

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4695711号  
(P4695711)

(45) 発行日 平成23年6月8日(2011.6.8)

(24) 登録日 平成23年3月4日(2011.3.4)

(51) Int.Cl. F I  
**HO 1 L 21/027 (2006.01)** HO 1 L 21/30 5 2 9  
 HO 1 L 21/30 5 1 5 D

請求項の数 25 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2010-114054 (P2010-114054)	(73) 特許権者	505138439
(22) 出願日	平成22年5月18日 (2010.5.18)		マスクレス・リソグラフィー・インコーポ
(62) 分割の表示	特願2004-529893 (P2004-529893)		レーテッド
原出願日	平成15年8月20日 (2003.8.20)		アメリカ合衆国・95131・カリフォル
(65) 公開番号	特開2010-219547 (P2010-219547A)		ニア州・サンノゼ・ザンカー ロード・2
(43) 公開日	平成22年9月30日 (2010.9.30)	(74) 代理人	100064621
審査請求日	平成22年5月18日 (2010.5.18)		弁理士 山川 政樹
(31) 優先権主張番号	60/406,030	(74) 代理人	100098394
(32) 優先日	平成14年8月24日 (2002.8.24)		弁理士 山川 茂樹
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	メイスバーガー, ウィリアム・ダニエル
			アメリカ合衆国・95120・カリフォル
			ニア州・サンノゼ・モンタルバン ドライ
			ブ・1507

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 連続直接書き込み光リソグラフィ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板をパターンニングする、空間光変調器をベースとした光リソグラフィ・ツールの動作方法であって、

サイズと構成が前記空間光変調器内の個々にスイッチング可能な素子の投影される間隔と構成に対応しているピクセルのエリア・アレイを前記基板表面上に決定するステップと

、  
 設計データ・ファイル内のフィーチャ・パターンから算出される線量値を前記基板上的各ピクセルに割り当て、前記線量値は前記基板上的結果の像のフィーチャ・パターンに対応した複数のグレーレベルの1つと関連する、ステップと、

少なくとも2つの状態を有する前記空間光変調器の素子であり、第1の状態が前記基板に光を到達させ、第2の状態が前記基板に光が到達するのを止める素子それぞれの状態を表す一連の値へと、前記基板上的各ピクセルに対する前記線量値をクロック周期ごとにデコンプレスするステップと、

前記素子状態の値を空間光変調器メモリへとロードするステップと、

前記空間光変調器を照射するステップと、

前記空間光変調器と前記基板との間に位置する投影光学系によって実施される、前記基板上に前記空間光変調器の像を投影するステップと、

クロック周期ごとに一度、前記空間光変調器メモリ内の前記値に応じて前記空間光変調器の前記素子をスイッチングするステップと、

10

20

各クロック周期中、前記基板と前記投影される像とを互いに前記ピクセル間の前記間隔に等しい距離だけ変位させるステップとから構成され、

前記基板上のピクセルが前記空間光変調器の複数の素子からピクセルに割り当てられた線量値に加えてエネルギーの線量を連続して受け取ることを特徴とする光リソグラフィ・ツールの動作方法。

【請求項 2】

前記基板上の前記ピクセルと前記空間光変調器内の前記個々にスイッチング可能な素子との前記対応は 1 対 1 であることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記割り当てるステップは、前記算出された線量値を調整することによって前記投影光学系内の歪みと収差を補正するステップを有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 4】

前記割り当てるステップは、前記算出された線量値を調整することによって前記空間光変調器の照射の不均一性を補正するステップを有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記デコンプレッスするステップは、前記基板に対する前記空間光変調器の位置に対応する、1クロック周期中の前記空間光変調器の前記素子すべての前記素子状態の値を規定するのに必要な線量データである 1 フレームの線量データに対してクロック周期ごとに一度実行されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 6】

前記ロードするステップはクロック周期ごとに一度実行されることを特徴とする請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記基板の露光中、前記空間光変調器は連続的に照射されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記基板の露光中、前記空間光変調器の前記像は前記基板上に連続的に投影されることを特徴とする請求項 7 に記載の方法。

30

【請求項 9】

前記基板表面の前記投影された像は不鮮明にされるステップを有し、  
前記不鮮明な像は、サブピクセルの解像度のフィーチャ・エッジの配置を可能にする瞬間的光度分布を有し、総線量分布が前記表面上に形成される潜像にフィーチャ・エッジを定めることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記不鮮明にするステップは、前記空間光変調器と前記感光性コーティングとの間に位置決めされた拡散体によって実施されることを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記空間光変調器はデジタル・マイクロミラー・デバイスであり、前記素子は個々にスイッチング可能なミラーであることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

40

【請求項 12】

前記基板の歪みを測定するステップと、  
前記基板の歪みを説明するために前記設計データ・ファイルを修正するステップとをさらに有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

前記空間光変調器の前記素子をスイッチングするステップは、前記基板上の任意のピクセルによって受け取られるエネルギーの総線量に連続して寄与する前記空間光変調器の素子の数を変えるように制御され、これにより前記基板上のあるピクセルは非ゼロの異なったエネルギーの総線量を受け取ることを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

50

## 【請求項 14】

前記測定するステップは基板アライメント・システムによって実施されることを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

## 【請求項 15】

前記基板アライメント・システムはマシン・ビジョン・システムを備えることを特徴とする請求項 14 に記載の方法。

## 【請求項 16】

前記空間光変調器の前記素子をスイッチングするステップは、前記基板上の任意のピクセルによって受け取られるエネルギーの総線量に連続して寄与する前記空間光変調器の素子の数を変えるように制御され、これにより前記基板上的あるピクセルは非ゼロの異なるエネルギーの総線量を受け取ることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

10

## 【請求項 17】

前記基板表面の前記投影された像は不鮮明にされ、  
前記不鮮明な像は、サブピクセルの解像度のフィーチャ・エッジの配置を可能にする瞬間的光度分布を有し、総線量分布が前記表面上に形成される潜像にフィーチャ・エッジを定めることを特徴とする請求項 16 に記載の方法。

## 【請求項 18】

前記スイッチングするステップは、前記基板表面上の感光性コーティング内にフィーチャを決定するように制御され、前記感光性コーティング内のフィーチャ・エッジは、前記基板上的前記エリア・アレイによって決定されたピクセル・エッジからサブピクセルの距離だけシフトされることを特徴とする請求項 17 に記載の方法。

20

## 【請求項 19】

前記空間光変調器の前記素子は矩形格子上で行及び列に配置され、前記基板の移動の方向は前記空間光変調器の前記素子の前記列と平行であることを特徴とする請求項 16 に記載の方法。

## 【請求項 20】

前記空間光変調器の前記素子は矩形格子上で行及び列に配置され、前記基板の移動の方向は前記空間光変調器の前記素子の前記列と平行でも直角でもないことを特徴とする請求項 16 に記載の方法。

## 【請求項 21】

前記スイッチングするステップは、前記基板表面上の感光性コーティング内にフィーチャを決定するように制御され、前記感光性コーティング内のフィーチャ・エッジは、前記基板上的前記エリア・アレイによって決定されたピクセル・エッジからサブピクセルの距離だけシフトされることを特徴とする請求項 20 に記載の方法。

30

## 【請求項 22】

前記投影するステップの前に、前記基板を前記投影光学系と位置合わせするステップをさらに有することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 23】

前記位置合わせするステップは、前記基板上的任意のフィーチャをメモリ・デバイス内に予め格納されている像と比較するステップを有することを特徴とする請求項 22 に記載の方法。

40

## 【請求項 24】

前記位置合わせするステップは、前記基板上的任意のフィーチャをメモリ・デバイス内に予め格納されている理想的な像と比較するステップを有することを特徴とする請求項 22 に記載の方法。

## 【請求項 25】

前記理想的な像は十字及び円からなるグループから選択されることを特徴とする請求項 24 に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【関連出願】

50

## 【 0 0 0 1 】

( 関連出願の相互引用 )

本願は 2 0 0 2 年 8 月 2 4 日に出願された米国特許仮出願第 6 0 / 4 0 6 , 0 3 0 号の利益を主張するものであり、その全体を参照により本願に組み入れる。

## 【 技術分野 】

## 【 0 0 0 2 】

本発明は光リソグラフィの分野に関し、特に、次の基板上への印刷パターンに関する。基板にはウエハ、プリント基板、フラット・パネル・ディスプレイ、マスク、レチクルなど、さらには雑誌、新聞、本の複写に用いられる板型なども含まれる。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 3 】

半導体産業はリソグラフィ・プロセスのために非常に高価なステッパ・ツールを使用する。さらに、このプロセスには非常に高価なレチクルが用いられる。レチクルのコストによって(特注の特定用途向け集積回路などの)チップの少量生産を非常に高価なものにしていた。半導体産業はより低コストのリソグラフィ・プロセスを必要としている。さらに、リソグラフィ・パターンが変わる度に、新しいレチクルを製造するのに数日以上必要となる。半導体産業はパターン変更に対応できるリソグラフィ・プロセスを必要としている。

## 【 0 0 0 4 】

プリント基板(PCB)産業はそのリソグラフィ・プロセスに関して同様の問題を抱えている。また、PCB産業に使用される基板は、小面積基板への高解像度リソグラフィ・プロセスの使用とステッパ・ツールの使用を制限する歪みを製造中に受ける。歪みが基板によって異なる大きなプリント基板に対して、パターンを迅速かつ経済的にその歪みに対応するように調整できる高解像度リソグラフィ・プロセスが必要である。

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 5 】

Nelsonに与えられた米国特許第5,330,878号、第5,523,193号、第5,482,818号、第5,672,464号は基板をパターンングする方法と装置を記載している。この装置はレチクルの代わりに空間光変調器(spatial light modulator:SLM)、特定的にはTexas Instruments社の可変ミラー・デバイス(deformable mirror device:DMD)を使用する。DMDは個々に制御可能な反射素子のアレイである。DMDの像が結像レンズによって基板上に投影される。DMDの個々の素子が、光を基板上に投影するように、結像レンズに光を反射するか否かはコンピュータによって決定される。このため、基板上に投影されたパターンはコンピュータで制御され、かつ容易に変更できる。半導体産業やPCB産業両者の高分解能でかつ高い生産量の要件を満たすには、このアプローチに改善が必要である。さらに、生産量を増大させかつ高分解能要件を満たしながら、装置のコストを抑えるための進歩が必要である。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 6 】

本発明は感光性基板をパターンングする装置と方法を提供する。本装置は空間光変調器、SLMを照射する光源、基板上にSLMの像を投影する結像光学系、基板表面にわたって像を移動させる手段を備える。SLMは基板に到達する光のパターンを制御する。SLMは、個々にスイッチング可能な、すなわち2つ以上の状態の間でスイッチング可能な素子の少なくとも1つのアレイを備える。SLMは回折素子又は透過素子のいずれかである。光源はアーク灯、LED、又は連続レーザなどの連続光源である。ただ、レーザ・パルス周波数がSLMの素子のスイッチング周波数よりも著しく高い場合は、準連続レーザであってもよい。像を移動させる手段はSLM又は基板のいずれかを上に設置するステージである。基板が可撻膜又はそれに類似するものである場合、リール・ツー・リール機構(reel to reel mechanism)を用いて移動させるようにしてもよい。像が基板の表面を横切っ

10

20

30

40

50

て移動する間、基板上のピクセルが順に空間光変調器の複数の素子からある量のエネルギーを受け取るように、空間光変調器の素子がスイッチングされ、これにより基板表面上に潜像が形成される。結像光学系はテレセントリックでよい。

【0007】

好適な実施態様では、結像光学系はサブピクセルの解像度のフィーチャ・エッジの配置を可能にしながら空間光変調器の不鮮明な像を基板上に投影するように構成される。この不鮮明さは、結像光学系の焦点を調整すること、結像光学系の開口数を調整すること、SLMと基板との間に拡散体を加えること、SLMと基板との間にマイクロレンズ・アレイを加えること、あるいはこれらを組み合わせることで実現できる。

【0008】

好適な実施態様では、空間光変調器が連続的に照射され、空間光変調器の像が連続的に基板上に投影され、かつその像は基板の表面にわたって連続的に移動される。

【0009】

いくつかの実施態様では、SLMは複数のエリア・アレイを含む。これに対応する結像光学系は単一の投影レンズ・システム又は複数の投影レンズ・システムでよい。複数の投影レンズ・システムの場合、エリア・アレイの数は投影レンズ・システムの数より大きく、投影レンズ・システムの場合はエリア・アレイの数の約数であることが好ましい。さらに、複数のエリア・アレイは1つの線でもよいが、アレイの配置が線毎に交互にずらされた複数の線として配置されてもよい。複数の線として配置される場合、結像光学系のより多くの結像領域を利用でき、結果的に基板のより効率的な露光を得ることができ、露光中にSLMの投影像を基板にわたって蛇行して移動させる必要性が低減される。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】可動基板を備えた本発明の光リソグラフィ・ツールを示す略図である。

【図2】可動空間光変調器を備えた本発明の光リソグラフィ・ツールを示す略図である。

【図3】可撓膜基板を備えた本発明の光リソグラフィ・ツールを示す略図である。

【図4】テレセントリック投影光学系を示す図1の光リソグラフィ・ツールの第1の実施形態の詳細な略図である。

【図5】複数のエリア・アレイ及びそれに対応する投影光学系の複数のセットを備えた空間光変調器を示す、図1の光リソグラフィ・ツールの第2の実施形態の詳細な略図である。

【図6】複数のエリア・アレイ及びテレセントリック投影光学系の単一のセットを備えた空間光変調器を示す、図1の光リソグラフィ・ツールの第3の実施形態の詳細な略図である。

【図7】「オン」及び「オフ」位置のアレイ素子を示す、本発明のマイクロミラー・アレイの部分を通る断面図である。

【図8】本発明による、基板表面全体を露光するために空間光変調器の投影像がたどる蛇行経路を示す基板の平面図である。

【図9】本発明による、基板表面全体を露光するのに共に用いられる複数のエリア・アレイの各々からの投影像がたどる蛇行経路を示す基板の平面図である。

【図10】本発明による、潜像を形成するプロセスを示す略図である。

【図11】図10の基板アレイを示す略図である。

【図12】T3を始点とする等しく離間した時間間隔T/10における、図10の基板上の線分ABに沿った瞬間的光度分布を示すグラフである。

【図13】T4で終わる等しく離間した時間間隔T/10における、図10の基板上の線分ABに沿った瞬間的光度分布を示すグラフである。

【図14】時間T3とT4との間の露光による、図10の基板上の線分ABに沿った統合された線量分布を示すグラフである。

【図15】時間T1とT7との間の露光による、図10の基板上の線分ABに沿った総線量分布を示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図16】本発明による、ミラーの投影幅の1/2だけずれたエッジの第1の例を含む潜像を形成するプロセスを示す略図である。

【図17】本発明による、ミラーの投影幅の1/2だけずれたエッジの第2の例を含む潜像を形成するプロセスを示す略図である。

【図18】本発明による、ミラーの投影幅の1/4だけずれたエッジの一例を含む潜像を形成するプロセスを示す略図である。

【図19】本発明による、ミラーの投影幅の3/4だけずれたエッジの一例を含む潜像を形成するプロセスを示す略図である。

【図20】本発明による、ミラーの投影幅の1/4だけ別方向にずれたエッジの一例を含む潜像を形成するプロセスを示す略図である。

10

【図21】図10、16、17、18、9の基板上的線分ABに沿った統合された線量分布を示すグラフである。

【図22】本発明による、潜像を形成するプロセスを示す別の略図である。

【図23】図22の基板アレイを示す略図である。

【図24】図22上の基板上的線分CD、EF、GH、及びIJに沿った統合された線量分布を示すグラフである。

【図25】本発明による、エッジのずれの別の例を含む潜像を形成するプロセスを示す略図である。

【図26】図25の基板アレイを示す略図である。

【図27】図25の基板上的線分KL、MN、OP、QR、及びSTに沿った統合された線量分布を示すグラフである。

20

【図28】本発明の光リソグラフィ・システムを示すブロック図である。

【図29】本発明の一実施形態による複数のエリア・アレイの配置を示す平面図である。

【図30】光源と基板との間の光路上の光スイッチング機構121を示す、図4の光リソグラフィ・ツールの別の実施形態の略図である。

【図31】本発明による、光路上に連続して構成された2つの空間光変調器を備えた光リソグラフィ・システムを示すタイミング図である。

【図32】本発明による、光路上に連続して構成された2つの空間光変調器を備えた光リソグラフィ・システムを用いて潜像を形成するプロセスを示す略図である。

【図33】本発明による、光路上に連続して構成された空間光変調器及び光スイッチング機構を備えた光リソグラフィ・システムを示すタイミング図である。

30

【図34】本発明による、基板表面で2つのエリア・アレイの投影像を重ね合わせるように構成された顕微鏡を備えた光リソグラフィ・ツールを示す略図である。

【図35】図34の光リソグラフィ・システムを示すタイミング図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

図1を参照すると、可動ステージ150上に設置された基板140をパターンニングするのに適した本発明の一実施形態である光リソグラフィ・ツール100が示されており、光源110、空間光変調器(SLM)120、結像光学系130を備えている。座標軸160が示されており、z軸とy軸が図の平面内にあり、x軸は図の平面に対して垂直である。光リソグラフィ・ツールを通る光路を光線170で示している。光源110はSLM120を連続的に照射する。光源はアーク灯、連続レーザー(固体又は気体)、発光ダイオード(LED)、又は基板140を露光するために適したスペクトル特性を有する他のタイプの連続光源を含むことができる。さらに、準連続レーザー(MHz周波数でパルスで送られるレーザー)などの光源も本発明のための光源として適している。重要な基準はパルス周波数が空間光変調器の素子に対するスイッチング周波数よりも著しく高い(典型的には104Hz)ということである。その場合、光源によるSLMの照射は実質的に連続的である。光源は照射の強度を増大させかつ照射の均一性を高めるための光学部品を含んでもよい。これらの光学部品には、楕円形のミラー、円形や円柱形のレンズ、さらにはライトパイプ又は蠅の目レンズ・アレイを含んでもよい。SLM120は光源からの光ビームに作用

40

50

する素子の1つ又は複数の(略矩形の)エリア・アレイである。SLMの像は投影光学系とも呼ばれる結像光学系130によって基板の上に連続的に投影される。素子は像内の光の大きさを制御するようにコンピュータ制御下で2つ以上の状態間をスイッチングされる。本発明の一実施形態は、2つ以上の角度をとる状態の間で入射光線をスイッチングすることのできるミラー又は回折素子のアレイであるSLMを備える。Texas Instruments社から現在入手可能なデジタル・マイクロ・ミラー・デバイス(DMD)が、2つの角度の状態の間でスイッチングするのに適したミラーアレイの一実施形態である。回折SLMの一例はSilicon Light Machine社が現在製造している回折格子光弁(Grating Light Valve: GLV)である。本発明の他の実施形態は液晶ディスプレイ・デバイスであるSLMを含む。SLMの素子が反射型ではなく透過型である場合、その光学系は配置変えする必要がある。このような再配置は当業者には明白であろう。結像レンズ・システム130は反射型素子と屈折型素子の両方を含んでよく、典型的にはテレセントリックである。基板140はフォトレジスト・コーティングなどの感光層を含んでいるか、あるいは基板自身が感光性ポリイミドのシートなどの感光性材料であるかのいずれかである。ステージ150はころ軸受又は空気軸受の設計であってよく、高さ調整(z方向)、傾斜、回転能力を有してよい。これらのタイプのステージはよく知られており、リソグラフィ・システムで一般的に使用される。説明を簡単にするために、基板が平坦であると仮定する。しかし、本発明は、平坦なステージではなくむしろ回転式ステージと共に、円柱形又は球形などの他の基板の形状とともに機能することができる。

#### 【0012】

図2を参照すると、静止した基板140をパターンニングするのに適した本発明の一実施形態である光リソグラフィ・ツール200が示されており、光源110、SLM120、そのSLMを設置したステージ250、投影光学系130を備えている。操作の方法は先の光リソグラフィ・システム100の場合と同じであるが、基板140を静止させ、ステージ250をSLM120を露光中に移動させる。結像レンズ・システム130及び/又は光源110はステージ250に取り付けられて、SLMと共に移動してもよい。

#### 【0013】

図3を参照すると、可撓性基板340をパターンニングするのに適した本発明の一実施形態である光リソグラフィ・ツール300が示されており、光源110、SLM120、SLMを設置したステージ250、投影光学系130、回転可能で離間した状態で軸方向に平行なフィルム・ドラム342、344を備えている。フィルムがy方向(静止座標系160を基準とする)に移動させられるように、感光性の可撓性フィルム基板340はフィルム・ドラム342、344に巻き付けられ、フィルム・ドラム342、344の間で引っ張られた状態になっている。2つのモードの露光が可能である。第1のモードでは、基板340を静止させてステージ250がSLMを定速でx方向に移動させる。露光経路が終わると(例えば、基板のエッジに達している)、フィルム・ドラムは基板をy方向前方に割り出し、ステージが次の露光経路のために方向を反転させる。この結果、図8に示した経路850と同様の蛇行した露光経路が得られ、これを以下で詳細に説明する。第2のモードでは、ステージとフィルム・ドラムの役割が逆転する。ステージが静止している間、フィルム・ドラムは露光領域のエッジに達するまで基板を低速でy方向に移動させる。次に、ステージはx方向で基板を割り出し、フィルム・ドラムは次の露光経路のために方向を反転させる。再度、この結果として蛇行した露光経路が得られる。さらに、基板上で露光されるエリアの幅がSLMの投影像の幅以下である場合、ステージは静止状態であってよく、または無くても良く、フィルム・ドラムは基板を定速で移動させ、方向を反転させる必要がない。他の実施形態の場合、投影光学系がステージに載せられてもよい。

#### 【0014】

図4、5、6を参照すると、光リソグラフィ・ツール100(図1を参照)の種々の実施形態が詳細に示されている。

#### 【0015】

図4はアーク灯とテレセントリック投影レンズ・システムを備えた連続直接書込み光リ

10

20

30

40

50

ソグラフィ・システムの略図である。水銀アーク灯 4 1 0 からの連続照射が楕円形反射器 4 1 1 から反射する。光線 1 7 0 で示すように、反射光は、基板 1 4 0 の露光に有用な波長（例えば、3 5 0 nm ~ 4 5 0 nm）を反射させかつ他の波長に対して透過性であるダイクロニック・ミラー 4 1 2 まで移動する。ダイクロニック・ミラーから反射されない光は照射ビーム・ダンプ 4 1 3 で吸収される。必要とされる露光波長と光源の輝度に応じて、キセノン・アーク灯などの他のタイプの灯が使用されてよい。ライトパイプ 4 1 5 を用いて照射の均一性が改善されるが、蠅の目レンズ・アレイに置き換えられてもよい。ライトパイプ 4 1 5 の前に設置されたライトパイプ・レンズ・システム 4 1 4 を用いて照明システムの開口数が調整され、ライトパイプに入る前の光ビームの径が調整される。集光レンズ・システム 4 1 6 はライトパイプを出る光を捕らえ、ビームの形状と角度を調整して S L M 1 2 0 の要件にマッチさせる。集光レンズ・システムは照射開口 4 1 7 を含んでいる。ライトパイプ・レンズ・システムと集光レンズ・システムは一般にはアナモフィックであり、円柱レンズ素子を含む。連続照射水銀アーク灯、楕円形反射器、ダイクロニック・ミラー、照射ビーム・ダンプ、ライトパイプ・レンズ・システム、ライトパイプ、集光レンズ・システム、照射開口は、図 1 に示すように、光源 1 1 0 の一実施形態を構成している。S L M はコンピュータ制御下で 2 つ以上の角度状態の間でスイッチングされる小さなミラーの 1 つ又は複数のエリア・アレイ（略矩形）である。角度状態の少なくとも 1 つは光源からの光線をテレセントリック投影レンズ・システム 4 3 0 に反射させ、角度状態の少なくとも他方の 1 つは光線を S L M ビーム・ダンプ 4 8 0 に反射させる。T e x a s I n s t r u m e n t s 社から現在入手可能なデジタル・マイクロミラー・デバイス（D M D）は、2 つの角度状態の間でスイッチングするのに適したミラーアレイの一例である。S L M において「オン」状態のミラーがテレセントリック投影レンズ・システムによって基板上に結像させる。「オフ」状態の S L M のミラーから反射された光は S L M ビーム・ダンプまで移動し、そこで吸収される。S L M の操作のさらなる詳細を以下で、及び図 7 に示す。基板はフォトレジスト・コーティングなどの感光性層を含んでいるか、又は基板自身が感光性ポリイミドのシートなどの感光性材料であるかのいずれかである。基板はステージ 1 5 0 に取り付けられており、このステージは露光中に静止座標系 1 6 0 の x y 平面の一直線の区間を連続的に移動する。テレセントリック投影レンズ・システムの開口数は、開口 4 1 7 を照射するように光学的構成された投影レンズ開口 4 3 2 によって決定される。二重テレセントリック投影レンズ・システムを示している。しかし、単一のテレセントリック又は非テレセントリック投影システムも役立つであろう。倍率は基板の高さに関して変化せず、これにより基板毎のリソグラフィ・ツールの較正が簡単になるので、テレセントリック設計が好ましい。図 1 に示すように、テレセントリック投影レンズ・システムは投影レンズ・システム 1 3 0 の一種である。ステージは静止座標系 1 6 0 の平面 x - y で移動でき、かつ z 方向にも移動し得る。ステージ 1 5 0 は回転能力と傾斜能力を有している。（例えば、基板の平坦さが問題となる場合に）、これは適切な基板の位置合わせに必要であるかもしれない。z 方向へ移動すると、基板上の投影像の焦点が合うか、又は焦点がずれるかのいずれかであろう。高さ検出媒体 4 9 0 を利用した基板高さ測定システム 4 5 0 を用いて基板 1 4 0 の表面の z 位置を決定できる。この高さ測定システムは光学、容量、あるいは空気に基づくものであってよい。好適なタイプは空気である。焦点合わせは S L M 又は投影レンズ・システムを z 方向に移動させることによって達成されてもよい。

#### 【 0 0 1 6 】

図 5 はアーク灯、複数のエリア・アレイを有する S L M、複数の投影レンズ・システムを備えた連続直接書込み光リソグラフィ・システムの略図である。光源は図 4 について記載したように配置されているが、集光レンズ・システム 5 1 6 とレンズ・アレイ 5 1 8 はビームの形状と角度を修正して個々の S L M のエリア・アレイ 5 2 0 ~ 5 2 4 の要件にマッチさせるようにライトパイプ 4 1 5 を出た光を捕らえる。レンズ・アレイは個々の S L M エリア・アレイ上の光度を最大化する。つまり、レンズ・アレイは、1 本の線、複数の線（図 2 9 を参照）、あるいは他のいくつかの二次元配置であってよい S L M エリア・ア

10

20

30

40

50

レイの配置とマッチするように構成されている。不可欠な構成要素というわけではないが、レンズ・アレイを組み込むことが好ましい。レンズ・アレイはSLMエリア・アレイに対応するように配置されたレンズを含んでよい。別の場合には、レンズ・アレイ内のレンズは1つ又は複数の回折素子と置き換えられてよい。ライトパイプ・レンズ・システム414と集光レンズ・システム516は一般にはアナモフィックであり、円柱レンズ素子を含む。連続照射水銀アーク灯410、楕円形反射器411、ダイクロニック・ミラー412、照射ビーム・ダンプ413、ライトパイプ・レンズ・システム414、ライトパイプ415、集光レンズ・システム516、レンズ・アレイ518は、図1に示すような連続光源110の一種を構成している。個々のSLMエリア・アレイ520～524の各々はコンピュータ制御下で2つ以上の角度状態の間でスイッチングできる小さな矩形ミラーのアレイである。Texas Instruments社から現在入手可能なデジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)は、2つの角度状態の間でスイッチングするのに適したミラーアレイの一例である。SLMエリア・アレイ520において「オン」状態のミラーがテレセントリック投影レンズ・システム530によって基板140上に結像させる。SLMエリア・アレイ521～524及びそれに対応する投影レンズ531～534についても同様である。「オフ」状態のSLMエリア・アレイ520のミラーから反射された光は、SLMビーム・ダンプ480まで移動し、そこで吸収される。SLMエリア・アレイ521～524についても同様である。それぞれ5個の、SLMエリア・アレイ(520～524)、投影レンズ(530～534)、基板高さ測定システム(550～554)をこの例に示すが、任意の数を使用してよい。投影レンズは反射型素子及び屈折型素子の両方を含んでよく、典型的にはテレセントリックである。投影レンズ・システム(530～534の任意の1つ)は図1の投影光学系130と同じであってよい。基板140はフォトレジスト・コーティングなどの感光性層を含んでいるか、又は基板自身が感光性ポリミドのシートなどの感光性材料であるかのいずれかである。基板はステージ150に取り付けられており、このステージは露光中に静止座標系160のx-y平面の一直線の区間を連続的に移動する。他の実施形態では、結像光学系をステージに設けてもよい。

#### 【0017】

図6は単一のテレセントリック対物レンズ・システムと複数のエリア・アレイを有するSLMを備えた連続直接書込み光リソグラフィ・システムの略図である。光源610は図5に記載の光源と同じものであり、照射するものであって個々のSLMエリア・アレイ520～524の要件とマッチするように構成されている。個々のSLMエリア・アレイの各々は、コンピュータ制御下で2つ以上の角度状態の間でスイッチングされる2つ以上の小さな矩形ミラーのアレイである。Texas Instruments社から現在入手可能なデジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)は、2つの角度状態間でスイッチングするのに適したミラーアレイの一例である。SLMエリア・アレイにおいて「オン」状態のミラーがテレセントリック投影レンズ・システム630によって基板140上に結像させる。「オフ」状態のSLMエリア・アレイのミラーから反射された光はSLMビーム・ダンプ480まで移動し、そこで吸収される。5個のSLMエリア・アレイをこの実施形態に示しているが、任意の数を用いてよい。二重テレセントリック投影レンズ・システム630を示している。しかし、単一のテレセントリック又は非テレセントリック投影システムを使用してもよい。倍率は基板の高さに対して変化せず、これにより基板毎のリソグラフィ・ツールの較正が簡単になるので、テレセントリック設計が好ましい。図1に示すように、テレセントリック投影レンズ・システムは投影レンズ・システム130の一種である。ステージは静止座標系160の平面x-yで移動しz方向にも移動し得る。ステージ150は回転能力と傾斜能力を有している。(例えば、基板の平坦さが問題となる場合に)、これは適切な基板の位置合わせに必要である。z方向の移動は基板上の投映画像の焦点を合わせるか外す。基板高さ測定システム450を用いて基板140の表面のz位置が決定される。この高さ測定システムは光学、容量、あるいは空気に基づくものであってよい。好適なタイプは空気である。焦点合わせはSLMエリア・アレイ520～524又は投影レンズ・システム630をz方向に移動させることによって達成されてもよい

10

20

30

40

50

。基板 140 はフォトリソグロフ・コーティングなどの感光性層を含んでいるか、又は基板自身が感光性ポリイミドのシートなどの感光性材料であるかのいずれかである。

【0018】

図 5 及び 6 のリソグラフィ・システムに加え、複数のエリア・アレイを備えた SLM とその約数の数の投影レンズ・システムとを組み合わせた本発明の他の実施形態を考える。例えば、リソグラフィ・システムは各投影レンズ・システムが、異なる 3 つの SLM エリア・アレイを同時に結像するように、6 個の SLM エリア・アレイと 2 個の投影レンズ・システムを備えているとする。さらに、投影レンズ・システムの数に数学的な約数に限定される必要はない。例えば、リソグラフィ・システムは第 1 の投影レンズ・システムが 3 個の SLM エリア・アレイを結像するように、かつ第 2 の投影レンズ・システムが残る 4 個の SLM エリア・アレイを結像するように、7 個の SLM エリア・アレイと 2 個の投影レンズ・システムを有してよい。これらの実施形態の構成は当業者には明白であろう。この教示に従いかつ当業者には明白となる SLM エリア・アレイと投影レンズ・システムの非常に多くの組合せがあることは明白である。

【0019】

図 7 を参照すると、SLM 720 の部分断面が示されている。ミラー 721 を「オン」位置で示し、ミラー 722 を「オフ」位置で示す。光線 770 は「オン」位置のミラー 721 の表面から基板に向かって反射し（光線 771）、「オフ」位置のミラー 722 の表面からビーム・ストップに向かって反射する（光線 772）。例えば、図 4、7 の両方を参照すると、光線 771 は投影レンズ・システム 430 を通って基板 140 に達するが、光線 772 は投影レンズ・システム 430 の受入れ開口の外に外れて、ビーム・ストップ 480 によって収集される。これは好適なモードの動作であるが、他のモードの動作が考慮されてよい。例えば、光線 772 が投影レンズ・システム 430 の受入れ開口内に一部を入れ、したがって、「オフ」状態のミラーからの減衰された信号が基板に達するであろう。これは許容されてよい。

【0020】

図 8 を参照すると、基板 140 の全表面を露光するために SLM の投影像がたどる蛇行経路 850 の一実施形態が示されている。この像の動きは像移動機構によるものである。基板又は SLM は像移動機構に設置される。適した像移動機構の一実施形態は、図 1、2、3 に示したようなステージである。可撓性基板の場合、適した機構は回転可能で離間した状態で軸方向に平行な図 3 に示したような一対のフィルム・ドラムである。以下の説明では、基板がステージに設置されたリソグラフィ・システムの構成を考える。次のものが示されている。基板 140、蛇行経路 850、経路の直線区間の間の距離 851、基板座標系 853、静止座標系 860。SLM は基板上の投影像内のピクセルのカラムが蛇行経路の直線区間部分に対して平行になるように配向されているが、説明を簡単にするために静止座標系 860 の x 軸に対して平行になっているとする。ステージは SLM の投影像の中心が経路 850 の始点にあるように基板 140 を位置決めする。この実施形態では、経路 850 の始点においては SLM の投影像は基板 140 に一切当たらない。ステージが静止座標系 860 を基準に +x 方向に移動するとき、SLM の投影像の中心は基板座標系 853 を基準に -xs 方向に移動して、蛇行経路の第 1 の直線区間をたどる。SLM の投影像が基板に当たるときに露光が開始される。投影像が基板のエッジを通ると、露光は停止する。次に、ステージはすべて静止座標系 860 を基準に、第 1 の直線区間と距離 851 だけ y 方向に異なった経路の第 2 の直線区間に沿って -x 方向に走査する準備が整った状態で、基板を再位置決めする。この工程は基板全体が露光されるまで繰り返される。基板全体を露光するために、SLM で投影された幅は距離 851 と同じかそれより広くなければならないことは明白である。基板のある領域のみを露光する必要がある場合、個々の領域の各々に対して蛇行パターンを実行することがより効果的であろう。蛇行経路が好ましいが、露光のための直線区間を含んでいる限りは他の経路が使用されてよい。蛇行経路は SLM がステージ上に設置されかつ基板が静止しているリソグラフィ・システム構成を用いて達成されてもよいことは、当業者には明白であろう。

## 【 0 0 2 1 】

図9を参照すると、基板140の全表面を露光するためにSLMエリア・アレイの対応するセットの投影像がたどる蛇行経路950～954のセットの一実施形態が示されている。この像の動きは像移動機構によるものである。基板又はSLMは像移動機構に設置されている。適した像移動機構の一実施形態は、図1、2、3に示したようなステージである。可撓性基板の場合、適した機構は回転可能で離間した状態で軸方向に平行な図3に示したような一對のフィルム・ドラムである。以下の説明では、基板がステージに設置されたリソグラフィ・システムの構成を考える。SLMエリア・アレイの各々は基板140上の投影像内のピクセルのカラムが蛇行経路の直線区間部分に対して平行になるように配向されているが、説明を簡単にするために静止座標系860のx軸に対して平行になっているとする。ステージはSLMエリア・アレイの投影像の中心が経路950～954の始点にあるように基板140を位置決めする。この実施形態では、経路950～954の始点においてはSLMアレイの投影像は基板140に一切当たらない。ステージが静止座標系860を基準に+x方向に移動するとき、SLMエリア・アレイの投影像の中心は基板座標系853を基準に-x方向に移動して、蛇行経路の第1の直線区間をたどる。SLMエリア・アレイの投影像が基板に当たるときに、任意の経路に沿った露光が開始される。投影像が基板のエッジを超えた後、任意の経路に沿った露光が停止する。すべての露光が停止した後、ステージはすべて静止座標系860を基準に、第1の直線区間と距離851だけy方向に異なった経路の第2の直線区間に沿って-x方向に走査する準備が整った状態で、基板を再位置決めする。この工程が基板全体をカバーしない場合、静止座標系860を基準にy方向に経路950と954との間の距離だけステージが移動し、上記手順が繰り返される。基板全体を露光するために、SLMエリア・アレイの投影された幅は距離851以上でなければならないことは明白である。この実施形態では、連続する経路950～954の間の距離は間隔851の2倍である。この距離が間隔851の2倍を超える場合、より直線的な区間を備えた蛇行動作が用いられてよい。この説明は図5、6の複数のSLMエリア・アレイ・リソグラフィ・システムに関連し、これに対する経路950～954はSLMエリア・アレイ520～524に対応している。

## 【 0 0 2 2 】

図1、8を参照すると、常に移動する基板に対してパターンが平均して静止して見えるように、基板140に印刷されたフィーチャに相当する「オン」状態の素子のパターンがSLM120を横切って移動する。ステージ150が蛇行経路850の直線区間の1つに沿って定速vで移動する(ステージがパターンング方向に移動する)場合、これはSLMパターンを一定の時間間隔で1行だけずらすことによって達成される。ここで時間間隔Tは次式によって与えられる。

## 【 0 0 2 3 】

【数1】

$$T = \frac{pM}{v} \quad (1)$$

## 【 0 0 2 4 】

上式中、pは素子(Texas Instruments社のDMDは行及び列に対して同じピッチである)の行のピッチであり、Mは投影レンズ・システム130の倍率である。一実施形態として、13.7μmのミラー・ピッチを有するTexas Instruments社のDMDが利用可能であり、最小のミラー・サイクル・タイムは102マイクロ秒である。投影レンズ・システム130が2.0倍の倍率を有する場合、ステージ速度は約269mm/秒である。送られる線量が基板を露光するのに不十分な場合、あるいは必要とされるステージ速度がステージ・システムの能力を上回る場合、用いられる実際のミラー・サイクル・タイムはより長くなる必要があるかもしれない。しかし、ミラー・サイクル・タイムとステージ速度は常に式(1)を満たさなければならない。

## 【 0 0 2 5 】

図10はSLM上のパターンのシフトとそれに対応する基板上の像を示している。この実施形態では、基板はステージ上にあり、露光中に定速でx方向に移動する。図1も参照して、4行×6列のエリアを有する素子1000のアレイ、4行×6列のエリアを有するピクセル1002のアレイである基板140の対応する部分、及び投影された行ピッチ(ピクセルの幅)1008を有する結果として得られる像1007を以下に示す。結果の像は、露光の全シリーズが終了したことによる基板上の可能性のある1つの潜像を示している。潜像内のエッジの配置及び角の丸み付けを以下に詳細に記載する。SLM及び基板のそれに対応する部分の「スナップショット」を等間隔の時間T1~T7で示しており、ここでこの時間間隔は式(1)を満たす。SLMと基板の経路をM、Sで図中にそれぞれ示している。SLMアレイ1000、基板アレイ1002、結果として得られる像1007が、それらの真上の位置から見た状態と静止座標系160の-z方向に見下ろした状態で描写されている。説明を簡単にするために、各「スナップショット」ではSLMと基板のアレイを相互に隣接して示している。結果の像1007内の投影された行ピッチ1008は、SLMアレイ1000内の行ピッチを投影レンズ・システム130の倍率で掛けたものである。しかし、説明を簡単にするために各「スナップショット」では、同じサイズと配向を有するSLMと基板のアレイを示している。アレイ1000及び1002上に示した格子、及び像1007は単に参照のためのものである。1000、黒塗りされていない正方形は「オン」状態のSLM素子に相当し、黒塗りの正方形は「オフ」状態の素子に相当する。1002内の黒塗りされていないエリアと黒塗りされたエリアは、その「スナップショット」に対するSLM素子の状態に相当する。例えば、時間T1では、基板は位置R4C4及びR4C5のSLMアレイ内のミラーからR1C4及びR1C5に位置するピクセルが光を受け取る(ここで参照符号R1C4はR1とC4におけるピクセル/素子を表す)。時間T1では、基板アレイ1002の下エッジが基板位置座標1と位置が合っている。時間T2では、基板は1行だけ移動しており、ここでは基板の下エッジが基板位置座標2と位置が合っている。T2とT1との間で経過した時間は式(1)を満たす。図10に示した一実施形態として用いられる特定のフィーチャ・パターンが、時間T4においてSLMアレイと基板アレイの両方の上に完全に示されている。このフィーチャ・パターンのエッジが最初にT1で現れ、時間T2~T6間のSLMアレイ1000を横切ってスクロールし、T7でSLMアレイ1000から消えていることがわかる。基板アレイ1002の上では、フィーチャ・パターンが動いているように見えない。このことは時間T3とT4において最も明白に見られる。しかし、SLMが静止して、基板が一定の速度で移動するので、投影されるパターンが、実際には、任意の2つの連続するスナップショットの時間の間に投影された行ピッチ1008だけ基板の上を移動する。説明を簡単にするために、基板アレイ1002上に示したパターンは任意の不鮮明、又は光学的な干渉効果を示していないことに注意すること。

#### 【0026】

図11は線分ABが列C4の中心にある基板アレイ1002を示している。光度と結果として得られる線量プロファイルは、線分ABで示した位置内の基板アレイの表面上で決定される。ABの位置はそれが図10に示した露光パターンの「後エッジ」を横断するようになっていることに注意すること。

#### 【0027】

露光中の基板表面を横切る投影パターンの移動の結果についてここで検討する。図12は図10からの基板アレイ1002上の瞬間的な光度分布を示している。この分布は図11に示したような線分ABの位置に沿ったものである。図12では線分ABは横座標の-2から1.5まで延びていることに注意すること。図12では、T3を始点とするT/10の間隔及びT/10毎に6つの分布を示しており、ここでTは上記の式(1)に定義されている。基板は定速で移動している。横座標は(図10に関して上記に定められたような)投影された行ピッチの単位で測定した、(図8、9に示したような)基板の変位xsを示している。光度プロファイル1200、1201、1202、1203、1204、1205、50%光度マーカー1209、50%位置マーカー1210、投影された行ピ

10

20

30

40

50

ッチ1215を図12に示す。光度プロファイル1200、1201、1202、1203、1204、1205の形状をガウス曲線として示している。しかし、実際の形状は光学系の詳細に左右される。時間T3における基板アレイ1002上の位置の関数である瞬間的光度が光度プロファイル1200で表示されている。光度プロファイル1200は横座標上の50%マーカー1209の交点が基板アレイ上の行R3とR4との間の境界に相当するように位置決めされる。横座標上の-1~0間の領域はR4に相当し、0~1間の領域はR3に、1~2間の領域はR2に相当する。ステージが基板アレイ1002を+x方向に移動させるとき、瞬間的な光度プロファイルは-x方向に基板アレイを通過して進む。光度プロファイル1201、1202、1203、1204、1205は時間T3にT/10、2T/10、3T/10、4T/10、5T/10をそれぞれ加えたものに対応している。光度プロファイルはT/2の間に-x方向に基板アレイを通過して、投影された行ピッチの1/2だけ進む。この実施形態においては、T3にT/2を加えた時点で、SLMアレイ1000内の素子がT3に示したパターンからT4に示したパターンへとスイッチングする。特に光度プロファイルを生成することになっているアレイ素子に目を向けると、C4R4の素子は「オン」から「オフ」にスイッチングし、C4R3とC4R2の素子は「オン」のままであり、C4R1の素子は「オフ」から「オン」にスイッチングする。この効果は1205の位置から、投影された行ピッチの1倍である新しい位置まで+x方向に光度プロファイルをずらすことである。

#### 【0028】

図13は図12の続きであり、次の期間T/2の光度プロファイルを示している。素子がT3+T/2においてスイッチングした後、光度プロファイルは1205の位置(図12を参照)から1300の位置(図13を参照)まで移動する。ステージが+x方向に基板アレイ1002を移動し続けるとき、瞬間的な光度プロファイルは-x方向に基板アレイを横断して進む。光度プロファイル1301、1302、1303、1304、1305は、時間T3に6T/10、7T/10、8T/10、9T/10、10T/10をそれぞれ加えたものに対応している。光度プロファイル1305は時間T3+Tにおけるものであり、時間T4の光度プロファイルと同じである。光度プロファイルはT/2間に-x方向に基板アレイを横切って、投影された行ピッチの1/2だけ進む。したがって、T4における光度プロファイル1305はT3におけるプロファイル1200のものと同じである。

#### 【0029】

図12及び13は時間T3~T4の間の時間間隔にわたって光度分布がどのように変動するかを示している。図14は線分ABに沿った基板アレイ1002上の同じ位置に対する結果として得られる線量分布を示す。図12、13の光度分布1200、1300は=0.43のガウス曲線である。図14から結果として得られる線量プロファイル1401は元のガウス曲線に類似する形状である。

#### 【0030】

次に結果として得られる線量プロファイル1401、結果として得られる50%線量マーカー1404、50%位置マーカー1405、投影された行ピッチ1215を図14に示す。基板アレイ1002が投影された行ピッチ1008の1/2だけ移動するとき、図10のSLMアレイ1000内の素子がスイッチングされるので、結果として得られる50%線量マーカー1404は結果として得られる線量プロファイル1401と図12、13の位置1210と同じである位置1405で交差する。これは図12、13に示した工程の対称的性質に起因するものである。Tn+T/2(n=1、2、3...)に加えて、他に選択した素子のスイッチング時間(Tn+T/5など)が使用されてよい。結果として得られる線量プロファイルの形状は1401と同じになるであろうが、横座標上の結果として得られる50%線量の場所は0からずれるであろう。スイッチング時間を変えることによって印刷されたパターンのエッジの位置を制御できることは明白である。しかし、スイッチング時間を一定に保つことが好ましい。線量分布の形状は通常は瞬間的な光度プロファイルと同じにはならない。このことはステージの動きの方向に平行なエッジ

の線量プロファイルは、直交しているエッジのものとは異なることを意味している。ステージの動きの方向に平行なエッジが常に移動しているわけではないため、そのようなエッジに対する基板上の線量プロファイルは瞬間的な光度プロファイルと同一になる。

【0031】

図10に戻ると、時間 $T_n + T/2$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )におけるSLMアレイ1000内の素子をスイッチングする工程が、パターンがSLMアレイ1000を完全にスクロールし終わるまで繰り返され、この実施形態では時間 $T_7$ である。任意の2つの連続する「スナップショット」時間の間の時間間隔は式(1)から $T$ に等しく、スイッチング時間は $(T_1 + T_2)/2$ 、 $(T_2 + T_3)/2$ 、 $(T_3 + T_4)/2$ 、 $(T_4 + T_5)/2$ 、 $(T_5 + T_6)/2$ 、 $(T_6 + T_7)/2$ にそれぞれ等しい。線量が増えらるるので、線分ABに沿った最終的な線量プロファイルは、図14の結果として得られた線量プロファイル1401と同じ形状を有するであろう。図15は総線量プロファイル1501を示す。次に総線量プロファイル1501、50%総線量マーカー1504、50%位置マーカー1505、露光領域1506、未露光領域1507、投影された行ピッチ1215を図15に示す。現像後に印刷されたフィーチャのエッジが50%位置マーカー1505にあるように、総線量を調整することが好ましい。この場合、総線量が50%を超える領域は露光領域1506であり、総線量が50%未満の領域が未露光領域1507である。このような条件下では、最終的に現像されたパターンは図10の結果の像1007に類似するであろう。明るいエリアは露光領域1506に相当し、暗いエリアは未露光領域1507に相当する。いくつかの角の丸みを除き、パターンエッジのすべては基準格子に並んでいる。露光量の僅かな変化は垂直と水平の大きさに異なって影響を及ぼす。50%光度の及び50%光度辺りの光度プロファイルの傾斜が十分に急勾配ではない場合に限り(急勾配は適正な露光及び加工の変動を取りながら十分な線幅の制御を可能にする)、このことが事実上の問題となる。

【0032】

上記の図1と図10のようなリソグラフィ・ツールを考える。基板の表面上の $x$ 方向に沿った線量分布は次式によって得られる。

【0033】

【数2】

$$D(x) = N \int_0^T I_w(x, t) dt \quad (2)$$

【0034】

上式中、 $N$ は定数であり、基板表面の $I_w(x, t)$ は時間依存性光度分布であり、時間 $T$ は式(1)を満たす。基板が定速 $v$ で移動するとき、移動する基板の光度 $I_w$ は次式によって静止状態の基板の光度 $I$ に関連付けられる。

$$I_w(x, t) = I(x + vt, t) \quad (3)$$

$t = 0$ と $t = T/2$ の間では、SLM内の素子は「1」状態であり、 $t = T/2$ において1行だけ移動する。すなわち、次式のようなになる。

$$I(x, t) = I_0(x) \quad 0 < t < T/2$$

$$I(x, t) = I_0(x - pM) \quad T/2 < t < T \quad (4)$$

上式中 $I_0(x)$ は静止時の基板に対する単一のSLM素子の光度分布であり、 $p$ はSLMアレイ素子の行ピッチであり、 $M$ は投影レンズ・システムの倍率である。式(1)、(3)、及び(4)を用いれば、式(2)は以下のように表すことができる。

【0035】

【数3】

$$D(x) = N \left[ \int_0^{T/2} I_0(x + vt) dt + \int_{T/2}^T I_0(x + vt - vT) dt \right] \quad (5)$$

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 6 】

一例として、分布  $I_0(x)$  がガウス曲線の形であると仮定すると、「オン」状態の素子の 10 行に対して、基板の強度分布は次式のようになる：

## 【 0 0 3 7 】

【数 4】

$$I_0(x) = \frac{1}{2.51\sigma} \int_0^{10} e^{-(x-y)^2/2\sigma^2} dy \quad (6)$$

ここで  $\sigma$  は分散である。

10

## 【 0 0 3 8 】

式 (5) と (6) は、図に示した線量分布と強度分布を算出するのに用いられる式の例である。

## 【 0 0 3 9 】

フィーチャ・エッジの位置を微調整するためには、「グレーレベル」技術が使用される。このような技術を図 1 ~ 6 に記載したような装置に実装する場合、投影レンズ・システムによって生成される SLM の個々の素子の像は「不鮮明」にされる必要がある。つまり、素子は明確には分解されない。この「不鮮明さ」は焦点をずらすこと、マイクロレンズ・アレイ又は拡散体を用いること、あるいはより一般的には投影レンズ・システム内のレンズの 1 つの開口数を調整して解像度を所望の値まで下げることを含む種々の方法で達成

20

できる。好ましい方法は焦点ずらしである。この技法は図 16 を参照することによって理解できる。

## 【 0 0 4 0 】

図 16 ~ 19 は露光中に基板の動きの方向に対して直交するパターン・エッジに関する「グレーレベル」シフトの例を示している。これらの例では、基板は露光中に定速で同じ方向に移動していると仮定される。図 16 ~ 19 は図 10 と非常に似ている。著しい差はピクセルの部分による結果の像の「後エッジ」の変位である。例えば、図 16 の結果の像 1600 の「後エッジ」を検証すれば、変位 1601 は行ピッチ 1008 の 0.5 倍であることがわかる。説明を簡単にするために、基板アレイ 1002 上のパターンは不鮮明効果又は光学干渉効果を示していない。

30

## 【 0 0 4 1 】

図 16 では、SLM アレイ 1000 のパターンの順序は時間 T1、T2、T3、T4、T6 における図 10 に示したパターンと同一である。しかし、時間 T5 では、位置 R3C2、R3C3、R3C4、R3C5 における SLM アレイ 1000 内の素子は図 16 では「オン」状態であり、図 10 では「オフ」状態である。また時間 T7 では、位置 R1C2、R1C3、R1C4、R1C5 における SLM アレイ 1000 内の素子は図 16 では「オン」状態であり、図 10 では「オフ」状態である。図 16 の基板セクション 1002 を参照すると、ピクセル R4C2、R4C3、R4C4、R4C5 は時間 T5 と T7 において露光されるが、時間 T1、T2、T3、T4、又は T6 では露光されない。パターンの他のすべての行は 4 つの時間間隔の間露光される。例えば、ピクセル R1C4 と R1C5 は時間 T1、T2、T3、T4 において露光され、ピクセル R2C2、R2C3、R2C4、R2C5 は時間 T2、T3、T4、T5 で露光された。結果の像 1600 からわかるように、行 R4 における 2 つの時間間隔のみの露光の効果は投影された行ピッチ 1008 の幅の約 0.5 倍のエッジ変位 1601 を生成することである。

40

## 【 0 0 4 2 】

図 17 の露光の順序は、結果の像 1700 に見られるように投影された行ピッチ 1008 の幅の約 0.5 倍のエッジの変位 1701 を発生する。この結果の像 1700 は図 16 の結果の像 1600 と同一である。しかし、2 つの結果の像は異なるセットの露光パターンと共に生成される。2 つの図の露光パターンは時間 T4、T5、T6、T7 において異なっている。これら 2 つの例は明らかに包括的ではない。同じ結果の像を提供する他の順

50

序の露光パターンを容易に想像できよう。

【 0 0 4 3 】

図 1 8 は「グレーレベル」のエッジのシフトのさらなる例を示しており、この例では後エッジの変位 1 8 0 1 は行ピッチ 1 0 0 8 の 0 . 2 5 倍である。図 1 0 及び 1 8 の時間 T 1、T 2、T 3、T 4、T 6、T 7 における S L M アレイ 1 0 0 0 上のパターンの順序は同一である。しかし、時間 T 5 では、位置 R 3 C 2、R 3 C 3、R 3 C 4、及び R 3 C 5 における S L M アレイ 1 0 0 0 内の素子は図 1 8 では「オン」状態、図 1 0 では「オフ」状態である。図 1 8 の基板セクション 1 0 0 2 を参照すると、ピクセル R 4 C 2、R 4 C 3、R 4 C 4、及び R 4 C 5 は時間 T 5 において露光されるが、時間 T 1、T 2、T 3、T 4、T 6、又は T 7 においては露光されない。パターンの他のすべての行は 4 つの時間間隔の間露光される。時間 T 5 の行 R 4 における 1 つの時間間隔の露光の効果は、結果の像 1 8 0 0 において見られるように、投影された行ピッチ 1 0 0 8 の幅の約 0 . 2 5 倍であるエッジの変位 1 8 0 1 を生成することである。

10

【 0 0 4 4 】

図 1 9 は「グレーレベル」のエッジのシフトのさらなる例を示しており、この例では後エッジ変位 1 9 0 1 は行ピッチ 1 0 0 8 の 0 . 7 5 倍である。図 1 9、1 0 に示した時間 T 1、T 2、T 3、T 4 における S L M アレイ 1 0 0 0 上のパターンの順序は同一である。しかし、時間 T 5 では、位置 R 3 C 2、R 3 C 3、R 3 C 4、R 3 C 5 における S L M アレイ 1 0 0 0 内の素子は図 1 9 では「オン」状態であり、図 1 0 では「オフ」状態である。時間 T 6 では、位置 R 2 C 2、R 2 C 3、R 2 C 4、R 2 C 5 における S L M アレイ 1 0 0 0 内の素子は図 1 9 では「オン」状態であり、図 1 0 では「オフ」状態である。また時間 T 7 では、位置 R 1 C 2、R 1 C 3、R 1 C 4、R 1 C 5 における S L M アレイ 1 0 0 0 内の素子は図 1 9 では「オン」状態であり、図 1 0 では「オフ」状態である。図 1 9 の基板セクション 1 0 0 2 を参照すると、ピクセル R 4 C 2、R 4 C 3、R 4 C 4、R 4 C 5 は時間 T 5、T 6、T 7 において露光されるが、時間 T 1、T 2、T 3、T 4 では露光されない。パターンの他のすべての行は 4 つの時間間隔の間露光される。結果の像 1 9 0 0 からわかるように、時間 T 5、T 6、T 7 の行 R 4 における 3 つの時間間隔の露光の効果は、投影された行ピッチ 1 0 0 8 の幅の約 0 . 7 5 倍のエッジ変位 1 9 0 1 を生成することである。

20

【 0 0 4 5 】

図 2 0 は露光中に基板の動きの方向に対して平行であるパターンエッジ上の「グレーレベル」のエッジのシフトの一例を示している。この例では、基板は露光中に定速で同じ方向に移動していると仮定される。図 2 0 は図 1 0 と非常に似ている。著しい差はピクセルの一断片による結果の像のエッジの変位である。例えば、図 2 0 の結果の像 2 0 0 0 のエッジを検証すれば、変位 2 0 0 1 は列ピッチ 2 0 0 3 の 0 . 2 5 倍であることがわかる。

30

【 0 0 4 6 】

図 2 0 では、S L M アレイ 1 0 0 0 上のパターンの順序は時間 T 1、T 2、T 4、T 5、T 6、T 7 における図 2 0、図 1 0 に示したパターンと同一である。しかし、時間 T 3 では、位置 R 2 C 6、R 3 C 6、R 4 C 6 における S L M アレイ 1 0 0 0 内の素子は図 2 0 では「オン」状態であり、図 1 0 では「オフ」状態である。図 2 0 の基板セクション 1 0 0 2 を参照すると、ピクセル R 1 C 6、R 2 C 6、R 3 C 6 は時間 T 3 において露光されるが、時間 T 1、T 2、T 4、T 5、T 6、T 7 では露光されない。基板アレイ 1 0 0 2 上の全ての他のピクセルは 4 つの時間期間中に露光される。結果の像 2 0 0 0 からわかるように、時間 T 3 の列 C 6 における 1 つの時間間隔の露光の効果は投影された列ピッチ 2 0 0 3 の幅の約 0 . 2 5 倍のエッジ変位 2 0 0 1 を生成することである。

40

【 0 0 4 7 】

エッジの変位に加え、角付近で 1 つ又は複数のピクセルの露光を用いれば、角の丸みの度合いに影響を及ぼすであろう。例えば、図 1 0 の結果の像 1 0 0 7 を参照すると、R 1 C 1 での露光あるいは R 1 C 2、R 2 C 1 両方の露光は位置 R 2 C 2 の角の丸みを変えるであろう。

50

## 【 0 0 4 8 】

図 1 6 ~ 2 0 の結果の像に示したエッジの変位は概算に過ぎない。実際の変位は露光パターンのエッジにおける瞬間的な光度分布の詳細な形状に左右される。より正確な決定は 7 つの時間間隔の各々半分に対するミラー部分の状態に適した光度分布を含む線量分布に対して僅かに変形した形式の式 ( 5 ) を用いることによって実行される。この変形された形式の式 ( 5 ) を用いて図 1 0、1 6、1 7、1 8、1 9 に示した露光パターンの例に対して、基板アレイ 1 0 0 2 ( 図 1 1 を参照 ) 上の線分 A B の位置に沿って結果として得られた線量分布が算出された。これらの計算では、瞬間的な光度分布形状は値 0 . 4 3 を有するガウス曲線であると仮定する。これらの結果として得られた線量分布を図 2 1 に示す。

10

## 【 0 0 4 9 】

図 2 1 では、結果として得られた線量プロファイル 2 1 0 1、2 1 0 2、2 1 0 3、2 1 0 4 は図 1 0、1 6、1 8、1 9 にそれぞれ相当する。結果として得られた線量プロファイル 2 1 0 2 はまた図 1 7 に相当する。5 0 % 位置マーカー 2 1 0 5、2 1 0 6、2 1 0 7、2 1 0 8 はそれぞれ線量プロファイル 2 1 0 1、2 1 0 2、2 1 0 3、2 1 0 4 に対するものである。また図 1 0、1 6、1 7、1 8、1 9 の結果の像を参照すると、結果の像では図 2 1 の横座標上の - 1 ~ 0 と 0 ~ 1 間の領域はそれぞれ R 4 と R 3 に相当する。結果として得られた線量プロファイル 2 1 0 1 の 5 0 % 位置マーカー 2 1 0 5 が図 1 0 に示した例について算出され、0 にて横座標と交差する。この結果は図 1 0 に示した結果の像 1 0 0 7 と一致している。結果として得られた線量プロファイル 2 1 0 2 の 5 0 % 位置マーカー 2 1 0 6 が図 1 6 に示した例について算出され、- 0 . 5 にて横座標と交差する。この結果はエッジ変位 1 6 0 1 の値と一致している。結果として得られた線量プロファイル 2 1 0 3 の 5 0 % 位置マーカー 2 1 0 7 が図 1 8 に示した例について算出され、- 0 . 2 0 にて横座標と交差する。この結果は 0 . 2 5 のエッジ変位 1 8 0 1 と若干異なっている。結果として得られた線量プロファイル 2 1 0 4 の 5 0 % 位置マーカー 2 1 0 8 が図 1 9 に示した例について算出され、- 0 . 8 0 にて横座標と交差する。この結果は 0 . 7 5 のエッジ変位 1 9 0 1 と若干異なっている。

20

## 【 0 0 5 0 】

上記の例は単純化したものであり、S L M の近接する素子からの干渉作用、光度分布の厳格に正確な形状、感光性基板の有限のコントラストを無視したものであることに留意されたい。一般に、特定のエッジの変位に対する正確な線量は実験的に決定される必要がある。しかし、一旦線量とエッジ変位との間の関係が決定されると、この技術を用いて基板の不整列と歪み、投影レンズ・システム内の歪みと収差、不均一な照射を補正することができる。この技術を用いて光学系の仕様を緩和し、これにより光学系のコストが低減される。

30

## 【 0 0 5 1 】

好適な S L M デバイスは 1 0 2 4 個のミラーの幅 x 7 6 8 個のミラーの深さのミラーの矩形アレイを有する Texas Instruments 社の二状態 D M D である。ステージがその蛇行経路 ( 図 8 を参照 ) に沿って方向を反転させなければならない回数を最小にするために、基板の露光中の走査方向は 1 0 2 4 の幅に直交することが好ましい。アレイは 7 6 8 行の深さであるため、露光パターンは 7 6 8 の別個の段階においてアレイを横切ってスクロールするであろうし、上記に概説した「グレーレベル」技術を用いてエッジの位置を調整する 7 6 8 回の機会が存在する。これにより結果として得られた像内の D M D の投影された行ピッチの寸法の 1 / 7 6 8 のエッジ変位の解像度が可能となる。実際は、1 / 3 2 より多くを必要とすることはほとんどない。したがって、等しく離間した 3 2 のエッジの位置を選択でき、基板の不均一な照射を補正するために余分な解像度を用いることができる。

40

## 【 0 0 5 2 】

基板上に印刷される最小のフィーチャ・サイズは光度プロファイルの特性に左右される。これを図 2 2 ~ 2 7 を参照して説明する。

50

## 【 0 0 5 3 】

図 2 2 は S L M 上のパターンのシフトの別の例と、それに対応する基板上の像を示している。上記の例のように、基板はステージ上にあり、露光中に定速で x 方向に移動する。次に図 1 を参照して、5 行 × 6 列のエリアを有する素子 2 2 0 0 のアレイである S L M 1 2 0 の部分、それに対応する 5 行 × 6 列のエリアを有するピクセル 2 2 0 2 のアレイである基板 1 4 0 の部分、投影された行ピッチ (ピクセルの幅) 1 0 0 8 を有する結果の像 2 2 0 7 を示す。それに対応する S L M と基板の部分の「スナップショット」が等しく離間した時間 T 1 ~ T 8 において示され、この時間間隔は式 ( 1 ) を満たす。この図は図 1 0 と類似している。

## 【 0 0 5 4 】

図 2 3 は列 C 2、C 3、C 4、C 5 の中心に位置する線分 C D、E F、G H、I J を有する基板アレイ 2 2 0 2 を示している。光度と結果として得られた線量プロファイルは線分で示した位置の基板アレイの表面上で決定される。線分の位置はそれらが図 2 2 に示した露光パターンの「後エッジ」と「先エッジ」の両方を横断するようになっていることに注意すること。

## 【 0 0 5 5 】

図 2 2 に詳細に示すように、図 2 4 は露光基板 2 2 0 2 の結果として得られた線量分布を示している。結果として得られた線量分布を導くために用いられる瞬間的光度分布に対して、0 . 4 3 の値を有するガウス曲線を仮定する。次に線分 C D、E F、G H、I J にそれぞれ沿った結果として得られた線量プロファイル 2 4 0 0、2 4 0 1、2 4 0 2、2 4 0 3、線量プロファイル 2 4 0 1、2 4 0 2、2 4 0 3 にそれぞれ対応する 5 0 % 位置マーカー 2 4 0 5、2 4 0 6、2 4 0 7、線量プロファイル 2 4 0 0 に対応する 5 0 % 位置マーカー 2 4 0 4、2 4 0 8、投影された行ピッチ 1 2 1 5 を図 2 4 に示す。線分 C D は横座標上の - 2 ~ 6 まで延びているのが示されていることに注意すること。線分 E F、G H、I J は横座標上の同じ値を超えて延びているが、図が混乱しないように示していない。図 2 4 の横座標上の - 1 ~ 0、0 ~ 1、1 ~ 2、2 ~ 3、3 ~ 4 の領域は図 2 2 の結果の像 2 2 0 7 上の R 5、R 4、R 3、R 2、R 1 にそれぞれ対応する。印刷されたフィーチャのエッジが、好ましい 5 0 % 位置マーカーに存在するように総線量が調整される場合、最終的に現像されたパターンは図 2 2 の結果の像 2 2 0 7 と類似するであろう。図 2 4 の結果として得られた線量プロファイル 2 4 0 0 は線量プロファイル 2 4 0 2、2 4 0 3 の約 7 0 % を決して超えず、また 5 0 % 位置マーカー 2 4 0 4、2 4 0 8 との間の距離は投影された行ピッチ 1 0 0 8 よりも僅かに小さいことに注意すべきである。このような条件下では、最小のフィーチャ・サイズは投影された行ピッチ 1 0 0 8 とほぼ同じである。先に記載した「グレーレベル」技術を用いてそのような形状の幅を調整できる。例えば、図 2 2 の基板アレイ 2 2 0 2 内のピクセル R 4 C 2 の総線量を低減させれば、結果として得られた線量プロファイル 2 4 0 0 高さは低くなり、印刷されたフィーチャのサイズが縮小される。しかし、このフィーチャ・サイズは線量プロファイル 2 4 0 0 の頂点付近の線量の少しの変化とともに急速に変化する。また、この方法に事実上の制限を与える総線量には、多少のノイズと不確実性が常に存在する。

## 【 0 0 5 6 】

図 2 5 は S L M 上のパターンのシフトとそれに対応する基板上の像のさらなる例を示している。先の例に示したように、基板はステージ上にあり、露光中に定速で x 方向に移動する。図 2 5 では、種々のサイズのフィーチャの「グレーレベル」のエッジのシフトの例が示されており、シフトさせられたエッジは露光中の基板の動きの方向に対して直交している。次に図 1 も参照して、4 行 × 6 列のエリアを有する素子 1 0 0 0 のアレイである S L M 1 2 0 の部分、それに対応する 4 行 × 6 列のエリアを有するピクセル 1 0 0 2 のアレイである基板 1 4 0 の部分、投影された行ピッチ (ピクセルの幅) 1 0 0 8 を有する結果の像 2 5 0 7 を示す。それに対応する S L M と基板の部分の「スナップショット」が等しく離間した時間 T 1 ~ T 7 で示され、この時間間隔は式 ( 1 ) を満たす。この図は図 1 0 と類似している。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 7 】

図 2 6 は列 C 2、C 3、C 4、C 5、C 6 の中心に位置する線分 K L、M N、O P、Q R、S T を有する基板アレイ 1 0 0 2 を示している。光度と結果として得られた線量プロファイルは線分で示した位置の基板アレイの表面上で決定される。線分の位置はそれらが図 2 5 に示した露光パターンの「後エッジ」及び「先エッジ」の両方を横断するようになっていることに注意すること。

## 【 0 0 5 8 】

図 2 5 に詳細に示すように、図 2 7 は露光基板 1 0 0 2 の結果として得られた線量分布を示している。結果として得られた線量分布を導くために用いられる瞬間的光度分布に対して 0 . 4 3 の値を有するガウス曲線を仮定する。次に線分 K L、M N、O P、Q R、及び S T にそれぞれ沿った結果として得られた線量プロファイル 2 7 0 0、2 7 0 1、2 7 0 2、2 7 0 3、2 7 0 4、線量プロファイル 2 7 0 4 に対応する 5 0 % 位置マーカー 2 7 1 0、2 7 1 6、線量プロファイル 2 7 0 3 に対応する 5 0 % 位置マーカー 2 7 1 0、2 7 1 3、線量プロファイル 2 7 0 2 に対応する 5 0 % 位置マーカー 2 7 1 1、2 7 1 4、ともに線量プロファイル 2 7 0 1 に対応する 5 0 % 位置マーカー 2 7 1 2、2 7 1 5、投影された行ピッチ 1 2 1 5 を図 2 7 に示す。線分 K L は横座標上の - 2 ~ 5 まで延びているのが示されていることに注意すること。線分 M N、O P、Q R、S T は横座標上の同じ値を超えて延びているが、図が混乱しないように示していない。図 2 7 の横座標上の - 1 ~ 0、0 ~ 1、1 ~ 2、2 ~ 3 の領域は図 2 5 の結果の像 2 5 0 7 上の R 4、R 3、R 2、R 1 にそれぞれ対応する。総線量が印刷されたフィーチャのエッジが、好ましい 5 0 % 位置マーカーに存在するように調整される場合、最終的に現像されたパターンは図 2 5 の結果の像 2 5 0 7 と類似する。図 2 7 の結果として得られた線量プロファイル 2 7 0 0 は線量プロファイル 2 7 0 4 の約 4 5 % を決して超えず、故に印刷されないことに注意すべきである。図 2 5 の時間 T 2、T 3、T 4、T 5 における基板セクション 1 0 0 2 の列 C 2 を検証すればわかるように、結果として得られた線量プロファイル 2 7 0 0 は単一の近接するピクセルを交互に入れ替えることによる露光に起因するものである。これは単一のピクセルの露光が印刷される線量プロファイルを生成した図 2 2 の例とは対照的である。図 2 5、2 7 を参照すると、例えば、結果として得られた線量プロファイル 2 7 0 2 の 5 0 % 位置マーカー 2 7 1 1、2 7 1 4 との間の距離を検証すればわかるように、列 C 3、C 4、C 5 に印刷されたフィーチャはすべて幅に関し、投影された行ピッチ 1 0 0 8 の約 1 . 5 倍である。フィーチャが投影された S L M 素子の格子に関してある任意の位置にある場合、(実質的に) 最小のフィーチャ・サイズは投影された行ピッチの約 1 . 5 倍である。これは投影された S L M 素子の格子上に位置する形状に関して観察された投影された行ピッチの約 1 . 0 倍である最小のフィーチャ・サイズと対照的である。図 2 2 及び 2 4 を参照すること。

## 【 0 0 5 9 】

図 2 8 を参照すると、本発明の光リソグラフィ・システムのブロック図が示されている。設計データ格納デバイス 2 8 0 4 に存在する設計データは、システムが印刷すべきものを記載しており、デコンプレッション(decompression)電子機器 2 8 0 7 に適した形式に変換するためにデータ・プレコンピュータ 2 8 0 5 に入力される。データ・プレコンピュータ 2 8 0 5 はデータを修正して予め測定された基板の歪みを補正してもよい。基板アレイメント・システム 2 8 0 3 を用いて、基板の歪みが測定される。設計データは典型的には C A D (コンピュータ支援設計) 形式か、又は G D S I I などのマスク標準形式である。設計データ格納デバイスは 1 つ又は複数のテープ、又はディスク・ドライブであってよい。データ・プレコンピュータは I B M 社の P C などの任意の汎用コンピュータでよい。データ・プレコンピュータによる計算の終了後、データは 1 つ又は複数の高速ディスク・ドライブ 2 8 0 6 に格納される。このデータの好適な形式は図 1 9 の結果の像を参照することにより理解できるであろう。基板 1 4 0 の全領域は S L M アレイ 1 2 0 の拡大されたピッチと等しいピッチの小さな正方形に分割され、基板アレイ 1 0 0 2 は小型の例である。基板を覆うアレイ内の各ピクセルには、フィーチャ・パターンとルックアップ・テーブル

10

20

30

40

50

ルの値に基づいた線量値が割り当てられる。ルックアップ・テーブルの値は実験的に決定され、投影レンズ・システム 130 の歪みと収差、ならびに光源 110 からの照射の不均一性を考慮する。一例として、線量値は 32 のグレーレベルと仮定して、結果の像 1900 のフィーチャ・パターンに基づいて導かれる。この場合 31 は 100% の露光に相当する。

ピクセル R1C4、R1C5、R2C2、R2C3、R2C4、R2C5、R3C2、R3C3、R3C4、R3C5 は 31 の線量値を有する。

ピクセル R1C1、R1C2、R1C3、R1C6、R2C1、R2C6、R3C1、R3C6、R4C1、R4C6 は 0 の線量値を有する。

ピクセル R4C2、R4C3、R4C4、R4C5 は意図するエッジの位置 1901 に基づいて、0 ~ 31 の中間の線量値を有する。

便宜上、24 の値を上記に割り当てる。次に、ルックアップ・テーブルを用いて線量値を修正してシステムの歪み、収差、照射の不均一性が説明される。好適な SLM である Texas Instruments 社の DMD デバイスは 102 マイクロ秒毎にミラー状態をスイッチングすることができ、かつ 1024 行、768 列を有するので、このことは高速ディスク・ドライブ 2806 が 102 マイクロ秒毎に 1024 ピクセルのうちの 1 行を送る必要があることを意味している。32 のグレーレベルを用いると、これは約 6.3 メガバイト/秒のデータ転送速度である。このデータ転送速度はディスク・ドライブ・アレイの現行の能力の範囲に容易に入る。

#### 【0060】

再び図 28 を参照すると、ステージ 150 と投影レンズ・システム 130 に対する基板 140 の位置合わせは、基板アライメント光 2892 を基板 140 上のフィーチャから基板アライメント・システム 2803 にむけて反射させることによって決定される。基板アライメント・システムは、マッチさせるために基板上の任意のフィーチャをセクション又は十字あるいは円などの予め格納されている像又は理想的な像と比較する「マシン・ビジョン」システムであることが好ましい。基板アライメント・システム光は光源 110 から SLM 120 と投影レンズ・システム 130 を介して来るか、又は外部の源から来る。基板上のフィーチャから反射された後、光は図示のように直接基板アライメント・システムまで移動するか、あるいは最初に投影レンズ・システムを通過する（「スルー・ザ・レンズ」アライメント）。基板上のフィーチャから反射した光は、投影レンズ・システムを通過し、SLM で反射され、次に基板アライメント・システムに入るようにしてもよい。ステージ測定システム 2802 は、ステージ位置光センサ 2891 からレーザ干渉計又はリニア・スケールに基づくステージ位置情報を受け取り、制御コンピュータ 2801 に情報を送る。続いて、制御コンピュータは、次に正しい位置にサーボ制御するステージ x、y モータに信号を送る。エッジの不鮮明さが、好適な技術である焦点をずらすことによって達成される場合、制御コンピュータは適したギャップ値が達成されるまで z 方向にサーボ制御するようにステージに命令する。ギャップ値は好適には空気である基板高さ検出媒体 490 を用いて基板高さ検出器 450 によって測定される。光学型又は容量型などの他のタイプの検出技術も機能する。ギャップ値（焦点ずれ）は所望量のフィーチャ・エッジの不鮮明さを基板上に投影された像内に生成するように選択される。このギャップ値を維持するための不断のサーボ制御が局所的な基板高さの変動を補正するのに必要である。z 方向にステージを移動させる代わりに、投影レンズ・システム 130 又は SLM 120 を代わりに z 方向に移動させることも容認できる。次に、制御コンピュータは第 1 の行のデータをデコンプレッション電子機器 2807 に送るように高速ディスク・ドライブ 2806 に命令し、第 1 のフレームのミラー状態データを SLM メモリ 2808 にロードする。

#### 【0061】

デコンプレッション電子機器 2807 の機能を理解するには、まず SLM 120 の要件を理解することが必要である。SLM 内の全ミラーの状態を同時にスイッチングする。全ミラーの状態は SLM メモリ 2808 に格納された値によって個々に決定される。したがって、デコンプレッション電子機器の要件は、それがミラーのクロック周期毎に SLM メ

10

20

30

40

50

メモリ全体に新しいミラー状態をロードしなければならないということである。Texas Instruments社のDMDデバイスに関しては、これは102マイクロ秒毎である。デコンプレッション電子機器は、各像のピクセルの線量値を、移動している基板に対してシフトする一連のミラーの状態に変換しなければならない。図19に基づいた単純化された例はこれがどのように達成できるかを示すことができる。結果の像1900内の任意のピクセルに対して、ミラー・セクション1000を横切って各行をシフトさせるのに用いられる4つのミラーのクロック周期に起因して5つの線量レベルが可能である。例えば、図19を検証することによりわかるように、基板セクション1002内のピクセルR4C2は時間T4、T5、T6、T7において露光される。実際の露光はこのピクセルに関して時間T5、T6、T7においてのみであった。可能性のある5つの露光順序のうちの一つは、4つの露光時間におけるミラー状態に対応する0と1の文字列によって表される。例えば、R4C2については、文字列は0111となろう。5つの露光順序の適したセットは、

0000 0001 0011 0111 1111

であろう。0001ではなく1000などの、同じ線量を提供する他の可能性のある順序が存在する。この自由度を用いて光源110からの照射の不均一性を補正できる。その露光順序に対応する線量レベルは、0、1、2、3、4になると定義される。時間 $(T4 + T3) / 2$ におけるミラーのスイッチングに先立ち、SLMアレイ1000の行4(R4)内のピクセルのすべてに対する線量レベルは高速ディスク・ドライブ2806からデコンプレッション電子機器2807に送られる。可能性のある各線量レベルに相当する順序がデコンプレッション電子機器のルックアップ・テーブルに格納される。一例として再びピクセルR4C2を用いると、その線量レベルは順序0111に相当する3になるであろう。T3において示した状態で始まって、SLMメモリ2808は基板アレイ1000の第4の行と第2の列R4C2のミラーに対してロードされた0状態を有するであろう。ミラーがT4において示した状態にスイッチングされた後、デコンプレッション電子機器はSLMメモリに、基板アレイ1000の第3の行と第2の列R3C2の露光順序(1)の第2の桁を与える。ミラーは $(T5 + T4) / 2$ において状態をスイッチングする。ミラーがT5において示した状態にスイッチングした後、デコンプレッション電子機器はSLMメモリに、基板アレイ1000の第2の行と第2の列R2C2の露光順序(1)の第3の桁を与える。ミラーは $(T6 + T5) / 2$ において状態をスイッチングする。ミラーがT6において示した状態にスイッチングした後、デコンプレッション電子機器はSLMメモリに、基板アレイ1000の第1の行と第2の列R1C2の露光順序(1)の第4の桁を与える。ミラーは $(T7 + T6) / 2$ において状態をスイッチングする。この動作原理は一層大きいTexas Instruments社のDMDアレイに対しても同じである。デコンプレッション電子機器はSLMのミラーとルックアップ・テーブルの各々に対する線量レベル・コードを保持するの十分大きいメモリを含んでいなければならない。デコンプレッション電子機器はそのブックキーピング処理を扱うための論理コンポーネントも含む。102マイクロ秒のミラー・クロック周期の間にすべてのミラーの値を決定し、かつSLMメモリにロードする必要があるため、多数のミラー値を同時に算出する必要がある。例えば、1つのミラーに対する次の状態を算出するには100ナノ秒を要する場合、約800枚のミラーに対する計算が同時に実行されねばならないことは明らかである。

【0062】

制御コンピュータ2801はステージ150に開始位置まで移動し、正確な定速まで加速するように命令する。制御コンピュータ2801はまた光源110に感光性基板140の要件とマッチするように正確な強度の光を照射するように命令する。これは通常可変光減衰器を用いて実行される。ステージ測定システム2802からのデータは、基板が正しい位置にあるときに、制御コンピュータに露光を開始するように命令する。再び図19を参照すると、Tが式(1)を満たしているT1 - T/2において基板アレイ1002の底部は基板位置1/2にある。この時間では、制御コンピュータは全部のミラーをSLMメモリ2808に格納されている新しい値に対応する状態にスイッチングするように空間光

10

20

30

40

50

変調器に命令する。同時に、制御コンピュータ 2801 は次の行のデータをデコンプレッション電子機器 2807 に送るように高速ディスク・ドライブ 2806 に命令し、デコンプレッション電子機器はミラーの状態データの第 2 のフレームを SLM メモリにロードする。この工程は基板のエッジに達するまで繰り返され、この時点で制御コンピュータはターンアラウンドを実行するようにステージに命令する。次に、図 8 に示すようにシステムは蛇行経路の次の区間を露光できる状態になる。これは基板のパターニングエリア全体が露光されるまで繰り返される。

【0063】

図 28 を参照して上記に説明した動作の方法は、複数の SLM エリア・アレイを備えた本発明の光リソグラフィ・システムを操作するのにも容易に拡大され得る。

10

【0064】

光リソグラフィ・ツールのいくつかの実施形態は、複数の行として配置された複数のエリア・アレイを有する SLM を備える。この場合、以下のすべてが適用される。(1) エリア・アレイの行は基板上の SLM アレイの投影像の動きの方向に対して垂直である。(2) エリア・アレイはアレイ内の素子の行も基板上の SLM アレイの投影像の動きの方向に対して垂直であるように、個々に位置合わせされる。(3) エリア・アレイの位置はある行と次の行で交互にずらされる。そのような配置の一例を図 29 に示す。図 29 では、エリア・アレイ 2910 は 3 行で配置されており、この行は基板上の SLM アレイの投影像の動き 2950 の方向に対して垂直である(方向 2950 はパターン・データがエリア・アレイの素子にわたってスクロールされる方向でもある)。図 29 に示した SLM エリア・アレイの配置によって、図 9 に示したような蛇行経路をたどる必要なく基板を露光することが可能となる(図 9 の経路はアレイ間にギャップが存在するであろう SLM エリア・アレイの単一の行に対して適している)。交互にずらした配置によって、1 行間のアレイ間のギャップを他の行のアレイによって被覆することが可能となる。図 29 に示す例はギャップの無い被覆を示しており、3 つの行には重なりが存在しない。しかし、いくつかの実施形態は被覆に重なりがあってもよい。さらに、典型的には円形の構成要素から構成されるであろう、ほぼ円形のエリア内の SLM エリア・アレイの配置(図 29 に円 2960 で示す)は結像光学系を有効に利用する。例えば、図 29 の 7 つの SLM アレイの像は単一のセットの円形レンズを備えた投影レンズ・システムによって、すべて同時に基板上に投影される。

20

30

【0065】

図 30 はミラー 485、光スイッチング機構 121、第 2 の SLM ビーム・ダンプ 481 をさらに備えた図 4 の光リソグラフィ・ツールを示している。この例では、光スイッチング機構 121 は第 2 の SLM である。(構成要素 410 ~ 417 を備える)光源から SLM 120 を経由した基板 140 までの光路を光線 170 で示している。光スイッチング機構 121 は光路上に SLM 120 に連携するように位置決めされている。この例では、ミラー 485 も、SLM 121 を、図示した位置に置くように光路上に設けられている。光源と SLM 120 との間の光路上の光スイッチング機構を収容するであろう他の多くの光学的構成が可能であることは明白である。SLM 121 は 2 状態を有するミラーを備えたミラー・アレイである。2 状態とは光が SLM 120 に向かって反射される「オン」状態と、ミラーが第 2 の SLM ビーム・ダンプ 481 に向かって光を反射する「オフ」状態である。この例では、すべてのミラーが一体となってスイッチングされる。図 30 のツールの大半の構成要素の説明は図 4 に関連する文章に記載されている。このツールの動作のさらなる説明を図 31 を参照して記載する。

40

【0066】

図 31 では、SLM 120、121 のスイッチングのタイミングを波形 3120、3121 によってそれぞれ示している。SLM 120 が「オン」状態にあるとき、SLM のすべての素子は個々に「オン」又は「オフ」になってよい。すなわち、露光パターンが SLM にロードされる。SLM 120 が「オフ」状態にあるとき、SLM のすべての素子は「オフ」である。同じことは SLM 121 に当てはまるが、但し、SLM 121 が「オン」

50

状態にあるときはSLMのすべての素子は「オン」である。SLM120とSLM121はスイッチングの間が同じ時間間隔 $T$ 、つまり同じスイッチング周波数を有する。しかし、それらは $T(1 - 1/n)$ のタイム・シフトだけ位相からシフトされている。両SLMのすべての素子は時間間隔毎に「オフ」にされる。両方のSLMが「オン」状態にある場合に限り、光は基板に達することができ、これは時間間隔毎にタイム・スパン $T/n$ の間である。このタイム・スパンの間に投影像は1つの投影された(基板表面上の1つのピクセル長と同じである)ミラー・ピッチ $p_M$ の距離を基板の表面を横断しなければならない。この結果ステージ速度 $v$ が得られる。これは次式により与えられる。

$$v = n p_M / T \quad (7)$$

上式中 $n$ は定数を表す。基板の露光間の時間は $2T$ であり、この時間の中にSLM120上のパターンは $2n$ 行だけシフトしているであろう。原理上、 $n$ は1より大きい任意の値を有する。しかし、 $n$ の実際の選択は典型的には2~9の整数となろう。

#### 【0067】

図32はSLM上のパターンのシフトとそれに対応する基板の像を示している。この例では、基板はステージ上にあり、露光中に定速で $x$ 方向に移動する。図30も参照すると、次に12行×6列のエリアを有する素子3200のアレイであるSLM120の部分、それに対応する4行×6列のエリアを有するピクセル3202のアレイである基板140の部分、投影された行ピッチ(ピクセルの幅)1008を有する結果の像3207を示す。結果の像は、露光の全シリーズが終了したことによる基板の可能性がある1つの潜像を示している。SLM及び基板のそれに対応する部分の「スナップショット」を等間隔の時間 $T_1 \sim T_7$ で示しており、ここでこの時間間隔は $T$ である(参考のために、タイミング図である図31には時間 $T_1 \sim T_5$ も付している)。SLMと基板のこの部分をそれぞれ $M$ と $S$ で図32に示している。SLMアレイ3200、基板アレイ3202、結果の像3207が、それらの真上の位置から見た状態と静止座標系160の $-z$ 方向に見下ろした状態で描写されている。説明を簡単にするために、各「スナップショット」ではSLMと基板のアレイを相互に隣接して示している。結果の像内の投影された行ピッチ1008は、SLMアレイ3200内の行ピッチを投影レンズ・システム430の倍率で掛けたものである。しかし、説明を簡単にするために各「スナップショット」では、同じサイズと配向を有するSLM及び基板のアレイを示している。アレイ3200、3202上に示した格子、及び像3207は単に参照のためのものである。3200内の黒塗りされていない正方形は「オン」状態のSLM素子に相当し、黒塗りの正方形は「オフ」状態の素子に相当する。3202内の黒塗りされていないエリアと黒塗りされたエリアは、その「スナップショット」に対するSLM素子の状態に相当する。図32に示した例では $n = 2$ である。露光は $2T$ 毎に行われ、SLMアレイ上のパターンはこの時間間隔の間に4行だけ移動しているのがわかる。結果の像は図10に示したものと同一であるが、図32の基板は露光中に2倍の速さで移動している。

#### 【0068】

図30~図32を参照して上で説明したアプローチは、基板の生産量を如何に増大させるかの一例であり、SLMのスイッチング時間を低減させる必要はない。基板の生産量は一層増大されるので、このことはSLMに対する最小のスイッチング時間が既に使用されている場合に重要である。生産量のこの増大のコストは、(露光間に $2n$ 行の移動を収容するための)光スイッチング機構及びより多くの行を有するSLMを含むより複雑なリソグラフィ・ツールである。

#### 【0069】

先に述べたように、図30のツールを用いてグレーレベル技術が実施され得ることは明白である。図1~6のツールに関して先に述べたように、図30のツールは多くの様式で変形かつ操作され得る。例えば、図2, 3に示したような種々の像移動機構が図30のツールに組み込まれてよい。

#### 【0070】

図30の光スイッチング機構121は種々の位置、すなわち光路上のSLM120の前

10

20

30

40

50

とSLM120を越えた位置の両方で有効であり得ることは明白であり、適切な光学的調整が提供される。光スイッチング機構は光源に組み込まれてよく、光源（例えば、パルス・レーザ）の本質的特性であってもよい。光スイッチング機構は、SLM、シャッター、回転ミラー、あるいは光路に沿って光の通過を制御することのできる他の任意の光学部品である。当業者であれば、これらの光スイッチング機構が組み込まれ、かつ本発明の光リソグラフィ・ツールの多くの実施形態で使用できる多数の形態があることに気付くであろう。例えば、図30に示したSLM121とSLM120との間にいくつかのレンズを加えれば、1対1の対応でSLM120のピクセル上にSLM121のピクセルの像の焦点を合わせることが可能となる。これによりSLM121を用いて、アレイ素子の種々のブロックに対して個別に光の通過を制御し、さらに個々の素子に基づいて光の通過を制御することにも可能となろう。

10

## 【0071】

ここで、光スイッチング機構がSLM120よりも速くスイッチングされる場合を考える。図33には、SLM120と光スイッチング機構のスイッチングのタイミングを波形3320、3321でそれぞれ示している。SLM120が「オン」状態にある場合、SLMのすべての素子は個々に「オン」又は「オフ」になっている。つまり、露光パターンはSLM上にロードされる。SLM120が「オフ」状態にある場合、SLMのすべての素子は「オフ」である。SLM上のパターンは時間間隔T毎にスイッチングされる。光スイッチング機構は単純な2状態「オン」/「オフ」スイッチとして構成される。SLMと光スイッチング機構の両方が「オン」状態の場合に限り、光は基板に達する。光スイッチング機構は光が基板に達する限定的なタイム・スパン $T/n$ を提供する。このタイム・スパンの間に、投影像は1つの投影された（基板表面上の1つのピクセル長と同じである）ミラー・ピッチ $pM$ の距離を基板の表面を横断しなければならない。この結果、式(7)により与えられるステージ速度 $v$ が得られる。基板の露光間の時間はTであり、この時間の間にSLM120上のパターンは $n$ 行だけ移動しているであろう。原理上、 $n$ は1より大きい任意の値を有する。しかし、 $n$ の実際の選択は典型的には2~19の整数となろう。この場合タイム・スパンは前記スイッチング時間間隔の約数である。

20

## 【0072】

図34は2つのSLMエリア・アレイ3420、3421からの投影像を基板の表面上に重ね合わせることができるよう構成された光学系を備えた光リソグラフィ・ツールを示している。必要な場合、重なり合った像が整合、すなわちピクセル対ピクセルに正確にスーパーインポーズされる。光源110とプリズム3410~3413は2つのSLMエリア・アレイ3420、3421に照明を提供する。SLMエリア・アレイから反射された光はプリズム3410~3413によって結合され、次に結像光学系3430によって基板140の感光性表面上に投影される。基板140は、座標軸160の $x-y$ 平面に移動させるステージ150によって保持されている。図34の光学的構成はさらなるSLMエリア・アレイを含むように変形されてよい。SLMの投影像を基板の表面上に重ね合わせることができるようにする光学的構成の一例は、参照により本願明細書に組み入れた、Gibbonらに付与された米国特許第6,582,080号に記載されている。当業者であれば図34に示したツールが図1~6に示した装置に従って変形され、これにより本発明のさらに多くの実施形態が提供されてよいことが理解されよう。図34の装置は図30と同様の形態で動作する。このツールの動作のさらなる説明を図35を参照して記載する。

30

40

## 【0073】

図35では、エリア・アレイ3420、3421のスイッチングのタイミングを波形3520、3521によってそれぞれ示している。アレイ3420が「オン」状態にあるとき、アレイのすべての素子は個々に「オン」又は「オフ」になる。すなわち、露光パターンがSLMにロードされる。アレイ3420が「オフ」状態にあるとき、アレイのすべての素子は「オフ」である。同じことはアレイ3421に当てはまる。アレイ3420とアレイ3421はスイッチングの間が同じ時間間隔T、つまり同じスイッチング周波数を有する。しかし、それらは $T(1-1/n)$ のタイム・シフトだけ位相からずれている。両

50

アレイのすべての素子は時間間隔毎にスイッチングされる。両エリア・アレイは「オン」状態にあり、時間間隔毎にタイム・スパン  $T/n$  の間に 2 倍の線量の光が基板に到達する。このタイム・スパンの間に投影像は、1 つの投影された（基板表面上の 1 つのピクセル長と同じである）ミラー・ピッチ  $pM$  の距離だけ基板の表面を横断しなければならない。この結果式（7）により与えられるステージ速度  $v$  が得られる。基板の 2 倍の線量の露光間の時間は  $2T$  であり、この時間の中に SLM 120 上のパターンは  $2n$  行だけ移動しているであろう。基板感光性表面の線量と現像条件の調整は、十分な 2 倍の線量による露光を受けたピクセルのみが現像パターンを確実に形成する。

【0074】

先に述べたように、図 34 のツールを用いてグレーレベル技術を実装できることは明白である。図 1 ~ 6 と 30 のツールに関して先に述べたように、図 34 のツールは多くの様式で変形かつ動作させられる。例えば、図 2, 3 に示したような種々の像移動機構が図 34 のツールに組み込まれてもよい。

10

【0075】

図 34 の光リソグラフィ・ツールのための別のモードの動作は、エリア・アレイ 3420、3421 を同期して動作させることである。この場合、基板の速度は式（1）によって制限されるであろう。単一のエリア・アレイが単位時間当たり十分に大きな線量を送ることができない場合、このモードの動作は有用である。

【0076】

図 8、9 を参照すると、SLM エリア・アレイは基板上の投影像内のピクセルの列が像自身の移動の方向に対して平行になるように配向されている。これにより移動の方向に対して直交するピクセルのエッジの不鮮明さが得られる。しかし、移動の方向に対して平行なエッジはこの移動によって不鮮明にならない。グレーレベル技術を実装するためには、移動の方向に対して平行なエッジも不鮮明にしなければならない。平行なエッジを不鮮明にすることは先に記載したような多くの形態で達成することができ、そのすべての形態は SLM の不鮮明像を基板表面上に投影することを伴う。上に開示した光リソグラフィ・ツールの実施形態のすべてと共に使用される不鮮明にされたエッジを達成するための別のアプローチがある。SLM エリア・アレイは基板上の投影像内のピクセルの列が像自身の移動の方向に対して平行にならないように配向されている。例えば、投影像内の列は移動の方向に対して  $45^\circ$  の角度であってよく、この場合、単に移動によるだけで正方形のピクセルのすべてのエッジは等しく不鮮明にされるであろう。

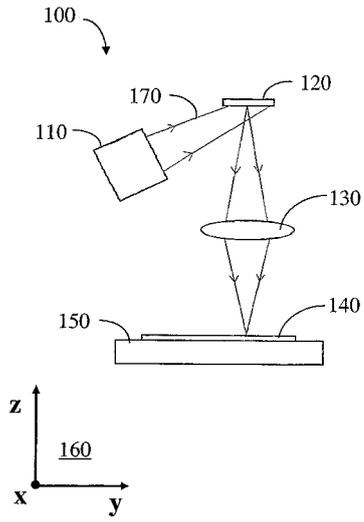
20

30

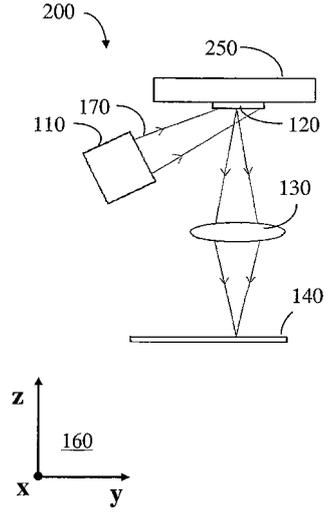
【0077】

特定の実施形態を参照して本発明を説明してきたが、この説明は単に説明のためのものであり、主張される本発明の範囲を制限するものとして解釈されるべきではない。

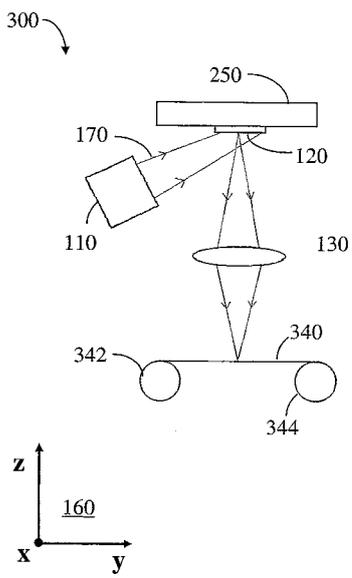
【 図 1 】



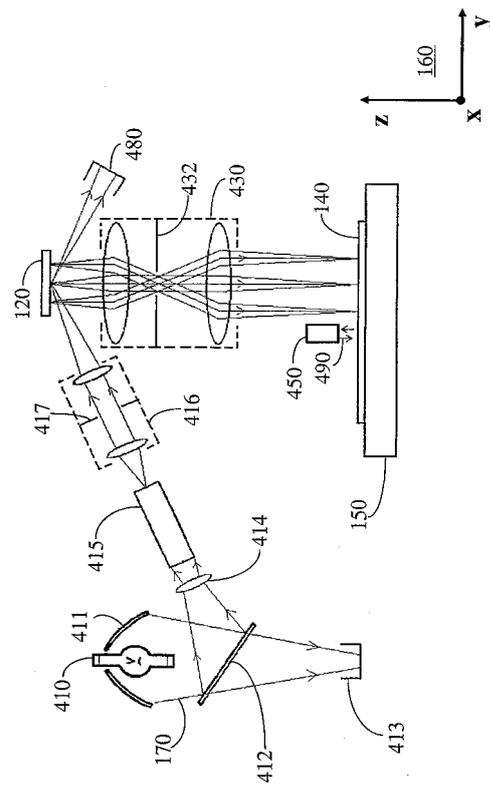
【 図 2 】



【 図 3 】

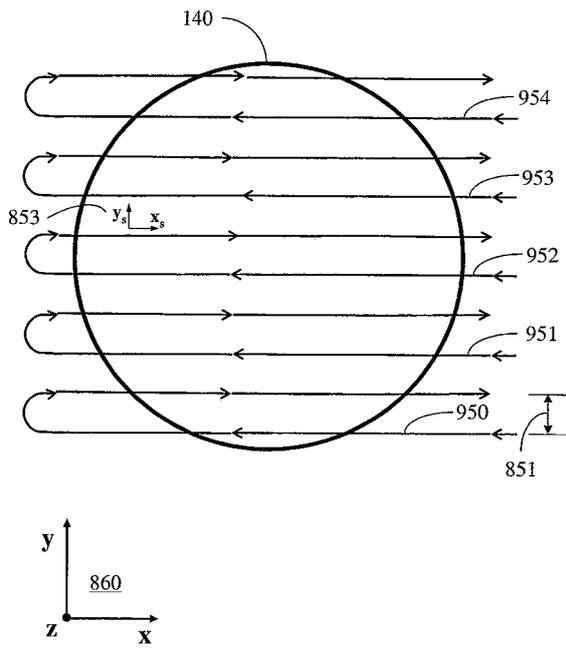


【 図 4 】

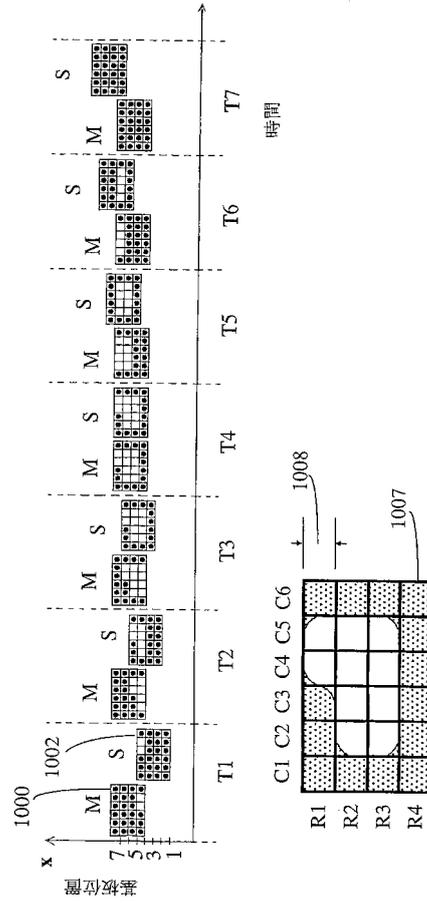




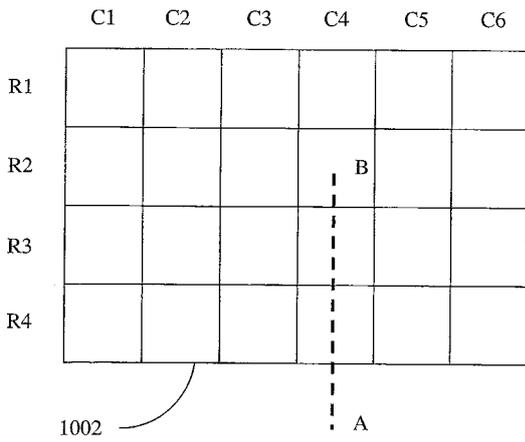
【 図 9 】



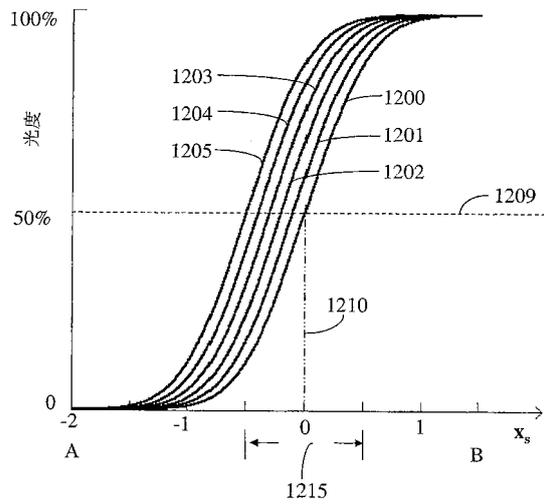
【 図 10 】



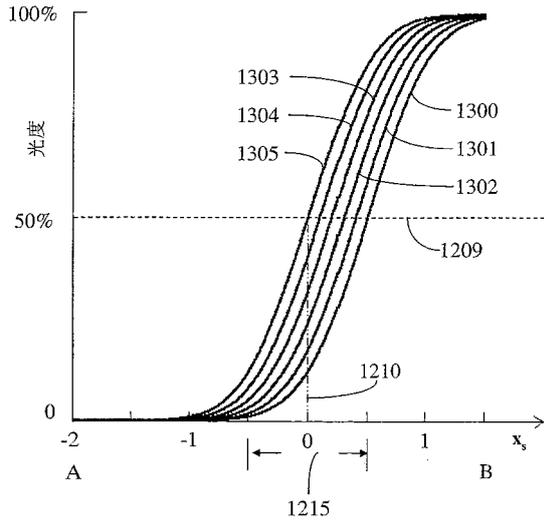
【 図 11 】



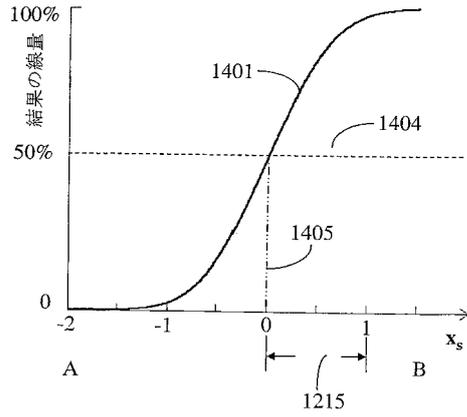
【 図 12 】



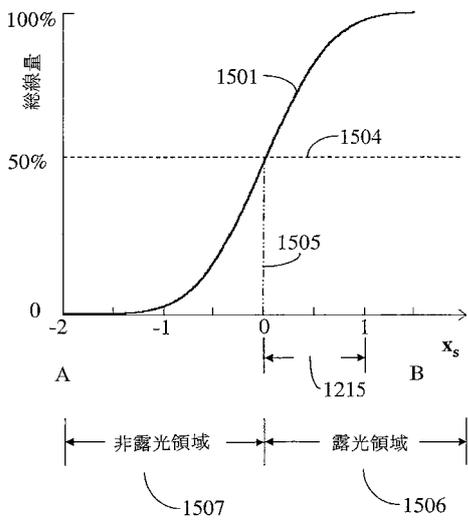
【図13】



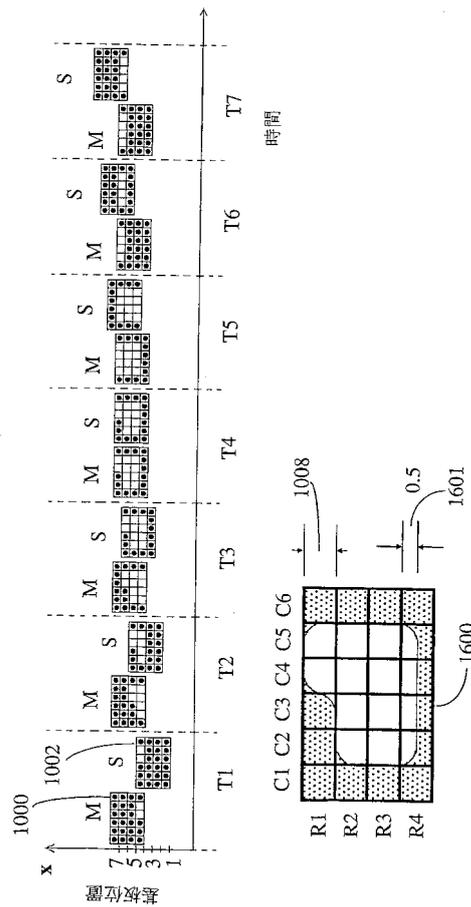
【図14】



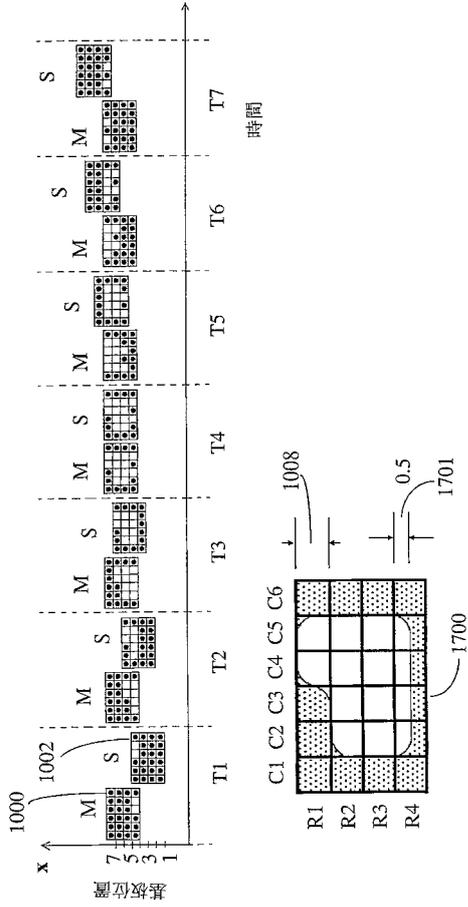
【図15】



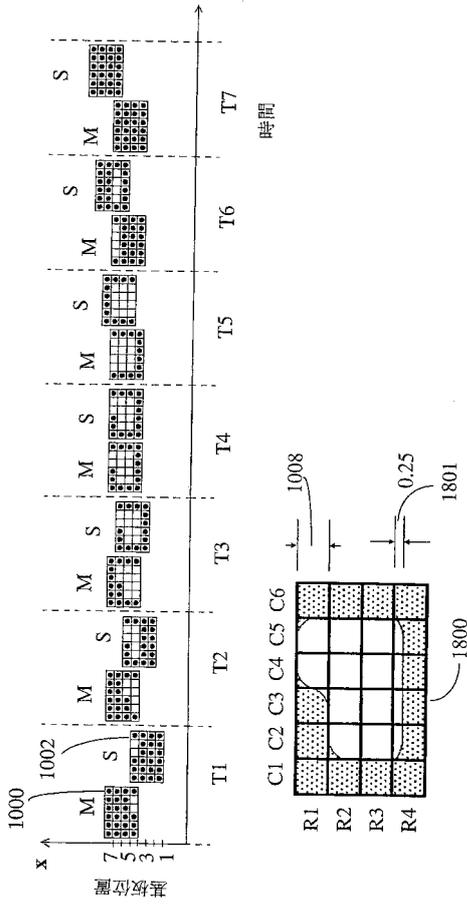
【図16】



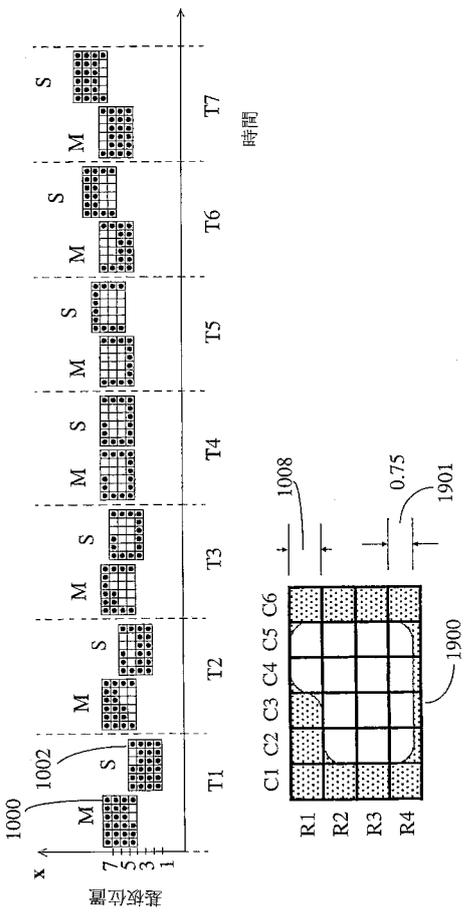
【図17】



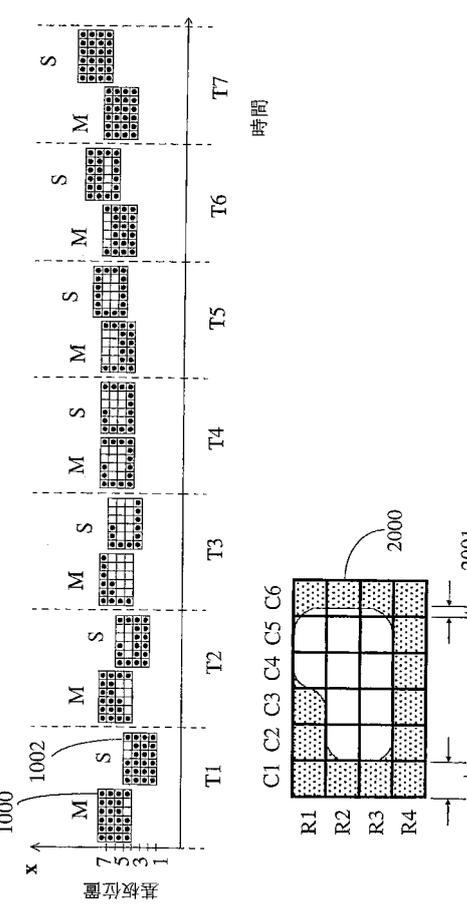
【図18】



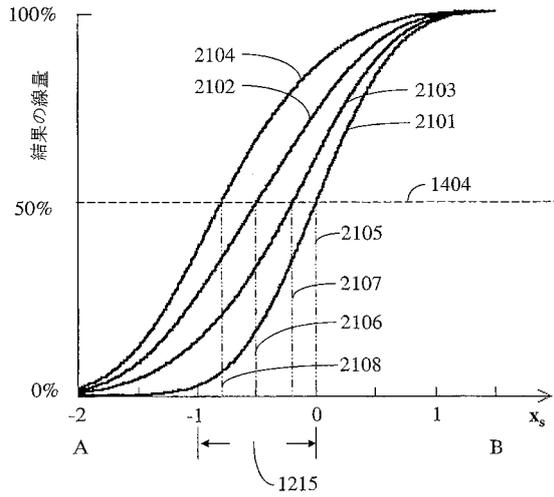
【図19】



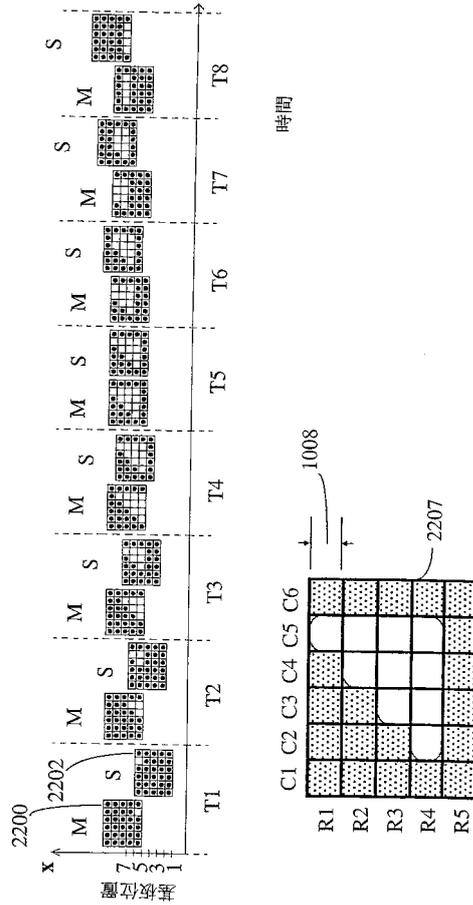
【図20】



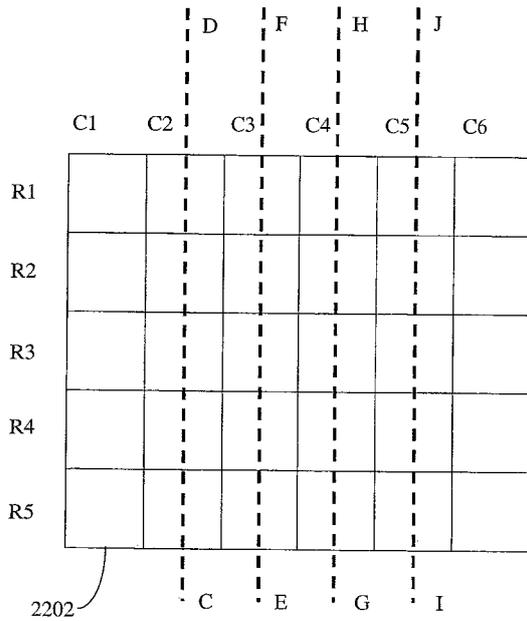
【図 2 1】



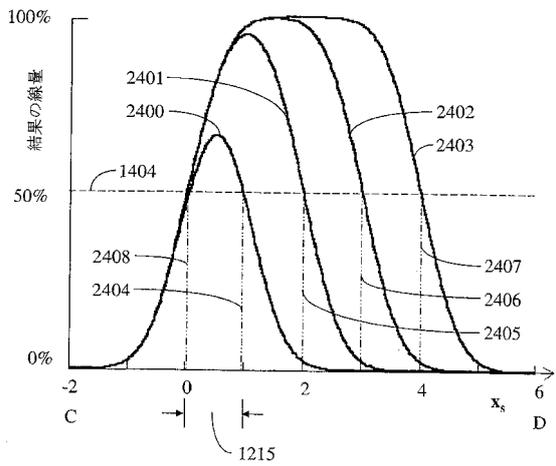
【図 2 2】



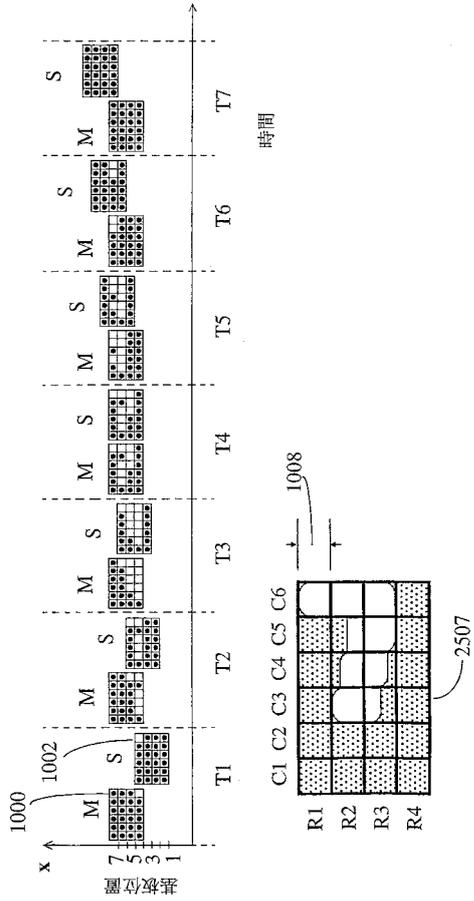
【図 2 3】



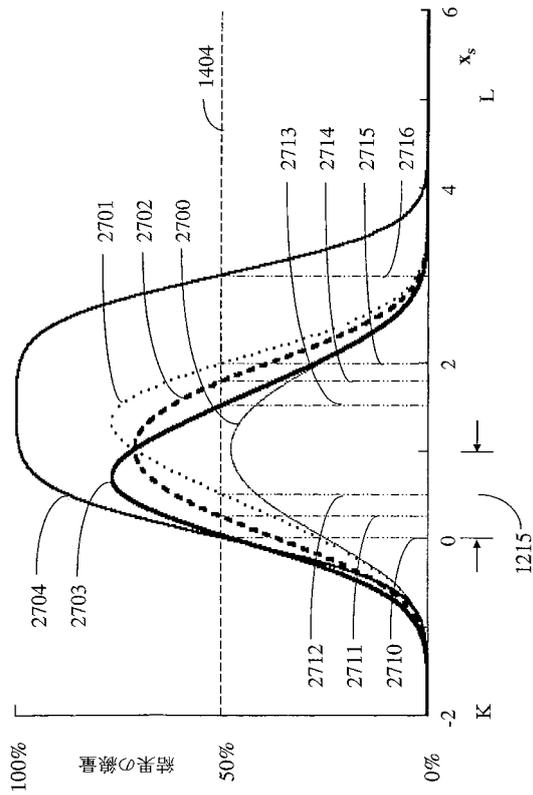
【図 2 4】



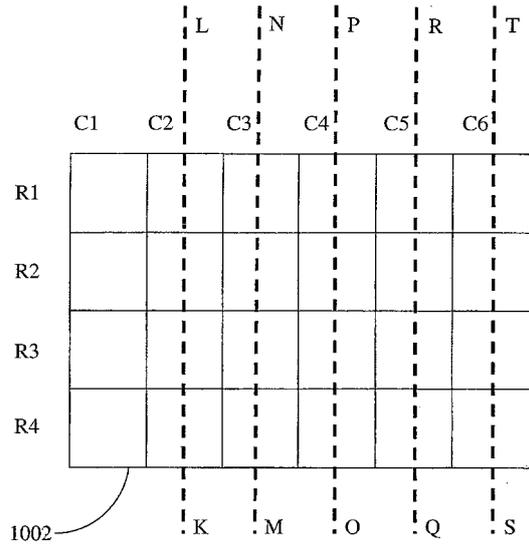
【図 25】



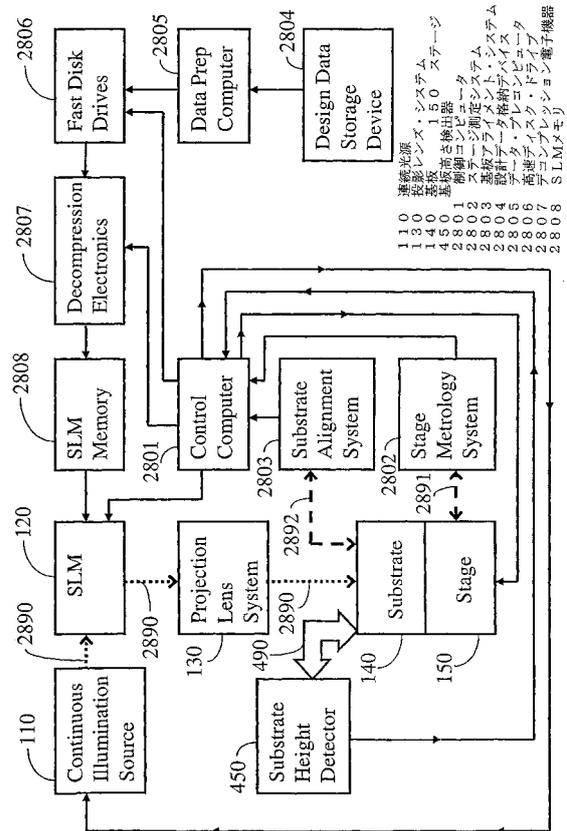
【図 27】



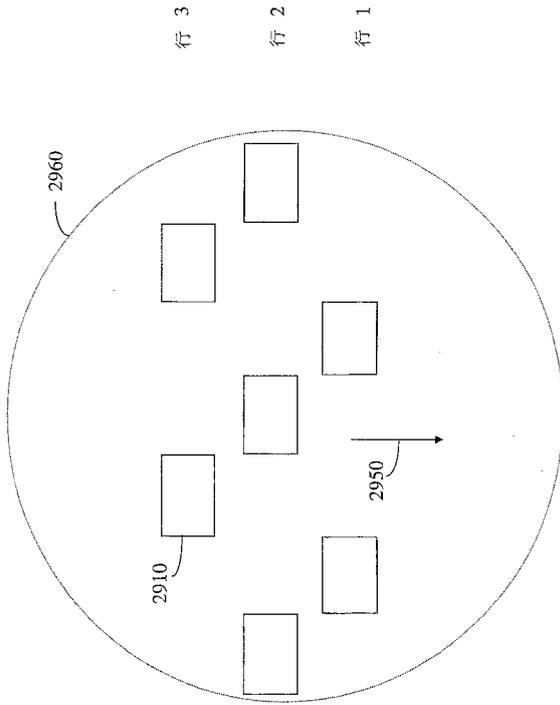
【図 26】



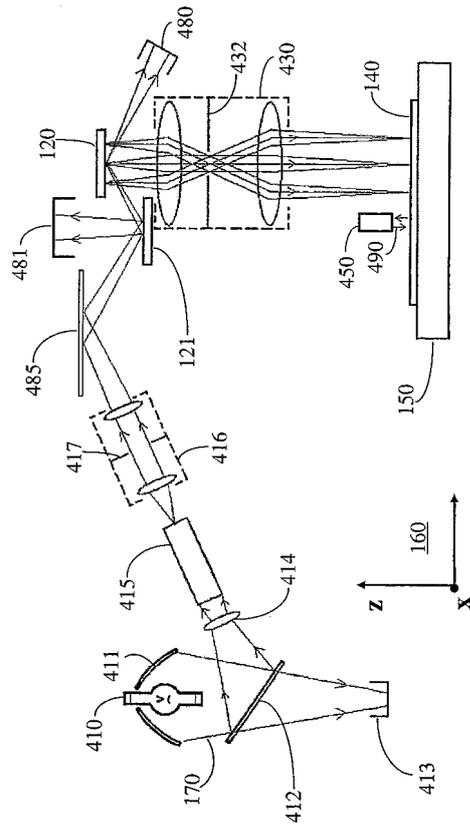
【図 28】



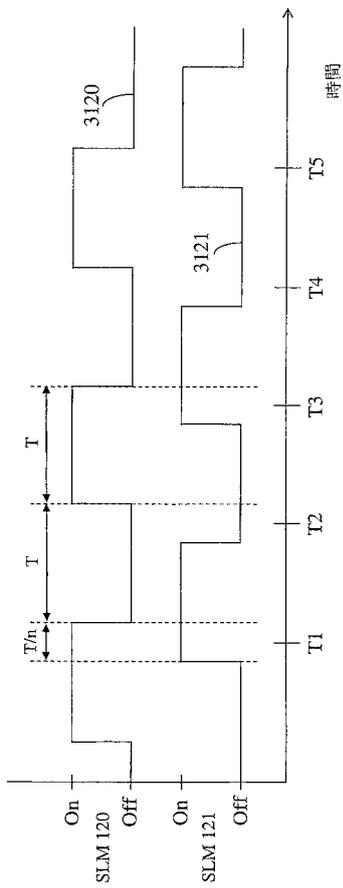
【 図 29 】



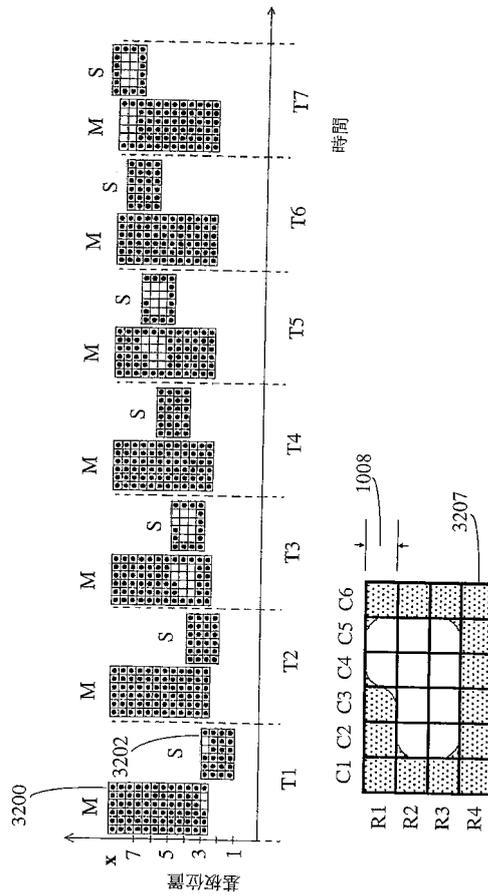
【 図 30 】



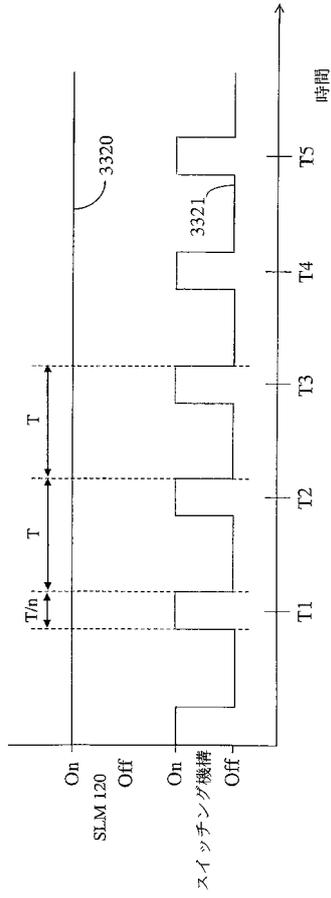
【 図 31 】



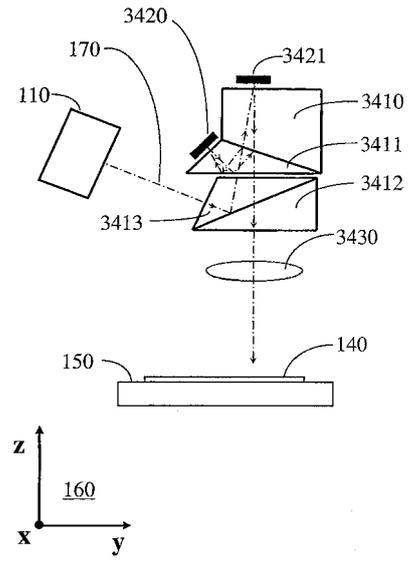
【 図 32 】



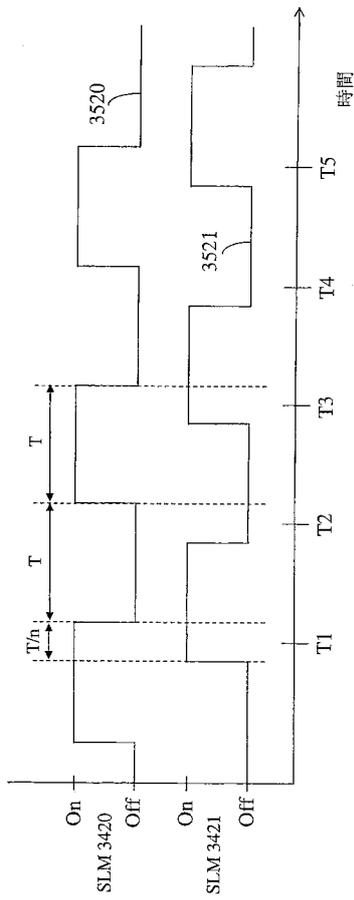
【図 3 3】



【図 3 4】



【図 3 5】



---

フロントページの続き

審査官 佐野 浩樹

(56)参考文献 米国特許第06312134(US, B1)  
特開2001-135562(JP, A)  
国際公開第02/041196(WO, A1)  
特開2003-015309(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B27/00 - 27/64、  
G02F 1/21 - 1/25、  
G03F 7/20 - 7/24、 9/00 - 9/02、  
H01L21/027、21/30