

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「局所プラズマ接合を用いた
半導体プロセス用シリコンキャリア製造」

研究開発成果等報告書

平成26年3月

委託者 関東経済産業局
委託先 株式会社つくば研究支援センター

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
1-2 研究体制	2
1-3 成果概要	4
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論	6
2-1 6インチ対応・接合用プラズマ装置の試作と評価	6
2-2 アニール用接合シリコンキャリアの試作と半導体プロセスにおける性能評価	8
2-3 8インチ対応・接合用プラズマ装置の試作と評価	9
2-4 露光用接合シリコンキャリアの試作と半導体プロセスにおける性能評価	10
2-5 12インチ対応・大口径プラズマ接合装置の試作と評価	11
2-6 イオン注入用接合シリコンキャリアの試作と半導体プロセスにおける性能評.....	13
2-7 専門用語等の解説	15
第3章 全体総括	16
・研究成果に関する知財	16
・外部発表.....	16

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】

世界規模での経済活動の拡大が進み、地球温暖化防止のためCO₂削減が全世界的に要請され、省資源・省エネルギー技術に対する社会的な要請が高まっており、電力使用量の削減と電力利用の更なる効率化が、社会的に強く要請されている。代表的な省エネデバイスである、

① GaN 系化合物半導体に代表される LED デバイス

② SiC 系化合物半導体に代表されるパワーデバイス

に関して、量産化を推進するための技術開発と市場展開が急速に進んでいる。

市場動向に関しては、LED 照明器具の市場は 2011 年、2012 年と 2 倍近い拡大を続け、2013 年以降も LED 搭載の比率は高まり、2020 年には金額では 60%、数量では 70%に到達すると予測されている。一方、パワーデバイスに関する世界市場動向は、2012 年は、中国や欧州市場の景気後退や情報・通信、民生機器の需要低迷などの一時的な要因により前年比 11.5%減の 135 億ドルに留まったが、2013 年後半より回復基調となっている。今後は、MOSFET やダイオードなどのディスクリート品から、パワーモジュールに市場の牽引役が移り、2020 年におけるパワーデバイスの世界市場規模は、290 億ドルに成長すると予測されている。

現在の省エネデバイスの製造では、4 インチ以下の小口径のウェーハを用いた特別改造された装置の利用が多い。しかし、量産に移行した場合、小型ウェーハ対応の特別改造の装置では、量産によるコスト削減効果を導くことが難しくなる。今後の生産増大に伴い、基板寸法が 4 インチから 6 インチへと引き上げられることが予想され、基板寸法の変更に対応出来る柔軟な半導体プロセス、特に市場に広く流通しているシリコン集積回路用半導体製造装置の利用が強く要望されている。しかし、シリコン集積回路で用いられる量産製造装置は、大口径シリコンウェーハに特化しており、省エネデバイスへの転用は困難である。

大口径のシリコン量産装置を用いた省エネデバイスの生産技術として、シリコン基板に高度な精密加工を施すことにより、小径のウェーハの露光を可能にする「シリコンキャリア技術」が産業技術総合研究所で試験運用されている。この技術の高度化をおこなうことで、露光以外の各種半導体プロセスへの幅広い応用展開が期待される。

【研究目的及び目標】

研究目的は、局所プラズマ技術を用いたシリコン部材の接合技術を開発し、シリコンキャリアと呼ばれる半導体プロセス用アダプタの製造における高度な研削と洗浄法を確立し、多様な半導体プロセスで適用可能なシリコンキャリアのプロセス実証を行うことである。局所プラズマ技術とシリコンキャリア技術の開発における主な研究内容は以下の通りである。

- 局所プラズマ技術の開発
- ポリイミド防着技術の開発
- 局所プラズマによる表面・界面の評価
- 接合部品の位置制御技術の開発
- 接合部品の洗浄技術の高度化
- アニール用・露光用・イオン注入用シリコンキャリアの試作
- シリコンキャリアの半導体プロセスでの実証

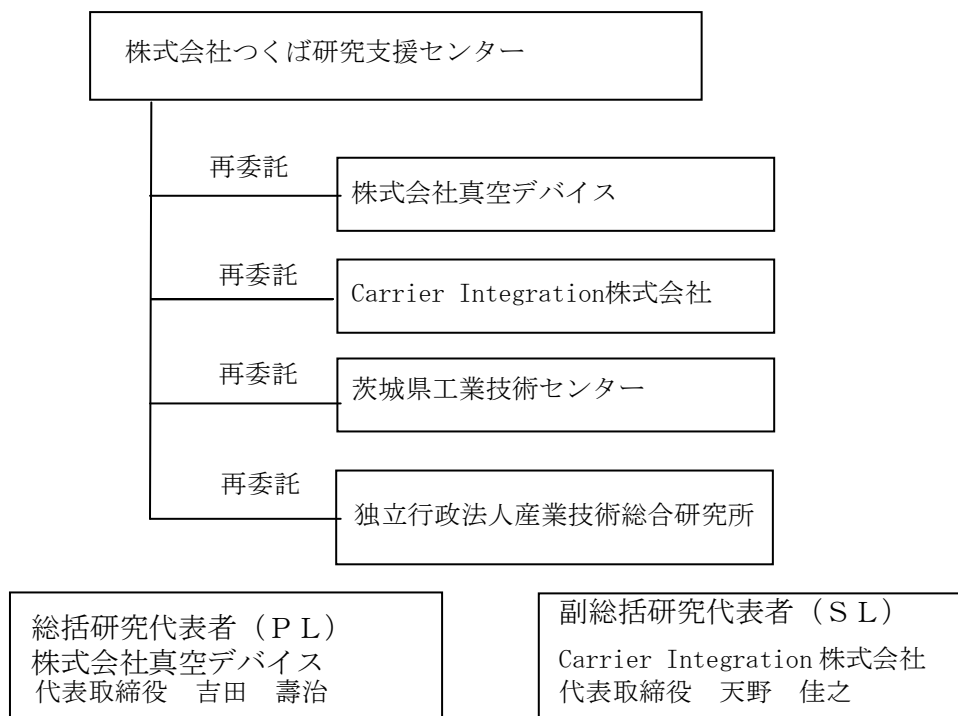
目標としては、

- 6, 8, 12 インチ基板への接合技術の開発
- 1 日 10 枚以上のスループット
- 2MPa 以上の接合強度
- アニール条件として、900℃以上 10 回に耐えること。
- 露光条件として、平坦度 5 μm 以下と投入再現性 100 μm 以下であること。
- イオン注入条件として回転速度 200rpm と加速度 2G と温度 500℃に耐えること。

研究開発の最終目標は、従来機の課題である高価・低スループットの接合技術に対して、安価・高スループットの異形のシリコン基板の接合技術を実現し、幅広い半導体プロセスにおいて、シリコンキャリアが用いられ、研究開発から生産に至るデバイス製造に貢献し、日本の製造業に新しい活力を吹き込む一助となる事である。

1-2 研究体制

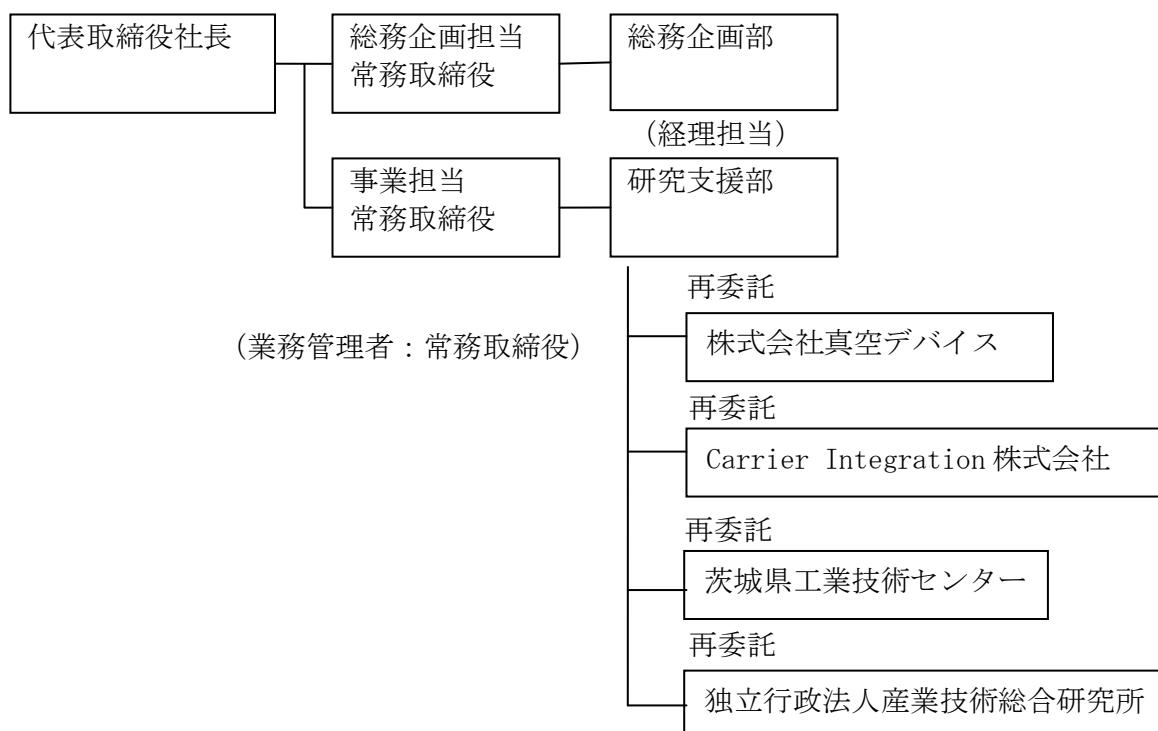
(1) 研究組織（全体）



(2) 管理体制

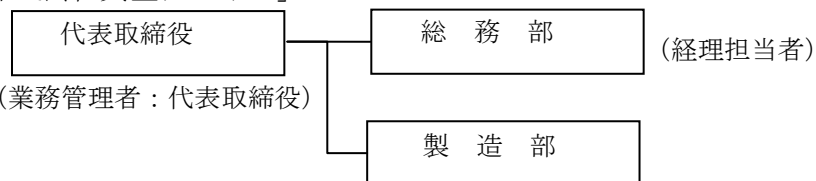
①事業管理機関

[株式会社つくば研究支援センター]

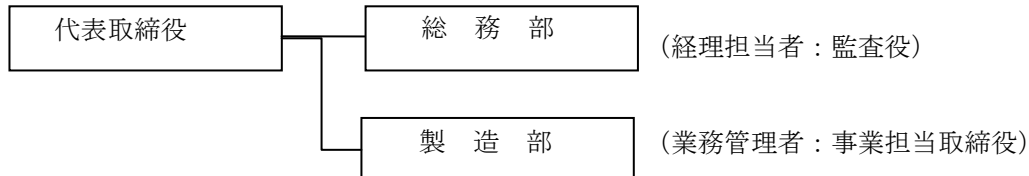


② 再委託先

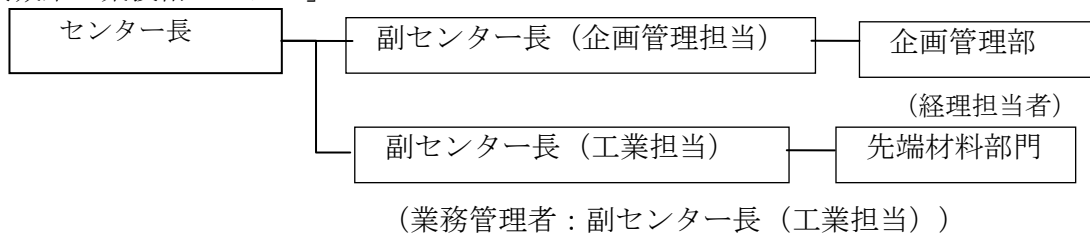
[株式会社真空デバイス]



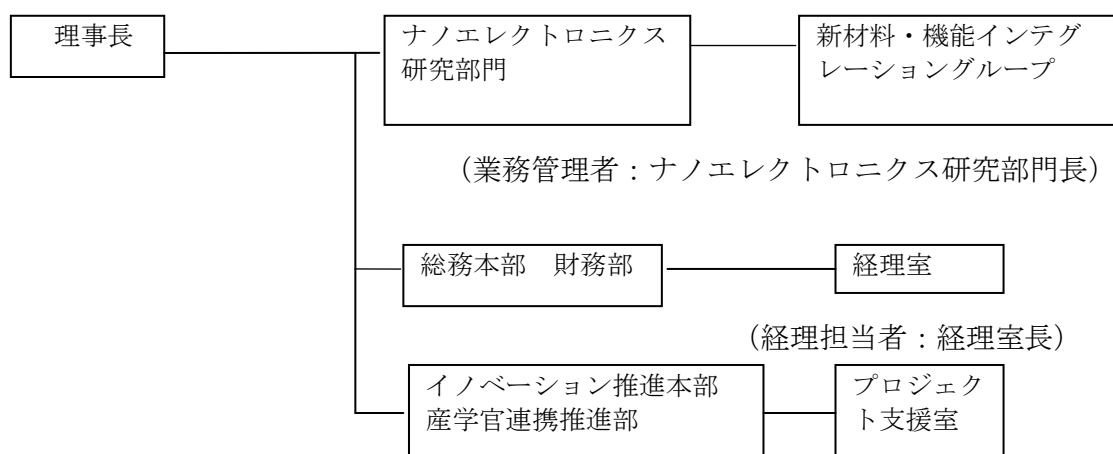
[Carrier Integration 株式会社]



[茨城県工業技術センター]



[独立行政法人産業技術総合研究所]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社つくば研究支援センター
管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
高田 青史	研究支援部 次長	⑤
永岩 良教	研究支援部	⑤
田代 寛	研究支援部	⑤

【再委託先】

株式会社真空デバイス

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
吉田 壽治	経営・代表取締役	①
高尾 一也	技術部・研究員	①

Carrier Integration 株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
天野 佳之	経営・代表取締役	③
林 恒幸	経営・製造部・事業担当取締役	③
亀崎 功	製造部・研究員	③
杉山 佳延	技術開発部・研究員	③
坂村 祐一	製造部・研究員	③

茨城県工業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
斎藤 和哉	先端材料部門長	②
早乙女 秀丸	先端材料部門 技師	②
石川 裕理	先端材料部門 技師	②

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 新材料・機能インテグレーショングループ 主任研究員	④
前田 辰郎	ナノエレクトロニクス研究部門 新材料・機能インテグレーショングループ 主任研究員	④

(3) アドバイザー

氏名	所属・役職
小杉 亮治	産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター 主任研究員
秦 雅彦	住友化学株式会社 エピタキシャルマネージャ
板谷 博	ソルビー工業株式会社 代表取締役

1-3 成果概要

1-3-1 6インチ対応・接合用プラズマ装置の試作と評価

6インチ対応・接合用プラズマ装置の試作に関しては、(株)真空デバイスの持つイオンガン技術の高度化を行い、シリコン基板の局所プラズマ接合プロセスの開発を行った。接合プロセスの開発に関しては、シリコン基板と酸化シリコン基板の両方に対して行い、両者について適用可能であることを検証した。プロセス検証においては、接触式粗さ測定機での評価を行うとともに、レーザー顕微鏡を用いた表面観察と評価を行った。これらの測定においては、算術的平均粗さ（Ra）に関しては、3nm以下の値であった。更に、走査型プローブ顕微鏡による表面観察と粗さの評価を行い、2nm以下の結果が得られた。このことから、接合に用いられた親水処理とプラズマ表面処理に関しては、基板表面の粗さの増大しない範囲で行われていることが確認された。このプロセス評価を受けて、接合用プラズマ装置の試作と最適化を行い、6インチ基板の接合を可能とする接合用プラズマ装置の試作と接合試験を行った。イオンガンの高度化においては、プラズマ照射時に、金属イオンの混入が起らないように真空部品のポリイミド被覆技術の開発を行った。

1-3-2 アニール用接合シリコンキャリアの試作と半導体プロセスにおける性能評価

アニール用シリコンキャリアとして、割れと反りを抑制する手法として、

- ① 転移の存在する領域をガスエッチングにより除去する手法
- ② 研削を行わずに側面から留具で固定する手法

の検討を行った。①では単結晶ダイヤモンドを利用した超平滑研削加工を実施し、②ではシリコン基板の削り貫き加工とプラズマ接合を用いた試作を実施した。両方式とも、1000℃の加熱サイクル試験において、反り・割れの発生しない結果を得た。

試作されたシリコンキャリアを用いて、ホール素子の合金化プロセスに適用し、マイクロホール素子の試作プロセスに適用し、良好なオーミック特性を得た。

1-3-3 8インチ対応・接合用プラズマ装置の試作と評価

8インチ対応・接合用プラズマ装置の試作に関しては、㈱真空デバイスの持つイオンガンに関する技術の高度化をアトムソースイオン源に適用し、シリコン基板の接合を可能とする表面活性化プロセスの開発を行い、シリコン基板の局所プラズマ接合プロセスを行った。プロセス評価においては、走査型プローブ顕微鏡による表面観察と粗さの評価を行い、1nm以下の結果が得られ、接合に用いられた親水処理とプラズマ表面処理に関して、基板表面の粗さの増大しない範囲で行われていることが確認された。更に、赤外線を用いた簡易で低価格な接合評価システムの構築を行い、接合における空隙の定量的な評価手法を開発した。これらのプロセス評価の結果から、接合用プラズマ装置の試作と最適化を行い、8インチ基板の接合を可能とする接合用プラズマ装置の試作と接合試験を行った。

1-3-4 露光用接合シリコンキャリアの試作と半導体プロセスにおける性能評価

接合用キャリア位置制御装置を試作し、画像処理技術を用いたシリコン部品の認識、精密ステージを用いた精密位置制御システムを構築し、シリコン部品の画像情報を連続して取得することにより、シリコン部品の形状認識や、プラズマ接合で障害となるパーティクルの定量的評価を可能とするシステムを構築した。更に、露光用シリコンキャリアの試作において、搭載されたプロセス基板の平坦度 $5\mu\text{m}$ 以下、投入再現性 $80\mu\text{m}$ を実現した。別に、静電チャックを利用した搬送用シリコンキャリアの試作と評価も行った。試作されたシリコンキャリアを用いて、デバイスプロセスにおける解像度試験プロセスを実施し、装置性能限界である $0.3\mu\text{m}$ までの良好なパターン形成が行われていることが確認された。

1-3-5 12インチ対応・大口径プラズマ接合装置の試作と評価

12インチ対応・大口径プラズマ接合装置の試作に関しては、㈱真空デバイスの持つイオンガン技術の高度化をアトムソースイオン源に適用し、シリコン基板の接合を可能とする表面活性化プロセスを開発した。プロセス検証においては、走査型プローブ顕微鏡による表面観察と粗さの評価を行い、プラズマ処理後の表面粗さは1nm以下であり、このことから、接合に用いられた親水処理とプラズマ表面処理に関しては、基板表面の粗さの増大しない範囲で行われていることが確認された。更に、赤外線を用いた簡易で低価格な接合評価システムの構築を行い、接合における空隙の定量的な評価手法の開発を行った。これらのプロセス検証を受けて、プラズマ照射時に、金属イオンの混入が起らないように、ポリイミド被覆のされた防着板を導入することにより、金属イオンの混入を防止できる構造を持つプラズマ接合装置の試作と接合試験を行った。

1-3-6 イオン注入用接合シリコンキャリアの試作と半導体プロセスにおける性能評価

イオン注入用シリコンキャリアの試作に際し、金属汚染や研削に起因するパーティクルの除去を行うために、フォトレジストと酸化膜による表面保護膜の導入と高度な酸洗浄プロセスを行うことにより、パーティクルフリーの洗浄プロセスを実現した。試作されたシリコンキャリアを用いて、原子間力顕微鏡（AFM: Atomic Force Microscope）の自己検知型カンチレバーの抵抗部に対するイオン注入プロセスを実施した。自己検知部に対して良好な電気特性が得られ、65nmノードのSRAMセルの配線パターンの計測が実現され、シリコンキャリアの有効性が実証された。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

【事業管理者】

株式会社つくば研究支援センター
茨城県つくば市千現 2-1-6
研究支援部次長 高田 青史
Tel: 029-858-6000 Fax: 029-858-6014
E-mail: tci-is@tsukuba-tci.co.jp

【再委託先】

株式会社真空デバイス
茨城県水戸市飯島町 1 2 8 5 - 5
代表取締役 吉田 壽治
Tel: 029-212-7600 Fax: 029-212-7601
E-mail: yoshida-2@shinkuu.co.jp

Carrier Integration 株式会社
茨城県つくば市上の室 8 1 4 番地 1 本社
Carrier Integration 株式会社 事業所
茨城県つくば市梅園 1 丁目 1 番 1 号 中央第二
代表取締役 天野 佳之
Tel: 029-861-5130 Fax: 029-861-5507
E-mail: y-amano@carrier-integl.com

茨城県工業技術センター
茨城県東茨城郡茨城町長岡 3 7 8 1 - 1
先端材料部門 技師 早乙女 秀丸
Tel: 029-293-7492 Fax: 029-293-8029
E-mail: sootome@kougise.pref.ibaraki.jp

独立行政法人 産業技術総合研究所 つくばセンター
茨城県つくば市梅園 1 丁目 1 番 1 号 中央第二
ナノエレクトロニクス研究部門 主任研究員 板谷 太郎
Tel: 029-861-5130 Fax: 029-861-5507
E-mail: t.itatani@aist.go.jp

第2章 本論

2-1 6インチ対応・接合用プラズマ装置の試作と評価

試作された 6 インチ対応・接合用プラズマ装置を図 1 に、試作されたイオンガンを図 2 に示す。また、装置の構成を図 3 に示す。プラズマ表面処理部は、真空中で接合用シリコン基板に対して 5×10^{-4} Pa 以下の真空度でアルゴンイオン照射による表面のプラズマ活性化を行う。また、親水化クリーニング処理も同様の真空度で実施した。これらの活性化と親水化クリーニングプロセスを行った後で、シリコン基板の接合を行った。また、局所プラズマイオンガンに関しては、金属イオンの混入が無いように、石英ガラス部品とポリイミドコートが行われた金属部品を組み合わせた構成とし、外部電極端子を取り付け、ハウジングを取り付けて動作確認を行った。調整を行い、RF 電力 80W まで安定動作を確認した。



図1 試作された6インチ対応・接合用プラズマ装置



図2 試作されたイオンガン

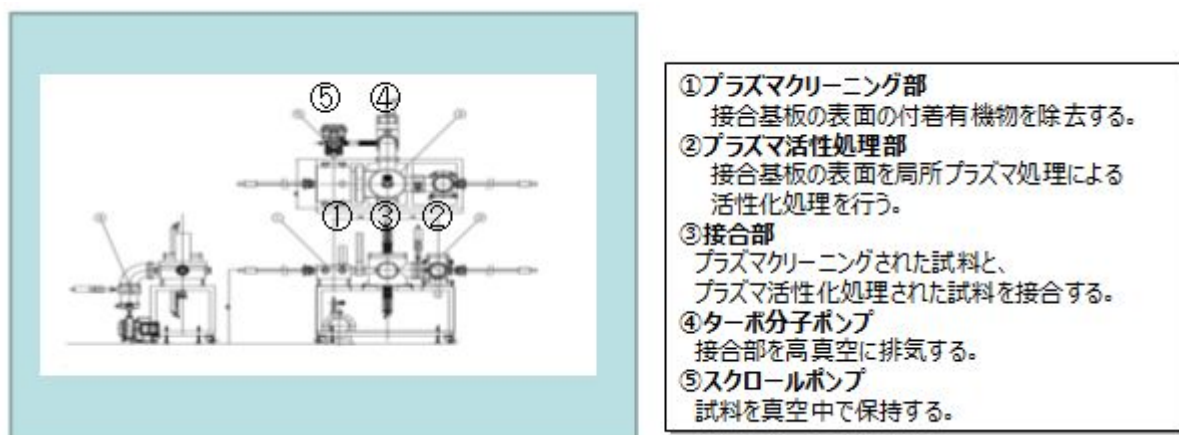


図3 試作された6インチ対応・接合用プラズマ装置の構成

プラズマ表面処理面と親水化クリーニング処理面について、走査型プローブ顕微鏡を用いて、測定を行った。測定結果を図4と図5に示す。プラズマ活性化面の表面粗さは1.9nmであり、親水化クリーニング面の粗さも1.9nmである。表面処理前のシリコン基板の表面粗さが1.1nmであることから、プラズマによる表面の粗さが増大しているが、接合で問題とならない範囲であることが確認された。

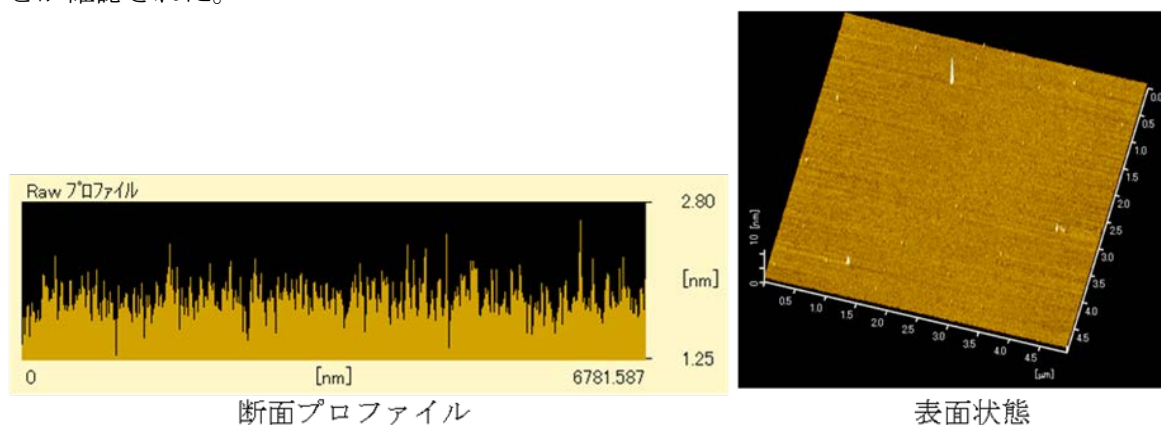


図4 プラズマ活性化面のAFMによる観察結果

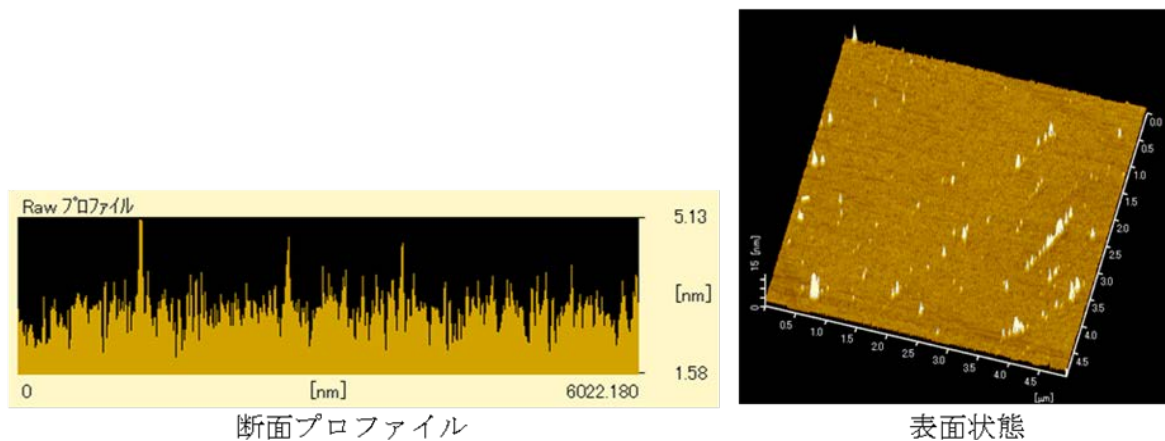


図5 親水化クリーニング処理面の AFM による観察結果

基板接合に必要なプラズマ活性化とプラズマクリーニングプロセスの最適化を行い、イオンガン出力 80W 以上における安定出力が得られたことから、目標性能に対して、1 日 10 枚以上のスループットと接合強度 2.5MPa と目標以上の性能を達成した。

2-2 アニール用接合シリコンキャリアの試作と半導体プロセスにおける性能評価

既存のシリコン研削加工によりアニール用シリコンキャリアを製造した場合、加工面に存在するスリップ転位が、アニールプロセスにより増殖して割れと反りが発生する。割れと反りを抑制する手法として、

①転移の存在する領域をガスエッチングにより除去する手法

②ウェーハ設置面の研削を行わずに側面から留具で固定する手法

を本研究開発では実施した。①②ともに 1000℃の熱サイクル試験で割れ・反りは発生しなかった。②の方法で試作されたシリコンキャリアについて、加熱温度 1000℃で 1 時間保持を 10 回の熱サイクル試験を行った。図 6 に加熱試験前のシリコンキャリアと熱サイクル試験 10 回後のシリコンキャリアの赤外像を示す。シリコンウェーハ上に C 形にくり抜き加工されたシリコン基板が接合されている。C 形の接合部は、切断部周辺では灰色に観測され、内部は白色に観測される。シリコン基板が互いに接合されている場合は、界面の赤外線像は白色に観測される。塵埃に起因したエッジ部分の灰色のスポットが中央部に観測されている。また、加熱サイクル試験に起因する反りや割れは発生しなかった。これらの結果から、局所プラズマ接合で作製されたシリコンキャリアは、アニールプロセスの熱負荷に耐えることを明らかにした。



図6 加熱試験前のシリコンキャリア赤外像と 10 回の加熱試験後のシリコンキャリア赤外像

次に試作されたシリコンキャリアを用いてホール素子の合金化プロセスに適用し、アニール用シリコンキャリアとしての実証試験を行った。試験に用いたランプ加熱装置を図 7 に、試作された素子を図 8 に示す。試作素子は、シリコン上に 1 辺 20 μm 角のゲルマニウムが選択成長された上に試作されたホール素子である。4 隅に 5 μm 角のコンタクト領域を形成し、外部に測定用の電

極が設けられている。合金化プロセス温度は 200～400℃であり、図 9 に示すように良好なオーミック電気特性が得られ、シリコンキャリアのアニールプロセスでの有効性が実証された。

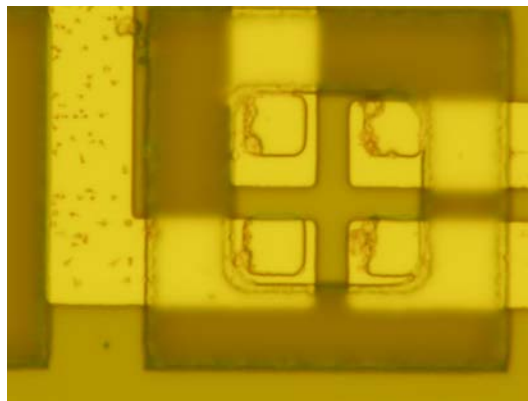
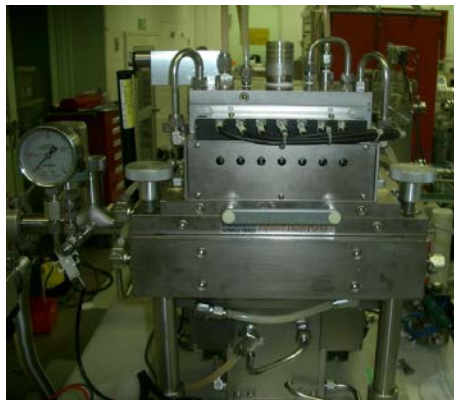


図 7 プロセス評価で用いたランプ加熱装置 図 8 試作されたマイクロホール素子

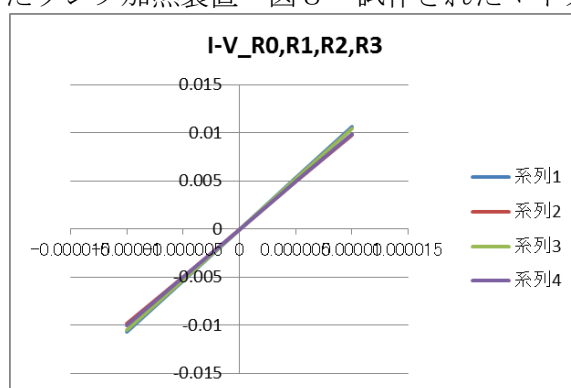


図 9 試作されたホール素子の電流・電圧特性

2-3 8インチ対応・接合用プラズマ装置の試作と評価

試作した 8 インチ対応・接合用プラズマ装置を図 10 に、試作されたアトムソースイオンガンを図 11 に示す。また、装置の構成を図 12 に示す。局所プラズマの生成において、既存のイオンガンでは、表面に付着したカーボン系のコンタミと呼ばれる付着物を除去する程度の低エネルギーであるのに対して、シリコン基板の表面数 nm レベルの表面原子を剥ぎ取る性能を持つ高いエネルギーを持つイオン源であり、フィラメント構造を持たないことから安価で長寿命のプラズマ発生を可能とする特徴を有する。このアトムソースイオン源を用いて、接合強度を高くするためのプラズマ表面処理条件の最適化を行った。

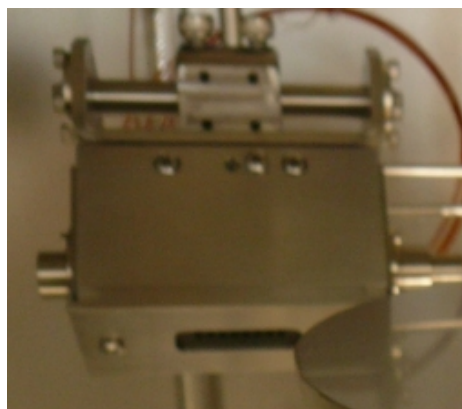


図 10 試作された 8 インチ対応・接合用プラズマ装置 図 11 アトムソースイオン源

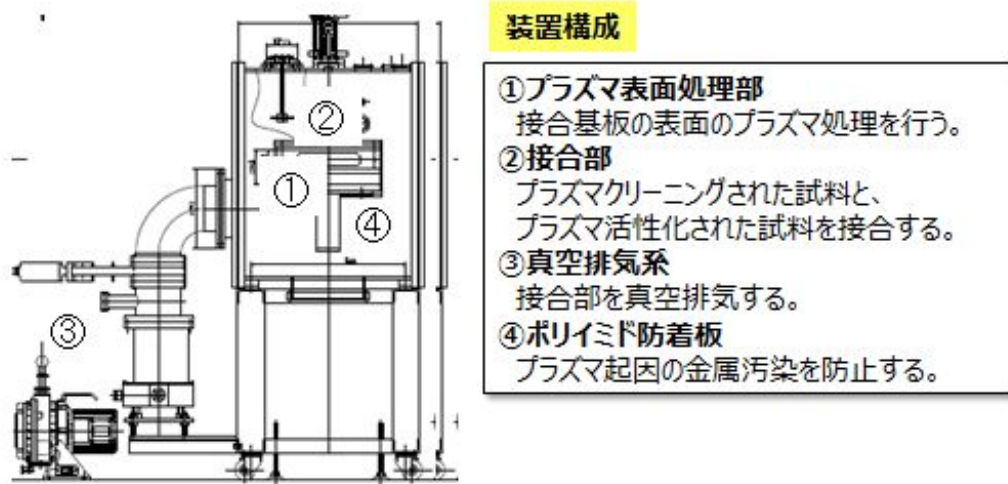


図1 2 試作された8インチ対応・接合用プラズマ装置の構成

シリコンウェーハの接合を行う場合、接合条件は試料の表面状態に敏感であることから、簡易なシリコン透過装置の開発を行い、接合面積を定量的に算出するシステムを構築し、単位面積あたりの接合強度の評価を行った。評価システムを図1 3に示す。接合面積の計算には、取得した透過画像を二値化してピクセルをカウントすることにより計算する。なお、シリコンーシリコンで間に何もない領域で黒く映る部分を空隙と判断し、間にポリイミドなどが入った場合も白い部分を空隙と判断した。評価結果を図1 4に示す。

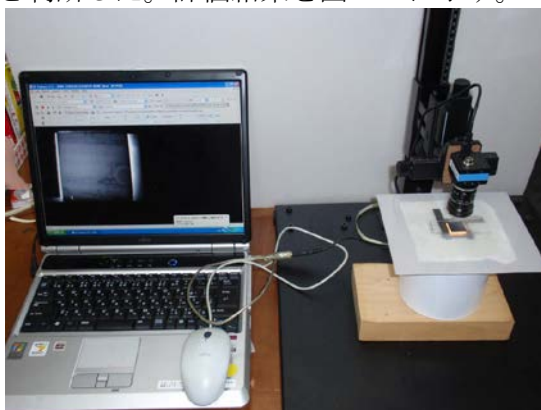


図1 3 簡易式赤外線による界面評価装置

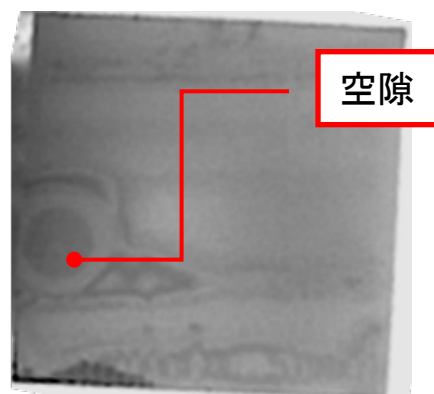


図1 4 赤外線による界面評価結果

接合装置の目標性能以上の1日24枚のスループットと接合強度2MPaを達成した。

2-4 露光用接合シリコンキャリアの試作と半導体プロセスにおける性能評価

露光用シリコンキャリアは、シリコンウェーハに対して精密な特殊な機械加工を施すことにより製造されるアダプタ部品である。露光用シリコンキャリアの場合、掘り込んだシリコンウェーハの内部に精密に位置決めをしてサンプルを設置する必要がある。既存のシリコンキャリアでは、投入位置決め再現性として200 μ mレベルが実現されているが、更なる位置決め精度の向上が要望されている。

投入再現性を向上させるには、シリコン基板上での接合部品の位置精度を向上させる必要がある。試作された接合用キャリア位置制御装置を図1 5に示す。左側に顕微鏡ユニットからなる観察ユニット、中央部に位置決め接合用のステージユニットが、右側に8インチウェーハを吸着固定するサンプル保持ユニットから構成される。これらのユニットはクリーン環境を維持された装置内にある。サンプルの搬送においては、8インチ基板に関しては、真空吸着方式が、シリコン接合部品に関しては、静電チャック方式が用いられている。各種画像

処理機能を統合することにより、露光用シリコンキャリアの製造部品を精密に設置することが可能となる。接合用キャリアの位置制御の搬送に用いたキャリアを図16に示す。シリコン基板をドーナツ状にくり抜き加工を施し、裏面に接着用ポリイミドを塗布して、ポリイミドフィルムを圧着したものである。ポリイミドフィルムを介して、くりぬき加工されたシリコン部品が静電チャックに固定される。

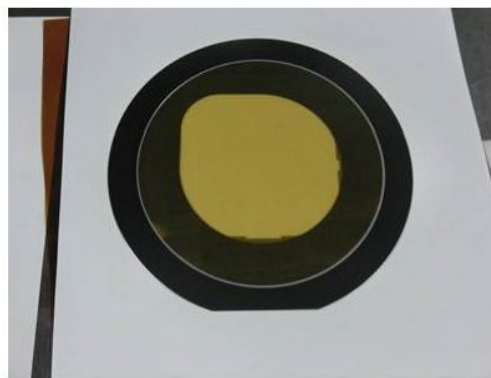


図15 接合用キャリア位置制御装置 図16 試作された搬送用キャリア

シリコンキャリアの半導体プロセスにおける性能評価について、ニコン製のi線露光装置（型式：NSR-i12D）を用いて実施した。試験に用いた露光装置を図17に示す。試作された露光用シリコンキャリアに対して、搬送・吸着試験を実施した。具体的には、ウェーハカセットから、ロボットアームでシリコンキャリアを引き抜き搬送、その後、ポジショナステージにおいて、回転位置決めを行い、露光ステージ吸着固定されて露光される。吸着後のサンプルの表面のフラットネスの測定結果として $5\mu\text{m}$ 以下が得られており、通常のウェーハの搬送と同等の平坦度が実現されている。また、固定ピンがないことから、ピンの押し当てに起因する基板位置の変化も観察されていない。このことから、本方式による露光用シリコンキャリアは、基板上の露光面積を大きく取れること、留めピンに起因する露光位置の誤認識を防止できることから、スループットの向上と露光精度の向上が実現された。投入再現性に関しては、 $80\mu\text{m}$ の結果が得られ、目標の $100\mu\text{m}$ 以下を達成した。これらの結果から、既存の研削品とプラスチック製の留め具で横方向から固定する方法では対応出来ない高度なリソグラフィープロセスに対応出来ることが期待される。露光の解像力の試験結果を図18に示す。 $0.6\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $0.4\mu\text{m}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ 、 $0.2\mu\text{m}$ のパターンの形成を行い、装置性能の限界である $0.3\mu\text{m}$ までの微細パターンが良好に形成されている。この結果は、通常のSEMI規格の8インチシリコン基板を用いた場合と同等の結果であり、シリコンキャリア技術の露光プロセスにおける有効性を示すものである。



図17 プロセス評価で用いた露光装置 図18 露光の解像力試験結果

2-5 12インチ対応・大口径プラズマ接合装置の試作と評価

試作した12インチ対応・大口径プラズマ接合装置の構成を図19に示す。通常の常温接合の場合は、超高真空中での接合を行うが、本技術開発においては、ベースのシリコン基板のク

リーニング処理、接合するシリコン基板のプラズマ活性化処理の条件を変えることが可能なシステムとなっている。装置の真空度としては、 5×10^{-4} Pa以下とし、この条件での局所プラズマ処理と接合を可能とするシステムである。導入ガスは、表面をミリング効果で削るアルゴンガスを用いており、表面の残留有機物を除去して活性化を行う。本システムは、基板クリーニング、エッチング、ミリング等の機能を1台で実現出来る点に特徴がある。また、本装置は、ロードロック機構によるサンプルの搬入が可能であり、接合部の真空を保持したまま、試料の出し入れが可能なシステムである。接合部に関しては、局所プラズマ処理の時は、接合用シリコン基板とベースの12インチシリコン基板の間隔を大きくして行い、局所プラズマ処理が終わった後に、基板間の距離を縮めて接触させて接合を行う。接合用プラズマ源に関しては、8インチプラズマ接合装置と同様に、アトムソースイオン源を用いた。接合プロセスとしては、プラズマ活性化とプラズマクリーニングプロセスの最適化を行い、シリコンの基板接合を実施した。基板接合に関しては、表面に酸化膜がある場合での接合も可能である。フッ酸による表面処理を行ったものが、最も再現性が優れている。接合用プラズマ装置の試作においては、大型基板に対応出来るように、ステージの移動機構の導入と、1kN以上の加圧を可能とするシステムの試作を行った。スループット1日24枚、接合強度2.1MPaと目標以上の性能が得られた。

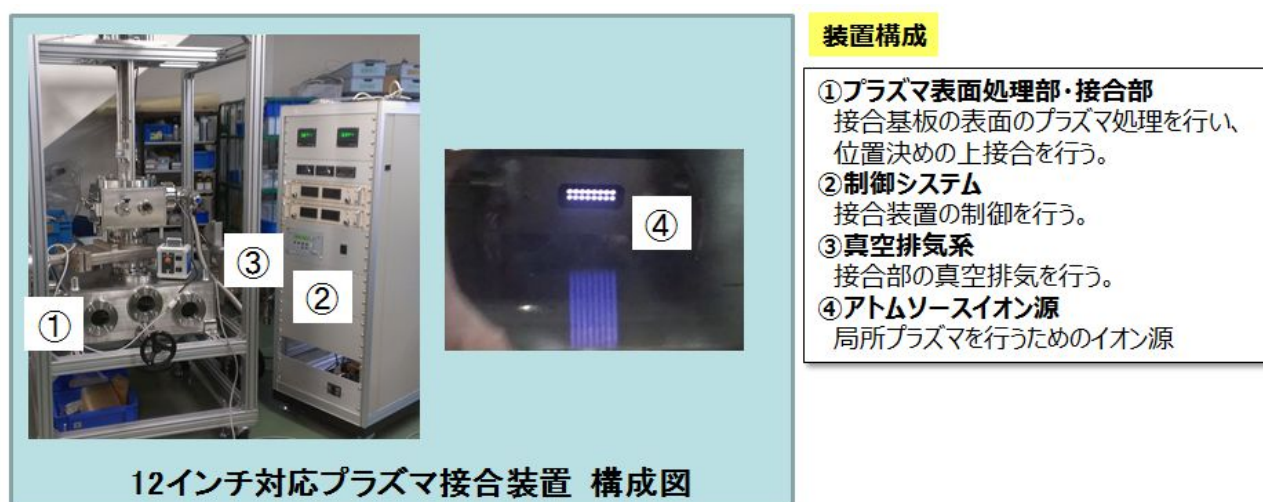


図19 12インチ対応・大口径プラズマ接合装置の基本構成

試作されたイオン注入用接合キャリアを図20に示す。外周部にガードリングがあり、ガードリングの内部にイオン注入用のサンプルがはめ込まれて固定されている。イオン注入用のサンプルは4インチであり3枚設置されるようになっている。局所プラズマ接合で製造されたシリコンキャリアに対して、イオン注入装置における搬送・投入試験を行い、搬送エラーやイオン注入ステージへの投入エラーを発生させずに、シリコンキャリアを設置してプロセスを行うことを可能とした。特に、洗浄と研削の高度化により、パーティクルの発生と拡散を防止する洗浄法が確立されたことから、装置の維持管理の負担を強いにプロセスを連結して展開する可能性が示されたと考えられる。また、導入したイオン注入用の接合キャリアに関しては、接合プロセスで障害となるパーティクルの除去を実現したことから、信頼性のある局所プラズマプロセスへの貢献が大いに期待される。



図 2 0 試作された 12 インチイオン注入用接合キャリア

接合強度の評価に関しては、簡易式シリコン透過装置を開発して定量的に接合面積を求め、単位面積あたりの最大強度を測定した。接合面積の評価においては、900nm 以上の波長に対し感度が高い産業用 USB カメラを導入するとともに、利用する IR フィルターをフィルムタイプからガラスタイプへ変更したシステムで評価を実施した。

剥離試験に用いた引っ張り試験機を図 2 1 に示す。東洋精機製ストログラフ V1-C を使用し、これまでの課題であった試験片の逃げを解消するため、試験方向を引張から圧縮へ変更し、より安定した条件で試験が行えるように改良した。Ar プラズマで表面処理されたサンプルは、他の処理方法に比べ接合面積が 100% に近く密着性のよい条件であることが確認された。他の条件では、端から約 1 mm の部分は接合されておらず接合面積は 70% 程度に留まる。この理由としては、粗さと AFM による評価結果から、界面のパーティクルが少なく平坦な面を得られたためと推定される。また、接合強度についても Ar プラズマを照射したサンプルは高い値が得られ、目標の 2MPa を超える接合強度が得られた。



図 2 1 接合力の評価に用いた引張試験機

2-6 イオン注入用接合シリコンキャリアの試作と半導体プロセスにおける性能評価

既存のイオン注入用のシリコンキャリアは、サンプル保持具をねじ止めしていることから、発塵が問題となり利用後の洗浄も困難な構造となっている。特に、イオン注入用のシリコンキャリアにおいては、シリコンキャリア上の金属区汚染やパーティクル汚染が存在すると、基板に拡散し、基板を通じて装置の汚染をもたらすことから、研削後のシリコンキャリアのパーティクルフリー化とクリーン化が必須である。

研削加工面の電子顕微鏡写真（倍率×150K）を図 2 2 に示す。試料は、シリコン基板を研削加工した後に、有機洗浄およびSPM酸洗浄したものである。これは、ザグリ加工後の表面状態に対応する。研削後のシリコン表面は、脆性加工であることから表面が荒れた状態であり、多数

の研削起因のパーティクルが付着している。微粒子の大きさは数 10nm から数 μm の範囲であり、その密度は数 1,000 万から数億個/ cm^2 であることが確認された。これ以上の大きなパーティクルは、手作業による拭き取りで除去可能であるが、粒子の大きさが数 μm 以下のパーティクルに関しては、非常に高密度に存在することから、プロセスウェーハ上に接触部から移動して汚染が拡大することが予想される。研削されたシリコン基板においては、研削表面のスクラッチ・裏面のスクラッチ、研削液に残留するごみのフィルタリング、研削起因のパーティクル、器具のパーティクル除去洗浄・保管時の汚染・パーティクルの基板間と装置間の拡散と、多くの汚染の要因がある。ベアシリコンをエンドミルで機械加工すると、ドリルの金属片、砥粒、研削液、加工屑などで加工基板が汚染される。加工基板に付着した汚れの大半は有機洗浄や酸洗浄などの一般洗浄法により除去できるが、シリコンナノ微粒子等研削屑はシリコンウェーハとの結合力が強く除去が困難である。

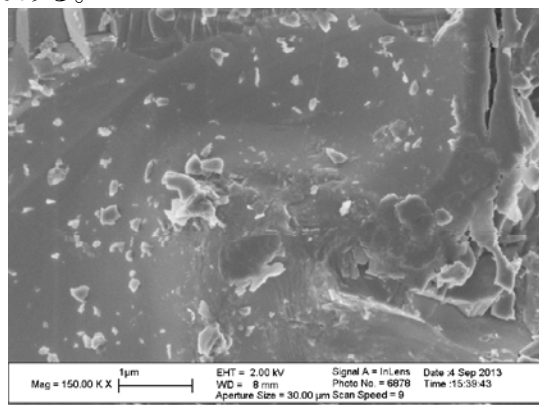


図 2 2 通常の研削と洗浄後のシリコン基板表面の電子顕微鏡写真

これらの課題を解決するために、以下の 3 つのプロセスを行うことでダストフリーな洗浄技術を実現した。

- ①保護膜による被覆
- ②洗浄および SPM 酸洗浄による有機物の除去
- ③エッチングによるシリコン研削屑ナノ微粒子の溶解除去
- ④酸化膜被覆加工による非加工面の原子レベル保護

これらの洗浄後の加工面の電子顕微鏡写真を図 2 3 に示す。パーティクルフリーの表面が実現されている。

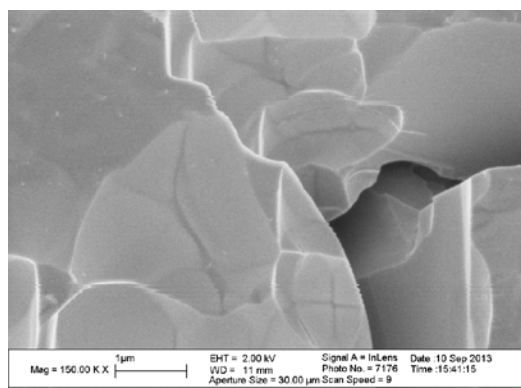


図 2 3 パーティクルフリーのシリコン基板表面の電子顕微鏡写真

更に、ナノレベルでの平滑化プロセスの検証を行った。具体的には、定圧加工を行うための工具を導入して研削加工を行った。定圧加工の場合、切り込み時のスパイク的な基板への負荷・応力がかからない点に特徴がある。定圧工具で研削後のシリコン表面の光学顕微鏡写真を図 2 4 に、電子顕微鏡写真を図 2 5 に示す。図 2 4 の光学顕微鏡写真に示されるように、鏡面の研削面が実現されている。また、図 2 5 の電子顕微鏡写真に示されるように、粗研削に起因するディップが観測されるが、平滑な研削面が実現され

ている。即ち、平滑かつパーティクル付着の無い鏡面が実現されており、凹凸による基板のひっかかりや、パーティクルの付着と拡散の防止が期待される。

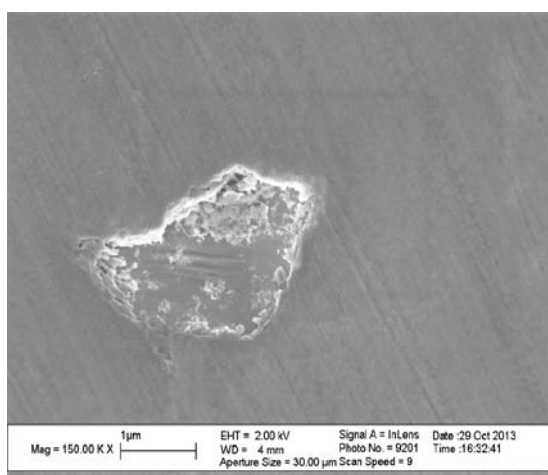
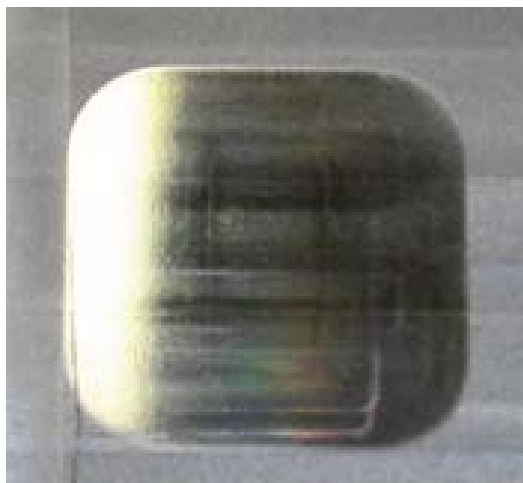


図 2 4 定圧研削表面の光学顕微鏡写真 図 2 5 定圧研削表面の SEM 写真

イオン注入装置を用いた、自己検知型の原子間力顕微鏡のカンチレバーの歪検知部の製造に、イオン注入用のシリコンキャリアを用いてイオン注入プロセスを行った。イオン注入前のカンチレバーの顕微鏡写真を図 2 6 に示す。図中央部の開口部にイオン注入され、シリコンの導電性をイオン注入プロセスで決め、歪に応じた抵抗の変化を発生させる。このカンチレバーを用いて測定された 65nm ノードの SRAM セルの測定が実現された。測定結果を図 2 7 に示す。このことから、本技術開発で試作された局所プラズマ接合技術と、シリコンキャリアを用いることにより、半導体集積回路で用いられるイオン注入装置において、カンチレバーという寸法の異なる MEMS プロセスのデバイスプロセスの受け入れが可能であることが示された。特に、金属イオンを含む不純物やパーティクル汚染に敏感なイオン注入プロセスにおいて、局所プラズマを用いたシリコンキャリア技術が実証された意義は大きいと考えられる。

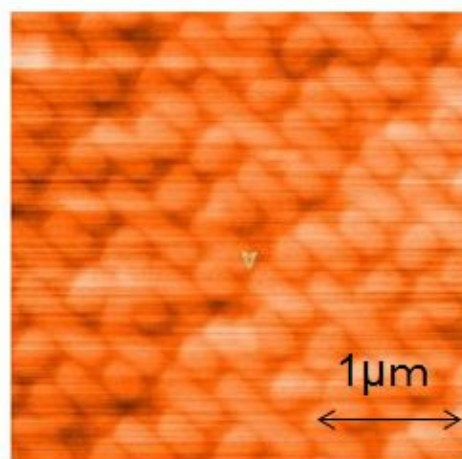
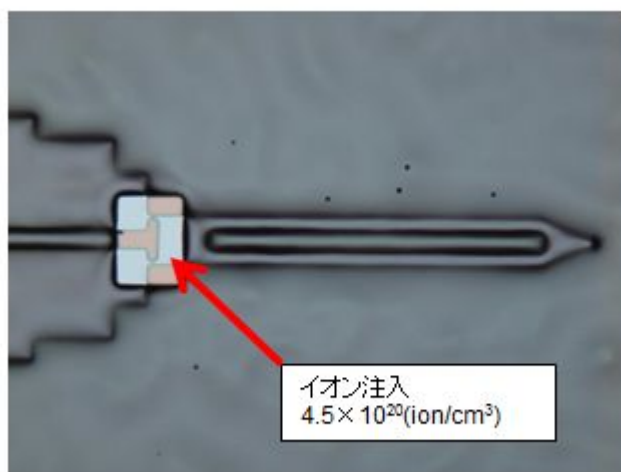


図 2 6 イオン注入プロセス前のカンチレバー 図 2 7 65nm ノード SRAM セルの測定結果

2-7 専門用語等の解説

- プラズマ：プラズマは、気体を構成する分子が部分的に、または完全に電離し、陽イオンと電子に別れて自由に運動している状態である。プラズマ中の電荷は、異符号の電荷を引き付けるため、全体として電氣的に中性な状態に保たれる。また、構成粒子が電荷をもつため、粒子は電磁場を通して遠隔的な相互作用をすることができ、離れた領域にある粒子の運動に依存したふるまいをする。このように、分子からなる気体とは大きく異なった性質をもつため、プラズマは物質の三態、すなわち固体・液体・気体とは異なった、物質の第四態とい

われる。

- プラズマ接合：直接接合は、よく研磨した面同士を張り合わせ、加熱するだけで接合する技術である。直接接合を行う場合、硝酸の中に入れるなどして、まず Si の表面に水酸基を付ける。それを重ねると、水分子を介した水素結合で弱く接合する。この状態で熱処理をすると、水分が飛んで強い結合ができる。1000℃以上で熱処理した場合、バルク並みの結合強度が得られるといわれている。
- 研削加工：高速回転する 砥石車（grinding wheel、一般には簡単に砥石と呼ばれる）によって加工物の表面を除去し切削加工より平滑な面を得る機械加工の一種。
- シリコンキャリア：シリコン基板を精密な研削加工を施すことにより、小径の半導体基板を量産用半導体製造装置でプロセスを可能とするアダプタのこと。
- RTP（Rapid Thermal Process）：赤外またはハロゲンランプを用いて、熱ストレスを抑えながらウェーハを急速に昇降温するプロセスのこと。イオン注入された不純物イオンの活性化や、金属電極と半導体の合金化プロセス等で主として利用されるプロセスである。
- 露光プロセス（Exposure Process）：半導体基板上に感光性樹脂を塗布したものに、フォトマスクと呼ばれる金属パターンの形成されたガラス基板を通して、紫外線を照射して、感光性樹脂の光反応を利用して、所望のパターンを得るプロセスのこと。この技術を利用して、現在では、20nm 以下の寸法を持つ集積回路が試作されている。
- イオン注入プロセス（Ion implantation）：半導体基板上に所望の導電率を持つ導電層を形成するために、不純物イオンを電氣的に加速して注入するプロセスのこと。P 型の導電層を形成するにはホウ素（B）等の III 族を、N 型の導電層を形成するにはりん（P）等の IV 族を、真空中でイオン化して、加速器と同様の原理で真空中を加速して、半導体基板にイオンを二注入する。イオンの濃度と分布については、イオンの量と加速電圧で決まる半導体中へのイオンの侵入長で決まる。

第3章 全体総括

本技術開発において、局所プラズマ技術とシリコンキャリア技術に関する高度化と実証を進め、6 インチでのアニールプロセス、8 インチでの露光プロセス、12 インチでのイオン注入プロセスにおける実証が行われ、目標とするスループットや接合強度が達成された。

具体的には、1100℃でのアニールプロセスや、100 μm 下の投入位置再現性を持つ露光プロセスや、200rpm の回転数に耐えるイオン注入プロセス条件での実証が行われた。

また、基盤技術として、接合用のシリコン部材に対する高度な洗浄プロセスやパーティクル除去プロセスが実現されたことから、接合の再現性と信頼性が確保されるようになった。また、簡易な赤外線カメラシステムの開発も行われ、接合面積の割合を定量的に評価できるシステムの実証も行われた。

今後は、平成 23 年度に実証されたアニール用シリコンキャリア、平成 24 年度に実証された露光装置用シリコンキャリア、平成 25 年度に実証されたイオン注入用シリコンキャリアとの連携を進め、異種半導体や異形の半導体プロセスに対応可能な柔軟な半導体製造プロセスに貢献することが期待される。

・研究成果に関する特許

- ・特願 2013-076752「複合シリコンキャリア」
- ・産総研ノウハウ登録 2012001907「静電チャック対応半導体プロセス用キャリア」

・外部発表

無し