

微細計測技術

Technologies for Sub-micrometer Measuring Apparatus

吉村剛治*

Takaharu Yoshimura

西 重幸*

Shigeyuki Nishi

伊藤元通*

Motoyuki Itoh

最新の電子部品は微細化高精度化が顕著であるためサブミクロン以下の精度で計測する評価装置が重要になってきている。当社では光学顕微鏡をベースとした光学技術に高精度機械設計技術と画像処理技術を組み合わせ、様々な検査装置を開発している。GMR素子並び測定では、長さ50mmに沿って並んだ素子の素子並びを $3\sigma=30\text{nm}$ の精度で測定する技術を開発した。GMR素子異物検出では、段差 $1.8\mu\text{m}$ のパターン上に付着した異物を $0.3\mu\text{m}$ の検出限度で検出する技術を開発した。

With the increasing accuracy of electronic components, the development of evaluation apparatus with sub-micrometer measuring performance is very important. We have developed various types of testing apparatus that combine three key technologies: optical technology based on optical microscopy, high-accuracy machine-design technology, and image-processing technology. For a Giant-Magneto-Resistive cell-alignment measuring system, we developed technology for measuring cell alignment that has three-sigma accuracy of 30 nm along a stroke of 50 mm. For a GMR foreign-particle detection system, we developed technology for detecting foreign particles as small as 0.3 micrometers on a layer of 1.8 micrometers thick.

① 緒 言

GMRヘッド¹⁾に代表される成膜プロセスを有する電子部品の製造で良好な成膜を行うためには、スパッタ装置に代表される製造設備のほかに、微細なパターンの寸法や形成位置を計測する装置や、異物を検出したりパターンの形状を検査する装置も重要である。

これら計測装置は、ミクロンオーダのものから光学限界に近いサブミクロンオーダ、ナノオーダの精度が要求される。高精度な評価にはSEM、AFMなどの高分解能計測装置が利用されるが、前処理に時間がかかる、使い勝手が悪いなどの問題があり、インラインでは光学技術を応用した評価装置が多用されている。

光学式の評価装置を開発するためには、顕微鏡をベースとする光学技術のほかに、光の波長以下の分解能で計測値を求める画像処理技術や高精度のメカニズム設計技術が必須である。さらに、これらの技術をまとめる技術も必要である。

当社ではこれらの要素技術を組み合わせて、様々な検査装置、具体的には、寸法や位置を計る計測装置や異物やパターン不良などを検査する外観検査装置を開発している。

本稿では、寸法を計測する装置の開発例としてGMR素子並び測定装置を、また、外観を検査する装置の開発例としてGMR異物検査装置を報告する。

② GMR素子並び測定装置

2.1 並び測定の目的と目標仕様

GMR素子と浮上面までの寸法を高精度に決めるため、GMR素子とラダーセンサ（以下、RLGという）を一直線上に並べて、RLGの抵抗値が一定になるまでラップ加工を行う方法を用いている。この加工方法では、成膜時に素子の並びとミスマッチ量を高精度に規制しなければならない。そこで、ウェーハの段階で素子の並びを計測できる装置を開発し、測定結果を製造プロセスにフィードバックすることにした。

図1は素子並びとミスマッチを説明する図である。素子並びはGMR素子、または、RLGの真直度のことであり、ミスマッチは、GMR素子とRLGの相対的な位置ずれのことである。

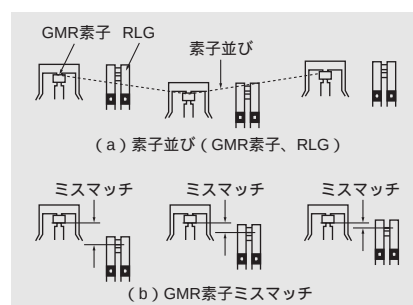


図1 GMR素子の並び測定

Fig. 1 Measurement of alignment and mismatch for GMR cell

* 日立金属株式会社 生産システム研究所

* Production System Laboratory, Hitachi Metals, Ltd.

目標仕様を表 1 に示す。

表 1 目標仕様

Table 1 Specifications of GMR alignment measuring system

項 目	仕 様
測定精度	$3\sigma < 100 \text{ nm}/56.3 \text{ mm}$
測定項目	素子並び(GMR素子, RLG) ミスマッチ (GMR素子)
タクト	5s/素子

2.2 技術課題と対策

技術課題と対策を表 2 に示す。

表 2 技術課題と対策

Table 2 Technical problems with GMR alignment measuring system and solutions

技術課題	対 策
(1) 高精度な素子送り	エアスライドテーブル
(2) 高解像度画像の生成	コンフォーカル顕微鏡 ピエゾ駆動対物レンズ ウェーハのチルト機構
(3) 温度ドリフト	アンバー材と石定盤
(4) 耐振動	懸垂型大型防振台
(5) エッジ検出処理	パターンマッチング処理

(1) 高精度素子送り

画像処理の視野の大きさは $35 \times 26 \mu\text{m}$ であり, 56.3 mm の長さに一列に並んだすべての素子を一度に計測することができない。そこで, エアスライドテーブルを用いてウェーハを高精度で送ることにした。駆動にはエアスライドテーブルと平行に駆動用のテーブルを固定し, 送り方向には高速応答, 高精度位置決めができ, 横方向には影響を与えないユニバーサルジョイントを開発した 200 mm のストロークで真直度 60 nm , 50 mm のストロークで真直度 10 nm , 再現性 $3\sigma = 8 \text{ nm}$ の素子送りを実現した。

(2) 高解像度画像の生成

顕微鏡は解像度の良いコンフォーカル式顕微鏡を用い, 焦点合わせは対物レンズをピエゾアクチュエータで上下に移動させる方法を用いた。焦点合わせのために対物レンズを上下動させても, 結像位置は横方向に $0.1 \text{ nm}/100 \mu\text{m}$ 程度しか移動しないので, 焦点合わせによる測定誤差を無視できる。

(3) 温度ドリフト

顕微鏡を低背構造にする, 鏡体部を石材で高剛性にする, 発熱体である光源と鏡筒を支持する部分にアンバー材を使用するなどの対策を行った。

温度ドリフトは $1 \mu\text{m}/\text{K}$ であった。

(4) 耐振動

振動の伝達を抑える十分な重さを持つ石定盤と, 6 箇所空気ばねを有する懸垂型大型防振台を用いた。

図 2 に並び測定装置の外観を示す。

(5) エッジ検出処理

原画像での画素サイズは 55 nm であるため画素サイズの半分以上でエッジを検出するアルゴリズムを開発した。図 3 にアルゴリズムを示す。

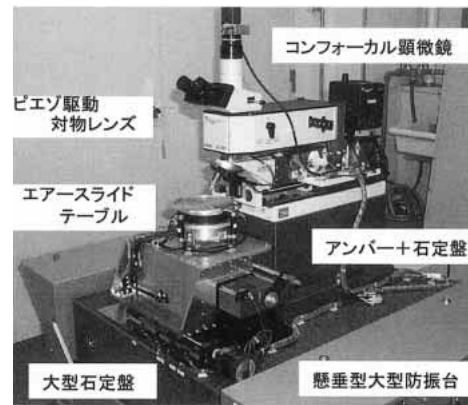


図 2 並び測定装置の外観

Fig. 2 External view of GMR alignment measuring system

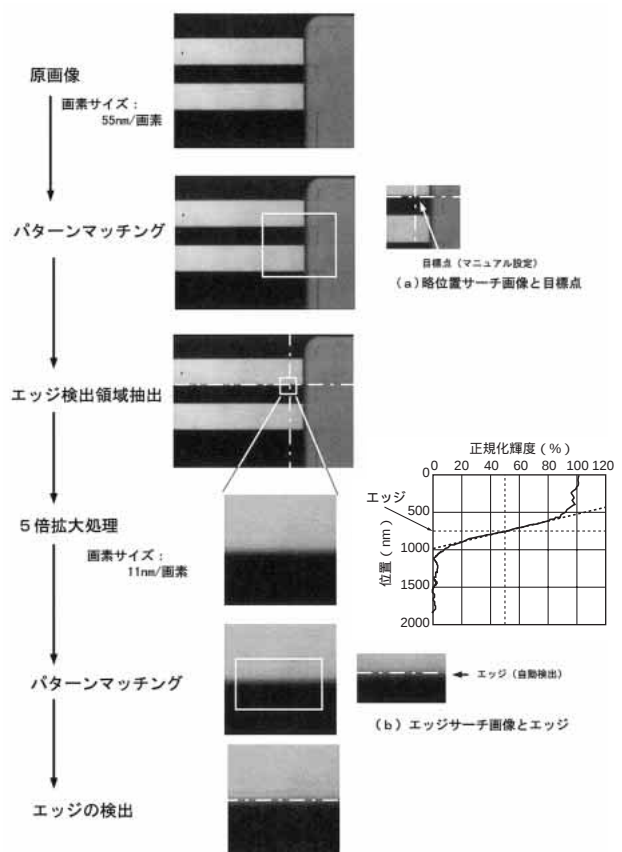


図 3 エッジ検出アルゴリズム

Fig. 3 Algorithm for edge detection

原画像に対して略位置サーチ画像を用いてパターンマッチング処理を行い目標点を抽出する。そして, 目標点を中心とするエッジ位置検出領域を 5 倍ほど拡大して画素サイズが 11 nm の画像を作成する。この画像に対してエッジサーチ画像を用いてパターンマッチング処理を行い, エッジを求める。

エッジサーチ画像では目的のエッジをその投影分布からあらかじめ求めており, パターンマッチング処理で合致する部位を求めることでエッジが検出できる。

エッジ検出の再現性は $3\sigma = 10 \text{ nm}$ であった。

2.3 試運転結果

図4(a)は、約50mmの長さに沿って並んだ11個のRLGを測定した一例である。10回ほど繰り返して素子並びを求めた結果であるが、再現性は $3\sigma=14\sim 32\text{nm}$ であった。同図の100nm程度の不連続は露光ショットの切れ目である。この結果をウェーハの露光プロセスにフィードバックすることで不連続が生じないようにした。

同図(b)は、GMR素子のミスマッチ量である。再現性は $3\sigma=8\sim 13\text{nm}$ であった。

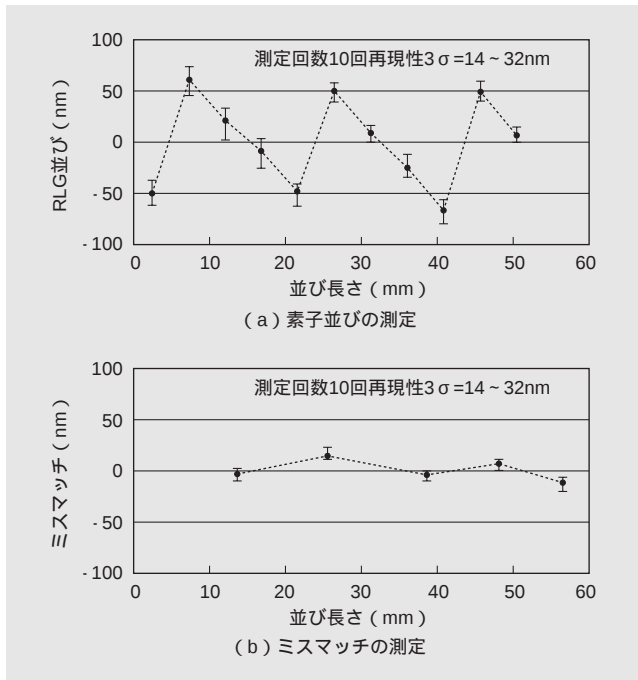


図4 RLG並び測定値とGMRミスマッチの再現性
Fig. 4 Repeatability of measured value

③ GMR素子異物検査装置

3.1 装置開発の目的と目標仕様

GMR素子と外部端子を電氣的に接続する電極領域で異物の検査を行う。電極領域には信号読み出しのために電圧が印加されるが、異物があると絶縁層が極端に薄かったり破壊されたりしているの、印加電圧によって素子が絶縁破壊を起こす可能性が高くなり、絶縁不良の主要因になっている。異物の発生原因はウェーハの製造プロセスでのレジスト残り、洗浄での再付着など多種多様である。

表3に異物検査装置の目標仕様を示す。

表3 目標仕様

Table 3 Specifications of GMR foreign-particles detection system

項目	仕様
測定部位	電極領域
検査のタイミング	ボトムシールド形成後 電極領域形成後
検出限度	$\phi 0.5\mu\text{m}$
タクト	1s/素子

3.2 技術課題と対策

技術課題と対策を表4に示す。

表4 技術課題と対策

Table 4 Technical problems with GMR foreign-particles detection system and solutions

技術課題	対策
(1) 微小異物の検出	暗視野照明 異物強調フィルタ処理 高解像度カメラ
(2) 段差部ノイズの除去	マスク処理による段差部除去
(3) 雰囲気中粉塵の付着	防塵カバー & クリーンベンチ
(4) マップ表示	オフライン処理

(1) 微小異物の検出

図5に明視野照明と暗視野照明で撮像した画像を示す。図中の○印が異物であるが、明視野では黒点として、反対に暗視野では白点として観察される。明視野では背景によって明るさが異なりノイズになるが、暗視野ではそれがない。そこで、暗視野照明で異物を検出することにした。

また、対象とする異物の大きさが非常に小さいので、 $1,300 \times 1,000$ 画素の高解像度カメラで画像取り込みを行い、さらに、微分フィルタ処理で異物を強調する処理を加えた。

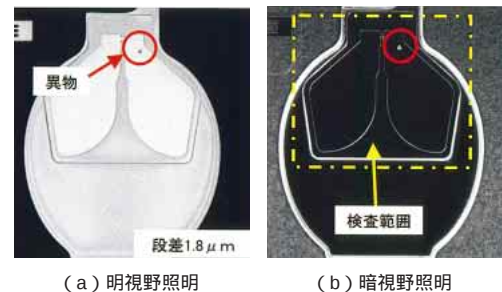


図5 暗視野照明と段差部の輪郭

Fig. 5 Comparison of GMR cell image between 2 types lighting

(2) 段差部ノイズの除去

暗視野照明は表面の微小凹凸を強調する照明方法であるが、GMR素子には厚さが $1.8\mu\text{m}$ のパターン層があり、その段差部でも凹凸として強調され、白い帯として画像に現れて異物検出のノイズになる。

電極領域を抽出して、その画像に着目して異物を検出するアルゴリズムを開発した。

図6に異物検出アルゴリズムを示す。

取り込んだ画像に対して微分フィルタ処理を行い異物を強調すると共に段差部のノイズを除去した画像を作成する。次に、電極領域の位置をパターンマッチングで求めて、この位置で電極のパターンをマスクパターンとする画像と論理積処理を行って電極領域の異物だけが残った画像を作成する。

2値化処理を行って白画素数をカウントして異物を検出する。

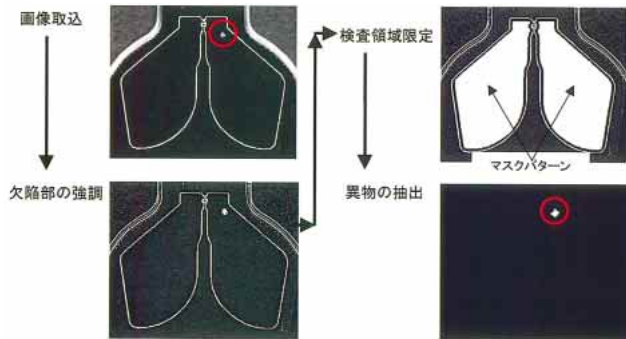


図6 異物検出アルゴリズム

Fig. 6 Algorithm for foreign-particles detection

(3) 雰囲気中粉塵の付着

異物検査している間に雰囲気中に浮遊の粉塵がウェーハに再付着するとこれも異物となるので、カバーをつけると共に、クリーンベンチからのエアーを、ウェーハ上面をウェーハと平行の方向に流し、異物がウェーハに付着しないようにした。

(4) マップ表示

検査結果をビジュアル化するため、異物をマップ表示するソフトを開発した。

図7に異物検査装置の外観を示す。

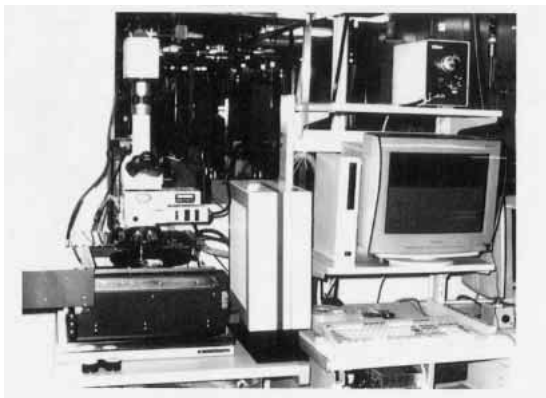


図7 異物検査装置の外観

Fig. 7 External view of foreign-particle detection system

3.3 試運転結果

図8に検査装置で検出した異物の寸法値とSEMで計測した異物の寸法値の比較結果を示す。

SEMに比べて検査装置の方が大きめの値になっていた。なお、SEMで計測した異物の寸法値から検査装置の検出限度を求めると、 $0.3\mu\text{m}$ であった。

また、異物のうち、膨れ状の欠陥では比較的相関がとれているが、平板状ではばらつきが大きくなった。これは突起のない異物では暗視野照明での反射光ができないためと考えられる。一方、しみ、スクラッチでも突起がある部分では異物として検出される。

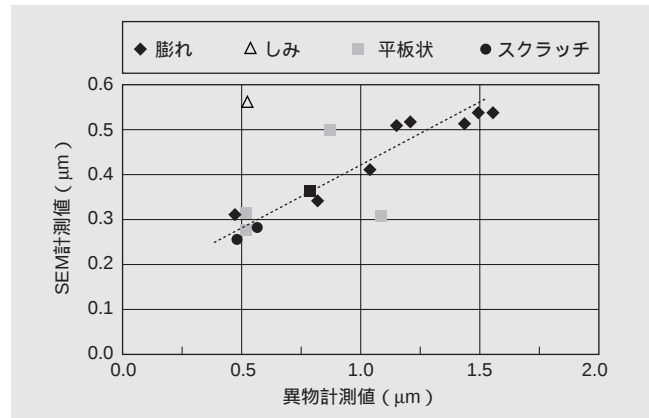


図8 SEMとの比較

Fig. 8 Comparison of evaluation size between development system and SEM

図9にウェーハでの異物マップの例を示す。ウェーハでの素子数は20868個で、異物の数を擬似カラー表示で表している。この例では異物の個数は5~10個の素子が大半を占めていることや、周辺よりも中央部の方が異物が多いことなどがわかる。

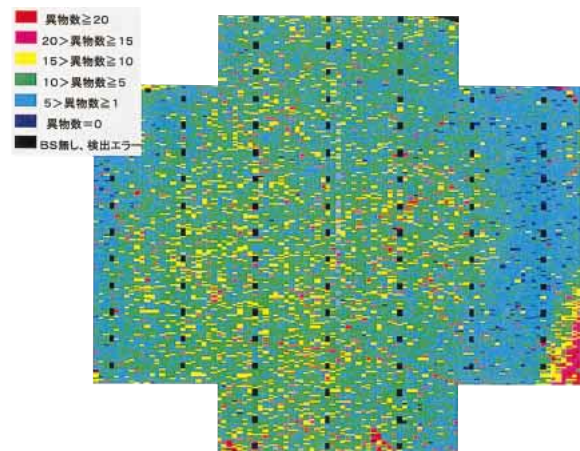


図9 ウェーハ内異物マップ

Fig. 9 Particle map of GMR wafer

4 結 言

光学技術を用いてインラインで使用できる微細計測技術を開発した。

GMR素子並び測定装置では、コンフォーカル顕微鏡に、エアースライドテーブルによる高精度素子送りなどの高精度のメカニズム設計技術とエッジ検出画像処理技術を加えて、約50mmの長さにならって並んだ素子の並びを $3\sigma = 30\text{nm}$ の精度で測定する技術を開発した。

GMR異物検査装置では、暗視野照明に段差部ノイズ除去画像処理を加えて、 $0.3\mu\text{m}$ の検出限度で異物を検出する技術を開発した。

参考文献

- 1) 小林, 他: 日立金属技報, 13 (1997), 37