

半導体ウェーハ向けベベル研磨装置

小野澤 益 信*

Bevel Polishing System for Semiconductor Devices

by Masunobu ONOZAWA

A bevel polishing system, the EAC 300bi-hp, has been released into the market to answer demands in the semiconductor for higher throughput, footprint shrinkage, and lower cost of consumables (CoC). This unprecedented flexible system upgrades the former model, the EAC 300bi-T, which is attaining a boost in the yield of mass produced semiconductor devices. In particular, this system enables a 3.3 time increase in throughput, a 16% reduction in footprints, and about a 70% reduction in CoC, compared to the same by conventional such systems.

Keywords: Wafer edge, Wafer bevel, Bevel polishing, Immersion lithography, Wafer thinning, Knife-edge, Edge bead, Etching, Edge exclusion, High-K

1. はじめに

従来、半導体ウェーハベベル部（端部の面取りされた部分）近傍は最終的には製品となるチップから切り離され廃棄されるため、半導体製造過程において、ウェーハベベル部へ手間やコストをかけるといった必要性はなかった。

しかし近年の半導体素子の微細化・高集積化に伴い、ウェーハベベル部の表面状態が注目されている。今までは問題視されていなかった微小パーティクルが上流プロセスなどでエッジ部に付着し、その後の搬送・保持時や下流プロセス時などで飛散し、デバイス表面を汚染し、製品の歩留まりに大きな影響を与える“致命的な欠陥（Killer defect）”になることが分かってきたからである。

また、このウェーハを搬送・保持する方法は、かつてはウェーハの裏面に触れる方法が一般的であったが、微細化とともに裏面の清浄度が求められるようになり、最近ではウェーハ端部だけの接触で搬送・保持する方法が一般的になり、このこともベベル部からのパーティクル発生の原因になっている。

当社では、デバイスの歩留まりに影響を及ぼすウェーハベベル部に残存している不要物質やダメージを除去す

る方法として、研磨砥粒が付与された研磨テープによる方式（図1）を採用し、世界に先駆けて、いち早く現行機（EAC300bi-T）を発売した。現在、最先端半導体量産ラインで使用され、歩留まり向上の実績をあげている。その現行機に対し、更なる高スループット（処理能力）、低CoC（Cost of Consumable）、そして省フットプリント（設置面積）を望む声にこたえ、この度新型機EAC300bi-hpを発売した。本装置は研磨モジュールの改善及び新搬送機構を採用することにより、同条件プロセスで従来装置の3.3倍のスループットと1/3以下のCoCを達成することができた。また、搬送機構や装置レイアウトの見直しを図り、設置面積を従来の装置と比較して16%削減することができた（表）。

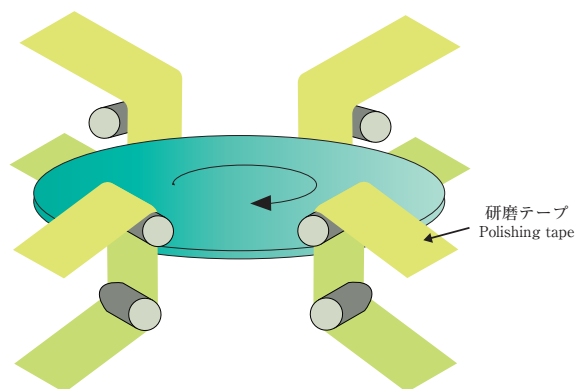


図1 研磨プロセス
Fig. 1 Polishing process

* 精密・電子事業カンパニー 営業統括部 装置営業推進室

表 現行装置と新型装置との比較

Table Comparison between current system and new system

	現行装置 EAC300bi-T Current system	新型機 EAC300bi-hp New system
設置面積 Footprint	100 ^{**}	84
スループット Throughput	100 ^{**}	330
CoC	100 ^{**}	30

※現行機を100とした場合の比較

Comparison in case of current system be taken as 100

2. 現状のウェーハベベル処理技術とその特徴

通常、ウェーハのベベル部近傍では、膜種や膜厚等をコントロールすることが困難であるため、数種類の積層膜や副生成物等が不均一に存在している場合が多い。また、ウェーハベベルの形状は、SEMI^{**1}規格で制定され、一定の基準に準じた形状に製造管理されてはいるが、デバイスメーカーごとに規格をもち、様々な形状が存在しているのが現状である。このことが、更にウェーハベベル部のコントロールを困難にしている。

現在、このウェーハベベル部分を処理する方法として、当社のテープを用いた研磨方式以外に (1) スラリーを用いた研磨方式 (2) ドライエッチング方式 (3) ブラシ等を用いた接触洗浄処理を含むケミカルエッチング方式、などがあげられる。

このような複雑な形状に積層した複数の不要膜やダ

メージを受けたシリコンウェーハを同時に短時間で処理し、かつそのシリコンウェーハ表面を平坦化することは、ドライやウエットのエッチングケミカルを用いた選択性のある方式では技術的に困難である。また、スラリーを使用した研磨方式の場合、前述した問題に加えて、ウェーハ表面のデバイスパターンに研磨後のパーティクル、スラリー中の成分による汚染が懸念される。つまり、ウェーハ表面に凹凸が形成されているような工程や、耐薬品性のない物質などがウェーハ表面に存在する工程の場合は、スラリーや薬液を使用した方式を採用することができないという制約がある。

当社の固定砥粒を施したテープを用いた研磨方式は、機械的に研磨を行うため非選択性研磨であり、ダメージを受けたシリコンウェーハ上に不安定に積層している複数の不要膜とシリコン表面を一度に除去し平坦化することが可能である。写真1に研磨前後のベベル部の外観を示す。研磨中は、ウェーハ表裏面に対して超純水を供給することで、パーティクル等の汚染からウェーハ表面を保護し、適用できる工程の拡大と、研磨前後の工程の簡素化を可能としている。また、当社独自の研磨ヘッド機構により、ベベル部形状のプロファイルコントロールも可能である (写真2)。レシピ上にて研磨角度・研磨時間等を自由に設定することが可能であり、これにより、多様なベベル形状をもったウェーハにも対応することができる。機能上、シリコンを切削することまで可能であ

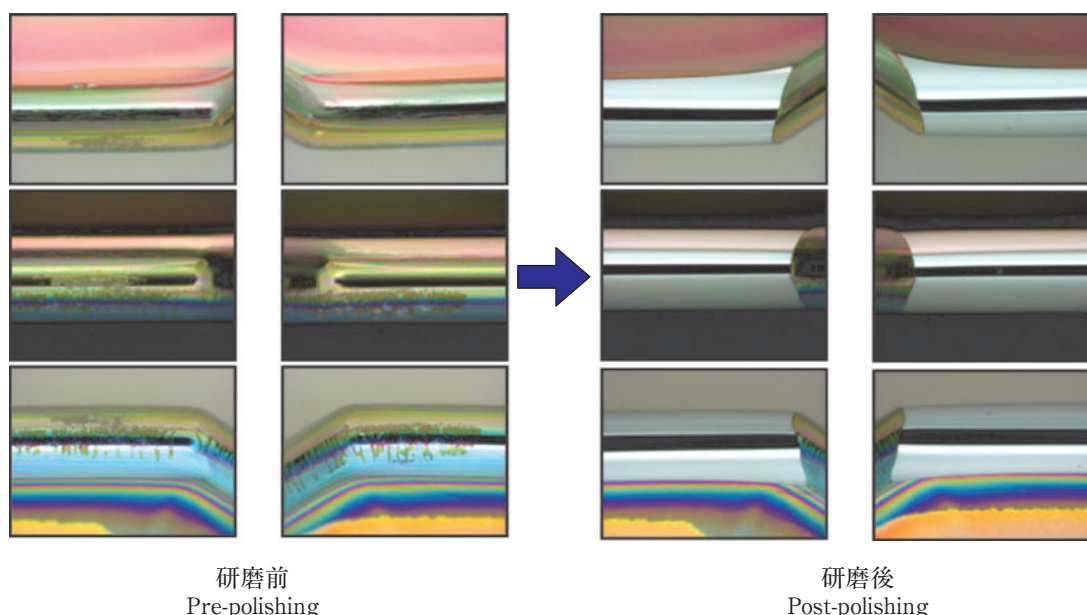
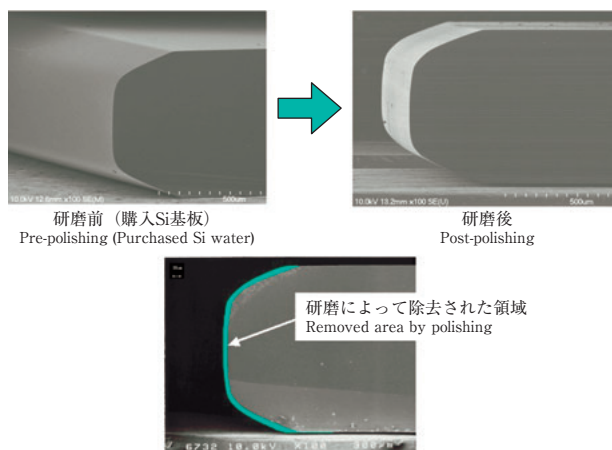


写真1 ベベル研磨適用例
Photo 1 Example of bevel polishing application

09-05 01/222



09-05 02/222

写真2 ベベル研磨前後の断面形状比較

Photo 2 Comparison in shape pre-polishing and post-polishing

り、例えば、ウェーハ薄化時に問題になるナイフエッジ (図2) もあらかじめ全ベベル部を削り込むこと (図3) でその発生を防止することもできる。

今後採用が進むと思われる液浸リソグラフィ工程 (図4 ウェーハと露光レンズの間を屈折率の高い液体で満たし、より微細な露光を行う技術) では、スキャナヘッド上を高速で流れる液体によりベベル近辺部のデフェクトが巻き上げられ、デバイス表面への回り込みや露光レンズへの付着による露光不良で歩留まりの低下が懸念されている。また、製品への影響だけでなく、デフェクトが露光装置自身を汚染してしまう危険性も指摘されている。

また、現在トランジスタのゲート絶縁膜にはSiO₂が用いられているが、微細化・集積化に伴い、その膜の厚さは原子数個レベルまで薄くなるため、「量子トンネル効果」によって絶縁膜を透過し流れ出てしまうリーク電流が増え、高集積化への障害となっている。そのため

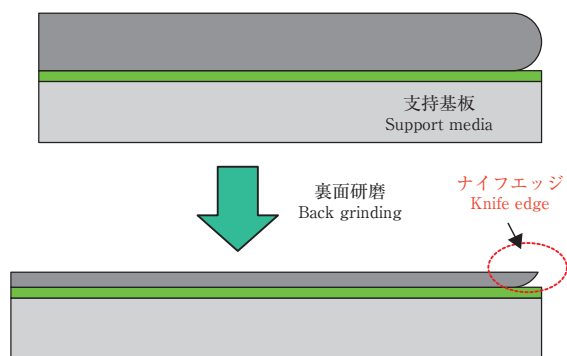


図2 ナイフエッジ発生例

Fig. 2 Example of knife edge defect

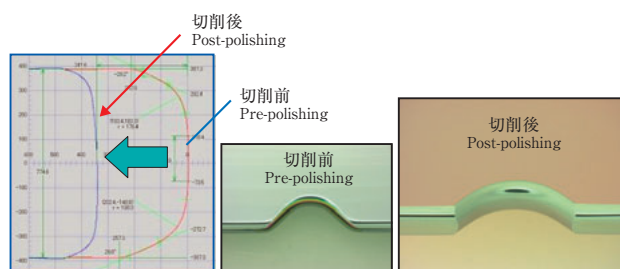


図3 全ベベル切削適用例

Fig. 3 Example of removal in entire bevel area by EAC

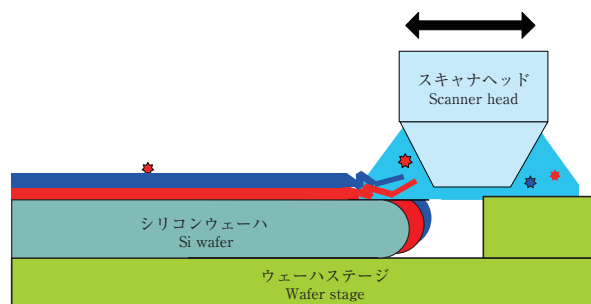


図4 液浸リソグラフィにおいて懸念されるデフェクト汚染

Fig. 4 Defect issue in immersion lithography

SiO₂に代わり、High-K材 (高誘電率の素材) がゲート絶縁膜として採用され始めている。ただし、このHigh-K膜はALD (Atomic layer deposition) 等で成膜されるためベベル部近傍のコントロールが困難であり、そこに付着したHigh-K材は汚染パーティクルの原因や各プロセス装置を介してクロスコンタミネーションの発生につながりやすい。

前記のとおりベベル研磨のアプリケーションが拡大するなか、更なる高スループット、低CoCそして省設置面積を実現した新型機EAC300bi-hpの概要を次に紹介する。

3. 製品概要

3-1 装置構成

当社はCMP^{※2}などの半導体製造装置において、主要構成部分について機能の分離と集合が容易にできるようなモジュール設計を基本としている。各モジュールはハードとソフトが一对で構成されている。モジュール設計を採用することによりニーズの変化、機能の付加、機能拡張などへの対応の容易性確保と高信頼性の提供を可能としてきた。

本装置にもこのモジュール設計思想が採用されてお

り、本装置の装置構成を図5に、装置外観を写真3に示す。図5に示すように、本装置は、ロード・アンロードモジュール、搬送モジュールに加え、研磨モジュール×2台、ロールスポンジ型スクラブ洗浄モジュール×1台、スピンドライヤモジュール×1台を搭載した構成となっている。

研磨対象の材料や研磨する厚さにより柔軟に対応する要求にこたえるため、本装置には複数の研磨ヘッドを備えた研磨モジュールを2台搭載している。各研磨ヘッドは独自に動作することができるため、様々な研磨ステップや研磨エリアを選択することが可能となっている。

3-2 研磨モジュール

本研磨モジュールの基本構成は、ウェーハ基板を保持するウェーハステージ、研磨機構で構成されている。

ウェーハステージは研磨時の押し付け荷重に耐えられるよう真空チャック方式を採用し、ウェーハの回転精度を維持するために高精度な位置決め機構によりセンタ

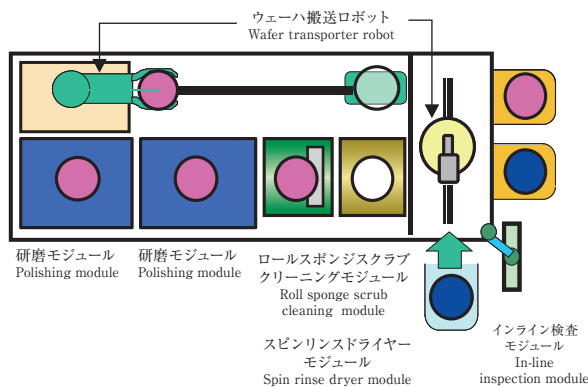


図5 装置構成
Fig. 5 Configuration



写真3 装置外観
Photo 3 Tool overview

リングされている。

研磨機構は、研磨テープをウェーハベベル部に押し当てる圧力と研磨角度の制御が可能な研磨ヘッド部と、研磨テープの送り出し・巻き取り機構部で構成されており、ベベルの形状に合わせて研磨ヘッド角度を任意にプログラミングすることが可能である。これにより、種々の形状が存在するベベルに対して確実な研磨を可能とし、目的とする研磨性能を得られる。

複数のヘッドを配置したことにより個々のアプリケーション、部位について最適なテープ/レシピをセットすることができ高スループット、低CoCが実現できた。

また、研磨機構部には、超純水供給ノズルが設置されており、研磨部位だけでなくウェーハ全面を超純水で覆い、ウェーハ表面への微小なごみや研磨くずの付着を防止している。

3-3 ロールスポンジ型スクラブ洗浄モジュール

図6に本装置に搭載しているロールスポンジ型スクラブ洗浄モジュールの洗浄機構を示す。本プロセス後の洗浄として求められる機能としては、ウェーハ表面・裏面に加えて、研磨したベベル部に付着した汚染物質の除去が必要である。このため、本装置にはロールスポンジ形スクラブ洗浄方式を採用した。本洗浄方式は、ウェーハ表面・裏面の全面の洗浄が可能だけでなく、スポンジの弾性変形によりベベル部の洗浄も同時に行うことができる。

ウェーハの洗浄は回転中のウェーハの表面・裏面に洗浄液（純水又は洗浄用薬液）をリンスしながら、回転するロールスポンジをウェーハ面に押し付けて行われる。ウェーハ表面に付着しているパーティクルは、スポンジから物理的な力を受けて除去される。本洗浄モジュールは洗浄性能促進のための洗浄薬液の供給も可能である。

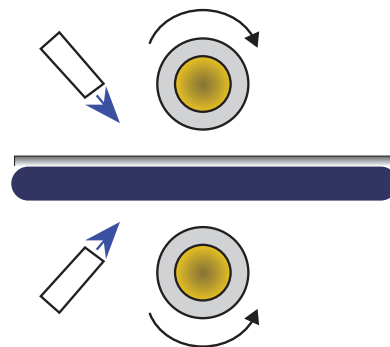


図6 ロールスポンジ形スクラブ洗浄モジュール
Fig. 6 Roll sponge scrub cleaning module

09-05 03/222

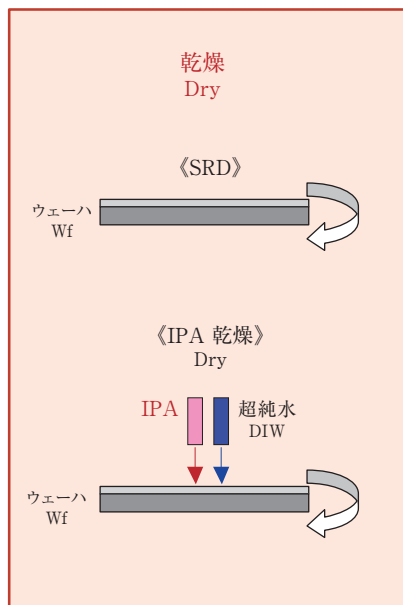


図7 スピンリンスドライヤモジュール
Fig. 7 Spin rinse dryer module

本洗浄モジュールは、既に当社のCMPにも搭載されており、その洗浄性能や信頼性は実証済みである。

3-4 スピンリンスドライヤモジュール

図7にスピンリンスドライヤモジュールを示す。ウェーハの表面・裏面に洗浄薬液を供給することができ、オプションでIPA（イソプロピルアルコール）乾燥モジュールを搭載可能である。

3-5 搬送モジュール

搬送モジュールには2台のハンドリングロボットとバッファステージ及びウェーハハンドリングユニットがある。

ウェーハハンドリングユニットは2台の研磨モジュールと2台の洗浄モジュール間を直列に配置して最大3枚まで同時に搬送可能である。

現行機に比べ直線的なレイアウトにすることで搬送距離を最小にし、またウェーハの同時搬送を行うことによりオーバヘッドを短縮でき高スループット化を実現できた。

ウェーハチャック部は、ウェーハ表面・裏面ともに触れることなく、ウェーハベベル部だけを保持するエッジ保持方式を採用している。

3-6 ロード・アンロードモジュール

ロード・アンロードモジュールは複数のウェーハカセットポートと各ウェーハカセットからウェーハを出し入れするロボットで構成されている。ロボットは、ウェーハカセットから処理前のウェーハを取り出しバッファステ

ージに搬送する動作と、プロセス処理が終了したウェーハをウェーハカセットに搬送する動作を行っている。

カセットポートはSEMI規格に準拠した設計がなされており、ミニエンパイロメント^{※3}に対応したモジュール化構造となっている。また、AGV（Automatic Guided Vehicle）などのユーザ要求システムにも対応可能である。また、本モジュールにはベベル検査モジュールを搭載可能である。

4. 研磨プロセス

当社のベベル研磨装置は、研磨テープで処理する方式を採用している。以下に、本装置のプロセス性能について説明する。

4-1 ベベル研磨

ウェーハベベル部は、ベベル形状に応じた研磨角度が設定可能な研磨ヘッド機構とウェーハへの押し付け圧力制御の採用により、研磨後のプロファイルコントロールが可能となっている。

写真2にベアシリコン基板（ベベル部：ストレート形状）の研磨前後の形状を示す。研磨前後でベベルの断面形状は維持されており、ベベル全領域において均一な研磨が実現できている。また、研磨表面状態も研磨前の状態（ウェーハ基板メーカーの加工レベル）と同等レベルを維持できている。当社の方式では、多様なベベル形状をもったウェーハにも対応することができ、機能上はベベル部を切削加工することも可能である。つまり、必要に応じてベベル部の形状を変更することも可能である（写真4）。

研磨テープは長時間同一部位で使用すると研磨粒子間が目詰まりし、研磨速度が低下する。このため本研磨機構では、研磨中も研磨テープの微小送りをを行っている。これにより、研磨部に接触する研磨テープは常に新しい部分に入れ替えられ、研磨速度の低下を防止しているとともに、常にクリーンな状態が維持されている。また、研磨中は研磨部から発生するパーティクルがウェーハ表

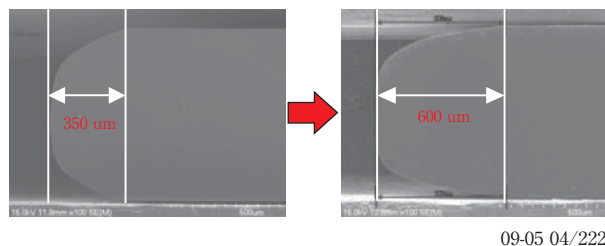


写真4 ベベル形状変更例
Photo 4 Example of bevel profile reshaping

面及び裏面に回りこまないよう多方向のノズルから超純水をかけてコントロールしている。

4-2 ノッチ^{*4}研磨

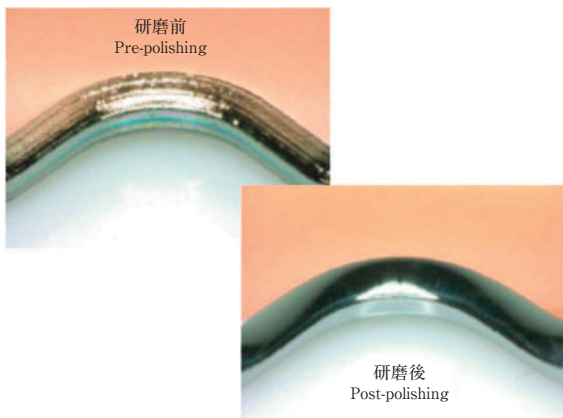
ウェーハベベル部に存在するノッチ部は、V字形の切り欠きに面取り処理が施された複雑な三次元的な面を構成している。当社では研磨ヘッドの角度制御に加え、テープ張力の制御により、この複雑な面を均一に研磨することを可能としている。ノッチ部研磨前後の状態を写真5に示す。

ベベル研磨、ノッチ研磨ともに、使用する研磨テープにはその研磨粒子や粒子の付与形態に数多くの種類が存

在しており、研磨対象物やその仕上がり要求レベルに合わせた選択も可能である。当社の研磨機構と使用する研磨テープの選択により、顧客の目的にフレキシブルに対応することが可能である。

4-3 トップエッジ・バックエッジ研磨

図8にウェーハの断面模式図を示す。ベベルと呼ばれるエリアは傾斜のかかった部分を指す。端面から2 mm程度の平らなエリアは実際の製品にはならないエッジエクスクルージョンと呼ばれ、不要な膜が複合的に不均一な状態で積層し、エッジビーズ（固着しビーズ状になった膜）になっている場合があり、そこから膜はがれが生



09-05 05/222

写真5 ノッチ研磨後の表面状態

Photo 5 Comparison between pre- and post-polishing notch surfaces

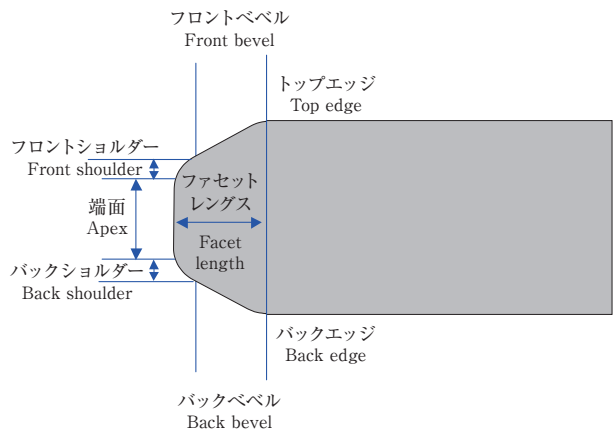


図8 ウェーハ断面模式図

Fig. 8 Schematic of water cross section view

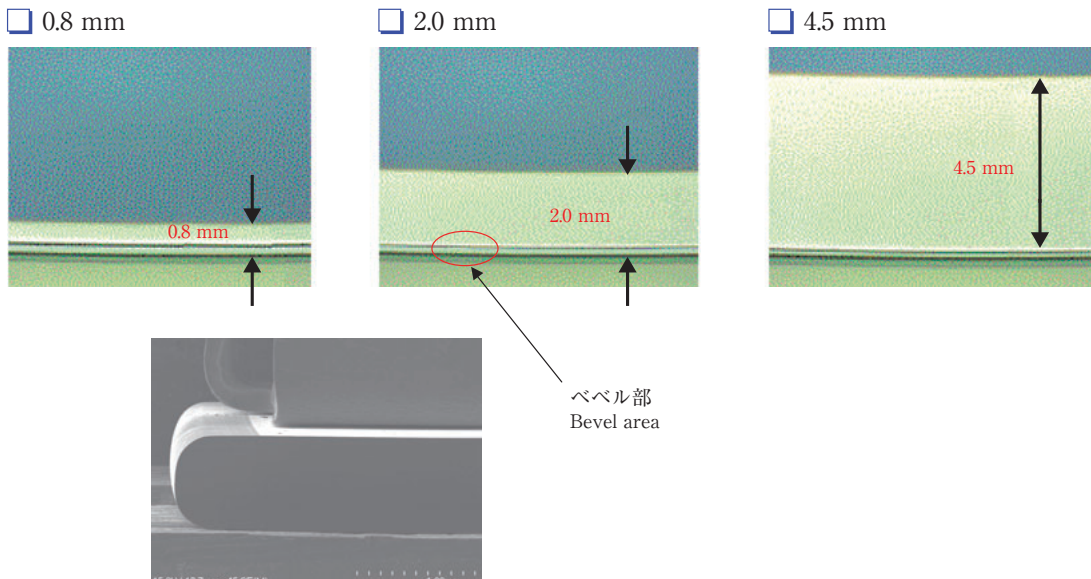


図9 トップエッジ研磨適用例

Fig. 9 Example of top edge polishing application

じ、製造工程で問題を引き起こすと言われている。また、裏面部には付着した余分な膜や付着物がウェーハの搬送時にはがれ落ち、他のウェーハにダメージを与える場合がある。

スピコートで塗布されたレジスト膜がトップエッジ部において、不均一な状態で積層することで、下地と十分な密着力が取れない懸念がある。場合によってはバックエッジ部まで回り込んでしまう可能性もある。それが液浸露光プロセスでは、スキャナヘッド上を高速で流れる液体によりはく離され飛散してしまう恐れがある。

従来はベベル及びノッチ部を研磨対象としていたが、前記のような顧客からの要求により研磨範囲を拡大し、このトップエッジ・バックエッジ部の研磨も対応可能にした。研磨方式はベベル研磨と同様に研磨テープで研磨する方式であり、研磨領域は任意に端面からの距離をコントロールすることが可能である。図9に研磨適用例を示す。

5. おわりに

当社のベベル研磨装置は、デバイスウェーハ用に開発された研磨テープを独自の研磨ヘッドと組み合わせることで、適用範囲の広いフレキシブルな装置となっている。

本装置の物理的な研磨機構により、ノッチ部を含むベベル部及び表裏面のエッジエクスクルージョンに残留する；

- ・基板ダメージ除去
- ・化学反応では除去が困難な物質
- ・化学処理後の積層膜の除去
- ・スラリーやケミカルの残さ（渣）物除去
- ・スピコートによるエッジビーズ除去
- ・ウェーハ裏面に付着した異物除去

などに対応可能である。

本装置は、既に先端デバイスの半導体製造プロセスにおいて採用され歩留まり向上に実績のあるプロセス装置であり（EAC300bi-T）、今後はより量産に特化した新型機（EAC300bi-hp）を市場に投入し更なるアプリケーションの開発及び生産性向上に寄与する所存である。

参考文献

1) (社)日本半導体製造装置協会, 半導体製造装置用語辞典 [第4版].

- ※1 SEMI：Semiconductor Equipment and Materials International 世界の主要半導体/フラットパネルディスプレイ製造装置・材料メーカーが所属する非営利工業会組織
- ※2 CMP：Chemical Mechanical Polishing system 化学的機械研磨装置
- ※3 ミニエンバイロメント：半導体が製造されるクリーンルーム全体を超高洗浄化するのではなく、シリコンウェーハを取めたカセットを密封して、工程内及び工程間移送することにより、局所だけを超高洗浄化するシステム
- ※4 ノッチ：半導体ウェーハのベベル部には基板の結晶方向の識別及び整列を容易にするためにウェーハ外周に設けられた切り欠き