

(技術資料)

# サファイアウェーハ向けエッジロールオフ測定装置

## Edge Roll-off Measuring System for Sapphire Wafers



妹尾和宜\*1  
Kazuyoshi SENOO



田原和彦\*1  
Kazuhiko TAHARA



甘中将人\*2  
Masato KANNAKA

The production of sapphire wafers has been increasing rapidly with the recent growth of the LED market. To improve the yield of chips, it is necessary to control the shapes of the wafer edge, called "edge roll-off." This paper introduces the principles of measurement, construction and performance for an edge roll-off measuring system, "SEPR-1600," which was recently developed for the sapphire wafer market. This system combines a shape measurement device of a Shack-Hartmann type with a conventional edge profile monitor to realize a higher throughput, lower cost and smaller equipment size compared with the conventional monitor. It has been confirmed that this new system achieves high accuracy, with its measurement results matching those obtained by a contact type measurement. The measured values of roll-off fall within a standard deviation of 5.6nm, verifying the system's high repeatability.

まえがき = 近年のLED市場の急成長に伴い、その基板材料として使用されているサファイアウェーハの生産量は急激に増加しており、ウェーハ1枚から取得するチップ数を最大化してコスト低減を図る動きが加速している。その中で、ロールオフと呼ばれるウェーハエッジ付近の形状管理が重要となっている。

(株)コベルコ科研(以下、当社という)は、このような要求を受け、サファイアウェーハ市場向けにシャックハルトマンセンサを用いたエッジロールオフ測定装置を開発した。シャックハルトマンセンサとは、マイクロレンズと呼ばれる微小なレンズが2次元配列された光学素子を使用して1枚の撮像データを解析することにより、光路の変化を捕らえる光学技術である。例えば、反射式天体望遠鏡に使用される反射鏡のひずみなどによる光路変化を補正する技術として応用されている<sup>1)</sup>。このシャックハルトマンセンサと当社保有のエッジ面取り形状測定技術とを組み合わせることにより、サファイアウェーハのロールオフ値の定義に対応した測定を実現した。

本稿では、ロールオフの概略と開発した装置の測定原理、構成および測定例を紹介する。

### 1. ロールオフの評価方法

ウェーハのエッジ部断面図を図1に示す。一般的にエッジから数mm幅のウェーハ外周領域では、内側の領域に比べて平坦(へいたん)度が悪くなる傾向にあり、ウェーハ外周領域では図1の「エッジ部拡大図」に示したように表面形状の緩やかな変化が見られる。ロールオフとはこのようなウェーハ外周領域の形状変化を示し、主にスライス工程や研磨工程などのウェーハ加工時に発生すると考えられる。ウェーハ面の外縁に向かうに従って

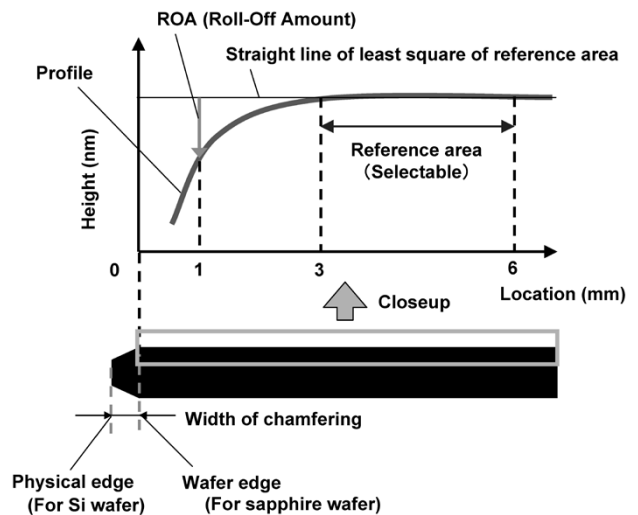


図1 ウェーハのエッジ部断面図及びロールオフの定義  
Fig. 1 Edge part cross section of wafer and definition of roll-off

形状が垂れる場合が多いが、加工条件によっては盛り上がった形状となる場合もある。

このロールオフの評価値としてROA (Roll Off Amount) がM. Kimuraらによって提案されている<sup>2)</sup>。彼らは基準とされるエッジ点から3mm以上内側を十分平坦と想定しており、測定した形状の3~6mmの領域で最小二乗直線を求め、その直線と基準エッジ点から1mm内側位置での形状の差をROAと定義している。ただし、基準エッジ点はシリコンウェーハとサファイアウェーハで異なり(図1)、シリコンウェーハでは物理エッジ(図1: Physical edge)が基準エッジ点とされている。これに対し、サファイアウェーハでは、面取り部とウェーハ表面との交点であるウェーハエッジ(図1: Wafer edge)が基準エッジ点とされている。

\*1 (株)コベルコ科研 LEO事業本部 技術部 \*2 技術開発本部 生産システム研究所

## 2. シャックハルトマン式測定法の原理と特徴

図2にシャックハルトマン式ロールオフ形状測定法のシステム構成を示す。光源から放射した光はビームエキスパンダを通して平行光にした後、ビームスプリッタにより下方のウェーハ面に照射される。ウェーハ面により反射した光は、ビームスプリッタ、マイクロレンズアレイを通過し、CCD撮像素子上に集光されて輝点が生じられる。図3にシャックハルトマン式測定法の原理図を示す。マイクロレンズアレイは直径150 $\mu$ mのレンズがレンズ直径の間隔で格子状に等間隔で配列された光学素子である。平行光が理想的に平坦なウェーハ面（参照面）で反射した場合、マイクロレンズアレイを通過することによりCCD撮像素子上に等間隔の反射光スポットが集光される。一方、平行光がウェーハエッジ付近のロールオフ部で反射した場合、ロールオフ部の面形状の傾きによって反射方向が変わり、マイクロレンズアレイを通過すると参照面のスポット位置よりずれた位置に集光される。図4のように、ウェーハエッジを原点としてウェーハ径方向をx軸とし、x軸方向のマイクロレンズアレイのn番目のレンズについて考える。x軸の垂線 $m_n$ とウェーハ面による反射光路とのなす角を $\theta(x_n)$ 、CCD撮像素子上の基準点からスポットまでの距離を $a_n$ 、CCD撮像素子からマイクロレンズアレイまでの距離 $L$ とすると、次式が成り立つ。

$$\tan \theta(x_n) = \frac{a_n}{L}$$

ウェーハ面における接線と水平方向とのなす角である表面角度 $\varphi$ はウェーハエッジからの距離 $x'_n$ に依存し、次の式により求められる。

$$\varphi(x'_n) = \frac{\theta(x_n)}{2}$$

この表面角度 $\varphi(x'_n)$ を基準のレンズからn番目のレンズまで次の式により積算することで、 $x'_n$ の位置でのウェーハ面の変位量 $\Phi(x'_n)$ が求められる。

$$\Phi(x'_n) = \sum_{k=1}^n \varphi(x'_k) - (x'_k - x'_{k-1})$$

ここで、ウェーハとマイクロレンズアレイとの間の距離を $D$ とすると、 $x'_n$ は次の式から求められる。

$$x'_n = x_n + D \tan \theta(x_n)$$

装置構成において、測定ステージ面からレンズアレイまでの距離を一定とした場合、ステージ上にウェーハを置くと、厚さによって距離 $D$ は変化する。後述のエッジプロファイル測定により、ウェーハの厚さを測定することができ、距離 $D$ の値を求めることができる。ウェーハのロールオフ形状は、上記 $x'_n$ を横軸、 $\Phi(x'_n)$ を縦軸としてプロットすることにより得られる。

このシャックハルトマン式測定法の特徴は、測定面が鏡面であれば材質に依らず非接触測定が可能であることと、1枚の撮像データを解析してロールオフ形状を導出できるため、短時間でデータ取得ができ、除振台などによる除振対策の必要がないことである。

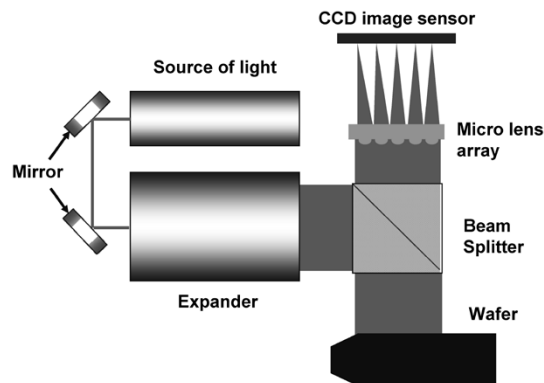


図2 シャックハルトマン式測定の構成図  
Fig. 2 Composition of Shack-Hartmann type measurement

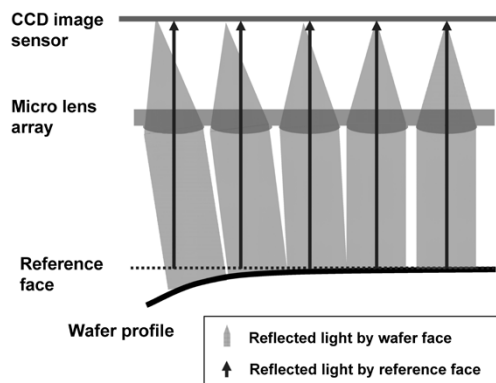


図3 シャックハルトマン式測定法の原理図  
Fig. 3 Principle of Shack-Hartmann type metrology

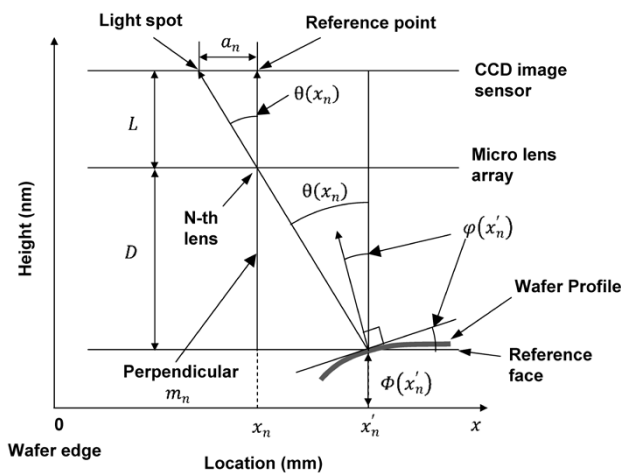


図4 CCD画像からのロールオフ形状算出方法  
Fig. 4 Method for calculating roll-off profile from CCD image

## 3. エッジ基準点の決定

ロールオフ値 (ROA) を算出するためには基準エッジ点を特定する必要がある。しかし、シャックハルトマン式測定法により得られた画像は離散的な輝点の点列となるため、画像からは基準エッジ点を精度よく特定することができない。エッジ面取り形状はウェーハによって多種多様であり、面取りがラウンド形状のウェーハではウェーハエッジの判断が困難である。そのため、基準エッジ点の特定には、シャックハルトマン式測定法とは別の手法でウェーハごとの面取り形状の測定・解析を行う必要がある。

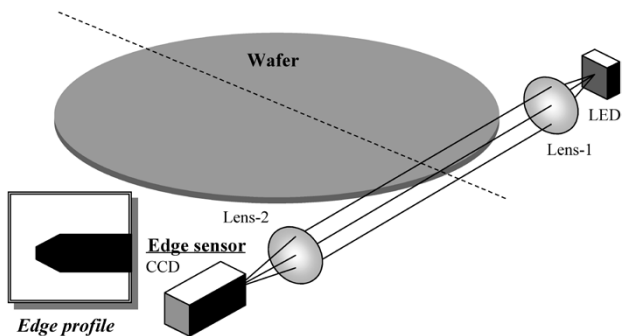


図5 エッジプロファイルモニタレイアウト  
Fig. 5 Edge profile monitor layout

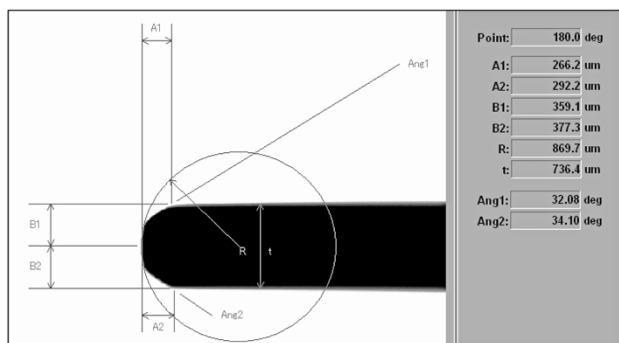


図6 エッジプロファイル画像  
Fig. 6 Edge profile image

本装置では、シャックハルトマン式測定法の光学系に加えて、エッジ面取り形状測定法（エッジプロファイルモニタ）の光学系を配置することにより、基準エッジ点を特定できる構成となっている。エッジプロファイルモニタの原理を図5に示す。LED光をエッジ部に照射し、その陰影の画像をCCDカメラにより撮像する。この画像を処理することによって図6のようにエッジ形状の各寸法が測定できる。これにより基準エッジ点（物理エッジ、ウェーハエッジ）を特定でき、シャックハルトマン式測定法による測定結果と位置座標を合わせることで、サファイアウェーハを対象としたロールオフ形状の定量評価を可能とした。

#### 4. ロールオフ測定装置

##### 4.1 装置仕様

装置例としてロールオフ測定機能付エッジプロファイルモニタSEPR-1600の外観写真を図7に示す。675(W)×650(D)×330mm(H)の卓上タイプであり、対象ウェーハサイズは標準でφ100~200mmであるが、オプションによりφ300mmまでの拡張が可能となっている。ウェーハは測定ステージのピンで位置決めされ、パソコン制御により自動でロールオフ形状とROA、エッジ面取り形状のそれぞれの測定結果が出力される。

表1に本装置の仕様を示す。ROAの再現性は $\sigma < 30\text{nm}$ である。また、エッジ面取り形状測定を含めたロールオフ形状の測定を1ラインあたり5秒で測定できる。

##### 4.2 測定例と性能

サファイアウェーハを測定したロールオフ形状測定データの例を図8に示す。このデータのROAは571nmで



図7 ロールオフ測定機能付エッジプロファイルモニタ (SEPR-1600)  
Fig. 7 Edge profile monitor with roll-off measurement function (SEPR-1600)

表1 SEPR-1600の仕様  
Table 1 Specification of SEPR-1600

Measuring object	Material : Sapphire (Rough back side)
	Diameter : 4, 5, 6, 8 (inch)
	Thickness : 400 ~ 1600 ( $\mu\text{m}$ )
Measuring item	Roll-off profile
	Edge profile
	Notch profile
ROA Repeatability	$\sigma < 30$ (nm)
Repeatability of chamfering length	$\sigma < 2$ ( $\mu\text{m}$ )
Throughput	About 5 (second / point)

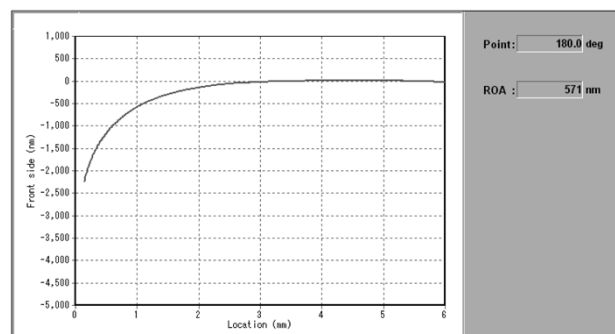


図8 ロールオフ形状測定データ  
Fig. 8 Measured data of roll-off profile

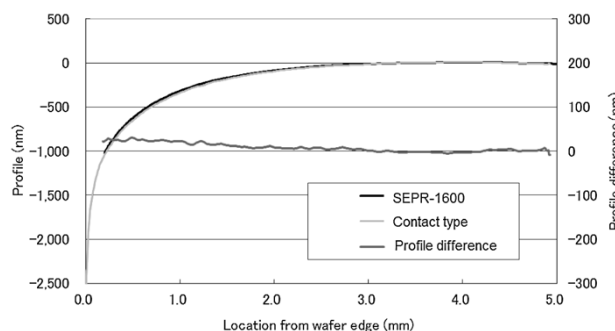


図9 SEPR-1600と接触式測定器との相関データ例  
Fig. 9 Example of correlation data of SEPR-1600 and contact type measuring instrument

ある。本装置のデータ表示画面では、ROAの算出条件（平坦とする領域、ROA抽出位置、エッジの定義）を任意に変更し、再計算を可能としている。

図9に本装置で測定したロールオフ形状と従来の接

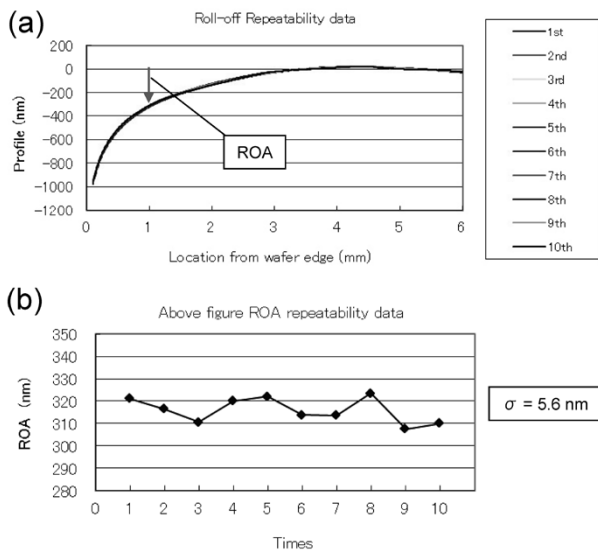


図10 10回再現性測定データ  
Fig.10 Repeatability for 10 times data

触式形状測定器で測定したロールオフ形状を比較した結果を示す。測定形状の差は最大22nmであり、測定結果は一致している。本装置は非接触測定であることから、サンプルダメージや表面汚染が少ないことや、接触子のメンテナンスが不要であることなどが特徴である。

図10に本装置の測定再現性を評価した結果を示す。

図(a)に本装置で10回測定を行った際のロールオフ形状、図(b)にROAの変動を示す。図(a)では10回の測定形状が重なっており、図(b)のROAから算出した測定再現性は5.6nm(標準偏差)となっている。

むすび=サファイアウェーハ市場におけるロールオフ管理の要求から、当社ではサファイアウェーハ向けのロールオフ測定装置を開発した。本装置ではシャックハルトマン式測定法と、当社保有のエッジ面取り形状測定法を組み合わせることにより、サファイアウェーハのロールオフ定義に対応した測定を実現した。

今回紹介した装置はマニュアル機であるが、平坦度やそり形状などの測定機能と組み合わせて、全自動の多機能測定装置を提案することも可能である。

今後、さらに付加価値を高めた装置の提案を通じ、多様化する市場のニーズに適切に応え、サファイアウェーハ製造プロセスの歩留り向上に貢献していきたい。

#### 参考文献

- 1) 鈴木二郎ほか. 光学. 2006, 第35巻, 10号, p.534-541.
- 2) M. Kimura et al. Jpn. JAppl. Phys. 1999, Vol.38, p.38.