

(論文)

貼り合わせウェーハのずれ測定法

Method for Measuring Shift of Bonded Wafers



古田洋平*1
Yohei FURUTA



射場邦夫*1
Kunio IBA



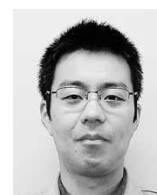
山本雄治*1
Yuji YAMAMOTO



赤松 勝*1
Masaru AKAMATSU



関 明宣*1
Akinobu SEKI



中道大介*1
Daisuke NAKAMICHI

Three-dimensional integration circuits (3D-IC) are regarded to provide a new model of large-scale integrated circuits; however, the development of an inspection technology for the bonded wafers is essential for the production of 3D-IC. We have developed a new kind of equipment to measure the shift of the center and rotation between the bonded wafers. This equipment enables not only the measurement of the center shift even when there is a large difference between the diameters of two wafers, but also inspection during the previous process of wafer thinning. We confirmed that reproducibility of measurement of bonded wafers meets the required specifications in the production process of 3D-IC.

まえがき = 集積回路（以下、LSIという）は微細加工技術の進歩により、著しい速度で高性能化、大容量化されてきた。しかし、半導体プロセスにおけるデザインルールが20nmの壁に近づくにつれて、素子の微細化に伴う様々な問題が指摘されるようになっていく。

これらの問題を解決するための技術の一つがThrough Silicon Via (TSV) で接続する構造を持った3次元LSI製造技術である¹⁾。従来のLSI製造におけるウェーハプロセスでは、1枚のウェーハから何個のチップが取れるかがPossible Good Die（以下、PGDという）と呼ばれ、チップコストを下げる上で重要であった。

3次元LSIの製造においては、PGDに加えて生産性が重視され、とくに工数のかかる積層工程のタクトタイムをいかに減らすかということが重要となっている。薄化した複数枚のウェーハをベースウェーハに重ねて貼り合わせる、いわゆるWafer-on-a-Wafer (WOW)方式は、チップ同士を貼り合わせる方式などに比べて高速で処理できる可能性があり、近年注目されている技術である。この方法は高精度のチップアライメントが必要となり、ウェーハ貼り合わせ工程においては、ずれ量の正確な計測が必要となっている。

貼り合わせウェーハのずれには、中心ずれと、回転ずれの2種類がある。貼り合わせウェーハのこれらずれ測定方法については、これまでに様々な提案がされているが、回転ずれ測定手法については薄化後のウェーハに対して行われるものしかない。ウェーハ薄化工程前に貼り合わせのずれを測定することができれば、ずれが比較的大きな不良ウェーハの薄化工程を省くことができるため、3次元LSIの生産性向上につながる。

こうした背景のもと、(株)コベルコ科研（以下、当社という）は、薄化前における貼り合わせウェーハのずれ量

を測定するための方法を開発した。

1. 貼り合わせウェーハのずれ

本稿で述べる貼り合わせウェーハは、円盤状のシリコンウェーハ表面を研磨し、露光などでパターンを形成したものを、アライメントマーク同士が合致するよう接着剤などを用いて貼り合わせたものである。貼り合わせウェーハ断面の模式図を図1に示す。また、本稿で述べている中心ずれ量 (X, Y)、および回転ずれ量 (θ) の定義を図2に示す。まず、中心ずれ量は、上側ウェーハ、

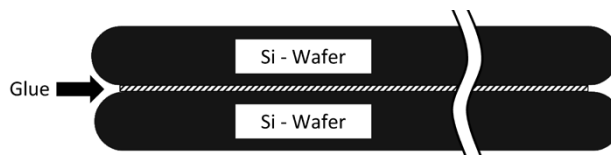


図1 貼り合わせウェーハ断面の模式図
Fig. 1 Schematic cross-sectional view of bonded wafers

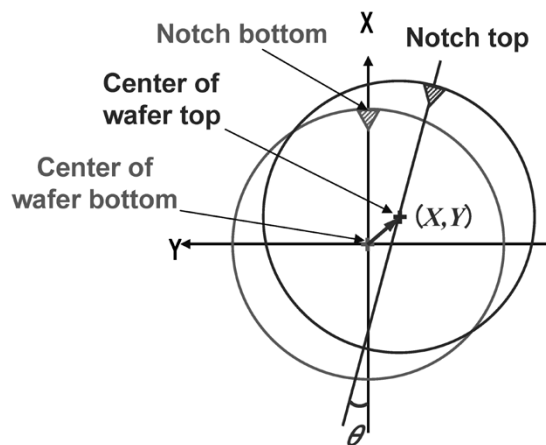


図2 ずれの定義
Fig. 2 Definition of shift

*1 (株)コベルコ科研 LEO 事業本部 技術部

および下側ウェーハの中心同士の、平面方向における相対的な X, Y 座標の変位である。また、回転ずれ量は、上下ウェーハのノッチ位置と、それぞれのウェーハ中心を通る直線の交角 θ としている。

貼り合わせずれの測定においては、測定値のばらつき標準偏差（以下、 1σ という）が $5\mu\text{m}$ での測定再現性の要求がある。そこで当社は、中心ずれ量の測定再現性は顧客要望のまま $5\mu\text{m}$ (1σ)以下を、回転ずれ量の測定再現性については 300mm ウェーハ外周において $5\mu\text{m}$ (1σ)のずれに相当する角度に換算した $3.3 \times 10^{-5}\text{rad}$ (1σ)を目標値とした。

2. 測定原理

2.1 中心ずれ測定法

2.1.1 輪郭測定と中心座標決定の方法

ウェーハの輪郭形状がほぼ真円であるため、ウェーハの中心座標は、その輪郭形状に対し円フィッティングを行うことで求めることができる。また、ウェーハの輪郭は、その概略の中心からエッジ位置までの点の集まりで表現できる。本稿では、CCDカメラなどの撮像素子を用いてウェーハを回転させながらエッジ位置を測定したときの、回転角度（円周角）とエッジ位置測定値の関係としてウェーハの輪郭を測定する。図3は、中心がずれている貼り合わせウェーハにおいて、上述の方法によって得られる回転角度とエッジ位置測定値の関係を模式的に示した図である。横軸はウェーハの円周角、縦軸がセンサから出力されるエッジ位置の測定値を示している。この点列を極座標系に変換することで輪郭形状を求めることが可能である。図3の分布を極座標系に変換したグラフを図4に示す。図4のような輪郭形状を持つ貼り合わせウェーハに対しては、上下ウェーハそれぞれの輪郭について計算を行うことにより、1枚ずつのウェーハをそれぞれ真円と仮定した場合の半径値と、中心座標を求めることができる。

2.1.2 2ウェーハの輪郭形状差測定

上下ウェーハの大きさが異なり、その半径差に比べて貼り合わせの中心ずれ量が小さい場合、上記の方法だけでは1枚分のウェーハの輪郭しか測定できない。そこで、そのような場合でも半径値と中心座標を求めることができる方法を考案した。考案した手法では、万能投影法²⁾に準じた方法を用いて撮影した、貼り合わせウェーハのエッジ部の断面投影像を利用する。図5に貼り合わせウェーハのエッジ断面投影像の模式図を示す。ウェーハを回転しつつこの方法での投影像を取得し、画像解析することで2枚のウェーハの先端の相対的な変位が測定できる。貼り合わされた2枚のウェーハの中心座標と半径値は、先端の相対的な変位と、2.1.1項の方法で測定された輪郭形状を組み合わせることで、2枚のウェーハの重なりが存在していても算出することが可能となる。本稿では、貼り合わせウェーハにおける二つのエッジ先端の相対的な変位を Edge position Gap (EG) としている。

2.2 回転ずれ測定法

回転ずれを測定する方法として、ウェーハ端部の切欠

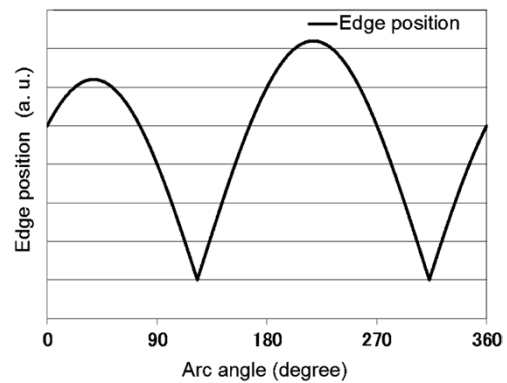


図3 貼り合わせウェーハのエッジ位置と回転角の関係
Fig. 3 Relationship between edge positions and arc angle of bonded wafer

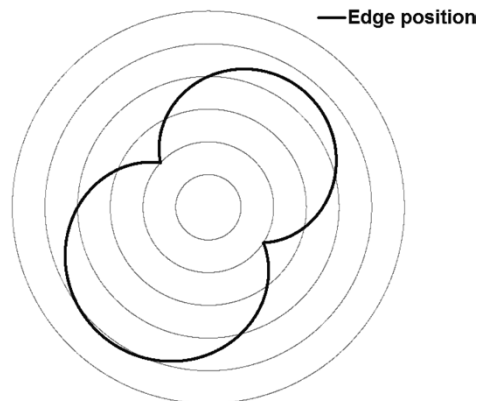


図4 エッジ位置と回転角の関係（極座標系）
Fig. 4 Relationship between edge positions and arc angles in polar coordinate system

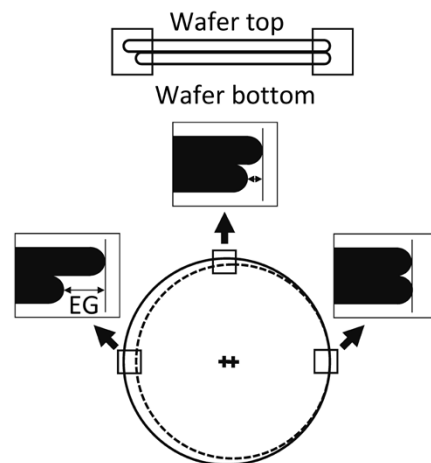


図5 貼り合わせウェーハのエッジ断面投影像
Fig. 5 Projection images of edge cross-section of bonded wafers

であるノッチ位置から回転ずれを測定する方法を考案した。ノッチ位置の定義を図6に示す。ノッチ位置は、貼り合わせウェーハの上下それぞれについて測定したノッチ形状の点列に対してフィッティングを行い、このフィッティング関数の頂点としている。ノッチ形状は、CCDカメラなどのセンサや、後述する変位センサなどによる測定が考えられる。算出した2枚のウェーハのノッチ位置と、それぞれのウェーハの中心を通る直線の交わる角度を回転ずれ量 θ として求める。

2.3 測定フロー

中心ずれ、および回転ずれの測定フローを図7に示

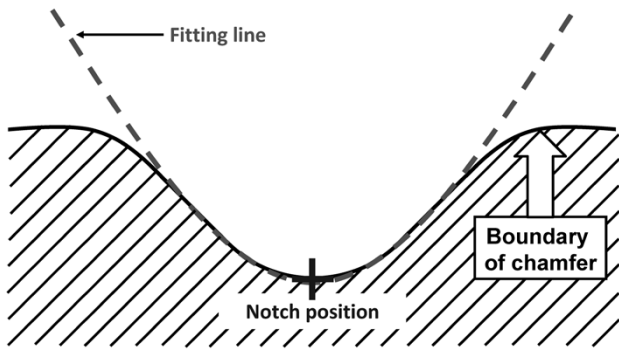


図6 ノッチ位置の定義

Fig. 6 Definition of notch position

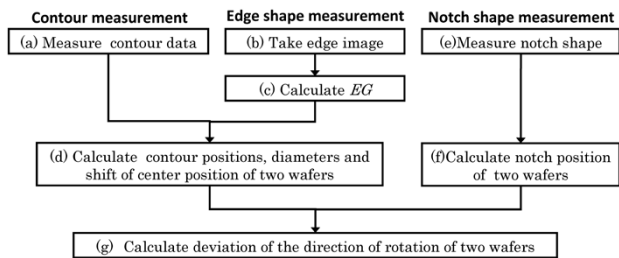


図7 測定フロー

Fig. 7 Measurement flow

す。まず、2.1.1項で述べた輪郭形状の測定を行う(図7(a))。つぎに、2.1.2項で述べた2枚のウェーハの輪郭形状の差EGを、エッジ断面画像に基づいて算出する(図7(b), (c))。輪郭形状とEGから、二つのウェーハの輪郭形状をそれぞれ算出し、2枚のウェーハの中心座標、中心ずれ量、および半径値を個別に求める(図7(d))。

続いて、2.2節に基づいてノッチの形状測定を行い、得られた上下ウェーハのノッチ形状からそれぞれのノッチ位置を求める(図7(e), (f))。中心ずれ測定から得られた上下ウェーハの中心座標および半径値から、最終的に回転ずれ量が求められる(図7(g))。

3. 貼り合わせずれ測定装置

考案した中心ずれ測定手法を評価するために、当社が商品化しているエッジプロファイルモニタをベースとして実証機を開発した。開発した装置の外観を図8に、測定ユニット部の概要を図9に示す。測定ユニットは、輪郭形状測定センサと、EGを測定する断面形状センサ、および回転ステージを具備する。輪郭形状は、貼り合わせウェーハをステージ上で回転させながら測定される。また、断面形状センサは、図中のEdge sensor部で示したように、ウェーハエッジに平行光束を照射してエッジの影をCCDカメラで撮像し、境界面をエッジ断面形状として測定するものである。この手法は、非破壊かつ高速の測定が可能なることから、ウェーハエッジ形状の工程管理と出荷検査の両方の用途で標準的に利用されている²⁾。この装置により得られた断面形状からEGを算出する。

つぎに、2.2節で説明した回転ずれ測定手法を評価するために構築したノッチ位置測定ユニット部の概要を図10に示す。貼り合わせられた2枚のウェーハのそれ



図8 エッジプロファイルモニタLEP-2200MC1

Fig. 8 Edge Profile Monitor LEP-2200MC1

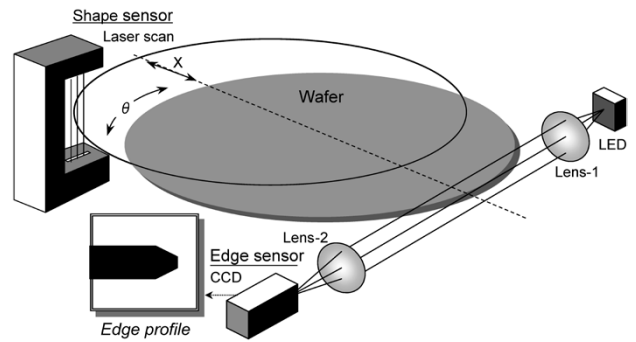


図9 エッジプロファイルモニタのシステム構成

Fig. 9 System configuration of edge profile monitor

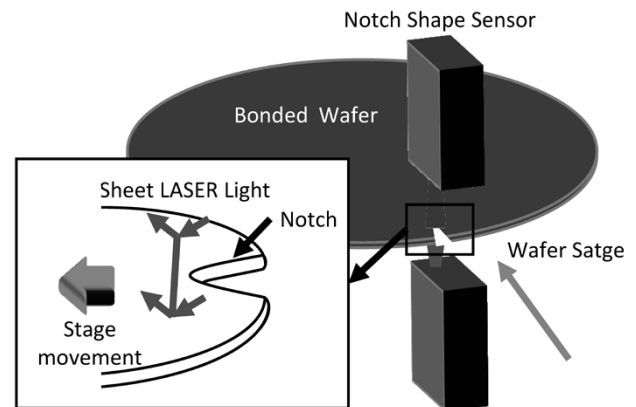


図10 ノッチ位置測定ユニットの構成

Fig.10 System configuration of notch-position measurement unit

ぞれのノッチ形状測定には、ライン状レーザー光が照射された測定エリアの高さ分布を求めるための、光切断法を利用した凹凸形状センサを用いた。このセンサをサンプル上下に配置し、ステージ上のウェーハを移動させながら、ノッチ近傍のウェーハ面におけるエリア内の高さ分布を測定する。得られた2次元の高さ分布から、ノッチの面取り部と平面部との境界をノッチ部の形状として抽出する。上下のウェーハに対し、それぞれ抽出したノッチ形状からノッチ位置を算出し、上下ウェーハのノッチ

位置の相対的な変位からずれ角 θ を求める。

4. 測定結果

開発した貼り合わせずれ測定装置の性能を評価するために、中心および回転ずれ量測定の再現性を評価した。表1に中心ずれ量を10回測定した結果を示す。 EG_{\max} は、貼り合わせウェーハの円周上においてEGの測定値が最も大きかった角度の測定値と、その再現性である。ここで、上下ウェーハの直径が異なるため、中心ずれ量測定結果より得られるX、Yのずれ量とは一致しないことを述べておく。 EG_{\max} の測定再現性は、 1σ で $0.1\mu\text{m}$ であった。中心ずれ測定の再現性は、X方向について $0.08\mu\text{m}$ 、Y方向については $0.04\mu\text{m}$ であった。

実験機を用いて回転ずれ量を10回測定した結果を表2に示す。 $\Delta\theta$ は、各測定値と10回の測定平均値との差である。測定再現性は 1σ で $0.6 \times 10^{-5}\text{rad}$ であった。

中心ずれ測定の再現性、および、回転ずれの再現性はいずれも、目標とする再現性をクリアすることができた。

表1 中心ずれ測定結果、および再現性
Table 1 Repeatability for center shift measurements

n	EG_{\max} [μm]	X [μm]	Y [μm]
1	-88.5	-8.76	-67.66
2	-88.5	-8.83	-67.63
3	-88.5	-8.79	-67.64
4	-88.5	-8.92	-67.66
5	-88.4	-9.01	-67.65
6	-88.8	-8.91	-67.76
7	-88.6	-8.85	-67.60
8	-88.5	-8.99	-67.63
9	-88.5	-8.85	-67.64
10	-88.6	-8.84	-67.60
Ave.	-88.5	-8.88	-67.65
1σ	0.1	0.08	0.04

表2 回転ずれ測定再現性

Table 2 Repeatability for amount of rotation measurements

n	$\Delta\theta(\times 10^{-5})$ [rad]
1	0.9
2	-0.1
3	0.5
4	0.7
5	-1.3
6	0.1
7	-0.2
8	-0.3
9	0.1
10	-0.3
1σ	0.6

* θ_n : Average of $\theta + \Delta\theta$

むすび=輪郭形状測定センサと、断面形状測定センサを組み合わせた測定ユニットを用いて、貼り合わせられた2枚のウェーハの半径値と、中心ずれ量を測定する技術を開発した。また、中心ずれ測定法より得られる中心座標、および半径値と、ノッチ位置のずれから、貼り合わせウェーハの回転ずれ量を測定する技術を開発した。さらに、考案した測定法に基づく測定装置を製作し、貼り合わせウェーハの中心ずれ量、および回転ずれ量を測定できることを確認し、中心ずれ量、および回転ずれ量の測定再現性は、目標値以下となることを確認できた。

3次元積層を行う半導体素子はまだ発展途上であるため、生産性向上のため様々な開発が実施されている。現在、弊社では、エッジプロファイルモニタLEP-2000シリーズに、本開発手法を用いた貼り合わせずれ測定機能をオプションとして搭載した装置を販売している。本開発測定法を搭載した装置により、3次元積層の生産性を高め、結果としてLSI製品のコストダウンに寄与できることを期待したい。

参考文献

- 1) Koji Fujimoto et al. TRANSDUCERS 2009 International. p.1877-1880.
- 2) 赤松 勝, こべるにくす. 2006, Vol.15, p.13-15.