ ベーキング部

を増設し、接着剤のウェーハへの塗布、乾燥も装置内で可能とした。これにより、パワーデバイスウェーハとキャリアシリコンウェーハを装置にセットし、事前に最適化した処理レシピ（接着剥離剤コート条件、プリバーク条件、真空接合部での真空加熱加圧処理条件）を選択、実施することにより、接着剥離剤塗布、乾燥、アライメント、真空加熱加圧貼り合わせを自動で行う複合接合装置として完成する。

図 4-1-1 に複合接合装置の概観図と概観写真を示す。

装置全体は、クリーンユニット、局所排気を備えたカバーで隔離する。また、装置フットプリントを考慮し、各ユニットのレイアウト見直しを試みた。



4-2 複合接合装置用要素技術

(1) 塗布プロセスの高度化

搭載基板の裏面に剥離剤を塗布、乾燥した後に、接着剤をその上に重ねて塗布、乾燥させて2層膜を成膜してサポート基板との接合となる。この際、搭載基板の裏面に塗布された接着・剥離剤の膜厚は面内均一性が求められる。

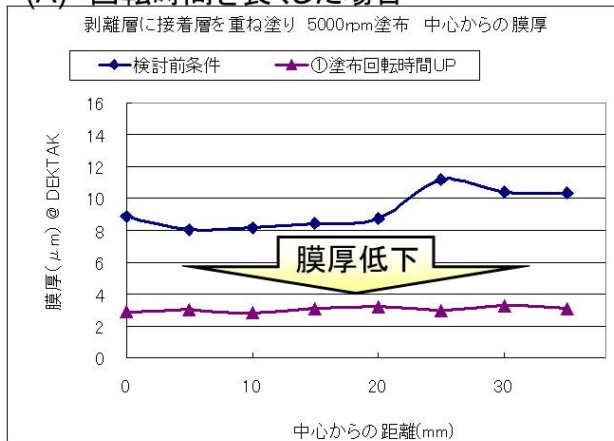
まず、これまでの暫定的に決めていた搭載基板への塗布及び乾燥条件において、3インチ、4インチの各基板上に成膜し接触段差計にて中心から外周へ5mmピッチで測定した。その結果、中心付近が薄膜化していることが判った。当然、剥離剤、接着剤個別に塗布した場合は均一性を有しているのは言うまでもない。これは、2層目の接着層を塗布している時に、先に製膜した剥離層が接着剤の溶媒に浸食される可能性がある。

これは、2層目の接着層を塗布する際、スピン時間を長くした場合に更に薄膜化するか否かで確認できる。また、接着剤溶媒の浸食を防ぐために、下地の剥離層を更に高い250℃でバークした場合について検討した。その結果を図4-2-1に示す。(A)のスピン時間を長くした場合、膜厚が低下しているのが確認できた。また(B)の剥離層バーク温度に250℃を追加した場合は、従来に比較して中心付近の薄膜化が減少し、半径方向の膜厚バラツキも34%から6%まで均一性の向上が出来ていることが判る。これらの結果から、接着層を塗布する前に、剥離層の膜をハードバークして接着層溶媒に十分に耐性を持たせることが必要であることが判った。また、接着層溶媒を剥離層が浸食されないものにするのも有効である。

また、複合ウエーハ製造装置において、スピンコート時のバックリンス、エッジリンスのシステムが導入されている。そのため、接着剤、剥離剤共にスピンコーティング時の各リンス溶液を選定した。 γ -ブチロラクトン、ジオキソランが、表裏いずれの塗布物を落とすことが出来ることが判った。

また、複合ウエーハ製造装置において、スピンコート時のバックリンス、エッジリンスのシステムが導入されている。そのため、接着剤、剥離剤共にスピンコーティング時の各リンス溶液を選定した。 γ -ブチロラクトン、ジオキソランが、表裏いずれの塗布物を落とすことが出来ることが判った。

(A) 回転時間を長くした場合



(B) 剥離層バーク温度を追加した場合

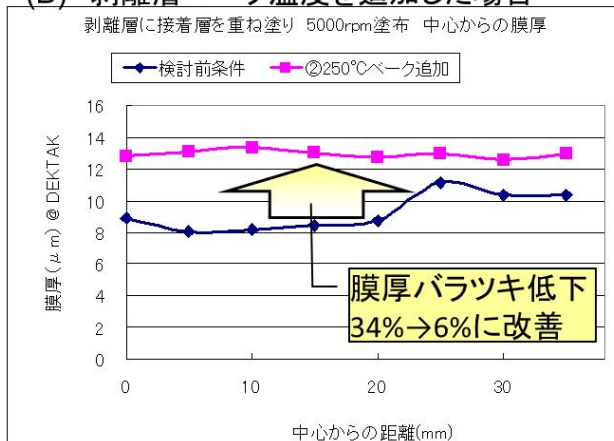


図4-2-1 膜厚測定結果

(2) プロセス評価技術

複合ウエーハ製造装置にて、サポート基板と搭載基板を接合する際、高精度にアライメントして行う必要がある。それは、半導体露光装置内においてアライメントを行う際に、最初の位置基準は、接合した複合ウエーハのうち最大外径のサポート基板であり、その次に基板表面の露光装置用アライメントマークの検出を行う。そのため、露光装置用アライメントマークは搭載基板上に位置することになる。一方、SiC 基板へのイオン注入工程では 1000℃付近の加熱が必要になるため、サポート基板から一度剥離する必要があるが、その工程が終了した際には再度サポート基板に接合する。この時に前回の接合位置と異なると、露光装置内の最初のサポート基板による位置基準と搭載基板上に位置する露光装置用アライメントマークとの位置が異なり、アライメントマーク検出自体が難しくなる。

これらのことから、複合ウエーハ製造装置にて接合時のアライメント精度を確認することは非常に重要である。その検証を行うための接合用アライメントマークおよび接合位置ズレ量確認用のバーニアをサポート基板、搭載基板の両方に作成した検討用基板の作成を行った。マーカークの形状は図 4-2-2 のように複合ウエーハ製造装置に適応した位置にてアユミ工業指定のものを用いた。

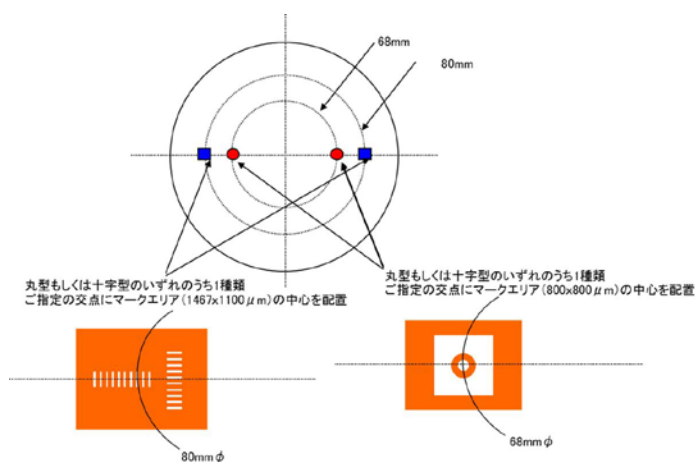


図 4-2-2 マーク形成位置の詳細

マーク、バーニアの作成は、フォトリソ工程と反応性ガスイオンエッチングを用いて行った。サポート基板は 8 inch Si とし SF6 ガスでエッチングし、搭載基板は 4 inch SiC とし SF6 系ガスにてエッチングを行った。マーカークは 8 inch 側にリング状を形成し、4 inch 側にドット状の浮き出し残しパターンを作成した。これらの方法で得られたマーク、バーニアの観察結果を図 4-2-3 に示すが、狙いのマークが形成されていることが判る。この基板を用いてアユミ工業製複合ウエーハ製造装置のアライメント精度検証を行うことが出来る。

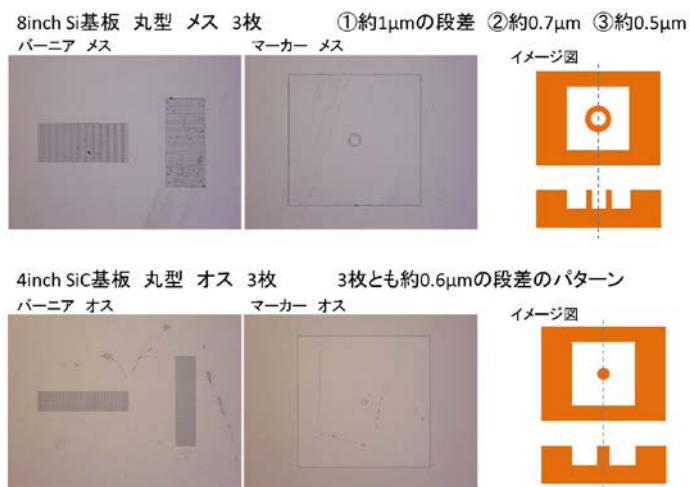


図 4-2-3 作成したマーク、バーニア

第5章 総括

近年の社会情勢からパワーデバイスの開発が急速に進展しているが、パワーデバイス用基板は、小型・歪・反りがあることから、シリコンデバイス用の高度な生産技術の適用が困難であった。本研究開発の目的は大径キャリアウェーハ（搬送用ウェーハ）に小径デバイスウェーハ（パワーデバイスウェーハ）を接合した複合ウェーハを製作し、すでに構築された8、12インチの高精度な半導体製造ライン（ステップ露光、成膜、熱処理など）に複合ウェーハ（8、12インチウェーハ）を適用することで、高価な小径パワーデバイスウェーハの加工を可能とすることにより、

- ・パワーデバイスの開発・生産のボトルネックの解消
- ・ウェーハ技術の進展に柔軟に対応できる生産技術の確立
- ・研究・開発・生産を自動化対応で迅速に技術開発できること

を実現することである。

これら、要求を実現する接着剥離剤の開発および、複合ウェーハを自動で作成することのできるプロセスの開発（複合接合装置の開発）が目標である。

3年間の本研究開発において、複合接合内で接着剥離剤の塗布、乾燥、真空中でのアライメント、加熱加圧接合、複合ウェーハの回収が一括で行える全自動複合ウェーハ製造装置が完成した。また、本複合接合装置で作成した8インチおよび12インチ複合ウェーハ（デバイスウェーハはSiCウェーハ）を後工程での運用が期待される、ステッパー露光機に持ち込み評価を行った。露光レジストのスピコート塗布、ステッパー内の高速搬送に耐えうる保持強度が確保できており、また、ステッパー上で計測した複合接合装置の表面平坦性が3 μ m程度と通常のSiCウェーハで観測される反りが強制されている。目的としていた5 μ m以内であり、ステッパーでの精密露光に適応可能なレベルである。露光後の洗浄工程（耐薬品性、機械強度を確保）、その後のパターンエッチング、金属膜蒸着工程を行ったが、問題なく複合ウェーハとして運用できることが確認できた。つまり、真空、加熱、エッチング、薬液洗浄の後工程にも十分耐えうることを検証できた。

以上のことにより、従来問題となっていたパワーデバイス基板開発に、シリコン半導体開発設備を適用することが可能となった。来年度より川下企業にサンプル品を提供し、実際の評価を計画している。具体的に川下企業数か所から、評価依頼がすでに発生しており川下企業での実績評価も加速する予定である。さしあたっては、川下企業への複合接合ウェーハの試作評価品の提供事業がメインとなるが、複合ウェーハ製造装置としての複合接合装置の販売に向けた活動も加速したい。さしあたっては、川下企業への複合接合ウェーハの試作評価品の提供事業がメインとなるが、複合ウェーハ製造装置としての複合接合装置の販売に向けた活動も加速したい。

また、本事業開発では350 $^{\circ}$ Cまでの耐熱材料を開発したが、パワーデバイスの加工工程にはさらに高温でのプロセスもあり、更なる高温対応プロセスの開発を今後の目標としたい。

最後になりましたが、有責なご助言をいただいたアドバイザーの大野様(株式会社ニコンテック)、鈴木様(昭和電工株式会社)、福島准教授(東北大学)、堀野様(独立行政法人産業技術総合研究所関西センター)、濱崎様(独立行政法人産業技術総合研究所関西センター)に感謝いたします。