



新型エッジプロファイルモニターによる測定技術

シリコンウエハーのエッジ形状（ウエハーの円周部の断面形状）をより厳密に管理することが必要になってきている。半導体製造プロセスの歩留まりに影響を与える要因が、エッジ形状と密接に関係することが徐々に明らかになってきたためである。ウエハーの大口径化やデバイスの高集積化に伴い、形状管理においてより一層の高精度化が求められる一方で、従来のウエハーメーカーの出荷前検査だけではなく、ウエハー製造プロセスで工程管理に使用できる装置が必要とされるようになってきた。

当社のエッジプロファイルモニター（製品名称：LEP）はこれまで多くのウエハーメーカーで品質管理のための測定機として採用されてきた。本稿では、このたび設計を一新した新型LEPの測定技術について紹介する。

従来型LEPから新型LEPへ

E-1

シリコンウエハーの円周部分のエッジ形状と円周部切欠きのノッチ形状の管理は前述のとおり品質管理や工程管理の上で重要視されているが、国際規格等で厳密に定められているわけではない。SEMI（Semiconductor Equipment and Materials International）-M1-0298規格では、エッジおよびノッチについてはそれぞれテンプレートに適合するように規定されているものの、最適な形状についてはデバイスメーカーとウエハーメーカーの間で個別に決められているのが現状である。

一方で、エッジ形状を測定する規格としては、SEMI-MF-928-0305規格がある。この規格に定められている非破壊検査法は、ウエハーエッジに平行光束を照射し、エッジの影をスクリーンに投影、またはTVカメラを用いてモニターに写し出してテンプレートと比較して検査する方法である。従来型LEPの測定方法はこの規格を採用したものである。

ところで、この測定方法においては、投光側としての平行光束の平行性、受光側としてのカメラレンズの測定精度等が測定性能に大きく影響する。従来型LEPの発売以降、現在までに、これらの光学系に活用できる周辺技術は大きく進歩した。画像処理においても、コンピュータの処理能力の高速化により複雑な画像処理が非常に短時間で処理できるようになってきている。

また、各ユーザーからは測定に関しての多種多様のニーズが寄せられてきたが、当初からのシステムの互換性を保ちながらこれらの要望に応えるには限界があった。従来型LEPで確立した市場における優位性を今後も継続するためには、LEPの新規開発は不可避の状況となっていた。そこで、この度新型LEPの開発に着手した。開発においては、従来のLEP製造販売で蓄積されたノウハウをつぎ込み、さらに最新の周辺技術を取り入れた。

測定システムの構成

E-2

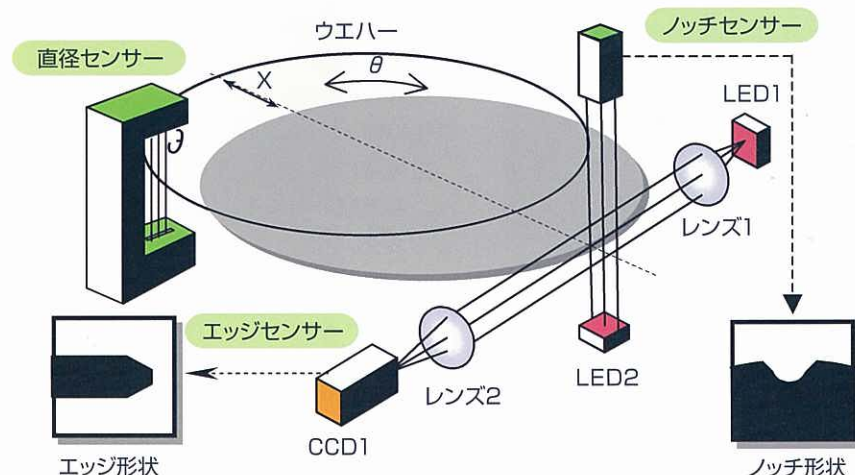
基本構成

新型LEPでは、従来機の基本的な測定原理を踏襲した上で、さらに機能向上を目指している。

第1図は、測定システムの構成を示したもので

ある。

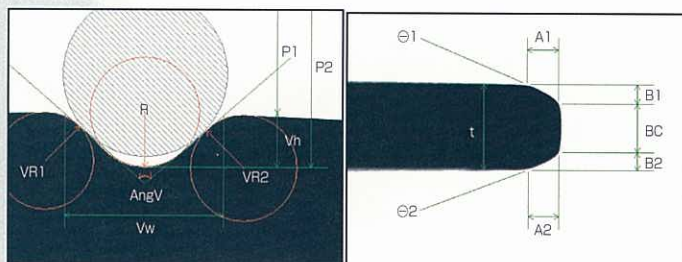
測定システムは、ウエハーの直径を測定し、ノッチ位置の検出とセンタリングを行うための直径センサー、ノッチ形状を測定するためのノッチセンサー、エッジ形状を測定するためのエッジセンサーを具備する。



第1図 測定システムの構成

測定手順

ステージ上に載せられたウエハーに対しては、まず、直径センサーによる測定を行う。



第2図 ノッチ測定画像例(左)・エッジ測定画像例(右)

ウエハーをステージ上で回転し、直径センサーでウエハーエッジの位置を測定し、ウエハーの輪郭形状を測定する。輪郭形状の計算により、直径の測定、ノッチ位置の検出とセンタリングを行う。その後ノッチ測定を行う。センタリング後、ノッチ部をノッチ測定光学系に移動する。ノッチ部の下方からLEDで参照光を投光し、上方のカメラでシルエットを撮影し、画像処理で形状の測定を行う。

同様に、その後エッジ測定を行う。予め設定したエッジ測定角度までステージを回転させ、水平方向から参照光を投光し、カメラで撮影し、画像処理で形状の測定を行う。設定したエッジ測定角度が複数の場合は、測定を繰り返し行う。

第2図にエッジとノッチの測定画像例を示した。

E-3

新型LEPの特長

測定原理は基本的に従来機種と同等ながら、新型LEPには、大きく2つの特長がある。光学系、画像処理系の一新による測定精度の向上と、新しいユーザーインターフェースの採用による操作性の向上である。

SEMI規格に基づく平行光束を照射する手法においては、投光側、受光側それぞれについて高度な平行性が求められる。光束の平行性を高めるには光源を可能な限り点光源に近づければよい。しかし、エッジ形状の測定のように、平行光束の光路に沿って平行平面、すなわちウエハーの上下面が続くような測定対象の場合には、多くの干渉縞が発生するという問題が生じ、測定精度に影響を与えていた。そこで、新光光学系においては、光束の平行性を高める一方で、干渉縞を可能な限り削減するために光源の波長と大きさを最適化することで、測定誤差を軽減することに成功した。また受光側にもウエハーエッジからの不要な散乱光を除去する改善を施した。平行光束はウエハーの上下面によって微小な散乱を受け、これらの散乱光を全て結像に用いてしまうと、シルエットの輪郭がクリアではなくなりボケが生じることとなる。

新光光学系ではテレセントリック光学系（入射光のうち平行光束のみを結像に使用する光学系）を採用することで、エッジのボケを小さくし、測定精度を向上させた。

新規光学系の効果を第3図において説明する。

第3図は実験的に光量を落とし、干渉縞とボケを観察しやすくしたエッジ撮影画像である。左が従来光学系、右が新光光学系の画像である。

図の下側のグラフは、点線で示したエッジ輪郭部の輝度変化を示したものである。縦軸は矢印で示した矩形部分の位置座標で、画像上での垂直方向に対応する。横軸は画像の輝度であり、8ビット256階調で表している。

例えば、左の画像において、エッジの輪郭部分には明るい輪郭の周りに数本のやや暗い干渉縞が見られる。これは矩形部分を上方向から追っていくと最初は暗く（輝度0）その後、明るくなり輝度がピークとなり、さらに明暗を繰り返すというプロファイルを描くが、グラフにはその状態が表されている。

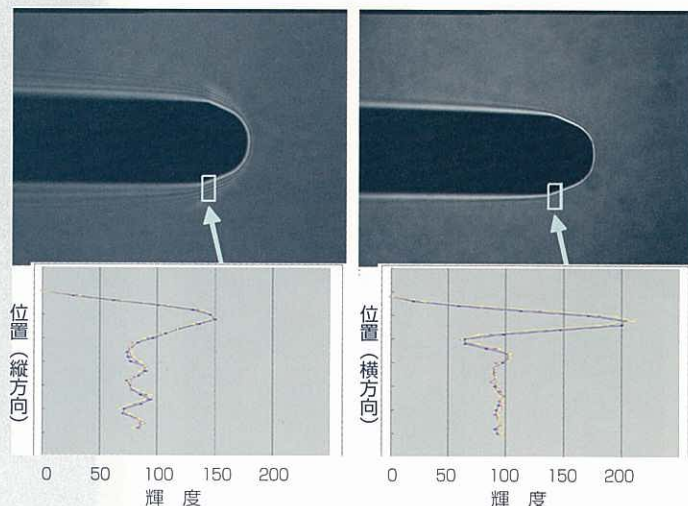
左右のグラフを比較すると見ると、輝度ピークの下側、すなわち、エッジ輪郭外側の回折縞が、新光光学系ではほとんど除去されていることがわかる。また、エッジ輪郭の立上り立下りの傾斜が新光光学系では急峻になっており、従来光学系に比べてボケが低減されていることがわかる。

これらの効果によって、新光光学系では繰り返し精度の向上を実現した。

撮像系にはメガピクセルサイズのカメラを用いた。画素数の増加によって物理的な分解能が向上しており、これも繰り返し精度の向上に寄与している。なお、画素数の増大とともに処理データも増加したが、データ処理速度の向上により測定時間は従来機と同等レベルを維持している。

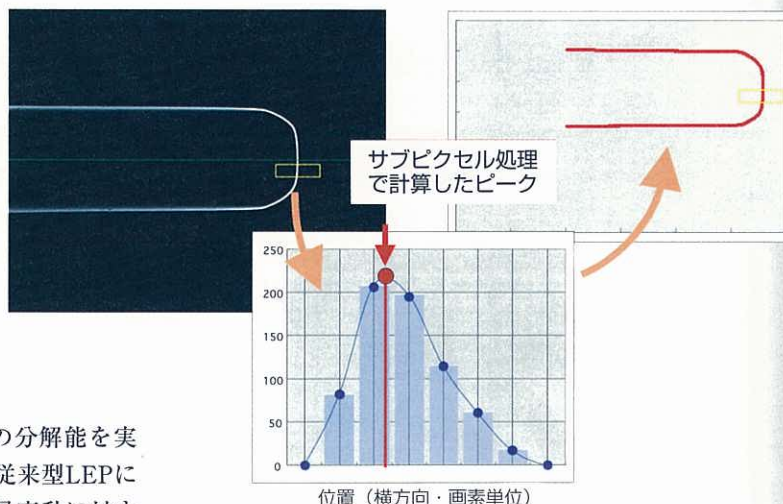
画像から輪郭を抽出するアルゴリズムにも従来と異なる方法を採用した。

第4図はエッジの輪郭計算処理手法を説明した図である。



第3図 従来光学系(左)と新光光学系(右)の比較

第4図の左上の画像は原画像を微分処理してエッジ輪郭部分を強調したものである。下のグラフは横軸を画像中の位置とし、縦軸を輝度としたものである。画像の輝度情報は図中の棒グラフのように離散的なものであり、このままでは画素単位の分解能しか得られない。そこで、輝度分布情報に基づいてピーク点を計算するサブピクセル処理を行い、輪郭位置の特定において画素分解能の10から数10分の1の分解能を実現した。このように新型LEPでは、従来型LEPに比べて微分処理を採用することで光量変動に対する安定性を向上させている。

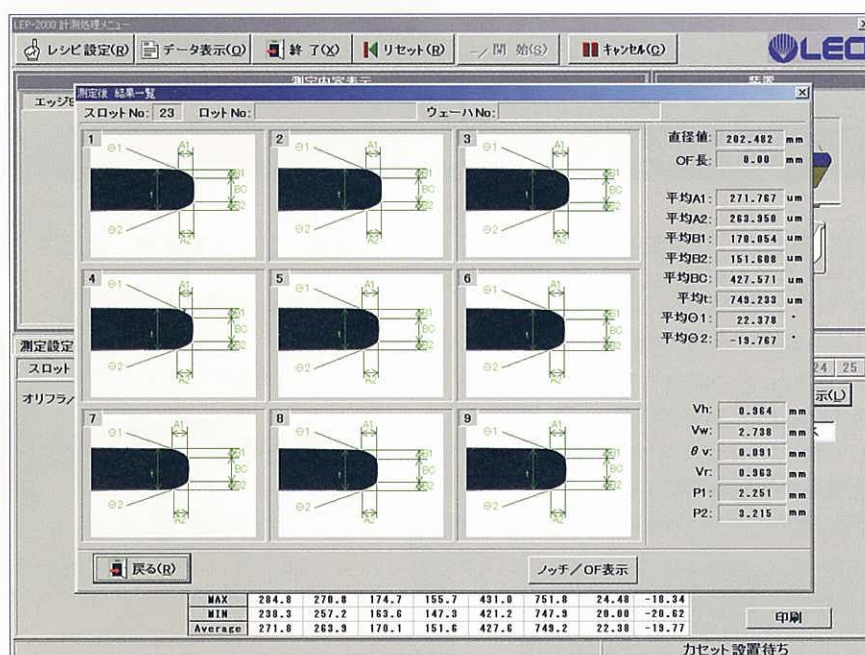


第4図 エッジ輪郭計算処理

また、ユーザーインターフェースには当社ソフトウェアシステムと同じインターフェースを採用し、ソフトウェアと同時に使用する場合であっても違和感の無い操作性を実現するとともに、システムとしてソ

ータとの融合を容易にしている。

例えば、第5図のように、測定後に各測定画像をレビューし、エッジ形状を視覚的に任意にモニタリングすることが可能となった。



第5図 測定画面の一例

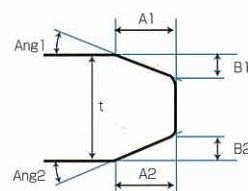
測定精度

エッジを測定した測定精度の結果例を第1表に示す。右表は従来光学系による測定結果¹⁾、右表は新光学系による測定結果で、いずれも10回測定した標準偏差(σ)である。項目によって異なるが、概ね5倍程度以上に繰り返し精度は向上していることがわかる。

新型LEPは従来型LEPの基本性能はそのままに、測定精度の向上と、使い勝手の向上を実現している。新型LEPが従来型LEP以上にウエハー製造プロセスで工程管理に役立つことを期待したい。

[LEO事業本部 赤松 勝]

第1表 測定精度の結果例・従来型(左)・新型(右)



従来型

	σ
A1	1.6 μm
A2	1.5 μm
B1	5.3 μm
B2	5.1 μm
t	1.6 μm
Ang1	0.1°
Ang2	0.1°

新型

	σ
A1	0.3 μm
A2	0.2 μm
B1	0.2 μm
B2	0.3 μm
t	0.1 μm
Ang1	0.03°
Ang2	0.02°

1) S.Sumie et al.:
Electronic Parts and
Materials, Vol.36,
No.8, p.111(1997).