

位相差回折モアレ信号による超精密位置決め制御

原 憲 司・内 田 悦 行

Super-Accurate Alignment Technique Using Differential Moire Signals

Kenji HARA and Yoshiyuki UCHIDA

The demand for high resolution in the lithographic processes is increasing. The submicron lithography requires highly accurate alignment between the mask and the wafer. The authors have proposed an automatic and accurate alignment technique for proximity printing in X-ray lithography using two pairs of moire gratings, respective moire signals from each pair being 180° out of phase with each other. The basic characteristics of diffracted moire signals obtained by some optical basic experiments and numerical calculations were discussed for the automatic alignment. A control reproducibility better than 32nm was obtained using the stepping moter as an actuator. Experiments for the mask alignment were carried out using two paires of quadruple gratings of 16 μ m pitch, a combined unit of 4 matched photodiodes and two pairs of PZT controllers. A control reproducibility better than 40nm for X-Y directions was obtained. This technique has been also applied to projection photolithography, as a part of the mix and match lithographic system to go with proximity X-ray lithography.

1. はじめに

超 LSI の高密度化に伴って回路パターンの微細化が進められている。パターンを転写する際のマスク・ウエハ間の位置決め精度には、パターン最小線幅の1/5~1/10が要求される。次世代サブミクロンリソグラフィプロセスには、数十 nm の位置決め精度が必要となる。

この高精度位置決めを実現するために、光の干渉や回折現象を利用した、回折モアレ法、光ヘテロダイン法、フレネルレンズを用いた方法、など種々の方法が提案され、装置化の研究が進められている^{1,2)}。また、マスクパターンの転写に現在使われている光縮小投影露光装置では、パターン線幅0.5 μ mが限界と言われており、さらにパターン線幅が狭くなるとX線を用いた等倍露光方式への移行が必至であると考えられる。位置決めセンサ技術にもこれに対応できる高精度が要求される。

モアレ技術を応用した位置決め技術は、位置決めマーク作製の容易な点と、装置が簡素である点から

広く研究されてきた。しかし、モアレ技術を応用した従来の方法の多くは、回折モアレ光強度が最小となる点で位置決めを行うために、位置決め感度が低い。あるいは、 ± 1 次回折モアレ光の対称性を利用したものであるため、位置決めの際の回折光の非対称性によって影響を受ける。さらに ± 1 次回折モアレ信号から変位信号とマスク・ウエハ間隙変動信号を分離することが原理的にできない、などの問題点も持っている。

そこで著者らは、位置決め感度を高めるために回折モアレ光の強度変化が最大となる点で位置決めを行う。180°の位相差をもつ2組の回折格子のそれぞれから得られる0次回折モアレ光の差信号を用いて自動位置決めを行うため、マスク・ウエハ間隙の微小変化に影響されず高精度が望める。さらに、ウエハマークが、X線等倍露光と光縮小投影露光とに共用できるハイブリッドリソグラフィに適する。などの特長をもつ位置決め法を提案した。

本論文では、著者らが行ってきたこのモアレ技術

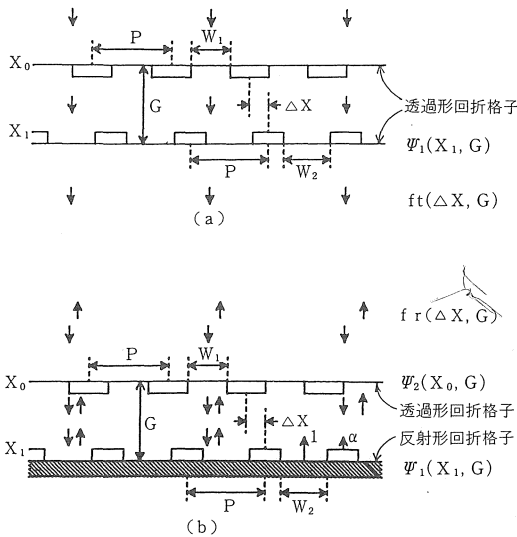


図1 回折モアレ光の計算モデル

(a) 透過形回折モアレ系

(b) 反射形回折モアレ系

を用いた位置決めの方法と今迄に得られた結果を述べる。まず回折モアレ光の特性を理論計算と実験で求める。次に、位相差回折モアレ法と名付けた位置決めの方法について、基本実験で実証する。そしてX線等倍露光用マスク位置決め装置の試作結果を示す。さらにハイブリッド化のために光縮小投影露光へ適用するための基礎実験を行い、将来への展望を述べる。

2. 回折モアレ光の特性

同一ピッチ P の2枚の回折格子を所定の間隔で配置し、レーザー光を照射すると、その透過光ならびに反射光は各次数に分かれたモアレ縞となって現れる。格子間隔 G を適当に選ぶことにより、0次の回折光は格子に垂直方向の相対変位に対してピッチ P の周期で変化する。

回折モアレ光はキルヒホッフの回折理論を用いて計算できる³⁾。図1に透過と反射の回折モアレ光の計算モデルを示す。

まず、透過回折モアレ光の計算法について説明する。第1回折格子で回折された光の、第2回折格子上の複素振幅 $\psi_1(x_1, G)$ はフレネル回折積分により、次式で与えられる。

$$\psi_1(x_1, G) = \sum_{m=-M}^M \int_{-W_1/2}^{W_1/2} r^{-1/2} (1+G/r) \exp(-ikr) dx_0 \quad (1)$$

$$r = [G^2 + (x_0 + mP - x_1)^2]^{1/2}$$

ここで、 P は回折格子のピッチ、 G は格子間隔、 k は波数、 $2M+1$ は回折に寄与するスリット数、 W_1 は第1回折格子のスリット幅を示す。

さらに第2回折格子を透過した N 次回折光 $f_1(\Delta x, G_N)$ はフラウンホーファ近似を用いて次式で計算できる。

$$f_1(\Delta x, G_N) = \int_{-W_2/2}^{W_2/2} \psi_1(x_1, G) \exp\left(\frac{2\pi i N x_1}{P}\right) dx_1 \quad (2)$$

ここで、 Δx は2つの回折格子の相対変位、 W_2 は第2回折格子のスリット幅を示す。

0次回折光の強度は次式で与えられる。

$$f_1(\Delta x, G_0) = \int_{-W_2/2}^{W_2/2} \psi_1(x_1, G) dx_1 \quad (3)$$

次に、第2回折格子が反射形格子である場合の計算方法について説明する。第2回折格子からの反射光の第1回折格子背面上での複素振幅は、回折光の重ね合わせによって計算でき、次式で与えられる。

$$\psi_2(x_0, G) = \sum_{m=-M}^M \int_{-P/2+\Delta x}^{P/2+\Delta x} \psi_1(x_1, G) R(x_1 - \Delta x) \times r^{-1/2} (1+G/r) \exp(-ikr) dx_1 \quad (4)$$

ここで、反射率分布 $R(x)$ は次のように設定した。

$$R(x) = \begin{cases} 1 & (|x| < W_2/2) \\ \alpha & (W_2/2 < |x| < P/2) \end{cases} \quad (5)$$

さらに、第1回折格子で回折し戻って行く N 次回折光 $f_r(\Delta x, G_N)$ は、式(2)と同様、フラウンホーファ近似を用いて次式で与えられる。

$$f_r(\Delta x, G_N) = \int_{-W_1/2}^{W_1/2} \psi_2(x_0, G) \exp\left(\frac{2\pi i N x_0}{P}\right) dx_0 \quad (6)$$

0次回折光強度は次式で与えられる。

$$f_r(\Delta x, G_0) = \int_{-W_1/2}^{W_1/2} \psi_2(x_0, G) dx_0 \quad (7)$$

透過と反射の0次回折モアレ信号の、格子間隔 G を変数とした変位特性の計算結果を図2に示す。ここで、透過形では $W_1/P = W_2/P = 0.44$ 、反射形では $W_1/P = 0.44$ 、 $W_2/P = 0.56$ 、 $\alpha = 0.2$ とした。

モアレ信号のコントラストは、2つの回折格子の間隔を増すとフレネル領域内で周期的に変化し、間隔が $G = mP^2/\lambda$ で最大となる。ここで、 m は整数、

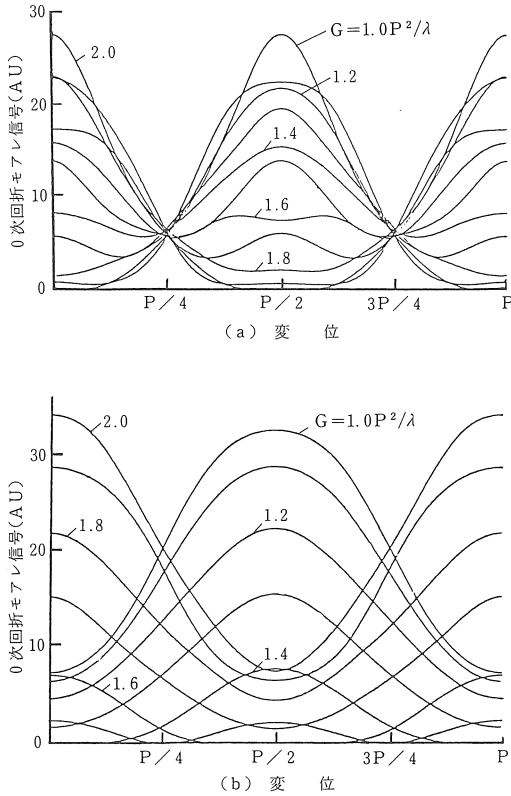


図2 格子間隔 G を変数とした0次回折モアレ信号 (数値計算結果)

- (a) 透過形回折モアレ系 ($W_1/P = W_2/P = 0.44$)
- (b) 反射形回折モアレ系 ($W_1/P = 0.44, W_2/P = 0.56, \alpha = 0.2$)

λ は光の波長である。

これらの特性は、He-Ne レーザを光源とした実験で確認した。透過と反射の0次回折モアレ信号の変位に対する測定結果を、格子間隔 G を変数として図3に示す。回折格子のピッチ $P = 200 \mu\text{m}$ 、使用した He-Ne レーザの波長 $\lambda = 0.633 \mu\text{m}$ である。測定結果は、数値計算結果 (図2) とよい一致を示している。

3. 位置決め方法

位相差0次回折モアレ信号を用いた自動位置決めの方法⁴⁻⁶⁾を図4を用いて説明する。図4 a に2組の回折格子の位相関係を示す。第1の格子A, Bに対して第2の格子C, Dはそれぞれ $\pm 90^\circ$ 位相差をも

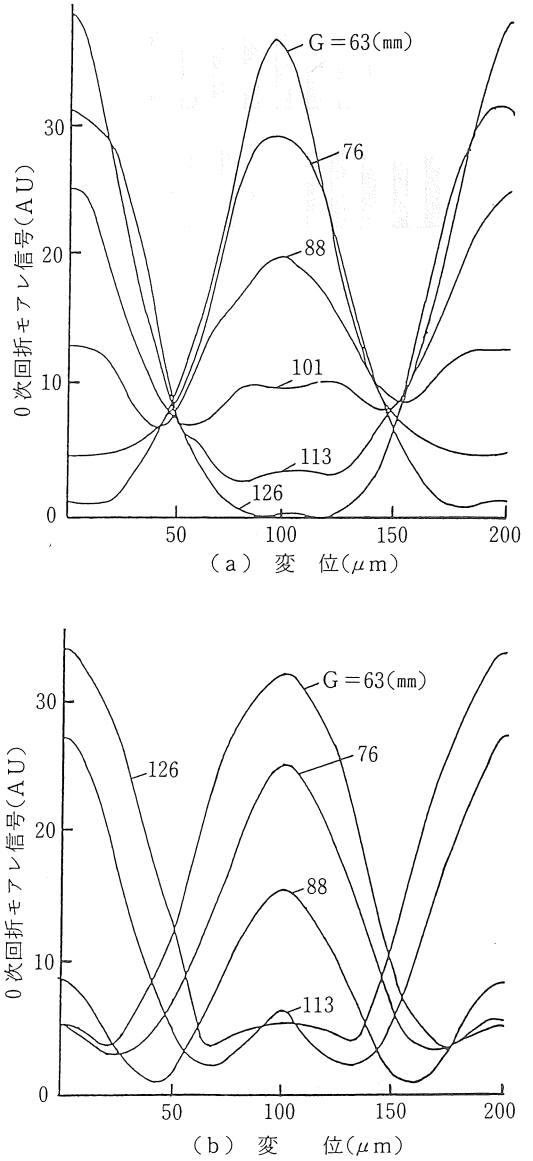


図3 格子間隔 G を変数とした0次回折モアレ信号 (実験結果)

- (a) 透過形回折モアレ系 ($W_1/P = W_2/P = 0.44$)
- (b) 反射形回折モアレ系 ($W_1/P = 0.44, W_2/P = 0.56, \alpha = 0.2$)

つ、2組の格子A, CおよびB, Dから得られる0次回折モアレ信号は、格子間隔が mP^2/λ において格子の相対変位に対して図4 bに示すように 180° の位相差をもつ。図4 aの配置では位置決め原点で2つのモアレ信号の強度は等しく、その差信号は0

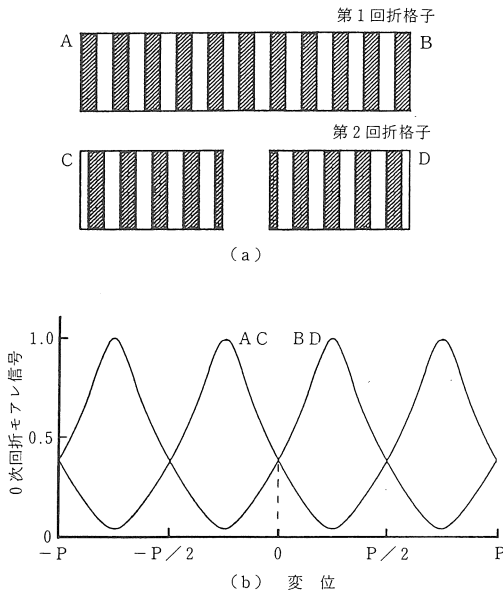


図4 位置決め方法

(a) 位相差回折格子の配置図

(b) 180°位相差0次回折モアレ信号

となる。位置決めは2つのモアレ信号の差信号を制御信号として行う。

本方法では、モアレ信号が位置決め点付近で変位に対して急傾斜であるので高い位置決め感度が得られる。また格子間隔が mP^2/λ からわずかに変化しても2つの0次回折モアレ光の強度の等しい位置決め点は変化しないなどの特長がある。

4. 透過形位置決め実験

透過回折格子を用いる位相差0次回折モアレ法による位置決めの基本実験システムを図5に示す。He-Ne レーザ光を、半透鏡により2光束に分け、2組の回折格子A、CおよびB、Dに入射する。回折格子のピッチは $200\mu\text{m}$ である。格子A、Bは一体の格子であり、格子C、Dは分離した格子である。格子C、D間の180°の位相差は、格子Dを載せたXY補助微動台のX軸方向の調整で行う。格子A、BとC、Dの間隙は、移動用微動台のY軸方向の調整によって1mmに設定した。ステッピングモータのギア比は1/180で、ステップ角は 0.01° である。この角度に対応した移動用微動台X軸方向の最小変位は $0.028\mu\text{m}$ である。2組の格子からの0次回折モアレ光は2つのフォトダイオードで受光し、前置増幅器によ

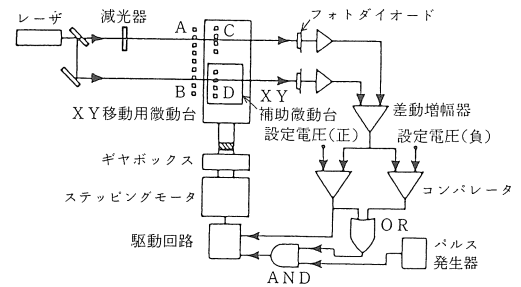


図5 透過形位置決め実験システム

って増幅する。2つの検出出力のコントラストが等しくなるように、片方の光路に入れてある減光器と2台の前置増幅器の利得を調節する。コントラストの等しくなった2つのモアレ検出信号は、差動増幅器に取り込まれる。差動増幅器からの出力ノイズは、時定数可変のRCフィルタで低減する。差動増幅器の出力電圧は、回折格子の相対変位に対して正・負に変化し、位置決め点において0となる。

差動増幅器の出力電圧は、2つのコンパレータにより、正・負の設定電圧と比較される。このコンパレータの出力により、移動用微動台のステッピングモータの駆動が制御される。差動増幅器の出力電圧が正の設定電圧より大きいと、これに対応するコンパレータの出力がハイレベルとなり、もう一方のコンパレータの出力はローレベルとなる。このために、駆動回路にパルスが入っていればステッピングモータは時計方向に回転する。差動増幅器の出力電圧が負の設定電圧よりも振幅が大きいと、逆にステッピングモータは反時計方向に回転する。しかし、どちらの場合もORゲートの出力はハイレベルである。従って、ANDゲートにより駆動回路にパルスが入り、ステッピングモータは回転を続ける。差動増幅器の出力電圧がコンパレータの設定電圧の範囲内にあると、両方のコンパレータの出力はローレベルとなり、ORゲートの出力もローレベルとなる。従って、ANDゲートはステッピングモータの駆動回路にパルスが入ることを制止し、ステッピングモータは差動増幅器の出力電圧が0となった位置の近傍で止まる。このように、コンパレータの設定電圧の値は、このシステムの不感帯幅すなわち位置決め精度を決める。

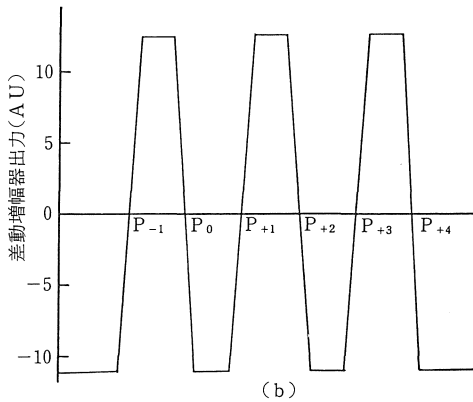
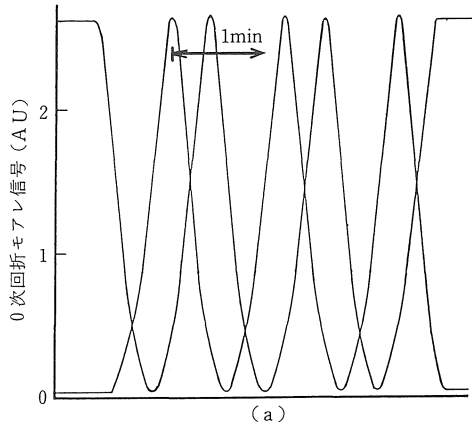


図6 (a) 連続動作0次回折モアレ信号
(ベンチオフセット値0.2min)
(b) 対応する差動増幅器出力

5. 透過形位置決め実験結果

移動用微動台のステッピングモータをX軸方向に連続動作させた時の0次回折モアレ信号および差動増幅器の出力をそれぞれ、図6 a, bに示す。モアレ信号は格子ピッチ $P=200\mu\text{m}$ の周期で変わり、2信号は 180° の位相差を示している。ここで、 P_0 をロック位置とすると、2つのモアレ信号が等しい偶数番目の点 $P_{\pm 2}, P_{\pm 4}, \dots$ でもロックが可能である。しかし、奇数番目の点 $P_{\pm 1}, P_{\pm 3}, \dots$ ではロックされない。これは、ステッピングモータが、差動増幅器の出力電圧が正の場合には時計方向に、負の場合には反時計方向に回転するためである。コンパレータの設定電圧の極性を反転すれば、逆に $P_{\pm 1}, P_{\pm 3}, \dots$ でロックされる。従って位置決め領域は、位置決め点の両

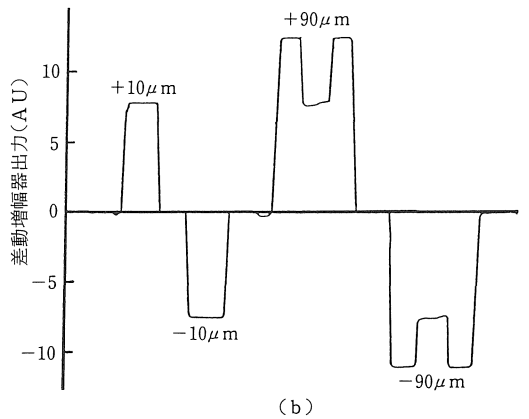
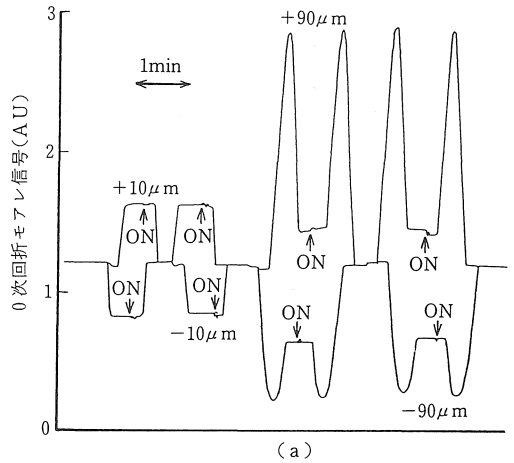


図7 位置決め制御特性
(a) 変位 $\pm 10\mu\text{m}$ および $\pm 90\mu\text{m}$ に対する0次回折モアレ光 (ベンチオフセット0.2min)
(b) 対応する差動増幅器出力

側 $\pm P/2=100\mu\text{m}$ である。

モアレ信号による自動位置決めの様子を図7に示す。まず、制御ループのスイッチを切り手動により変位を作る。この変位点を出発点として制御ループのスイッチを入れ位置決めを自動的に行わせる。その際の2つのモアレ信号の変化の様子を図7 aに、対応する差動増幅器の出力電圧を図7 bにそれぞれ示す。図6の P_0 点を位置決め点とし、手動でこの位置決め点から $\pm 10\mu\text{m}$ 離れた点と、 $\pm 90\mu\text{m}$ 離れた $P_{\pm 1}$ 点近傍の点を出発点とした。位置決め点近傍からも、モアレ信号のピーク1つ隔てた点からも、同じ P_0 点にロックされる。

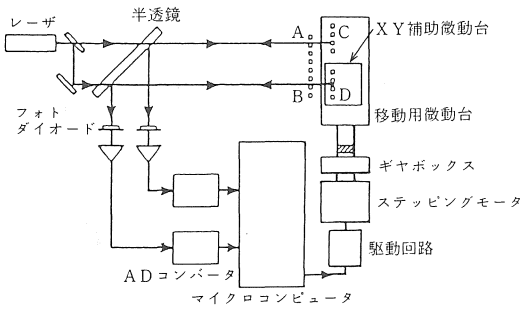


図8 反射形位置決め実験システム

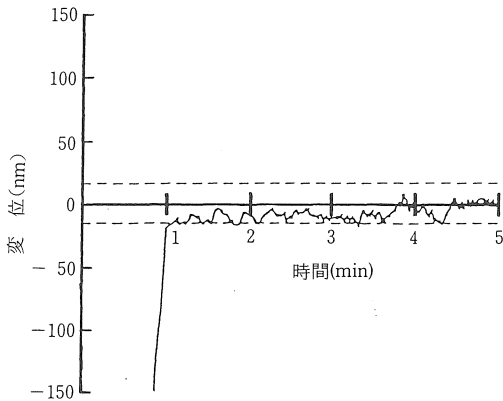


図9 自動位置決め信号の記録
破線は不感帯領域±16nm

モアレ信号が変位に対して正弦波で変化し、位置決め点はその直線域であるので、近似的にコンパレータの設定電圧に対する変位が求まる。

$$\Delta I = \frac{P}{2\pi} \frac{I_{ref}}{I_{max}}$$

ここで、 I_{ref} は設定電圧の大きさ、 I_{max} は2つのモアレ信号の差信号の最大振幅値である。実験で設定したコンパレータの設定電圧±50mVは±0.08 μ mの変位に相当し、この不感帯幅内にロックされた。

6. 反射形位置決め実験

実際のリソグラフィプロセスでは、第2格子は反射率の高いウエハ上に描かれることになる。従って、第1格子に透過回折格子、第2格子に反射回折格子を用いた反射形位置決めシステムとなる。

図8に示す実験配置で反射形的位置決め実験を行った^{7,8)}。この実験では、回折格子A、CおよびB、Dから得られた180°位相の異なった2つの0次回折

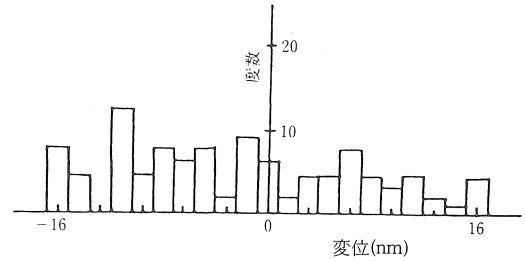


図10 位置決め点の度数分布

モアレ信号をマイクロコンピュータへ取り組み、2信号の差を取り出すための演算とステッピングモータの制御をマイクロコンピュータで行った。ここでは、ピッチ25 μ m、デューティ比1/2の矩形格子を用いた。He-Ne レーザ光の波長は0.633 μ mである。格子C、D間には180°の空間的な位相差を生じさせた。回折格子の間隔は、移動用微動台のY方向の調整によって1mmに設定した。移動用微動台のX方向1ステップ最小変位は14nmである。前置増幅器のノイズ低減用RCフィルタの時定数は0.4sである。

図9に、反射形での位置決め実験結果の一例を示す。2本の破線は、正・負の設定値を示し、この不感帯幅は±16nmに相当する。システムの発振を回避するために、コンピュータは移動用微動台をステッピングモータを介して移動させた後、1.4sの待ち時間後にADコンバータから信号を読み取る。この待ち時間はRCフィルタの時定数の3倍以上である。図10に、位置決め点の度数分布を示す。ロック位置をX軸に、頻度をY軸に示す。ロック実験の試行回数は100である。すべてのロック位置は、設定値に対応した不感帯幅±16nmの範囲内に入り、一様に分布している。

7. マスク位置決め装置への適用

上記の実験結果から、本技術が位置決めシステムに適用できると言える。しかし、本技術を実際的位置決め装置に適用し、精度5nmで設計するためには、ステージの分解能、システムのS/Nや安定性を改善する必要がある。

ステッピングモータのかわりに、PZT圧電積層体駆動機構を用いると、分解能が向上し応答速度の改善も期待できる。図11に示すマスク精密位置決め用PZT圧電積層体駆動XY θ ステージを試作した^{9,10)}。各頂点に2個のPZT素子と2個の押しばね

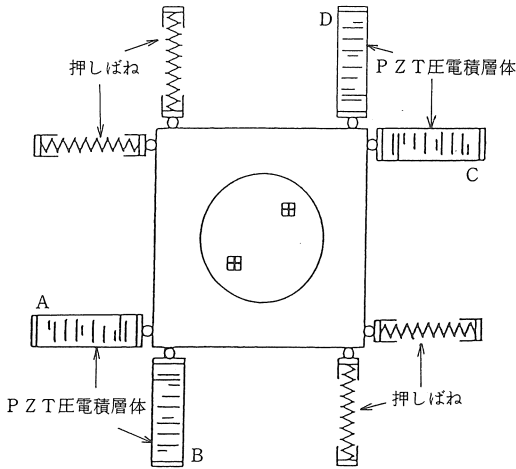


図11 PZT 圧電積層体駆動 XY θ ステージ

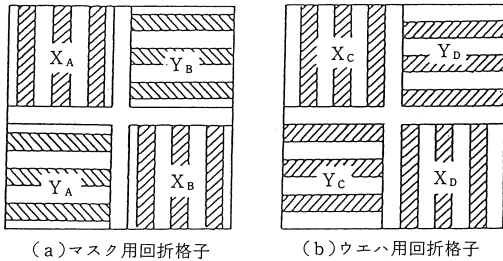


図12 4分割回折格子

が直角に配置されており、PZT 素子と押しばねが押し合うような構造になっている。この PZT 素子に印加する電圧を制御すれば、XY θ の 3 自由度を高分解能で制御できる。例えば、PZT 素子 A の印加電圧を上げ、C の印加電圧を下げると、ステージは X 方向に移動する。同様に、PZT 素子 B と D により、Y 方向に移動する。また、PZT 素子 A と C の両方の印加電圧を上げると、 θ 方向の回転制御が行える。

この PZT 圧電積層体駆動 XY θ ステージの位置決め制御には、図12 a に示すような 4 分割回折格子を図11のステージ上 2ヶ所に配置する。これらの格子を用いれば、直交する 2 方向ならびに回転を同時に制御できる。4 分割格子の大きさは、 $10 \times 10 \text{mm}^2$ である。図12は模式的に描いてあるが、実際の格子ピッチは $16 \mu\text{m}$ である。回折格子 X_A と X_C 、 X_B と X_D 、 Y_A と Y_C 、 Y_B と Y_D がそれぞれ対応するように第 1、第 2 格子を配置する。また格子対 $X_A X_C$ と $X_B X_D$ は空間的な位相が 180° 異なっており、X 方向の位

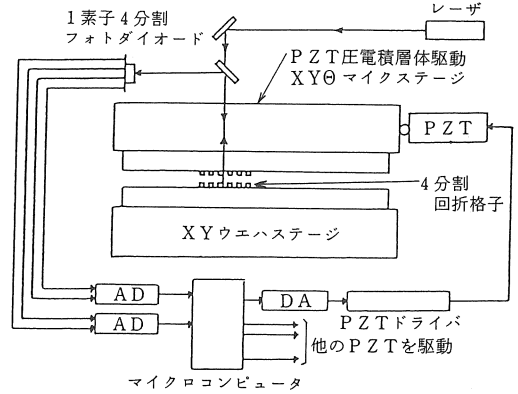


図13 PZT 圧電積層体駆動マスク位置決めシステム

置決めを利用する。同様に、 $Y_A Y_C$ と $Y_B Y_D$ は Y 方向の位置決めに用いる。

図13に示すような、PZT 圧電積層体駆動 XY θ ステージと 4 分割格子を組み合わせた位置決めシステムを構成し、位置決め実験を行った。He-Ne レーザ光は、第 1 および第 2 格子に入射する。第 1 格子は試作した PZT 圧電積層体駆動 XY θ ステージに、第 2 格子は XY ステージに設置されている。4 分割格子からの 0 次反射モアレ信号は、1 素子 4 分割フォトダイオードで受光され、電気信号に変換される。信号は前置増幅器で増幅された後、AD コンバータによりデジタル信号に変換され、マイクロコンピュータに入力される。マイクロコンピュータはこれらの信号をもとにして、DA コンバータを介して PZT 圧電積層体駆動 XY θ ステージを制御し位置決めを行う。AD および DA コンバータに 12bit を用いた。PZT 圧電積層体駆動回路の出力レンジは $20 \sim 500 \text{V}$ である。

図14に、PZT 圧電積層体駆動 XY θ ステージを X 方向および Y 方向に移動させて得られたモアレ信号を示す。横軸に PZT 素子の印加電圧、縦軸に信号強度を示す。波形が非対称になっているのは調整不良と PZT 素子のヒステリシスによるものであり、フィードバック制御を行う本システムでは問題とならない。

図15に、XY 2 軸について位置決めを行った結果を示す。横軸に時間、縦軸にモアレ差信号から換算した PZT 圧電積層体駆動 XY θ ステージの変位を示す。2 本の破線は正・負の設定値で、この領域に

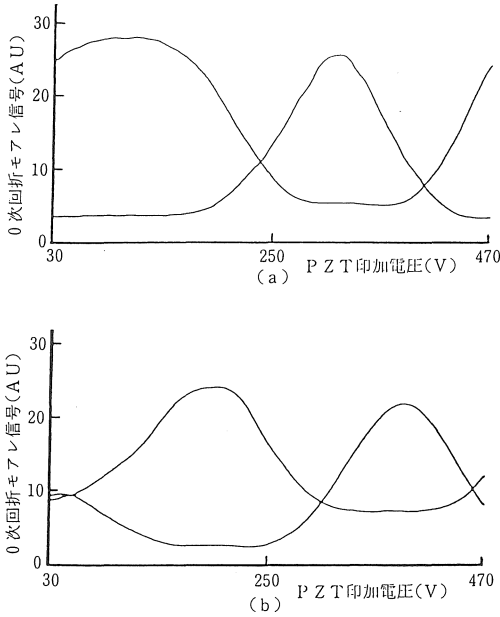


図14 PZT 圧電積層体駆動特性
(a) X方向, (b) Y方向

入るよう制御を行っている。設定値により決まる不感帯幅は±20nmである。実線はX方向、破線はY方向の制御信号である。X方向とY方向間に相互干渉があり、一方向ずつ順次領域を狭くする方法で位置決めを行った。

PZT 圧電積層体駆動 XYθ ステージでの基本実験では、±20nmの精度が得られたが、さらにXYステージの高剛性化とシステムの安定性の向上などは残された問題である。

8. 縮小投影露光装置への応用

半導体リソグラフィプロセスの高密度化は、光縮小投影露光、光縮小投影露光とX線等倍露光の双方を組み合わせたハイブリッド露光、そしてX線等倍露光と順次進められる現状である。従って、位置決めシステムも等倍露光（プロキシミティ方式）と光縮小投影露光（プロジェクション方式）の双方に適用できるものが有利である。位相差回折モアレ法を光縮小投影露光装置に適用する投影モアレ位置決め実験を行った¹¹⁾。図16に示す光学配置で投影モアレ光を測定した。第1格子G₁に125μmピッチ、第2格子G₂に25μmピッチの格子を用い、1/5縮小レンズにより、G₁の格子像をG₂の格子上に重ね合わせる。

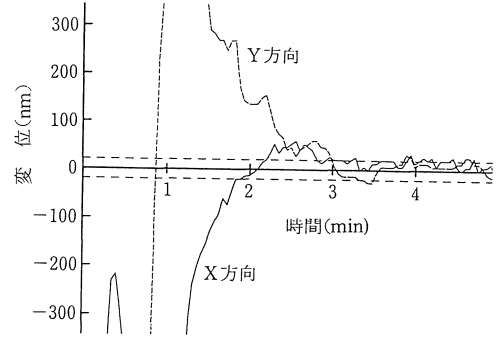


図15 XY自動位置決め信号の記録

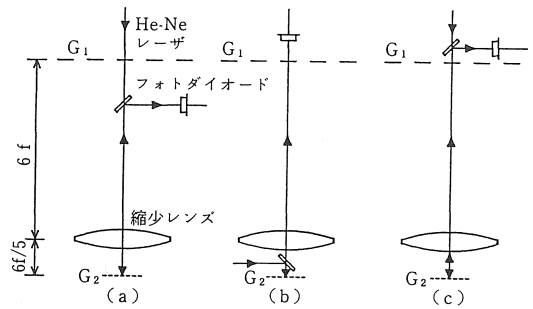


図16 投影モアレ光学系

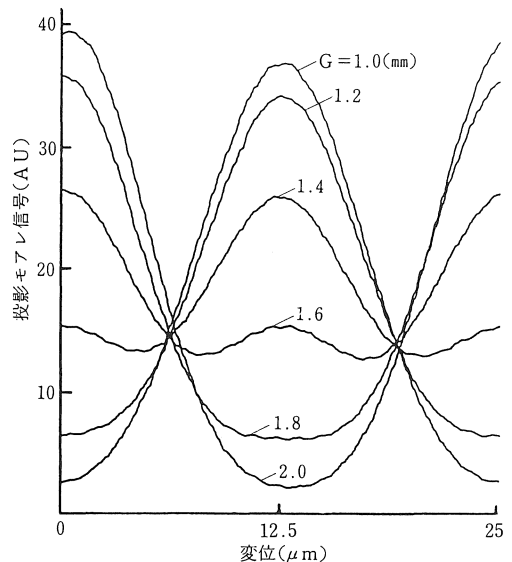


図17 投影モアレ信号

レーザ光の入射位置とモアレ光検出位置が異なる図16 a, b, cの光学系配置でモアレ光を第1格子G₁の変位に対して観測した。図17に図16 aの光学系

配置で得られた反射形投影モアレ信号の測定結果を示す。横軸は G_1 の投影像と G_2 との相対変位、縦軸はモアレ信号である。結果はプロキシミティ方式の透過形回折モアレ信号と類似の特性を示している。図16bの光学系配置においても同様の特性を示すが、図16cの光学系配置ではプロキシミティ方式での反射形回折モアレ信号と類似の特性を示す。いずれの場合にも位置決めには有用なモアレ信号が検出されている。

現在、本技術を実際の光縮小投影露光装置に組み込み、実装技術として問題の解決が図られている^{12,13}。露光用光源と位置決め用光源の波長が異なることによる位置決め精度への影響、位置決め速度の高速化など研究課題はまだ残されている。

9. おわりに

- (1) 回折モアレ光の数値計算結果と実験結果とが良好一致を示した。
- (2) 180°の位相差をもつ2組の回折格子を用いると、0次の回折モアレ信号の差動信号で自動位置決め制御ができることを示した。
- (3) 回折格子を近接配置（プロキシミティ）して、透過形および反射形の0次回折モアレ信号による位置決め実験を行いこの技術の有効性を実証した。
- (4) X線等倍露光用圧電積層駆動XYθマスク位置決めステージで±20nmの位置決め精度が得られた。
- (5) 光縮小投影露光装置の位置決めにも位相差回折モアレ法が適用可能であることを実験で示した。
- (6) 位相差回折モアレ法を用いた超精密位置決め技術がハイブリッド露光装置に有用であることを示した。

謝辞

リソグラフィ用アライメントに関する一連の研究を、名古屋大学工学部電子機械工学科工学博士服部秀三教授の指導で1983年から始めた。参考文献の著者ら共同研究者の協力に対して謝意を表す。数値計算の一部に本学計算センターのスーパーコンピュータCRAY X-MP14seを用いた。超精密光学実験の一部は本学クリーンルーム設備クラス1000で行われた。

参考文献

- 1) 内田悦行, 肥後村誠, 大橋康二: 超精密位置決め用センサの事例, 昭和63年度精密工学会春季大会シンポジウム資料, 83-87, 1988.
- 2) 内田悦行, 原憲司: いま注目される超精密位置決め用センサ, 回折モアレ法, 光ヘテロダイナ法, フレネルレンズ法: M&E, 15, 108-115, 1988.
- 3) V. T. Chitnis, Y. Uchida, K. Hane and S. Hattori: Moire Signals in Reflection, Opt, Commun., 54, 207-211, 1985.
- 4) 服部秀三, 内田悦行, V. T. Chitnis: モアレ干渉法を用いた超精密自動位置決め技術, 精密機械, 51, 135-140, 1985.
- 5) S. Hattori, Y. Uchida and V. T. Chitnis: An Automatic Super-Accurate Positioning Technique Using Moire Interference, Bull. Jpn. Soc. Prec. Eng., 20, 73-78, 1986.
- 6) S. Hattori and Y. Uchida: Optical Self-Alignment System, U.S.Pat., 4664524, 1987.
- 7) Y. Uchida, M. Furukawa, K. Hane and S. Hattori: Automatic Alignment Technique for X-ray Lithography Using Moire Signals in Reflection, SPIE, 661, 95-101, 1986.
- 8) Y. Uchida, S. Hattori and T. Nomura: An Automatic Mask Alignment Technique Using Moire Interference, J. Vac. Sci. Technol., B5, 244-247, 1987.
- 9) Y. Uchida, Y. Akao, H. Miyake, T. Iida, M. Furukawa, K. Hane and S. Hattori: Micro-computer Controlled Positioning System Using Moire Signals, Digest of 1987 Int. Conf. on Lasers, (Xiamen, PRC) 150, 1987.
- 10) H. Miyake, T. Iida, K. Miwa, T. Shibata, A. Yoshida, Y. Uchida and S. Hattori: Automatic Mask Inspection System Using X-Ray as a Source, SPIE's 1989 Symp. on Microlithography, (San Jose, USA) 1089-20, 1989 (accepted).
- 11) Y. Uchida, K. Hara, T. Nomura, S. Kimura, D. Sugimoto, A. Yoshida, H. Miyake, T. Iida and S. Hattori: An Alignment Technique Using Diffracted Moire Signals, 33rd Int.

- Symp. on EIPB, (Monterey, USA) 1989 (communicated).
- 12) T. Nomura, S. Kimura, Y. Uchida and S. Hattori : Moire Alignment Technique for the Mix and Match Lithographic System, J. Vac. Sci. Technol., B6, 394-398, 1988.
- 13) D. Sugimoto, S. Kimura, T. Nomura, Y. Uchida and S. Hattori : Moire Alignment Technique for Projection Photolithographic System, SPIE's 1989 Symp. on Microlithography, (San Jose, USA) 1088-26, 1989 (accepted).

(受理 平成元年 1 月 25 日)