

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4491332号  
(P4491332)

(45) 発行日 平成22年6月30日 (2010. 6. 30)

(24) 登録日 平成22年4月9日 (2010. 4. 9)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 1 6 C

G O 3 F 7/20 (2006. 01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 17 外国語出願 (全 46 頁)

(21) 出願番号 特願2004-327534 (P2004-327534)  
 (22) 出願日 平成16年11月11日 (2004. 11. 11)  
 (65) 公開番号 特開2005-183938 (P2005-183938A)  
 (43) 公開日 平成17年7月7日 (2005. 7. 7)  
 審査請求日 平成19年3月29日 (2007. 3. 29)  
 (31) 優先権主張番号 530662  
 (32) 優先日 平成15年12月19日 (2003. 12. 19)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 502120538  
 エーエスエムエル マスクツールズ ビー  
 . ブイ.  
 オランダ国 ヴェルトホーフェン 550  
 4 ディー アール, デ ラン 6501  
 (74) 代理人 100079108  
 弁理士 稲葉 良幸  
 (74) 代理人 100093861  
 弁理士 大賀 真司  
 (74) 代理人 100109346  
 弁理士 大貫 敏史  
 (72) 発明者 ロバート ソチャ  
 アメリカ合衆国、カリフォルニア、キャム  
 ベル、 モンテ ヴィラ コート 137

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】最適化した偏光照明

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板の表面に形成すべきパターンの照明の偏光を最適化する方法であって、

(a) 少なくとも二つの偏光状態について照明器上の少なくとも一つの点に対して照明強度を決める工程、

(b) 前記少なくとも二つの偏光状態について前記照明器上の前記少なくとも一つの点に対して画像対数勾配 (I L S) を決める工程、

(c) 前記 I L S が前記照明器上の前記少なくとも一つの点に対して少なくともゼロに近い、最大画像対数勾配 (I L S) を決める工程、および

(d) 前記照明器上の前記少なくとも一つの点に対して前記最大 I L S に対応する最適偏光状態を選ぶ工程、を含む方法。 10

【請求項 2】

前記照明器上の複数の点の各々に対して工程 (a) ~ (d) を反復する工程をさらに含む請求項 1 に記載された照明の偏光を最適化する方法。

【請求項 3】

形態の対称性に関して前記照明器の一部上の複数の点の各々に対して工程 (a) ~ (d) を反復する工程をさらに含む請求項 1 に記載された照明の偏光を最適化する方法。

【請求項 4】

前記照明器の半分上の複数の点の各々に対して工程 (a) ~ (d) を反復する工程をさらに含む請求項 1 に記載された照明の偏光を最適化する方法。 20

**【請求項 5】**

前記パターン of の最適照明を創成するために、前記照明器上の複数の点の各々に対して最適偏光状態を組み合わせる工程をさらに含む請求項 2 に記載された照明の偏光を最適化する方法。

**【請求項 6】**

前記最適偏光状態が前記少なくとも二つの偏光状態の変形である請求項 1 に記載された照明の偏光を最適化する方法。

**【請求項 7】**

前記最適偏光状態が前記少なくとも二つの偏光状態の一つに対応する請求項 1 に記載された照明の偏光を最適化する方法。

10

**【請求項 8】**

前記少なくとも二つの偏光状態が少なくとも X および Y 偏光状態を含む請求項 1 に記載された照明の偏光を最適化する方法。

**【請求項 9】**

少なくとも一つの機械読取り可能媒体により可搬の実行可能コードを含むコンピュータ・プログラムプロダクトに於いて、少なくとも一つのプログラム式コンピュータによる前記コードの実行が前記少なくとも一つのプログラム式コンピュータに、基板の表面に形成すべきパターン用の偏光照明を最適化するための一連の工程を行わせ、

(a) 少なくとも二つの偏光状態について照明器上の少なくとも一つの点に対して照明強度を計算する工程、

20

(b) 前記少なくとも二つの偏光状態について前記照明器上の前記少なくとも一つの点に対して画像対数勾配 (ILS) を計算する工程、

(c) 前記 ILS の勾配が前記照明器上の前記少なくとも一つの点に対して少なくともゼロに近い、最大画像対数勾配 (ILS) を決める工程、および

(d) 前記照明器上の前記少なくとも一つの点について前記最大 ILS に対する最適偏光状態を選ぶ工程、を含むプログラムプロダクト。

**【請求項 10】**

プロダクト前記照明器上の複数の点の各々に対して工程 (a) ~ (d) を反復する工程をさらに含む請求項 9 に記載されたコンピュータ・プログラムプロダクト。

**【請求項 11】**

30

形態の対称性に関して前記照明器の一部上の複数の点の各々に対して工程 (a) ~ (d) を反復する工程をさらに含む請求項 9 に記載されたコンピュータ・プログラムプロダクト。

**【請求項 12】**

前記照明器の半分上の複数の点の各々に対して工程 (a) ~ (d) を反復する工程をさらに含む請求項 9 に記載されたコンピュータ・プログラムプロダクト。

**【請求項 13】**

前記パターン of の最適照明を創成するために、前記照明器上の複数の点の各々に対して最適偏光状態を組み合わせる工程をさらに含む請求項 9 に記載されたコンピュータ・プログラムプロダクト。

40

**【請求項 14】**

前記最適偏光状態が前記少なくとも二つの偏光状態の変形である請求項 9 に記載されたコンピュータ・プログラムプロダクト。

**【請求項 15】**

前記最適偏光状態が前記少なくとも二つの偏光状態の一つに対応する請求項 9 に記載されたコンピュータ・プログラムプロダクト。

**【請求項 16】**

前記少なくとも二つの偏光状態が少なくとも X および Y 偏光状態を含む請求項 9 に記載された照明器の偏光を最適化する方法。

**【請求項 17】**

50

プロセスウインドウを増大するために最適化した偏光照明を使ってマスク設計を基板の目標部分上に生み出す装置であって、

偏光した放射線の投影ビームを供給するための放射線システム、

前記放射線の投影ビームを受け且つ放射線の調整したビームをマスクの一部に投影するための照明器、および

マスクの対応する被照射部分を前記基板の前記目標部分上に結像するための投影システム、を含み、

前記照明器が複数の画素で前記複数の画素の各々での偏光および強度を最適化するように調整してあり、

前記複数の画素の各々での偏光および強度を、

(a) 少なくとも二つの偏光状態について照明器上の少なくとも一つの画素に対して照明強度を決める工程、

(b) 前記少なくとも二つの偏光状態について前記照明器上の前記少なくとも一つの画素に対して画像対数勾配 (ILS) を決める工程、

(c) 前記 ILS が前記照明器上の前記少なくとも一つの画素に対して少なくともゼロに近い、最大画像対数勾配 (ILS) を決める工程、

(d) 前記照明器上の前記少なくとも一つの画素に対して前記最大 ILS に対応する最適偏光状態を選ぶ工程、および

(e) 前記照明器上の前記複数の画素の各々に対して工程 (a) ~ (d) を反復する工程、

を実行することによって最適化するように構成したコンピュータシステムをさらに含む装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この特許出願、およびそれから発行されたいずれの特許も、2003年12月19日に提出した、“偏光で最適化したリソグラフィ照明”という名称の米国仮特許出願第60/530,662号からの優先権を主張し、その出願全体を参考までにここに援用する。

【0002】

この技術分野は、一般的には、基板の表面に形成すべきパターンの照明分布のために偏光を最適化するためのマイクロリソグラフィの方法およびプログラムプロダクトに関する。

【背景技術】

【0003】

リソグラフィ装置は、例えば、集積回路 (IC) の製造に使うことができる。そのような場合、マスクがこの IC の個々の層に対応する回路パターンを含んでもよく、このパターンを、放射線感応性材料 (レジスト) の層で塗被した基板 (シリコンウエハ) の目標部分 (例えば、一つ以上のダイを含む) 上に結像することができる。一般的に、単一ウエハが隣接する目標部分の全ネットワークを含み、それらをこの投影システムを介して、一度に一つずつ、順次照射する。ある種類のリソグラフィ投影装置では、全マスクパターンをこの目標部分上に一度に露光することによって各目標部分を照射し、そのような装置を普通ウエハステッパと呼ぶ。普通ステッパアンドスキャン装置と呼ぶ、代替装置では、マスクパターンを投影ビームの下で与えられた基準方向 (“走査” 方向) に順次走査することによって各目標部分を照射し、一方、基板テーブルをこの方向に平行または逆平行に同期して走査する。一般的に、投影システムの倍率が  $M$  (一般的に  $< 1$ ) であるので、この基板テーブルを走査する速度  $V$  は、倍率  $M$  掛けるマスクテーブルを走査する速度である。ここに説明したようなリソグラフィ装置に関する更なる情報は、例えば、米国特許第6,046,792号明細書から収集することができ、それを参考までにここに援用する。

【0004】

リソグラフィ投影装置を使う製造プロセスでは、マスクパターンを、少なくとも部分的

10

20

30

40

50

に放射線感応材料（レジスト）の層で覆われた基板上に結像する。この結像工程の前に、基板は、例えば、下塗り、レジスト塗布およびソフトベークのような、種々の処理を受けるかも知れない。露光後、基板は、例えば、露光後ベーク（PEB）、現像、ハードベークおよび結像形態の測定／検査のような、他の処理を受けるかも知れない。この一連の処理は、デバイス、例えばICの個々の層をパターン化するための基礎として使用する。そのようにパターン化した層は、次に、エッチング、イオン注入（ドーピング）、金属化処理、酸化処理、化学・機械的研磨等のような、全て個々の層の仕上げを意図した種々の処理を受けるかも知れない。もし、幾つかの層が必要ならば、全処理またはその変形を各新しい層に反復しなければならないだろう。結局、デバイスのアレイが基板（ウエハ）上にできる。次に、これらのデバイスをダイシングまたは鋸引のような手法によって互いから分離し、そこから個々のデバイスをキャリアに取付け、ピンに接続する等できる。

10

#### 【0005】

簡単のために、この投影システムを、以後“レンズ”と呼ぶかも知れないが、この用語は、例えば、屈折性光学素子、反射性光学素子、および反射屈折性光学素子を含む、種々の型式の投影システムを包含するように広く解釈すべきである。この放射線システムも放射線の投影ビームを指向し、成形しまたは制御するためにこれらの設計形式の何れかに従って作用する部品を含んでもよく、そのような部品も以下で集合的または単独に“レンズ”と呼ぶかも知れない。更に、このリソグラフィ装置は、二つ以上の基板テーブル（および／または二つ以上のマスクテーブル）を有する型式でもよい。そのような“多段”装置では、追加のテーブルを並列に使ってもよく、または準備工程を一つ以上のテーブルで行い、一方他の一つ以上のテーブルを露光に使ってもよい。二段階リソグラフィ装置は、例えば、米国特許第5,969,441号明細書に記載しており、それを参考までにここに援用する。

20

#### 【0006】

上に言及したフォトリソグラフィマスクは、シリコンウエハ上に集積すべき回路部品に相当する幾何学的パターンを含む。そのようなマスクを創成するために使うパターンは、CAD（コンピュータ支援設計）プログラムを使って生成し、このプロセスをしばしばEDA（電子的設計自動化）と呼ぶ。大抵のCADプログラムは、機能的マスクを創成するために一組の所定のデザインルールに従う。これらのルールは、処理および設計限界によって設定してある。例えば、デザインルールは、回路素子（例えば、ゲート、コンデンサ等）または接続線が互いに望ましくない方法で影響し合わないことを保証するように、これらの回路素子または線間のスペース許容差を定める。これらのデザインルール限界を典型的には“限界寸法”CDと呼ぶ。回路の限界寸法は、線若しくは孔の最小幅または二つの線若しくは二つの孔の間の最小スペースと定義することができる。それで、CDが設計した回路の全体のサイズまたは密度を決める。

30

#### 【0007】

勿論、集積回路製作での目標の一つは、ウエハ上に元の回路設計を忠実に再現することである（マスクを介して）。もう一つの目標は、半導体ウエハ実体財産をできるだけ多く使うことである。更にもう一つの目標は、照明を最適化し、ウエハ上の像のコントラストを向上することである。全体のプロセスウインドウ（即ち、指定したCDの形態を、その形態が孤立しているか、隣接する形態に関して密に詰っているかに関係なく、一貫してプリントする能力）を増すことによって、これらの目標の各々をより容易に達成できるかも知れない。

40

#### 【0008】

全体的プリント性能を改善するように源照明およびマスクパターンを最適化する方法は、先行技術に開示してある。そのような方法の一つは、ローゼンブルース外の米国特許第6,563,566号明細書であり、それを参考までにここに援用する。具体的に言えば、ローゼンブルースは、与えられたマスクパターンのプリントを改善するために源照明およびマスクパターンの最適化を行うことを主張するリソグラフィ最適化システムを開示している。この源／マスクパターンの最適組合せを決めるためにローゼンブルースが使った

50

価値ある関数は、パターン幾何形状の境界に沿って予め選択した多数の点での空中像対数勾配である。この最適化アルゴリズムは、リソグラフィパターンのプリントが単に結像瞳で収集した複数次回折の集合によって決り、瞳面でのそれらの位置に無関係であるという仮定に基づくようだ。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

パターンの選択したサンプリング位置での空中像対数勾配の最大化は、普通露光ラチチュード (EL) と呼ぶ、露光変動に対するバジェット / 許容差を拡大するが、普通焦点深度 (DOF) と呼ぶ、焦点変動に対するバジェット / 許容差を増大するのには役立たない。実際、合焦条件下で (即ち、DOF ゼロで) EL を最適化したパターンは、ピンぼけ変動を受入れる典型的プロセス条件に対して最適化したパターンに比べて、相補の結果を示すことが知られている。もう一つの問題は、不均一なラインプリントの発生、即ち、レジストに作ったラインの中間点でのコントラストがラインの端の点でのコントラストより大きいことである。従って、EL を向上するように、形態を高精度でプリントするために照明を最適化することが望ましい。

【0010】

偏光は、大抵の照明には存在するが、レジストでの入射角が浅いので、低開口数 (NA) のシステムには無視できる。従って、偏光からのどのマイナスまたはプラスの影響も極小である。上に言及したように、フォトリソグラフィ結像は、予想通りに次第に小さい形態サイズの方へ移行している。小さい形態を得る一つの方法は、NA を増すことである。しかし、レジストでの入射角が増し、それで偏光によって生じるマイナス効果が増大し、画像コントラストが小さくなる。従って、特に高 NA システムでは、これらの問題を克服することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0011】

開示した構想は、基板の表面に形成すべきパターンのために照明を最適化する方法を含む。この方法は、少なくとも二つの偏光状態について照明器上の少なくとも一つの点に対して照明強度を決る工程を含む。更に、これら少なくとも二つの偏光状態についてこの照明器上のこの少なくとも一つの点に対して画像対数勾配 (ILS) を決める。これらの値に基づいて、この ILS がこの照明器上のこの少なくとも一つの点に対して少なくともゼロに近い、最大画像対数勾配 (ILS) を決め、およびこの照明器上のこの少なくとも一つの点に対してこの最大 ILS に対応する最適偏光状態を選ぶ。従って、偏光した照明をこの照明器上のこの少なくとも一つの点に対して最適化するだろう。このプロセスをこの照明器上の複数の点の各々に対して反復してもよい。この照明器上の複数の点の各々に対して最適偏光状態を組合わせることによって、このパターンの最適照明を決める。この最適偏光状態は、これら少なくとも二つの偏光状態の変形、若しくは組合せでもよく、またはこれら少なくとも二つの偏光状態の一つに対応してもよい。その上、これら少なくとも二つの偏光状態が少なくとも X および Y 偏光状態を含んでもよい。

【0012】

上に説明した構想は、少なくとも一つの機械読取可能な媒体により可搬の実行可能コードを含むコンピュータ・プログラムプロダクトによって実現してもよく、少なくとも一つのプログラム式コンピュータによるこのコードの実行がこの少なくとも一つのプログラム式コンピュータに、基板の表面に形成すべきパターン用の偏光照明を最適化するための一連の工程を行わせる。このコンピュータ・プログラムプロダクトは、少なくとも二つの偏光状態について照明器上の少なくとも一つの点に対して照明強度を計算し、これら少なくとも二つの偏光状態についてこの照明器上のこの少なくとも一つの点に対して画像対数勾配 (ILS) を計算し、画像対数勾配 (ILS) がこの照明器上のこの少なくとも一つの点に対して少なくともゼロに近い、最大画像対数勾配 (ILS) を決め、およびこれら少なくとも二つの偏光状態に対応し、この照明器上のこの少なくとも一つの点について IL

10

20

30

40

50

S を最小にする最適偏光状態を選ぶ。このコンピュータ・プログラムプロダクトは、上に議論した工程をこの照明器上の複数の点の各々に対して反復してもよい。

【 0 0 1 3 】

開示した構想の更にもう一つの態様は、プロセスウインドウを増大するために最適化した偏光照明を使ってマスク設計を生み出す装置を含む。この装置は、偏光した放射線の投影ビームを供給するための放射線システム、この放射線の投影ビームを受け且つ放射線の調整したビームをマスクの一部に投影するための照明器、およびマスクの対応する被照射部分を基板の目標部分上に結像するための投影システムを含む。この照明器は、複数の点でこれらの複数の点の各々での偏光および強度を最適化するように調整してある。その上、この装置は、この複数の点の各々での偏光および強度を、少なくとも二つの偏光状態について照明器上の少なくとも一つの点に対して照明強度を決める工程、これら少なくとも二つの偏光状態についてこの照明器上のこの少なくとも一つの点に対して画像対数勾配 ( I L S ) を決める工程、この I L S がこの照明器上のこの少なくとも一つの点に対して少なくともゼロに近い、最大画像対数勾配 ( I L S ) を決める工程、これら少なくとも二つの偏光状態に対応し、この照明器上のこの少なくとも一つの点について I L S を最小にする最適偏光状態を選ぶ工程；およびこの照明器上のこれら複数の点の各々に対してこれらの工程を反復する工程を実行することによって最適化するように構成したコンピュータシステムを含む。

10

【 0 0 1 4 】

本発明の前記およびその他の特徴、態様、および利点は、以下の本発明の詳細な説明を添付の図面と共に検討すれば、より明白となる。

20

【実施例】

【 0 0 1 5 】

マイクロリソグラフィで、フォトレジスト層に付ける画像の解像度は、光学システムの開口数 ( N A ) を増すと向上する。高解像度では、高いプロセスウインドウが可能である。しかし、そのようなシステムは、空気を通る回折によって制限される。高 N A のシステムは、光学システムのレンズとウエハ上のフォトレジスト層の間に水を加えることによって達成可能であることが分っていて、屢々浸漬リソグラフィと呼ばれる。しかし、光学システムの N A を増すことによって、フォトレジストへの電界のマイナス効果も強まる。それで、高 N A を維持しながら、電界のマイナス効果を減少することが望ましい。これらのマイナスの電界効果を減少する一つの方法は、照明を偏光することである。偏光した照明は、露光ラチチュードおよびプロセスウインドウを乾式システムでも同様に増大することが分っている。

30

【 0 0 1 6 】

各成分が互いに直交し、光学ではしばしば“ S 偏光 ” および“ P 偏光 ” と呼ばれる、2種類の偏光がある。S 偏光では、電界が常に光の伝播方向と直角を成す。光が常にこの伝播方向と直角であるために、S 偏光の二つの光ビームが干渉するとき、当業者によく知られているように、それらは非常によいコントラストを成す。P 偏光に関しては、電界が光の伝播平面内にあって、相殺的干渉を生じ、それがあの場合には好ましい。結果として、高 N A システムでは、S および P 偏光をできるだけ最適化するのが望ましい。

40

【 0 0 1 7 】

しばしば偏光を X および Y 偏光と呼ぶことがある。それにも拘らず、S および P と X および Y 偏光との間の関係はよく知られている。P 偏光は、マスク形態と直角を成す方向 ( Y 方向に向いたマスク形態についての X 方向 ) に対応する。S 偏光は、このマスク形態と平行な方向 ( Y 方向に向いたマスク形態についての Y 方向 ) に対応する。数学的には、P 偏光は、

$$\hat{p} = \hat{x} \cos \phi + \hat{y} \sin \phi$$

によってXおよびY偏光と関係付けられ、並びにS偏光は、

$$\hat{s} = -\hat{x} \sin \phi + \hat{y} \cos \phi$$

によってXおよびY偏光と関係付けられ、ここで

$$\phi = \tan^{-1}(B/\alpha)$$

10

並びに座標

$\alpha$

および

$\beta$

20

を決めてもよい。

【0018】

図1Aは、例示的な煉瓦壁孤立マイクロリソグラフィ・マスクパターンを示し図1Bは、そのパターンを結像するための照明器を示す。図1Bの照明器上の点は、軸  $s_x$  および  $s_y$  を有するデカルト座標グリッドによって表してもよく、この照明器上の各点をレチクル上の空中像、または照明強度を決めるために解析してもよい。図1C-1および図1C-2は、それぞれ、図1Bの照明器上の点2でのXおよびY偏光の空中像を示す。図1C-3および図1C-4は、それぞれ、図1Bの照明器上の点4でのXおよびY偏光の空中像を示す。

【0019】

30

具体的言うと、図1C-1および図1C-2は、それぞれ、照明器上の点2 ( $s_x, 0.78$ ;  $s_y, 0.46$ ) についてマスクでのX偏光およびマスクでのY偏光の空中像を示す。これらの空中像で分るように、Y偏光(図1C-2)は、X偏光(図1C-1)よりコントラストがよい。従って、Y偏光を最大化し且つX偏光(図1C-1)を制限するように両XおよびY偏光を考慮に入れて照明器を設計するのが望ましいだろう。

【0020】

また、マスクでのX偏光およびマスクでのY偏光の空中像(それぞれ、図1C-3および図1C-4)を参照すると、点4 ( $s_x, 0.02$ ;  $s_y, 0.02$ ) についてのX偏光(図1C-3)がY偏光(図1C-4)よりコントラストがよい。従って、照明器上のこの点では、X偏光を最大化することが望ましいだろう。

40

【0021】

その結果、各セルまたは照明器の点の間でX偏光およびY偏光のバランスをとることによって、全体の照明を最適化し、既存のシステムよりコントラストまたは解像度を良くする結果となる。

【0022】

照明器上の各点を、最適コントラストの空中像を作る偏光状態を決めるために解析してもよい。しかし、前記の方法で照明器の複数の点について空中像を手作業で解析することは、かなり時間が掛る。本発明者は、偏光した照明を最適化するための更に新規な手法を案出した。

【0023】

50

図 2 は、本開示に従って照明強度を最適化するために使ったプロセスの流れ図を示す。最初に、ステップ 20 で、セルの種類（例えば、所望のマスクパターンの領域）およびフラグメンテーション点（例えば、このセルに含まれる点）を選択する。図 4 A および図 16 A に示すように、このセルに例示的煉瓦壁マスクパターンをを選択し、且つ三つのフラグメンテーション点 1、2、および 3 を選択した。これらの点は、それぞれ、ラインの端（フラグメンテーション点 1）、ラインの中間（フラグメンテーション点 2）、および二つのラインを橋絡する点（フラグメンテーション点 3）に対応する。どんなフラグメンテーション点の番号を与えられたセルに選んでもよく、屢々このパターンの複雑さに依る。説明目的で、三つのフラグメンテーション点を選び、汎用形態型式を表す。勿論、更に多くのフラグメンテーション点を使えば、ここに説明する最適化手法の精度を増す。

10

【0024】

図 2 に戻って参照して、ステップ 21 で、ウエハ面（像面）の各点（ $x, y$ ）での強度を、アッペ（Abbe）の結像の理論を使って、各偏光状態  $J_x(s, s)$  および  $J_y(s, s)$  に対して照明器面の各点（ $s, s$ ）から決める。照明点（ $s, s$ ）での強度から生じるウエハ点（ $x, y$ ）での強度伝達関数を表す、 $I(s, s; x, y)$  に関する式を生成してもよい。与えられた方法で強度を決めるための方程式は、当業者に知られている。強度伝達関数、 $I(s, s; x, y)$  を式 3.0（後に議論する）に示す。

【0025】

ステップ 22 で、正規化画像対数勾配（NILS）または画像対数勾配（ILS）を各偏光状態  $J_x(s, s)$  および  $J_y(s, s)$  に対しておよび各フラグメンテーション点（ $x, y$ ）で決める。この強度決定に次いで、画像対数勾配（ILS）を式 1.0 に従って決めてもよい。

20

【0026】

【数 1】

$$\text{式 1.0} \rightarrow ILS(x, y) = \hat{n} \cdot \nabla \ln[I(x, y)] = \hat{n} \cdot \hat{n} \cdot \left[ \hat{x} \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} \right] \frac{1}{I(x, y)}$$

【0027】

30

実際問題として、式 2.0 によって与えられるように、ILS を正規化するのが最善である。

【0028】

【数 2】

$$\text{式 2.0} \rightarrow NILS(x, y) = w \hat{n} \cdot \nabla \ln[I(x, y)]$$

但し、 $w$  は、CD または  $\lambda / NA$  のような長さの単位を伴う正規化係数である。

【0029】

40

結果として、 $I(s, s; x, y)$  および  $NILS(s, s; x, y)$  が決定されてもよい。式 3.0 は、式 1.0 および 2.0 に加えた  $I(x, y)$  に相当する。

【0030】

【数 3】

$$\begin{aligned} \text{式 3.0} \rightarrow I(x, y) = & \iint d\alpha_s d\beta_s \{ J_x(\alpha_s, \beta_s) [I_{xx}(\alpha_s, \beta_s; x, y) + I_{yx}(\alpha_s, \beta_s; x, y) + I_{xx}(\alpha_s, \beta_s; x, y)] \\ & + J_y(\alpha_s, \beta_s) [I_{xy}(\alpha_s, \beta_s; x, y) + I_{yy}(\alpha_s, \beta_s; x, y) + I_{xy}(\alpha_s, \beta_s; x, y)] \} \end{aligned}$$

【0031】

50



但し：

$I_{xx}$  は、物体面で  $x$  方向偏光を伴うフィールドから生じる像面での  $x$  方向の強度を表し、

$I_{yx}$  は、物体面で  $x$  方向偏光を伴うフィールドから生じる像面での  $y$  方向の強度を表し、

$I_{zx}$  は、物体面で  $x$  方向偏光を伴うフィールドから生じる像面での  $z$  方向の強度を表し、

$I_{xy}$  は、物体面で  $y$  方向偏光を伴うフィールドから生じる像面での  $x$  方向の強度を表し、

$I_{yy}$  は、物体面で  $y$  方向偏光を伴うフィールドから生じる像面での  $y$  方向の強度を表し、および 10

$I_{zy}$  は、物体面で  $y$  方向偏光を伴うフィールドから生じる像面での  $z$  方向の強度を表す。

【0032】

スペースを節約するために、式 1 . 0 を拡張するための以下の式（式 4 . 0 および 4 . 1）では、全ての強度、 $I$ 、および全ての電界成分、 $E$ 、に対して（ $x$  ,  $y$ ）を省略し、並びに（ $s$  ,  $s$ ）を全ての照明強度  $J_x$  および  $J_y$  に対して省略した。

【0033】

【数 4】

$$\text{式 4.0} \rightarrow \frac{\partial I}{\partial x} = \iint d\alpha_s d\beta_s \left[ J_x \left( \frac{\partial I_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial I_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial I_{zx}}{\partial x} \right) + J_y \left( \frac{\partial I_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial I_{yy}}{\partial x} + \frac{\partial I_{zy}}{\partial x} \right) \right]$$

20

$$\text{式 4.1} \rightarrow \frac{\partial I}{\partial y} = \iint d\alpha_s d\beta_s \left[ J_x \left( \frac{\partial I_{xx}}{\partial y} + \frac{\partial I_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial I_{zx}}{\partial y} \right) + J_y \left( \frac{\partial I_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial I_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial I_{zy}}{\partial y} \right) \right]$$

【0034】

$$I_{xx} = E_{xx} E_{xx}^*$$

30

またはより一般的に強度および電界成分に対して、 $ij$  は、像面での偏光状態、 $j$  による、物体面での偏光状態、 $i$  を表し、且つ式 5 . 0 の一般的表記法によって与えられる。

$$\text{式 5.0} \rightarrow I_{ij} = E_{ij} E_{ij}^*$$

【0035】

式 4 . 0 および 4 . 1 は、以下の方法で更に拡張してもよい。

40

【数5】

$$\begin{aligned}
\frac{\partial I_{xx}}{\partial x} &= \frac{\partial E_{xx}}{\partial x} E_{xx}^* + E_{xx} \frac{\partial E_{xx}^*}{\partial x} & \frac{\partial I_{ij}}{\partial x} &= \frac{\partial E_{ij}}{\partial x} E_{ij}^* + E_{ij} \frac{\partial E_{ij}^*}{\partial x} \\
\frac{\partial I_{xx}}{\partial y} &= \frac{\partial E_{xx}}{\partial y} E_{xx}^* + E_{xx} \frac{\partial E_{xx}^*}{\partial y} & \frac{\partial I_{ij}}{\partial y} &= \frac{\partial E_{ij}}{\partial y} E_{ij}^* + E_{ij} \frac{\partial E_{ij}^*}{\partial y} \\
\frac{\partial E_{xx}}{\partial x} &= j2\pi \left( \frac{m}{P_x} + \frac{NA\alpha_s}{\lambda} \right) E_{xx} & \frac{\partial E_{ij}}{\partial x} &= j2\pi \left( \frac{m}{P_x} + \frac{NA\alpha_s}{\lambda} \right) E_{ij} \\
\frac{\partial E_{xx}^*}{\partial x} &= -j2\pi \left( \frac{m}{P_x} + \frac{NA\alpha_s}{\lambda} \right) E_{xx}^* & \frac{\partial E_{ij}^*}{\partial x} &= -j2\pi \left( \frac{m}{P_x} + \frac{NA\alpha_s}{\lambda} \right) E_{ij}^* \\
\frac{\partial E_{xx}}{\partial y} &= j2\pi \left( \frac{n}{P_y} + \frac{NA\beta_s}{\lambda} \right) E_{xx} & \frac{\partial E_{ij}}{\partial y} &= j2\pi \left( \frac{n}{P_y} + \frac{NA\beta_s}{\lambda} \right) E_{ij} \\
\frac{\partial E_{xx}^*}{\partial y} &= -j2\pi \left( \frac{n}{P_y} + \frac{NA\beta_s}{\lambda} \right) E_{xx}^* & \frac{\partial E_{ij}^*}{\partial y} &= -j2\pi \left( \frac{n}{P_y} + \frac{NA\beta_s}{\lambda} \right) E_{ij}^*
\end{aligned}$$

10

$$E_{xx} = \exp \left[ jx2\pi \left( \frac{m}{P_x} + \frac{NA\alpha_s}{\lambda} \right) \right] \exp \left[ jy2\pi \left( \frac{n}{P_y} + \frac{NA\beta_s}{\lambda} \right) \right] F(m, n) P_{xx} \left( \alpha_s + \frac{m\lambda}{P_x NA}, \beta_s + \frac{n\lambda}{P_y NA} \right)$$

20

$$E_{ij} = \exp \left[ jx2\pi \left( \frac{m}{P_x} + \frac{NA\alpha_s}{\lambda} \right) \right] \exp \left[ jy2\pi \left( \frac{n}{P_y} + \frac{NA\beta_s}{\lambda} \right) \right] F(m, n) P_{ij} \left( \alpha_s + \frac{m\lambda}{P_x NA}, \beta_s + \frac{n\lambda}{P_y NA} \right)$$

$$E_{ij}^* = \exp \left[ -jx2\pi \left( \frac{m}{P_x} + \frac{NA\alpha_s}{\lambda} \right) \right] \exp \left[ -jy2\pi \left( \frac{n}{P_y} + \frac{NA\beta_s}{\lambda} \right) \right] F^*(m, n) P_{ij}^* \left( \alpha_s + \frac{m\lambda}{P_x NA}, \beta_s + \frac{n\lambda}{P_y NA} \right)$$

30

【0036】

但し、 $P_{ij}$  は、物体面（レチクル面）から像面（ウエハ面）への画像伝達関数である。 $P_{ij}$  で、 $j$  は物体での偏光状態であり、 $i$  は像での偏光状態である。縮小システムでは、 $x$  および  $y$  偏光だけを物体面  $j$  で使い、並びに  $x$ 、 $y$ 、および  $z$  偏光を像面  $i$  で使う。伝達関数  $P_{ij}$  は、D・G・フラゲロ外の“均質薄膜での高NA結像の理論”、米国光学学会雑誌、A第13巻、第1号、1996年1月、53ページで与えられ、以下に式6.0で再現する。

【0037】

【数6】

$$\text{式 6.0} \rightarrow \begin{bmatrix} P_{xx} & P_{xy} \\ P_{yx} & P_{yy} \\ P_{zx} & P_{zy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_s & F_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & F_s & F_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_{zp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{xxs} & P_{yxs} \\ P_{xyp} & P_{yxp} \\ P_{xys} & P_{yys} \\ P_{xyp} & P_{yyp} \\ P_{xzp} & P_{yzp} \end{bmatrix}$$

40

【0038】

ステップ23で、最適化制約条件を選択し、それには、典型的に、“ツァイス仕様書”

50

のような、照明システムの仕様（または制限条件）がある。これらの仕様には、典型的には、例えば、最小瞳充満 10 %、および例えば、最小リング幅 0.2 のような、製造制約条件がある。他の最適化制約条件を選んでもよく、それらは十分当業者のレベルの範囲内にあることを注記する。上に議論した計算および最適化制約条件の組に基づいて、ステップ 24 で、最小 N I L S を最大化する照明点強度および偏光状態を各フラグメンテーション点 (x, y) で選択する。式 7.0 によって以下に示すように、式 68 を積分することによって、最小 N I L S を最大化する照明点強度および偏光状態を決める。

【0039】

【数 7】

$$\text{式 7.0} \rightarrow \max_{\{J_x(\alpha_s, \beta_s), J_y(\alpha_s, \beta_s)\}} [\min\{ILS_1(x, y), ILS_2(x, y), \dots, ILS_n(x, y)\}]$$

10

【0040】

このミニマックス問題を、ブレイトン、R. K. 外の“準ニュートン法および関数分割に基づく統計的回路設計のための新しいアルゴリズム” I E E E 会報、回路およびシステムズ、C A S - 26 巻、p p. 784 - 794、1979 年 9 月を参考にして、逐次クオドラティックプログラミングを使って解く。

【0041】

N I L S は、露光ラチチュードまたは E L と直接相関関係を有する。各フラグメンテーション点での最大最小 N I L S（即ち、勾配が 0 または 0 に近いところの最大点）は、最大露光ラチチュード（E L）を表す。言換えれば、N I L S は、画像コントラストの尺度である。理想的環境で、N I L S プロットは、垂直エッジ（勾配無限大）および水平面（勾配 0）を有する、形態の断面を正確に表すだろう。最小 N I L S を最大化することは、理想的形態に最も近い。従って、N I L S が最大になる照明器上の各点で、空中像は、最良のコントラストを示すだろう。

20

【0042】

ステップ 25 で、今度は  $J_x(\alpha_s, \beta_s)$  および  $J_y(\alpha_s, \beta_s)$  を合計して、照明パターンを創成するために所望の強度で各フラグメンテーション点 (x, y) での最小 N I L S を最大化するために最適照明を決める。

30

【0043】

上に説明したように、照明器上の各点を解析する。しかし、照明器上の全点を解析する必要はなく、与えられたパターンの対称性に依存する。与えられたパターンが 2 軸の周りに対称であれば、照明器の四半分だけを解析すればよい。これは、ここで議論した煉瓦壁パターンの例で見られる。逆に、パターンが 1 軸周りに対称であれば、照明器の半分だけを解析すればよい。更に、全てではないにしても、大抵のパターンで、照明器は、与えられたパターンが X および / または Y 軸周りに対称でなくても、ある種の対称性を有する。大抵の場合、照明器の半分だけを解析すればよい。

【0044】

これらのステップの後に、上で解析した各点に対応する各画素を最適化することによって、実際の照明器を創成してもよい。しかし、どの画素または画素のグループを前記の手法に従って最適化するかを決めるために所定の基準に従ってもよい。勿論、当業者は、どの画素を最適化するかを決めるために所定に基準を設定することができる。所定に基準は、照明器、スキャナ等の種類および与えられたパターンにありうるものに従っている。

40

【0045】

図 3 は、上に説明したような照明の最適化に好適なコンピュータシステム 30 を示す。このコンピュータシステムは、各偏光状態について照明器上の各点の強度を決めるための照明シミュレータ 31 を含む。この照明および偏光状態に基づいて、画像対数勾配シミュレータ 32 が I L S または N I L S を発生する。最大照明点強度シミュレータ 33 が I L S シミュレータ 32 の出力に基づいて最小 I L S または N I L S を最大化する。照明器上

50

の各点に対する計算を促進するために、フィードバック経路 34 が設けてある。最後に、最適照明器シミュレータ 35 が、この照明器の各点を表す計算に基づいて最適照明器を創成する。

【0046】

以下の例は、上に議論した手法を使って、浸漬式システムと乾式システムの両方のための偏光照明を最適化する。

【0047】

#### 例 1 - 浸漬式システム

図 4 A を参照すると、マイクロリソグラフィマスクの長さ 0.4 nm、幅 0.2 nm の区画に対する煉瓦壁孤立パターン 40 が示してある。更に、数字 1、2 および 3 によって示す三つのフラグメンテーション点が図示してある。上述のように、フラグメンテーション点 1 は、煉瓦壁パターン 40 のライン形態 42 の端に対応し、フラグメンテーション点 2 は、ライン形態 42 の中間点に対応し、およびフラグメンテーション点 3 は、ライン 42 と 44 の接続部に対応する。

【0048】

図 4 B は、浸漬式システム用ウエハの構造を示し、それに図 4 A の煉瓦壁パターン 40 を適用した。波長 が 193 nm、開口数 NA が 1.2 の照明システム（以下に説明）を使った。

【0049】

図 5 A - 1 ないし図 5 A - 3 および図 5 B - 1 ないし図 5 B - 3 は、基板への投影瞳の伝達を表すシミュレーションを示す。例えば、X 偏光を有するマスクでの照明は、ウエハで他の偏光状態に影響するかも知れない。これは、次の式によって表すことができる。

【0050】

伝達関数  $P_{ij}$  は、D. G. フラゲロ外の“均質薄膜での高 NA 結像の理論”、米国光学学会雑誌、A 第 13 巻、第 1 号、1996 年 1 月、53 ページで与えられる。 $P_{ij}$  を以下に示す。

【0051】

【数 8】

$$\begin{bmatrix} P_{xx} & P_{xy} \\ P_{yx} & P_{yy} \\ P_{zx} & P_{zy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_s & F_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & F_s & F_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_{zp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{xxs} & P_{yxs} \\ P_{xsp} & P_{yxp} \\ P_{xys} & P_{yys} \\ P_{xyp} & P_{yyp} \\ P_{xsp} & P_{yzp} \end{bmatrix}$$

【0052】

図 5 A - 1 ~ 図 5 A - 3 は、マスク（マスク E x）での X 偏光およびウエハ（それぞれ、ウエハ E x、ウエハ E y、およびウエハ E z）での偏光状態に対するシミュレーションを示す。図 5 B - 1 ~ 図 5 B - 3 は、マスク（マスク E y）での Y 偏光、およびウエハ（それぞれ、ウエハ E x、ウエハ E y、およびウエハ E z）での偏光状態に対するシミュレーションを示す。予測通り、マスク E x およびウエハ E x の偏光（図 5 A - 1）並びにマスク E y およびウエハ E y の偏光（図 5 B - 2）は、最適コントラストを達成できる状態を示す。即ち、もし、全ての光を強引に瞳部分 50 を通過させるように照明器を設計できたなら、最適コントラストが得られるだろう。図 5 A - 2、図 5 A - 3、図 5 B - 1、および図 5 B - 3 と違って、ウエハでの偏光状態および強度は、散発的で、コントラストの低下を生じるだろう。

【0053】

10

20

30

40

50

図 6 は、最適化した未偏光状態について対応する等高線プロットおよび照明強度を示す。対照的に、図 7 および図 8 は、それぞれ、最適化した偏光状態および最適化した T E 偏光状態について対応する等高線プロットおよび照明強度を示す。これらの等高線プロットの比較によって分るように、最適化した偏光（図 7）または最適化した T E 偏光（図 8）は、最適化した未偏光照明（図 6）より優れた照明をもたらす。具体的に言うと、優れた照明は、図 6 のプロットと比較するとき、図 7 および図 8 のプロットの極に沿って見られるプロットの膨張性によって表される。

【 0 0 5 4 】

図 7 および図 8 は、更に、図 7 の複数の偏光ベクトル 7 0 および図 8 の複数の偏光ベクトル 8 0 によって定義される偏光の状態を示す。偏光ベクトル 7 0、8 0 によって示すように、照明器上のある対応点では、Y 偏光だけが望ましく、そして、他の点では X 偏光だけが望ましい。図 7 を図 8 と比較すると、偏光ベクトル 7 0 は、偏光ベクトル 8 0 より急激に変化する。この急激な変化は、画像のコントラストを改善するので、より望ましい。

【 0 0 5 5 】

図 9 ~ 図 1 1 は、それぞれ、図 4 A の煉瓦壁パターン上の点 1、2、および 3 での照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。図 9 ~ 図 1 1 の副図 A - 1 および A - 2 は、X 偏光に対するこれらの点での N I L S 応答プロットを示し、一方副図 B - 1 および B - 2 は、Y 偏光に対するこれらの点での N I L S 応答プロットを示す。各フラグメンテーション点について、X および Y 偏光の比較は、Y 偏光が良い照明であることを示す。例えば、図 9 の副図 A - 1 および A - 2 と副図 B - 1 および B - 2 を比較すれば、Y 偏光に対する照明強度（図 9 の B - 1 および B - 2）が X 偏光より約 3 0 0 % の改善を示す。具体的に言えば、強度レベル 9 0 は、強度レベル 9 2 より遥かに小さい。それで、フラグメンテーション点 1 については、X 偏光に優先して Y 偏光を使えば、照明強度を劇的に改善する。

【 0 0 5 6 】

フラグメンテーション点 2 に関して、図 1 0 は、対応する瞳 N I L S 反応プロットを示す。やはり、強度表現 1 0 0 と強度表現 1 0 2 の比較によって示すように、Y 偏光は、X 偏光より約 3 0 0 % 改善する。フラグメンテーション点 3 に関して（図 1 1）は、1 1 0 の強度レベルを 1 1 2 のそれと比較することによって、X 偏光が Y 偏光より 4 0 % の改善を示す。それで、フラグメンテーション点 3 では、X 偏光を使うのが好ましい。

【 0 0 5 7 】

図 1 2 ~ 図 1 4 は、それぞれ、最適化した未偏光照明、最適化した偏光照明および最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションを示す。フォーカス - 0 . 3 から 0 . 1 までの空中像を、それぞれ、0 . 0 5 刻みで図 1 2 ~ 図 1 4 について副図 A ~ I によって示す。各副図は、フォーカスを介して煉瓦壁とレジストの空中像を示す。それぞれのフォーカス図の比較から、フォーカス - 0 . 1（図 1 2 E、図 1 3 E および図 1 4 E）が最善のコントラストの煉瓦壁を示す傾向がある。今度は、各図の煉瓦壁像を比較すると、図 1 3 E および図 1 4 E は、図 1 2 E のそれより僅かに良いコントラストを示す。従って、最適化した偏光（図 1 3 E）および最適化した T E 偏光（図 1 4 E）が最適化した未偏光照明（図 1 2 E）のそれより高いコントラストを生じる。

【 0 0 5 8 】

代って、図 1 5 A ~ 図 1 5 C は、それぞれ、未偏光照明、偏光照明および T E 偏光照明についての図 4 A の煉瓦壁のフラグメンテーション点 1、2 および 3 に対する、フォーカスを介する I L S プロットを示す。上に議論したように、最大 I L S を最小化することによって、偏光照明を最適化してもよい。図 1 5 A ~ 図 1 5 C のプロットは、この独特の特徴を示す。具体的に言うと、フラグメンテーション点 1（図 1 5 A）で、偏光照明が I L S 最大で、一方未偏光照明は、I L S 最小である。T E 偏光照明は、間に入る。同じことがフラグメンテーション点 2（図 1 5 B）についても、フラグメンテーション点 3（図 1 5 C）についても真である。言換えれば、最低画像対数勾配が未偏光の場合に対応し、最高画像対数勾配が偏光した場合に対応する。

## 【 0 0 5 9 】

高い画像対数勾配は、高コントラストを生じ、それが次に露光ラチチュードの増加および良いプロセスウインドウをもたらす。従って、上に説明し、図 2 の流れ図に従って決めたように、各フラグメンテーション点で偏光を最適化することによって、高いプロセスウインドウが得られるかも知れない。

## 【 0 0 6 0 】

## 例 2 - 乾式システム

図 4 A のように、図 1 6 は、数字 1、2 および 3 によって示す三つのフラグメンテーション点を有する、マイクロリソグラフィマスクの長さ  $0.4 \text{ nm}$ 、幅  $0.2 \text{ nm}$  の区画に対する半ピッチ煉瓦壁孤立パターン 1 6 0 を示す。しかし、図 1 6 B は、図 1 6 A の煉瓦壁パターン 1 6 0 を適用する、乾式システム用ウエハ構造を示す。乾式システムでは、空気の透過率が 1 である。再び、波長 が  $193 \text{ nm}$ 、開口数 NA が 1.2 の照明システム（以下に説明）を使った。

## 【 0 0 6 1 】

図 1 7 A - 1 ~ 図 1 7 A - 3 および図 1 7 B - 1 ~ 図 1 7 B - 3 は、図 5 によって示したものと同一である。従って、ウエハを水に浸したか乾式かに拘らず、投影瞳は同じままである。この図の説明は、簡潔のために繰返さない。

## 【 0 0 6 2 】

図 1 8 は、最適化した未偏光状態のための対応する等高線プロットおよび照明強度を示す。これとは対照的に、図 1 9 および図 2 0 は、それぞれ、最適化した偏光状態および最適化した TE 偏光状態のための対応する等高線プロットおよび照明強度を示す。浸漬式システムの場合同様、最適化した偏光（図 1 9）または最適化した TE 偏光（図 2 0）は、最適化した未偏光照明（図 1 8）より優れた照明をもたらす。図 1 9 および図 2 0 は、更に、図 1 9 の複数の偏光ベクトル 1 9 0 および図 2 0 の複数の偏光ベクトル 2 0 0 によって定義される偏光状態を示す。偏光ベクトル 1 9 0、2 0 0 によって示すように、照明器上のある点では、Y 偏光だけが望ましく、および他の点では X 偏光だけが望ましい。前同様、偏光ベクトル 1 9 0 は、偏光ベクトル 2 0 0 より急激に変化し、従ってより望ましく、良いコントラストをもたらす。

## 【 0 0 6 3 】

図 2 1 ~ 図 2 3 は、それぞれ、図 1 6 A の煉瓦壁パターン上の点 1、2、および 3 での照明瞳 NILS 応答プロットを示す。図 2 1 ~ 図 2 3 の副図 A - 1 および A - 2 は、X 偏光に対するこれらの点での NILS 応答プロットを示し、一方副図 B - 1 および B - 2 は、Y 偏光に対するこれらの点での NILS 応答プロットを示す。各フラグメンテーション点について、X および Y 偏光の比較は、X 偏光に対して優れた照明を示す。図 2 1 の副図 A - 1 および A - 2 と副図 B - 1 および B - 2 を比較すれば、Y 偏光に対する照明強度（図 2 1 の B - 1 および B - 2）が X 偏光より約 50% の改善を示す。具体的に言えば、強度レベル 2 1 2 は、強度レベル 2 1 0 より 50% の改善を示す。それで、フラグメンテーション点 1 については、X 偏光に優先して Y 偏光を使えば、照明強度を改善する。

## 【 0 0 6 4 】

フラグメンテーション点 2 に関して、図 2 2 は、対応する瞳 NILS 反応プロットを示す。やはり、Y 偏光は、強度レベル 2 2 0 と強度レベル 2 2 2 の比較によって示すように、X 偏光より 50% 改善する。フラグメンテーション点 3 に関して（図 2 3）は、X 偏光が Y 偏光より 40% の改善を示す。それで、フラグメンテーション点 3 では、X 偏光を使うのが好ましい。

## 【 0 0 6 5 】

図 2 4 ~ 図 2 6 は、それぞれ、最適化した未偏光照明、最適化した偏光照明および最適化した TE 偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションを示す。フォーカス - 0.3 から 0.1 までの空中像を、それぞれ、0.05 刻みで図 2 4 ~ 図 2 6 の各々の副図 A ~ I によって示す。各副図は、フォーカスを介して煉瓦壁とレジストの空中像を示す。それぞれのフォーカス図の比較から

10

20

30

40

50

、フォーカス - 0.1 (図 2 4 E、図 2 5 E および図 2 6 E) が最高のコントラストの煉瓦壁を示す傾向がある。今度は、各図の煉瓦壁像を比較すると、図 2 5 E および図 2 6 E は、図 2 4 E のそれより僅かに良いコントラストを示す。従って、最適化した偏光 (図 2 5 E) および最適化した T E 偏光 (図 2 6 E) が最適化した未偏光照明 (図 2 4 E) のそれより高いコントラストの像を生じる。

【 0 0 6 6 】

代って、図 2 7 A ~ 図 2 7 C は、それぞれ、未偏光照明、偏光照明および T E 偏光照明についての図 1 6 A の煉瓦壁のフラグメンテーション点 1、2 および 3 に対する、フォーカスを介する I L S プロットを示す。上に議論したように、最大 N I L S を最小化することによって、偏光照明を最適化してもよい。フラグメンテーション点 1 (図 2 7 A) で、T E 方位照明が最大 I L S を有し、一方未偏光照明は、最小 I L S を有する。同じことがフラグメンテーション点 2 (図 2 7 B) についても真である。しかし、フラグメンテーション点 3 (図 2 7 C) については、最適化した偏光が約 1 5 % だけ未偏光照明より I L S を改善する。

【 0 0 6 7 】

結論として、高画像対数勾配が高コントラストを生じ、それが次に広い露光ラチチュードおよび良いプロセスウインドウを得る。従って、上に説明し、図 2 の流れ図に従って決めたように、各フラグメンテーション点で偏光を最適化することによって、高いプロセスウインドウが得られるだろう。

【 0 0 6 8 】

図 2 8 は、本発明を使って設計したマスクと共に使うのに適したリソグラフィ投影装置を概略的に描く。この装置は：

- 放射線の投影ビーム P B を供給するための、この特別な場合放射線源 L A も含む、放射線システム E x、I L；
- 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、且つこのマスクを部材 P L に関して正確に位置決めするために第 1 位置決め手段に結合された第 1 物体テーブル (マスクテーブル) M T；
- 基板 W (例えば、レジストを塗被したシリコンウエハ) を保持するための基板ホルダを備え、且つこの基板を部材 P L に関して正確に位置決めするために第 2 位置決め手段に結合された第 2 物体テーブル (基板テーブル) W T；および
- マスク M A の被照射部分を基板 W の目標部分 C (例えば、一つ以上のダイを含む) 上に結像するための投影システム (“ レンズ ”) P L (例えば、屈折性、反射性または反射屈折性光学システム) を含む。

【 0 0 6 9 】

ここに描くように、この装置は、反射型である (即ち、反射性のマスクを有する)。しかし、一般的に、それは、例えば、(透過性マスクを備える) 透過型でもよい。その代りに、この装置は、マスクの使用に対する代案としての別の種類のパターンニング手段を使ってもよく、その例にはプログラム可能ミラーアレイまたは L C D マトリックスがある。

【 0 0 7 0 】

この線源 L A (例えば、水銀灯またはエキシマレーザ) は、放射線のビームを作る。このビームを直接か、または、例えば、ビーム拡大器 E x のような、状態調節手段を通してから、照明システム (照明器) I L の中へ送る。この照明器 I L は、このビームの強度分布の外側および / または内側半径方向範囲 (普通、それぞれ、外側および / または内側と呼ぶ) を設定するための調整手段 A M を含んでもよい。その上、それは、一般的に、積分器 I N およびコンデンサ C O のような、種々の他の部品を含む。この様にして、マスク M A に入射するビーム P B は、その断面に所望の均一性および強度分布を有する。

【 0 0 7 1 】

図 2 8 に関して、線源 L A は、(この線源 L A が、例えば、水銀灯である場合によくあることだが) このリソグラフィ投影装置のハウジング内にあってもよいが、このリソグラフィ投影装置から遠く離れていて、それが作る放射線ビームをこの装置に (例えば、適

な指向ミラーを使って)導いてもよいことに注目すべきで、この後者のシナリオは、線源 L A がエキシマレーザ(例えば、K r F、A r F または F<sub>2</sub> レーザに基づく)である場合によくあることである。本発明は、少なくともこれらのシナリオの両方を包含する。

#### 【0072】

ビーム P B は、次に、マスクテーブル M T 上に保持されたマスク M A で反射される。マスク M A で反射されてから、ビーム P B は、レンズ P L を通過し、それがこのビーム P B を基板 W の目標部分 C 上に集束する。第 2 位置決め手段(および干渉計測定手段 I F)を使って、基板テーブル W T を、例えば、異なる目標部分 C をビーム P B の経路に配置するように、正確に動かすことができる。同様に、例えば、マスク M A をマスクライブラリから機械的に検索してから、または走査中に、第 1 位置決め手段を使ってマスク M A をビーム P B の経路に関して正確に配置することができる。一般的に、物体テーブル M T、W T の移動は、図 28 にはっきりは示さないが、長ストロークモジュール(粗位置決め)および短ストロークモジュール(精密位置決め)を使って実現する。しかし、ウエハステップの場合は(ステップアンドスキャン装置と違って)、マスクテーブル M T を短ストロークアクチュエータに結合するだけでもよく、または固定してもよい。

#### 【0073】

図示する装置は、二つの異なるモードで使うことができる。

- ステップモードでは、マスクテーブル M T を本質的に固定して保持し、全マスク像を目標部分 C 上に一度に(即ち、単一“フラッシュ”で)投影する。次に基板テーブル W T を x および y 方向に移動して異なる目標部分 C をビーム P B で照射できるようにする。

- 走査モードでは、与えられた目標部分 C を単一“フラッシュ”では露光しないことを除いて、本質的に同じシナリオを適用する。その代りに、マスクテーブル M T が与えられた方向(所謂“走査方向”、例えば、y 方向)に速度 v で可動で、それで投影ビーム P B がマスク像の上を走査させられ、同時に、基板テーブル W T がそれと共に同じまたは反対方向に速度 V = M v で動かされ、この M はレンズ P L の倍率(典型的には、M = 1 / 4 または 1 / 5)である。この様にして、比較的大きい目標部分 C を、解像度について妥協する必要なく、露光することができる。

#### 【0074】

ここに開示した構想は、波長以下の形態を結像するため一般的結像システムのどれをシミュレートまたは数学的にモデル化してもよく、且つ益々小さくなる波長を作り出せる新興の結像技術に特に有用かも知れない。既に使われている新興技術には、A r F レーザを使って 193 nm、および弗素レーザを使って 157 nm の波長さえも作り得る E U V (超紫外線)リソグラフィがある。更に、E U V リソグラフィは、シンクロトロンを使うことによって 20 ~ 5 nm の範囲内の波長を、またはこの範囲内の光子を作るために高エネルギー電子で材料(固体またはプラズマのいずれか)を叩くことによってこの波長を作ることができる。大抵の材料はこの範囲内で吸収性であるので、照明をモリブデンとシリコンの多層反射性ミラーで作ってもよい。この多層ミラーは、モリブデンとシリコンの対の 40 層を有し、各層の厚さは、波長の四分の一である。X 線リソグラフィで更に短い波長さえも作れる。典型的には、シンクロトロンを使って X 線波長を作る。大抵の材料は、x 線波長で吸収性であるので、吸収材料の薄片が、形態が写る(ポジレジスト)場所か、写らない(ネガレジスト)場所を決める。

#### 【0075】

ここに開示した構想は、シリコンウエハのような基板上に結像するために使ってもよいが、開示した構想は、どんな種類のリソグラフィ結像システム、例えば、シリコンウエハ以外の基板上に結像するためのもの、にも使ってよいことを理解すべきである。

#### 【0076】

実行可能コードを含む、プログラミングを伴うコンピュータシステムのソフトウェア機能面を上記に説明した結像モデルを実行するために使ってもよい。このソフトウェアコードは、汎用コンピュータで実行可能である。作動する際は、コードとことによると関連する



データ記録を汎用コンピュータプラットフォーム内に記憶する。しかし、ほかの時は、このソフトウェアを適当な汎用コンピュータシステムにローディングするために他の場所に記憶しおよび/または移送してもよい。従って、上に議論した実施例は、少なくとも一つの機械読取り可能媒体が記憶する一つ以上のコードのモジュールの形の一つ以上のソフトウェアプロダクトを必要とする。コンピュータシステムのプロセッサによるそのようなコードの実行は、実質的にここに議論し且つ図示した実施例で行った方法で、このプラットフォームにカタログおよび/またはソフトウェア・ダウンロード機能を実行できるようにする。

【0077】

ここで使うように、コンピュータまたは機械“読取り可能媒体”というような用語は、プロセッサへの実行命令の提供に参加するあらゆる媒体を指す。そのような媒体は、多くの形を採ることができ、それらには不揮発性媒体、揮発性媒体、および伝送媒体があるがそれらに限定されない。不揮発性媒体には、例えば、上に議論した、サーバプラットフォームの一つとして動作する何れかのコンピュータの何れかの記憶装置のような、光または磁気ディスクがある。揮発性媒体には、そのようなコンピュータプラットフォームの主記憶装置のような、ダイナミックメモリがある。物理的伝送媒体には、コンピュータシステム内のバスを構成するワイヤを含む、同軸ケーブル、銅線および光ファイバがある。搬送波伝送媒体は、無線周波(RF)および赤外線(IR)データ通信中に発生するもののような、電気若しくは電磁信号、または音波若しくは光波の形を採ることができる。従って、コンピュータ可読媒体の共通の形には、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、何か他の磁気媒体、CD-ROM、DVD、その他の光媒体、パンチカード、紙テープ、孔のパターンを備えるその他の物理的媒体のような普通あまり使われない媒体、RAM、PROM、およびEPROM、フラッシュEPROM、何か他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移送する搬送波、そのような搬送波を移送するケーブルまたはリンク、またはコンピュータがプログラムコードおよび/またはデータを読出せる何か他の媒体がある。コンピュータ読取り可能媒体のこれらの形の多くがプロセッサへ一つ以上の系列の一つ以上の命令を実行のために搬送する際に関わってもよい。

【0078】

本発明を詳細に説明し且つ図示したが、それは説明と例示だけのためであり、限定ととるべきでなく、本発明の範囲は、添付の請求項の条件によってのみ制限されることを明確に理解すべきである。

【図面の簡単な説明】

【0079】

【図1A】例示的な煉瓦壁パターンを示す。

【図1B】上記パターンを結像するための照明器を示す。

【図1C-1】図1Bの照明器上の点2に対応する空中像を示す。

【図1C-2】図1Bの照明器上の点2に対応する空中像を示す。

【図1C-3】図1Bの照明器上の点4に対応する空中像を示す。

【図1C-4】図1Bの照明器上の点4に対応する空中像を示す。

【図2】本発明に従って偏光照明を最適化するための例示的流れ図を示す。

【図3】本発明に従って偏光照明を最適化するように構成した例示的コンピュータシステムを示す。

【図4A】三つのフラグメンテーション基準点を備える例示的半ピッチ煉瓦壁孤立パターン・マイクロリソグラフィマスク形態を示す。

【図4B】浸漬式システム用ウエハの構造を示す。

【図5A-1】マスクに適用したX偏光用投影瞳、およびウエハにできたx偏光状態を示す。

【図5A-2】マスクに適用したX偏光用投影瞳、およびウエハにできたy偏光状態を示す。

【図 5 A - 3】マスクに適用した X 偏光用投影瞳、およびウエハにできた z 偏光状態を示す。

【図 5 B - 1】マスクに適用した Y 偏光用投影瞳、およびウエハにできた x 偏光状態を示す。

【図 5 B - 2】マスクに適用した Y 偏光用投影瞳、およびウエハにできた y 偏光状態を示す。

【図 5 B - 3】マスクに適用した Y 偏光用投影瞳、およびウエハにできた z 偏光状態を示す。

【図 6】図 4 B のウエハ構造で図 4 A の煉瓦壁パターン用の最適化した未偏光照明を示す。

10

【図 7】図 4 B のウエハ構造で図 4 A の煉瓦壁パターン用の最適化した偏光照明を示す。

【図 8】図 4 B のウエハ構造で図 4 A の煉瓦壁パターン用の最適化した T E 方位偏光照明を示す。

【図 9 A - 1】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 1 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 9 A - 2】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 1 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 9 B - 1】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 1 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 9 B - 2】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 1 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

20

【図 10 A - 1】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 2 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 10 A - 2】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 2 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 10 B - 1】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 2 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 10 B - 2】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 2 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 11 A - 1】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 3 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

30

【図 11 A - 2】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 3 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 11 B - 1】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 3 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 11 B - 2】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 3 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 12 A】最適化した未偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 3 で示す。

【図 12 B】最適化した未偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 2 5 で示す。

40

【図 12 C】適化した未偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 2 で示す。

【図 12 D】適化した未偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 1 5 で示す。

【図 12 E】適化した未偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 1 で示す。

【図 12 F】適化した未偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 0 5 で示す。

【図 12 G】適化した未偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パ

50

ターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 で示す。

【図 1 2 H】適化した未偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 . 0 5 で示す。

【図 1 2 I】適化した未偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 . 1 で示す。

【図 1 3 A】最適化した偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 3 で示す。

【図 1 3 B】最適化した偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 2 5 で示す。

【図 1 3 C】最適化した偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 2 で示す。

【図 1 3 D】最適化した偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 1 5 で示す。

【図 1 3 E】最適化した偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 1 で示す。

【図 1 3 F】最適化した偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 0 5 で示す。

【図 1 3 G】最適化した偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 で示す。

【図 1 3 H】最適化した偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 . 0 5 で示す。

【図 1 3 I】最適化した偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 . 1 で示す。

【図 1 4 A】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 3 で示す。

【図 1 4 B】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 2 5 で示す。

【図 1 4 C】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 2 で示す。

【図 1 4 D】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 1 5 で示す。

【図 1 4 E】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 1 で示す。

【図 1 4 F】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 0 5 で示す。

【図 1 4 G】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 で示す。

【図 1 4 H】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 . 0 5 で示す。

【図 1 4 I】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 . 1 で示す。

【図 1 5 A】図 4 A に示すフラグメンテーション点 1 での画像対数勾配 ( I L S ) プロットを示す。

【図 1 5 B】図 4 A に示すフラグメンテーション点 2 での画像対数勾配 ( I L S ) プロットを示す。

【図 1 5 C】図 4 A に示すフラグメンテーション点 3 での画像対数勾配 ( I L S ) プロットを示す。

【図 1 6 A】三つのフラグメンテーション基準点を備える半ピッチ煉瓦壁孤立パターン・マイクロリソグラフィマスク形態を示す。

【図 1 6 B】乾式システム用ウエハの構造を示す。

10

20

30

40

50

【図 1 7 A - 1】マスクに適用した X 偏光用投影瞳、およびウエハにできた x 偏光状態を示す。

【図 1 7 A - 2】マスクに適用した X 偏光用投影瞳、およびウエハにできた y 偏光状態を示す。

【図 1 7 A - 3】マスクに適用した X 偏光用投影瞳、およびウエハにできた z 偏光状態を示す。

【図 1 7 B - 1】マスクに適用した Y 偏光用投影瞳、およびウエハにできた x 偏光状態を示す。

【図 1 7 B - 2】マスクに適用した Y 偏光用投影瞳、およびウエハにできた y 偏光状態を示す。

【図 1 7 B - 3】マスクに適用した Y 偏光用投影瞳、およびウエハにできた z 偏光状態を示す。

【図 1 8】図 1 6 B のウエハ構造で図 1 6 A の煉瓦壁パターン用の最適化した未偏光照明を示す。

【図 1 9】図 1 6 B のウエハ構造で図 1 6 A の煉瓦壁パターン用の最適化した偏光照明を示す。

【図 2 0】図 1 6 B のウエハ構造で図 1 6 A の煉瓦壁パターン用の最適化した T E 方位偏光照明を示す。

【図 2 1 A - 1】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 1 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 1 A - 2】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 1 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 1 B - 1】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 1 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 1 B - 2】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 1 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 2 A - 1】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 2 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 2 A - 2】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 2 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 2 B - 1】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 2 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 2 B - 2】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 2 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 3 A - 1】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 3 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 3 A - 2】二つの強度範囲についての X 偏光用フラグメンテーション点 3 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 3 B - 1】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 3 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 3 B - 2】二つの強度範囲についての Y 偏光用フラグメンテーション点 3 の照明瞳 N I L S 応答プロットを示す。

【図 2 4 A】最適化した未偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 3 で示す。

【図 2 4 B】最適化した未偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 2 5 で示す。

【図 2 4 C】最適化した未偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 2 で示す。

【図 2 4 D】最適化した未偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 1 5 で示す。

10

20

30

40

50

【図 2 4 E】最適化した未偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.1 で示す。

【図 2 4 F】最適化した未偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 0 5 で示す。

【図 2 4 G】最適化した未偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 で示す。

【図 2 4 H】最適化した未偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 . 0 5 で示す。

【図 2 4 I】最適化した未偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 . 1 で示す。

【図 2 5 A】最適化した偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 3 で示す。

【図 25B】最適化した偏光照明のための、図 16B のウエハ構造による図 16A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.25 で示す。

【図 25C】最適化した偏光照明のための、図 16B のウエハ構造による図 16A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.2 で示す。

【図 25D】最適化した偏光照明のための、図 16B のウエハ構造による図 16A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.15 で示す。

【図 25E】最適化した偏光照明のための、図 16B のウエハ構造による図 16A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.1 で示す。

【図 25F】最適化した偏光照明のための、図 16B のウエハ構造による図 16A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.05 で示す。

【図 25G】最適化した偏光照明のための、図 16B のウエハ構造による図 16A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 で示す。

【図 2 5 H】最適化した偏光照明のための、図 1 6 B のウエハ構造による図 1 6 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0 . 0 5 で示す。

【図 25 I】最適化した偏光照明のための、図 16 B のウエハ構造による図 16 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0.1 で示す。

【図 2 6 A】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0 . 3 で示す。

【図 26B】最適化したTE偏光照明のための、図4Bのウエハ構造による図4Aの煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.25 で示す。

【図 26C】最適化したTE偏光照明のための、図4Bのウエハ構造による図4Aの煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.2 で示す。

【図 26D】最適化したTE偏光照明のための、図4Bのウエハ構造による図4Aの煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.15 で示す。

【図 26E】最適化したTE偏光照明のための、図4Bのウエハ構造による図4Aの煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.1で示す。

【図 26F】最適化したTE偏光照明のための、図4Bのウエハ構造による図4Aの煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス - 0.05 で示す。

【図 26G】最適化したTE偏光照明のための、図4Bのウエハ構造による図4Aの煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス0で示す。

【図 26H】最適化したTE偏光照明のための、図4Bのウエハ構造による図4Aの煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス0.05で示す。

【図 26 I】最適化した T E 偏光照明のための、図 4 B のウエハ構造による図 4 A の煉瓦壁パターンのプリントのシミュレーションをフォーカス 0.1 で示す。

【図 27A】図 16A に示すフラグメンテーション点 1 での画像対数勾配 ( I L S ) プロットを示す。

【図 27B】図 16A に示すフラグメンテーション点 2 での画像対数勾配 ( I L S ) プロットを示す。

10

20

30

40

50

【図 27 C】図 16 A に示すフラグメンテーション点 3 での画像対数勾配 ( I L S ) プロットを示す。

【図 28】ここに議論した構想を使って設計したマスクと共に使うのに適したリソグラフィ投影装置を概略的に描く。

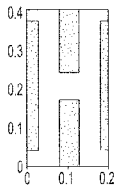
【符号の説明】

【 0 0 8 0 】

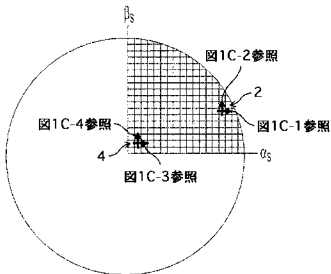
C 目標部分  
E x ビーム拡大器  
I L 照明器  
L A 放射線源  
M A マスク  
P L 投影システム  
W 基板

10

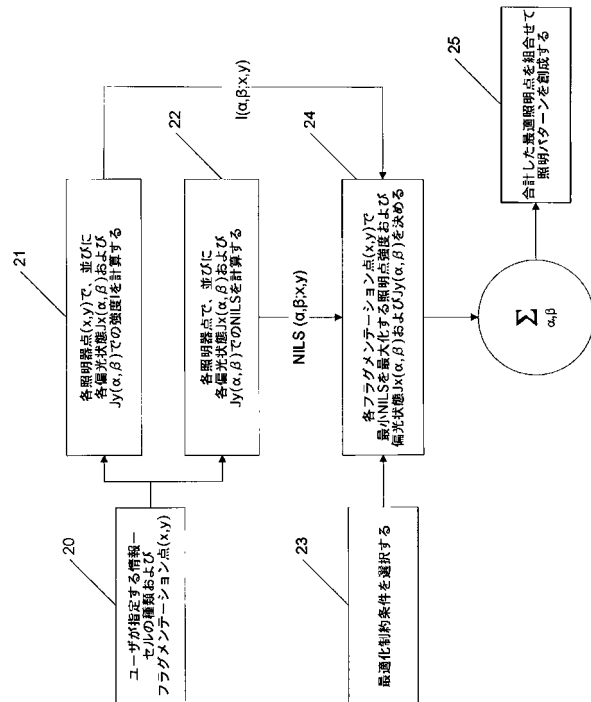
【図 1 A】



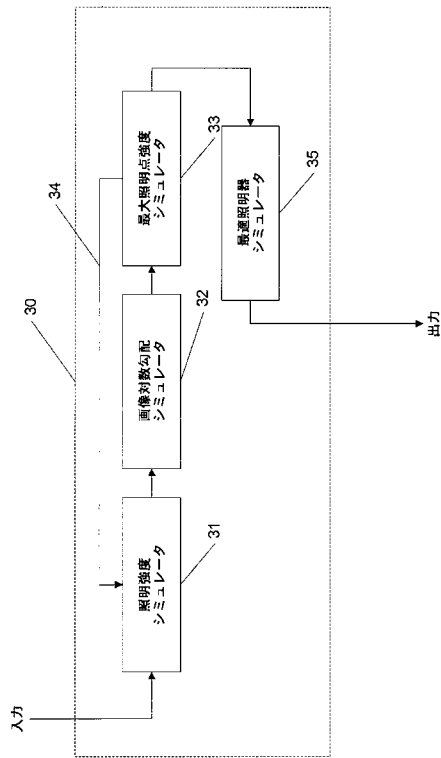
【図 1 B】



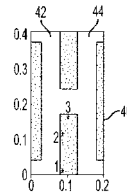
【図 2】



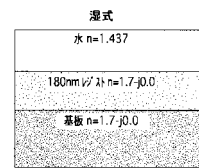
【図 3】



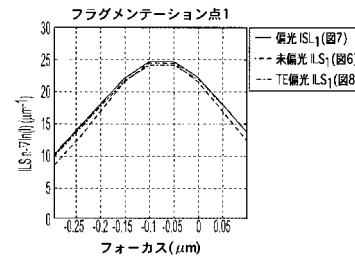
【図 4 A】



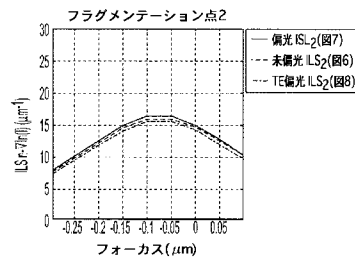
【図 4 B】



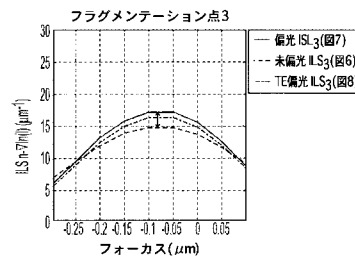
【図 15 A】



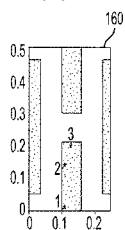
【図 15 B】



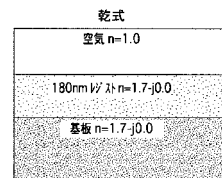
【図 15 C】



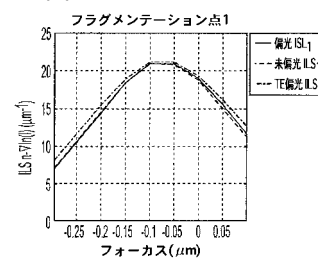
【図 16 A】



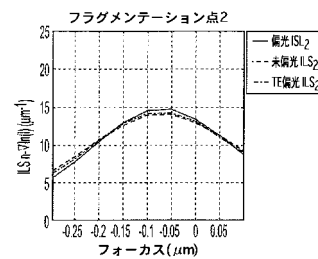
【図 16 B】



【図 27 A】




【図 27 B】



[illegible]

X マスク偏光  $\alpha=0.78$   $\beta=0.46$

Y マスク偏光  $\alpha=0.78$   $\beta=0.46$



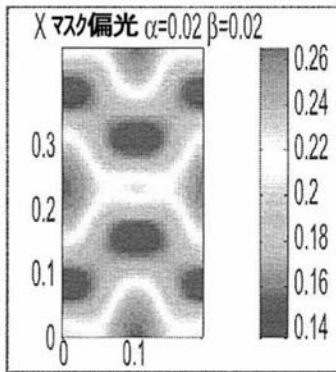
0.3  
0.2  
0.1  
0

0 0.1

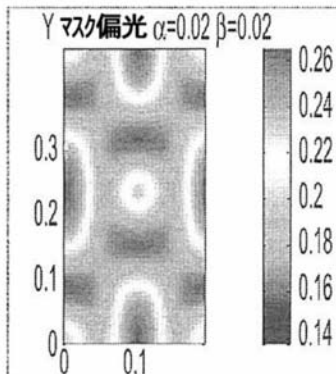
0.35  
0.3  
0.25  
0.2  
0.15  
0.1  
0.05



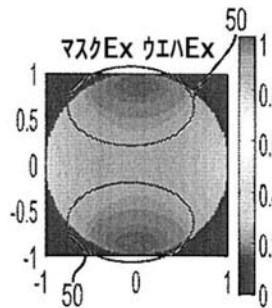
【図 1 C - 3】



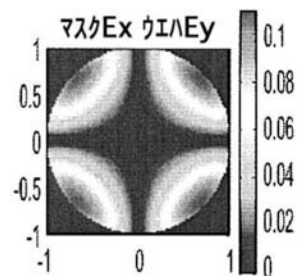
【図 1 C - 4】



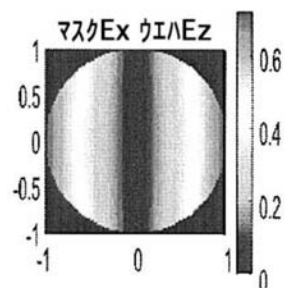
【図 5 A - 1】



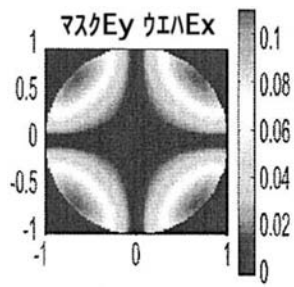
【図 5 A - 2】



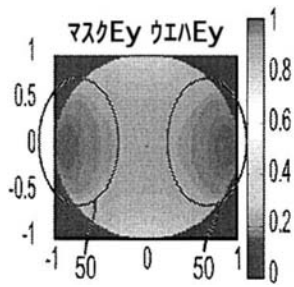
【図 5 A - 3】



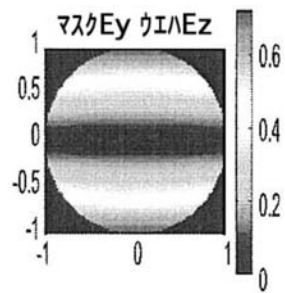
【図 5 B - 1】



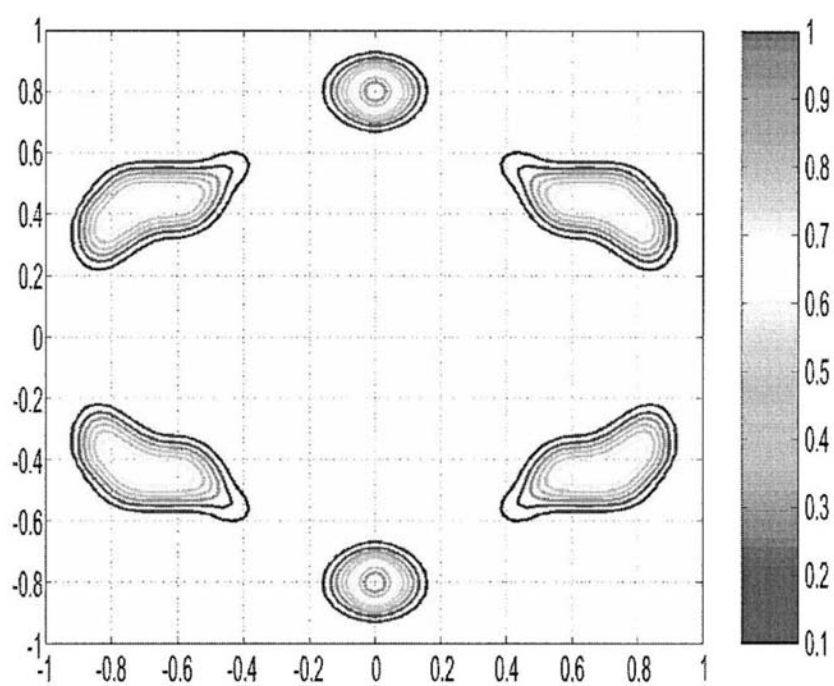
【図 5 B - 2】



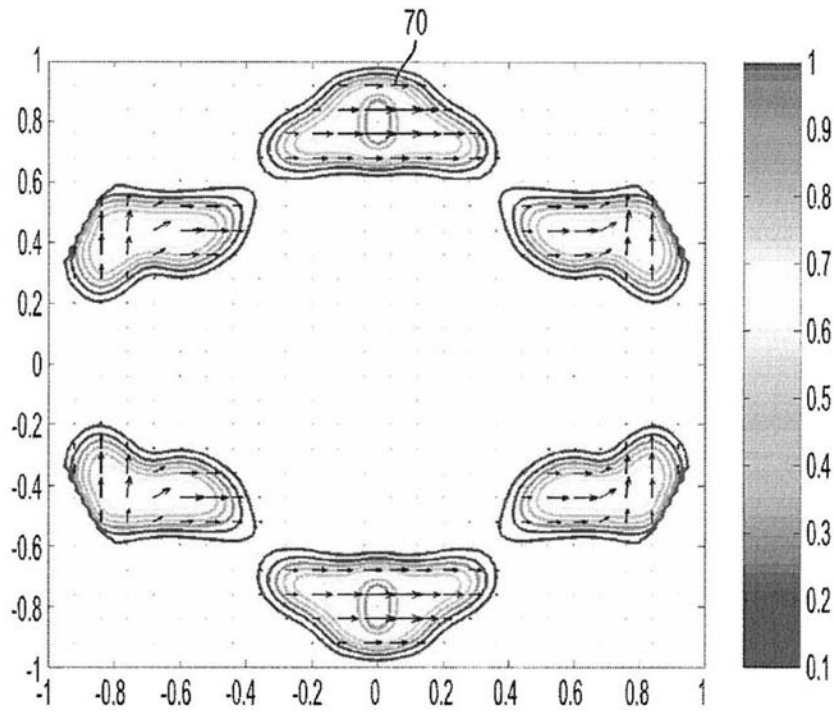
【図 5 B - 3】



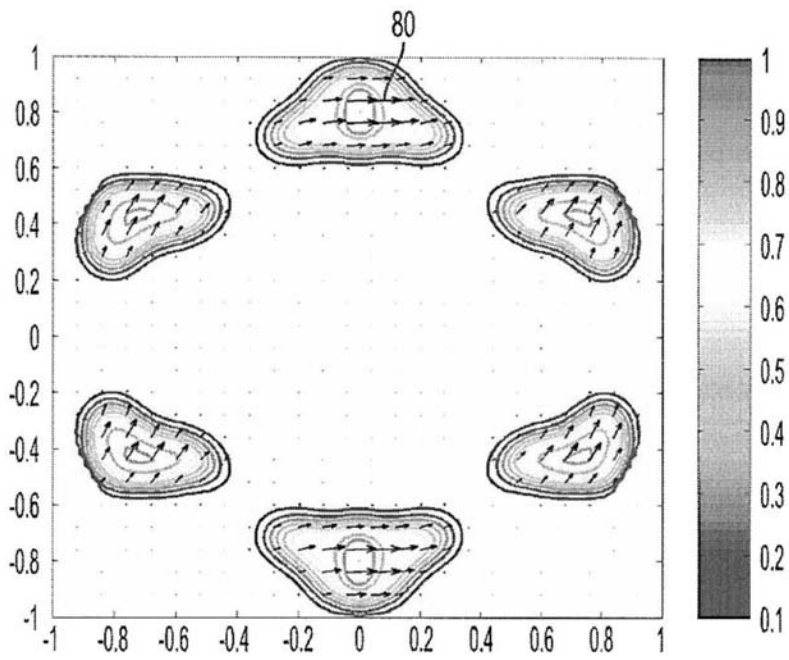
【図 6】



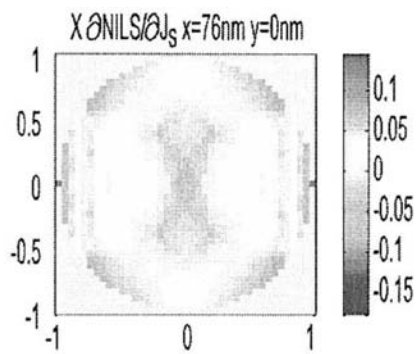
【図 7】



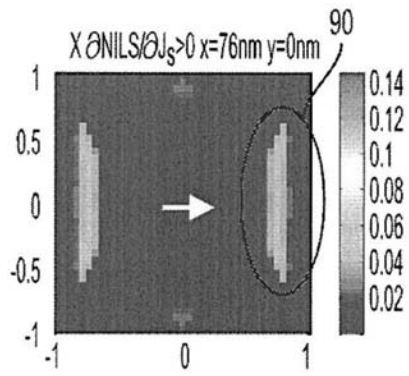
【図 8】



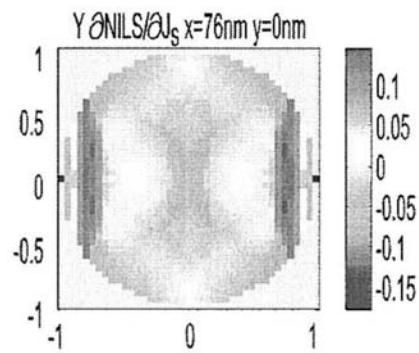
【図 9 A - 1】



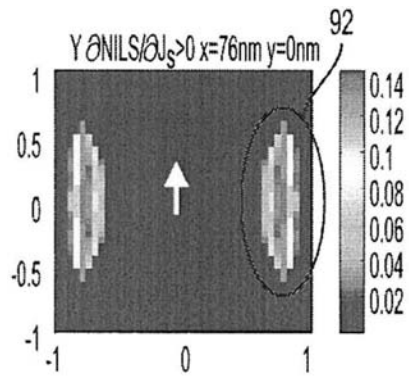
【図 9 A - 2】



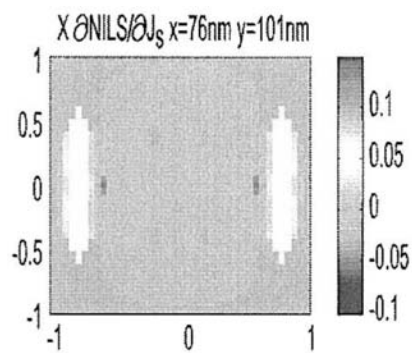
【図 9 B - 1】



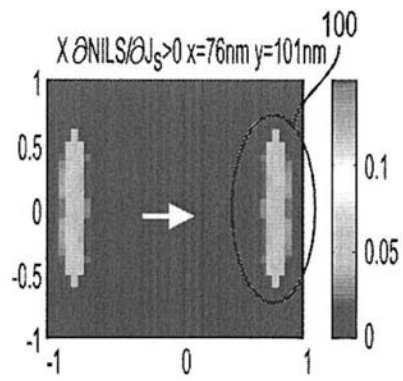
【図 9 B - 2】



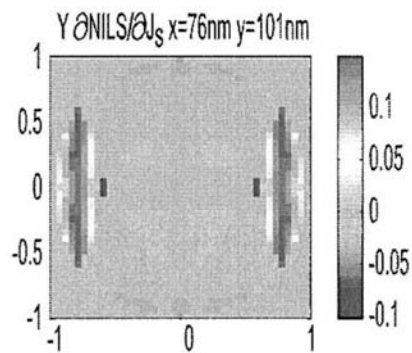
【図 10 A - 1】



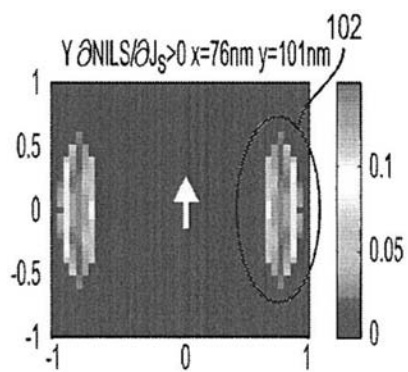
【図 10A - 2】



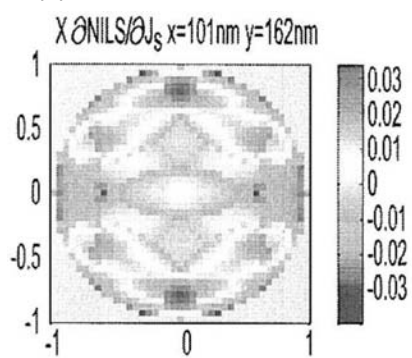
【図 10B - 1】



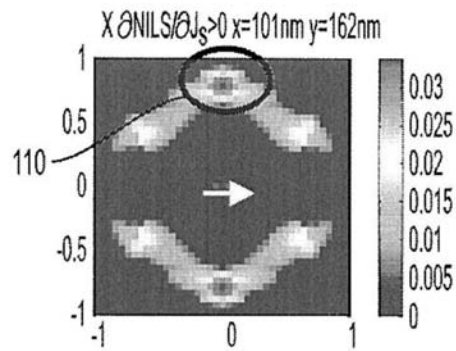
【図 10B - 2】



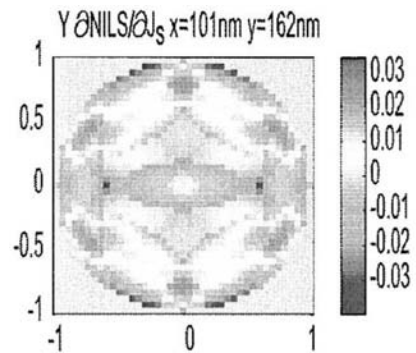
【図 11A - 1】



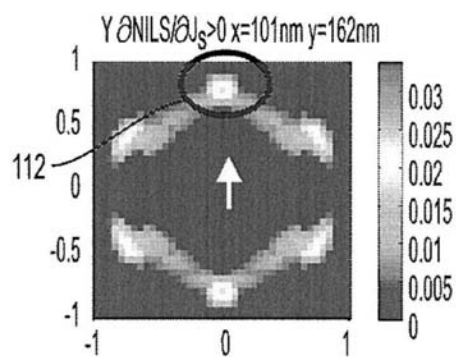
【図 1 1 A - 2】



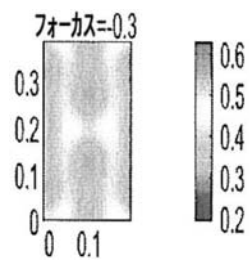
【図 1 1 B - 1】



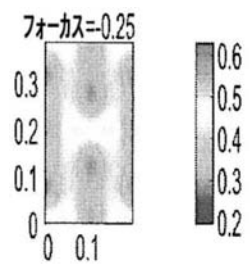
【図 1 1 B - 2】



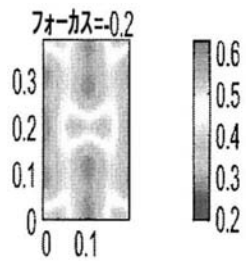
【図 1 2 A】



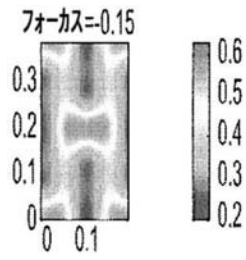
【図 1 2 B】



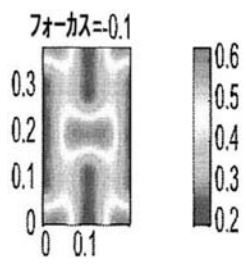
【図 1 2 C】



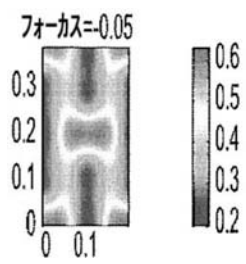
【図 1 2 D】



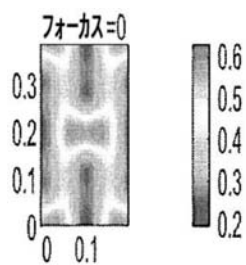
【図 1 2 E】



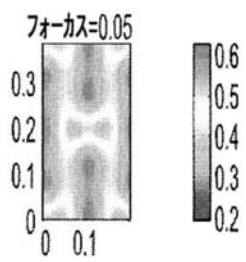
【図 1 2 F】



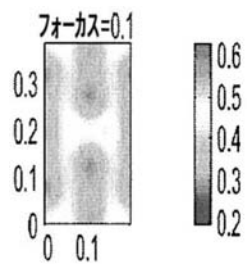
【図 1 2 G】



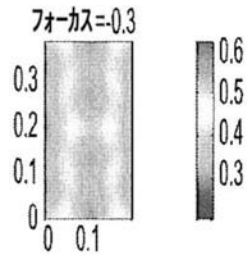
【図 1 2 H】



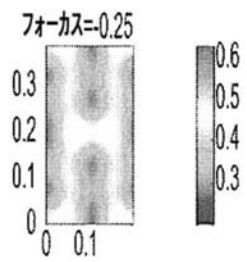
【図 1 2 I】



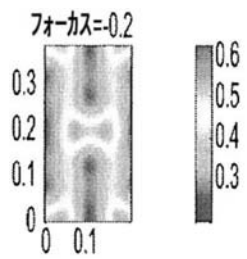
【図 1 3 A】



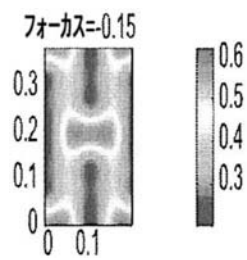
【図 1 3 B】



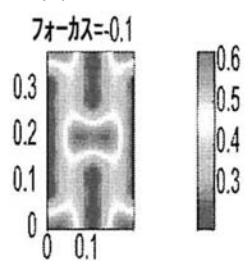
【図 1 3 C】



【図 1 3 D】

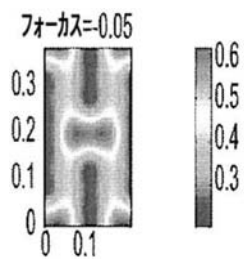


【図 1 3 E】

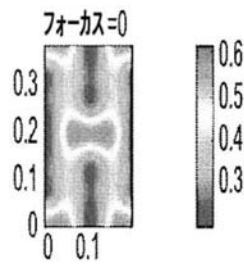




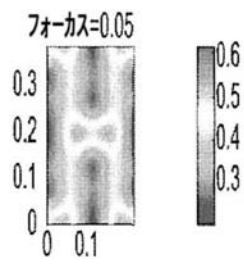
【図 1 3 F】



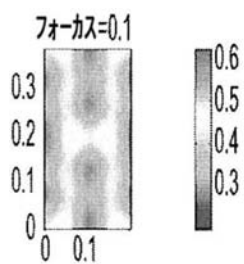
【図 1 3 G】



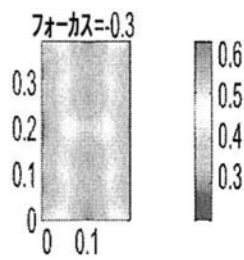
【図 1 3 H】



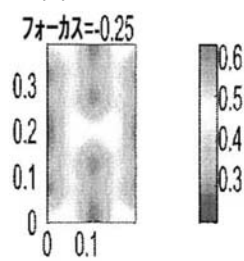
【図 1 3 I】



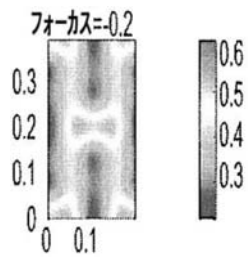
【図 1 4 A】



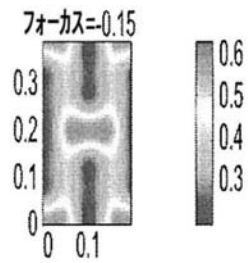
【図 1 4 B】



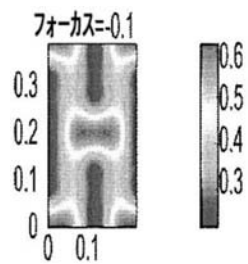
【図 1 4 C】



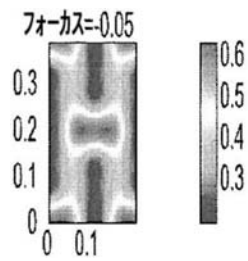
【図 1 4 D】



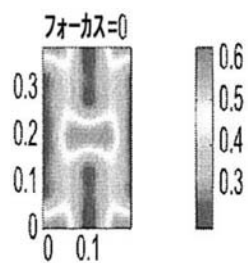
【図 1 4 E】



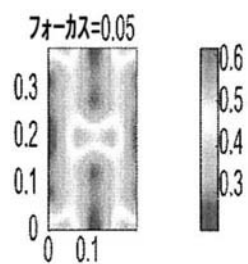
【図 1 4 F】



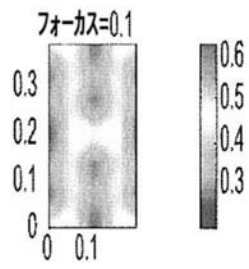
【図 1 4 G】



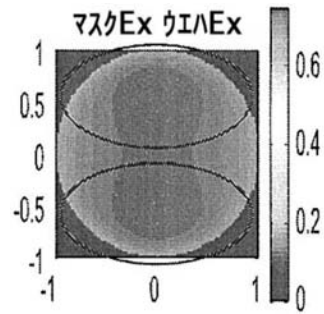
【図 1 4 H】



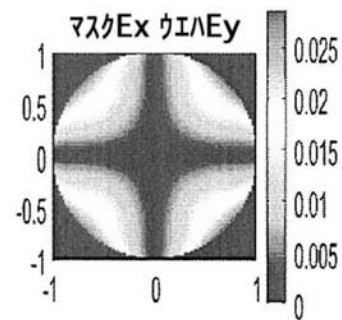
【図 14 I】



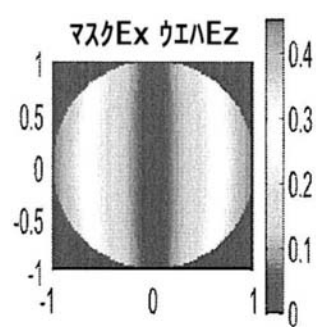
【図 17 A - 1】



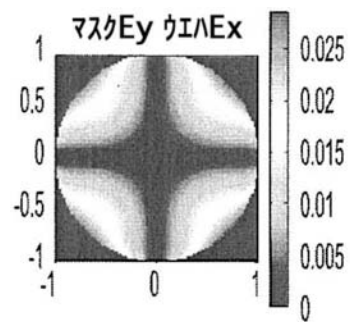
【図 17 A - 2】



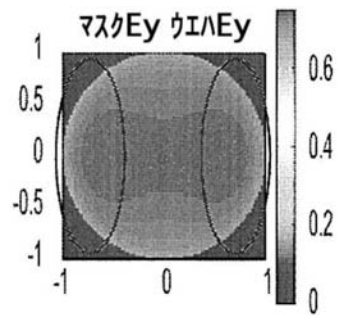
【図 17 A - 3】



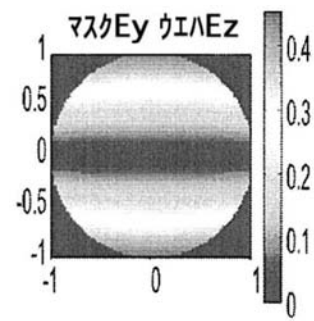
【図 17 B - 1】



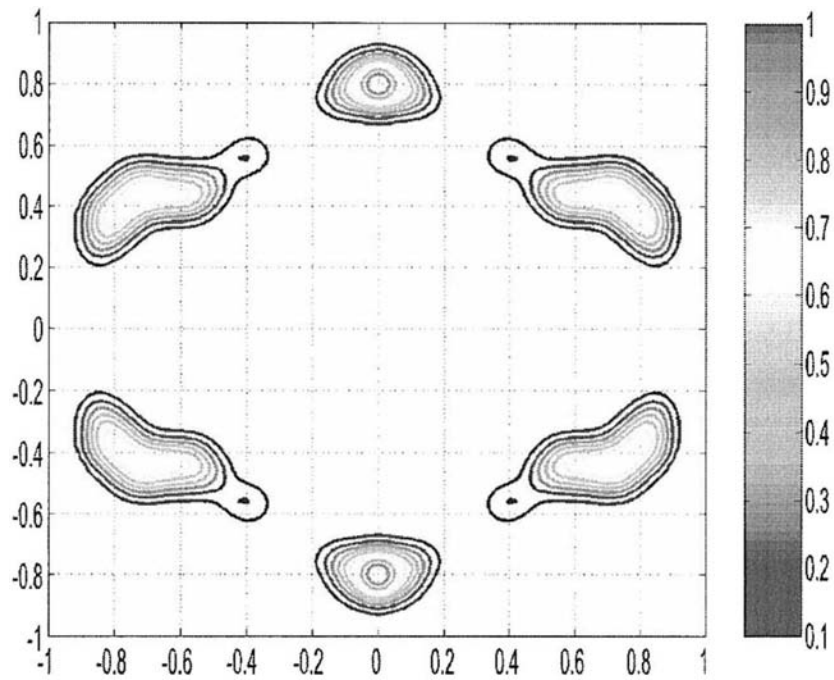
【図 17B - 2】



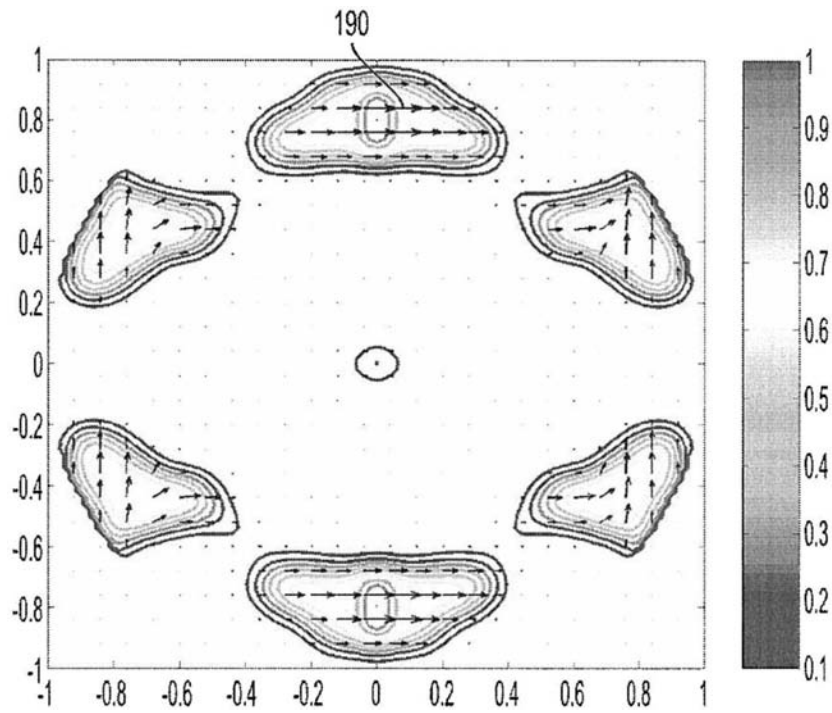
【図 17B - 3】



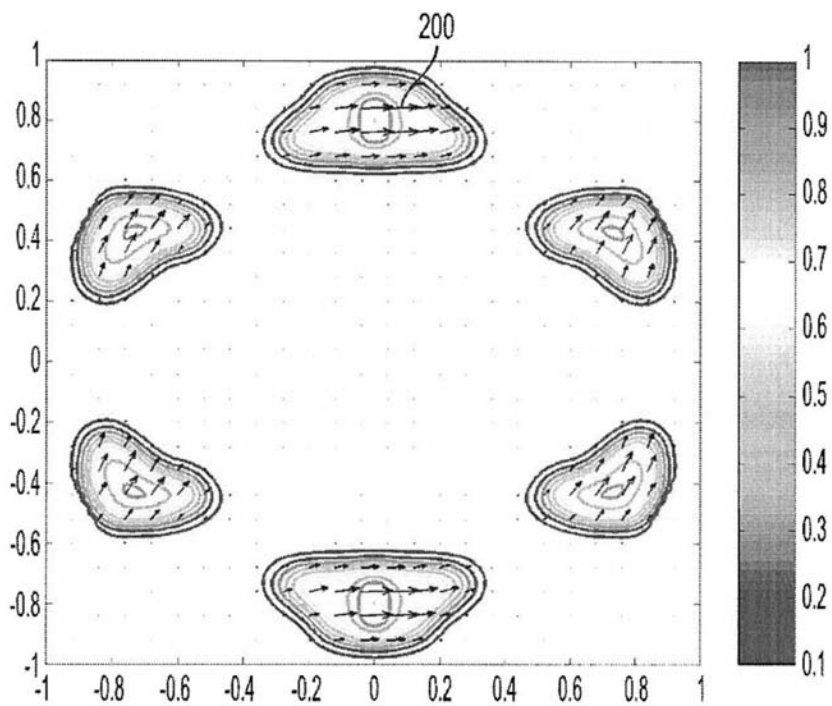
【図 18】



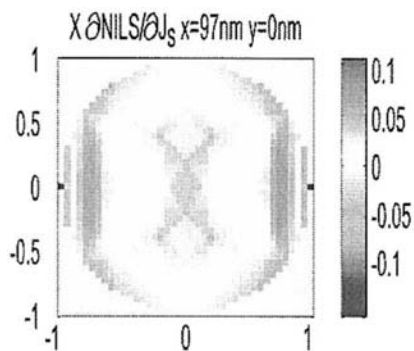
【図 19】



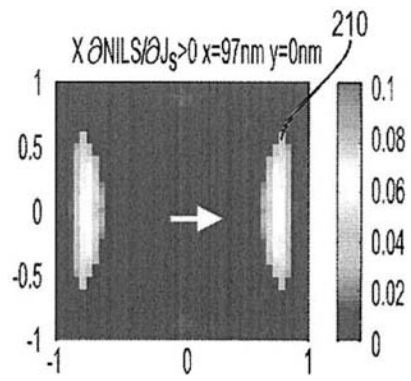
【図 20】



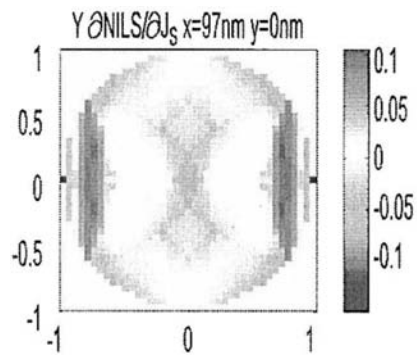
【図 21 A - 1】



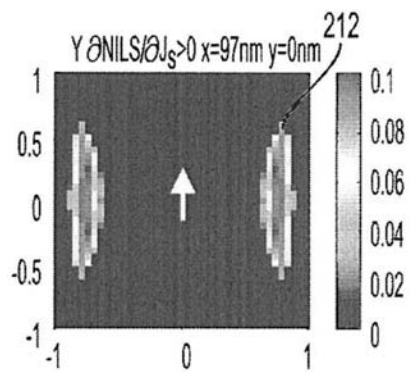
【図 2 1 A - 2】



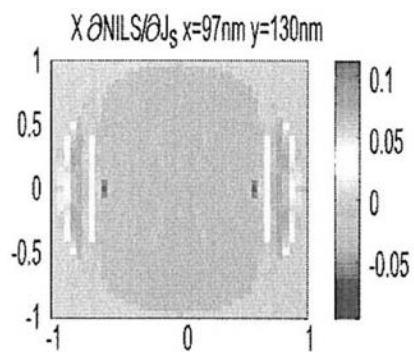
【図 2 1 B - 1】



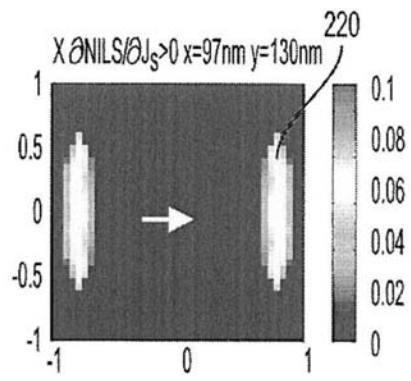
【図 2 1 B - 2】



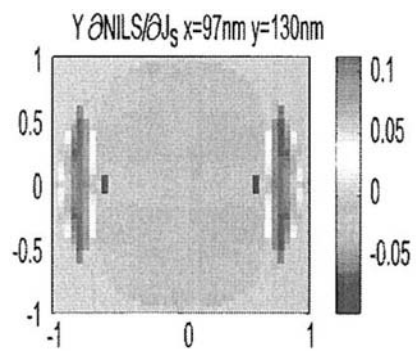
【図 2 2 A - 1】



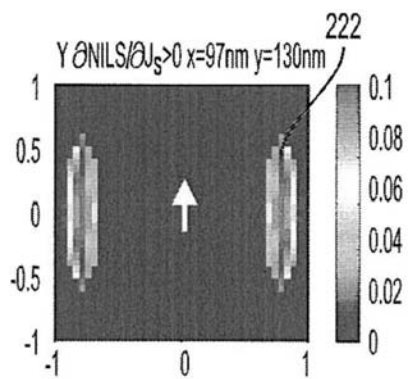
【図 2 2 A - 2】



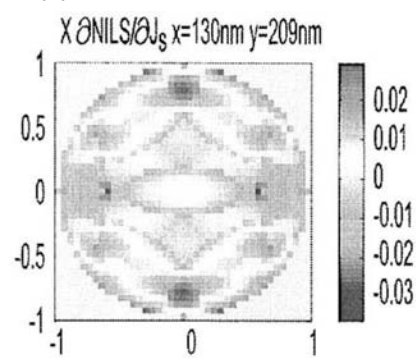
【図 2 2 B - 1】



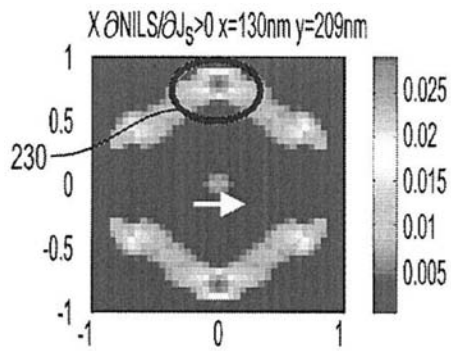
【図 2 2 B - 2】



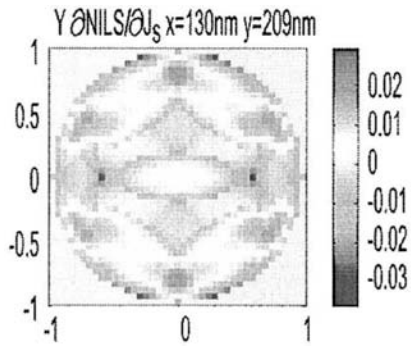
【図 2 3 A - 1】



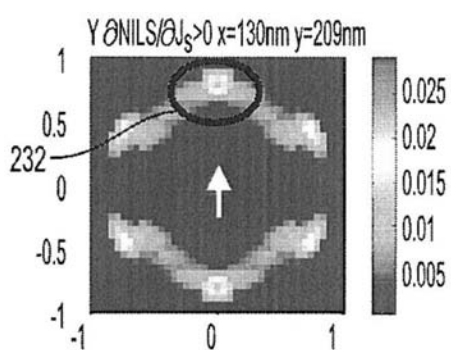
【図 2 3 A - 2】



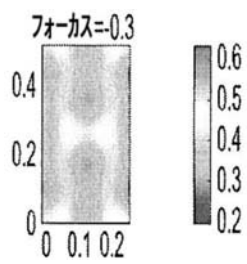
【図 2 3 B - 1】



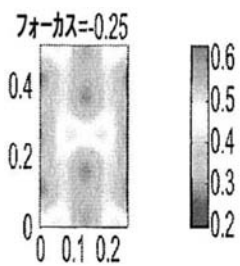
【図 2 3 B - 2】



【図 2 4 A】

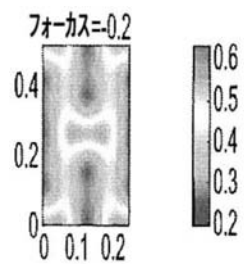


【図 2 4 B】

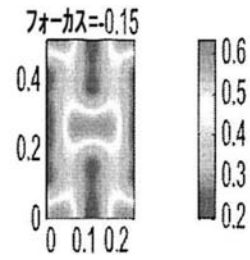




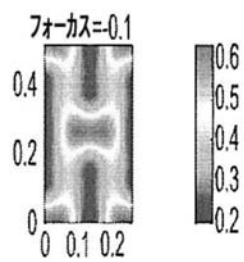
【図 2 4 C】



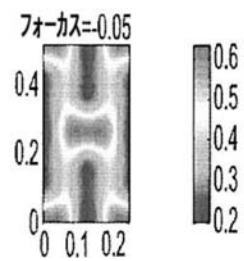
【図 2 4 D】



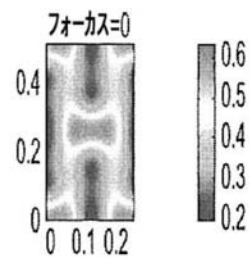
【図 2 4 E】



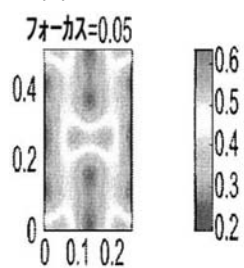
【図 2 4 F】



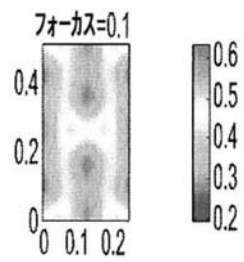
【図 2 4 G】



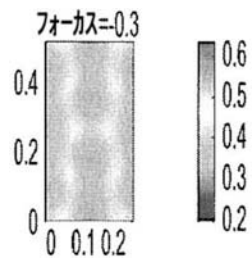
【図 2 4 H】



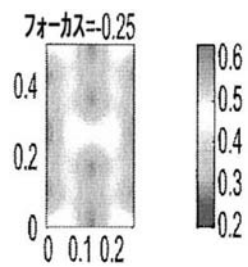
【図 2 4 I】



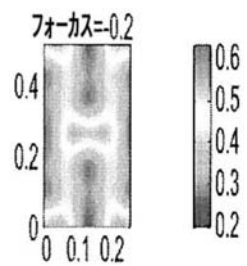
【図 2 5 A】



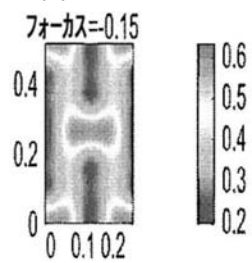
【図 2 5 B】



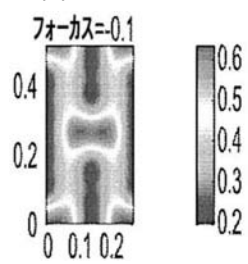
【図 2 5 C】



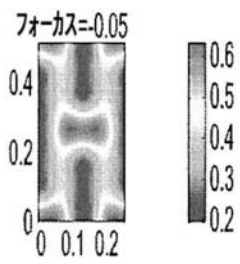
【図 2 5 D】



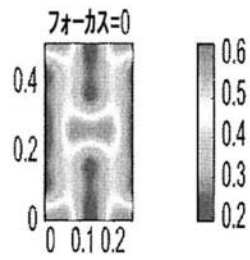
【図 2 5 E】



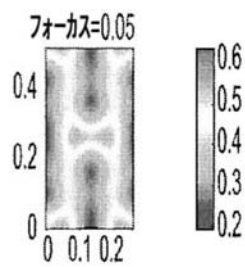
【図 2 5 F】



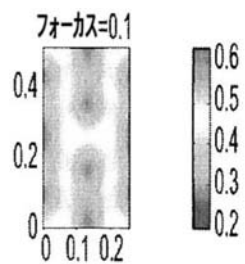
【図 2 5 G】



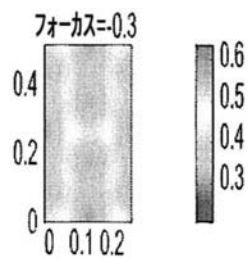
【図 2 5 H】



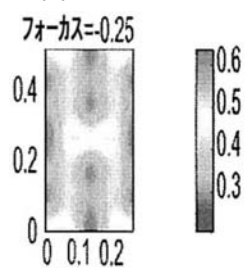
【図 2 5 I】



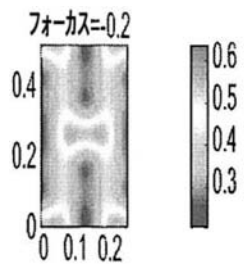
【図 2 6 A】



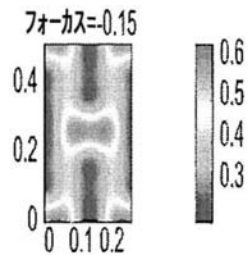
【図 2 6 B】



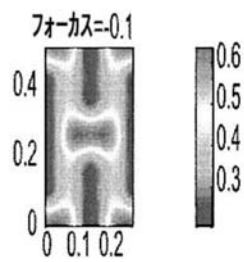
【図 26 C】



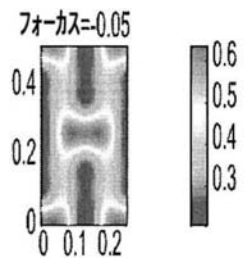
【図 26 D】



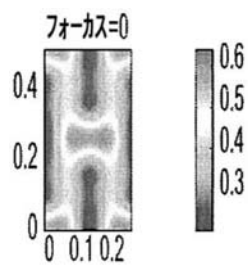
【図 26 E】



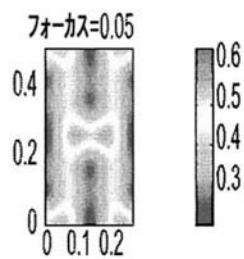
【図 26 F】



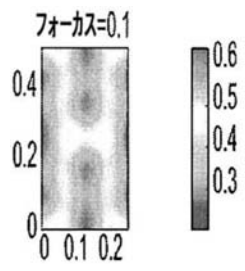
【図 26 G】



【図 26 H】



【図 26 I】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ドニス フラジェロ

アメリカ合衆国、アリゾナ、スコッツデール、イー・ファン タボ ロード 8118

(72)発明者 スティーヴン ジー・ハンセン

アメリカ合衆国、アリゾナ、フェニックス、イー・デザート ウィロー ロード 3185

審査官 岩本 勉

(56)参考文献 特開平09-184918(JP,A)

特開2003-015273(JP,A)

特開2002-334836(JP,A)

特開2002-261004(JP,A)

特開2003-188087(JP,A)

国際公開第2005/041277(WO,A1)

特開2005-141242(JP,A)

特開平07-307268(JP,A)

特開平06-310396(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G03F 7/20