

レーザを用いたリソグラフィ用マスクアライナの開発

Development of A Mask-Aligner using A Laser
for the Lithographic Processes周礼中[†]、劉京南^{††}、古橋秀夫^{†††}、内田悦行^{†††}

Lizhong Zhou, Jingnan Liu, Hideo Furuhashi, Yoshiyuki Uchida

Abstract Precision linear-position control using moiré signals have been investigated for a mask-alignment on the lithographic processes. Differential moiré technique using two grating pairs 180° out of phase was used. With the reduction of the noises, and improvement of the stability of the laser output power, the linear-alignment accuracy of $\pm 4\text{nm}$ was obtained. Furthermore, rotational-position control using differential moiré technique has been investigated. The rotational-alignment accuracy of $\pm 4 \times 10^{-7}$ rad has been obtained.

1. はじめに

半導体集積回路の集積度は増大の一途をたどっている。特に近年、半導体記憶素子 DRAM は、1Gbit へ向けて研究開発が進められている。この高密度化に伴い素子の回路パターンの最小加工寸法は $0.2\mu\text{m}$ 以下にまで微細化している。(図1) 集積回路の製造工程には、微細な回路パターンが描かれた何枚かのマスクを用いて、そのパターンをウエハ上に順次重ね焼き露光するリソグラフィ工程がある。

リソグラフィ工程における最小加工寸法は、使用するエネルギー線の波長により制限される。従来は紫外線が用いられてきたが、LSIの要求するパターンの最小加工寸法が紫外線の波長と同程度になり、解像度の限界に近づいている。そのためより波長の短い X 線を用いた、X 線リソグラフィが有望視されている。

X線リソグラフィでは、加工寸法と等倍のマスクをウエハに近接して置き、これに X 線を照射

し、パターンを転写する。(図2) しかし数枚のマスクを使用するため、各パターンの相対位置を正確に合わせる必要がある。回路の最小加工寸法は 1Gbit DRAM で $0.2\mu\text{m}$ 以下であるので、その際要求される位置決め(アライメント)の精度は最小加工寸法の $1/10$ として十数 nm にもなる。よって非常に高精度な位置決め装置(アライナ)が必要となる。そこで色々なアライナが提案された。¹⁻⁵⁾

その一つとして、回折モアレ光を用いた方法がある。²⁻⁵⁾ この方法は位置決めマークの作成が容易

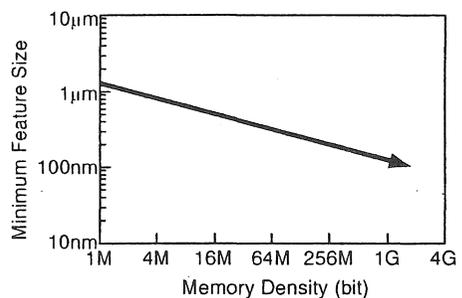


図1 DRAMの最小加工寸法

† 愛知工業大学 訪問研究員

†† 東南大学、中国

††† 愛知工業大学 情報通信工学科

で、装置が簡単であるという利点を持つ。我々はこれまでに、この方法をさらに発展させ、2組の回折格子対を用いた差動回折モアレ光による位置決め装置を開発し、 $\pm 16\text{nm}$ の位置決め精度を達成した。¹⁰⁾

この論文では、さらに実用的なリソグラフィー用ライナの開発に向け、位置決め精度の改善及び角度位置決めについての実験を行ったので報告する。

2. 直線位置決め

2.1 原理

図3の様に2枚の回折格子を平行に置き、レーザー光を照射すると、レーザー光はこれらの回折格子により回折され、その透過光及び反射光は回折モアレ縞となる。回折モアレ光の強度は、2枚の回折格子の相対位置によって変化する。よって逆に回折モアレ光強度より相対位置を求めることができる。

差動モアレ法では、2組の回折格子対を使用する(図4)。ただし、両回折格子対の間に 180° の位相差を持たせる(図5)。図6(a)にこの時の

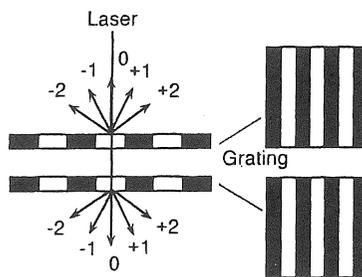


図3 回折格子の配置図

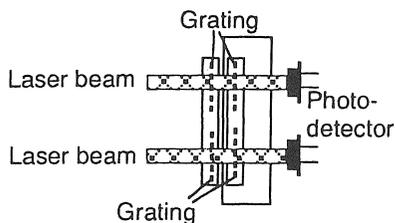


図4 差動モアレ法

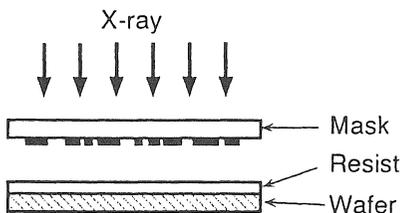


図2 X線リソグラフィー

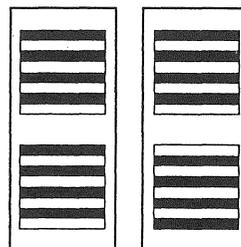


図5 グレーティング対

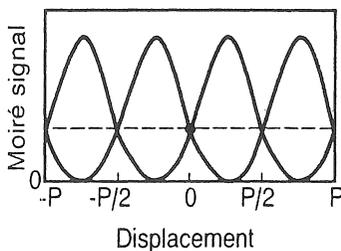
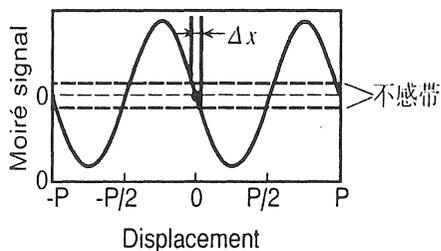


図6 (a) 180° 位相差回折モアレ信号



(b) 差動回折モアレ信号

モアレ信号を示す。差動回折モアレ法では両モアレ信号の交点を位置決め点とする。両モアレ信号の差（図6(b)）を取り、差信号の正負によりステージの移動を行う。差信号が不感帯域に入ればステージの移動を止める。この点では位置変位に対する差信号の変化率が大きいため感度が高い。

差動回折モアレ法では、レーザ光強度が変動したとしても、図7に示すように位置決め点は左右に変動しない。また図8に示すように、回折格子間隔の変動にも影響を受けない。さらに、2信号の差信号（差動回折モアレ信号）では同相ノイズがキャンセルされるため、S/N比が良くなる。よって高精度のアライナを構成するのに非常に有効な方法である。

2・2 実験

図9に実験システムの構成を示す。格子A、Bは1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度の位相差は、格子Dを載せたステージによって行なった。He-Neレーザからの光はハーフミラーにより2つに分離され、片方のレーザ光を減衰ミラーで調整して光強度を同じにした後、各回折格子対へと入射する。2つのフォトダイオードで検出した回折モアレ信号は、コンピュータに取り込まれ、差を取ることで差動回折モアレ信号を計算した。その信号より格子C、Dが載ったステージを移動した。回折格子のピッチ $P=25\mu\text{m}$, 格子間隔は1mmである。

2・3 結果

図10(a)に実験で得られた2つのモアレ信号を示す。180度位相の異なる回折モアレ信号となっている。2つのモアレ信号光強度に差があるのは、両回折格子対に入射するレーザ光強度が完全に等しくなっていないためである。図10(b)にこれらの2つの回折モアレ信号からコンピュータにより計算された、差動回折モアレ信号を示す。高いコントラストが得られており、高精度のアライメントが期待できる。

図11にアライメントの実験結果を示す。ノイズの低減、レーザの安定化等の結果、アライメント精度 $\pm 4\text{nm}$ が得られた。

3. 角度位置決め

3・1 原理

マスクアライナにおいては、直線方向と同様に

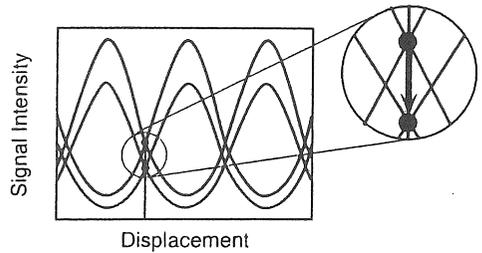


図7 差動回折モアレ法におけるレーザ光強度の変動による位置決め点の変動の様子

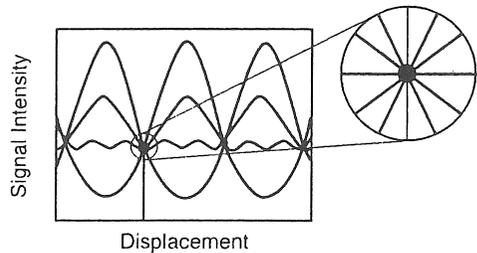


図8 差動回折モアレ法における格子間隔の変動による位置決め点の変動の様子

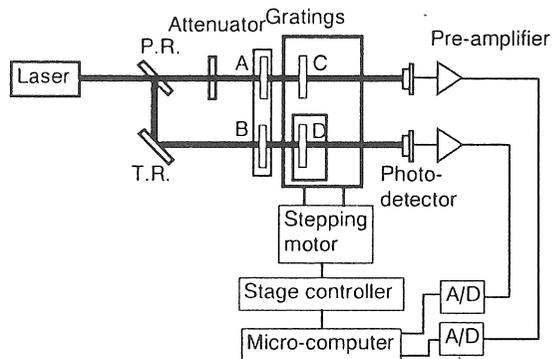


図9 差動回折モアレ法によるアライナ

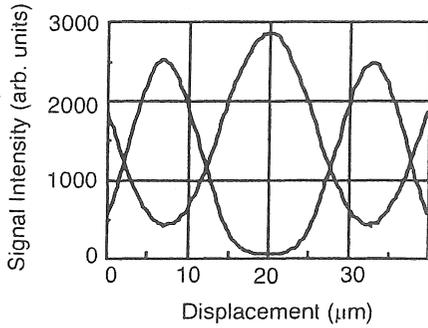
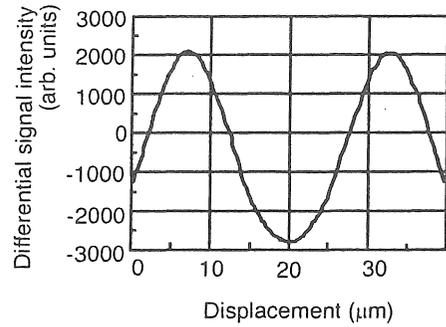


図10 (a)回折モアレ信号



(b)差動回折モアレ信号

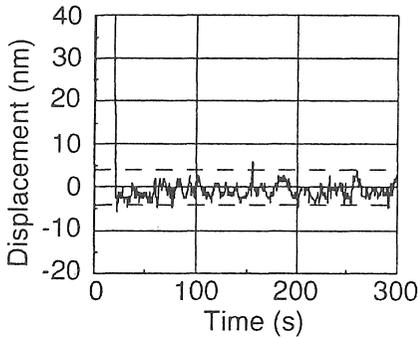


図11 差動回折モアレ法でのアライメント

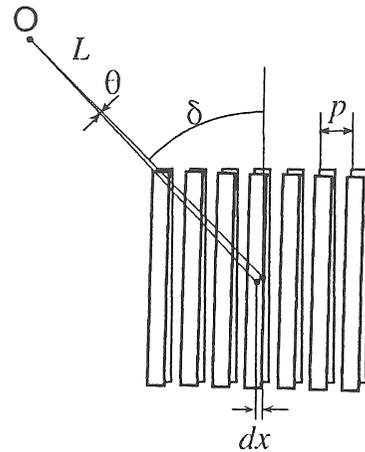


図12 回転角と格子対の配置の関係

角度方向のアライメントも必要である。そこで次に、回折モアレ光を用いた精密角度位置決め装置の開発を行なった。角度が θ だけずれているとすると(図12)レーザ照射位置では回折格子は

$$\begin{aligned} dx &= L \sin \delta - L \sin (\delta - d\theta) \\ &\approx L \cdot d\theta \cos \delta \end{aligned} \quad (1)$$

だけの移動を行なうことになる。ここで L は回転中心 O からレーザ照射点までの距離、 δ はレーザ照射点における格子縞方向と回転中心方向との成す設定角度である。また変位角 $d\theta$ は非常に小さいものとした。よってモアレ信号の一周期 Θ_0 は次式で与えられる。

$$\Theta_0 = \frac{P}{L \cos \delta} \quad (2)$$

周期 Θ_0 は設定角度 δ に対して図13のようになる。ただし回折格子のピッチ $P=25\mu\text{m}$ である。

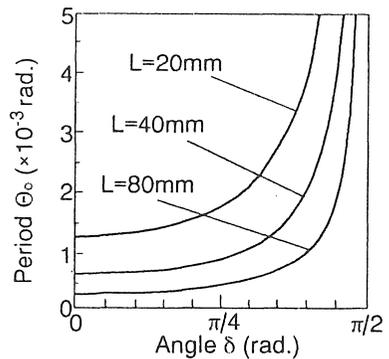


図13 設定角度 δ に対する回折モアレ信号の周期 Θ_0 特性 ($P=25\mu\text{m}$)

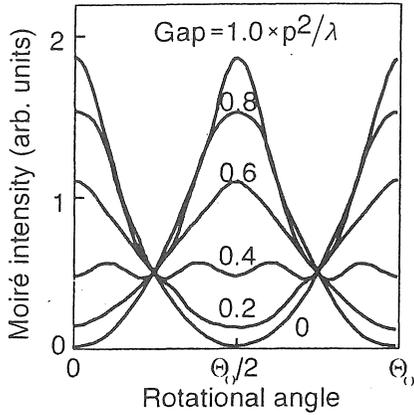


図 1 4 回折モアレ信号の角度依存性。(透過形)

モアレ信号の理論値（透過形）は、 L が格子ピッチに対して十分に長ければ、図 1 4 の様に計算される。ただし 2つの格子対のスリットが一致したときを角度 0 とした。角度変位に対しても回折モアレ信号は、直線変位の場合と同様な変化をするので、直線変位の場合と同様にアライメントの信号として使うことができる。

3・2 実験

図 1 5 に角度位置決めの実験システムを示す。回折格子の 1つはリニアパルスステージにより回転できる。その他は直線位置決めと同じで、透過形で測定した。回折格子のピッチ $P=25\mu\text{m}$ 、回転中心 O からレーザ照射点までの距離 $L=80\text{mm}$ 、格子縞方向と回転中心方向との成す設定角度 $\delta=45^\circ$ 、回転ステージの最小ステップは $5.9 \times 10^{-7}\text{rad}$ である。位置決め点は最大傾斜点とした。

3・3 結果

図 1 6 に回折モアレ信号の角度依存性の実験結果を示す。位置決め点付近での回折モアレ信号の傾きを k とすれば相対角度変位 $d\theta$ は

$$d\theta = \frac{\Delta I}{k} \quad (3)$$

で計算される。

最大傾斜点での位置決め結果を図 1 7 に示す。アライメント精度 $\pm 4 \times 10^{-7}\text{rad}$ が得られた。

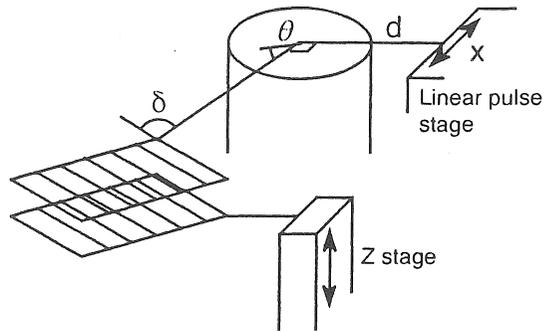


図 1 5 角度位置決めシステム

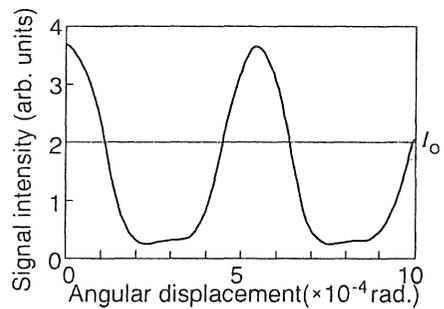


図 1 6 回折モアレ信号の角度依存性
 $P=25\mu\text{m}$ 、 $L=80\text{mm}$ 、 $\delta=45^\circ$

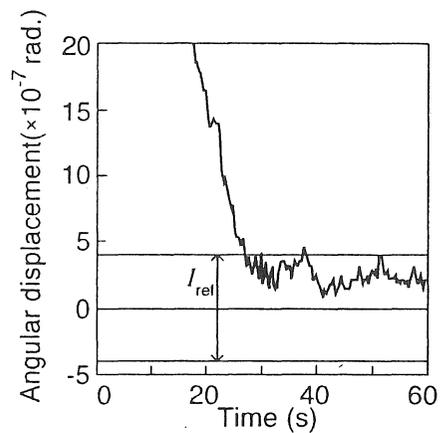


図 1 7 角度位置決め結果。 $P=25\mu\text{m}$ 、 $L=80\text{mm}$ 、 $\delta=45^\circ$

4. まとめ

次世代のリソグラフィ技術であるX線リソグラフィにおいて重要となるマスクアライナとして、差動回折モアレ光を用いたアライナについて研究を行った。その結果従来よりもさらに正確な直線位置決め精度が達成できた。その精度は $\pm 4\text{nm}$ であった。

またマスクアライナにおいて必要となる角度位置決めについても実験を行った。その結果角度位置決め精度 $\pm 4 \times 10^{-7}\text{rad}$ が得られた。

参考文献

- 1) 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、光ヘトロダイン法、フレネルレンズ法、M&E, **15**, 108-115, 1988.
- 2) Y. Uchida, S. Hattori, T. Nomura, "An Automatic Mask Alignment Technique Using Moiré Interference", J. Vac. Sci. Tech., **Vol. B5**, pp.244-247, 1987.
- 3) S. Wittekoek, "Step-andRepeat Wafer Imaging", Solid State Technol., pp.80-84, June 1980.
- 3) T. Nomura, S. Kimura, Y. Uchida, S. Hattori, "Moiré Alignment Technique for the Mix and Match Lithographic System", J. Vac. Sci. Tech., **Vol. B6**, pp.394-398, 1988.
- 4) S. Hattori, Y. Uchida, V. T. Chitnis, "An Automatic Super-Accurate Positioning Technique Using Moiré Interference", Bull. Japan Soc. of Prec. Eng., **Vol 20**, pp.73-78, 1986.
- 5) Y. Uchida, M. Furukawa, K. Hane, S. Hattori, "Automatic Alignment Technique for X-ray Lithography Using Moiré Signals in Reflection", SPIE, **Vol 661**, pp.95-101, 1986.
- 6) K. Hara, Y. Uchida, T. Nomura, S. Kimura, D. Sugimoto, A. Yoshida, H. Miyake, T. Iida, S. Hattori, "An Alignment Technique Using Diffracted Moiré Signals", J. Vac. Sci. Tech., **Vol B7**, pp.1977-1979, 1989.
- 7) D. Sugimoto, S. Kimura, M. Eishima, T. Nomura, Y. Uchida, S. Hattori, "Projection Moiré Alignment Technique for Mix-and Match Lithographic System", SPIE, **Vol 1263**, pp.303-311, 1990.
- 8) Y. Takada, Y. Uchida, Y. Akao, J. Yamada, S. Hattori, "Super Accurate Positioning Technique Using Diffracted Moiré Signals", SPIE, **Vol 1332**, pp.571-576, 1990.
- 9) Y. Takada, Y. Seike, Y. Uchida, Y. Akao, J. Yamada, "A Microcomputer Controlled Alignment System Using Moiré Sensors", KACC, pp.1961-1965, 1991.
- 10) J. Liu, H. Furuhashi, A. Ueda, J. Yamada, Y. Uchida, "Precision Position Control Techniques Using Moiré Signals", Trans. IEE of Japan, **Vol. 116-C**, No.1. pp.75-80, 1996.

(受理, 平成10年3月20日)