光学的顕在化法と濃淡画像処理手法による 薄膜磁気ヘッド外観検査装置[†]

松山 幸雄*・岩田 尚史*・窪田 仁志*・池田 英弘**

Visual Inspection System for Thin Film Magnetic Heads Using Optical Enhancement and Gray Scale Image Processing

Yukio MATSUYAMA*, Hisafumi IWATA*, Hitoshi KUBOTA* and Hidehiro IKEDA**

An automatic visual inspection system has been developed for Thin Film magnetic Head (TFH) wafers. Although there are only a few classes of defects to be detected, the difficulty of defect detection varies drastically depending on the location of the defect. When the optical characteristics of a defect and the underlying element pattern are similar, the defect becomes difficult to detect. To detect all defects reliably, we developed the following new techniques. (1) Optical enhancement: The wafer is illuminated by a slit-shaped light source from an oblique direction, and the scattered light is used for detecting flakes in the transparent protection layer. Reflected light from the surface is also used for detecting surface defects. Defects are easily extracted by thresholding the detected image. (2) Image processing: An element-to-element comparison method is employed to detect defects that cannot be enhanced optically. Many bright spots within the ceramic substrate cause discrepancies when compared. Local minimum processing is used for eliminating them and stabilizing defect detection.

The system has been evaluated in an actual production line and the defect detection rate achieved is approximately 13% higher than human performance.

Key Words: Thin Film magnetic Head, visual inspection, optical enhancement, gray scale image processing

1. ま え が き

磁気ディスク装置は大容量化、小形化のため従来の巻線磁気ヘッドにかわり、薄膜磁気ヘッド(Thin Film Magnetic Head: 以降 TFH と略す)が不可欠なものとなってきている。

TFH は、研磨したセラミックウェーハ上にホトリソグラフィ技術を用いて素子パターンを形成し、その上に

保護膜を成膜し、研磨を行い、端子パターンを形成することで完成する。完成したウェーハを個々のヘッドに切断して研削、研磨を行い、最終形状に加工したものをスライダとよび、大型計算機用磁気ディスク装置では、数百個/台のスライダが必要となる。

TFH は信頼性を確保するためその製造過程で各種の検査が実施されている。本研究は、これらのうち素子形成過程で行われているウェーハの外観検査に関するもので、素子パターンの欠陥だけでなく、素子の信頼性を低下させる保護膜中の異物やエッチング残りなどが対象である。従来、この外観検査は顕微鏡を用いた目視検査に頼っており、信頼性向上、原価低減を行う上でのあい路となっていた。TFH の外観検査としてはこのほかに、スライダ加工工程で発生する欠けやボイド、ひびなどを対象としたものがある。

TFH のウェーハを対象とした外観検査では、磁性体の形状不良を検査する装置が報告されている¹⁾。この装

[†] SPIE (Applications of Digital Image Processing XV) で発表 (1992・7)

* (株)日立製作所生産技術研究所 横浜市戸塚区吉田町 292

** (株)日立製作所ストレージシステム事業部 小田原市 国府津 2880

* Production Engineering Research Lab., Hitachi, Ltd., Yokohama

** Data Storage & Retrieval Systems Division, Hitachi, Ltd., Odawara

(Received August 26, 1993)

置は、検出した画像を適切なしきい値で2値化し、得られた2値画像の面積を基準値と比較することで比較的大きな形状欠陥を検出している。しかし、本研究が対象としている保護膜中あるいは保護膜表面の欠陥は対象としておらず、そのような欠陥を検出することはできない。スライダを対象とした外観検査では、エキスパートシステムにより、検出した欠けやボイドなどの欠陥の致命性を判定するシステムが報告されている^{2),3)}。

本論文は、TFHのウェーハを対象に開発した、光学的欠陥顕在化方式および濃淡画像処理による欠陥判定アルゴリズムについて述べる⁴⁾。また、これらを用いて開発した自動外観検査装置の構成とその評価結果を報告し、本方式の有効性を示す。

2. 検査対象と課題

Fig. 1にTFHのウェーハと、これを切断・加工して得られるスライダの外観を示す。Photo. 1に素子の外観を示し、A-A'およびB-B'の断面図をFig. 2に模式的に示す。TFHに限らず一般的に、このような電子部品に対する目視外観検査の検査項目は多岐にわたっているが、外観以外の検査(電磁気特性検査など)でも検出可能な項目を除去することにより、外観検査項目を限定できる場合も多い。本研究では、以下に示す三つの検査項目を対象としている。Fig. 2にこれらの欠陥を示す。

- (i) 保護膜中異物…保護膜を形成する際に、スパッタ装置の真空チャンバ内壁に付着していたアルミナ堆積物が、ウェーハ表面に落下して保護膜中に埋もれたもの。表面で光を散乱する透明な異物と、光を吸収する不透明な異物がある。
- (ii) ボイド…保護膜表面を研磨する際に、保護膜中異物がとれてできる凹み。
- (iii) エッチング残り…パターンのエッチング時に、不要な部分が残ってしまったもの。銅、クロム、パーマロイなどがある。素子パターン(保護膜中に形成されるパターン)形成時のエッチング残りは保護膜中に生じ、端子パターン形成時のエッチング残りは保護膜表面に生じる。表面が鏡面状のも

のと梨地状のものがある。

対象とする欠陥は3種類であるが、上述したようにその材質や表面特性が一義的でないため、多様な光学的性質をもつ。また、TFHは素子そのものが光学的特性の異なる様々な材料からなっている。このため、同一の欠陥であっても存在場所により欠陥と背景のコントラスト(明るさの差)は大きく変化する。

Table 1に各欠陥の光学的特徴とこれを検出する上で問題点を示す。

3. 欠陥検査方式

このような多様な欠陥を、すべて同一の検査方式で安定に検出することはきわめて困難である。そこで、本研究では各光学的特性に応じた4種類の検査方式を立案し、これらを併用することで対象とするすべての欠陥を検出する方式とした。

立案した4種類の検査方式は画像の撮像・処理方式の違いにより、光学的欠陥顕在化方式と2素子比較方式に

Fig. 1 TFH (Thin Film magnetic Head) wafer and slider

Photo 1 Appearance of element

Fig. 2 Cross section of TFH

Table 1 Characteristics of defects

Defect			Optical/surface characteristics	Technical issue for detection
flake	transparent		scatters light at its surface	no contrast when it is above rough pattern
	opaque		does not reflect light	low contrast when it is above ceramic substrate
void			scatters light	(high contrast)
etching remnant	on protection layer		reflects light (specular)	no contrast when it is above optically similar pattern
	above ceramic substrate within protection layer		or scatters light (rough)	(high contrast)

Fig. 3 Principle of optical defects enhancement

大別できる。前者は照明および撮像方式を工夫し、光学的に欠陥を顕在化するもので、撮像した画像を単純にしきい値処理するだけで欠陥が検出できる。後者は半導体の回路パターンの検査などによく用いられている2素子比較法を用いた検査方式であり、光学的な欠陥顕在化手法だけでは検出できない欠陥を、画像処理手法を用いて検出するものである。

3.1 光学的欠陥顕在化方式

本方式が対象としている欠陥は、保護膜中透明異物、保護膜表面のエッチング残りおよびボイドである。

(1) スリット照明・散乱光検出法

光学的欠陥顕在化方式の原理を Fig. 3 に示す。ウェーハの斜め上方からスリット状の照明を行う。照明光の一部は保護膜表面で反射し、残りの光は屈折して保護膜内

部に進入し保護膜下部にある素子パターンを照明する。保護膜内部の光路中に透明異物が存在すると、その表面で光が散乱される。透明異物からの散乱光をウェーハ上方に設置した一次元イメージセンサで検出すると、素子パターンからの反射光を検出することなく、異物からの散乱光のみを検出することができる。本方式は、保護膜中の異物と素子パターンとの高さの違いを利用して、微小な領域で散乱する光のみを選択的に検出することにより欠陥を顕在化するものである。このため同図に示すように、検出した画像を2値化するだけで、保護膜中の透明異物が検出できる。また、保護膜表面に存在する梨地状のエッチング残りも本方式により検出できる。

本方式では異物を安定に検出するために、スリット照明光と保護膜表面および1次元イメージセンサの相対的

な位置関係が一定に保たれている必要がある。Fig. 4 は照明光に対し、保護膜表面が上下した場合の屈折光の様子を示したものである。同図において保護膜表面が上昇すると素子パターンの照明される位置が左に移動する。このため、保護膜表面が上がりすぎると、ウェーハの上方にあるイメージセンサに素子パターンからの反射光が入射してしまい、虚報発生の原因となる。これに対し、保護膜表面が下降した場合は虚報の問題は発生しないが、イメージセンサで検出している領域内では保護膜中の浅い部分にしか照明光が透過しなくなる。すなわち、照明光路よりも深い部分に存在する異物は光が当たらないため検出できず、見逃しが問題となる。

本方式では、素子パターンに近く保護膜中の深い部分に存在する透明異物からの散乱光は素子パターンからの反射光と分離することができないため、顕在化は困難である。そこで虚報を発生させることなく、できるだけ深い部分に存在する異物が検出できるように検出条件を設定する必要がある。異物からの散乱光をイメージセンサで検出する領域と素子パターンが照明される領域との間の距離 M_s (以降、分離余裕と呼ぶ) が大きければ大きいほど安定に異物を検出することができる。この分離余裕 M_s は、次式で与えられる。

$$M_s = (t - d_{\min}) \cdot \tan \theta_2 - 2 \cdot \varepsilon \cdot \tan \theta_1 \quad (1)$$

ここで、

t : 保護膜の厚さ

θ_1 : 照明光の入射角

θ_2 : 屈折角

$2 \cdot \varepsilon$: 保護膜表面の上下移動幅(焦点合せ精度)

$d_{\min}$: 最小検査深さ(保護膜表面が最も下降した状態にあるときに検査可能な保護膜表面からの深さ)

Fig. 4 Separation margin and auto-focusing

である。

θ_1 と θ_2 の関係は保護膜の屈折率によって決まるため、 θ_1 が決定されると分離余裕 M_s は t , $d_{\min}$ および ε の線形関数となる。いい換えれば、最小検査深さ $d_{\min}$ および分離余裕 M_s の両方を大きくするには焦点合せ精度 $2 \cdot \varepsilon$ を小さくする必要がある。

Fig. 5 は分離余裕 M_s の計算結果の一例である。保護膜厚さ $t = 10 \mu\text{m}$ 、最小検査深さ $d_{\min} = 5 \mu\text{m}$ 、焦点合せ精度 $2 \cdot \varepsilon = 0.4 \mu\text{m}$ の場合、入射角 $\theta_1 = 65$ 度で分離余裕を最も大きくすることができる。

(2) スリット照明・正反射光検出法

Fig. 3 において保護膜表面で正反射した光を検出することにより、保護膜表面のエッチング残りやボイドを顕在化して検出することができる。すなわち、表面が鏡面状のエッチング残りは反射率が高いため保護膜表面よりも明るく検出され、ボイドは光を散乱するために暗く検出される。そこで、保護膜表面での正反射光を検出した画像に対し、あるしきい値よりも明るい部分をエッチング残りとして検出し、あるしきい値よりも暗い部分をボイドとして検出することができる。

Fig. 6(a), (b) に正反射光検出系における分離余裕 M_r を示す。分離余裕 M_r とは、保護膜表面での反射光と保護膜内部の素子パターン(磁性体など)からの反射光との間の距離である。同図より、分離余裕 M_r が最も大きくなるのは入射角 θ_1 が 48 度のときであることがわかる。

散乱光検出系の分離余裕 M_s は正反射光検出系の分離余裕 M_r に比べて小さい値となっている。このため、実際の装置では散乱光検出系の分離余裕 M_s を基準にスリット照明光の入射角度 θ_1 が決定される。

3.2 2素子比較方式

Table 1 に示したように、不透明異物は光を吸収するため光学的顕在化方式を適用することはできない。また、保護膜中のエッチング残りは素子パターンと同じ高さに

Fig. 5 Separation margin and incident angle for scattered light detection

あるため、やはり光学的顕在化方式では検出できない。そこで、これら欠陥のコントラストができるだけ高くなるような照明を行って画像を撮像した後、2素子比較法により欠陥を検出する方式を開発した。

(1) 照明方式

(a) 明暗視野複合照明

明視野照明と暗視野照明の両方を同時に行えば(以降これを明暗視野複合照明と呼ぶ)、金属でできたすべてのパターンを明るく検出することができる。素子パターンはほとんどが金属でできているため、明暗視野複合照明により、素子パターン上に存在する不透明異物は背景よりも暗く検出することができる。また、素子パターン以外の領域に存在するエッチング残りは背景よりも明るく検出することができる。このようにして検出した画像を2素子比較すれば、素子上の不透明異物や保護膜内部に存在するセラミックウェーハ上のエッチング残りを信頼度高く検出することができる。

(b) 明視野照明

検出すべき欠陥のうちこれまでに述べてきた方法で検出できないものは、素子パターン以外の領域(セラミックウェーハ上)に存在する不透明異物である。明視野照明では通常、異物はセラミックウェーハよりもわずかに暗く検出される。そこで、強力な明視野照明を行うことによりわずかではあるが、コントラストの高い(欠陥と背景の

明るさの差が大きい)画像を検出することができる。本照明による検査対象領域は素子パターンの存在しない領域であるが、光学系のシェーディング(照明むら、検出器の感度むらなど)、ウェーハ内でのなだらかな明るさの変化などの影響を除去し、低コントラストの異物を安定に検出するために2素子比較法を用いて欠陥検出を行う。明視野照明では透明異物も不透明異物も同様にセラミックウェーハよりも暗く検出されるため、セラミックウェーハ上に存在する異物は透明・不透明を問わず、すべて本方式により検出することができる。

(2) 画像処理アルゴリズム

Fig. 7 に2素子比較法の検査原理を示す。一つの検出ヘッドで隣接する素子の画像を順次取り込み、メモリに記憶しておいた一つ前の素子の画像と比較する。2枚の画像間で異なる部分のみを欠陥として検出する。本方式は明暗視野複合照明および明視野照明で得られた画像に対して行うが、以降では明視野照明で得られる画像(素子パターンを含まない画像)を対象に、2素子比較法による画像処理方式の説明を行う。

セラミックウェーハ上(素子パターンのない部分)に存在する異物を2素子比較法で検出する場合、以下に示す問題点がある。

- (i) 異物とセラミックウェーハの明るさが類似しており、5~10%程度のコントラストしか得られない(通常異物のほうが暗く検出される)。
- (ii) 異物に比べ3~4倍コントラストの高い輝点(セラミック焼結体の中で、周囲に比べて反射率が高く明るく見える斑点)が多数存在する。
- (iii) 通常の異物はセラミックウェーハより少し暗く検出されるが、周囲だけが暗く中央部がセラミックウェーハと同程度の明るさで検出される異物も存在する。このような異物はドーナツ状に穴のあいた形状で検出されるため、欠陥の大きさなどを簡便な方法で測定するのが困難になる。

(a) Cross section

(b) Relationship between θ_1 and M_r

Fig. 6 Separation margin and incident angle for reflected light detection

Fig. 7 Principle of element-to-element comparison

これらの問題を解決し、S/N の悪い画像からコントラストの低い異物を安定に検出するために、以下のアルゴリズムを開発した。開発した欠陥検出アルゴリズムは、輝点除去式差分法、2 値化および穴埋め処理からなる。

(a) 輝点除去式差分法

Fig. 8 に輝点除去式差分法の原理を示す。まず、比較する原画 T と R に対して 3×3 画素のウィンドウによる最小値フィルタ処理(ウィンドウ内の 9 画素の最小値を出力値とする処理)を行い、輝点を除去した画像 T' と R' を得る。この処理は原画像から輝点のみを完全に除去できるものではないため、輝点を除去した画像同士の差分演算を行っても異物のみを安定に検出することはできない。そこで、原画 T と輝点を除去した画像 R' について差分演算を行う。ただし、差分演算は R' よりも T のほうが暗い部分のみを出力する。すなわち、 $R' - T$ が正の値となるときはこの値をそのまま出力し、 $R' - T$ が負の値となるときは 0 を出力する。この処理により原画 T に含まれる暗い欠陥および、原画 R に含まれる明るい欠陥(輝点除去により消滅しなかった部分)が検出できる。同様の処理を R と T' に対しても行い、これらの結果を加算することにより輝点除去式差分画像 D が得られる。

$$D(i, j) = \max \{R'(i, j) - T(i, j), 0\} + \max \{T'(i, j) - R(i, j), 0\} \quad (2)$$

本方式では、原画に含まれる輝点の信号成分は抑圧され、暗い欠陥(異物)については原画に含まれる情報が直接利用されるため、S/N の高い差分画像が得られる。

(b) 穴埋め処理

上述した問題点(iii)に対する対策として、簡単な処理で欠陥画像の穴埋めを行う方法を立案した。以下に穴埋め処理について説明する。

(2)式で得られる差分画像 D を適切なしきい値で 2 値化することで、輝点によるノイズの少ない欠陥画像が得られる。しかし、得られた欠陥画像にドーナツ状の穴があいていると、単純な処理で大きさを判定し、良・不良の判定を下すことが困難となる。そこで、次式に示す

Fig. 8 Bright spot eliminating difference method

処理により穴埋めを行う。

$$O(i, j) = O_1(i, j) \cap O_2(i, j) \cap O_3(i, j) \cap O_4(i, j) \quad (3)$$

$$O_1(i, j) = I(i, j) \cup O_1(i-1, j) \cap O_1(i, j-1) \quad (4)$$

$$O_2(i, j) = I(i, j) \cup O_2(i+1, j) \cap O_2(i, j-1) \quad (5)$$

$$O_3(i, j) = I(i, j) \cup O_3(i-1, j) \cap O_3(i, j+1) \quad (6)$$

$$O_4(i, j) = I(i, j) \cup O_4(i+1, j) \cap O_4(i, j+1) \quad (7)$$

ここで、

I : 穴埋め処理に対する入力画像((2)式の差分画像 D を 2 値化して得られる画像)

O : 穴埋めされた出力画像

$O_1 \sim O_4$: 中間処理画像

である。

Fig. 9 に穴埋め処理の原理図を示す。中間処理画像 $O_1 \sim O_4$ は、同図に示すように矢印の方向にラスタ走査しながら(4)~(7)式に従った逐次演算を行うことにより得られる画像である⁵⁾。本処理は画像を 4 隅から走査する必要があるためパイプライン構成による実時間処理には適さないが、処理内容が単純なために容易にハードウェア化することができる。

以上説明した 4 種類の欠陥検査方式により、対象とするすべての欠陥が検出できる。各欠陥とその存在場所および各欠陥検査方式の関係をまとめて **Table 2** に示す。

4. 自動検査装置の光学系

以上述べた技術を用いて自動検査装置を開発した。四つの検査方式を同時に実行するためには、特殊な光学系が必要となる。**Fig. 10** に開発した装置の光学系の構成およびその仕様を示す。4 種類の欠陥検査方式を同時に実行するため、各検査方式に対応した四つのイメージセンサを備えている。TFH の素子は反射率の大きく異なる

Fig. 9 Hole filling process

Table 2 Summary of defect detection methods

Defect	Location	Characteristics	Detection method
flake	above element pattern	transparent	slit-scattered light
		opaque	bright & dark-e.e.comparison
	above ceramic substrate	transparent	bright-e.e.comparison
		opaque	
void	on protection layer		slit-reflected light
etching remnant	on protection layer	specular	slit-reflected light
		rough	slit-scattered light
	above ceramic substrate within protection layer	specular	bright & dark-e.e.comparison
		rough	

e.e.comparinon : element-to-element comparison

Fig. 10 Configuration and specifications of optics

種々の材料で構成されているため、たとえば明視野照明・検出系で反射率の低いセラミックウェハ部分を十分な信号強度で検出しようとする、反射率の高い磁性体部分で検出信号が飽和してしまう。通常の CCD イメージセンサではブルーミング(センサの一部の画素が飽和すると、周囲の画素まで飽和してしまう現象)が生じるため、本装置ではアンチブルーミング機能(周囲の画素に飽和の影響を及ぼさない機能)を備えたイメージセンサを用いている。

照明系には、スリット系、明視野系、暗視野系の三つの照明系がある。スリット系は保護膜中透明異物からの散乱光を増加させるため、対向する2方向から同時に照明する構成としている。暗視野系は、スリット照明光を遮らないようにするため、二つに分割したリングファイバを用いている。スリット照明・正反射光検出系は保護膜表面からの正反射光をウェハの斜め上方から検出するため、明視野照明や暗視野照明による反射光の影響を受けることはないが、ウェハの上方で画像検出を行うほかの三つの検出系は、対応する照明系からの反射光の

Fig. 11 Wave length and area for illumination and detection

みが検出できるように光学系を構成する必要がある。そこで、各照明系の照明波長および照明範囲、各検出系の検出波長および検出範囲を Fig. 11 に示すように制限している。すなわち、明視野照明はスリット照明・散乱光検出系に影響を与えないように、照明光路中に視野絞りを挿入して照明範囲を視野の半分に限定している。また、暗視野照明は赤色光 ($\lambda > 660 \text{ nm}$: 銅でできたコイルパターンを明るく検出するには赤色が有利) で、明視野照明

およびスリット照明は白色光で行っている。これにより、明視野照明を行っている領域で赤色光を検出すると明暗視野複合照明の反射光成分が検出でき、青色光($\lambda < 600$ nm)を検出すると明視野照明の反射光成分のみが検出できる。また、明視野照明を遮っている領域で青色光を検出するとスリット照明の散乱光成分のみが検出できる。これにより四つの検査方式を同時に実行することが可能となる。

5. 評価結果

Fig. 12 にスリット照明・散乱光検出法による保護膜中透明異物の顕在化例を示す。同図(a)は通常の顕微鏡(明視野照明)で観察される像である。めっきコイルと透明異物(図中○印で表示)の明るさがほぼ同じであり、異物を正しく検出するのは困難である。これに対し同図(b)はスリット照明・散乱光検出法による検出画像で、素子パターンと分離して透明異物のみが顕在化できているのがわかる。

Fig. 13 はスリット照明・正反射光検出法による保護膜表面のエッチング残りおよびボイドの顕在化例である。本例の素子パターンはコイル部分も磁性体と同様にスパッタ法で形成されている。同図(a)は明視野照明による観察像である。保護膜表面の鏡面上のエッチング残りおよび磁性体パターンとがほぼ同じ明るさで検出されており、両者を区別するのが困難である。これに対し同図(b)はスリット照明・正反射光検出法による検出画像で、エ

(a) bright field illumination (b) slit-scattered light

Fig. 12 Slit-shaped illumination-scattered light detection

(a) bright field illumination (b) slit-reflected light

Fig. 13 Slit-shaped illumination-reflected light detection

ッチング残りは保護膜よりも明るく、ボイドは暗く検出できているのがわかる。

Fig. 14 は明暗視野複合照明・2素子比較法による素子上異物の検出例である。単純差画像およびその2値化画像(同図(e), (f))には二つのパターン間の合せきれない位置合せ誤差が不一致として検出されている。これに対し輝点除去式差分法ではこのような不一致が吸収され、異物のみが正しく検出されている。これは輝点除去式差分法により、一方の画像の着目画素に対し他方の画像の対応する画素とその周囲8画素とが比較されることになるためである。これにより、わずかな形状差や合せきれない位置合せ誤差が許容できる。

Fig. 15 は明視野照明・2素子比較法によるセラミックウェーハ上の異物の検出例である。図(a)には不透明異物が含まれている。背景に多数存在する輝点のコントラストに比べ異物のコントラストが低く、S/Nの悪い画像である。同図(c)は輝点除去式差分法により得られる差分画像である。単純差画像(同図(e))に比べはるかにS/Nが改善されているのがわかる。同図(d)は(c)を2値化した後穴埋め処理を行い、さらにノイズ除去のために1画素の収縮処理(3×3画素のウィンドウ内での論理

(a) detected image T (b) detected image R

(c) result of BSED (d) binarized image of (c)

(e) simple subtracted image (f) binarized image of (e)

Fig. 14 Bright & dark-element to element comparison (BSED: bright spot eliminating difference)

(a) detected image T (b) detected image R

(c) result of BSED (d) binarized image of (c)

(e) simple subtracted image (f) binarized image of (e)

Fig. 15 Bright-element to element comparison (BSED: bright spot eliminating difference)

積演算)を施したものである。単純差画像の2値化では検出できない異物が安定に検出できている。

半導体の回路パターン検査などでは、検査対象となる欠陥を種々の大きさで人為的に模擬欠陥として作成し、これに対する検出性能を評価することで検査方式あるいは装置の評価を行っている。しかし、本研究が対象としている欠陥は人為的にその大きさや存在場所を制御して形成するのが困難なため、各検査方式の検出性能を個別に定量的に評価するのは困難である。そこで、実際のTFHウェーハに対し開発装置を用いて行った自動検査の結果と、同一ウェーハを人間が目視により検査した結果を比較することで本方式の有効性の確認を行った。Table 3に合計372個の欠陥を含む複数枚のウェーハに対する検査結果の例を示す。自動検査装置により、人間の目視に比べ約13%高い欠陥検出率が得られた。また、見逃した欠陥の個数から、検査対象欠陥(異物、ボイドおよびエッチング残り)すべてについて、自動検査装置のほうが人間よりも高い検出感度を有していることがわかる。開発した装置では、検出した欠陥に対し複雑な外観検査仕様に基づく致命性判定を行っていないため、検査基準よりも小さな欠陥が検出されてしまい虚報率が4.3%となっている。しかし、正常な部分で発生した虚報は0.96%であ

Table 3 Evaluation result of the system

		human	automatic inspection system
total defects *1		372	
detected defects (percent)		285 (76.6%)	333 (89.5%)
missed defects	flake	25	10
	void	1	0
	etching remnant	53	19
	misc.*2	8	10
false alarm(%)		0.83	4.6(0.96) *3

*1 union of the detected defects by human and automatic inspection system

*2 shape defects of pattern, etc.

*3 $(4.6 - 0.96) = 3.64\%$ indicates the percentage of defects whose size are smaller than criteria of specification

り、人間の検査結果(0.83%)に近い値が得られている。以上の結果より、開発した検査方式および検査装置の有効性が確認できた。

6. む す び

薄膜磁気ヘッドのウェーハを対象とした自動外観検査技術を開発した。検査対象欠陥は保護膜中あるいは保護膜上の異物、エッチング残りおよびボイドである。対象とするすべての欠陥を安定に検出するため、光学的欠陥顕在化方式と濃淡画像処理による2素子比較方式を開発した。光学的欠陥顕在化方式は、ウェーハを斜め上方からスリット状の光で照明し、散乱光および正反射光を検出するもので、撮像した画像をしきい値処理することで欠陥を検出する。2素子比較方式は光学的に顕在化して検出することのできない欠陥を対象とし、最小値フィルタ処理を用いた濃淡画像処理(輝点除去式差分法)により欠陥を検出する。これらの技術を用いて開発した自動外観検査装置を実際の製品を用いて評価した結果、人間の目視検査よりも約13%高い欠陥検出率が得られ、開発した技術の有効性が確認できた。

最後に、本研究を進めるに当たり、検査装置の仕様に関する御討論や有益な御助言を頂きました(株)日立製作所ストレージシステム事業部の柳田保英主任技師、鉄塚俊一郎主任技師および杉本憲治氏に感謝致します。また、検査装置の開発に多大なご協力を頂きました日立電子(株)の関係各位に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 田坂, 宮田, 松本, 稲田: 高段差を有する微小パターン検査装置の開発, 第4回産業における画像センシング技術シンポジウム講演論文集, 106/111(1989)

- 2) D. Petkovic and E. B. Hinkle: A Rule-Based System for Verifying Engineering Specifications in Industrial Visual Inspection Applications, IEEE Trans., PAMI-9-2, 306/311 (1987)
- 3) J. L. C. Sanz and D. Petkovic: Machine Vision Algorithms for Automated Inspection of Thin-Film Disk Heads, IEEE Trans., PAMI-10-6, 830/848 (1988)
- 4) Y. Matsuyama, H. Iwata and H. Kubota: Automatic Visual Inspection System for TFH (Thin Film magnetic Head) Wafer using Optical Enhancement and Image Processing Techniques, SPIE Vol. 1771 Applications of Digital Image Processing XV, 20/30 (1992)
- 5) 依田, 井内, 江尻: 粒子画像解析のためのビデオレート 1 パス形手法, 信学情報・システム大全, 128(1987)

[著 者 紹 介]

松 山 幸 雄 (正会員)

1981 年, 大阪市立大学工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。以来, 半導体回路パターンなどを対象とした目視検査の自動化に関する研究開発に従事。現在, 同社生産技術研究所第 3 部主任研究員。電子情報通信学会の会員。

岩 田 尚 史 (正会員)

1984 年, 東京工業大学総合理工学研究科精密機械システム専攻修士課程修了。同年(株)日立製作所に入社。同社生産技術研究所第 3 部に勤務。半導体回路パターンの自動外観検査, 精密位置検出, 光学干渉応用計測技術の研究開発に従事。

窪 田 仁 志 (正会員)

1973 年, 山梨大学工学研究科修士課程修了。同年(株)日立製作所入社。目視検査の自動化に関する研究開発に従事。精密工学会の会員。

池 田 英 弘

1984 年, 平塚工業高校電子科修了。同年(株)日立製作所勤務。以来, 生産技術者として設備開発に従事。