

《ウェーハエッジ/ベベルの検査&トリートメントの最前線》

# 歩留り向上にエッジの管理は不可欠 最も効果的な導入ポイントを模索中

ITRSにウェーハエッジ/ベベルの検査が正式に記載されるなど、ウェーハエッジ/ベベルへの注目は日に日に高まっている。Cuプロセスなどを中心に導入が進みつつあるが、全体としてはまだまだ導入例は少ない。半導体メーカーも重要性は認識しているが、対費用効果などから導入をためらっているようだ。効果的な導入ポイントの明確化が必要になってきている。

## ITRSでもエッジ/ベベルの重要性を強調

半導体製造プロセスにおけるウェーハエッジ/ベベルの重要性については、以前より指摘されてきたが、2005年のITRSロードマップに正式に取り上げられたことから、急速に関心が高まった。同ロードマップでは、ウェーハエッジ/ベベルについて「ウェーハエッジとベベルの欠陥やプロセス上の問題は歩留りの問題になる。現在、ウェーハ裏面とウェーハエッジ/ベベルの検査は、十分な注意が払われているわけではない。それゆえ、欠陥検査の考え方や技術は、開発中もしくは数年内に実現すべきものとなっている。ウェーハ両面のエッジ、ベベル、先端部の根本的原因や検査方法を見つけることは、鍵となる挑戦である」(2005年版)としており、歩留り向上に欠かせない分野と位置づけている。

しかし、多くの半導体メーカーがウェーハエッジ/ベベルについて、非常に頭を悩ませている。それは、どこまでウェーハエッジ/ベベルを管理し、検査やトリートメントを行えば良いかが全くわからないためだ。

## どこまでクリーンにすれば良いか

半導体製造プロセスにおいて、ウェーハ表面のLSIが形成される領域については、非常にきめ細か

く管理されていたが、それ以外のベベルやエッジ、裏面などについては、ほとんど顧みられることがなかった。大きな転換点となったのが、300mmウェーハへの移行だ。300mmウェーハ導入初期、ウェーハ割れが頻繁に発生し、大きな問題となった。これは、Siウェーハメーカーから出荷される時点でエッジに欠けや傷などがあると、その後の半導体製造プロセスでウェーハ割れが発生してしまう。特に、ウェーハに高い負荷がかかるCMPや熱処理プロセスで多発した。当時は装置に問題があるとされていたが、詳細な調査の結果、その多くはウェーハに問題があることが判明した。半導体メーカーはSiウェーハメーカーに対し、従来以上のエッジの検査・ケアを要求した。これにより、ウェーハを起因とするウェーハ割れは激減した。

問題は解決したように見えたが、また新たな問題が発生した。ウェーハ割れまでには至らない微細な欠けなどからのパーティクルの発生や、エッジ/ベベル部に付着した残膜や副生成物からのパーティクルや汚染などがクローズアップされてきた。従来はさほど問題にはならなかったが、微細化の進展でこれらがキラー欠陥となる可能性が出てきたためだ。

エッジやベベルのパーティクルや残膜などが実際の歩留りにどの程度影響するかについては、まだ

表1 エッジ/ベベル部への検査要求

(出所：ITRS 2006 Update)

Year of Production	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2019年	2020年
Sensitivity ( nm ) without Speed Requirement at 50% Capture Rate	325	285	250	225	200	175	160	140	125	110	80	70
Sensitivity ( nm ) at 100 Wafer/h	1625	1425	1250	1125	1000	875	800	700	625	550	400	350
Defect Classes ADC	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tool Matching ( %Variation Tool-to-Tool )	10%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	3%	3%	3%
COO ( \$/300mm Wafer )	1	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7

□ Manufacturable Solutions are Known      ■ Manufacturable Solutions are Not Known

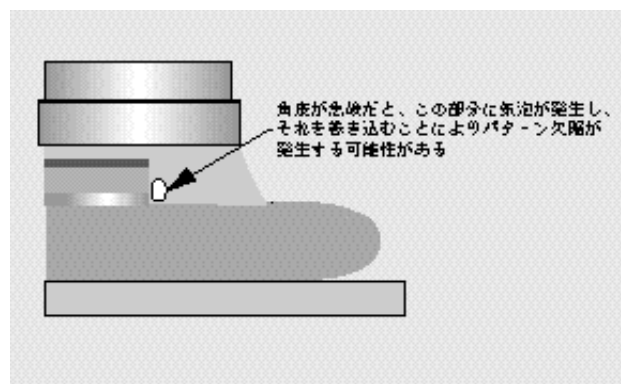


図1 液浸でのエッジ/ベベルの問題点

よくわかっていない。一部に歩留りが20%向上するという見方もあるが、歩留りは100%が上限であり、「20%も向上するという事は、よほど歩留りが低いこととなり、実際には考えにくい」(大手半導体メーカー)としていることから、現実的には5~10%程度とみられる。

どこまでクリーンにするかについては、様々な見方がある。例えば、酸化膜や窒化膜を成膜後、エッジ部をトリートメントした場合、LSIが形成される部分には膜が存在し、エッジ部の膜が除去されると、そこには段差が生じることになる。この段差がエッチングなどプラズマを使用するプロセスで、アーキング(異常放電)を発生させる恐れがある。アーキングは従来から発生しているが、平面に比べ角の部分でより発生しやすい。アーキングによるプロセスのばらつきやダメージなども懸念される。

また、Si面が絶えずむき出しになっていることが果たして良いかについても、確定していない。様々なプロセスを経ることにより、むき出しのSi面にダメージが蓄積されることにもなり、それが何らかのきっかけで、破壊につながる可能性もある。さらに、様々な膜とSiは熱膨張係数が異なる。熱処理時には、Siと膜はそれぞれ収縮(もしくは膨張)するが、ベベルを含むウェーハ全面に成膜されていれば、収縮はそれぞれで相殺されることになる。しかし、エッジ/ベベル部から膜を完全に除去すると、LSI形成部とエッジ/ベベルの収縮が異なるため、そりが生じる可能性がある他、それが著しい場合、ある特定の部位に応力が集中し、ウェーハが破壊されることもあり得る。

#### 液浸プロセスでの問題点

現在、hp45nmプロセスへの導入を目指し、各半

導体メーカーは液浸リソグラフィ技術の開発を急ピッチで進めている。各露光装置メーカーからは本格量産に対応した液浸露光装置の出荷を開始している。ハードウェアだけでなく、レジストなどインフラも整いつつある。しかし、エッジが液浸リソグラフィで大きなネックとなりつつある。液浸リソグラフィでは、レンズとウェーハの間に液体を流すことで、NAを向上させ、空気中では不可能なNA1.0以上を実現させている。しかし、LSIの形成領域の最も外側に位置する部分を露光する時に、純水がレジストなどを巻き上げる現象が起きるとされている。

さらに、エッジ/ベベル部をトリートメントしている場合、前述のようにLSI形成領域とエッジ/ベベル部の間に段差ができる。この角度が急峻だと、液浸リソグラフィで水をスキャンさせた時に、段差部で気泡(バブル)が発生しやすくなるという。このバブルを取り込みパターン欠陥が生じる可能性がある。エッジ部まで膜が残っていた方が、膜の巻き上げや段差によるバブルの発生は起こりにくい。一方、エッジ/ベベル部に残膜があると、それが純水に溶解しレンズを汚染することも考えられる。

このように、エッジ/ベベル部をどの程度管理すれば良いかは不透明であり、半導体メーカーも決めかねている。エッジ/ベベルの検査やトリートメントには、専用の装置が必要で、コストやTATに大きく影響する。プロセス全体を通して、どのポイントで検査やトリートメントを行うことが最も効果的かについて、詰めていくことが必要となる。

#### エッジ/ベベル検査にKLAが参入

エッジ/ベベルの検査およびトリートメント装置の動向を見てみよう。検査装置に関しての最近のトピックは、2006年10月に米KLA-Tencorがウェーハエッジ検査装置への参入を発表したことである。買収した米Candela InstrumentsのOSA(Optical Surface Analyzer: 光学表面アナライザ)技術を用いている。スポット径5 $\mu$ mのレーザーでエッジをスキャンし、4つの手法(散乱光、反射光、位相シフト、トポグラフィ)を組み合わせることにより、微細なパーティクル、汚れ、剥離膜などを高い精度で捕捉する。また、エッジの背景ノイズは、信号強調ルーチンとフィルタリングルーチンによるルールベースの欠陥分類ソフトで除去する。スループットについては、300mmウェーハで20~30枚/hとな

っているが、検出サイズなどにより大きく変動し、実質的には数～10枚/h程度になる模様。半導体製造プロセス向けでは圧倒的なシェアを持つKLAの参入は大きなニュースとなった。同社が新市場に参入する目安としては、市場規模が500億円以上になる可能性がある市場とされており、同社の参入はそれだけポテンシャルがあるとの裏づけともなる。

Siウェーハ向けエッジ検査で最も実績を持つレイテックスは、半導体製造プロセス向けについても他社に先駆けて開発を進めてきた。すでに、半導体製造プロセス向けエッジ検査装置「EdgeScan PLUS」を投入、多数の納入実績を有している。EdgeScan PLUSでは、半導体製造プロセス向けに高感度化した他、SEMと連携することで、解析の強化に取り組んでいる。同社では独自開発したレーザー検査技術を用いており、高スループットを特徴としている。ほとんどのパーティクルや欠陥、残膜などはレーザーで捕捉できるが、より詳細に解析したい場合はSEMで観察することで、より正確に製造プロセスへのフィードバックを実現する。

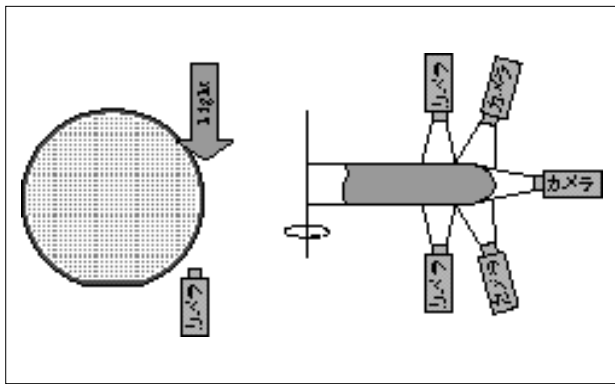


図2 CCDカメラを用いたエッジ検査技術

一方、大倉インダストリーは、独自のレーザー顕微鏡を用いたウェーハエッジプロファイル計測装置「EPM-300」を開発した。コンフォーカル光学系を採用することで、高精度な形状測定を可能にした。また、理想研磨プロファイル自動生成機能を搭載し、研磨前のエッジプロファイルデータからユーザーの指定する条件下での最適プロファイルを自動計算するプログラムを作成するため、ユーザーは希望する条件を入力するだけで最適なレシピを作成できる。現在、検査速度の高速化に取り組んでおり、オフライン検査だけでなく、インライン検査も狙っている。

コベルコ科研は、レーザー干渉計によりエッジ付近のウェーハ表裏面形状を、非接触・非破壊で同時に計測するエッジロールオフ測定装置を開発している。リソグラフィやCMPプロセスで歩留りに影響するエッジ付近のウェーハ形状のコントロールや、ロールオフ値の検査などに用いられている。また、これまで破壊検査でしか測定できなかったノッチ形状を非接触・非破壊で測定できるノッチ断面形状測定装置も開発した。

米Rudolph Technologiesは、光学式画像処理技術を用いたエッジ検査装置「E25」を提供している。高解像度のカラー画像を取り込み内部処理することで、欠陥箇所のレビューと検査を同時に行うことが可能だ。クラックや傷だけでなく、色のばらつきや膜剥離なども検出できる。さらに、豊富な実績を持つADCと組み合わせることで、最適なエッジ/ベベルの管理手法を提供する。

トリートメントは新方式での参入が多数  
トリートメントには、研磨（CMP、テープ）、エッ

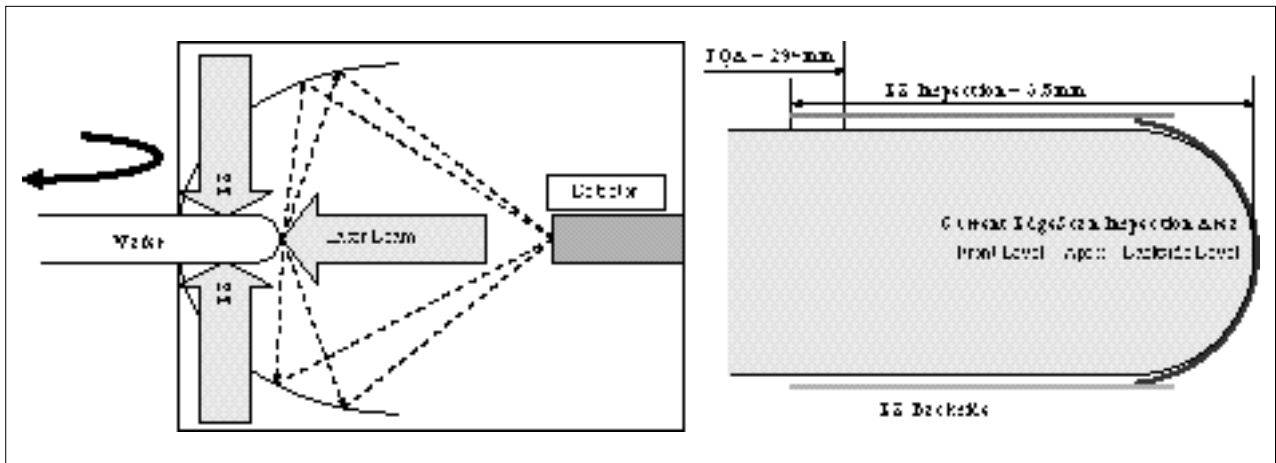


図3 「EdgeScan」のレーザー構成（左）と検査可能領域（右）（出所：弊誌別冊「2007 半導体工場・装置・設備」）

チング(ドライ、ウェット)などの方法がある。

ドライエッチングで最も実績を持つのが、韓国 Sosulだ。同社の「プラズマベベルエッチャ」の特徴は、ベベル全体と両面エッジをマスクが不要で、ベベル全体と両面エッジの残膜のみを除去できることだ。一般的にドライエッチングはFEOL向けが多く、研磨方式はBEOL向けが多いとされているが、日本での販売を担当するファーストゲートによると必ずしもそうとは言い切れないという。累計で約70台を出荷しているが、ロジック系のユーザーのBEOL向けの方が多いという。また、SEMICON Koreaで、新型チャンバを発表した。RF2周波を使用し、選択性を向上させた他、スループットも90枚/hから110~120枚/hまで引き上げている。これまでは、韓国から装置を輸入販売していたが、本格的な拡販に向け、日本でも生産を行うことを決定した。そのため、Sosulと合弁会社を設立した。チャンバの主要部品は韓国から輸入するが、それ以外についてはできるだけ日本製の部品や部材を使用することで、品質向上とコストダウンを図る。

研磨方式では、CMP方式やテープ研磨方式がある。CMP方式では、スピードファムやBBS金明などが手掛けている。スピードファムの「EPD-300-X/200-X」は、独自のX型研磨技術より3面同時研磨を実現している。高速回転するウェーハに、反対方向に設置された上下ベベル用の2種類のパッドホルダを押し当てて前後させる他、先端部は先端部用のパッドホルダをウェーハに押し当てて上下させる。この一連の動作を同時に行うことで、3面を同時に研磨する。さらに、膜種の異なる多層膜でも一気に除去しダメージフリーで処理することが可能だ。また、同社ではノンスラリータイプの研磨装置の開発も進めている。純水をメインとしたものになる模様だが、3面同時研磨や一括全層研磨などの基本コンセプトは踏襲するとしている。

BBS金明の半導体製造プロセス向けエッジ研磨装置「e-CMP200/300」は、研磨箇所に応じて専用の研磨モジュールを搭載している。上下ベベル、トップ(端面)、Vノッチ(VN)に対応する研磨モジュールにより、順番に連続処理を行う。各モジュールは連続して絶えず処理を行うため、待機時間を最小限に抑えている。同社もノンスラリータイプを計画しており、固定砥粒も含め、様々なノンスラリー研磨技術を検討している。

荏原製作所は独自のテープ研磨技術によるエッジ研磨装置を開発した。純水のみを使用し、スラリーは使用しないため、ウェーハ表面をメタルコ

ンタミから保護する他、ウェーハ表面への純水をコントロールすることで清浄度を保つことができるという。また、ベベルやノッチ部のプロファイルコントロール機能により、多様なベベル形状に対応する。また、SiNなどの化学的に安定した膜に対しても高い研磨レートを得ることができる。

新しいトリートメント方法で市場に参入を目指す企業も出てきている。東京精密は、業界で初めてガスの燃焼を用いた常圧の化学分解反応手法によるウェーハエッジクリーニング装置「Habanero」を開発した。H<sub>2</sub>ガスをベースに複数のエッチングガスを添加して燃焼させ、この炎をウェーハエッジやベベル部に当てることにより、付着しているレジストやポリマー、膜を除去するもの。炎を生成するノズルは固定で、ウェーハを移動・回転させることで、ウェーハ全周のクリーニングを行う。1枚当たりの処理コストは100円以下(300mmウェーハ)という低コストを実現している。

大日本スクリーン製造は、ブラシスクラブ方式のベベル洗浄装置「SS-3000BC」を発表した。洗浄ブラシを高精度に駆動・制御することで、薬液洗浄では困難とされるベベルの汚れを除去できる他、洗浄幅を容易に変更できるのでばらつきが大きいベベル部の形状に柔軟に対応できるという。ウェーハを研磨することなく、汚れを除去できるので、コスト削減と生産性の向上を両立できるという。さらに、溶剤や薬液などを使用しない、純水のための洗浄方式のため、環境保護にも配慮した装置という。

製造プロセス全体を考慮した導入が必要に

半導体製造プロセスにおけるウェーハエッジ/ベベルの検査やトリートメント装置の導入は、まだスタートしたばかりだ。対費用効果もまだ明確ではないため、半導体メーカーも採用に二の足を踏んでいる。ウェーハのエッジ/ベベル部へのダメージや汚染、パーティクルの付着は搬送時でも大きな問題となる。FOUPやカセット内で、エッジにダメージが加わり、その後のプロセスでトラブルが発生することもある。逆にエッジの残膜などがFOUPやカセットの側壁に付着することで、汚染が広がる可能性もあるためだ。

このため、プロセス単体だけでなく、搬送も含めた半導体製造プロセス全体で、どのポイントに検査やトリートメントを導入することが最も効果的かを判断する必要が出てきている。

(成沢 誠)