

(技術資料)

ウェーハの形状、平坦度測定装置

Shapes and Flatness Measurement System of Silicon Wafer



松岡英毅*
Hideki MATSUOKA



山本雄治*
Yuji YAMAMOTO



綱木英俊*
Hidetoshi TSUNAKI



森岡哲隆*
Noritaka MORIOKA



甘中将人**
Masato KANNAKA

As the design rule constraints become tighter for semiconductor devices, the requirements for wafer shapes (e.g., Bow/Warp) and flatness (e.g., Global Backside Indicated Reading (GBIR)) are becoming more stringent every year. Kobelco Research Institute, Inc. has commercialized two types of systems for measuring the wafer shapes and flatness: one based on highly-accurate line scanning which is less costly, and the other based on surface scanning with an even-higher accuracy. This paper introduces typical system constructions and some measurement results.

まえがき = 半導体デバイスのデザインルールの微細化とともに、要求されるウェーハ形状、平坦度は年々厳しくなっている¹⁾。代表的なものとして、ウェーハの形状評価にパウ・ワープ、平坦度評価にGBIR (Global Backside Ideal Range) 測定などが挙げられる。パウ・ワープは、シリコンウェーハを真空吸着しない自然状態の形状を表すパラメータである。パウ・ワープの算出には通常、測定面には厚さ中央面を使用し、基準面には厚さ中央面のベストフィット面を用いる。パウはウェーハ中心での基準面と測定面の差を表す量として、ワープは測定面から基準面を引いた値の最大値と最小値の差として定義されている。また、GBIR は、ウェーハを吸着固定した際の厚さ(裏面基準平面からの距離)の最大値と最小値の差として定義されている。各測定量の概念を図1に示す。

㈱コベルコ科研(以下、当社という)が開発したラインスキャン方式による高精度パウ・ワープ/GBIR 測定装置 SBW シリーズは、ウェーハ加工プロセスの工程管理用として、ほぼ標準機としての地位を確立している。また、ら旋測定による全面スキャン方式の LGW シリーズは、再生用ウェーハの出荷前検査用として競合と比べ廉価で顧客の要求を満たした唯一の装置として利用され

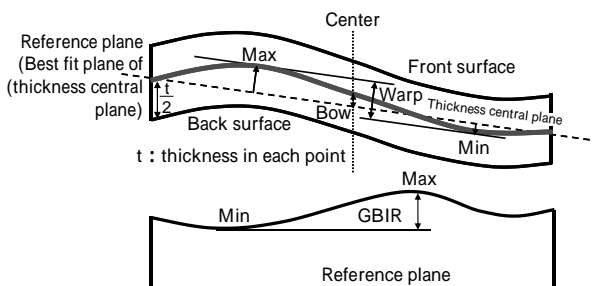


図1 ウェーハのパウ、ワープ、GBIR
Fig. 1 Bow, warp and GBIR of wafer

ている。

本稿では、両装置について構成や測定性能を紹介する。

1. ウェーハ形状、平坦度測定装置 SBW シリーズ

1.1 測定方法と特長

図2に、ウェーハ形状、平坦度測定装置 SBW シリーズの測定方法を示す。距離測定には静電容量センサ(測定エリア: 5mm)を使用する。静電容量センサは、測定領域において細かな凹凸による影響を受けず平均的な値を精度良く測定できるため、前工程から出荷前検査までのあらゆるウェーハの表面形状にも対応することができる。ウェーハを3点の支持ピンでサポートし、その状態でウェーハを移動させ、対向して配置したセンサとウェーハの表面/裏面の距離を測定する。ウェーハ面を放射状にスキャンすることにより、自重たわみ(約60μm)を含んだウェーハ形状と厚さ分布を取得する。上記測定値と、ウェーハの密度、弾性率、直径、および支持位置などのパラメータを用いた構造解析計算により求められる自重たわみ量から無重力下でのウェーハ形状を推定する。これらのデータより、パウ・ワープ、GBIR を算出する²⁾。以下に SBW シリーズの特長をまとめた。

- ・3点のピンでウェーハを自然な形で支えているため、自重たわみによるウェーハ形状を構造解析計算により正確に求めることができる。これにより、クランプ式に比べパウ・ワープを高精度に測定することが可能
- ・スライス、ラップ、エッチ、ポリッシュなど、あらゆるウェーハの加工工程に適用可能
- ・非接触、非破壊で高精度の測定が可能
- ・パウ・ワープ算出のための基準面として、ウェーハ裏面と厚さ中央面の選択が可能

*コベルコ科研 LEO 事業本部 **技術開発本部 電子技術研究所

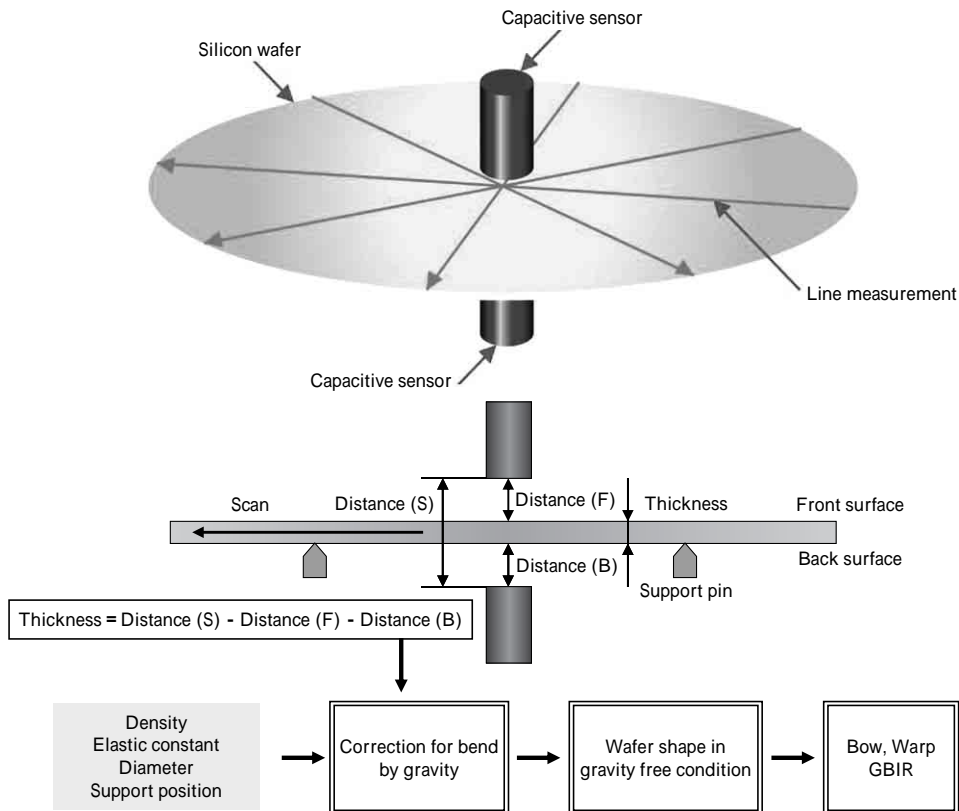


図2 SBWシリーズの測定方法
Fig. 2 Measuring method of SBW series



図3 形状、平坦度測定装置 SBW-330
Fig. 3 Shape and flatness measurement system SBW-330

- ・測定面は、ウェーハ裏面、厚さ中央面、表面から選択可能
- ・大口径 300mm ウェーハに対応可能
- ・形状マップ、厚さマップを2次元、3次元(カラー)で表示
- ・指定ライン上の断面形状を表示可能
- ・小型で低価格

1.2 測定装置

300mm ウェーハ用の形状、平坦度測定装置であるSBW-330の外観を図3に示す。SBW-330はカセットステージ1個とハンドリングロボットを備えており、全自動での測定が可能である。ロボットによりカセットから取出され、測定ステージにセットされたウェーハは、中心

表1 SBW-330の仕様
Table 1 Specification of SBW-330

Item	Specification	
Fixed quality area	294mm or under (Sensing area is included)	
Measuring items	Thickness	700 ~ 1000 μm
	GBIR	< 200 μm
	Bow	< 200 μm
	Warp	< 200 μm
Measuring position	R direction	1mm, 2mm, 4mm pitch
	direction	11.25 (16lines), 22.50 (8lines)
		45.00 (4lines), 90.00 (2lines)
Thickness measuring	Linearity	± 0.5 μm
	Repeatability	< 0.1 μm
	Resolution	0.01 μm
Throughput	4 Lines	2mm pitch : 48sec/Wafer
Transfer method	Backside chucking	

を通る放射状のラインにおける表面/裏面の形状が測定され、データ処理されて形状マップ、厚さマップ、パウ・ワープ、GBIRが算出される。半径(以下、Rという)方向は1, 2, 4mmのいずれかのピッチで測定でき、角度(以下、という)方向の放射状ライン数は16, 8, 4, 2ラインから選択可能である。

SBW-330の装置仕様を表1に示す。当社では、SBW-330以外にもパウ・ワープの測定機能をもつ様々な構成の装置を提供している。さらに、研究・オフライン用途のマニュアルタイプであるSBW-330M、加工性向上を目的に形状をそろえるための反転機構を搭載したSBW-330Rに加え、200mmウェーハ用のSBW-230シリーズを標準装置メニューとしている。また、ウェーハ分類機能

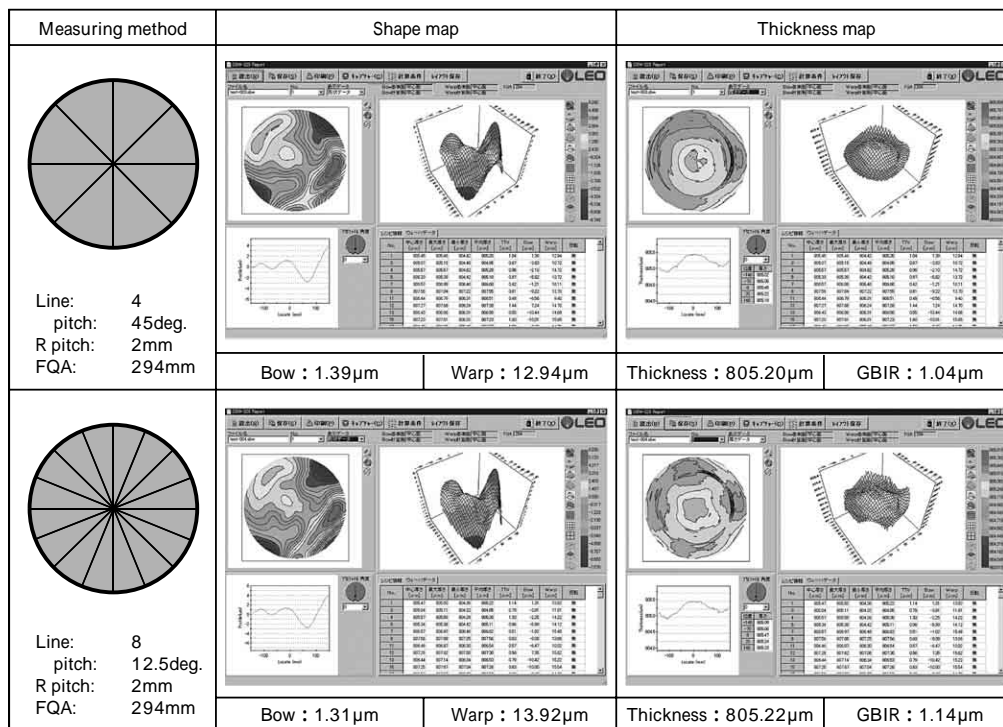


図4 SBW-330の測定例
Fig. 4 Measurement example of SBW-330

や種々の測定ユニット（抵抗率，P/N，直径，ID，魔鏡）を付加したウェーハソーティングシステムとしての構成も実績がある。

1.3 測定例

SBW-330による最新のVLSI用300mmウェーハの測定例を図4に示す。測定条件は、FQA（Fixed Quality Area：平坦度適用領域）を294mm，R方向のピッチを2mmとし，測定ライン数が4本と8本の2種類の場合について，同じウェーハの形状マップ，厚さマップ，パウ・ワープ，GBIRを測定した（基準面・測定面とも厚さ中央面を用いて解析）。同図の形状マップから，このウェーハはくら形に変形していることがわかる。ワープは13～14μmで，パウの1.3μmより一桁（けた）程度大きかった。また，厚さマップから，中央部と周辺部がその他の領域に比べて厚く加工されていることがわかり，GBIRは1μmと算出された。ウェーハの加工プロセスから，周方向には細かな形状や厚さの変化は発生しにくい。このため，この例のように測定ライン数を増加させても，形状・厚さマップやパウ・ワープ，GBIRなどの測定値に顕著な差異は生じないことが多い。

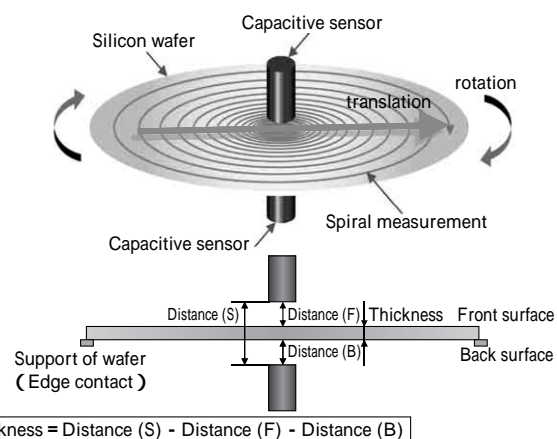
SBWシリーズはスライス，ラップ，エッチ，ポリッシュなどのウェーハ加工プロセスの工程管理に広く使用されており，これまでに100台以上を出荷している。

2. ウェーハ形状，平坦度測定装置 LGW シリーズ

2.1 測定方法と特長

再生ウェーハの出荷検査用におけるウェーハ全面スキャン測定のニーズにこたえるため，LGWシリーズを開発した。

図5に，LGWシリーズの測定方法を示す。SBWシリーズの測定方式と同様に，対向して配置した二つの静電



$$\text{Thickness} = \text{Distance (S)} - \text{Distance (F)} - \text{Distance (B)}$$

図5 LGWシリーズの測定方法
Fig. 5 Measuring method of LGW series

容量センサの間にウェーハを装てんし，センサとウェーハの表面/裏面の距離を測定する。SBWシリーズより空間分解能を高くするため，測定エリア 3.2mmの静電容量センサを使用している。ウェーハステージは高速回転と並進が可能であり，ウェーハをエッジで支持しているため，ウェーハ全面をらせん状にスキャンすることができる。また，SBWシリーズとは異なる自重たわみ（約160μm）が生じるが，同様に構造解析計算で推定し，補正を行うことができる。計測中の様子を図6に示す。

LGWシリーズの特長は以下のとおりである。

- ・ウェーハをらせん状に全面スキャンし，高密度な測定を行うことにより，局所的な形状や厚さ変化のあるウェーハでも高精度に測定することが可能
- ・フルエッジハンドリングであるため，ウェーハ裏面を汚染することなく測定することが可能であり，研磨工程後の出荷検査（再生ウェーハ用）にも用いることが可能



図6 計測中の回転・並進ステージ

Fig. 6 Rotation and translation stage under measurement



図7 形状、平坦度測定装置 LGW-3041E

Fig. 7 Shape and flatness measurement system LGW-3041E

- ・SBW シリーズと同様に、パウ・ワープの測定では測定時間の短いラインスキャンを用いることも可能

2.2 測定装置

300mm ウェーハ用の形状、平坦度測定装置 LGW-3041E の外観を図7に示す。300mm ウェーハのパウ・ワープ、GBIR、および厚さの測定を行うことができ、ウェーハカセットには、FOSB あるいはオープンタイプを用いることができる(4個)。ウェーハのハンドリングや計測ユニットでのサポートはフルエッジハンドリングであるため、ウェーハの出荷検査の段階で使用することができる。LGW-3041E の装置仕様を表2に示す。LGW のシリーズとしては、ウェーハプロセスでの要求に応じて、ウェーハの形状、平坦度の測定に加え、種々の測定ユニット(抵抗率、P/N、直径、ID、魔鏡)を付加したウェーハソーティングシステムとしての構成も実績がある。

2.3 測定例

LGW-3041E による最新のVLSI用300mm ウェーハ3枚の測定例を図8に示す。測定条件は、FQA を294mm、スキャンのピッチはR方向は5mmであり、方向は5mm以下(中心に近づくほど小さい)とし、ウェーハの厚さマップおよび形状マップ、ワープ(ウェーハ2)を測定した。図8(a)は、中央部の厚さが周辺より薄いウェーハ(ウェーハ1)の例で、GBIRは $7.12\mu\text{m}$ と大きな値を示した。図8(b)に結果を示したウェーハ(ウェーハ2)は、(a)とは逆に中央部が周辺より厚く、GBIRは $2.96\mu\text{m}$ とウェーハ1に比べて小さかった。図8(c)に

表2 LGW-3041E の仕様
Table 2 Specification of LGW-3041E

Item	Specification	
Fixed quality area	294mm or under (Sensing area is included)	
Measuring items	Thickness	650 ~ 850 μm
	GBIR	< 200 μm
	Bow	< 200 μm
	Warp	< 200 μm
Measuring position	Spiral scanning	R direction : 5mm, 10mm pitch
	Line scanning	R direction : 1mm, 2mm, 4mm pitch direction : 11.25°, 22.50°, 45.00°, 90.00°
Thickness measuring	Linearity	$\pm 0.5\mu\text{m}$
	Repeatability	$\pm 0.1\mu\text{m}$
	Resolution	0.01 μm
Throughput	Spiral scanning	5mm pitch : 63sec/Wafer
		10mm pitch : 46sec/Wafer
	Line scanning	4 Lines*4mm pitch : 43sec/Wafer
Transfer method	Edge gripping	

は、中央部に薄い領域が複数存在するウェーハ(ウェーハ3)の測定結果を示しており、(a)と(b)をミックスした形状という。GBIRは両者の中間の $4.18\mu\text{m}$ であった。図8(d)には、ウェーハ2の形状マップを示す。(b)の厚さマップでは中央部が厚かったが、形状はくら形であり、基準面を厚さ中央面のベストフィット面としたときのワープは $24.32\mu\text{m}$ であった。

2.4 他社装置との相関

当社装置によるGBIRの測定値を、従来のプライム用デファクトスタンダードである他社装置の測定値と比較した。ともに旋スキャンにより測定した際の相関を図9に示す。当社装置のスキャンピッチは、R方向は5mm、方向は5mm以下である。図からわかるように、両者は良好な相関を示しており、回帰直線の傾きは0.95以上、相関係数はほぼ1となった。

参考までに、ラインスキャンによる測定データを用いて相関を調べた。結果を図10に示す。比較的粗いピッチ(ピッチ大:R=4mm, $\theta=22.5^\circ$)で測定すると、回帰直線の傾きは0.8程度と小さかった。ラインスキャンモードの最高分解能(ピッチ小:R=1mm, $\theta=11.25^\circ$)での測定では、回帰直線の傾きは0.87と向上したが、旋スキャン(0.95以上)には及ばなかった。これは、SBWがピッチ小の場合でも方向のピッチは円周方向で最大30mm近くあるのと比べ、LGWでは最大5mmであり、厚さデータをウェーハ全面において、もれなくスキャンするため、より正しい最大値、最小値をとることができるからである。

上述したように、LGWは従来のプライムウェーハ用デファクトスタンダード装置と高い相関を得ることができる。現在、プライムウェーハ用デファクトスタンダード装置は光学式センサとなっている。このため、静電容量方式でウェーハ全面測定を行う装置はLGW以外になく、廉価で鏡面以外でも測定可能なLGWが活躍できる工程は幅広くある。

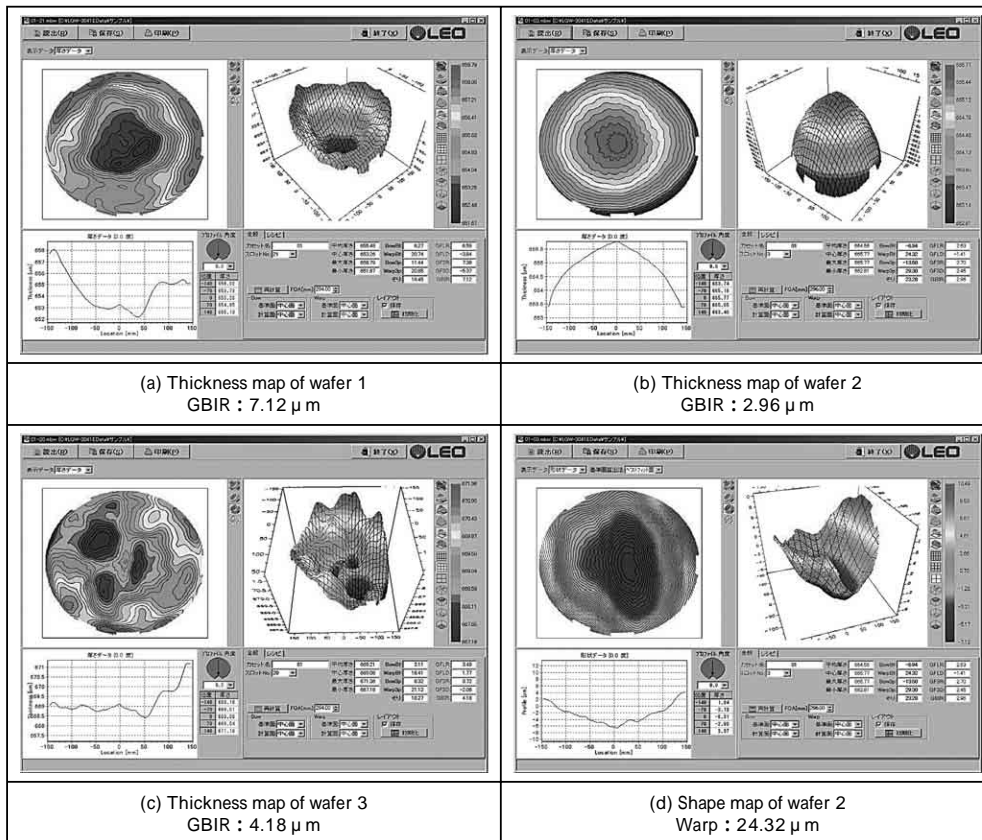


図8 LGW-3041E の測定例
Fig. 8 Measurement example of LGW-3041E

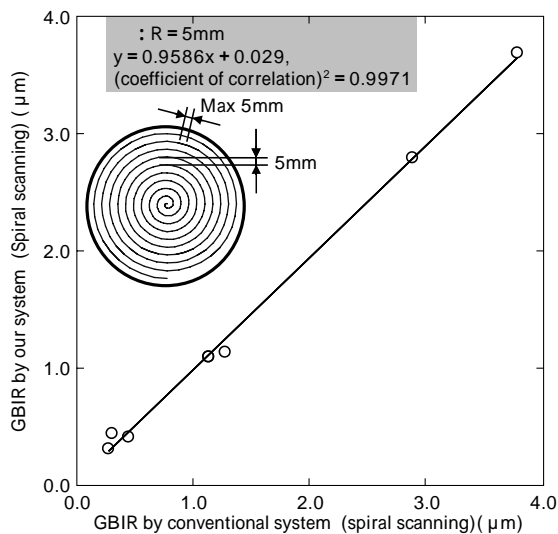


図9 従来装置との相関 (螺旋スキャン)
Fig. 9 Correlation with the conventional system (spiral scanning)

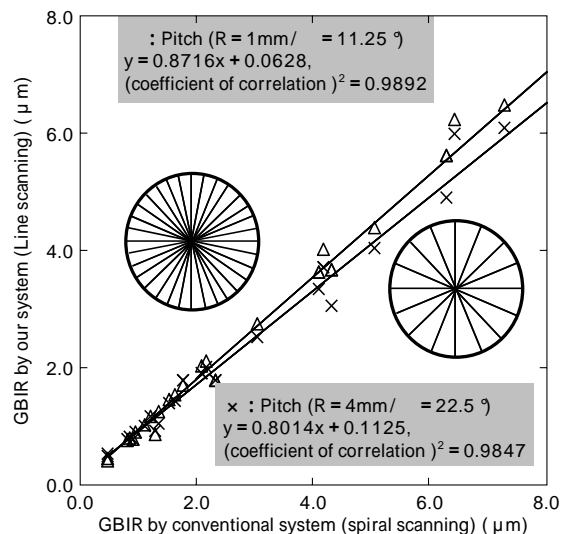


図10 従来装置との相関 (ラインスキャン)
Fig.10 Correlation with the conventional system (line scanning)

むすび=本稿では、廉価、コンパクトで高精度にパウ・ワープやGBIRを測定できるSBWシリーズと、ら旋状に全面スキャンすることによって周方向に局所的な形状や厚さ変化をもつウェーハにも対応できるLGWシリーズを紹介した。

デバイスメカの平坦度測定に対する要求はますます厳しくなっており、近年ではリソグラフィ工程での露光エリア相当に分けられたサイト内での平坦度 (SFQR: Site Front least sQares Range) のデータが重要視されている。

当社は現在、SFQRを高精度に測定する装置の開発を

行っており、商品化に向けて取組んでいる。

当社は、スライス・研削などの前工程 (SBWシリーズなど) から再生ウェーハ研磨後の出荷前検査 (LGW-3041Eなど)、さらにプライムウェーハ研磨後の出荷前検査 (SFQR測定装置) まで、ウェーハ製造の全工程における形状、平坦度測定装置のラインアップを充実させ、ウェーハ製造の品質管理に貢献していく。

参考文献

- 1) ITRS 2007: International Technology Roadmap for Semiconductors 2007 Edition.
- 2) 公開特許: 2003-75147.