



## 高速レーザー描画システム

保坂 純男・瀬谷 英一・高梨 明紘

(株)日立製作所中央研究所 〒185 国分寺市東恋ヶ窪 1-280

(1987年7月3日受理)

### High Throughput Laser Beam Writing System

Sumio HOSAKA, Eiichi SEYA and Akihiro TAKANASHI

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.,  
1-280, Higashi-koigakubo, Kokubunji 185

A raster scanning laser beam writing system has been developed for QTAT (quick turn around time) in  $\times 10$  reticle production. The system can be realized by combination of high speed and high precise laser beam scanning using AODs and direct laser machining using Pb-Te-Se thin film mask. This system provides (1) throughput of 30 min/4" square, (2) pattern machining accuracy of  $0.9 \mu\text{m}$ , (3) pattern positioning accuracy of  $0.5 \mu\text{m}$ , and (4) minimum machined line width of  $3 \mu\text{m}$ . The system enables quick development of new functional microelectronic devices.

#### 1. はじめに

最近のリソグラフィ技術への要求は多様化しつつあり、主に、次の三つがある。(i)高い生産性で微細パターンが形成できること(メモリ素子用)、(ii)少量多品種生産で微細パターンの形成および素子開発期間の短縮(QTAT, quick turn around time)ができること(高速論理素子用)、(iii)汎用( $2\sim 3 \mu\text{m}$  最小線幅)でとくにQTATができること(ASIC<sup>1)</sup>用)。(i)には縮小投影露光技術、(ii)には電子線描画技術<sup>2,3)</sup>が有効とされているが、(iii)ではいままでのリソグラフィ技術に基づいたコストパフォーマンスの良い技術が切望されている。

Fig. 1 に(iii)で用いられている半導体プロセスでのホト工程を示す。現状の流れは右側のものであり、設計データからレチクルを製作し、このレチクルを用いてウェハ上に回路パターンを形成する。(iii)の立場からこのプロセスを検討すると、このプロセスにはレチクル製作に最も時間を要するという欠点がある。たとえば、電子線描画法を使用しても、レジスト処理あるいは化学処理に1日以上を費やす。すなわち、(iii)に関してはレチクル製作時間の短縮が重要な課題である。

一方、レーザー描画法には、(1)熱あるいは化学反応を利用した直接パターン形成が可能、(2)大気中で動作

できるので描画領域の拡張や調整保守が容易、(3)電子線描画装置に比べ安価である等の特長がある。しかし、本法は電子線描画法に比べ、ビームの集光性あるいは制御性の点で劣り、描画パターンの微細性、精度および生産性に問題がある。

従来より、これらの欠点を解決するためにいくつかのレーザー描画法の研究、開発<sup>4-6)</sup>が行われてきたが、実用までに至っていない。いままでの研究にはビームを sub- $\mu\text{m}$  領域まで集光し、高精度および高生産性をもつ描画システムを目指すものと、直接パターン形成を利用したシステムを目指すものがある。最近、前者では複数ビームを用いた描画方式が提案されている<sup>7,8)</sup>。これらは、いずれも  $4''$  で 30 min という生産性をうたっているが、ビームアライメント、均一な光強度等に問題があると考えられる。また、ASIC 用プロセスとしては従来のプロセスとほとんど同程度の所要時間が必要であり、QTAT 用として不十分である。一方、後者ではパルスレーザーを使用しているため生産性の低さ、レーザー加工を用いているための加工パターン精度の低下および黒点欠陥の発生等の問題があり、いずれも解決されていない。

以上の背景より、本研究は従来のレーザー描画法の欠点を解消し、QTAT を可能にする新しい描画システム

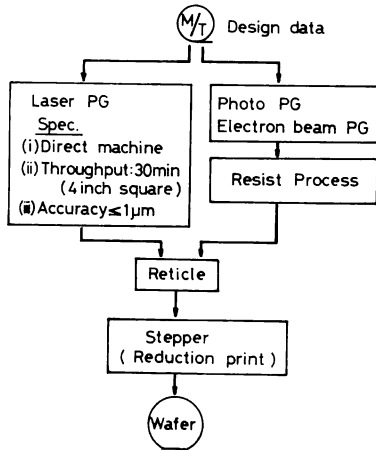


Fig. 1 Situation of the laser beam writing system in photo lithographic process using a stepper.

の開発を目的に行なったものである。すなわち、QTAT 用プロセスとして 1/10 縮小投影露光法に使用するレチクルを短時間に製作できることを具体的な目的にし、レジスト処理等が省略できる Fig. 1 の左側のプロセスの開発を行なったものである。ここでのレーザー描画システムの目標は図中に示す値とした。これは約 30 min で  $4''$  のパターン領域をもつレチクルが製作でき、そのときのパターン精度はウェハ上換算で  $0.1 \mu\text{m}$  以下となる。

これを実現するために、本研究ではレーザー描画法の最大の長所である直接加工方式を採用し、生産性および精度向上のため、Ar イオンレーザーを単一ビームとして用いた高速高精度レーザー描画法の開発、加工パターン精度の向上、黒点欠陥の克服を行なって Fig. 1 中の高速レーザー描画システムを開発した。本論文ではそれらの概要および本システムを使用した素子試作の結果を述べ、ASIC 用プロセス手段としての有効性を示す。

## 2. レーザー描画装置の概要

本描画装置に使用する偏向素子は制御性の良い AOD とした。このため、描画法には移動台連続送り型ラスタ描画方式<sup>9)</sup>を採用した。これは AOD の高速動作時に円筒レンズ効果が発生するために、光学系内に逆特性をもった補正用円筒レンズの設置および後述する AOD の整定時間が必要となるためである。また、レーザービーム径を約  $2 \mu\text{m}$ <sup>8)</sup> に絞るためには NA の大きいレンズが必要である。このために、ビーム走査量を広く設定できないことにもよる。

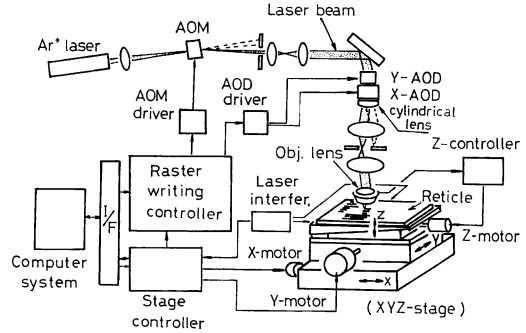


Fig. 2 A block diagram of the system.

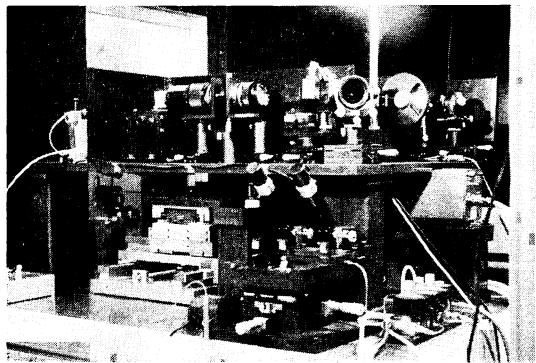


Fig. 3 A view of optical and mechanical system.

ラスタ走査型レーザー描画装置のブロック図を Fig. 2 に示す。図のように、本装置はレーザービーム変調偏向光学系、XYZ 移動機構、焦点保持機構、計算機および制御系から構成されている。Fig. 3 にレーザービーム変調偏向光学系および XYZ 移動機構の概観図を示す。これらの部分は遮光、防震等のためチャンバ内に設置されている。本装置の主な仕様は Table 1 に示す。各部の概要は次のとおりである。

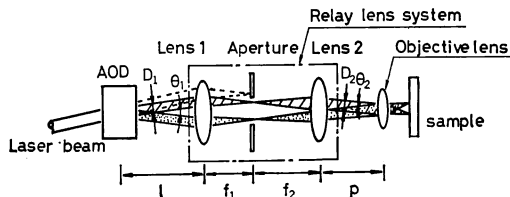
### 2.1 レーザービーム変調偏向光学系

Fig. 2 に示すように、本光学系は Ar イオンレーザー、AO 変調素子 (AOM)、2次元偏向用 AOD、リレーレンズおよび対物レンズで構成されている。2次元偏向素子としては2個の AOD を採用し、ラスタ描画の際に発生する位置誤差を補正できるシステムとした。

図において、レーザー源より出射したレーザービームは AOM で変調され、約 3 mm 径の平行光となり、Y-AOD、X-AOD に入射し、2次元偏向される。その後、レーザービームはリレーレンズを介して対物レンズに導かれ、試料上に集光かつ走査される。ここでは、AOD に  $\text{TeO}_2$  の (100) OFF 型異方ブラッグ回折を利用した素子<sup>10)</sup>を、対物レンズに  $\text{NA}=0.25$  の顕微鏡用対物

**Table 1** Specification of this system for fabrication of 10 time reticle.

Writing type	Raster scanning with stage movement
Figure generating	Multi-figure generating
Data format	Shrink format (5w/figure)
Modulation, Deflection	AO devices
Address resolution	1 $\mu\text{m}$
Mark detection resolution	0.2 $\mu\text{m}$
Position measurement resolution	0.008 $\mu\text{m}$
Beam scanning speed	10 m/s
Beam scanning field	300 $\mu\text{m}$ (X-axis)
Continuous speed	20 mm/s
Error of stage positioning	$\pm 2 \mu\text{m}$
Kinds of writing figure	Rectangle, parallel triangle trapezoid with 45°, 90°, 135°
Laser source	Ar ion laser (total 5 W)

**Fig. 4** A relay lens system.

レンズを使用している。光学系の駆動条件は、(i)レーザー強度：約 1.5 W (波長, 514 nm), (ii) AOD 駆動周波数：70~120 MHz (回折角, 約 3.2~5.0°), (iii) 走査量：試料上, 約 300  $\mu\text{m}$  (ビーム径, 約 2  $\mu\text{m}$ , 平均繰返し周波数, 20 kHz), (iv) 光の利用効率：試料上で 7~14% である。

**Fig. 4** にリレーレンズの光学系を示す。リレーレンズは AOD の偏向軸を対物レンズの入射瞳の位置に投影し、対物レンズの NA が実質的に低下しないようにしている。図のように、AOD, レンズ1 (焦点距離:  $f_1$ ), レンズ2 (焦点距離:  $f_2$ ) および対物レンズを、おのおの  $l$ ,  $(f_1+f_2)$ ,  $p$  離して設置すると、上述の動作を行なうには次の関係を満足する必要がある。

$$p = (f_2/f_1^2) \{ (f_1+f_2)(f_1-l) + f_1 l \} \quad (1)$$

この場合、偏向角  $\theta_1$  と  $\theta_2$  およびビーム径  $D_1$  と  $D_2$  の関係は、おのおの (2) 式, (3) 式で表わされる。

$$\theta_2 = \tan^{-1} \{ (f_1/f_2) \tan \theta_1 \} \approx (f_1/f_2) \theta_1 \quad (2)$$

$$D_2 = (f_2/f_1) D_1 \quad (3)$$

ここでは  $f_1=100 \text{ mm}$  および  $f_2=200 \text{ mm}$  のカメラレ

ンズを使用しているため、AOD でのレーザービーム径、約 3 mm<sup>\*</sup> が対物レンズの瞳上では約 6 mm<sup>\*</sup> に拡大される。しかし、偏向角は 2.2° から 1.1° と狭くなる。また、AOD での非回折光は約 20% の強度で破線のように出射されるが、レンズ1とレンズ2との間に設置しているアパーチャにより対物レンズへの入射が阻止されている。なお、X-AODとY-AODとの間にもこのようなリレーレンズを挿入することが望ましいが、Y-AODでの偏向量がわずかなこと、および挿入により光損失が増加するため、本光学系では省略した。

## 2.2 XYZ 移動機構

XYZ 移動台は積層型のものを使用し、X 移動台の上に Y 移動台、さらに Z 移動台が設置されている。X 移動台は定寸移動、Y 移動台はラスタ描画時の連続移動および定寸移動を受け持っている。XY 軸ともに、ニードルガイド、ボールネジおよび DC モーターで駆動される。Z 移動台はクサビ型変位縮小機構により、水平方向の動きを垂直方向の動きに 1/25 の割合で変換している。Z 移動台上には試料を塔載するとともに、レーザー測長用ミラーを設置しており、試料位置をレーザー干渉計にて計測している。この干渉計の分解能は 0.008  $\mu\text{m}$  である。なお、本機構の性能を **Table 2** に示す。

また、試料を通過するレーザー光を検出するため、試料の下面、すなわち、Z 移動台内にピンホトダイオードを設置している (**Fig. 5** 参照)。これによるパターン検出はレーザー光の集光状態の把握や偏向素子の偏向歪の補正等に使用される。

## 2.3 焦点位置保持機構<sup>11)</sup>

本機構で用いたギャップ検出器は縮小投影露光装置等で使用されている空気マイクロメータ方式のものである。**Fig. 5** に本機構のブロック図を示す。Z 移動台上に装着された試料は顕微鏡用対物レンズに装着した検出

**Table 2** Performance of the stage.

Control	$\mu$ -computer control
Guide	Needle guide
Motor	DC servo motor (ball screw)
Position measurement	Laser interferometer
Traveling area	105 mm $\times$ 125 mm
Pitching	$\pm 4 \mu\text{m}/105 \text{ mm} \times 125 \text{ mm}$
Yawing	$\pm 1.5 \times 10^{-5} \text{ rad}/100 \text{ mm}^2$
Shift	$\pm 0.5 \mu\text{m}/100 \text{ mm}$
Fluctuation of traveling speed	Within $\pm 5\%$ (at 20 mm/s)
Positioning accuracy	$\pm 0.9 \mu\text{m}$ (3 $\sigma$ )

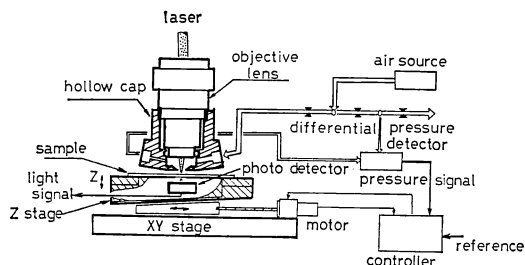


Fig. 5 A block diagram of a gap holding system.

キャップとともに空気噴き出しノズルを形成している。これにより、間隙が変化すると、ノズルの空気抵抗が変化するのでこれを圧力検出器で検出し、フィードバックして所望の間隙を保つ。さらに、本機構は図のように検出系の外に参照系を設けて差圧検出を行なっているので外乱に対して強い構成となっている。設定間隙は約 70 ~ 200  $\mu\text{m}$ 、設定精度は  $\pm 0.3 \mu\text{m}$  以内、応答速度は約 130 ms/20  $\mu\text{m}$  である。

#### 2.4 計算機および制御系

計算機は図形データの転送、描画時のパラメータの設定およびシーケンス制御を、制御系は制御ソフトのコマンド単位に一連の動作を実行できるように分担した。計算機あるいは制御系を通して実行できる主な機能は、

- (i) マーク検出による原点位置決めや偏向歪補正、
- (ii) 高速高精度レーザー偏向、
- (iii) 図形発生用変調信号の形成、
- (iv) レーザー走査のための座標指定、
- (v) Y 軸方向の座標指定、
- (vi) 移動台制御である。これを実現するための制御系は複数図形発生回路 (multi-FG)、マーク検出回路、レーザー偏向回路、Y 軸 (連続移動) 方向アドレッシング回路、助走距離制御回路、レーザー走査アドレッシング回路、マーク検出回路、移動台制御回路等から構成されている。以下に特長ある回路について概要を述べる。

##### 2.4.1 Multi-FG (MFG)

本回路には圧縮形で入力してくる図形データ (5 語/図) をレーザー走査 (X 軸) 方向に線分解するために図形発生回路を複数個設けている。これにより、計算機に格納するデータの圧縮が可能となる。また、描画時にデータが線分解されるのでデータのビットパターンへの変換作業が省略でき、高速描画が実現できる。<sup>1)</sup>

Fig. 6 に本回路の概要を示す。図のように、MFG はラスタ走査線上に存在する複数の図形の線分を描画するため、ビームの位置に同期して複数の ON/OFF (変調) 信号を発生する。これにより、描画フィールド内で

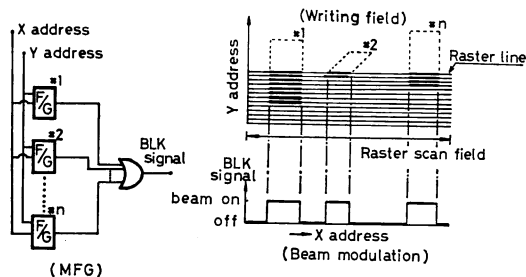


Fig. 6 A schematic diagram of multi-FG (MFG).

ラスタ走査線上の図形が同時に描画されていく。すなわち、描画フィールド内のおおの図形は常に描画開始から終了まで任意の F/G により責任をもって描画される。この図形の描画が終了すると次の図形データが終了した F/G に入り、次の描画が始まるまで待機する。

F/G の個数はレーザービームの走査量と line & space パターンの最小寸法で決定した。ここでは最小描画寸法を 10  $\mu\text{m}$  (ウェハ上で 1  $\mu\text{m}$ ) および走査量を 300  $\mu\text{m}$  としたので 16 個の F/G を使用した。これは、走査領域に最密、15 組の line & space パターンが存在し、場合によってはその両端の line パターンが走査領域で分割される場合を考慮すると少なくとも 16 個の F/G が必要になるためである。

##### 2.4.2 Y 軸方向アドレッシング回路<sup>12)</sup>

連続移動時に、ラスタ描画フィールド内における Y 軸方向のアドレス (1  $\mu\text{m}$  ピッチ) をレーザー測長器の fast pulse を可変分周して指定する。すなわち、ラスタ走査開始のタイミングパルスを発生する回路である。上記の fast pulse は約 0.008  $\mu\text{m}$  間隔で出力されるため、一定比で分周していくと累積誤差が発生する。このため、誤差を最小にするように分周比を連続移動距離に応じて変化する可変分周方式を提案し、開発した。その結果、100 mm の移動領域で  $\pm 0.2 \mu\text{m}$  以内の位置指定をすることができた。また、大気条件が変化しても分周比の変更で容易に精度を保持できたり、さらに、Y-AOD の偏向量を小さく抑えられるので Y 軸でのリレーンズ光学系の省略や回折効率の向上を図ることができた。

##### 2.4.3 X 軸方向アドレッシング回路

本回路は、レーザービーム走査方向のビーム位置の決定を行なう機能をもつ。また、後述する AOD の応答時間に対処する待ち時間および描画時間の設定も行なう。アドレッシングには各走査の開始時点からのクロック数により位置指定を行なう時間制御方式を用いた。本装置ではクロックパルスの周波数を 1  $\mu\text{m}$  アドレスに相当する 10 MHz とした。一方、このような制御方式を用

いたビーム偏向では偏向器の時間に対する直線性が必要となる。

### 3. 高速高精度レーザー走査

偏向器として AOD を用いた場合、高速高精度走査に関し AOD 固有の問題と描画システムとしての問題がある。ここでは両者にかかわる高速化および高精度化について述べる。

#### 3.1 高速レーザー走査<sup>13)</sup>

本装置で高速にレーザー走査すると、その走査時間が  $0.2 \text{ ms}/\Delta f$  ( $70 \sim 120 \text{ MHz}$ ) 以下で走査方向のビームの結像位置が焦点深度から外れる。すなわち、円筒レンズ効果が現われる。円筒レンズ効果 (CLE) には静的円筒レンズ効果 (SCLE) と動的円筒レンズ効果 (DCLE) がある。上記の走査時間では SCLE のみであり、結像位置のシフトが生じる。さらに、本装置のように走査時間が  $30 \mu\text{s}/\Delta f$  では上記の二つの効果が現われる。すなわち、走査位置に無関係な結像位置のシフトとともに走査位置に関係した結像位置の変動が現われる。これらの原因は AO 結晶内を伝播する音速、ビーム走査時間、音波の走査周波数帯域および周波数変換回路 (VCO) の直線性に関する。

これらの効果を補正するため、SCLE に対しては Fig. 2 に示すように X-AOD の出射側に逆極性の円筒レンズを設置し、さらに、DCLE に対しては Fig. 7 に示す補正回路を VCO の前段に設置し対処した。補正回路は VCO の変換特性を feed-forward できる 3 次式からなる演算回路網で実現した。

一方、走査開始パルスにより高速にレーザー走査する際、上述の補正条件に達するまでの過渡時間が問題となる。この時間は AOD の構造、回折されるビーム径、音速により決定され、本システムではビーム径、約 3

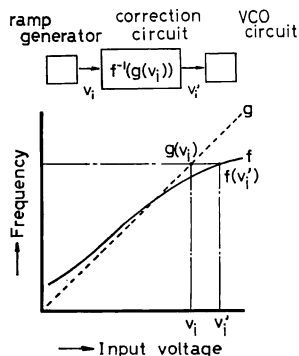


Fig. 7 Compensation for VCO linearity.

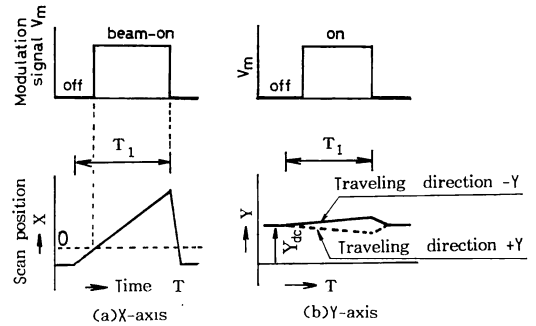


Fig. 8 Timing of deflection and modulation in writing mode.

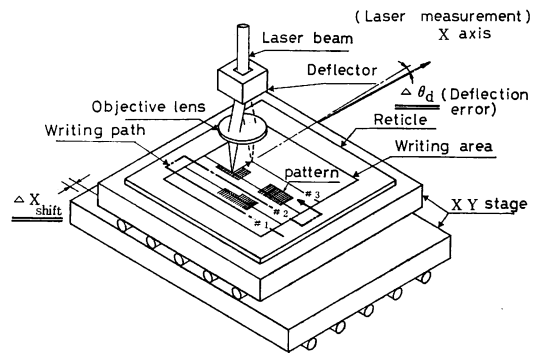


Fig. 9 Errors between optical system and laser interferometer measuring system.

mm、音速  $650 \text{ m/s}$  であるのでは  $5 \mu\text{s}$  に相当する。したがって、素子の構造まで考慮して約  $8 \mu\text{s}$  過渡時間を見積れば十分である。Fig. 8 にこの過渡時間を避けるための変調信号および偏向信号のタイムチャートを示す。図に示すように、本システムでは走査タイミングパルスとともに偏向を開始し、一定の待ち時間 (約  $8 \mu\text{s}$  以上) の後、描画を開始する。このとき、AOD に入力する音波の周波数は変調時間内で  $70 \sim 120 \text{ MHz}$  となるようにした。

#### 3.2 高精度レーザー走査

高精度レーザー走査を行なうためには、偏向器の偏向非直線性や描画システムとしての各種誤差に対する補正が必要である。前者の原因としては AOD の入力音波の周波数に対する非直線性、光学系での光軸調整不足や偏向回路系の非直線性が挙げられる。後者には Fig. 9 に示すようにラスタ描画に伴うレーザー測長光軸と偏向光軸との回転誤差および移動台連続移動に伴う Y 軸方向の誤差などがある。本装置ではこれらに対する補正を回路的に行なう。補正にはマーク検出手段を用い、X 軸、Y 軸おのおのの直線性補正および回転補正を行なう。ま

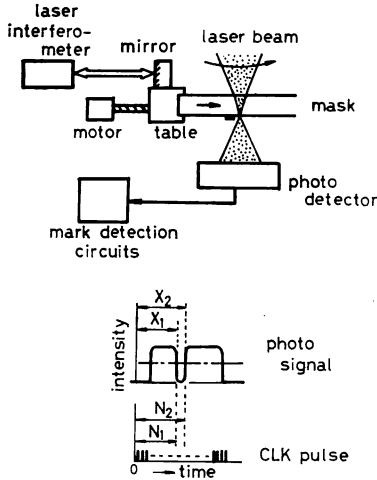


Fig. 10 A schematic diagram of mark detection.

た、これらの補正は試料上に設置した任意のマークを使用して、計算機により描画直前に行なう。これにより、高速高精度レーザー走査が実現できる。

3.2.1 直線性補正

マーク検出法を Fig. 10 に示す。レーザービームを走査すると、光検出器で図のような検出信号が得られる。これをマーク検出回路に入力し、走査開始点からのパルス数、パターンエッジの部分での  $N_1, N_2$  を検出し、加算平均と長さに対応する重みを掛けてパターン中心位置 ( $X_i$ ) を検出する。同時に、マークの位置を移動台のレーザー測定値 ( $x_i$ ) として検出する。これらの一連の動作をマークを移動して繰り返す。このようにして、レーザー走査範囲の複数組の値 ( $x_i, X_i$ ) を測定する。

Fig. 11 に偏向回路のブロック図を示す。ここでは、 $x_i$  と  $X_i$  との間にはゲイン成分およびオフセット成分

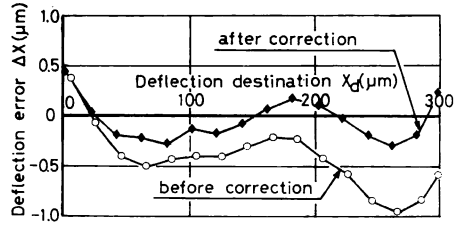


Fig. 12 Experimental results of deflection linearity before and after the compensation with the mark detection.

の誤差のみ発生するものと仮定しているの、 $x_i$  と  $X_i$  との関係は次式で示される。

$$x_i = (1+A)X_i + D \quad (D: \text{オフセット量}) \quad (4)$$

Fig. 11 の回路の  $a$  に  $\pm 1$  を設定し、 $N$  組の ( $x_i^*, X_i^*$ ) を測定する。これらの値から、最小自乗法により  $A^*$  を算出する。

一方、 $A$  は回路より  $a$  に対する系全体の固有値ゲイン成分  $\alpha$  とオフセット成分  $\beta$  から次のように表わされる。

$$A = \alpha a + \beta \quad (5)$$

上述のように  $a = \pm 1$  を代入した場合の  $A^*$  はマーク検出法から得られるので、 $\alpha$  および  $\beta$  は次式となる。

$$\alpha = (A^+ - A^-)/2, \quad \beta = (A^+ + A^-)/2 \quad (6)$$

さて、誤差がまったくないことは  $A=0$  を意味し、(5) 式より、 $a$  は次式のように設定すれば完全に補正できる。

$$a = -\beta/\alpha = (A^- + A^+)/(A^- - A^+) \quad (7)$$

Fig. 12 は本補正法を使用して、補正前後の偏向直線性の誤差をマーク検出法で測定した結果である。○印の実線は DCLE の補正に使用した 3 次の演算回路網で、できるだけ高次の誤差を小さくした場合である。最大で約  $1 \mu\text{m}$  前後の誤差がある。これを直線性補正し、その

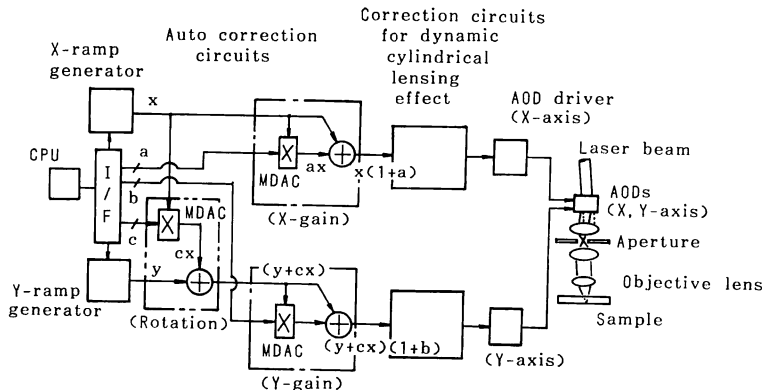


Fig. 11 A block diagram of deflection controller.

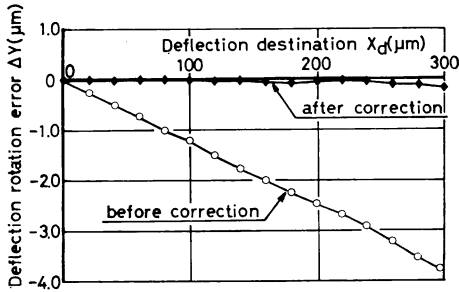


Fig. 13 Rotation errors between AODs deflection system and laser interferometer measuring system before and after the compensation with the mark detector.

後、測定すると◆印の実線のように  $\pm 0.4 \mu\text{m}$  以内に補正されていることがわかる。

なお、マーク検出時のレーザー走査は次のように行なっている。X軸については円筒レンズ効果があるので、描画時と同じ走査条件でマーク検出を行ない、一方、Y軸では円筒レンズ効果の現われない約  $1 \text{ ms}/\Delta f$  の走査時間でマーク検出を行なう。この場合、X軸方向にビームが広がっているので使用するマークの形状に注意が必要である。本装置では両軸とも  $10 \mu\text{m}^2$  のパターンを用い、走査領域内の測定点数  $N$  を 16 とし、マーク検出を行なった。Y軸の場合は Fig. 11 の  $b$  を用いて X軸同様に補正する。

### 3.2.2 回転補正法

上述の直線性補正終了後、この補正を行なう。この方法は Y 軸方向のマーク検出を用いるが、直線性補正の場合と異なり、マークを X 軸方向に移動し、かつ X 軸方向のビーム位置もマーク移動にあわせて変化させて実行する。このとき、マークの移動位置の Y 軸方向の変化をレーザー測長で補償する必要がある。補正は直線性補正と同様な方法で Fig. 11 の回路の補正係数  $c$  を決定し行なう。Fig. 13 に補正前後の回転誤差を示す。図のように、レーザー測長光軸や光学系の誤差約  $-4 \mu\text{m}/300 \mu\text{m}$  が約  $\pm 0.2 \mu\text{m}/300 \mu\text{m}$  に補正される。

## 4. レーザー加工によるパターン形成と縮小投影<sup>14)</sup>

レーザー加工により金属薄膜を加工した場合、基板(ガラス)への損傷および加工部分の金属残り等が問題になる。前者は金属薄膜として融点がガラス基板の軟化点より低いものを選べばよく、ここでは光ビデオディスクに使用されている Pb・Te・Se 薄膜(融点約  $500^\circ\text{C}$ )を用いた。後者についてはレーザー加工部分に点欠陥のよ

うに残存する金属(ここではピップと呼ぶ)の大きさが加工条件により変化することがわかった。ピップの大きさは主に、加工速度、金属膜厚に依存し、加工速度が速いほどピップ径が小さくなる。膜厚との関係では薄膜ほどピップ径が小さくなるが、光の透過率が大きくなるので、本研究では透過率を 0.01 以下となる膜厚に設定した。これらのことより、レーザー走査速度  $10 \text{ m/s}$  で、Pb・Te・Se 膜厚約  $500 \text{ \AA}$  のマスクブランクを用いて描画した結果、平均ピップ径  $1.5 \mu\text{m}$ 、最大ピップ径  $3 \mu\text{m}$  に抑えることができた。

次に、1/10 縮小投影露光法におけるレチクル上での許容黒点欠陥寸法について検討した。この検討は  $i$  線(波長  $365 \text{ nm}$ )で NA 0.4 の 1/10 縮小レンズを使用した装置<sup>15)</sup>を用いて、AZ1350 レジスト ( $1 \mu\text{m}$  厚)の露光現象後の残存レジストの高さを調べて行なった。これはレチクル上の黒点欠陥が縮小レンズで焼付けを行なった際、残存レジストとしてウェハ上に現われるためである。高さは走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて、定在波によって生じるレジストパターン側面の縞の数をかぞえて測定した。分解能は  $\lambda/4$  で、約  $0.09 \mu\text{m}$  である。

Fig. 14 にその結果を示す。図にはレチクル上の正方形パターンの一辺の長さに対する残存レジストの高さを示した。また、参考として今回の描画装置によって発生するピップの分布も示した。図より、レチクル上の黒点欠陥としては約  $5 \mu\text{m}$  角以下の寸法ではまったくレジスト残りが生じないことがわかる。これは、使用した 1/10 縮小レンズの理論的解像度が約  $0.6 \mu\text{m}$  前後であることと一致する。したがって、本レーザー加工によって形成されたパターン内の黒点欠陥は 1/10 縮小投影露

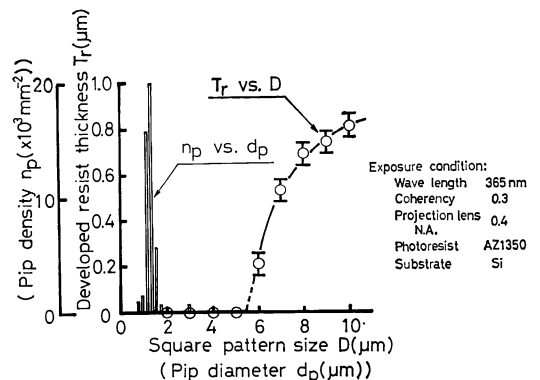
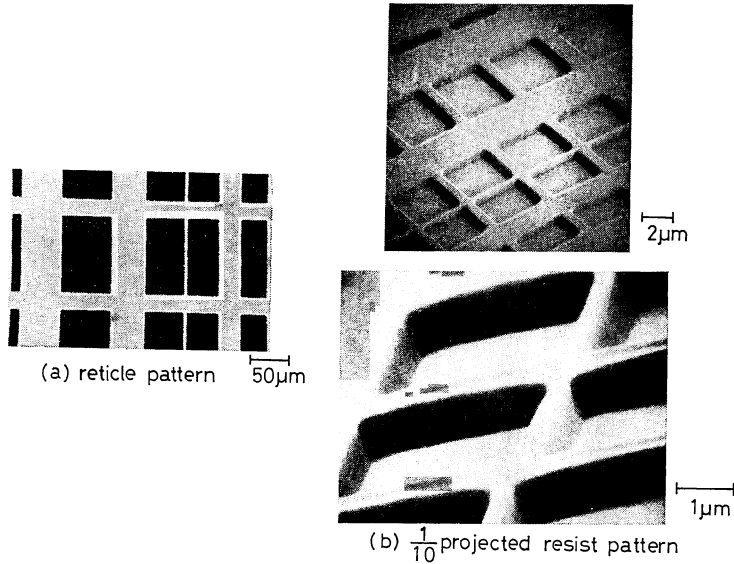


Fig. 14 Relationships between developed resist thickness and square pattern size on reticle, and between pip density and pip diameter in the direct machining.



**Fig. 15** (a) Reticle patterns machined by the system, and (b) resist patterns projected by *i*-line 1/10 stepper (SEM images).

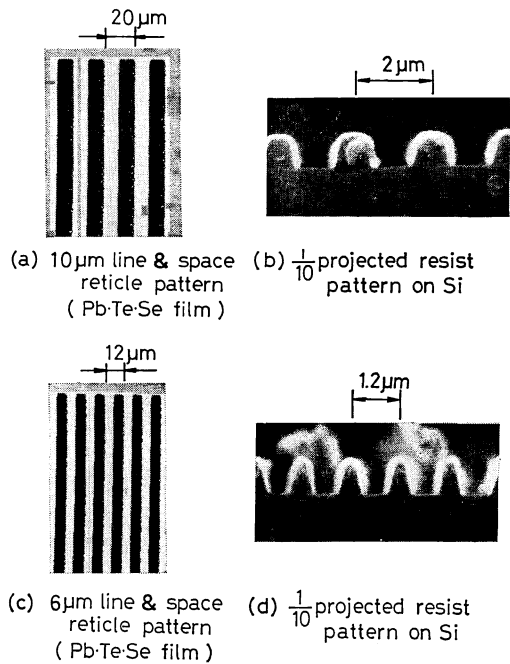
光法のレチクルとして使用してもまったく問題がない。  
**Fig. 15** に露光例を示す。(a)のレチクルを用いて *i* 線 1/10 縮小投影露光を行なった結果、(b)に示すようにピップが黒点欠陥としてまったく影響しないことがわかる。

5. 描画結果

実験の結果、本描画装置は試料上で約 100 mW 得られるレーザー光を用いて、助走時間 0.1 s, 連続移動時間 5 s/100 mm, 減速時間 0.2 s, 描画フィールド間ステップ移動時間 0.2 s の描画 (加工) 能力をもつことがわかった。すなわち、100 mm<sup>2</sup> を描画する場合、334 個の描画フィールドが必要であり、そのスループットは約 30 min/100 mm<sup>2</sup> となる。

**Fig. 16** に本描画法の微細加工性について示す。本装置により、レチクル上に 10 µm および 6 µm の line & space パターンを描画し、それを用いて *i* 線による 1/10 縮小投影露光を行なった。その結果、図のように 1 µm および 0.6 µm の line & space パターンが形成され、本描画法で形成したレチクルが通常のレチクルと同様に使用できることが明らかとなった。なお、図示しないが、本装置による最小描画 (加工) パターンは 3 µm line & space パターンである。

**Fig. 17** に精度について示す。(a)に示すように、加工精度は X 軸方向の加工精度が悪く、約 0.9 µm (3σ) であった。これは X 軸方向にレーザー走査しているので、



**Fig. 16** One micron and submicron resist patterns projected by *i*-line 1/10 stepper using the reticle machined by the system.

端部にビームの出入形状が残るためである。また、パターン位置精度は、ラスタ走査線の位置精度が 0.3 µm (3σ) ((b)参照)、およびラスタ走査内の偏向位置精度が ±0.4 µm 以内 ((c)参照) であるので、総合的に 0.5 µm であると考えられる。なお、これらの結果は光



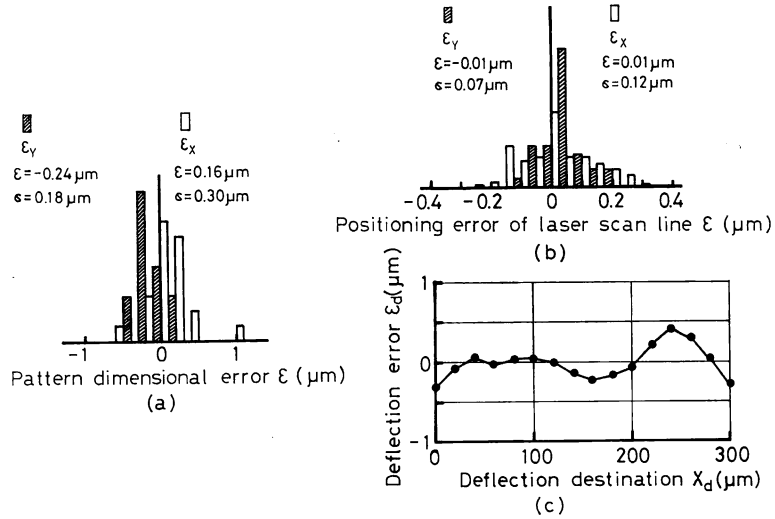


Fig. 17 Accuracies of the system, (a) machining accuracy, (b) and (c) positioning accuracies of laser scan line over writing area and laser beam in scan field.

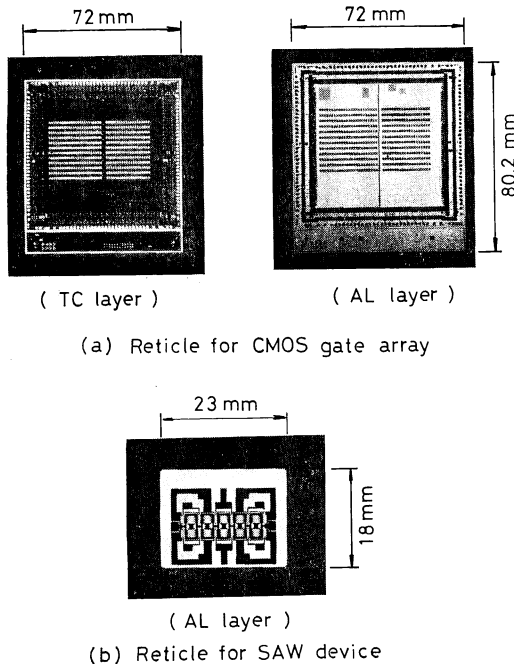


Fig. 18 Reticles fabricated by the system, (a) Al and TC layers in 4k gates CMOS gate array, and (b) Al electrode layer in SAW.

学式座標測定機を用いて測定した。また、上記の精度はレジストの使用によりさらに向上できるものと考えられる。

Fig. 18 に素子試作への応用例を示す。(a)は4k gates CMOS ゲートアレー (寸法約  $80 \times 72 \text{ mm}^2$ ) の Al

層および TC 層のレチクルパターン描画結果である。(b)は SAW への応用例である。これらのパターンを用いて、素子試作を行なった結果、通常のマスクを用いて得られた結果とほとんど等しい電気特性を得ることができた。

## 6. ま と め

AOD を用いた単一ビームによる高速高精度レーザー走査とレーザー加工法とを融合した高速レーザー描画法を提案し、描画装置の開発、素子試作によりその有効性を明らかにした。以下に本装置の特徴および性能を述べる。

### (1) 特 徴

- (i) AOD による高速高精度レーザー走査および連続移動によるラスタ描画が可能
- (ii) レーザー加工による 1/10 縮小投影露光用レチクルの直接パターン形成 (Pb・Te・Se 膜使用) が可能

### (2) 性 能

- (i) スループット :  $30 \text{ min}/100 \text{ mm}^2$
- (ii) パターン加工精度 :  $0.9 \mu\text{m}$  ( $3\sigma$ ), パターン位置精度 :  $0.5 \mu\text{m}$
- (iii) 最小加工線幅 :  $3 \mu\text{m}$  (line & space パターン)
- (iv) 最大描画エリア :  $100 \text{ mm}^2$ , レーザー走査速度 :  $20 \text{ mm/s}$

最後に、本研究を行なうに当たって、多くの激励およびご援助をいただいた当所、橋本誠也、松永鏡造、原田

達男各博士に感謝の意を表します。また、Pb・Te・Se 膜の提供をしていただいた当所、寺尾元康氏、4 k gates CMOS ゲートアレーの素子試作に多大なご援助をいただいた当社武蔵工場阿部道郎氏の方々に深く感謝いたします。

### 文 献

- 1) 保坂純男: “半導体プロセスにおけるレーザービーム走査技術”, 光学, **15** (1986) 476-483.
- 2) S. Hosaka, H. Hayakawa, M. Ichihashi, S. Nishi and M. Mititaka: “Electron beam lithography system using a field emission (FE) electron gun,” *Proc. Microcircuit Engineering '79* (Institute of Semiconductor Electronics, Aachen, 1979) pp. 7-16.
- 3) K. Nakamura, Y. Sakitani, T. Konishi, T. Komoda, N. Saitou and K. Sugawara: “A high speed, high precision electron beam lithography system (system design),” *J. Vac. Sci. Technol. B*, **3** (1985) 94-97.
- 4) M. J. Cowan, D. R. Herriott, A. M. Johnson and Z. Zacharias: “The primary pattern generator: Part I—Optical design,” *Bell Syst. Tech. J.*, **49** (1970) 2033-2042.
- 5) J. M. Moron and R. L. Ruth: “Meeting new mask-making needs,” *Bell Lab. Rec.*, **57** (1979) 192-198.
- 6) G. Westerberg: “A fast system for generating micromasks in scale 1: 1,” *L'onde Électr.*, **58** (1978) 742-746.
- 7) D. B. MacDonald, M. Nagler, C. Van Peski and T. R. Whitney: “160 Mpx/sec laser pattern generator for mask and reticle production,” *Proc. SPIE.*, **470** *Optical Microlithography III* (1984) 212-220.
- 8) “Reticle writing system,” *Solid State Technol.*, Feb. (1986) 53-54.
- 9) D. R. Herriott, R. J. Collier, D. S. Alles and J. W. Stafford: “EBES: A practical electron lithographic system,” *IEEE Trans. Electron Devices*, **ED-22** (1975) 385-392.
- 10) T. Yano, M. Kawabuchi, A. Fukumoto and A. Watanabe: “TeO<sub>2</sub> anisotropic Bragg light deflector without midband degeneracy,” *Appl. Phys. Lett.*, **26** (1975) 689-691.
- 11) 河村喜雄, 森山茂夫, 黒崎利栄: “空気マイクロメータ方式による高精度位置保持機構”, 昭和 58 年度精機学会春季大会学術講演会論文集 (1983) pp. 809-810.
- 12) 瀬谷英一, 保坂純男, 高梨明紘: “レーザービームの二次元走査方式の検討”, 昭和 60 年度精機学会春季大会学術講演会論文集 (1985) pp. 707-708.
- 13) S. Hosaka, E. Seya, T. Harada and A. Takanashi: “High speed laser beam scanning using an acousto-optical deflector (AOD),” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26** (1987) 1026-1030.
- 14) 保坂純男, 瀬谷英一, 寺尾元康, 黒崎利栄, 高梨明紘: “レーザー加工による直接パターン形成と縮小投影露光”, 昭和 60 年春季第 32 回応用物理学関係連合講演会予稿集, 29a-H-8 (1985) p. 295.
- 15) H. Yanazawa, N. Hasegawa, T. Kurosaki, N. Hashimoto and S. Nonogaki: “High resolution, high precision *i*-line stepper processing,” *Proc. SPIE*, **537** (1985) 154-159.