

B 半導体ウエハ向けエッジ形状および直径測定装置新型LEP-3200FEの開発

半導体素子の高性能化がますます進展していく中で、その主要部材であるシリコンウエハには高度な形状制御が求められている。素子サイズに直結するウエハ表面の平坦性をはじめ、ウエハのエッジ部に至るまで、細かく仕様が定められている。このような形状制御に向け、その計測技術にもさらなる高精度化への要求が高まっている。

当社はウエハエッジ部形状の計測ニーズに対応すべく、独自の計測手法を開発し、1993年よりエッジプロファイルモニタ(以下LEP)として販売してきた。シリコンウエハの製造はもとより、半導体デバイス製造の上流工程にいたるまで、エッジ計測の標準機として、その品質管理に欠かせないものとなっている。

当社LEPは高いスループットと測定精度に特徴を有するが、半導体素子のさらなる微細化進展に対し、これまで以上の性能が求められてきている。これら市場のニーズを踏まえ、性能向上に取り組み、新たに開発したLEPについて紹介する。



LEO事業本部 技術部

ふるた ようへい 古田 洋平

(株)神戸製鋼所 技術開発本部 応用物理研究所

にしやま こうへい 西山 功兵

(株)神戸製鋼所 技術開発本部 応用物理研究所

かわらだ たかお 川原田 喬生

B-1 シリコンウエハのエッジについて

近年の半導体素子の微細化・高集積化にともない、エッジ形状の検査はその重要性が一層増している。シリコンウエハのエッジ部には、プロセス中の搬送による欠けを防ぐための面取りと、結晶方位を示すためのノッチと呼ばれるV字型の切り欠きが存在する。第1図にシリコンウエハとそのエッジ部の概略図を示す。このような形状の検査が重要視される主な理由は以下の3点である。

1つ目は、エッジ形状、特に面取り幅によっては、エッジ近傍に成膜した材料が液浸リソグラフィ時に剥がれやすくなり、パーティクルとなって飛散することでデバイス面を汚染し、歩留まりに大きく影響を与えることである。¹⁾

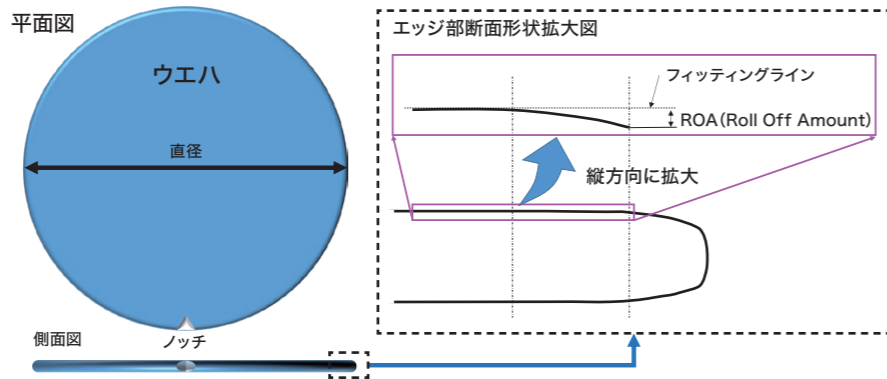
2つ目は、エッジの幅が長いほど、Roll Off Amount(以下ROA)と呼ばれる、エッジ近傍領域の意図しない厚さの減少量が大きくなることである。ROAは、ウエハ面の平坦度悪化要因となる

ため、露光の際に大きく歩留まりに影響を与えることが分かっており、微細化の進展により一層の低減が求められている。²⁾ ROAを低減する方法は各社で模索されているが、数百ミクロン以下のオーダーでエッジ部を削って直径を制御する技術がある。

3つ目は、シリコンウエハのエッジ形状は、SEMI-M1-0298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いるものの、実際はデバイスメーカーごとに規格を持つためさまざまな形状が存在しており、形状ごとに上記歩留まり悪化要因を管理しなければいけないことである。

以上のことから、ウエハメーカーは、デバイスごとにエッジ形状の異なるウエハについて、ROA等の歩留まり悪化要因を管理・低減しながら製造する必要がある。そのためには、エッジ形状と直径値の管理が重要となる。

第1図 シリコンウエハとそのエッジ部の概略図



B-2 開発の目的

上記のような多種にわたる形状管理のためには、精密な測定が重要である。加えて、24時間操作のユーザにとって、メンテナンスによる装置休止時間を低減することも重要な課題となっている。

当社では、さまざまなエッジ形状に対する測定精度向上、測定値機差改善、装置休止時間低減および直径測定の精度向上を目標に新型LEP-3200FEを開発した。現行型LEP-2000シリーズと新型LEP-3200FEのSPEC対比表を第1表に示す。ここで本稿で

は、精度を併行精度(Repeatability)として定義し、10回測定の標準偏差(σ)で評価している。機差については、測定値の装置間差の許容値(Tolerance)のこととし、同機種間でも発生する個体差として定義している。

以降の節では、新型LEP-3200FEの測定原理、装置構成・測定システムの概要を示し、その後、それぞれの性能向上のために行った改良点の一部を紹介する。

第1表 LEP-2000シリーズとLEP-3200FEのSPEC対比表

Measurements		Repeatability (σ)		Tolerance		unit	
		LEP-2000Series	LEP-3200FE	LEP-2000Series	LEP-3200FE		
Edge	Length	TypeA, B	1.0	0.5	6.0	3.0	μm
		TypeC	2.0	1.0	6.0	3.0	μm
	Angle	0.1	0.05	0.60	0.30	degree	
	Radius(R)	5.0	2.5	-	-	μm	
	Thickness	0.5	0.25	3.0	1.50	μm	
Notch	Length	2.0	1.0	-	-	μm	
	Angle	0.1	0.05	-	-	degree	
	Radius(Vr)	5.0	2.5	-	-	μm	
Diameter		3.0	1.0	-	-	μm	

B-3 エッジ形状の測定原理

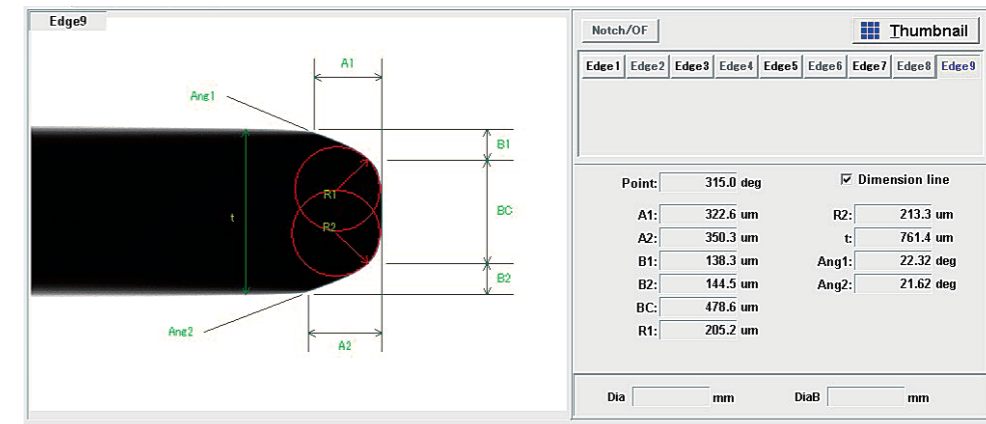
現行型LEPのエッジ形状測定原理は、投影法をもちいた非破壊検査方法を採用している。この方法は、半導体製造に係る国際工業規格であるSEMI-MF-928-0305規格を元に、当社独自に開発したものである。装置の構成については次節で説明するが、その特徴は、高精度であることに加え、エッジ形状測定に対し高いスループットが期待できることである。実際の測定結果の例を第2図に示す。測定結果には、エッジ部の厚さ、面取り幅、面取り深さなどが含まれる。

他に考えられるエッジ形状の測定原理として、触針式形状測定

やSEMによる断面画像取得、光切断法などがある。しかし、触針式形状測定やSEMではスループットが下がってしまううえ、破壊検査になってしまうため出荷検査では使用できない。また、一般的な光切断法では、鏡面の測定対象物の測定を苦手としており、エッジ部の曲率が大きいものに対しては使用できないなどの問題がある。

上記の理由により、新型LEP-3200FEでも現行機と同原理を踏襲する形となるが、より高性能の装置を目指すには、各測定部のブラッシュアップが必須である。

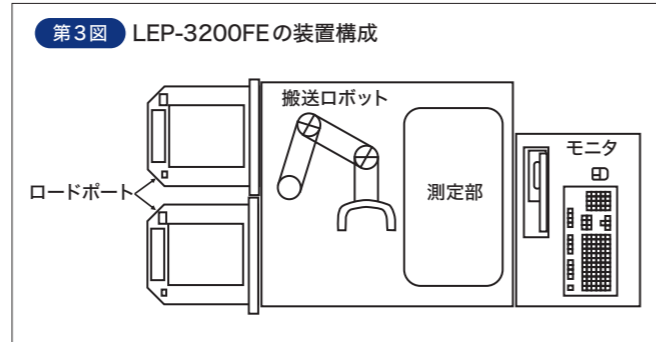
第2図 測定結果の例



B-4 装置構成および測定システムの概要

4.1 装置構成

第3図に新型LEP-3200FEの装置構成概要を示す。本装置筐体は、外部からカセットをロードアンロードするためのロードポート2基を外装部に備え、主にロードされたカセットと測定部にウエハを搬送するための搬送ロボット部、測定システム部を内蔵する構造となっている。制御モニタについては、専用の可動式ラックを用意し、設置スペースの形状によって、位置を変更できる仕様となっている。

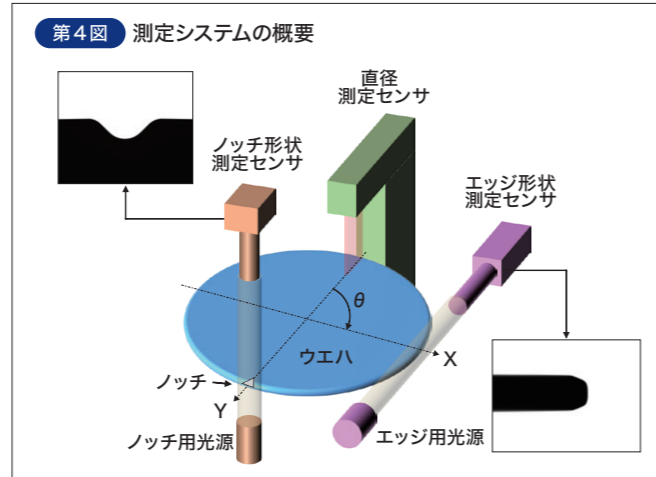


4.2 測定システム部

第4図に測定システムの概要を示す。新型LEP-3200FEの測定システムは主に、エッジ形状測定センサ、ノッチ形状測定センサ、直径測定センサの3つのセンサ部によって構成されている。

ロボットによりカセットから測定部に搬送されたウエハに対して、まず、直径測定センサ部でセンタリング(回転ステージの中心とウエハの中心を一致させる動作)を行い、直径測定を実施する。

その後、測定レシピに従い、エッジ形状・ノッチ形状測定を実施する。エッジ・ノッチ形状測定センサは、ともに産業用カメラ、レンズ、光源からなる。ウエハのエッジ部に光束を照射し、ウエハ断面のエッジ部を2次元の撮像素子上に結像することで、そのデジタル画像を取得する。パソコン上で、取得した画像に対してエッジ形状処理を行い、各寸法を計測する。

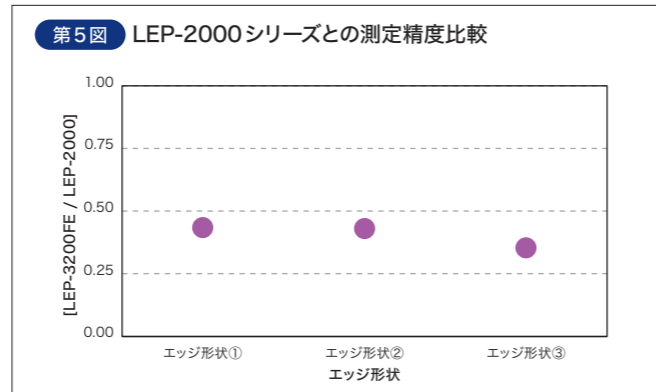


B-5 開発の取り組みと、測定システムの変更点

5.1 エッジ形状測定精度の向上

本装置では、高精度化のために、エッジ・ノッチ形状センサの撮像素子の解像度を向上すべく、カメラを高画素のものに更新した。カメラを更新することで、レンズ倍率を上げることなく、ボケに対する影響を最小限に留めたまま分解能の向上を図り、精度向上に成功した。

第5図に現行LEP-2000シリーズとの精度の違いを示す。新型LEP-3200FEの測定精度が半分以下となっていることがわかる。

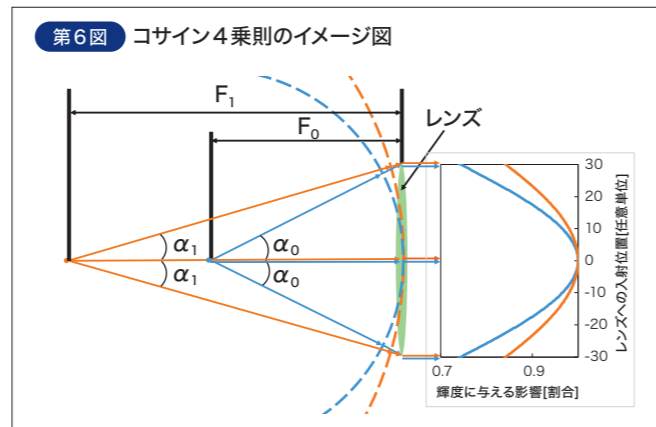


5.2 エッジ形状測定値機差改善

エッジ測定値機差改善のために、エッジ形状センサに搭載している光源の高品質化を行った。

この光源は、大きく分けてLEDとレンズからなる平行光学系からなっており、放射される光の面内における輝度分布が、エッジ画像に歪を生む要因となる。このことが、機差につながる。

面内輝度分布を悪化させる要因の一つとして、コサイン4乗則が考えられる。コサイン4乗則とは、レンズへの入射角を α としたときに、 $\cos^4\alpha$ の割合で輝度が低下する現象のことである。コサイン4乗則のイメージを第6図に示す。LEP光源の平行光は、点光源をレンズの焦点位置に置くことで作っており、 $\cos^4\alpha$ の値を限りなく1に近づけようとする、焦点距離を図中 F_0 から F_1 とするように大きくとることで、入射角 α を小さくすればよい。しかしながら、装置の



大きさに制限があることと、点光源を遠ざけることでカメラが受ける光量が下がってしまうという制約がある。それら制約の中で、レンズとLEDを新たに選定することで、50%以上の輝度分布改善に成功した。

5.3 装置休止時間の低減

エッジ形状測定ユニットの受光部と光源については、前項までに説明したが、これらは光源の光軸に平行な直線上に、光源、ウエハ、受光部の順番で配置されている。エッジ形状を正確に取得するためには、光軸に対するウエハ表面の平行度が重要となる。測定原理が投影法であるため、ウエハと光軸が平行であればあるほど、撮像される断面の射影は真の断面に近似するからである。

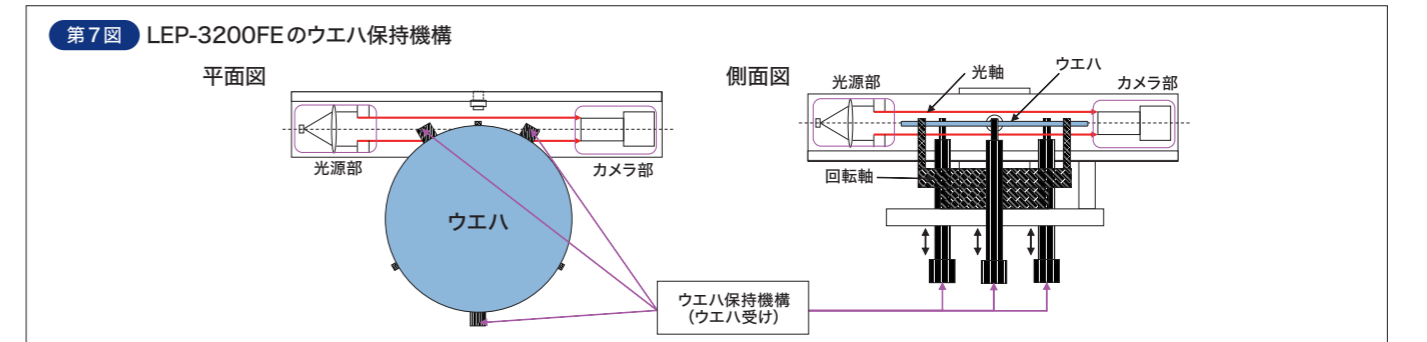
ここで、ウエハの保持機構について説明する。現行型2000シリーズでは、ウエハの表面が光軸に平行になるように手で調整された樹脂製の台(以下ウエハ受け)の上に置いて測定を実施していた。しかし、シリコンをはじめとする半導体材料に対してウエハ受けは柔らかく、測定を重ねると摩耗し、平行度が下がってしまうことで測定値が変動してしまうケースがある。また、ウエハ受けの材質を、例えばセラミックのような摩耗しにくいものにする、今度は検査すべきウエハを傷つけてしまうことになる。そこで新型LEP-3200FEでは、

ウエハ受けの材質をそのままに、摩耗量によって高さの電動精密調整を可能とする構造とした。新しい保持機構の概要を第7図に示す。校正ウエハに対して、測定値が基準値に近づく位置となるよう、ウエハ受けの高さを自動調整できるようにすることで、測定値の変動を抑えることができ、メンテナンスによる装置休止時間の低減が期待できる。

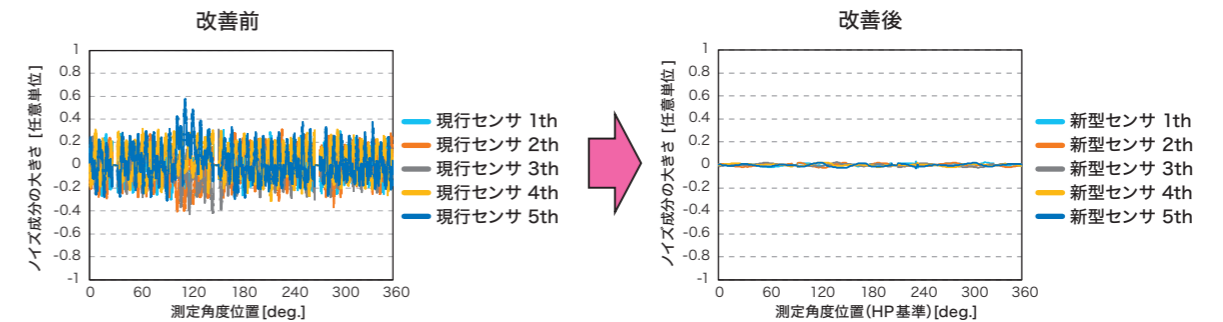
5.4 直径測定精度の向上

直径センサ部は、変位センサと、ウエハを平面方向に動かす直動軸および回転軸の搬送機構からなる。変位センサは、ウエハの径方向に測定範囲を持ち、ウエハを回転させながらエッジの先端位置を検出することで測定を行う。直径測定における精度を左右する要因は、変位センサ自身の精度と、変位センサ測定範囲方向の剛性にある。

精度向上は、高精度な変位センサの採用と、搬送機構の剛性強化により実現した。改善の結果を第8図に示す。この図は、ウエハ円周上の端部検出位置に重畳するノイズの大きさをプロットしている。左図が改善前、右図が改善後のグラフである。左図の高周波のノイズがセンサの精度、低周波のノイズが剛性に係るものであるが、改善後はどちらも低減されていることがわかる。



第8図 直径測定精度の改善



当社が製造販売しているエッジプロファイルモニタLEPシリーズの最新機種(LEP-3200FE)の開発について紹介した。当社独自の測定原理を踏襲しつつ、センサの解像度と光学系設計の改善により、種々の性能向上をはかった。具体的には、エッジ・ノッチ形状測定の精度向上、エッジ形状測定値機差改善、直径測定精度向上をはかるとともにメンテナンス性も両立させた。当社LEPシリーズは、シリコンウエハエッジ計測の標準機として多くのお客さまにご愛用いただいている。今回開発した新機種の性能への期待も非常に高い。今後も市場やお客さまが抱える多様なニーズを踏まえて開発・製造に取り組み、半導体産業の発展に貢献していきたい。

参考文献 *1) Journal of Japan Society for Abrasive Technology vol.53 No.2 2009FEB. 105-110
*2) エバラ時報 No.222 (2009-1)