しまパターン投影式自動焦点合わせ法 (第1報)*

——理論解析と実験的検証——

秋 山 伸 幸** 牧 平 坦*** 中 田 俊 彦**

Automatic Focusing Method using Stripe Pattern Projection Technique (1st Report)
—Theoretical Analysis and Experimental Proof—

Nobuyuki AKIYAMA, Hiroshi MAKIHIRA and Toshihiko NAKATA

The stripe pattern projection system is analyzed theoretically and experimentally in order to improve detection precision in automatic focusing which is included in the visual inspection equipments used for semiconductor. The design guide for the best system is also described. In the theoretical analysis, the mask defocus, the size of illumination source, the pupil diameter, the wafer defocus and the wavelength for illumination are considered. The contrast variations of projected patterns are calculated in case that the wafer is assumed to have a diffusing or mirror surface. In the experiment using wafers in production, the detected contrast exists between the ones calculated in the afore mentioned two surfaces. The theoretical values coincide with the experimental ones qualitatively. By this suitable design, it is possible to obtain $0.3\ \mu\text{m}$ precision in automatic focusing.

Key words: automatic focusing, microscope focusing, stripe pattern, contaminant inspection, visual inspection, wafer inspection

1. 緒 言

高集積 LSI の歩どまり向上には、製造途中でウエハ上の異物やパターン欠陥を検出し、この情報を基に各種製造装置の清掃、調整、改良を図り、異物やパターン欠陥の発生を低減することが不可欠である。

ここで使用する検査装置の顕微鏡には高 NA 対物レンズを使用しているため焦点深度が浅く、検査中には常にウエハ表面に焦点を合わせるための自動焦点合わせ装置が必須である。顕微鏡用自動焦点位置検出装置には空気マイクロメータ検出法と光学式検出法がある。前者は検出器と試料の間隔が $30\sim 50\ \mu\text{m}$ と狭いため、今回対象としている暗視野照明で検出する対物レンズの場合には適用できない欠点がある。

光学式検出法では検出光路を途中で2方向に分け、光路長の異なる2か所で実像を検出し、コントラストが等しくなる位置を合焦点位置としている¹⁾。この方式では試料上のパターンを検出しているため、試料が高速に移動する場合、又は試料上にパターンがない場

合には焦点合わせができない欠点がある。一方パターンなしウエハ上の焦点位置検出には、レーザを使用したものがある²⁾。

異物・パターン欠陥検査用の自動焦点位置検出装置ではパターンの有無にかかわらず、高速移動中のウエハ上に $\pm 1\ \mu\text{m}$ 以下の精度で焦点を合わせなければならない。これには上記した従来技術では対応が困難である。本研究では積極的にしまパターンをウエハ上に投影し、この像から求めたコントラストの値を用いて、ウエハ上に焦点を合わせる方式を開発した³⁾⁴⁾。ここでは本方式を理論的に解析して、実験によって解析の妥当性を確かめ、更に最適設計基準を示した。これにより自動焦点合わせ系の設計を支援すると共に、検出精度の向上と焦点合わせ引込み範囲の拡大を図ることができる。

2. 検 出 原 理

図1はパターン付きウエハ上の自動異物検査装置に用いた自動焦点系の構成図である。結像レンズ1の焦点位置の前後に設けたしまパターンマスク M_A , M_B をランプで照明してウエハ上に投影する。しまパターンは目視観察の邪魔にならないように視野外に投影している。この像を更に対物レンズと、結像レンズ2によ

* 原稿受付 平成元年 11 月 13 日。1989 年度精密工学会秋季大会学術講演会 (平成元年 11 月 6 日) にて発表

** 正 会 員 (株) 日立製作所 (横浜市戸塚区吉田町 292)

*** (株) 日立製作所

Fig. 1 Automatic focusing system

Fig. 2 Detected signal

Fig. 3 Definition of contrast

り検出し、シリンジカルレンズで一方に画像を圧縮した後、1次元リニアイメージセンサで検出する。しまパターンは、A、Bともにベアパターンとし、これを一つおきに半ピッチずらして配置し、図1のように対向して組み合わせた後、焦点位置にセットしている。

リニアイメージセンサ面における実像と検出信号波形を図2に示す。同図(1)は、ウエハが焦点位置より上方にあり、パターンAのコントラストが高い。(3)はウエハが焦点位置より下方にあり、パターンBのコントラストが高い。(2)は両者の間で、パターンAとBのコントラストが等しくなる位置を合焦点位置にしている。ここでコントラストCは図3に示すように信号の極大値 L_2 と極小値 L_1 を用いて次式で定義している。

$$C = \frac{L_2 - L_1}{L_2 + L_1} \quad (1)$$

しまパターンはウエハ上に常に投影されているので、ウエハが移動中でも、またウエハ上に回路パターンがない場合でも検出できる。

3. 理論解析

ここでは図1に示したしまパターンの投影・検出光学系を理論的に解析した結果を述べる。

3.1 しまパターン投影系の解析

図4(1)でマスク上のしまパターンを後方から照明した時の、結像レンズ1と対物レンズによって投影された像の複素振幅を求める。同図で $M(x, y)$ はマスク上のしまパターンの複素振幅であり、点Oにある時はQに結像し、その時の複素振幅を $D(x', y')$ とする。以下点O、Qを解析の基準位置にしている。

(1) Projection system

(2) Detection system for image on diffusing surface

(3) Detection system for image on mirror surface

Fig. 4 Optical system for projection and detection

マスクが Δz だけデフォーカスして O_1 に來ると、実像は $\Delta z/m^2$ (m は横倍率)だけデフォーカスして点 Q_1 に來る。結像レンズ1の焦点距離を f 、対物レンズの焦点距離を f' とし、ウエハの基準位置からのデフォーカス量を $\Delta z'$ とする。ここで、結像レンズ1と対物レンズを組み合わせたものを対物レンズ系と名付ける。

3.1.1 照明のコヒーレンシーの影響

図5(1)で対物レンズ系の入射瞳の直径を D_p 、入射瞳面における光源像の直径を D_s とし、コヒーレンシー σ を次式で定義する。

$$\sigma = D_s/D_p \quad (2)$$

同図で、入射瞳面上の照明光源像を等間隔に分割し、その中の一点を (ξ_i, η_i) とする。照明主光線がマスク面から点 (ξ_i, η_i) に入った時の主光線の x 軸、 y 軸回りの回転角を θ_i, ϕ_i とする。マスク面上の一点 $P(x_k, y_k, z_k)$ を、回転後の座標系で表したものを $P'(x'_k, y'_k, z'_k)$ とすると、次式が成立する。

$$\begin{pmatrix} x'_k \\ y'_k \\ z'_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_i & 0 & \sin \phi_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi_i & 0 & \cos \phi_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_i & \sin \theta_i \\ 0 & -\sin \theta_i & \cos \theta_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \cos \phi_i & -\sin \phi_i \cdot \sin \theta_i & \sin \phi_i \cdot \cos \theta_i \\ 0 & \cos \theta_i & \sin \theta_i \\ -\sin \phi_i & -\cos \phi_i \cdot \sin \theta_i & \cos \phi_i \cdot \cos \theta_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \end{pmatrix} \quad (3)$$

これを、 y, z 平面上で表したものを図5(2)に示す。 OK_i が主光線であり、点 K_i に入射する光線の波面は近似的に y' 軸になる。マスク面上の一点 P から点 K_i に入射する光線の波面収差は PP' となり近似的に $\sin \theta_i \cdot y_k$ で表される。図5(1)で主光線が入射瞳上の点 (ξ_i, η_i) に入射する際の波面収差を Δd_i とすると、これは式(3)で $z_k=0$ とした時の z'_k で求められ式(4)となる。また位相差 δ_1 は式(5)となる。

$$\Delta d_i = -(\sin \phi_i \cdot x_k + \cos \phi_i \sin \theta_i \cdot y_k) \quad (4)$$

$$\delta_1 = \frac{2\pi \Delta d_i}{\lambda} \quad (5)$$

マスク上のしまパターンの複素振幅を $M(x, y)$ とすると、入射瞳面上での複素振幅 $B(\xi, \eta, \theta_i, \phi_i)$ は次式で表される。

$$B(\xi, \eta, \theta_i, \phi_i) = \iint M(x, y) \exp \left\{ j\delta_1 - \frac{2\pi}{\lambda f} j(\xi x + \eta y) \right\} dx dy \quad (6)$$

3.1.2 マスクデフォーカスの影響

図6でマスクが Δz だけデフォーカスして点 O_1 に來ると、点 O からの光線 OP と点 O_1 からの光線 O_1P

(1) Complex amplitude on entrance pupil

(2) Wave aberration of mask pattern

Fig. 5 Influence of division number in entrance pupil

Fig. 6 Phase difference caused by defocusing

の間には距離 Δl の差が生じる。この量は式(7)で表され、位相差 δ_2 は ξ, η の高次の成分を省略すると近似的に式(8)で表される。

$$\Delta l = \Delta z(1 - \cos \alpha) \quad (7)$$

$$\delta_2 \doteq -\frac{\pi \Delta z}{\lambda f^2} (\xi^2 + \eta^2) \quad (8)$$

λ は波長、 f は結像レンズ1の焦点距離である。

3.1.3 投影パターンの複素振幅

対物レンズ系の開口数(NA)から求められる絞りの瞳関数を $E(\xi, \eta)$ とする。図4(1)で基準位置 Q から $\Delta z'$ だけデフォーカスしたウエハ上の投影パターンの複素振幅 $C_1(x', y', \theta_i, \phi_i)$ は対物レンズ系の入射瞳上の複素振幅をフーリエ変換することにより求

められ、次式で表される。

$$C_1(x', y', \theta_i, \phi_i) = \iint E(\xi, \eta) \cdot B(\xi, \eta, \theta_i, \phi_i) \\ \times \exp\left\{j(\delta_2 + \delta_3) - \frac{2\pi}{\lambda f'} j(x'\xi + y'\eta)\right\} d\xi d\eta \quad (9)$$

ここで δ_3 は図4(1)におけるウエハのデフォーカス量 $\Delta z'$ に起因する位相差であり、式(8)と同様に示して表される。

$$\delta_3 = \frac{\pi \Delta z'}{\lambda f'^2} (\xi^2 + \eta^2) \quad (10)$$

3.2 ウエハ上の投影パターン検出系

ウエハ上に投影されたパターンを、図1で対物レンズ、結像レンズ2で検出する場合には、式(9)で示した複素振幅 $C_1(x', y', \theta_i, \phi_i)$ とウエハ上のパターンの複素振幅とのたたみ込みを求める必要がある。しかしウエハ上には多種のパターンが存在するため、これらを統一的に扱うのは困難である。ここでは二つの極端な場合として、ウエハ表面が拡散面の場合と鏡面の場合について解析する。

3.2.1 拡散面ウエハの場合

ウエハ表面が拡散面の場合には、図4(2)で一度ウエハ上(点S)にしまパターンが形成され、これが発光体のパターンとなって、対物レンズと結像レンズ2によってセンサ上に結像すると考えられる。この解析では結像レンズ1と2の特性を同一とし、シリンダリカルレンズを無視している。ウエハ上に投影されたパターン $G(x', y')$ は次式で表される。

$$G(x', y') = \sum_{\theta_i, \phi_i} |C_1(x', y', \theta_i, \phi_i)|^2 \quad (11)$$

図4(2)で $\Delta z'$ だけデフォーカスした像 $G(x', y')$ を3.1項に述べたマスクパターン $M(x, y)$ に置き換えて、以下同じ計算を行う。対物レンズ系の入射瞳上の複素振幅を $H_1(\xi', \eta', \theta_i', \phi_i')$ 、主光線の傾きによる位相差を δ_4 、ウエハデフォーカスによる位相差を δ_5 、センサデフォーカスによる位相差を δ_6 、絞りの瞳関数を $E_1'(\xi', \eta')$ とすると、センサ上の実像の複素振幅 $K_1(x'', y'', \theta_i', \phi_i')$ 、光強度分布 $L_1(x'', y'')$ は次式で表される。

$$K_1(x'', y'', \theta_i', \phi_i') = \iint E_1'(\xi', \eta') \cdot H_1(\xi', \eta', \theta_i', \phi_i') \\ \times \exp\left\{j\delta_5 - \frac{2\pi}{\lambda f} j(x''\xi' + y''\eta')\right\} d\xi' d\eta' \quad (12)$$

$$L_1(x'', y'') = \sum_{\theta_i', \phi_i'} |k_1(x'', y'', \theta_i', \phi_i')|^2 \quad (13)$$

ここで

$$H_1(\xi', \eta', \theta_i', \phi_i') = \iint G(x', y') \\ \times \exp\left\{j\delta_4 - \frac{2\pi}{\lambda f'} j(\xi'x' + \eta'y')\right\} dx' dy' \quad (14)$$

$$\delta_4 = \frac{-2\pi(\sin \phi_i' \cdot x' + \cos \phi_i' \sin \theta_i' \cdot y')}{\lambda} \quad (15)$$

$$\delta_5 = \frac{\pi \Delta z'}{\lambda f'^2} (\xi'^2 + \eta'^2) \quad (16)$$

$$\delta_6 = 0 \quad (17)$$

3.2.2 鏡面ウエハの場合

この場合には図4(1)で1本の光線を追跡すると、点 Q_1 に結像したパターンはウエハで反射後、同図(3)で点 Q_2 に虚像を作る。ウエハ面の反射では入射角と反射角が等しいので、同図(1)で点 (ξ, η) からの入射光は(3)では瞳の中心 R に対して点対称の位置に戻る。更に同図(1)と逆の光路をたどり、センサ面上に結像するので、この点で光強度分布を求める。その後図4(1)で述べたように種々の主光線についての複素振幅 K_2 を求めるために θ_i, ϕ_i を変化させて上記の計算を繰り返し、最後にこれらを加算すればよい。

点 Q_1 における像の複素振幅 $C_2(x', y', \theta_i, \phi_i)$ は式(9)の中の δ_3 を式(18)に置き換えることによって求められる。

$$\delta_3 = \frac{\pi}{\lambda f'^2} \cdot \frac{\Delta z}{m^2} (\xi^2 + \eta^2) \quad \text{但し } m = \frac{f}{f'} \quad (18)$$

同図(3)で点 Q_2 のデフォーカス量 $\Delta z_2'$ は式(19)、位相差 δ_7 は式(20)で表される。

$$\Delta z_2' = 2\Delta z' - \frac{\Delta z}{m^2} \quad (19)$$

$$\delta_7 = \frac{\pi \Delta z_2'}{\lambda f'^2} (\xi'^2 + \eta'^2) \quad (20)$$

その後の計算は式(14)で $G(x', y')$ を $C_2(x', y', \theta_i, \phi_i)$ に、式(15)で θ_i' を θ_i 及び ϕ_i' を ϕ_i に、式(16)で δ_5 を δ_7 に置き換えることによって3.2.1項と同様に求めることができる。これによって求めた対物レンズ系の入射瞳面上の複素振幅を $H_2(\xi', \eta', \theta_i, \phi_i)$ 、絞りの瞳関数を $E_2'(\xi', \eta')$ とするとセンサ上の実像の複素振幅 $K_2(x'', y'', \theta_i, \phi_i)$ 、光強度分布 $L_2(x'', y'')$ は次式で表される。

$$K_2(x'', y'', \theta_i, \phi_i) = \iint E_2'(\xi', \eta') \cdot H_2(\xi', \eta', \theta_i, \phi_i) \\ \times \exp\left\{j\delta_7 - \frac{2\pi}{\lambda f} j(x''\xi' + y''\eta')\right\} d\xi' d\eta' \quad (21)$$

$$L_2(x'', y'') = \sum_{\theta_i, \phi_i} |K_2(x'', y'', \theta_i, \phi_i)|^2 \quad (22)$$

3.3 数値計算の条件

Table 1 Conditions in calculation

Mask pattern width	w	30-100 μm
Wavelength	λ	0.46-0.66 μm
Division number in wavelength range	n_l	3-20
Coherency	σ	0-1.0
Division number in illumination source image	n_{st}	5-29
Focusing lens focal length	f	100 mm
Mask side numerical aperture	NA	0.042
Objective lens focal length	f'	10 mm
Wafer side numerical aperture	NA'	0.42

上式を計算するためにFFTを使用した。図4で、マスク面上の画素を $\Delta x, \Delta y$ とすると、瞳面上の画素 $\Delta \xi, \Delta \eta$ 及びウェハ面上の画素 $\Delta x', \Delta y'$ は次式で表される。

$$\Delta \xi = \frac{\lambda f}{N \Delta x}, \quad \Delta \eta = \frac{\lambda f}{N \Delta y} \quad (23)$$

$$\Delta x' = \frac{\lambda f'}{N \Delta \xi}, \quad \Delta y' = \frac{\lambda f'}{N \Delta \eta} \quad (24)$$

ここで N は計算領域の分割数であり、512とした。

入力パターンは、画素No.1~25, 51~75, 101~125の時「1」、ほかを「0」とした3本のしまパターンである。パターン幅(25画素)を w (μm)とすると計算領域(512画素)は約 $20w$ (μm)に相当する。ここに用いた計算条件を表1に示す。

照明には波長0.46~0.66 μm の白色光を使用している。計算に当たってはこれを n_l 等分して単波長照明として光強度分布を求め、最後に加算している。また n_{st} は図5における照明光源像を $n_{st} \times n_{st}$ に分割した際の一方方向分割数である。 n_l 及び n_{st} は大きい程正しい像が求められるが、計算時間が長くなるので極力小さくする必要がある。表1の範囲でこれらを変化させて計算した結果、必要最小値として、 $n_l=10, n_{st}=19$ を選択した。

3.4 計算結果

しまパターンを拡散面および鏡面ウェハ上に投影した時のセンサ面上の光強度分布 $L_1(x'', y'')$ および $L_2(x'', y'')$ を式(13)および式(22)を用いて計算した結果の例を図7に示す。しまパターンの場合には、1次元および2次元で計算した光強度の差は5%以下であったので、ここでは1次元で計算した。同図は図1におけるCCD1次元リニアイメージセンサで検出した信号の内、2本のしまパターン像の検出信号(計算値)を示したものである。縦軸は $L_1(x'')$, $L_2(x'')$ 、横軸はウェハデフォーカス量 $\Delta z'$ であり、デフォーカス量 $\Delta z'$ の時の信号波形を奥行の方向に示している。なお図7(1), (2)は図4(1)に示したマスクのデ

(1) Detection of pattern on diffusing surface

(2) Detection of pattern on mirror surface

Fig. 7 Influence of wafer defocus on light intensity distribution

フォーカス量 Δz を2mmにした場合である。同図からウェハデフォーカスによって像のコントラストが大きく変化していること、同図(1)の波形が(2)に比べて滑らかになっていることがわかる。

図7の信号波形からコントラストを求め、コントラストとウェハデフォーカスとの関係に直したものを図8に示す。(1)は拡散面、(2)は鏡面ウェハの場合である。同図(1)では $\sigma=0.8$ と0.5の場合を示したが、 σ が大きい程焦点深度が浅く、ウェハデフォーカスの影響を受けやすいことがわかる。図8(1)を整理して、コントラストの最大値としまパターン幅の関係に直したものを図9に示す。しまパターン幅に比例してコントラストの最大値は急速に低下する。後述するようにマスクは2~3mmデフォーカスさせて使用するので、この時にも十分なコントラストを得るためには70 μm 以上のパターン幅が必要になることがわかる。

図10中の実線はパターン幅を70 μm にして、マスクをデフォーカスさせた時のコントラスト最大値の変化をプロットしたものである。±2.25mmデフォーカスさせた時のコントラストの最大値は0.70程度に低下することがわかる。

4. 実験結果

図1に示した構成の実験装置を製作し、しまパターンの投影・検出実験を行った。実験装置の諸元を表2

Fig. 8 Theoretical influence of wafer defocus on contrast of stripe pattern projected by mask

Fig. 9 Influence of mask pattern width on maximum contrast (on diffusing surface)

* Normalized
Fig. 10 Influence of mask defocus on maximum contrast (on diffusing surface)

Table 2 Experimental apparatus

Objective lens	MPlan Apo 20× (NA 0.42, WD 20 mm)
Focusing lens 1, 2	focal length 100 mm
Image sensor	linear image sensor (2 048 pixels, 14×200 μm ²)
Projection magnification	1/10
Detection magnification	10
Coherency	σ 0.8

に示す。試料ウエハには、最も密な回路パターンを有する4 M DRAM用のP-SiO₂工程ウエハを用い、メモリーセル部分と、回路パターンの存在しない部分にしまパターンを投影した。

式(1)に示した定義に従ってコントラストを求めた結果を図11に示す。同図はしまパターンの位置を焦点位置及び、それから±1.5 mm, ±3.0 mmデフォーカスした時のコントラストの変化を示したものである。メモリーセル上では図8(1)に示した拡散面ウエハと同じように、マスクのデフォーカスによるコントラストの最大値が急速に低下しているが、パターンなし部分では図8(2)に示した鏡面ウエハと同じようにマスクがデフォーカスしてもコントラストの最大値は低下しない。これらは定性的には実験値と計算値は一致しているが、コントラストの絶対値は計算値の方が実験値より大である。これは計算ではレンズ収差、レンズ面での反射、迷光を考慮していないことに起因していると思われる。実際のレンズには収差があるためしまパターンの解像度が低下し、わずかではあるがコントラストが低下する。

図11(1), (2)でパターン幅70 μmのコントラスト曲線を例にとりマスクを+および-方向に同じ距離動かした時の交点でのコントラストを C_0 とする。一方コントラストの最大値を C_a とし、その比を M_c と定義して、マスク間隔との関係に直したものを図12に示す。 M_c が0.5になるようにすると、パターン幅が70 μmの場合には、マスク間隔は5.5~7.0 mmになる。

次に図10で求めたものと同じものを、図11(1)を用いて求めて図10中に○印で記入した。同図ではコントラスト値

を正規化してプロットした。実験値の方が計算値より大きくなっているが、両者は比較的良く合っている。ここでマスク間隔を7 mmとすると、コントラストの最大値は40%に低下してしまう。マスク間隔を4.5 mmにするとコントラストの最大値は75%となり、25%の低下で済む。そこで今回はマスク間隔を4.5 mmとした。

図13はマスク間隔を4.5 mmとした時、図1で示したしまパターンA, Bのコントラスト曲線 C_1 および C_2 とその差 $C_1 - C_2$ を示したものである。ウエハデフォーカスが零近傍のコントラスト差 $C_1 - C_2$ の傾きは0.04/μmであり、コントラストの絶対値は0.4だ

Fig. 11 Influence of wafer defocus on contrast of stripe pattern projected by mask

Fig. 12 Influence of mask gap on contrast ratio at cross point

から変化率は $10\%/μ\text{m}$ となる。電気信号検出時の信号ノイズ、コントラストの演算誤差などに起因する検出のばらつきは、実験では $\pm 3\%$ 存在しており、同一ウエハを用いた検出再現性は $\pm 0.3 μ\text{m}$ (3σ) が得られている。

なお、検出再現性とはウエハ上の一点にしまパターンを投影し、ウエハを上下させた時に同じ位置に戻る精度を指し、メモリーセル上での測定値である。

本研究の目標である $\pm 1 μ\text{m}$ の精度を、各種のウエハ面に関して得るためには、実用上の工夫が必要である。例えば本方式のようにしまパターンを投影する方式では、ウエハ上にこれと同程度のしまパターンが存在する場合には、検出した像が影響を受け、コントラストが変化する。このような実用上の課題と対策は第2報で詳細に報告するが、結論だけを述べれば、実用上の対策により $\pm 1 μ\text{m}$ (3σ) の精度を実現した。

Fig. 13 Influence of wafer defocus on contrast and contrast difference when mask gap is 4.5 mm

5. 結 言

本研究をまとめると次のようになる。

- (1) しまパターン投影式自動焦点検出系では、パターン照明系と検出系に分けて解析し、それぞれマスクデフォーカス、照明光源の大きさ、瞳径、ウエハデフォーカス、波長範囲を考慮することにより解析可能である。
- (2) ウエハ表面を粗面および鏡面として解析した。実験ではメモリーセルのような密パターン上では粗面での計算値に近く、パターンなし部では鏡面での計算値に近い。
- (3) $\text{NA}=0.42$ の対物レンズを用いた検出系で、パターン幅 $70 μ\text{m}$ 、マスク間隔 4.5 mm の時のコントラスト差信号変化は $10\%/μ\text{m}$ となり、 $\pm 0.3 μ\text{m}$ (3σ) の検出再現性が得られた。

最後に、本研究の遂行にあたって御協力頂いた日立製作所生産技術研究所・押田良忠氏、伏見智氏、広井高志氏、および同デバイス開発センタ、清水真二氏、水野文夫氏、田辺義和氏に厚く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 中田 修：タムロン顕微鏡用オートフォーカス装置，写真工業，44，3 (1986) 95.
- 2) 須田 匡，長谷 忍，米沢成二，高見勝己：面板欠陥検出装置，第15回SICE学術講演会講演論文集，No. 1806 (1976) 197.
- 3) 押田良忠ほか：印刷回路パターンの非接触膜厚自動測定装置の開発，第19回SICE学術講演会論文集，No. 1606 (1980) 167.
- 4) 大島良正，伏見 智，原 靖彦：半導体ウエハ（アルミパターン）に適用可能な光学的自動焦点合わせ法，第22回SICE学術講演会論文集，No. 1707 (1983) 223.