マスク基板の支持法に関する研究*

鳥海正樹** 玉虫秀一*** 小川洋司***

A Study on a Photomask-Substrate Holding System of an EB Writing System

Masaki TORIUMI, Shuichi TAMAMUSHI and Youji OGAWA

The continued demand by the integrated circuit industry for higher device densities has placed requirements on the photolithographic manufacturing system for high accurate photomasks. To obtain the desired photomasks, decrease of pattern distortions due to bending of a photomask-substrate, as well as positioning accuracy of electron beam, is needed. In the case of unforced support, for example, this bending is caused by its own weight and by strains between the structured coating and the substrate. This paper shows that, in the condition of cylindrical bending substrate with simply supported edges, adequate bending moments in its supporting points minimizes the pattern distortions and linear gain correction in writing positions makes same effect to them. This paper also shows the examples of substrate flatness supported in a 8 supports holder, minimizing the substrate bending by additional bending moments in its supporting points.

Key words: photomask, substrate bending, EB writing system, position accuracy, holding, bending moments

1. はじめに

描画装置において、被描画物であるマスク基板（以後基板）が描画時にチャック平面精度、基板自重等でゆがんでいると、描画後にひずみが解放され、パターン位置ずれを生ずる。その結果描画パターンは長寸法（ピッチ）、直交度、レジストレーション等の精度低下を引き起こす。特に、マスク描画装置の場合、基板裏面に傷が付くとマスク不良になるため、基板の支持部は描画範囲を除く周辺部のみとなり、支持部の平面精度のほかに基板の自重たわみも考慮する必要がある。

基板たわみと描画パターン位置ずれの関係については、基板たわみを円弧近似した場合の関係式¹⁾および式の評価結果²⁾、基板たわみから予測パターン位置ずれ量を算出し補正する方法³⁾⁴⁾等が報告されている。しかし基板のたわみを円弧近似することに無理があり、またパターン位置ずれ量の最小化については基板の支持法、描画補正法両面で検討しているとはいえない。

ここでは、電子ビーム描画装置で使用しているマスクホルダ（シャトル）において、基板の自重で発生するパターンの位置ずれを最小化する基板の支持法、およびピッチ補正（ $X \cdot Y$ 方向描画位置の比例補正）の描画位置精度に与える影響を説明するとともに、その結果を基に試作したシャトルの基板支持特性について報告する。

2. 基板のたわみとパターン位置ずれ

平面である基板が自重等により図1のようにたわんだ状態で描画された場合、たわみ解放後にパターン位置ずれが発生する。この場合、基板の板厚中央面が伸縮しないと仮定すれば、たわみ解放後の基板位置座標 x でのパターン位置ずれ量 δx は次式で近似できる。ただし、板厚を t 、基板上面と基準平面との角度を θ 、座標 x での基板のたわみ高さを z とし、 δx は x 軸方向を正とする。

$$\delta x = -\frac{t}{2} \tan \theta = \frac{t}{2} \times \frac{dz}{dx} \quad (1)$$

よって、描画精度を向上させるためには、 dz/dx （たわみ角）を小さくする基板の支持法、あるいは位置ずれに対する描画位置補正が必要と言える。ところで、基板の状態を評価しようとした場合、測定器の関係もあり、平面度（たわみ）で評価するのが一般的である。そこでパターン位置ずれについては、以後基板のたわみ特性と比較しながら検討していくものとする。

2.1 基板の自重たわみとパターン位置ずれ

基板平面度を崩さない支持法としては、三点支持法が一般的である。しかしこの場合、基板の板厚が薄いと自重で基板が鞍型にたわんだり、基板自身が持つねじれ等により長寸法および直交精度不良を起こす場合がある。それに対し、基板のたわみが XZ 座標系で表せる円筒たわみ（二次元たわみ）の場合、 Y 方向のパターン位置ずれ δy は零で XY 直交精度が保てる上に、 X 方向のパターン位置ずれ δx は、後で示す基板支持点へのモーメント付加、あるいはピッチ補正で小さくすることが

Fig. 1 Relationship between substrate bending and pattern distortion

* 原稿受付 平成6年6月30日

** 正会員 (株)東芝生産技術研究所 (横浜市磯子区新磯子町33)

*** (株)東芝研究開発センター (川崎市幸区小向東芝町1)

Fig. 2 Schematic diagram of substrate bending by its own weight

可能である。ところで、マスク基板は板厚に比べ板幅がはるかに広いので、 Y 軸方向は変形しにくく、両端単純支持した基板の自重たわみは近似的に二次元たわみとなる。これは直交精度等を得るためには良好な特性を持ち、また Y 軸方向のひずみが零の条件を加えれば、基板たわみを近似的に XZ 座標系におけるはりのたわみ問題に置き換えられることを示す。よって以後基板たわみをはりのたわみ問題に置き換えて検討していくことにする。

両端単純支持の場合のモデルを図 2 に示す。図中において、 L は支持点間距離を、 x は左支持端を基準とした位置を、 R は支持点での反力を、 w は支持点間単位長さ当たりの重量を、 M_0 は基板両端部に加わった曲げモーメントを、 M_x は x 位置で基板に作用している曲げモーメントを示す。基板面は理想平面とし、基板の大きさを $W \times W$ 、板厚を t 、密度を ρ 、重力加速度を g 、ヤング率を E 、断面二次モーメントを I とする。ただし、断面二次モーメントについては、 $t \ll W$ より、 Y 軸方向の応力を考慮して $I = Wt^3/12(1-\nu^2)$ (ただし、 ν はポアソン比) とする。

1) 両端単純支持

x 位置における基板のたわみを z とし、モーメント M_x との関係式から次式を得る。

$$\frac{d^2 z}{dx^2} = -\frac{M_x}{EI} \quad (2)$$

ただし、

$$M_x = -Rx + \frac{wx^2}{2} + M_0, \quad R = \frac{wL}{2},$$

$$w = Wt\rho g$$

式 (2) を積分し、境界条件 $x=0, z=0$ 、および $x=L/2, dz/dx=0$ から次式を得る。

$$z = \frac{-1}{EI} \left\{ \frac{wx^4}{24} - \frac{wLx^3}{12} + \frac{M_0x^2}{2} + \left(\frac{wL^3}{24} - \frac{M_0L}{2} \right) x \right\} \quad (3)$$

$$\delta_x = \frac{-t}{2EI} \left(\frac{wx^3}{6} - \frac{wLx^2}{4} + M_0x + \frac{wL^3}{24} - \frac{M_0L}{2} \right) \quad (4)$$

$I = Wt^3/12(1-\nu^2)$ 、 $w = Wt\rho g$ から δ_x は t に反比例するたため、今後マスクの板厚を厚くすることは精度向上のために有効であると言える。

2) 両端固定支持

各支持点でのたわみおよびたわみ角が零の境界条件から、両端単純支持部に

$$M_0 = \frac{wL^2}{12} \quad (5)$$

のモーメントを加えた場合と等価であると言える。よって以後両端固定支持は両端単純支持の一例として取り扱う。

2.2 式の無次元化

議論を一般化するために、基板中心を原点とする無次元変数

Fig. 3 Dimensionless deflection $Z(X)$ of a substrate by dimensionless bending moment M

Fig. 4 Dimensionless distortion $D(X)$ of a substrate by dimensionless bending moment M

$$X = \frac{x}{L} - \frac{1}{2} \quad \left(-\frac{1}{2} \leq X \leq \frac{1}{2} \right) \quad (6)$$

$$M = \frac{M_0}{wL^2} \quad (7)$$

を導入し、式 (3), (4) が (3'), (4') に書き表せるような無次元たわみ式 $Z(X)$ と無次元パターン位置ずれ式 $D(X)$ を導入する。

$$z = \frac{wL^4}{EI} \times Z(X) \quad (3')$$

$$\delta_x = \frac{wtL^3}{2EI} \times D(X) \quad (4')$$

$$Z(X) = -\left(X - \frac{1}{2}\right)\left(X + \frac{1}{2}\right)\left(\frac{X^2}{24} + \frac{M}{2} - \frac{5}{96}\right) \quad (8)$$

$$D(X) = -X\left(\frac{X^2}{6} + M - \frac{1}{8}\right) \quad (9)$$

ここで、代表的な無次元モーメント M 値に対する $Z(X)$ と $D(X)$ を図 3, 図 4 に示す (ただし、 $-1/2 \leq X \leq 0$)。たわみは M の増加により凹から凸に変化していくことが、パターン位置ずれは M の増加により (−) から (+) に変化していくが凹形状は変わらないことがわかる。

2.3 たわみおよびパターン位置ずれの最小化

支持点間 L 内において、基板のたわみおよびパターン位置ずれを最小にする付加モーメント M_0 について検討する。ここ

で基板の最大たわみ $\eta_{\max}$, 最大パターンひずみ $\varepsilon_{\max}$ を, 次のように, δ_x それぞれの最大最小差で定義する.

$$\eta_{\max} = (z_{\max} - z_{\min}) \quad (10)$$

$$\varepsilon_{\max} = (\delta_{\max} - \delta_{\min}) \quad (11)$$

以後議論を簡単にするために $Z(X)$, $D(X)$ の最大最小差 $H_{\max}$, $E_{\max}$ を最小にする無次元モーメント M について検討する.

1) 最大たわみ

基板たわみの左右対称性から $-1/2 \leq X \leq 0$ とし, また式(8)から, 各 M における $H_{\max}$ を求めると次式を得る. ただし, $Z(x)$ は $X_a = -(3/4 - 6M)^{1/2}$ で極値を持つ.

$$\left. \begin{aligned} M \leq \frac{1}{12} &: H_{\max} = -Z(0) = \frac{5}{384} - \frac{M}{8} \\ \frac{1}{12} \leq M \leq \frac{5}{48} &: H_{\max} = -Z(0) + Z(X_a) \\ &= \frac{3}{2}M^2 - \frac{3}{8}M + \frac{3}{128} \\ \frac{5}{48} \leq M \leq \frac{1}{8} &: H_{\max} = Z(X_a) = \frac{3}{2}M^2 - \frac{M}{4} + \frac{1}{96} \\ \frac{1}{8} \leq M &: H_{\max} = Z(0) = \frac{M}{8} - \frac{5}{384} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

以上の結果を図5に示す. これから $M=5/48$ の時,

$$(H_{\max})_{\min} = \frac{1}{1536}$$

を持つことがわかる. この値は $M=0$ の場合の $1/20$, 両端固定支持 ($M=1/12$) の場合の $1/4$ であることを示す.

よって, $\eta_{\max}$ を最小にする付加モーメントは $M_0 = 5wL^2/48$ であり, その時の値は次式で表せる.

$$(\eta_{\max})_{\min} = \frac{wL^4}{1536EI} \quad (13)$$

2) 最大パターンひずみ

パターン位置ずれの点対称性から, 基板半分での最大または最小パターン位置ずれの絶対値の2倍が基板全面での最大パターンひずみ $\varepsilon_{\max}$ となる. また, 描画域は各描画ごとに不定であり, 描画ごとのモーメント調整は無理なため, ここでは $-1/2 \leq X \leq 0$ の範囲で最大パターン位置ずれ $E'_{\max}$ を最小にする無次元モーメント M を検討する.

式(9)から, 各 M における $E'_{\max}$ を求めると次式を得る. ただし, $D(x)$ は $X_b = -(1/4 - 2M)^{1/2}$ で極値を持つ.

$$\left. \begin{aligned} M \leq 0 &: E'_{\max} = -D\left(-\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{24} - \frac{M}{2} \\ 0 \leq M \leq \frac{3}{32} &: E'_{\max} = -D(X_b) = \frac{1}{3}\left(\frac{1}{4} - 2M\right)^{3/2} \\ \frac{3}{32} \leq M &: E'_{\max} = D\left(-\frac{1}{2}\right) = \frac{M}{2} - \frac{1}{24} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

以上の結果を, 図6に実線で示す. これから $E'_{\max}$ は, $M=3/32$, 言い換えれば

$$-D(X_b) = D\left(-\frac{1}{2}\right) \quad (15)$$

の時, 最小値

$$(E'_{\max})_{\min} = \frac{1}{192}$$

を持つことがわかる. この値は, $M=0$ の場合の $1/8$, 両端固定支持 ($M=1/12$) の場合の約 $2/3$ であり, この時のたわみ式, パターン位置ずれ式は, 次式となる.

Fig. 5 Relationship between dimensionless bending moment M and dimensionless maximum deflection $H_{\max}$

Fig. 6 Relationship between dimensionless bending moment M and dimensionless maximum distortion $E_{\max}$

$$Z(X) = -\left(X - \frac{1}{2}\right)\left(X + \frac{1}{2}\right)\left(X - \frac{\sqrt{2}}{4}\right)\left(X + \frac{\sqrt{2}}{4}\right) \quad (16)$$

$$D(X) = -\frac{X}{6}\left(X - \frac{\sqrt{3}}{4}\right)\left(X + \frac{\sqrt{3}}{4}\right) \quad (17)$$

よって, $\varepsilon_{\max}$ を最小にする付加モーメント値は $M_0 = 3wL^2/32$ であり, その値は次式で表せる.

$$(\varepsilon_{\max})_{\min} = \frac{wL^3}{192EI} \quad (18)$$

以上の結果を基に, 4, 5, 6 インチ基板の自重による最大たわみ $\eta_{\max}$, および最大パターンひずみ $\varepsilon_{\max}$ の計算値を表1に示す. 計算において, 材料は石英 ($E=7.31 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, $\nu=0.17$, $\rho=2.22 \text{ g/cm}^3$), 支持点位置はそれぞれ基板端から 5 mm 位置に設定している. これから 6 インチ角, 厚さ 0.09 インチ基板 (6009 基板) を自由端支持した場合, 最適モーメントを加えることで $\eta_{\max}$ は $3.55 \mu\text{m} \rightarrow 0.178 \mu\text{m}$, $\varepsilon_{\max}$ は 0.183

Table 1 Evaluations of a maximum deflection and a maximum pattern distortion of a substrate

	Support Substrate	Simply supported			Fixed
		No moment	Minimum	Moment (Nmm)	
Maximum deflection $\eta_{\max}$ ($z_{\max} - z_{\min}$)	4", $t=0.06''$	1.369 μm	0.068 μm	(2.94)	0.274 μm
	5", $t=0.09''$	1.619	0.081	(9.01)	0.324
	6", $t=0.09''$	3.553	0.178	(16.01)	0.711
	6", $t=0.25''$	0.461	0.023	(44.47)	0.092
Maximum distortion $\varepsilon_{\max}$ ($d_{\max} - d_{\min}$)	4", $t=0.06''$	0.073 μm	0.009 μm	(2.65)	0.014 μm
	5", $t=0.09''$	0.101	0.013	(8.11)	0.020
	6", $t=0.09''$	0.183	0.023	(14.41)	0.035
	6", $t=0.25''$	0.066	0.008	(40.02)	0.013

* Support location is 5 mm from edge

$\mu\text{m} \rightarrow 0.023 \mu\text{m}$ に減少できることがわかる。

2.4 従来式との比較

基板のたわみを円弧近似した従来式の場合、測定範囲 l での最大たわみ $\eta_{\max}$ と最大パターンひずみ $\varepsilon_{\max}$ の関係は、基板の支持点位置に関係なく次式で表される¹⁾²⁾。

$$\varepsilon_{\max} = \frac{4t\eta_{\max}}{l} \quad (19)$$

それに対し自重たわみの場合、従来式に合わせるために M を零とし、測定範囲 l が支持点間中央位置にあると仮定した上で $l = \alpha L$ (ただし $0 < \alpha \leq 1$) と置き換えれば、式(3'), (4') から求めた $\eta_{\max}$ と $\varepsilon_{\max}$ の関係は、 α を関数とする次式で表される。

$$\varepsilon_{\max} = \frac{8(3-\alpha^2)}{(6-\alpha^2)} \times \frac{t\eta_{\max}}{l} \quad (20)$$

よって α が小さい場合は、従来式とほぼ一致するが、 α が大きくなるにつれ、 $\varepsilon_{\max}$ は従来式値の 4/5 に収束する。

2.5 ピッチ補正によるパターン位置ずれ補正

描画前に基板各点のたわみを測定し、そのたわみ関数を 4 次関数近似式で求めれば式(1)から描画後のパターン位置ずれが予測できる。そこで描画時にこの予測ずれ量を補正すれば描画精度を向上させることができる。しかし補正精度を上げるためには、基板各点のたわみ測定数を増やす必要があり、スループットの低下をもたらす上に、ステージ上で測定したたわみ量にはステージ上下動 ($1 \mu\text{m}$ 程度)、基板の加工平面度 ($2 \mu\text{m}$ 程度) を含むため、基板の厚さに比例して補正精度の低下をもたらす。

そこで、支持基板が二次元たわみ形状であり、たわみ再現性が良いとの条件下で、描画結果からパターン位置ずれ量を測定し、マスク描画装置が持つ線形ピッチ補正で自重たわみによる最大パターン位置ずれを小さくする描画法について検討する。

ピッチ補正における補正係数を

$(wtL^3/2EI)K$, (ただし、 K は無次元係数)

として、ピッチ補正描画を行った後の無次元パターン位置ずれ $DD(X)$ は次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} DD(X) &= D(X) - K \times X \\ &= -X \left\{ \frac{X^2}{6} + (M+K) - \frac{1}{8} \right\} \end{aligned} \quad (21)$$

この式は式(9)の M を $M+K$ に置き換えた場合と等価であり、補正係数 K はモーメント M を補う働きをすることがわかる。

よって、ピッチ補正により $\varepsilon_{\max}$ を最小にする条件は、その X 軸方向の描画範囲を 2.4 章の測定範囲 l と同様に αL とした場合、 $DD(X)$ が $-a/2 \leq X \leq 0$ で極値を持ち、その絶対値が $DD(-a/2)$ と等しいことから次式を得る。

$$K + M = \frac{4-\alpha^2}{32} \quad (22)$$

よって、式(22)の関係を満足する補正係数 K を選ぶことで、

$$(\varepsilon_{\max})_{\min} = \frac{wt(\alpha L)^3}{192EI} = \frac{wtl^3}{192EI} \quad (23)$$

を得ることができる。例えば $\alpha=1$ の場合、 $K+M=3/32$ となり、式(23)は式(18)と一致する。

以上の結果はピッチ補正だけで、最適モーメントを加えた場合と同じ描画精度が得られることを示す。しかし図6によれば、 $d(E'_{\max})/dM$ 値は、最適付加モーメント値に近づく程小さくなるため、最適付加モーメント時は $M=0$ の時より、基板

Fig. 7 Schematic diagram of substrate supportings in a new mask-holder

のそり等の影響を受け難いと言える。また、オートフォーカスにより描画高さを補正するにしても基板の平面度が高い方が補正誤差が少ないことから、精度向上には付加モーメントで自重たわみを極力補正し、残留誤差をピッチ補正する方が良いと言える。

3. 試作シャトルの評価

上記の結果を基に試作した 6 インチ基板用シャトル (220 mm × 220 mm × 30 mm) の基板支持原理 (片面) を図7に示す。本シャトルの特徴は下記の通りである。

- (1) 基板上面基準の両端単純支持 (支持: 計 8 点)
 - (2) 曲げモーメント付加が可能
 - (3) 低発塵性および各種板厚 (2.3~6.4 mm) 対応ガイド (パンタグラフ型 2 段板ばね)
 - (4) シーソー型回転ばねを介した基板の押付け
 - (5) シャトル横面からの基板搬入・搬出 (コの字形状)
- ただし基板支持点については、6009 基板のように基板厚が

Fig. 8 Experimental results of substrates flatness (6" size and 0.09" thick substrate)

Fig. 9 Experimental results of substrates flatness (6" size and 0.25" thick substrate)

2.3 mm と薄く、自重や加工による残留応力およびクロム被膜内の残留応力の影響を受けやすい基板の場合は、基板の平面度を矯正する意味もあり 8 点すべてを基準支持点（当たり面 1 mm×4 mm）としている。また、6025 基板のように基板厚が 6.35 mm と厚く、それ自身の平面度が良い基板の場合は、基板の平面度を保つために 3 点を基準支持点、残り 5 点を基板押付け力と平衡を取るための板ばね支持点としている。基準支持点の高さおよび板ばねによる力の調整は、レーザ干渉平面度測定器（測定範囲：径 150 mm, 0.3 μm/干渉じま）で基板の平面度を測定しながら、前者はラップ仕上げで後者は板ばね先端にある M3 の調整ねじで行った。

3.1 2 段板ばねガイドの上下剛性

板ばねの長さを L_s 、幅を W_s 、厚さを t_s 、断面二次モーメントを I 、ヤング率を E 、2 枚の板ばねのなす角度を 2θ （ただし、変形後も θ が変わらないと仮定）とすれば、パンタグラフ型ガイド 1 個の上下剛性 K_s は近似的に次式で表せる。

$$K_s = \frac{12EI}{L_s^3 \cos^2 \theta} \quad (24)$$

例えば、板ばね材料をりん青銅 ($E=12 \times 10^4$ N/mm²) とし、 $L_s=31.6$ mm, $W_s=16$ mm, $\tan \theta=1/3$ rad, $t_s=0.3$ mm とした時の実測剛性値は 1.64 N/mm であり、設計剛性値 1.83 N/mm とほぼ一致した。

3.2 マスク基板のたわみ特性

図 8 に各支持法における 6009 基板のたわみ例（コイルばね 4 個の総押付け荷重 15 N）を示す。測定には先のレーザ干渉平面度測定器を使用した。(c), (d) の中央部にある横棒 (115 mm×10 mm) は基板中心目印のため置いたものである。

これから、(a) の基板単体（低弾性体で裏面全面支持）の場合、基板の加工精度および基板表面上に残る残留応力が原因と思われるたわみを含め、平面度誤差は 3 μm 程度であることがわかる（ただし、(b) を想定した仮想支持点を基準とする）。(b) の 4 点支持では、さらに自重たわみが加わり、平面度誤差は 6 μm 程度に増加している。(c) の 8 点支持では、たわみが円筒状に矯正され平面度誤差が 4.5 μm に低減しており、さらにモーメント 22 Nmm を支持点に加えた (d) では、平面度誤

差が 0.6~0.9 μm に低減している。

平面度誤差について表 1 の計算結果と比較すると、(c), (d) ではそれぞれ 1 μm, 0.6 μm 程度、また最適付加モーメントは (d) において 7 Nmm 程度計算値より多くなっている。この原因は基板単体の持つ初期平面度誤差、はり近似による誤差、シャトルの組立て誤差等の影響と思われるが、(c), (d) と条件が変わるに従い計算値との差が小さくなることから、この影響は 8 点支持にすることで、またさらに最適付加モーメントを加えることでより低減していると言える。

図 9 に各支持法における 6025 基板のたわみ例（レジスト付き、総押付け荷重 15.5 N）を示す。(a) の基板単体（低弾性体で裏面全面支持）の場合、外周付近にある 0.3 μm の等高線以外に、凹凸がないことから残留応力の影響は特に認められない。

(b) の 3 点支持では 0.3 μm 程度のたわみが認められるが、(c) の（3 点支持+5 点弾性支持+モーメント 35 Nmm）では (a) と平面度がほぼ一致することがわかる。

以上の結果から、基板の支持点を 8 点とすることで二次元たわみ形状にし、さらに付加モーメントを最適化することで、残留応力たわみおよび自重たわみの影響を低減できることがわかる。特に 6025 基板の場合、自重たわみは 0.3 μm 以下であり、その予測パターン位置ずれ量は ±0.01 μm 以内となることから、試作シャトルは自重たわみが描画精度に与える影響を大幅に低減できると考える。

4. おわりに

描画精度を考慮した場合、マスク基板の支持法として基板自重たわみが二次元たわみになる方法が良いことを指摘した上で、マスク基板の自重たわみにより発生するパターン位置ずれについて次の結果を得た。

- (1) パターン位置ずれを最小にするモーメント荷重が存在し、その値は自重たわみを最小にするモーメント荷重と異なる。
- (2) ピッチ補正は、パターン位置ずれに対しモーメント荷重を基板に加えたのと同じ効果がある。
- (3) 試作シャトルは、基板の自重たわみを低減でき、マスクの描画精度向上に有効である。

参考文献

- 1) J. A. Underhill: Overlay Precision for Micron Lithography, Proc. SPIE, 80, (1976) 85.
- 2) 土谷勝英: 高精度 6" レチクル製造技術——マスク平坦度のパターン位置精度への影響, SEMI 技術研修セミナー, STEP/Micropatterning '93 テキスト, Semiconductor Equipment and Materials International Japan, (1993) 101.
- 3) 乙武太朗, 石関達己: パターン位置測定装置, 特許公報, 昭 61-233312.
- 4) 杉島賢次, 中川健二: 露光処理方法, 特許公報, 平 3-52210.