

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4101770号
(P4101770)

(45) 発行日 平成20年6月18日(2008.6.18)

(24) 登録日 平成20年3月28日(2008.3.28)

(51) Int.Cl. F I
GO3F 1/08 (2006.01) GO3F 1/08 A
HO1L 21/027 (2006.01) HO1L 21/30 502P

請求項の数 18 外国語出願 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2004-7087 (P2004-7087)	(73) 特許権者	502120538
(22) 出願日	平成16年1月14日(2004.1.14)		エーエスエムエル マスクツールズ ビー . ブイ.
(65) 公開番号	特開2004-220034 (P2004-220034A)		オランダ国 ヴェルトホーフエン 550 4 ディー アール, デ ラン 6501
(43) 公開日	平成16年8月5日(2004.8.5)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成16年4月14日(2004.4.14)		弁理士 稲葉 良幸
(31) 優先権主張番号	439807	(74) 代理人	100093861
(32) 優先日	平成15年1月14日(2003.1.14)		弁理士 大賀 眞司
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100109346
前置審査			弁理士 大貫 敏史
		(72) 発明者	ダグラス ヴァン デン プロエケ アメリカ合衆国 カリフォルニア、サニー ベイル モッキングバード レイン 91 7

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ディープ・サブ波長の光リソグラフィのためのレチクル・パターンに光近接フィーチャを提供する方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光近接効果補正フィーチャが配置されたマスクデザインを作成する方法であって、
 基板に結像されるフィーチャを有する所望のターゲット・パターンを得るステップと、
 結像される前記フィーチャに隣接する視野領域の各点について、前記各点を透過した光
 が結像される前記フィーチャの領域を透過する光と、当該結像される前記フィーチャの位置
において強め合うように干渉する領域か弱め合うように干渉する領域かを定める干渉マ
ップを前記ターゲット・パターンに基づいて作成するステップと、

前記強め合う干渉領域および前記弱め合う干渉領域に基づいてマスクデザインにアシスト
 ・フィーチャを配置するステップとを有し、

前記干渉マップを作成するステップが、

前記所望のターゲット・パターンに含まれるフィーチャの大きさが、マスクを結像させ
るために用いられる結像システムの解像能力より小さくなるように、前記フィーチャの大
きさを縮小するステップであって、それによって縮小されたターゲット・パターンを作成
するステップと、

前記縮小されたターゲット・パターンの光学シミュレーションを実施するステップであ
って、前記縮小されたターゲット・パターンの視野領域が百分率でゼロより大きい透過率
を有するように前記シミュレーションを実施するステップと
 を含むマスクデザイン作成方法。

【請求項2】

を結像ツールの露光波長、NAを結像システムの投影レンズの開口数としたときに、前記縮小されたターゲット・パターンに含まれるフィーチャの限界寸法が、 $\lambda / (2 \cdot NA)$ より小さいことを特徴とする請求項1に記載のマスクデザイン作成方法。

【請求項3】

前記干渉マップは、前記各点を透過した光が前記結像されるフィーチャに対して強め合う干渉も弱め合う干渉ももたらさない中立的な干渉領域をも定める請求項1に記載のマスクデザイン作成方法。

【請求項4】

前記マスクデザインに配置される前記アシスト・フィーチャが、スキヤッタリング・バー、非スキヤッタリング・バーおよび非プリント・アシスト・フィーチャを有している請求項1に記載のマスクデザイン作成方法。

【請求項5】

前記結像されるフィーチャのプリントを向上させるアシスト・フィーチャが、強め合う干渉領域内に配置され、弱め合う干渉を打ち消すアシスト・フィーチャが、弱め合う干渉領域内に配置される請求項4に記載のマスクデザイン作成方法。

【請求項6】

前記干渉マップが、前記各点を透過した光が結像される前記フィーチャに与える光の強度を定めており、前記干渉マップが、非ゼロのDCレベルに対する正值と負値の両方の強度を表すことが可能であり、

前記非ゼロのDCレベルに対して正の強度を示す視野領域が、強め合う干渉領域に対応し、前記非ゼロのDCレベルに対して負の強度を示す視野領域が、弱め合う干渉領域に対応している請求項1に記載のマスクデザイン作成方法。

【請求項7】

光近接効果補正フィーチャが配置されたマスクデザインを作成するための装置であって、
基板に結像されるフィーチャを有する所望のターゲット・パターンを得るための手段と

結像される前記フィーチャに隣接する視野領域の各点について、前記各点を透過した光が結像される前記フィーチャの領域を透過する光と、当該結像される前記フィーチャの位置において強め合うように干渉する領域か弱め合うように干渉する領域かを定める干渉マップを前記ターゲット・パターンに基づいて作成する手段と、

前記強め合う干渉領域および前記弱め合う干渉領域に基づいてマスクデザインにアシスト・フィーチャを配置するための手段とを有し、

前記干渉マップの作成が、

前記所望のターゲット・パターンに含まれるフィーチャの大きさが、マスクを結像させるために用いられる結像システムの解像能力より小さくなるように、前記フィーチャの大きさを縮小し、それによって縮小されたターゲット・パターンを作成するステップと、

前記縮小されたターゲット・パターンの光学シミュレーションを実施するステップであって、前記縮小されたターゲット・パターンの視野領域が百分率でゼロより大きい透過率を有するように前記シミュレーションを実施するステップとを含むマスクデザイン作成装置。

【請求項8】

を結像ツールの露光波長、NAを結像システムの投影レンズの開口数としたときに、前記縮小されたターゲット・パターンに含まれるフィーチャの限界寸法が、 $\lambda / (2 \cdot NA)$ より小さいことを特徴とする請求項7に記載のマスクデザイン作成装置。

【請求項9】

前記干渉マップは、前記各点を透過した光が前記結像されるフィーチャに対して強め合う干渉も弱め合う干渉ももたらさない中立的な干渉領域をも定める請求項7に記載のマスクデザイン作成装置。

【請求項10】

10

20

30

40

50

前記マスクデザインに配置される前記アシスト・フィーチャが、スキヤッターリング・バー、非スキヤッターリング・バーおよび非プリント・アシスト・フィーチャを有している請求項 7 に記載のマスクデザイン作成装置。

【請求項 1 1】

前記結像されるフィーチャのプリントを向上させるアシスト・フィーチャが、強め合う干渉領域内に配置され、弱め合う干渉を打ち消すアシスト・フィーチャが、弱め合う干渉領域内に配置される請求項 1 0 に記載のマスクデザイン作成装置。

【請求項 1 2】

前記干渉マップが、前記各点を透過した光が前記結像されるフィーチャに与える光の強度を定めており、前記干渉マップが、非ゼロの DC レベルに対する正值と負値の両方の強度を表すことが可能であり、

前記非ゼロの DC レベルに対して正の強度を示す視野領域が、強め合う干渉領域に対応し、前記非ゼロの DC レベルに対して負の強度を示す視野領域が、弱め合う干渉領域に対応している請求項 7 に記載のマスクデザイン作成装置。

【請求項 1 3】

リソグラフィの結像工程に使用するためのマスクに対応するファイルを作成するようにコンピュータに指示するためのコンピュータ・プログラムであって、前記ファイルの作成が、

基板に結像されるフィーチャを有する所望のターゲット・パターンを得るステップと、
結像される前記フィーチャに隣接する視野領域の各点について、前記各点を透過した光が結像される前記フィーチャの領域を透過する光と、当該結像される前記フィーチャの位置において強め合うように干渉する領域か弱め合うように干渉する領域かを定める干渉マップを前記ターゲット・パターンに基づいて作成するステップと、

前記強め合う干渉領域および前記弱め合う干渉領域に基づいてマスクデザインにアシスト・フィーチャを配置するステップとを含み、

前記干渉マップを作成するステップが、

前記所望のターゲット・パターンに含まれるフィーチャの大きさが、マスクを結像させるために用いられる結像システムの解像能力より小さくなるように、前記フィーチャの大きさを縮小するステップであって、それによって縮小されたターゲット・パターンを作成するステップと、

前記縮小されたターゲット・パターンの光学シミュレーションを実施するステップであって、前記縮小されたターゲット・パターンの視野領域が百分率でゼロより大きい透過率を有するように前記シミュレーションを実施するステップと
を含むコンピュータ・プログラム。

【請求項 1 4】

を結像ツールの露光波長、NA を結像システムの投影レンズの開口数としたときに、前記縮小されたターゲット・パターンに含まれるフィーチャの限界寸法が、 $\lambda / (2 \cdot NA)$ より小さいことを特徴とする請求項 1 3 に記載のコンピュータ・プログラム。

【請求項 1 5】

前記干渉マップは、前記各点を透過した光が前記結像されるフィーチャに対して強め合う干渉も弱め合う干渉ももたらさない中立的な干渉領域をも定める請求項 1 3 に記載のコンピュータ・プログラム。

【請求項 1 6】

前記マスクデザインに配置される前記アシスト・フィーチャが、スキヤッターリング・バー、非スキヤッターリング・バーおよび非プリント・アシスト・フィーチャを有している請求項 1 3 に記載のコンピュータ・プログラム。

【請求項 1 7】

前記結像されるフィーチャのプリントを向上させるアシスト・フィーチャが、強め合う干渉領域内に配置され、弱め合う干渉を打ち消すアシスト・フィーチャが、弱め合う干渉領域内に配置される請求項 1 6 に記載のコンピュータ・プログラム。

10

20

30

40

50

【請求項 18】

前記干渉マップが、前記各点を透過した光が前記結像されるフィーチャに与える光の強度を定めており、前記干渉マップが、非ゼロのDCレベルに対する正值と負値の両方の強度を表すことが可能であり、

前記非ゼロのDCレベルに対して正の強度を示す視野領域が、強め合う干渉領域に対応し、前記非ゼロのDCレベルに対して負の強度を示す視野領域が、弱め合う干渉領域に対応している請求項 13に記載のコンピュータ・プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はフォトリソグラフィに関するものであり、特に、本質的にどんな照明条件を用いてもマスク・パターンを結像させることができるディープ・サブ波長パターンのマスク・レイアウトに光近接技術を適用する方法であって、それによってピッチに従った解像性能を維持する方法に関するものである。さらに本発明は、放射線の投影ビームを提供するための放射線システムと、投影ビームにパターンを形成するように働くマスクを保持するためのマスク・テーブルと、基板を保持するための基板テーブルと、パターンが形成された投影ビームを基板のターゲット部分の上に投影するための投影システムとを有するリソグラフィ装置を用いたデバイス製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

リソグラフィ投影装置（ツール）は、例えば集積回路（IC）の製造に用いることができる。このような場合、マスクはICの個々の層に対応する回路パターンを有し、このパターンを、放射線感光材料（レジスト）の層で被覆した基板（シリコン・ウェハ）上の（例えば1つまたは複数のダイを含む）ターゲット部分に結像させることができる。一般に単一のウェハは、投影システムにより一度に1つずつ連続的に照射される隣接するターゲット部分の全ネットワークを含む。あるタイプのリソグラフィ投影装置では、マスク・パターン全体をターゲット部分の上に一度に露光することによって各ターゲット部分を照射するようになっており、こうした装置は一般にウェハ・ステッパと呼ばれる。別の装置は、一般にステップ・アンド・スキャン式装置と呼ばれ、マスク・パターンを投影ビームの下で所与の基準方向（「走査」方向）に漸次走査し、それと同時にこの方向に対して平行または逆平行に基板テーブルを同期して走査することによって各ターゲット部分を照射する。一般に、投影システムは倍率M（一般に $M < 1$ ）を有するため、基板テーブルを走査する速度Vはマスク・テーブルを走査する速度のM倍になる。本明細書に記載するリソグラフィ装置に関するさらに詳しい情報は、例えば米国特許第6,046,792号から得ることができ、これを参照によって本明細書に組み込む。

【0003】

リソグラフィ投影装置を用いた製造工程では、少なくとも一部を放射線感光材料（レジスト）の層で覆った基板の上にマスク・パターンが結像（イメージング）される。この結像ステップの前に、プライミング、レジスト・コーティングおよびソフト・ベークなど様々な処理を基板に施すことができる。また露光後に、露光後ベーク（PEB）、現像、ハード・ベークおよび結像したフィーチャの測定/検査など他の処理を基板に施すこともできる。この一連の処理が、例えばICなどのデバイスの個々の層にパターンを形成するための基礎として用いられる。次いで、こうしたパターンが形成された層を、エッチング、イオン注入（ドーピング）、メタライゼーション、酸化、化学的機械研磨など様々な処理にかけることが可能であり、これらは全て、個々の層を仕上げるものである。いくつかの層が必要な場合には、全ての処理またはその変形形態を新しい層ごとに繰り返さなければならない。最終的に一連のデバイスが基板（ウェハ）上に形成されることになる。次いで、これらのデバイスをダイシングやソーイングなどの技術によって互いに分離し、それによって個々のデバイスをキャリアに取り付けたり、ピンに接続したりすることができるようになる。こうした工程に関する他の情報は、例えばピーター・ファン・ツァント（Pe

10

20

30

40

50

ter van Zant)の著書「マイクロチップの製造；半導体処理のための実用ガイド(Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing)」第3版、マグローヒル出版社、1997、ISBN 0-07-067250-4から得ることができ、これを参照によって本明細書に組み込む。

【0004】

リソグラフィ・ツールは2以上の基板テーブル(および/または2以上のマスク・テーブル)を有するタイプのものであってもよい。こうした「マルチ・ステージ」装置では、追加のテーブルを並行して用いてもよく、あるいは1つまたは複数のテーブル上で予備ステップを実施し、それと同時に1つまたは複数の他のテーブルを露光に用いることもできる。例えば米国特許第5,969,441号およびWO98/40791号には2ステージ・リソグラフィ・ツールが記載されており、これらを参照によって本明細書に組み込む。

10

【0005】

先に言及したフォトリソグラフィ・マスクは、シリコン・ウェハ上に集積される回路の構成要素に対応する幾何パターンを含む。こうしたマスクを作成するために用いられるパターンは、CAD(コンピュータ援用設計)プログラムを利用して作成され、この工程はしばしばEDA(電子設計自動化)と呼ばれる。ほとんどのCADプログラムは、機能的なマスクを作成するために、あらかじめ決められた一連のデザインルールに従う。これらのルールは処理および設計上の制約によって決められる。例えばデザインルールは、(ゲート、コンデンサなどの)回路デバイスまたは接続線が好ましくない形で相互作用しないように、回路デバイス間または接続線間の間隔の許容範囲を定めている。

20

【0006】

もちろん、集積回路製造における目標の1つは、(マスクによって)ウェハ上に原型の回路デザインを忠実に再現することである。他の目標は、半導体ウェハの実装面積をできるだけ多く利用することである。しかし、集積回路が小型化されてその密度が高まるにつれて、その対応するマスク・パターンのCD(限界寸法)は光学露光ツールの解像度の限界に近づく。露光ツールの解像度は、その露光ツールがウェハ上に繰り返し露光することができる最小のフィーチャとして定義される。高度なIC回路デザインの多くでは、現在の露光装置の解像度値がCDを制約していることがしばしばである。

30

【0007】

さらに、マイクロプロセッサの速度、メモリのデータ密度、およびマイクロエレクトロニクス構成部品の低消費電力における絶え間ない進歩は、半導体デバイスの様々な層上にパターンを転写および形成するためのリソグラフィ技術の能力と直接関係している。この技術の現状は、利用可能な光源波長よりかなり小さいCDのパターンを形成することを必要としている。例えば、現在製造に用いられている248nmの波長は、100nm未満のCDのパターン形成に向けて進められつつある。半導体のための国際技術ロードマップ(International Technology Roadmap for Semiconductors、ITRS2000)に記載されるように、業界のこの傾向は継続し、次の5~10年に加速する可能性がある。

40

【0008】

解像度を向上させることを目指すリソグラフィ法は、許容できる処理の露出寛容度(ラチチュード)とロバスト性とを維持しつつ、解像度向上技術(RET)として分類され、きわめて広い範囲の用途を有している。周知のように、光学露光の波長のほぼ半分、またはそれより短い波長でマスク・フィーチャをプリントするには、例えばきわめて高い開口数($NA > 0.7$)の使用と組み合わせたオフアクシス照明(OAI)、位相シフト・マスク(PSM)、および光近接効果補正(OPC)などの解像度向上技術の適用が必要である。

【0009】

しかし、こうした技術を用いてサブ波長パターンをプリントすることは可能ではあるが

50

、問題が残る。言及したように、O A Iの使用は実証されており、それを用いて密なピッチのフィーチャの解像度を向上させることに成功している1つの技術である。しかし今までのところ、この技術は、暗視野マスク・タイプの場合にも明視野マスク・タイプの場合にも、孤立した幾何形状の結像の質を著しく低下させることが示されている。したがってO A I技術は、それだけでランダムなピッチのフィーチャ(すなわち、孤立したフィーチャから密な間隔のフィーチャまで)をプリントするには不適切である。サブ解像度アシスト・フィーチャ(S R A F、スキヤッターリング・バー(S B)としても知られている)も、孤立したフィーチャのプリントを向上させるために用いられてきた。これは、明視野マスク・タイプの孤立したフィーチャに隣接してS Bを配置することにより、孤立したフィーチャが密なフィーチャのような挙動をするようにして、O A Iの下で露光したときのプリント性能の向上を達成するものである。これまで、S Bの配置は経験的なルールを適用して行われてきた。しかし、やや孤立した(semi-isolated)または中間のピッチのランダムなフィーチャでは、主にS Bを配置するための十分な空間がないために、S Bの配置ルールはしばしば妥協を必要とする。同様に、マスクデザインに非スキヤッターリング・バーを加えると(すなわち、非スキヤッターリング・バーは暗視野マスクに適用される明マスク・フィーチャであり、スキヤッターリング・バーは明視野マスクに適用される暗マスク・フィーチャである)、暗視野マスク・タイプでの結像を向上させることが可能になるが、こうした非スキヤッターリング・バーを、ピッチに従ってランダムな幾何形状に対して適用することには問題があることが分かっている。その問題は、減衰P S Mを用いたときに悪化する。これは、非位相シフト・マスク・タイプと比べて光近接効果がずっと強いためである。光近接効果が強まると、ピッチに従ったプリントの問題ははるかに難しくなる。したがって、ディープ・サブ波長のフィーチャのためにプリント解像度を十分拡張するには、非位相シフト・マスクと位相シフト・マスクの両タイプで、現在のルールに基づくS B法を凌ぐ必要がある。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

したがって、ピッチに従ってディープ・サブ波長のフィーチャをプリントすることを可能にし、先に言及した従来技術のR E T技術に伴う欠陥および問題を解決する、マスク・レイアウトにO P Cを適用する方法が求められている。

【課題を解決するための手段】

【0011】

前述の要求を解決するための1つの取り組みにおいて、本発明の一目的は、高コヒーレントのオン軸照明(部分コヒーレンス < 0.4)ならびに(例えば、クエーサー(Quasar)照明、一对の二重極照明、単一の二重極照明など)強力なオフ軸照明を含めて、実質的にどんな照明条件を用いても、全てのピッチ範囲のディープ・サブ波長のマスク・パターンを結像させることを可能にする、マスク・パターンに光近接効果補正フィーチャを設ける方法を提供することである。以下で詳しく説明するように、本発明の方法に従って、ウェハにプリントされないマスク・パターン(すなわち、サブ解像度フィーチャまたは非プリント・フィーチャ)にアシスト・フィーチャを加えるが、それが所期のマスク・フィーチャのエアリアル・イメージを向上させて、処理ラチチュードが大きくなると共にプリント解像度が高まる。重要なことは、アシスト・フィーチャの配置は、対象とする光学領域内の各点が所望のターゲット・パターンと建設的に強め合うように干渉するのか、破壊的に弱め合うように干渉するのかを決める「干渉マップ」に基づいて決定されることである。

【0012】

より具体的には、本発明は、光近接効果補正フィーチャを配置されるマスクデザインを作成する方法に関する。この方法は、基板に結像されるフィーチャを有する所望のターゲット・パターンを得るステップと、ターゲット・パターンに基づいて干渉マップを決定するステップであって、干渉マップが結像されるフィーチャの少なくとも1つと、この少な

10

20

30

40

50

くとも1つのフィーチャに隣接する視野領域との間に、強め合う干渉領域および弱め合う干渉領域を定めるステップと、強め合う干渉領域および弱め合う干渉領域に基づいてマスクデザインにアシスト・フィーチャを配置するステップとを含む。

【0013】

本明細書では、本発明をICの製造に用いることについて特に言及することがあるが、本発明は他にも多くの用途に使用可能であることを明確に理解すべきである。例えば、一体型光学システム、磁気ドメイン・メモリ用の誘導および検出パターン、液晶ディスプレイ・パネル、薄膜磁気ヘッドなどの製造に使用することができる。こうした別の用途についての文脈では、本明細書中の「レチクル」、「ウェハ」または「ダイ」という用語の使用はいずれも、それぞれ「マスク」、「基板」および「ターゲット部分」というより一般的な用語に置き換えて考えられるべきであることが当業者には理解されよう。

10

【0014】

本明細書では、「放射線」および「ビーム」という用語は、(例えば365、248、193、157、または126nmの波長を有する)紫外線、および(例えば5~20nmの範囲の波長を有する)EUV(極端紫外線)を含むあらゆるタイプの電磁放射線を含むために用いられる。

【0015】

本明細書で使用するマスクという用語は、基板のターゲット部分に作成するパターンに対応するパターンが形成された断面を、入射する放射線ビームに付与するために用いることができる一般的なパターン形成手段を指すものと広く解釈することが可能であり、「光弁(light valve)」という用語もこの意味で用いることができる。標準的なマスク(透過性または反射性、バイナリ、位相シフト、ハイブリッドなど)に加えて、こうしたパターン形成手段の他の例には以下のものが含まれる。

20

a) プログラマブル・ミラー・アレイ

このようなデバイスの一例は、粘弾性制御層および反射面を有する、マトリクス状にアドレス指定可能な表面である。こうした装置の背景となる基本原理は、(例えば)反射面のアドレス指定された領域が入射光を回折光として反射し、アドレス指定されていない領域が入射光を非回折光として反射することにある。適切なフィルタを用いると、前記非回折光を反射ビームから濾去し、後に回折光のみを残すことができる。このようにして、マトリクス状にアドレス指定可能な表面のアドレス指定されたパターンに従ってビームにパ

30

b) プログラマブルLCDアレイ

このような構成の例は米国特許第5,229,872号に示されており、これを参照によって本明細書に組み込む。

【0016】

本発明の方法は、従来技術にまさる重要な利点を提供する。最も重要なのは、本発明のOPC技術により、実質的にどんな照明条件を用いてもピッチに従ってディープ・サブ波長のマスク・パターンを結像させることが可能になることである。その結果、本発明により、例えば孤立したコンタクトから密なコンタクトまで、ランダムに配置されたコンタクトを有する(すなわち、すべてのコンタクトが互いに均一に配置されているわけではない)コンタクトの配列を単一の照明を用いてプリントする技術が可能になる。一方、従来技術のOPC技術では、孤立したフィーチャと密な間隔のフィーチャの両方をプリントして許容できる解像結果を得られるようにするためには、一般に多重露光が必要であった。1つの固有の利点は、本発明がOAIを用いて全てのピッチ範囲のフィーチャに対して最適なプリント性能を実現することである。

40

【0017】

以下の本発明の実施例についての詳細な記載から、当業者には本発明の他の利点が明ら

50

かとなるう。

【0018】

以下の詳細な記載および添付の図面を参照することにより、本発明自体、ならびに他の目的および利点をさらによく理解することができる。

【実施例】

【0019】

以下でさらに詳しく説明するように、本発明のOPC技術により、実質的にどんな照明条件を用いても、全ピッチ範囲のディープ・サブ波長のマスク・パターンを結像させることが可能になる。OPC技術は、所望のターゲット・パターンを囲む視野内の各点が、ターゲット・パターンとどのように相互作用するかを示す干渉マップ(IM)の作成を伴う。所与の点はターゲット・パターンに対して、建設的に強め合うように干渉するか、破壊的に弱め合うように干渉するか、または中立である(すなわち、弱め合う干渉でも強め合う干渉でもない)可能性がある。IMが作成された後、それを用いて所望のパターンに対してアシスト・フィーチャをどこに配置するかを決定する。特に、強め合う干渉を高めるアシスト・フィーチャは、IMによって強め合う干渉がもたらされることが示された視野内に配置され、弱め合う干渉を軽減する作用をするアシスト・フィーチャは、IMによって弱め合う干渉がもたらされることが示された視野内に配置され、視野の中立領域にはいずれか(または両方)のタイプのアシスト・フィーチャを用いることができる。本発明の方法は、ディープ・サブ波長のフィーチャのプリントを向上させるためのOPC手段として、スキヤタリング・バー「SB」および非スキヤタリング・バー「ASB」の概念を拡張して、SB/ASBと非プリント・フィーチャ「NPF」の両方を一緒に使用することを包含している。

【0020】

後の記載および図面で用いる非プリント・フィーチャ(NPF)および非スキヤタリング・バー(ASB、または暗視野マスク・タイプで用いられるサブ解像度アシスト・フィーチャ)の定義は以下のとおりであることに留意されたい。

a) NPF

標準的な結像条件の下ではプリントされるが、位相シフト(-1の電界振幅)領域、非位相シフト(+1の電界振幅)領域、および/または不透明(0の電界振幅)領域からなるデザインのため、弱め合う干渉により暗視野マスク・タイプでパターンが暗くなる、または非プリントになるタイプのパターン。このパターンの目的は、ターゲット・パターンのプリントを向上させることである。

b) ASB

ASBは、光学系の解像能力より小さいために、標準的な結像条件ではプリントできない、暗視野マスク・タイプに適用される明マスク・フィーチャである(一方、SBは明視野マスクで用いられる暗フィーチャである)。ASBフィーチャの目的は、ターゲット・パターンのプリントを向上させることである。

【0021】

以下の議論は暗視野マスク・タイプを用いた本発明の一例を示しているが、当業者には明らかであるように、この方法は明視野マスク・タイプにも適用可能であることに留意されたい。図1は、本発明に従ってマスク・パターンにOPC技術を適用する方法を示した例示的な流れ図である。図1を参照すると、工程の最初のステップ(ステップ10)は、干渉マップの作成である。例えば、本出願で開示する通常のエアリアル・イメージ・シミュレータ(例えば、MaskTools, Inc. が販売するシミュレーション製品、LithocruiserやMaskWeaverなど)を用いるか、あるいは同時係属出願(番号未定)に開示した固有値化されたイメージ・モデル・カーネル(Eigenvalued image model kernel)を用いるなど、多くの方法を利用してIMを作成することができることに留意されたい。通常のエアリアル・イメージ・シミュレータを用いてIMを作成するステップを以下に記載する。また、同様の処理を明視野マスク・タイプに対しても確立することができることに留意されたい。

【 0 0 2 2 】

先に言及したように、IMは、任意の所与のパターンに対して対象とする光学領域内の各点（例えば格子点）で、その点で透過された光が所望のターゲット・パターンと建設的に強め合うように干渉する（それによって、ターゲット・パターン上での透過光の強度を高める）か、破壊的に弱め合うように干渉する（それによって、ターゲット・パターン上での透過光の強度を弱める）か、あるいは中立（ターゲット・パターン上での透過光の強度を変えない）かを示すものである。IM作成の一例は、以下の通りである。

【 0 0 2 3 】

まず、ターゲット・パターンが得られ（ステップ12）、視野のターゲット・パターン（例えば暗視野）を縮小して、ターゲットの幾何形状（すなわちパターン）が、マスクを結像させるのに用いられる光学系の解像能力よりも十分小さくなるような大きさにする（ステップ14）。例えば、ターゲット・パターンに含まれるフィーチャの大きさを、フィーチャの限界寸法が $\lambda / (2 \cdot NA)$ （ただし、 λ は結像ツールの露光波長であり、NAは露光システムのレンズの開口数を表す）より小さくなるように縮小する。この縮小されたターゲット・パターンは、ターゲット・パターン内にある全ての幾何形状の中央領域を表しており、本質的には所望のターゲットのフィーチャを点源に変える。換言すれば、その目的は、フィーチャの中央部と周囲の視野領域の間で生じている相互作用（すなわち干渉）に焦点を合わせることである。所望のパターン中の所与のフィーチャの大きさのみが縮小され、フィーチャ間のピッチ（すなわち、所与のフィーチャの中心から他のフィーチャの中心までの距離）は元のターゲット・パターンから変化しないことに留意されたい。この「点源」のパターンを用いることにより、所与の位相の光が視野のその点を透過するとき、強度をターゲット・パターンに加えるのか、または強度をターゲット・パターンから引くのかの決定に、暗視野領域内の特定の点の光学領域内にあるターゲットの幾何形状全ての影響が含まれることになる。一例として、光学領域は結像装置の10波長に等しいか、またはそれより小さくすることができる。

【 0 0 2 4 】

ターゲット・パターンが縮小された後、縮小されたパターンの光学シミュレーションを行い、「暗」視野領域がゼロより大きい透過率を有するが、「明」の幾何形状による透過率よりはかなり小さくなるように縮小されたパターンの透過率を設定する（ステップ16）。また、視野透過率は幾何形状に対して180°だけ位相シフトされる。一般的な値として、180°の位相シフトで視野透過率を0.10、および0の位相シフトで幾何形状/フィーチャの透過率を100%とすることができる。もちろん、他の値を用いることもできる（例えば、視野透過率が4%~10%）。光学シミュレーションは、ターゲットが結像される所望の光学条件（例えば波長、NA、および照明）を用いて行われることに留意されたい。この光学シミュレーションの結果がIMであり（ステップ18）、以下で述べる例の中でさらに分かりやすく示すように、IMは縮小されたターゲット・パターンに対応する像平面内の電子視野（e-field）を表している。

【 0 0 2 5 】

シミュレーションによって作成された電子視野内にDCオフセットを導入するために、視野透過率が0%以外の透過率に調整されることに留意されたい。このDCオフセットを導入することにより、シミュレーションの結果として作成された電子視野は、その電子視野内でDCオフセットに対して正と負の両方のシフトを示すことが可能になる。DCオフセットがないと、電子視野内での負のシフトは認められない。

【 0 0 2 6 】

IMが作成された後、工程の次のステップは、プリントされる各フィーチャを囲む視野領域内の干渉パターンを解析し、所与の領域がDCオフセット・レベルに対して正か、負か、または中立かに基づいて、視野領域内にSB、ASBまたはNPFを配置することである（ステップ20）。より具体的には、この例で定める視野領域に対する透過率の値を用いると（例えば、透過率10%および位相シフト180°）、

i) エアリアル・イメージ強度が0.10より大きい視野領域の領域は、180°位相

10

20

30

40

50

シフトされた光がそこを透過するとき、光がターゲット・パターンと建設的に強め合うように干渉して、ターゲット・パターンを明るくする視野領域を表し、

i i) エアリアル・イメージ強度が0.10より小さい視野領域の領域は、180°位相シフトされた光がそこを透過するとき、光がターゲット・パターンと破壊的に弱め合うように干渉して、ターゲット・パターンを暗くする視野領域を表し、

i i i) エアリアル・イメージ強度がほぼ0.10である視野領域の領域は、180°位相シフトされた光がそこを透過するとき、光がターゲット・パターンと建設的に強め合うように干渉することも破壊的に弱め合うように干渉することもない視野領域を表す。

【0027】

前述の3つの領域が特定された後、領域(i)および/または領域(i i)にアシスト・フィーチャを配置して、これらの領域がターゲット・パターンと建設的に強め合うように干渉する機能を果たすようにする。所与の例で領域(i)には、 だけ位相シフトさせたアシスト・フィーチャをこれらの視野領域に配置し、領域(i i)に分類された視野領域内に非位相シフトのアシスト・フィーチャを配置することによって、これが実施される。領域(i i)で だけ位相シフトされた光が弱め合う干渉を引き起こすため、これらの領域では非位相シフト・アシスト・フィーチャが強め合う干渉をもたらすことに留意されたい。したがって、IMマップを作成することにより、こうした工程がないと結像工程の最終的な解像度が低下してしまう領域内でも、強め合う干渉をもたらすためにアシスト・フィーチャをどのように利用することができるかを具体的に明らかにすることが可能になる。前述の例はシミュレーションに だけ位相シフトされた視野領域を用いているが、位相シフトなしの視野領域を用いることもできることにさらに留意されたい。そうした場合、結果として得られる領域、およびそこで用いられるアシスト・フィーチャはやはり反対のものである(例えば、領域(i)で非位相シフト領域により強め合う干渉が得られた場合、マスクデザインのその所与の領域には非位相シフト・アシスト・フィーチャが用いられていることになる)。

【0028】

言及したように、視野の中立領域(すなわち領域(i i i))では、 位相シフト・アシスト・フィーチャ、非位相シフト・アシスト・フィーチャ、または非プリント・フィーチャを用いることができる。しかし、この領域(または他の領域)に含まれるアシスト・フィーチャを、それがプリントされるほど大きくすることはできないことに留意されたい。したがって、得られるアシスト・フィーチャがプリントされないままになるように、アシスト・フィーチャの設計には、 位相シフト領域および非位相シフト領域の両方を含めることができる。

【0029】

したがって前述の例を用いると、バイナリの暗視野レチクルの場合には、レチクルに位相シフト領域がないのでASBしか用いることができない。エアリアル・イメージ強度が0.10より小さかったIMの領域に対応するマスク・パターンの領域にASBを配置する。フィーチャの大きさは像がプリントされない範囲でできるだけ大きくし、またできるだけ多くの微小領域を含むようにする。

【0030】

暗視野の位相シフト・レチクルの場合には、位相シフトASBと非位相シフトASBの両方を用いることができる。バイナリ・パターンと同様に、エアリアル・イメージ強度が0.10より小さかったIMの領域に対応するマスク・パターンの領域内に、非位相シフト・フィーチャを配置する。エアリアル・イメージ強度が0.10より大きかったIMの領域に対応するマスク・パターンの領域内に、位相シフト・フィーチャを配置する。エアリアル・イメージ強度がほぼ0.10であった領域では、プリント可能なパターンになるものをプリントできないようにするために、パターンを非位相シフト、位相シフト、または透過率ゼロとして定めることができる。

【0031】

正の干渉領域と負の干渉領域を決定する(すなわち、IMを作成する)別の方法は、経

10

20

30

40

50

験的方法を用いるものである。例えば、低コントラストのレジスト上に10%減衰されたレチクルを用いてパターンを露光することができる。次いで、レジストを部分的に現像し、残存するレジストの厚さ(すなわち表面プロファイル)を用いて正の領域と負の領域を決定することができる。パターンが形成されていない視野領域よりも多く現像されたレジストの領域は、位相シフト・アシスト・フィーチャを配置すべき場所であることを表す強め合う干渉領域になる。レジストがより少なく(またはより厚く)現像された領域は、非位相シフト・アシスト・フィーチャを配置すべき場所であることを表す弱め合う干渉領域になる。

【0032】

本発明の方法を用いてコンタクト・ホール・パターンをプリントするいくつかの例を以下に示す。しかしながら本発明は、コンタクト・ホールのプリントだけに限られないことに留意されたい。実際に、本発明は実質的に任意のマスク・パターンのプリントと共に用いることができる。

【0033】

図2は、従来技術を用いてコンタクト・ホールをピッチに従ってプリントすることの問題点を示している。図2を参照すると、孤立したコンタクトは、低NAの通常の照明を用いた場合に最も適切に結像されていることが示されている。しかし密なコンタクトは、強力なオフ軸照明を用いた場合に最も適切に結像されている。したがって、従来技術を用いて孤立したコンタクト・ホールと密なコンタクト・ホールの両方をプリントするためには、二重露光/2つのマスクによる工程を用いて密なピッチおよび孤立したピッチ、または分割されたピッチをプリントするか、あるいは特注の照明を作成する必要があった。周知のように、二重露光マスクはコストを増加させ、またマスクとマスクの重ね合わせ精度による制約を受ける。さらに、単一の露光マスクを備えた特別の照明は、OAIより適切に実施することができるが、マスク・パターン内の空間周波数の分布が限られた周期的なデザインパターンに最も適している。

【0034】

さらに、通常の照明を用いて密なコンタクトをプリントする場合、密なピッチは、 $NA(1 + \dots)$ (ただし、NAは開口数、 \dots はコヒーレンス比)によって制限される。非常に密なコンタクト・マスク・フィーチャを低NA(< 0.4)の通常の照明を用いてプリントするためには、交互PSMが考えられる。しかし、避け難い位相衝突による制約のため、マスクデザインが非常に複雑になる可能性がある。強力なオフ軸照明(アウト 1.0)の下で減衰PSMまたはCPLマスクを用いると、(低NAの通常の照明とは異なり)より密なピッチをプリントすることが可能になる。しかし、孤立したコンタクト・フィーチャ、および半ば孤立したコンタクト・フィーチャでは、プリント性能を密なものに合わせるために、ASBとNPFの両方を適用する必要がある。

【0035】

したがって従来技術は、ランダムなコンタクト・ホール・パターンをピッチに従ってプリントするための単純な解決策を提供するものではない。

【0036】

図3A~3Fは、本発明の工程を用いて3種類の異なる照明設定から得られた、本発明の干渉マップを示している。先に言及したように、IMは結像システムの照明および処理条件に依存する。したがって、IMは、得られるマスクを結像させるのに用いられる設定を使って作成されなければならない。図3に示す例では、100nmの孤立したコンタクト・ホール・フィーチャを、193nm(ArF)レーザーおよび0.75NAを用いて露光している。クエーサー照明、輪帯照明、および低NAの通常の照明(すなわち、 $NA = 0.4$)によって形成されて得られるIMを、それぞれ図3A、図3C、および図3Eに示す。図3B、図3Dおよび図3Fはそれぞれ、3種類の照明の設定を示している。

【0037】

(図3Bに示した)クエーサー照明を用いて作成されたIMを示す図3Aを参照すると、領域31は強め合う干渉領域(すなわち、DCの変調レベルより高い強度レベルを有す

10

20

30

40

50

る領域)に対応し、したがってコンタクト・ホールの強度を高め、領域32は中立領域(すなわち、DCの変調レベルと実質的に等しい強度レベルを有する、強め合う領域でも弱め合う領域でもない領域)に対応し、領域33はコンタクト・ホールの強度を低下させる弱め合う干渉領域(すなわち、DCの変調レベルより低い強度レベルを有する領域)に対応している。図3Cおよび図3Eは、それぞれ輪帯照明および通常の照明を用いて作成された干渉マップを示している。

【0038】

図4は、ターゲットのマスク・パターンを変更してOPCフィーチャを含めるために、図3Aに示したIMをどのように用いることができるかを示している。図4を参照すると、そこに示すように、変更されたマスク・パターンがIMの上に重ねられている。先に言及したように、強め合う干渉領域(図3Aの領域31)は、その中の変更されたマスク・パターンの対応する部分に配置された位相シフト・フィーチャを有している。これらの領域は、図4に要素41で示してある。弱め合う干渉領域(図3Aの領域33)は、その中の変更されたマスク・パターンの対応する部分に配置された非位相シフト・フィーチャを有している。これらの領域は、図4に要素42で示してある。最後に、中立領域(図3Aの領域32)は、所与の例でそこに配置されたアシスト・フィーチャを一切有していない。したがって、図4は、本発明に従ってターゲット・マスクと共にアシスト・フィーチャをどのように配置するかを示している。

【0039】

図5A~5Hは、本発明によるIMを用いてアシスト・フィーチャを含むマスク・パターンをどのように作成するか、ならびに得られるコンタクト・パターンのシミュレートされたエアリアル・イメージの他の例を示している。より具体的には、図5B、図5Eおよび図5Gはクエーサー照明を用いて結像されるCPLの孤立したコンタクト・マスク・パターンのデザインを示している。図5Aおよび図5Dに示される干渉マップは図3Aに示した干渉マップに対応しており、IMマップの弱め合う領域33の上に重ねられた非プリント・フィーチャ51を含んでいることに留意されたい。コンタクト・ホールは要素52で示してある。図5Dは同じIMを示しているが、アシスト・フィーチャが配置されたコンタクト・ホールの周りの対象とする領域が、図5Aに比べて拡張されている。図5Bおよび図5Eは、それぞれ図5Aおよび図5Dに対応する変更されたマスク・パターンのCPLデザインに対応している。図5Bを参照すると、領域33は弱め合う干渉領域に対応し、したがって、マスクデザインではそこに配置された非位相シフト・フィーチャ53を有している。コンタクト・ホール54は、この非位相シフト・フィーチャ53と同じ位相を有している。弱め合う領域を囲む領域は、図3Aに関連して先に述べた強め合う干渉領域31に対応している。したがってこれらの領域は、マスクデザインではそこに配置された位相シフト・フィーチャ55を有している。対象の領域の外側の領域は中立であると考えられ、したがって、この領域には透過率ゼロのフィーチャ56(すなわちクロム)が配置されている。所与の例では、位相シフト・フィーチャ55および非位相シフト・フィーチャ53の透過率は100%である。図5Eは同じIMに対するマスクデザインの例を示しているが、アシスト・フィーチャを配置する対象の領域が図5Bに示したものよりも拡張されている。図5Eに示すように、追加の非位相シフト・フィーチャ53を弱め合う干渉領域に加え、強め合う干渉領域に対応する位相シフト・フィーチャ55の追加の領域もマスクに加える。さらに、位相シフト・フィーチャの配置を利用して、非位相シフト・フィーチャのプリントを防ぐこともできる。図5Gは、図5Aおよび図5Dに示したものと同一IMに対するマスクデザインの例を示しているが、アシスト・フィーチャを配置する対象の領域が図5Eに示したものよりも拡張されている。図5Eと同様に、追加の非位相シフト・フィーチャ53を弱め合う干渉領域に加え、強め合う干渉領域に対応する位相シフト・フィーチャ55の追加の領域もマスクに加える。

【0040】

図5C、図5Fおよび図5Hは、それぞれ図5B、図5Eおよび図5Gに示したマスク・パターンのシミュレートされた2次元像を示している。図示するように、対象の領域が

10

20

30

40

50

拡張され、適用されるアシスト・フィーチャが多くなるにつれて、得られるプリント性能が向上する。しかし、適用されるアシスト・フィーチャが多くなるにつれて、マスクデザインがより複雑になることに留意されたい。したがって設計者は、許容できる結果を得るために必要な対象の領域はどのくらいの大きさであるかを決定すべきであり、例えば、シミュレーション法を用いること、および対象の領域を変化させることによって、これを実施することができる。

【 0 0 4 1 】

図 5 A に示すように、C P L コンタクトに対する干渉マップの中央部が暗くなる（すなわち、それがきわめて低い光透過を有する）ことに留意することが重要である。したがって、中央部は弱め合う干渉によって生成される。しかし、図 5 C、図 5 F および図 5 H に示したコンタクト・ホール・マスクの場合に企図したように、実際の C P L パターンデザインに対して補正を行うと、中央部の強度が最高になる。

【 0 0 4 2 】

図 6 A ~ 図 6 F は、図 3 C に示した輪帯照明から得られる I M に対して、C P L の孤立したコンタクト・マスクをどのように作成するかを示している。図 5 A ~ 図 5 H に関連して既に述べた議論と同様に、図 6 A は図 3 C に示した干渉マップに対応しており、I M マップの弱め合う領域 3 3 の上に重ねられた非プリント・フィーチャ 6 1 を含んでいる。コンタクト・ホールは、要素 6 2 で示してある。図 6 D は同じ I M を示しているが、アシスト・フィーチャが配置されたコンタクト・ホールの周りの対象とする領域が、図 6 A に比べて拡張されている。図 6 B および図 6 E は、それぞれ図 6 A および図 6 D に対応する変更されたマスク・パターンの C P L デザインに対応している。図 6 B を参照すると、領域 3 3 は弱め合う干渉領域に対応し、したがってマスクデザインでは、そこに配置された非位相シフト・フィーチャ 6 1 を有している。コンタクト・ホール 6 2 は、この非位相シフト・フィーチャ 6 1 と同じ位相を有している。弱め合う領域 6 1 を囲む領域は、図 3 C に関連して先に述べた強め合う干渉領域 3 2 に対応している。したがってこれらの領域は、マスクデザインではそこに配置された位相シフト・フィーチャ 6 5 を有している。対象の領域の外側の領域は中立であると考えられ、したがって、この領域には透過率ゼロのフィーチャ 6 6（すなわちクロム）が配置されている。所与の例では、位相シフト・フィーチャ 6 5 および非位相シフト・フィーチャ 6 1 の透過率は 1 0 0 % である。図 6 C および図 6 F は、それぞれ図 6 B および図 6 E に示したマスク・パターンのシミュレートされた 2 次元像を示している。ここでも対象の領域が拡張され、適用されるアシスト・フィーチャが多くなるにつれて、得られるプリント性能が向上する。

【 0 0 4 3 】

図 7 は、クエーサー照明を用いた図 5 B - C P L 1、図 5 E - C P L 2、および図 5 G - C P L 3 に示した 3 種類の C P L コンタクト・マスクデザインと、O P C なしの 9 % 減衰された一般的なコンタクト・ホール・マスクについて、ピークのエアリアル・イメージ強度を用いて予測されたプリント性能の比較を示している。

【 0 0 4 4 】

図示するように、可能なプリント性能の上限と下限をそれぞれ示すために、グラフは 9 % 減衰 P S M（通常の $\sigma = 0.35$ ）および 9 % 減衰 P S M（クエーサー）を含んでいる。図 7 を参照すると、コンタクト・ホール・マスクをプリントする場合、ピーク強度が高いほど、より適切なプリント性能が期待される。C P L 3 デザインは A S B および N P F の最も包括的なデザインを有するため、図示するように最も適切なプリント性能が期待される。C P L 1 デザインは比較的単純なデザインを有するが、それにもかかわらず、クエーサー照明の下での 9 % 減衰 P S M と比べてプリント性能が大幅に改善されている。最後に C P L 2 デザインは、9 % 減衰 P S M の通常の照明と実質的に同じ性能を有している。

【 0 0 4 5 】

図 8 は、輪帯照明を用いた図 6 B - C P L 1 および図 6 E - C P L 2 に示した 2 種類の C P L コンタクト・マスクデザインと、O P C なしの 9 % 減衰された一般的なコンタクト・ホール・マスクについて、ピークのエアリアル・イメージ強度を用いて予測されたプリ

10

20

30

40

50

ント性能の比較を示している。

【 0 0 4 6 】

図示するように、輪帯照明を用いた 9 % 減衰 P S M コンタクト (O P C なし) に対して、輪帯照明を用いた C P L コンタクト・マスクデザインは、ピークの強度レベルが大幅に向上している。クエーサー照明の例と同様に、O P C デザインが包括的になるほど、得られるプリント性能が向上する。図 8 に示すように、輪帯照明を用いた C P L 2 デザインの予測されるプリント性能は、9 % 減衰 P S M の通常の照明 ($\sigma = 0 . 3 5$) にきわめて近い。

【 0 0 4 7 】

本発明の方法は、例えば二重極照明など、他の照明と共に用いることもできることに留意されたい。図 9 A は、二重極照明の一例を示している。図 9 B は、孤立したコンタクト・ホールに伴って得られる干渉マップを示している。図 9 B に示すように、I M は強め合う干渉領域 9 1、弱め合う干渉領域 9 2、および中立領域 9 3 を示している。前述の図全体を通じて用いたこれまでの例と同様に、強め合う干渉領域 9 1 は、マスク・パターンではそこに配置された位相シフト・アシスト・フィーチャを有し、弱め合う干渉領域 9 2 は、マスク・パターンではそこに配置された非位相シフト・アシスト・フィーチャを有する。中立領域 9 3 は、そこに配置された透過率ゼロのアシスト・フィーチャを有する。図 9 C は、図 9 B に示した I M の 3 次元像を示している。図示するように I M は正值と負値の両方を有しており、それらを用いて強め合う干渉領域と弱め合う干渉領域が決定される。

【 0 0 4 8 】

図 1 0 A は、ランダムなコンタクト・パターンに対する I M の一例である。前述の例と同様に、視野の領域 1 0 1 はエアリアル・イメージ強度が 0 . 1 0 より大きい領域を表し、領域 1 0 2 はエアリアル・イメージ強度が 0 . 1 0 より小さい領域を表し、領域 1 0 4 はエアリアル・イメージ強度が 0 . 1 0 に近い領域を表している。このシミュレーションは、図 1 0 B に示すように、A r F、0 . 7 5 N A、0 . 9 7 / 0 . 7 2 / 3 0 - 四重極照明を用いて実施した。前述の例と同様に、I M が作成され前述の領域が決定された後、先に論じた方法で、マスク・パターンにアシスト・フィーチャを配置することができる。

【 0 0 4 9 】

したがって、本発明の方法は、I M と S B、A S B と N P F の使用を包含する新規な O P C 技術について記載するものである。本発明を用いることにより、ディープ・サブ波長の大きさの、全てのピッチ範囲のマスク・フィーチャに対して、O A I (または他の任意の照明) を用いて最適なプリント性能を達成することが可能になる。

【 0 0 5 0 】

また、最適な O P C マスクデザインを作成するために、本発明の方法を自動的に実施することも可能である。これは、M a s k W e a v e r など電子 C A D 設計ツールを用いて行うことができる。

【 0 0 5 1 】

図 1 1 は、本発明を用いてデザインされたマスクと共に使用するのに適したリソグラフィ投影装置を概略的に示している。この装置は、
 (1) この特定の場合には放射線源 L A をも備えた、放射線の投影ビーム P B を供給するための放射線システム E x、I L と、
 (2) マスク M A (例えばレチクル) を保持するためのマスク・ホルダを備えた第 1 のオブジェクト・テーブル (マスク・テーブル) M T であって、部材 P L に対してマスクを正確に位置決めするための第 1 の位置決め手段に接続された第 1 のオブジェクト・テーブル (マスク・テーブル) M T と、
 (3) 基板 W (例えばレジスト・コート・シリコン・ウェハ) を保持するための基板ホルダを備えた第 2 のオブジェクト・テーブル (基板テーブル) W T であって、部材 P L に対して基板を正確に位置決めするための第 2 の位置決め手段に接続された第 2 のオブジェク

10

20

30

40

50

ト・テーブル（基板テーブル） WT と、
 (4) マスク MA の照射された部分を基板 W の（例えば1つまたは複数のダイを含む）ターゲット部分 C に結像させるための投影システム（「レンズ」） PL （例えば屈折光学系、反射光学系、屈折反射光学系）とを備えている。

【0052】

本明細書で図示する装置は、透過タイプの（すなわち、透過性マスクを有する）ものである。しかし一般に、例えば（反射性マスクを有する）反射タイプのものであってもよい。あるいはマスク使用の代替形態として、他の種類のパターン形成手段を用いてもよい。その例には、プログラマブル・ミラー・アレイやLCDマトリクスが含まれる。

10

【0053】

放射線源 LA （例えば水銀ランプ、エキシマ・レーザーまたは放電プラズマ源）は放射線ビームを生成する。このビームは、直接、または例えばビーム・エキスパンダー Ex などの調節手段を通過した後に、照明系（照明器） IL 内に送られる。照明器 IL は、ビームの強度分布の外側および/または内側の半径方向範囲（それぞれ一般に - アウタ、 - インナとそれぞれ呼ばれる）を設定するための調整手段 AM を含むことができる。さらに、調整手段 AM は、一般には積算器 IN やコンデンサ CO など他の様々な構成要素を含む。このようにして、マスク MA 上に衝突するビーム PB は、その断面内に、所望される均一性および強度分布を有する。

【0054】

20

図11に関して、（例えば放射線源 LA が水銀ランプである場合によく見られるように）放射線源 LA はリソグラフィ投影装置のハウジング内であってもよいが、リソグラフィ投影装置から離し、それが生成する放射線ビームを（例えば適切な方向付けミラーを利用して）装置内に導くことも可能であることに留意すべきであり、この後者のケースは、放射線源 LA が（例えば KrF 、 ArF 、または F_2 レイジングをベースとする）エキシマ・レーザーである場合によく見られる。本発明は、これらのケースの両方を包含する。

【0055】

ビーム PB はその後、マスク・テーブル MT 上に保持されているマスク MA に遮られる。マスク MA を通過したビーム PB はレンズ PL を通過し、このレンズ PL はビーム PB を基板 W のターゲット部分 C の上に集束させる。第2の位置決め手段（および干渉測定手段 IF ）を用いて、基板テーブル WT を、例えば異なるターゲット部分 C をビーム PB の経路内に位置決めするように、正確に移動させることができる。同様に、例えばマスク・ライブラリからマスク MA を機械的に取り出した後、または走査中に、第1の位置決め手段を用いてマスク MA をビーム PB の経路に対して正確に位置決めすることができる。一般に、オブジェクト・テーブル MT 、 WT の移動は、長いストロークのモジュール（粗い位置決め）および短いストロークのモジュール（細かい位置決め）を用いて実現されるが、これらは図11に明示されていない。しかし、（ステップ・アンド・スキャン式ツールではなく）ウェハ・ステッパの場合には、マスク・テーブル MT を、短いストロークのアクチュエータに接続するだけでもよいし、または固定してもよい。

30

【0056】

40

図示したツールは、異なる2つのモードで使用することができる。
 (1) ステップ・モードでは、マスク・テーブル MT を本質的に静止した状態に保ち、マスクの像全体を1回（すなわち、ただ1回の「フラッシュ」）でターゲット部分 C の上に投影する。次いで、異なるターゲット部分 C をビーム PB で照射することができるように、基板テーブル WT を x および/または y 方向に移動させる。
 (2) 走査モードでは、所与のターゲット部分 C を1回の「フラッシュ」で露光しないことを除けば、本質的に同じ方法が適用される。その代わりに、マスク・テーブル MT は速度 v で所与の方向（例えば y 方向など、いわゆる「走査方向」）に移動可能であり、したがって投影ビーム PB はマスクの像全体を走査する。それと同時に、基板テーブル WT を、速度 $V = Mv$ （ただし、 M はレンズ PL の倍率であり、一般に $M = 1/4$ または $1/5$ ）

50

で同じ方向または反対方向に同時に移動させる。この方法では、解像度を損なうことなく、比較的大きいターゲット部分Cを露光することができる。

【0057】

コンピュータ・システムのソフトウェアの機能には、実行可能コードを含めたプログラム作成が含まれ、その機能を用いて上述の結像モデルを実現することができる。ソフトウェア・コードは、汎用コンピュータで実施可能なものである。操作時には、コードおよび関連する可能性のあるデータ・レコードを汎用コンピュータのプラットフォームに格納する。しかし普段は、ソフトウェアを他の場所に格納し、かつ/または伝送して適切な汎用コンピュータ・システムにロードするようにしてもよい。したがって先に論じた実施例には、機械で読み出し可能な少なくとも1つの媒体によって搬送される1つまたは複数のコード・モジュールの形の、1つまたは複数のソフトウェア製品が含まれる。コンピュータ・システムのプロセッサによってこうしたコードを実行することにより、プラットフォームは、本質的に本明細書で論じ図示する実施例の中で実施された方法で、カタログおよび/またはソフトウェア・ダウンロード機能を実施することが可能になる。

10

【0058】

本明細書で使用する、コンピュータまたは機械で「読み出し可能な媒体」などの用語は、プロセッサに対して実行命令を与えることに関与する任意の媒体を指す。こうした媒体は多くの形をとることが可能であり、それだけには限らないが、不揮発性媒体、揮発性媒体および伝送媒体が含まれる。不揮発性媒体には、例えば光ディスクや磁気ディスクなど、先に論じたサーバー・プラットフォームの1つとして動作する任意の(1つまたは複数の)コンピュータの任意の記憶装置などが含まれる。揮発性媒体には、こうしたコンピュータ・プラットフォームの主記憶装置などの動的記憶装置が含まれる。物理的な伝送媒体には、同軸ケーブルや、コンピュータ・システム内でバスを構成するワイヤを含めた銅線および光ファイバが含まれる。搬送波伝送媒体は、電気または電磁気信号、あるいは高周波(RF)および赤外線(IR)データ通信中に生成されるような音波または光波の形をとることができる。したがって、コンピュータで読み出し可能な媒体の一般的な形には、例えばフロッピー(登録商標)・ディスク、フレキシブル・ディスク、ハード・ディスク、磁気テープ、他の任意の磁気媒体、CD-ROM、DVD、他の任意の光媒体、また一般に使用されることは少ないが、パンチ・カード、紙テープ、穿孔パターンを用いた他の任意の物理媒体、RAM、PROMおよびEPROM、FLASH-EPROM、他の任意のメモリ・チップまたはカートリッジ、データまたは命令を伝送する搬送波、こうした搬送波を伝送するケーブルまたはリンク、あるいはコンピュータがプログラミング・コードおよび/またはデータをそれから読み出すことができる他の任意の媒体などが含まれる。これらの形のコンピュータで読み出し可能な媒体の多くは、プロセッサに対する1つまたは複数の実行命令の1つまたは複数のシーケンスの搬送に関与することができる。

20

30

【0059】

前述のように、本発明の方法は、従来技術にまさる重要な利点を提供する。最も重要なのは、本発明のOPC技術により、実質的にどんな照明条件を用いてもピッチに従ってディープ・サブ波長マスク・パターンを結像させることが可能になることである。その結果、本発明は、例えば、孤立したコンタクトから密なコンタクトまで、ランダムに配置されたコンタクトを有する(すなわち、すべてのコンタクトが互いに均一に配置されているわけではない)コンタクトの配列を単一の照明を用いてプリントする技術が可能になる。一方、孤立したフィーチャと密な間隔のフィーチャの両方をプリントして許容できる解像度の結果を得られるようにするためには、従来技術のOPC技術では一般に多重露光が必要であった。1つの固有の利点は、本発明がOAIを用いて全てのピッチ範囲のフィーチャに対して最適なプリント性能を実現することである。

40

【0060】

さらに、前述の方法の変形形態も可能である。例えばこの方法を、バイナリ・レチクル・パターン(0および+1の電界振幅)と位相シフト・レチクル・パターン(0、+1、および-1の電界振幅)の両方に用いることができる。前述の例では、暗視野マスク・タ

50

イブに明マスク・パターンをプリントするための本発明の方法を示した。しかし同じ方法を、明視野マスク・タイプに全てのピッチ範囲の暗フィーチャをプリントするために、同様に適切に適用することができる。

【0061】

さらに、本発明で開示した概念は、サブ波長のフィーチャを結像させるための任意の一般的な結像システムをシミュレートする、または数学的にモデル化することが可能であり、特にますます短くなる波長を発生させることが可能な新興の結像技術と共に用いることができる。既に使用されている新興技術には、ArFレーザーを用いた193nmの波長、さらにはフッ素レーザーを用いた157nmの波長を発生させることができるEUV（極端紫外線）リソグラフィが含まれる。さらにEUVリソグラフィは、20～5nmの範囲の光子を発生させるためにシンクロトロンを用いるか、またはある材料（固体またはプラズマ）に高エネルギーの電子をあてることにより、この範囲の波長を発生させることができる。この範囲内ではほとんどの材料が吸収性であるため、多層のモリブデンとシリコンを用いた反射ミラーによって照明を作成することができる。この多層ミラーは、各層の厚さが4分の1波長である40層の対のモリブデンとシリコンを有している。X線リソグラフィを用いて、さらに短い波長を発生させることもできる。一般に、シンクロトロンを用いてX線波長を発生させる。X線波長ではほとんどの材料が吸収性であるため、吸収材料の薄片により、フィーチャがプリントされる（ポジ型レジスト）場所、またはプリントされない（ネガ型レジスト）場所を決定する。

10

【0062】

本発明で開示した概念は、シリコン・ウェハなどの基板に結像させるために用いることができるが、任意のタイプのリソグラフィ結像システム、例えばシリコン・ウェハ以外の基板に結像させるために用いられるシステムなどと共に用いることもできることを理解すべきであることにも留意されたい。

20

【0063】

本発明のある特定の実施例を開示してきたが、本発明はその趣旨または本質的な特性から逸脱することなく、他の形で実施可能であることに留意されたい。したがって本実施例は、あらゆる点で例示的なものであり、限定的なものではないと考えられるべきであり、したがって、添付の特許請求の範囲で示されている本発明の範囲、ならびに特許請求の範囲と同等の意味および範囲に含まれる全ての変更は、その中に包含されるものである。

30

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1】本発明に従ってマスク・パターンにOPC技術を適用する方法を示す例示的な流れ図である。

【図2】従来技術を用いて、コンタクト・ホールをピッチに従ってプリントすることの問題点を示す図である。

【図3A】本発明の工程を用いて特定の照明設定から得られた本発明の干渉マップを示す図である。

【図3B】本発明の工程を用いて図3Aと同じ照明設定から得られた本発明の干渉マップを示す図である。

40

【図3C】本発明の工程を用いて特定の照明設定から得られた本発明の干渉マップを示す図である。

【図3D】本発明の工程を用いて図3Cと同じ照明設定から得られた本発明の干渉マップを示す図である。

【図3E】本発明の工程を用いて特定の照明設定から得られた本発明の干渉マップを示す図である。

【図3F】本発明の工程を用いて図3Eと同じ照明設定から得られた本発明の干渉マップを示す図である。

【図4A】ターゲットのマスク・パターンを変更してOPCフィーチャを含めるために、図3Aに示したIMをどのように用いることができるかを示す図である。

50

【図 4 B】ターゲットのマスク・パターンを変更して OPC フィーチャを含めるために、図 3 A に示した IM をどのように用いることができるかを示す図である。

【図 5 A】本発明による IM を用いてアシスト・フィーチャを含むマスク・パターンをどのように作成するか、ならびに得られるコンタクト・パターンのシミュレートされたエアリアル・イメージの例を示す図である。

【図 5 B】本発明による IM を用いてアシスト・フィーチャを含むマスク・パターンをどのように作成するか、ならびに得られるコンタクト・パターンのシミュレートされたエアリアル・イメージの例を示す図である。

【図 5 C】本発明による IM を用いてアシスト・フィーチャを含むマスク・パターンをどのように作成するか、ならびに得られるコンタクト・パターンのシミュレートされたエアリアル・イメージの例を示す図である。

10

【図 5 D】本発明による IM を用いてアシスト・フィーチャを含むマスク・パターンをどのように作成するか、ならびに得られるコンタクト・パターンのシミュレートされたエアリアル・イメージの例を示す図である。

【図 5 E】本発明による IM を用いてアシスト・フィーチャを含むマスク・パターンをどのように作成するか、ならびに得られるコンタクト・パターンのシミュレートされたエアリアル・イメージの例を示す図である。

【図 5 F】本発明による IM を用いてアシスト・フィーチャを含むマスク・パターンをどのように作成するか、ならびに得られるコンタクト・パターンのシミュレートされたエアリアル・イメージの例を示す図である。

20

【図 5 G】本発明による IM を用いてアシスト・フィーチャを含むマスク・パターンをどのように作成するか、ならびに得られるコンタクト・パターンのシミュレートされたエアリアル・イメージの例を示す図である。

【図 5 H】本発明による IM を用いてアシスト・フィーチャを含むマスク・パターンをどのように作成するか、ならびに得られるコンタクト・パターンのシミュレートされたエアリアル・イメージの例を示す図である。

【図 6 A】図 3 C に示した輪帯照明から得られた IM から、CPL の孤立したコンタクト・マスクをどのように作成するかを示す図である。

【図 6 B】図 3 C に示した輪帯照明から得られた IM から、CPL の孤立したコンタクト・マスクをどのように作成するかを示す図である。

30

【図 6 C】図 3 C に示した輪帯照明から得られた IM から、CPL の孤立したコンタクト・マスクをどのように作成するかを示す図である。

【図 6 D】図 3 C に示した輪帯照明から得られた IM から、CPL の孤立したコンタクト・マスクをどのように作成するかを示す図である。

【図 6 E】図 3 C に示した輪帯照明から得られた IM から、CPL の孤立したコンタクト・マスクをどのように作成するかを示す図である。

【図 6 F】図 3 C に示した輪帯照明から得られた IM から、CPL の孤立したコンタクト・マスクをどのように作成するかを示す図である。

【図 7】図 5 の 3 種類の CPL コンタクト・マスクデザインについて、ピークのエアリアル・イメージ強度を用いて予測されるプリント性能を比較した図である。

40

【図 8】図 6 の 2 種類の CPL コンタクト・マスクデザインについて、ピークのエアリアル・イメージ強度を用いて予測されるプリント性能を比較した図である。

【図 9 A】二重極照明の一例を示す図である。

【図 9 B】孤立したコンタクト・ホールに伴って得られる干渉マップを示す図である。

【図 9 C】コンター図。

【図 10 A】ランダムなコンタクト・パターンに対する IM の一例を示す図である。

【図 10 B】シミュレーションを行うために用いた照明器を示す図である。

【図 11】本発明を用いてデザインされたマスクと共に使用するのに適したリソグラフィ投影装置を概略的に示す図である。

【符号の説明】

50

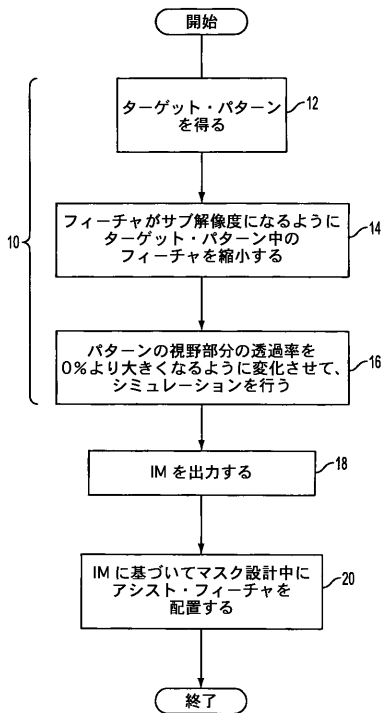
【 0 0 6 5 】

- 3 1、9 1 強め合う干渉領域
- 3 2、9 3 中立領域
- 3 3、9 2 弱め合う干渉領域
- 5 1 非プリント・フィーチャ
- 5 3、6 1 非位相シフト・フィーチャ
- 5 4、6 2 コンタクト・ホール
- 5 5、6 5 位相シフト・フィーチャ
- 5 6、6 6 透過率ゼロのフィーチャ
- C ターゲット部分
- C O コンデンサ
- E x ビーム・エキスパンダー
- I F 干渉測定手段
- I L 照明器
- I N 積算器
- L A 放射線源
- M A マスク
- M T マスク・テーブル
- P B 投影ビーム
- P L レンズ
- W 基板
- W T 基板テーブル

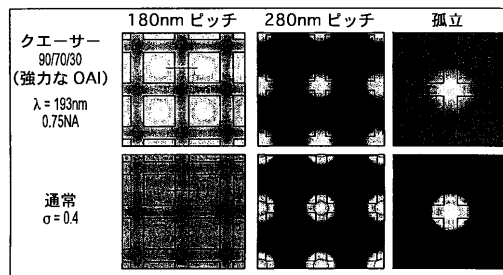
10

20

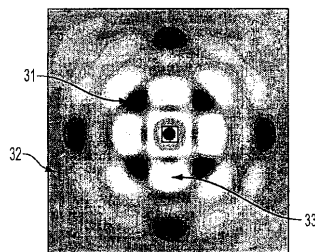
【 図 1 】



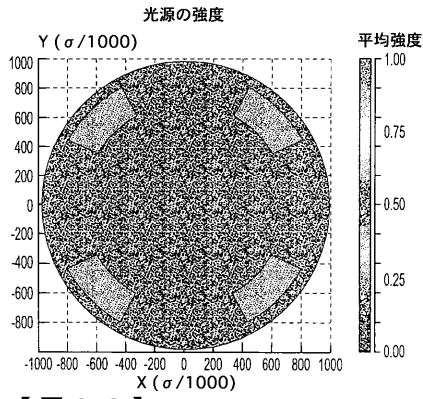
【 図 2 】



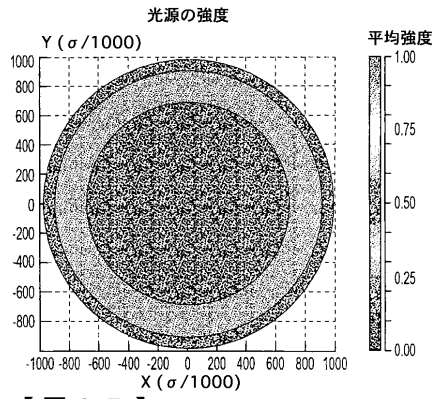
【 図 3 A 】



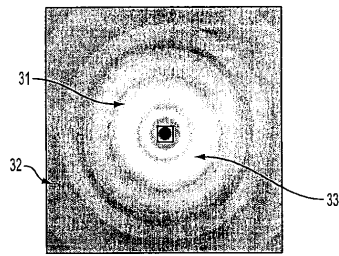
【図 3 B】



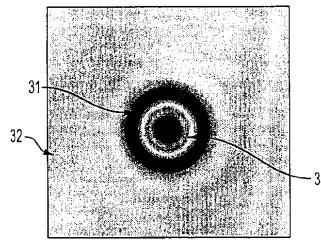
【図 3 D】



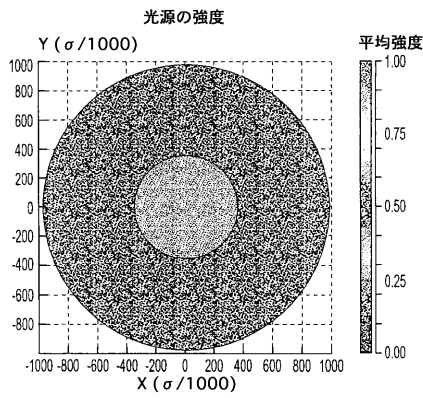
【図 3 C】



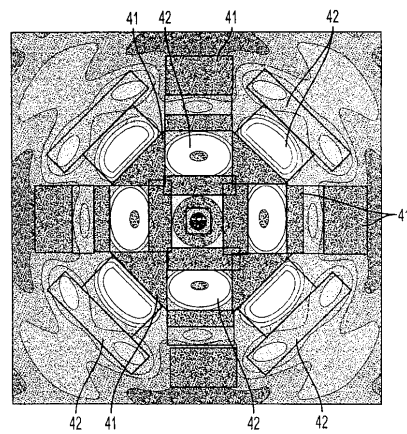
【図 3 E】



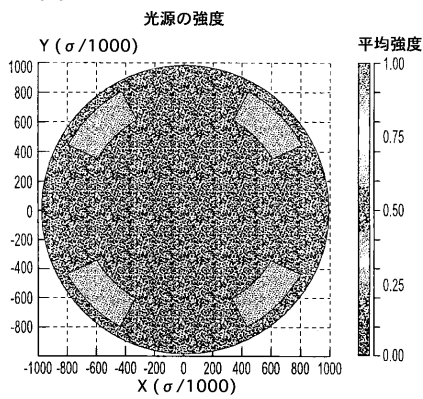
【図 3 F】



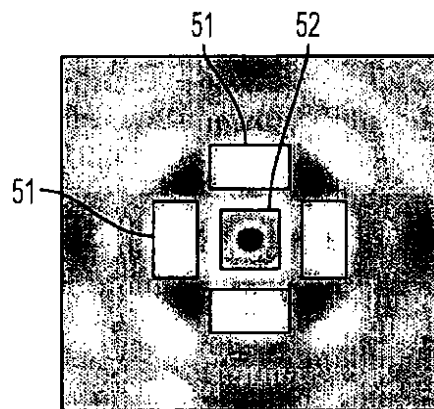
【図 4 B】



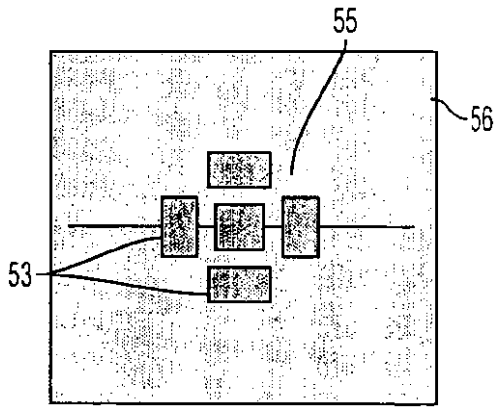
【図 4 A】



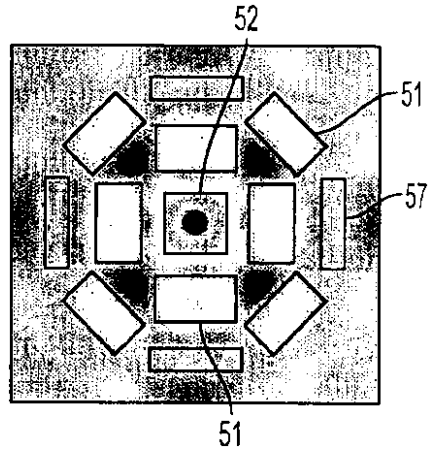
【図 5 A】



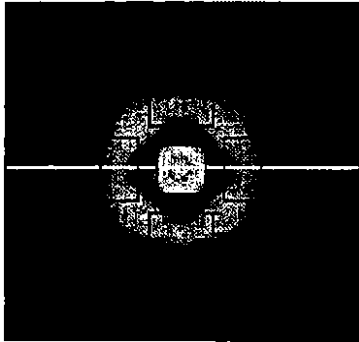
【 5 B 】



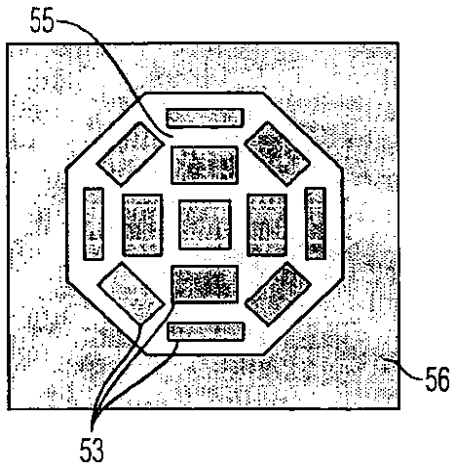
【 5 D 】



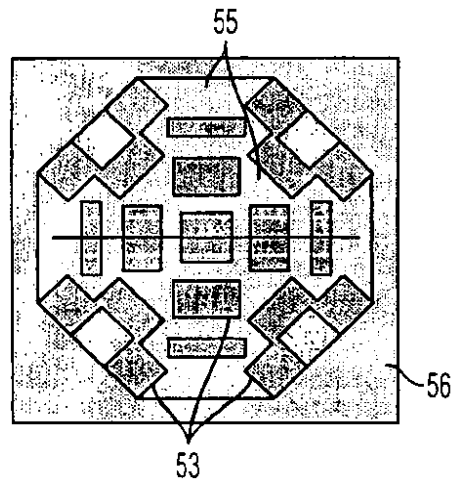
【 5 C 】



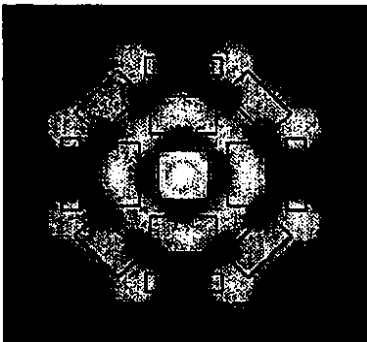
【 5 E 】



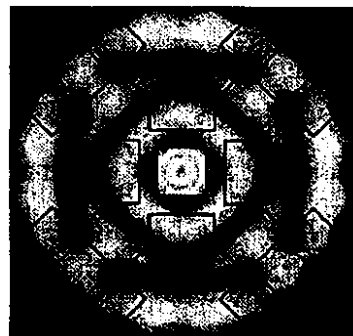
【 5 G 】



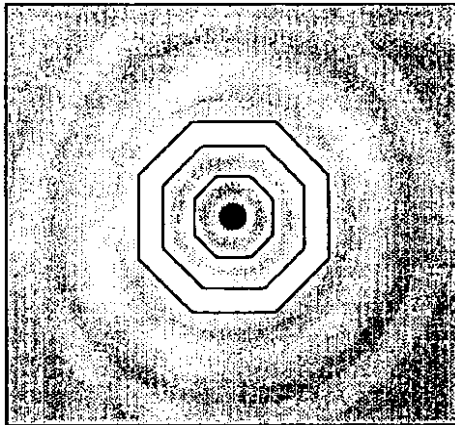
【 5 F 】



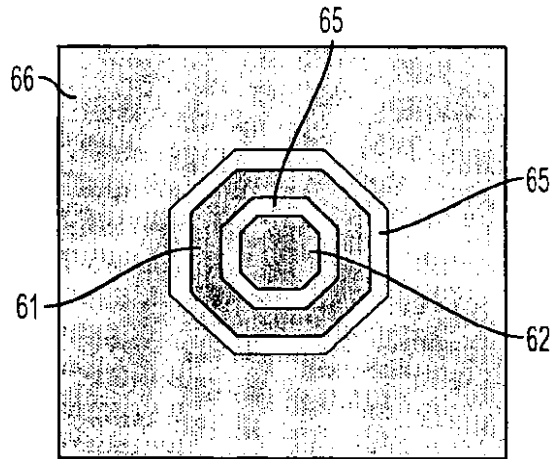
【 5 H 】



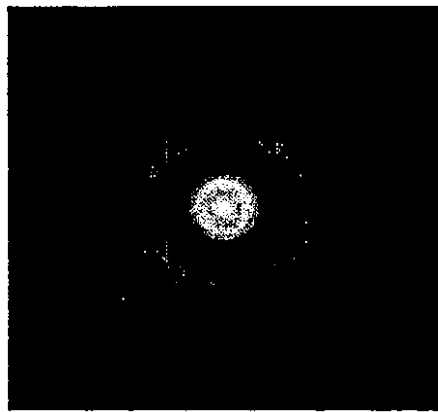
【図 6 A】



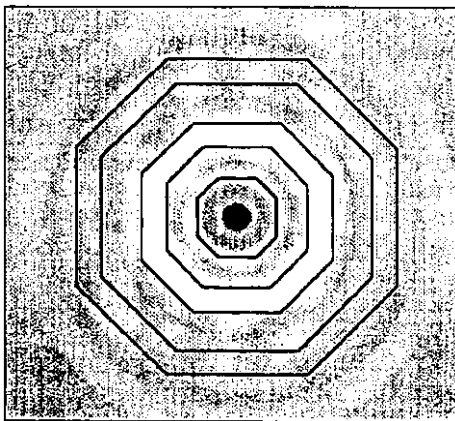
【図 6 B】



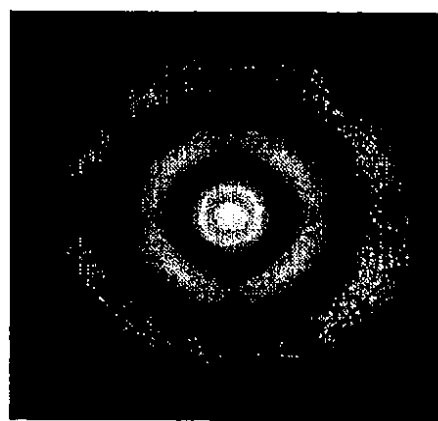
【図 6 C】



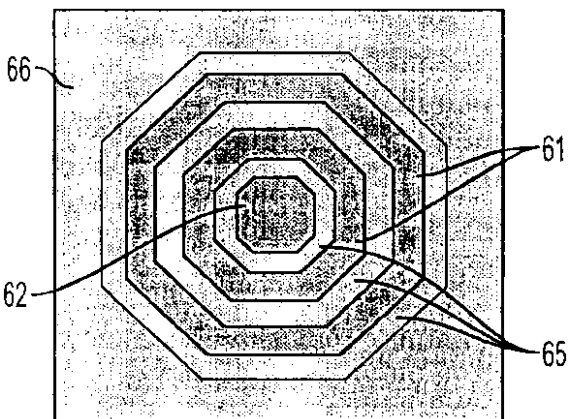
【図 6 D】



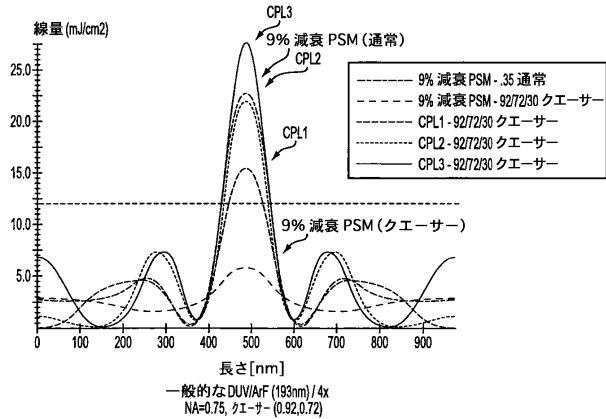
【図 6 F】



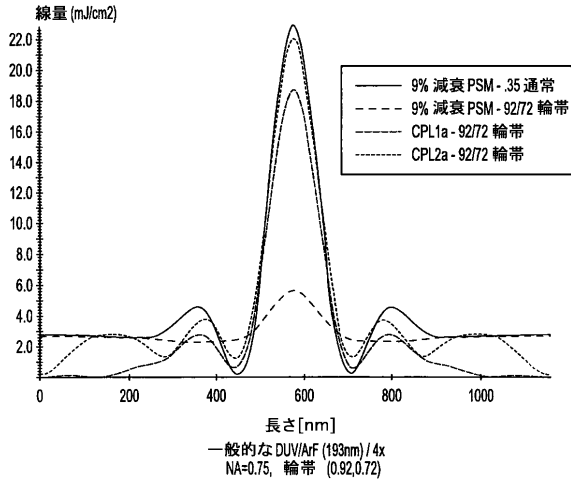
【図 6 E】



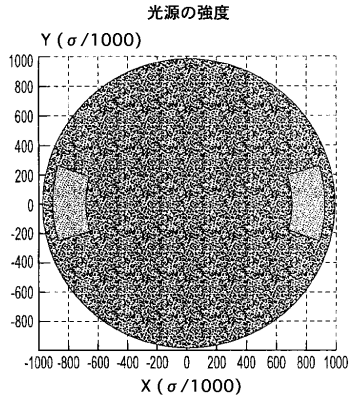
【図 7】



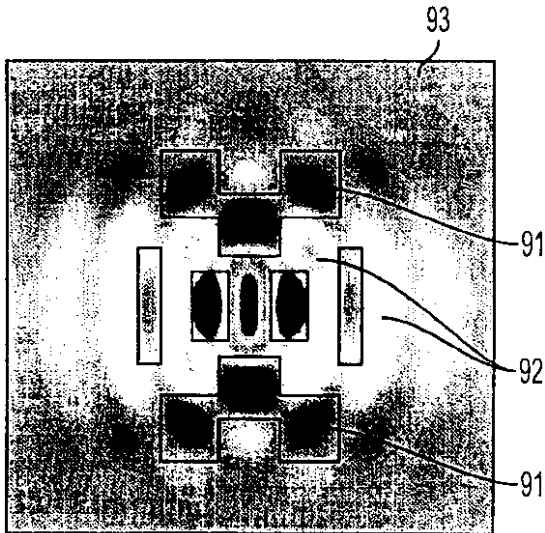
【 図 8 】



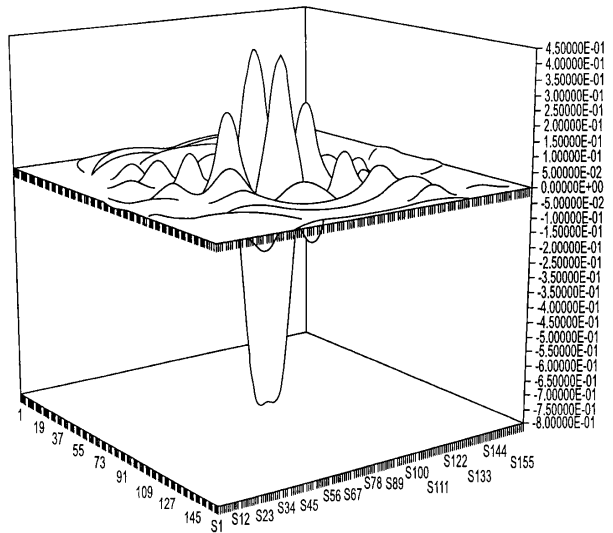
【 図 9 A 】



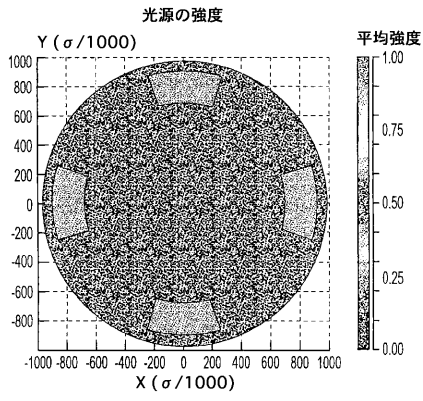
【 図 9 B 】



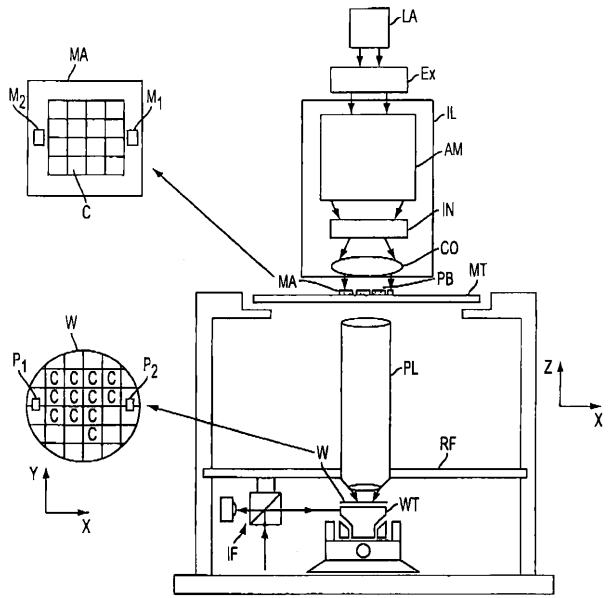
【 図 9 C 】



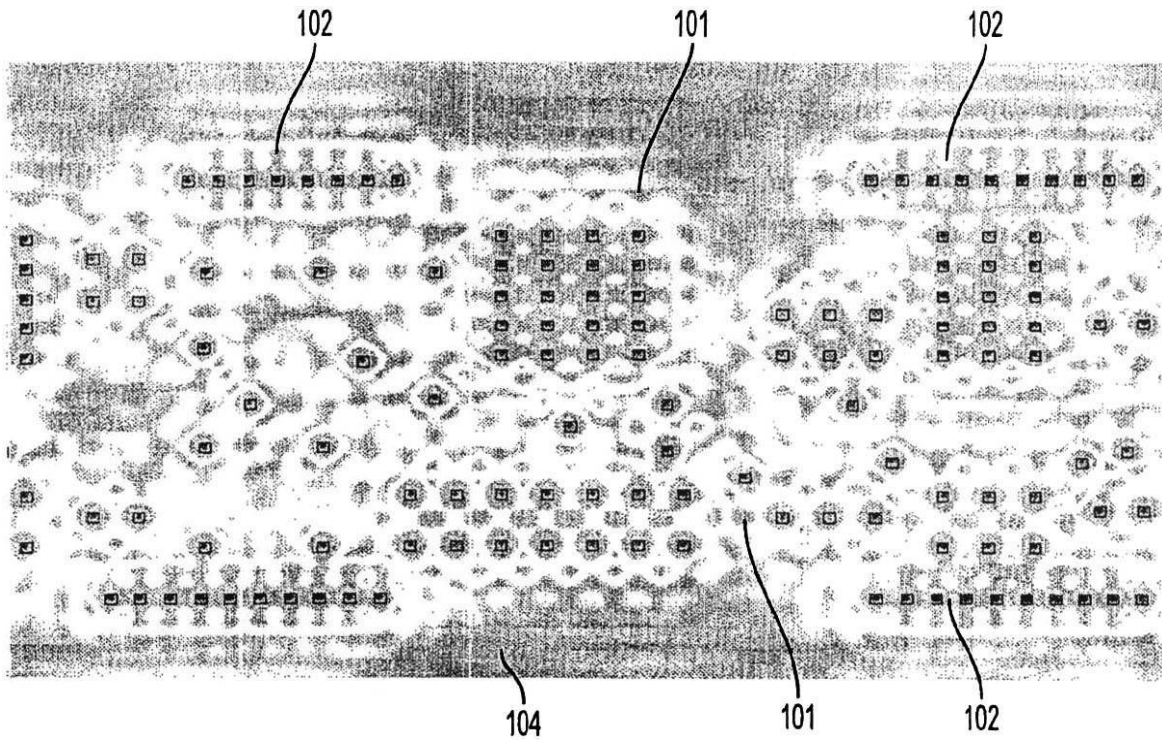
【図10B】



【図11】



【図10A】



フロントページの続き

- (72)発明者 ジャン フン チェン
アメリカ合衆国 カリフォルニア、クベルティアーノ パイン ブルック レイン 11752
- (72)発明者 トマス ライディグ
アメリカ合衆国 カリフォルニア、ポイント リッチモンド、 コテージ アベニュー 201
- (72)発明者 クート イー、ウァムブラー
アメリカ合衆国 カリフォルニア、サニーベイル カスケイド ドライブ 1098
- (72)発明者 デュアン - フ ステファン ハシュ
アメリカ合衆国 カリフォルニア、フリーモント、 アムバー プレース 40658

審査官 多田 達也

(56)参考文献 特開平04-216548(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 1/00 - 1/16