

物体透過光のフーリエ変換強度画像差分法による画像差異検出

清水 勲*・鵜野 克宏**・寺西 隆夫*・齊川 義則*・梅津 信幸**

* (有)高度技術研究所 〒319-2103 那珂市中里 1114-5

**茨城大学工学部 〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1

Image Difference Detection by Subtracting Fourier Intensity Images of Objects

Isao SHIMIZU*, Katsuhiko UNO**, Takao TERANISHI*, Yoshinori SAIKAWA* and Nobuyuki UMEZU**

*Research Institute of Advanced Technology Co., Ltd., 1114-5 Nakasato, Naka-shi, Ibaraki 319-2103

**Ibaraki University, 4-12-1 Nakanarusawa, Hitachi-shi, Ibaraki 316-8511

This paper revealed the effectiveness of optical technique that extracts differences between two images by the computer simulations and experiments. This technique uses the difference filter that is *in situ* developed photograph of diffraction pattern of the target object. We first discussed this technique theoretically and showed some results of extracting an irregular pattern by the computer simulation, and showed the experimental result that optically detected defects of the tape automated bonding (TAB) and chip on film (COF).

Key words: difference filter, Fourier transform, diffraction pattern, defect detection, tape automated bonding (TAB), chip on film (COF)

1. はじめに

光透過型基板の需要は近年ますます高まり、例えば、光透過型電子基板である COF (chip on film) や TAB (tape automated bonding) は大画面テレビ、PC、携帯電話等の液晶ディスプレイのコントロール等に使用されており、その製造検査には高精度で高速の検査が求められている。COF や TAB 等の光透過型基板の画像欠陥検査、あるいは電子基板の微小欠陥や異物の検査のための検査方法および装置に関しては、従来から多くの研究が行われてきた^{1,2)}。従来、画像欠陥検出のデジタル画像処理法としては、PC を用いて電子カメラで撮り込んだ被検査画像と、CAD データから作成された基準画像もしくはあらかじめ取り込まれている基準画像とを直接差分して、被検査画像の欠陥を抽出する二画像直接差分法が一般的に用いられている^{3,4)}。

この画像直接差分法は、基準画像に対して被検査画像が前後左右に平行移動している場合や、画像が回転している場合には、被検査画像の位置を基準画像に合わせる前処理を施す必要がある。この前処理には、画像に付けられた位置標識や注目画像を読み込んで座標のずれを計算し、その量をもとに補正を行う方法がある⁵⁾。しかし、この方法で

は高精度の位置合わせに多くの時間がかかるという欠点があった。また、画像の位置ずれ量を求める方法として、位相限定相関法⁶⁾を用いた例があるが、検査精度は必ずしも高くはならず、処理時間も短縮されなかった。そのため、画像の欠陥等を高精度かつ高速に処理できる革新的で簡便な技術の開発が求められていた。そこで、COF/TAB の検査では、被検査基板の平行移動と回転を防ぐと同時に、基板のたわみによる撮影画像の焦点ずれを防ぐ努力として、基板の送り装置を高精度にして画像比較処理の精度を向上する方法がとられた⁷⁾。しかし、この方法でも光透過型電子基板の高精度化、検査要求タクトタイムの高速化に対応することが困難であった。

この状況下で、光透過型電子基板における μm オーダーの微細構造中の欠陥を検出するために、光回折を利用し、物体を拡大することなく基準画像と被検査画像の差分を高精度かつ高速に行う新しい方法が開発された⁸⁾。具体的には、レーザーの平行光束中に置かれたフーリエ変換レンズの前方に検査基板 (基準画像) を入れ、フーリエ変換レンズの後焦点面上で光軸中心に現われる光回折パターン (基板のフーリエ変換像) を撮影して光遮断フィルターをつく

E-mail: k-uno@mx.ibaraki.ac.jp

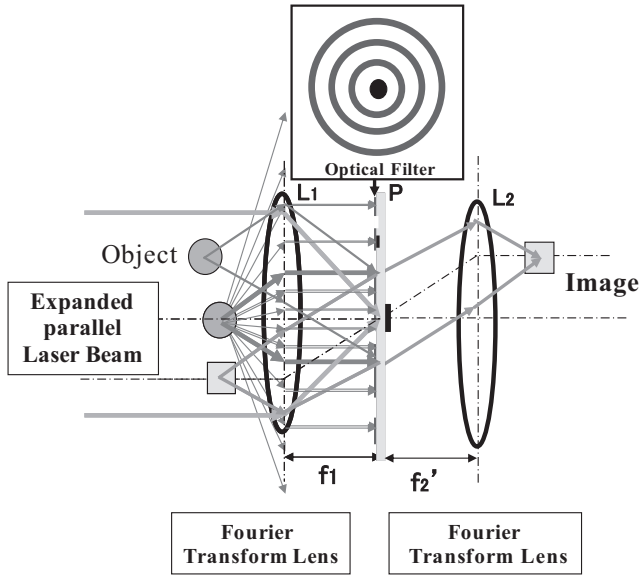


Fig. 1 Schematic diagram of optical detection for image deference.

る。つぎに、被検査基板（被検査画像）を入力したとき、この光遮断フィルターによって、被検査画像の回折パターン中の基準画像と同じ部分は遮光され、異なる部分だけが透過する。これをレンズによってフーリエ変換すれば、欠陥部分のみの画像が抽出される。この手法が光透過型電子基板の欠陥検査に用いられた。本論文はその技術を学術的にまとめたものである。

2. 原理

Fig. 1 に示すように、レーザーの平行光束中に置かれたフーリエ変換レンズの前方、距離 a の位置に基準画像 (Fig. 1 の○印) $u_s(x', y')$ を入れたとき、基準画像の光回折パターン (画像のフーリエ変換像) は、フーリエ変換レンズの後焦点面上で光軸中心に現われる。レンズの後焦点面上の光回折パターンの複素振幅 $\tilde{u}_s(x, y)$ は次式で与えられる。

$$\tilde{u}_s(x, y) = \frac{e^{ik(a+f)}}{i\lambda f_1} \exp\left[i\frac{\pi}{\lambda f_1}\left(1-\frac{a}{f_1}\right)(x^2+y^2)\right] \iint u_s(x', y') \exp\left[-i\frac{2\pi}{\lambda f_1}(x'x+y'y)\right] dx' dy' \quad (1)$$

ここで、 λ は使用波長、 f_1 はレンズの後焦点距離である。この光回折パターンの強度分布は

$$I_s(x, y) = |\tilde{u}_s(x, y)|^2 = \left| \frac{1}{(\lambda f_1)^2} \iint u_s(x', y') \exp\left[-i\frac{2\pi}{\lambda f_1}(x'x+y'y)\right] dx' dy' \right|^2 \quad (2)$$

で与えられ、基準画像のフーリエ変換の 2 乗である。

フーリエ変換レンズの後焦点面上に写真乾板を置き、式 (2) で与えられる基準画像の光回折パターン (フーリエ変換画像) で露光する。通常は現像処理のためにいったん乾板を取り外し、現像後に再び正確に元の位置に戻す必要があるが、正確な位置合わせは非常に困難である。しかし近年、医療画像診断用に熱現像フィルムが開発され、光照射と同時に熱を加えることによりその場で現像することができ、乾板の位置合わせは不要となった。そのような写真乾板を用いて回折パターンをその場現像したものを基準画像の光遮断フィルターとする。

一般に、写真乾板は入射光エネルギー E に対して HD 曲線 (Hurter-Driffeld curve) とよばれる濃度分布 D をもち、次式のように近似できる⁹⁾。

$$D = \begin{cases} D_{\min} & (\log_{10} E < \log_{10} E_{\min}) \\ \gamma \log_{10} E + b & (\log_{10} E_{\min} \leq \log_{10} E \leq \log_{10} E_{\max}) \\ D_{\max} & (\log_{10} E_{\max} < \log_{10} E) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 D_{\min} 、 D_{\max} ($D_{\max} > D_{\min}$)、 γ はそれぞれ写真乾板濃度の最小、最大値、およびガンマ値であり、 $b = D_{\min} - \gamma \log_{10} E_{\min}$ 、 $\log_{10} E_{\max} = (D_{\max} - D_{\min})/\gamma + \log_{10} E_{\min}$ である。このような濃度の写真乾板の透過率は

$$T(E) = 10^{-D} = \begin{cases} T_{\max} & (E < E_{\min}) \\ T_{\max} \cdot \left(\frac{E}{E_{\min}}\right)^{-\gamma} & (E_{\min} \leq E \leq E_{\max}) \\ T_{\min} & (E_{\max} < E) \end{cases} \quad (4)$$

で与えられる。ここで、 $T_{\max} = 10^{-D_{\min}}$ 、 $T_{\min} = 10^{-D_{\max}}$ 、および $E_{\max} = E_{\min} 10^{(D_{\max} - D_{\min})/\gamma}$ である。入射光エネルギーは強度と時間の積、すなわち $E = I \cdot t$ となるので強度に比例する。ゆえに、 $t = 1$ としても一般性は失わない。すなわち式 (4) は

$$T(I) = 10^{-D} = \begin{cases} T_{\max} & (I < I_{\min}) \\ T_{\max} \cdot \left(\frac{I}{I_{\min}}\right)^{-\gamma} & (I_{\min} \leq I \leq I_{\max}) \\ T_{\min} & (I_{\max} < I) \end{cases} \quad (5)$$

と書ける。簡単のために $\gamma = \infty$ と仮定すると $I_{\min} = I_{\max} = I_{th}$ となり、式 (5) は

$$T(I) = \begin{cases} T_{\max} & (I \leq I_{th}) \\ T_{\min} & (I_{th} < I) \end{cases} \quad (6)$$

と簡単化される。式 (6) に式 (2) を代入したものが光遮断フィルターの透過率分布とみなすことができる。

いま、被検査画像 $u_o(x', y')$ が欠陥 (Fig. 1 の□印) を含んだ画像であるとする、

$$u_o(x', y') = u_s(x', y') + d(x', y') \quad (7)$$

と表わされる。ここで、 $d(x', y')$ は欠陥のみの画像を表わ

す。したがって、フーリエ変換レンズの後焦点面上における被検査画像の回折場の複素振幅 $\tilde{u}_o(x, y)$ は、基準画像の回折場の振幅 $\tilde{u}_s(x, y)$ 、および欠陥画像の回折場の振幅 $\tilde{d}(x, y)$ を用いて次式で表わされる。

$$\tilde{u}_o(x, y) = \tilde{u}_s(x, y) + \tilde{d}(x, y) \quad (8)$$

この被検査画像の回折場が光遮断フィルターに入射したとすると、フィルター透過後の振幅 $\tilde{u}_f(x, y)$ は

$$\begin{aligned} \tilde{u}_f(x, y) &= \tilde{u}_o(x, y) T(I_s(x, y)) \\ &= \begin{cases} T_{\max} [\tilde{u}_s(x, y) + \tilde{d}(x, y)] & (I_s \leq I_{th} \text{ となる } (x, y)) \\ T_{\min} [\tilde{u}_s(x, y) + \tilde{d}(x, y)] & (I_s > I_{th} \text{ となる } (x, y)) \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

となる。これより、 $I_s \leq I_{th}$ 、すなわち基準画像のスペクトル強度が基準強度 I_{th} 以下となる部分のスペクトルは高い透過率 T_{\max} で透過し、 $I_s > I_{th}$ では逆に低い透過率 T_{\min} によってスペクトルは抑制される。このとき、 $I_s \leq I_{th}$ となる領域内で、 $\tilde{u}_s(x, y) < \tilde{d}(x, y)$ 、すなわち基準画像のスペクトルが欠陥画像のスペクトルよりも小さければ、欠陥のスペクトルが強調される。しかし、 $\tilde{u}_s(x, y) \geq \tilde{d}(x, y)$ ならば、基準画像も一緒に強調されてしまう。同様に、 $I_s > I_{th}$ となる領域では基準画像は抑制されるが、 $\tilde{u}_s(x, y) < \tilde{d}(x, y)$ であっても欠陥スペクトルは抑制される。つまり、欠陥のみが抽出されるためには、 $I_s \leq I_{th}$ となる領域内では $\tilde{u}_s(x, y) < \tilde{d}(x, y)$ を満足していなければならない。この条件を満足するならば、透過光を第2のフーリエ変換レンズで集光すれば、被検査画像の基準画像と異なる部分だけが焦点面に現われる。これが光透過型画像差異の光学的検出法の骨子である。

なお、基準画像と同じ形状・サイズの被検査画像を測定視界に入れたとき、被検査画像の位置が、基準画像を設置したときと比べて光軸に垂直な方向と平行な方向にずれていても、被検査画像の光回折パターンは基準画像の光回折パターンとまったく同じになる。いま、シフトした基準画像 $u_s(x'-x_0, y'-y_0)$ がフーリエ変換レンズの前方、距離 b の位置に置かれているとすると、その回折場は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \tilde{u}_s(x, y) &= \frac{e^{ik(b+f)}}{i\lambda f_1} \exp \left[i \frac{\pi}{\lambda f_1} \left(1 - \frac{b}{f_1} \right) (x^2 + y^2) \right] \\ &\quad \iint u_s(x'-x_0, y'-y_0) \exp \left[-i \frac{2\pi}{\lambda f_1} (x'x + y'y) \right] dx' dy' \\ &= \frac{e^{ik(b+f)}}{i\lambda f_1} \exp \left[i \frac{\pi}{\lambda f_1} \left(1 - \frac{b}{f_1} \right) (x^2 + y^2) - \frac{2\pi}{\lambda f_1} (xx_0 + yy_0) \right] \\ &\quad \iint u_s(x', y') \exp \left[-i \frac{2\pi}{\lambda f_1} (x'x + y'y) \right] dx' dy' \end{aligned} \quad (10)$$

この振幅の2乗は式(2)と同じになることは明らかである。したがって、被検査画像が基準画像とまったく同じ形状・サイズの場合には、光回折パターンはすべて遮光されて、第2のフーリエ変換レンズの焦点面に画像は現れない。被検査画像に基準画像と異なる部分があるときのみ、第2のフーリエ変換レンズの集光面に差異のある部分だけが画像として現われる。

3. シミュレーション

TABやCOFは規則的な配線パターンが多いので、規則的なパターン中の欠陥検出をシミュレーションする。規則的なパターンとしてFig.2に二次元の格子パターンを示す。画像の途中で配線パターンが変化することも考慮して、画像の上下の規則性を変えてある。画像の下半分の格子周期は上半分の5分1のである。Fig.2のパワースペクトルに対して、式(6)を用いて計算した透過率をFig.3に示す。式中のパラメーター T_{\max} および T_{\min} は、 $T_{\max} = 10^{-0.1}$ 、 $T_{\min} = 10^{-4.0}$ に設定した。これは、実際に用いた写真乾板(DI-AL, 富士フィルム)の光学濃度をもとにした値である。 I_{th} は回折パターン強度のメディアン値に設定したが、結果的に $I_{th} = 0$ となった。これは、回折パターンの強度がゼロの部分が大多数であることを意味する。Fig.2の格子パターンのランダムな位置に、さまざまな形状の欠陥を挿入したパターンをFig.4に示す。この欠陥入りパターンのフーリエスペクトルとFig.3に示したフィルターを掛け、逆フーリエ変換後2乗した結果がFig.5である。欠陥の形状、および格子との相対的な大きさに依らず、格子パターンと異なる部分のみが抽出できた。特に、数周期にわたる大きな欠陥の場合、欠陥中の周期構造と同じ部分は欠陥から取り除かれ、真に異なる部分のみが抽出されることがわかった。これは、規則的な格子パターンのスペクトル

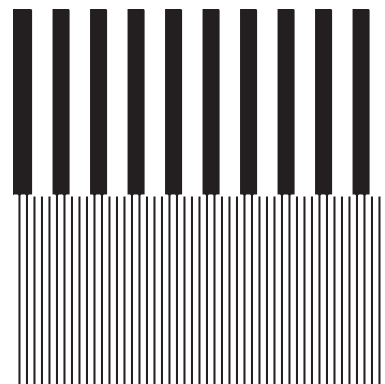


Fig. 2 Two dimensional regular pattern using for the simulation of image difference detection by the Fourier difference filter.

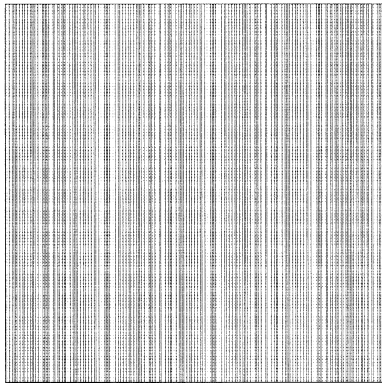


Fig. 3 Fourier difference filter's profile calculated by Eq. (6). Parameters used in Eq. (6) are $T_{\max} = 10^{-0.1}$, $T_{\min} = 10^{-4.0}$ and $I_{\text{th}} = 0$.

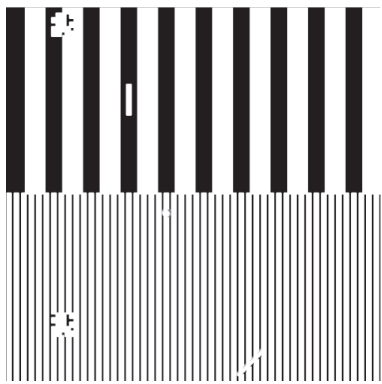


Fig. 4 Two dimensional irregular pattern using for the simulation of image difference detection by the Fourier difference filter.

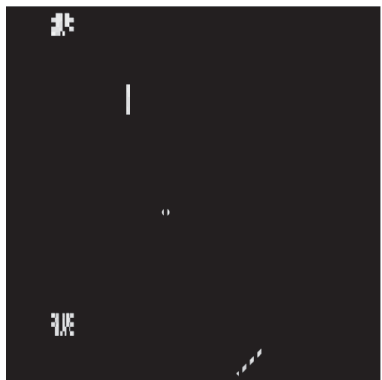


Fig. 5 Extracted irregularity in Fig. 4 by the Fourier difference filter shown in Fig. 3.

が離散的な構造をもつものに対して、欠陥のスペクトルは二次元的に広く分布しているため、フィルターで取り除かれる離散的なスペクトルのすき間に存在する欠陥のスペクトル成分が、フィルターを通過しフーリエ変換され、欠陥のみが抽出されたと考えられる。

4. 光透過型電子基板の光差分自動欠陥検査実験

画像の差異や欠陥を光学的に検査するシステムの概略を Fig. 6 に示した。フーリエ変換レンズ L_1 に照射されたレーザーの平行光束中に測定視界を置いた。測定視界はレンズ L_1 の前側にあるが、 L_1 の前焦点面である必要はない。測定視界に基準画像を入れ、レンズ L_1 の後焦点面 P_2 上に現れるフーリエ変換像（光回折パターン）を熱現像フィルムにその場現像をして、基準画像の反転画像である光遮断フィルターをつくった。そのフィルターを設置したまま、基準画像の代わりに被検査画像を測定視界中に入れ、被検査画像の回折パターンのうち、基準画像と同じ部分を光遮断フィルターで遮光し、第2のフーリエ変換レンズ L_2 を通して遮光された回折パターンのフーリエ変換像を CCD カメラで撮影した。なお、Fig. 6 には、被検査画像がレンズ L_1 の前焦点面にあるときの光路図を破線で示している。前述したように、被検査画像がフーリエ変換レンズ L_1 の前側であれば、レンズからの距離がどこにあっても、その光回折パターンはまったく同じ形状とサイズで光軸中心に現われる。また、被検査画像が光軸に直交する方向にずれた位置にあっても、その光回折パターンは同じである。このことを、Fig. 6 の中で実線で示している。したがって、検査基板の浮きや弛みによって基盤が多少光軸方向に前後しても、検査にはまったく影響を与えない。このことは、基盤を直接撮影して検査する方法では、基板の前後が画像の拡大縮小を招き、検査結果に影響を与えることは著しく異なる特長である。しかし、基盤の回転によるずれは、回折パターンの回転ずれになるので、本手法においても結果に影響を与える。本実験で使用した検査装置では、検査テープ送りにガイドを付け、回転ずれが起こらないように対策を施して画像の欠陥検査が行われた。

この装置を TAB テープインナーリードの欠陥検査へ応用した例を Fig. 7～Fig. 9 に示す。TAB テープの全体像とインナーリード部の欠陥の拡大図を Fig. 7 に示す。欠陥部分ではインナーリードが折れ曲がり平行に並んでいないため、IC チップとの正しい結線ができずに不良品となる。リード線の直径と間隔はそれぞれ $25 \mu\text{m}$ と $50 \mu\text{m}$ と非常に細く、肉眼で不良箇所を特定することは容易ではない。これと同一部分の欠陥のない TAB テープを用いて作製した光遮断フィルターを Fig. 8 に示す。このフィルターを用いて、前述の欠陥 TAB テープを検査した結果を Fig. 9 に示す。欠陥部分が正しく明るい輝点となって検出された。なお、Fig. 9 の検査結果には欠陥部分を明確にするために、欠陥部分に番号が表示されている。

COF に用いられるフレキシブル基板を用いた欠陥検査

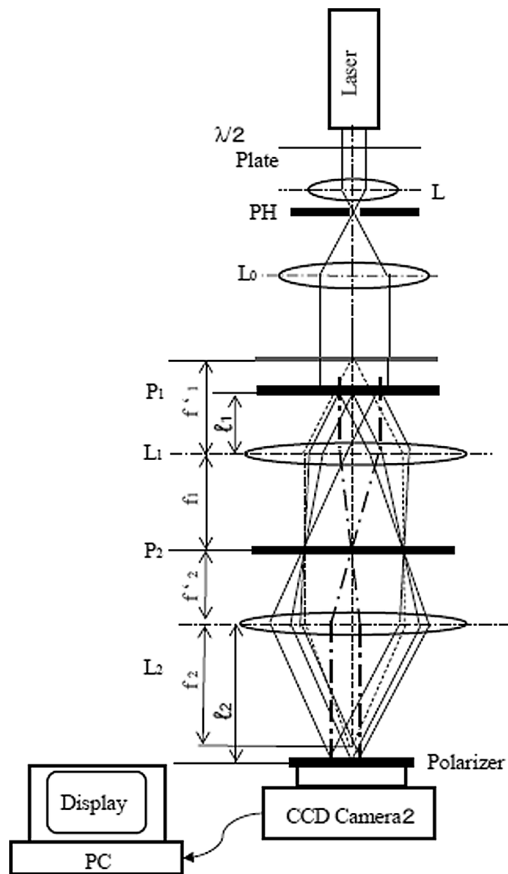


Fig. 6 Optical setup for automatic defect detection system by using Fourier difference filter.

結果を Fig. 10 ~ Fig. 13 に示す. Fig. 10 に示す基準基板 (Reference) を P_1 面の測定視界に入れて, Fig. 11 に示す光遮断フィルターを P_2 面でその場現像した. 基準基板の代わりに測定視界に入れた被検査基板を Fig. 12 に示す. この基板に対する検査結果の画像を Fig. 13 に示す. 欠陥部が明るい輝点となって明瞭に確認することができた. われわれは, 擬似的欠陥として COF テープの上に直径 $10\ \mu\text{m}$ のタングステン線を置いてレーザー光を照射し, その透過光を用いて同様の実験を行い, 欠陥が抽出できることを確認している. したがって, 本システムは少なくとも $10\ \mu\text{m}$ サイズの欠陥を抽出する分解能を備えていることが確認されている. これは, 市販の検査システムの分解能である $20\ \mu\text{m}$ を凌ぐ性能である.

5. 新技術の特徴と従来技術との比較

新技術は複数の画像の並列差分を可能にする光並列差分法である. 従来技術¹⁰⁾ は, カメラで撮り込んだ基準画像と被検査画像の位置合わせを行った後に, 直接画像同士の差分を行う方法である. 一方, 新技術は基板の光回折パ

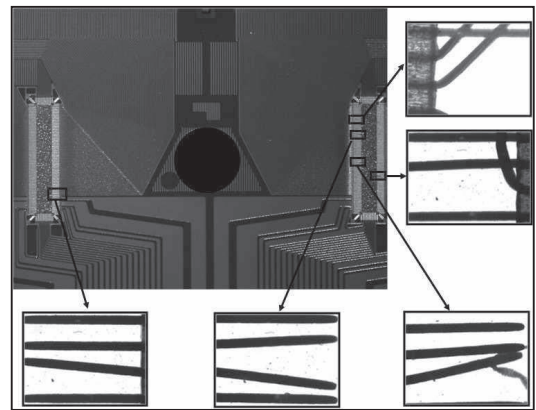


Fig. 7 Transmission photograph of tape automated bonding (TAB) and its expanded image of inner lead parts with defects.

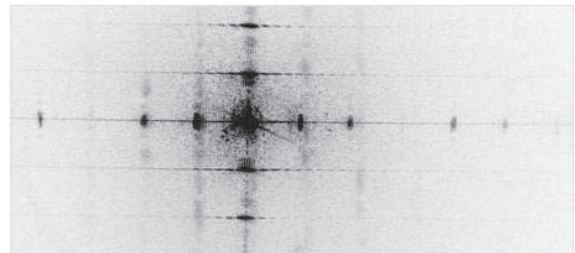


Fig. 8 Fourier difference filter developed from the diffraction pattern of perfect TAB object.



Fig. 9 Detection result of defect points of the TAB. Red markers are inserted in the figure for clarity.

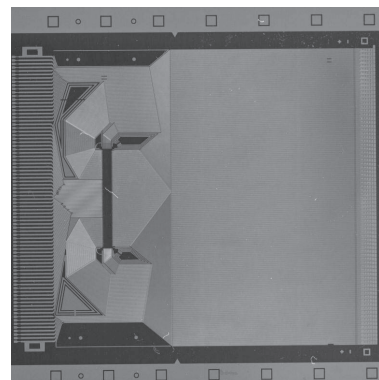


Fig. 10 Photograph of a defectless chip-on-film (COF).

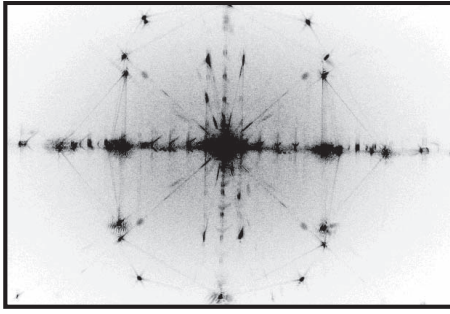


Fig. 11 Fourier difference filter developed from the diffraction pattern of the defectless object in Fig. 10.

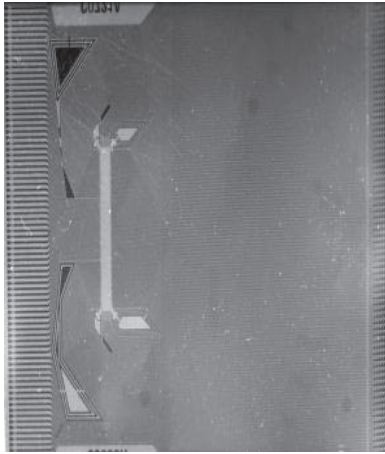


Fig. 12 Photograph of a COF with defects.

ターンを利用して、画像を取り込むことなく直接欠陥部位を可視化する技術である。新技術の特徴は、平行レーザー光の中に置かれた光透過型基板等の物体の位置が、光軸に対して前後・左右に移動しても、レンズの後焦点面にできるフーリエ変換像（光回折パターン）は常に同じであるから、被検査物体の前後・左右・上下のずれには関係なく画像検査ができる点にある。また、従来技術では画像撮込み時における CCD カメラ一画素あたりの大きさで画像検査の分解能が決まるのに対して、新技術では光回折限界に近い照射光波長程度になる。したがって、照射光波長 660 nm での画像欠陥検査分解能は 1~2 μm 程度を容易に達成できる。カメラで基板の画像を撮り検査する従来法において、このオーダーの微細な欠陥を検出するためには、基盤を高倍率で拡大する必要がある。それに伴い視野は大幅に制限されるため、基板全体を検査するためには検査位置を走査する必要がある。COF や TAB のようなフレキシブル基板では、浮きや弛みによって焦点位置が常に前後するため、焦点深度の浅い高拡大率で基板を走査することは非常に困難である。そのため、必要な視野角を確保するため

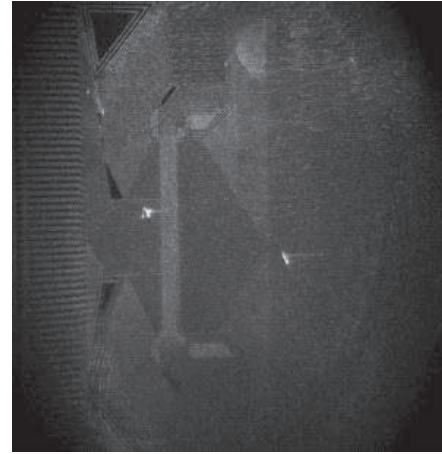


Fig. 13 Detection result of defect points of the COF. Red markers are inserted in the figure for clarity.

に分解能を犠牲にせざるを得ず、従来技術での空間分解能は線間 20 μm 程度が限度である。それに対して、新技術の空間分解能は現時点で 4 μm 程度の線間における欠陥を検出している。

さらに、検査は画像の光差分で行われるから、欠陥検査の速度はきわめて高速で行われる。これに対して従来技術では、被検査物体の前後・左右の位置決めと、カメラの焦点を合わせるため上下の位置決めを高精度に行う必要があり、検査物体搬送機の性能確保にかなりの労力と費用をかける必要がある。現在、従来技術を用いた TAB・COF 検査速度は、メーカーにより多少の差はあるもののおよそ 18 mm/s から 28 mm/s であるのに対して、新技術では約 53 mm/s とほぼ 2 倍の検査速度をもっている。

また、新技術では、Fig. 11 に示した光遮断フィルターは熱現像型写真フィルムをその場現像して得られる。光遮断フィルターの作成時間は約 10 分間程度で自動作成される。従来の写真技術では基準フィルター作成に 4 時間から半日かかるのに比べて、新技術では基準フィルターがごく短時間に簡単に作成できることから、多品種検査に容易に対応できるようになった。

以上、実験を含めて新検査技術の特徴と従来の検査技術とを比較検討した結果、以下の Table 1 に示すように新技術の優位性が明確になった。

なお、Table 1 の (1) 項で、従来技術を Direct subtraction of reflective circuit boards としたのは、従来技術では被検査画像としてカメラで撮影した画像を使う（文献¹⁰参照）という意味で reflective circuit board と表現した。

Table 1 The comparison of new technique with the conventional one.

New technique	Conventional technique
Automatic subtraction between diffraction patterns of reference image and test image ◎ Parallel processing with speed of light and wavelength resolution	Direct subtraction between reference image and test image ▲ Requirement of mechanical positioning system with high resolution and accuracy
(1) Automatic subtraction of diffraction patterns of transparent circuit boards No need to alignment of input images No magnification process Resolution comparable to the wavelength of light	(1) Direct subtraction of reflective circuit boards Requirement of alignment with high accuracy Requirement of magnification Resolution in dependent to pixel pitch of camera
(2) Fourier transform of image with lens Image processing with speed of light No need to care to depth of focus No need to care to target positioning	(2) Capturing of high resolution image Time consuming calculation of image processing and positioning Careful depth alignment Careful target positioning
(3) Image subtraction by optical filter Light speed processing Optical parallel computing	(3) Image subtraction on the computer Dependent to graphical processing board Electrical parallel computing that depends on performance of the computer
(4) Ten minutes to filter making Flexible to different target types	(4) Several hours to make reference image Non-flexible to different target type

6. ま と め

本論文では、光透過型電子基板である COF や TAB の検査に有用な光遮断フィルターを用いた画像差異検出法について解説し、その有効性をシミュレーションと実験により示した。光遮断フィルターは、参照透過画像のフーリエ回折パターンをフィルムにその場現象することにより作製される。このフィルターをレンズの後焦点面に置き、被検査透過画像をレンズの前面に置いてコヒーレント光を照射すると、光遮断フィルターには参照画像の白黒反転画像が記録されているため、被検査透過画像の回折パターンのうち、参照画像と同一部分はフィルターにより遮光され、画像差異部分のみが透過する。これを、再びレンズでフーリエ変換することにより、画像の差異部分のみが再生される。このことを理論的に示し、さらに簡単な物体モデルを用いてコンピューターシミュレーションを行った。その結果、規則的パターンの中から不規則なノイズのみを抽出することができた。さらに、この方法を用いて、実際の TAB と COF の透過画像における目には見えない欠陥部分を抽出することに成功した。

本技術は、従来のカメラと計算機を用いた技術に比べて以下のような利点がある。

- 画像の事前の位置決めが不要である
- 高分解能である
- 処理速度が光速である
- フィルターの作製が容易で高速である

それゆえ、透過型基板の次世代検査技術として非常に有望な技術であるといえる。

なお、本研究は、科学技術振興機構の先端計測分析技術・機器開発事業機器開発プログラムの助成を受けたものである。

文 献

- 1) O. Mohtadi and J. L. C. Sanz: "Recent progress in industrial machine vision," *IAPR Workshop on Machine Vision Applications* (1990) pp. 1-14.
- 2) 伊美哲志: "半導体チップ外観検査装置", 東芝レビュー, **55** (2000) 55-58.
- 3) P. S. Chauhan and S. C. Bhardwaj: "Detection of bare PCB defects by image subtraction method using machine vision," *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011, Vol. 2* (2011) pp. 1597-1601.
- 4) W. Wu, M. J. Wang and C. M. Liu: "Automated inspection of printed circuit boards through machine vision," *Comput. Ind.*, **28** (1996) 103-111.
- 5) 小山俊哉, 足利英昭: "イメージ差分抽出技術", 富士ゼロックステクニカルレポート, No. 20 (2011) 68-73.
- 6) 青木孝文, 伊藤康一, 柴原琢磨, 長嶋 聖: "位相限定相関法に基づく高精度マシンビジョン", *IEICE Fundam. Rev.*, **1** (2007) 30-40.
- 7) 村上知広, 笹俣雅彦: 特公平 20-4084969.
- 8) 清水 勲: 特公平 19-3934351.
- 9) M. Born and E. Wolf: *Principles of Optics, 7th (expanded) ed.* (Cambridge University Press, Cambridge, 1999) pp. 505-506.
- 10) 野本憲太郎, 松田僚三, 林 宏樹: 特開 2008-267851.