

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6449985号  
(P6449985)

(45) 発行日 平成31年1月9日(2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日(2018.12.14)

(51) Int.Cl.		F I	
<b>GO3F</b>	<b>9/00</b>	<b>(2006.01)</b>	GO3F 9/00 H
<b>GO3F</b>	<b>7/20</b>	<b>(2006.01)</b>	GO3F 7/20 521
<b>GO1B</b>	<b>11/00</b>	<b>(2006.01)</b>	GO3F 7/20 501
			GO1B 11/00 A

請求項の数 12 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2017-505164 (P2017-505164)  
 (86) (22) 出願日 平成27年7月7日 (2015.7.7)  
 (65) 公表番号 特表2017-523477 (P2017-523477A)  
 (43) 公表日 平成29年8月17日 (2017.8.17)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2015/065412  
 (87) 国際公開番号 W02016/015955  
 (87) 国際公開日 平成28年2月4日 (2016.2.4)  
 審査請求日 平成29年3月30日 (2017.3.30)  
 (31) 優先権主張番号 62/030, 639  
 (32) 優先日 平成26年7月30日 (2014.7.30)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 504151804  
 エーエスエムエル ネザーランズ ビー.  
 ブイ.  
 オランダ国 ヴェルトホーフエン 550  
 O エーエイチ, ビー. オー. ボックス  
 324  
 (73) 特許権者 503195263  
 エーエスエムエル ホールディング エヌ  
 . ブイ.  
 オランダ国 ヴェルトホーフエン 550  
 O エーエイチ, ビー. オー. ボックス  
 324  
 (74) 代理人 100105924  
 弁理士 森下 賢樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アライメントセンサおよびリソグラフィ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

リソグラフィ装置のためのアライメントセンサであって、当該アライメントセンサはリソグラフィ装置の固定部分に対するリソグラフィ装置の可動部分のアライメントを測定するように配置および構成され、当該アライメントセンサは、

ある光波長及びあるパルス繰り返し周波数のパルス列を発生するように構成される光源と、

パルス列の光伝播経路に配置される非線形光学素子であって、前記光波長のパルス列をある光波長範囲の変換パルス列に変換するように構成される非線形光学素子と、

前記変換パルス列をアライメントマーク上に投影するように構成される光学結像システムと、

前記アライメントマークにより散乱された散乱フィールドを検出する検出器と、

前記検出器により検出された検出散乱フィールドからアライメントデータを導き出すよう構成されるデータ処理装置と、を備え、

前記光学結像システムはパルス遅延発生器を備え、

前記パルス遅延発生器は、

前記パルス列を第1偏光の第1偏光パルス列と前記第1偏光と異なる第2偏光の第2偏光パルス列とに分離するように構成されるスプリットと、

前記第1偏光パルス列と前記第2偏光パルス列を結合パルス列に再結合するように構成される再結合器と、を備え、

10

20

前記第 1 偏光パルス列の伝播経路の伝播経路長は、第 1 および第 2 偏光パルス列の一方を偏光パルス列の他方に対して遅延させるよう、前記第 2 偏光パルス列の伝播経路の伝播経路長とは異なっており、

前記光学結像システムは、前記結合パルス列をアライメントマーク上に投影するよう構成される、

ことを特徴とするアライメントセンサ。

【請求項 2】

第 1 偏光パルス列の伝播経路の伝播経路長と第 2 偏光パルス列の伝播経路の伝播経路長の差は、パルス繰り返し周波数のパルス繰り返し時間の 10% から 50% の相対遅延分、第 1 偏光パルス列と第 2 偏光パルス列を互いに対して遅延させることを特徴とする請求項 1 に記載のアライメントセンサ。

10

【請求項 3】

前記パルス遅延発生器は、前記再結合器の下流に配置された 4 分の 1 波長板をさらに備えることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のアライメントセンサ。

【請求項 4】

前記光学結像システムは、前記光学結像システムの光路内の前記パルス遅延発生器の下流に、第 2 パルス遅延発生器をさらに備えることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のアライメントセンサ。

【請求項 5】

前記パルス遅延発生器は、前記パルス遅延発生器の前記再結合器の下流に配置された 2 分の 1 波長板をさらに備え、前記第 2 パルス遅延発生器は、前記第 2 パルス遅延発生器の前記再結合器の下流に配置された 4 分の 1 波長板をさらに備えることを特徴とする請求項 4 に記載のアライメントセンサ。

20

【請求項 6】

1 つのパルス遅延発生器とさらなるパルス遅延発生器のそれぞれの経路長の差は、パルス繰り返し周波数のパルス繰り返し時間の 25% から 50% の間であり、もう 1 つのパルス遅延発生器とさらなるパルス遅延発生器のそれぞれの経路長の差は、パルス繰り返し周波数のパルス繰り返し時間の 5% から 25% の間であることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載のアライメントセンサ。

【請求項 7】

前記パルス遅延発生器及び/又は前記第 2 パルス遅延発生器は、前記スプリッタおよび前記再結合器の一部をそれぞれ形成する分離面および再結合面を備える第 1 光学ブロックであって、前記分離面および前記再結合面が伝播経路に対して 45 度の角度で配置される第 1 ブロックと、前記分離面および前記再結合面とそれぞれ実質的に平行に配置されるとともに、前記分離面および前記再結合面から、前記スプリッタの前記分離面からの 1 つの偏光パルス列が反射する反射方向に間隔をあけた 2 つの反射面を有する第 2 光学ブロックと、により形成されることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれかに記載のアライメントセンサ。

30

【請求項 8】

前記第 2 光学ブロックは、前記第 1 光学ブロックまで延在していることを特徴とする請求項 7 に記載のアライメントセンサ。

40

【請求項 9】

前記データ処理装置は、前記検出器により検出される散乱フィールドのパルス列を滑らかにするよう構成されるローパスフィルタを備え、前記データ処理装置は、前記ローパスフィルタの出力信号を積分し、積分されたローパスフィルタの出力信号と記憶されたキャリアブレーション信号とを比較し、該比較からアライメントデータを導き出すよう構成されることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれかに記載のアライメントセンサ。

【請求項 10】

前記非線形光学素子は、光波長を白色光の光学スペクトルに変換するよう構成されることを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれかに記載のアライメントセンサ。

50

## 【請求項 1 1】

請求項 1 から 1 0 のいずれかに記載のアライメントセンサを備えることを特徴とするリソグラフィ装置。

## 【請求項 1 2】

基板を保持する基板テーブルを備え、前記アライメントセンサは、前記基板のアライメントマークによって、前記基板テーブルにより保持された基板の位置を決定するよう構成されることを特徴とする請求項 1 1 に記載のリソグラフィ装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2014年7月30日に出願された米国仮出願第62/030,639号の利益を主張し、その全体が参照により本明細書に援用される。

## 【0002】

本発明は、アライメントセンサおよびそのようなアライメントセンサを備えるリソグラフィ装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0003】

リソグラフィ装置は、所望のパターンを基板に、たいていは基板の目標部分に与える機械である。リソグラフィ装置は例えば、集積回路（IC）の製造に用いられる。その場合、マスクまたはレチクルとも称されるパターンングデバイスがICの個々の層に形成される回路パターンを生成するために使用されうる。このパターンは、基板（例えばシリコンウェーハ）上の（例えばダイの一部、一つのダイ、またはいくつかのダイを含む）目標部分に転写されることができる。パターンは典型的に基板上に設けられた放射感応性材料（レジスト）層への結像により転写される。一般に、一枚の基板にはネットワーク状に隣接する目標部分が含まれ、これらは連続してパターン付与される。従来のリソグラフィ装置は、いわゆるステッパおよびスキャナを含む。ステッパでは、パターン全体を目標部分に一回で露光することで各目標部分が照射される。スキャナでは、放射ビームに対してパターンを所与の方向（「スキャン」方向）にスキャンするとともに、この方向に平行または反平行に基板を同期させてスキャンすることにより各目標部分が照射される。パターンを基板にインプリントすることによっても、パターンングデバイスから基板へパターンを転写することが可能である。

## 【0004】

リソグラフィでは、半導体構造を製造するとき、多くの層が互いの上に設けられる。オーバーレイエラーを低減するために、層は小さい線幅を達成できるように互いに対して正確にアライメントされなければならない。

## 【0005】

そこに、アライメントセンサが利用される。基板の1つ以上の処理層にアライメントマークが設けられる。基板がリソグラフィ装置に搭載されるたびに、アライメントマークが測定され、それから基板の位置が導き出される。そこで、アライメントセンサは、そのマークにより散乱を生じさせるために、光パルスをアライメントマーク上に投影する。散乱フィールドの強度は、光学的処理の後に、例えば干渉計による光学的処理の後に、検出器により測定され、位置情報（検出器に対するマークの位置を表す）がそこから導き出される。アライメントマークは、例えば回折格子または非回折構造を備えてよい。回折格子により散乱する光は、一般的には回折光と称される散乱フィールドである。

## 【0006】

基板構造は、ますます複雑になる傾向があり、基板に設けられる層の総数は増加傾向にある。その結果、アライメントに用いられるマークは、その上に設けられるいくつかの層で覆われる可能性がある。層の構造によって、特定の光波長の光の透過が影響を受ける可能性がある。その結果、そのような波長の光パルスが、これらの層によって吸収、反射ま

10

20

30

40

50

たは他の影響を受ける可能性がある。マークを確実に検出する可能性を高めるために、多波長の光パルスが用いられる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

より正確なアライメント測定を提供することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明のある実施形態によれば、リソグラフィ装置のためのアライメントセンサが提供される。当該アライメントセンサはリソグラフィ装置の固定部分に対するリソグラフィ装置の可動部分のアライメントを測定するよう配置および構成される。当該アライメントセンサは、

10

【0009】

ある光波長及びあるパルス繰り返し周波数のパルス列を発生するよう構成される光源と、

【0010】

パルス列の光伝播経路に配置される非線形光学素子であって、光波長のパルス列をある光波長範囲の変換パルス列に変換するよう構成される非線形光学素子と、

【0011】

変換パルス列をアライメントマーク上に投影するよう構成される光学結像システムと、

20

【0012】

アライメントマークにより散乱された散乱フィールドを検出する検出器と、

【0013】

検出器により検出された検出散乱フィールドからアライメントデータを導き出すよう構成されるデータ処理装置と、を備える。

【0014】

光学結像システムは、パルス遅延発生器を備え、

【0015】

パルス遅延発生器は、

【0016】

30

パルス列を第1偏光の第1偏光パルス列と第1偏光と異なる第2偏光の第2偏光パルス列とに分離するよう構成されるスプリッタと、

【0017】

第1偏光パルス列と第2偏光パルス列を結合パルス列に再結合するよう構成される再結合器と、を備える。

【0018】

第1偏光パルス列の伝播経路の伝播経路長は、第1および第2偏光パルス列の一方を偏光パルス列の他方に対して遅延させるよう、第2偏光パルス列の伝播経路の伝播経路長とは異っており、

【0019】

40

光学結像システムは、結合パルス列をアライメントマーク上に投影するよう構成される。

【0020】

本発明の別の実施形態では、このようなアライメントセンサを備えるリソグラフィ装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0021】

添付の模式図を参照して、例示のみを目的として本発明の実施形態について以下で説明する。模式図において、対応する参照符号は対応する部分を指し示す。

【0022】

50

【図 1 A】本発明の実施形態が設けられる反射型リソグラフィ装置を模式的に示す図である。

【 0 0 2 3 】

【図 1 B】本発明の実施形態が設けられる透過型リソグラフィ装置を模式的に示す図である。

【 0 0 2 4 】

【図 2】本発明の実施形態が実行されるアライメントセンサの模式図である。

【 0 0 2 5 】

【図 3】本発明の実施形態に係るアライメントセンサに備えられるパルス遅延発生器の模式図である。

10

【 0 0 2 6 】

【図 4】本発明の実施形態に係るアライメントセンサに備えられるパルス遅延発生器の別の実施形態の模式図である。

【 0 0 2 7 】

【図 5】図 3 に従うパルス遅延発生器の実装の模式図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 8 】

この明細書は、本発明の特徴を含む一以上の実施の形態を開示する。開示される実施の形態は、本発明を例示のみとする。本発明の範囲は、開示される実施の形態に限定されない。本発明は、本書に添付される請求項によって定義される。

20

【 0 0 2 9 】

本書における「一つの実施の形態」、「ある実施の形態」、「ある例示的な実施の形態」などといった言及は、その説明される実施の形態がある特定の特徵、構造、又は性質を含んでもよいことを表すが、その特定の特徵、構造、又は性質がどの実施の形態にも必ず含まれうることを表すものではない。また、こうした言い回しは同一の実施の形態に言及するものでは必ずしもない。さらに、ある特定の特徵、構造、又は性質がある実施の形態と結びつけて説明されるとき、そうした特徴、構造、又は性質を他の実施の形態と結びつけてもたすことはそれが明示的に説明されているか否かにかかわらず当業者の知識の範囲内にあるものと理解される。

【 0 0 3 0 】

しかしながら、このような実施の形態を詳細に記載する前に、本発明の実施の形態が実施されうる例示的な環境を示すことが有益である。

30

【 0 0 3 1 】

[ 反射型および透過型リソグラフィシステム例 ]

図 1 A および 1 B は、本発明の実施の形態が実装されうるリソグラフィ装置 1 0 0 およびリソグラフィ装置 1 0 0 ' をそれぞれ模式的に示す図である。リソグラフィ装置 1 0 0 およびリソグラフィ装置 1 0 0 ' はそれぞれ以下を含む。放射ビーム B ( 例えば D U V または E U V 放射 ) を調整するよう構成される照明システム ( イルミネータ ) I L と ; パターニングデバイス ( 例えばマスク、レチクルまたはダイナミックパターニングデバイス ) M A を支持するよう構成され、パターニングデバイスを正確に位置決めするよう構成される第 1 位置決めシステム P M に接続されるサポート構造 ( 例えばマスクテーブル ) M T と ; 基板 ( 例えば、レジストコートされたウェハ ) W を保持するよう構成され、基板 W を正確に位置決めするよう構成される第 2 位置決めシステム P W に接続される基板テーブル ( 例えば、ウェハテーブル ) W T と ; を含む。リソグラフィ装置 1 0 0 および 1 0 0 ' は、パターニングデバイス M A によって放射ビーム B に付与されるパターンを基板 W の ( 例えば一以上のダイを備える ) 目標部分 C に投影する投影システム P S を有する。リソグラフィ装置 1 0 0 において、パターニングデバイス M A および投影システム P S は反射型である。リソグラフィ装置 1 0 0 ' において、パターニングデバイス M A および投影システム P S は透過型である。

40

【 0 0 3 2 】

50

照明システム I L は、放射 B を方向付け、成形し、または制御するための屈折型、反射型、磁気型、電磁気型、静電型、あるいは他の種類の光学素子といった各種光学素子、またはこれらの任意の組合せを含んでもよい。

【 0 0 3 3 】

サポート構造 M T は、パターンングデバイス M A の向き、リソグラフィ装置 1 0 0 および 1 0 0 ' の設計および例えばパターンングデバイスが真空環境で保持されるか否かといった他の条件に応じた方法でパターンングデバイス M A を保持する。サポート構造 M T は、機械式、真空式、静電式または他の固定技術を用いてパターンングデバイス M A を保持してもよい。サポート構造 M T は、フレームまたはテーブルであってもよく、例えばこれらは要求に応じて固定式であっても可動式であってもよい。サポート構造 M T は、パターンングデバイスが、例えば投影システム P S に対して、所望の位置にあることを確実にしてもよい。

10

【 0 0 3 4 】

「パターンングデバイス」 M A の用語は、例えば基板 W の目標部分 C にパターンを生成するために放射ビーム B の断面にパターンを付与するのに使用可能な任意のデバイスを指し示すものと広義に解釈されるべきである。放射ビーム B に付与されるパターンは、目標部分 C に生成される集積回路等のデバイスにおける特定の機能層に対応することができる。

【 0 0 3 5 】

パターンングデバイス M A は、( 図 1 B のリソグラフィ装置 1 0 0 ' のように ) 透過型であってもよいし、( 図 1 A のリソグラフィ装置 1 0 0 のように ) 反射型であってもよい。パターンングデバイス M A の例には、マスクや、プログラマブルミラーアレイ、プログラマブル L C D パネルが含まれる。マスクはリソグラフィにおいて周知であり、バイナリマスク、レベンソン型位相シフトマスク、減衰型位相シフトマスク、さらには多様なハイブリッド型マスクなどのマスク型を含む。プログラマブルミラーアレイは例えば、小型ミラーのマトリックス配列で構成され、各ミラーは、入射する放射ビームを異なる方向に反射するよう個別に傾けることが可能である。傾けられたミラーは、ミラーマトリックスにより反射された放射ビーム B にパターンを付与する。

20

【 0 0 3 6 】

「投影システム」 P S の用語は、用いられる露光放射や、液浸液の使用または真空環境の使用などの他の要素に応じて、屈折型、反射型、磁気型、電磁気型、静電型の光学システムまたはこれらのいかなる組合せを含む、いかなる種類の投影システムを包含することができる。真空環境は E U V または電子ビーム放射のために用いることができる。他のガスは非常に多くの放射または電子を吸収しうるからである。したがって、真空環境は真空壁および真空ポンプの助けによりビーム経路の全体に与えることができる。

30

【 0 0 3 7 】

リソグラフィ装置 1 0 0 および / またはリソグラフィ装置 1 0 0 ' は、二つの基板テーブル ( デュアルステージ ) またはそれ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 ) W T を有する種類の装置であってもよい。このような「マルチステージ」の機械において、追加の基板テーブル W T が並行して使用されてもよいし、一以上のテーブルが露光のために使用されている間に一以上の他の基板テーブル W T で準備工程が実行されてもよい。

40

【 0 0 3 8 】

リソグラフィ装置 ( 特に図 1 B を参照して説明されるような透過型のもの ) は、基板の少なくとも一部が、比較的高い屈折率を有する例えば水などの液体で覆われて投影系と基板との間の空間を満たすものであってもよい。液浸液は、例えばマスクと投影系の間などのリソグラフィ装置の他の空間に適用されるものであってもよい。液浸技術は、投影系の開口数を増大させるために使用可能である。本明細書では「液浸」という用語は、基板等の構造体が液体に完全に浸されているということの意味するのではなく、露光中に投影系と基板の間に液体が存在するということの意味するに過ぎない。

50

## 【 0 0 3 9 】

図 1 A および 1 B に示されるように、イルミネータ I L は、放射源 S O からの放射ビームを受け取る。放射源 S O およびリソグラフィ装置 1 0 0 , 1 0 0 ' は、例えば放射源 S O がエキシマレーザである場合に、分離して存在してもよい。このような場合、放射源 S O はリソグラフィ装置 1 0 0 または 1 0 0 ' の部分を形成するものではないとみなされ、放射ビーム B は、例えば適切な誘導ミラーおよび/またはビームエキスパンダを含むビームデリバリシステム B D ( 図 1 B ) の助けにより、ビーム放射源 S O からイルミネータ I L へと通過する。その他の場合、例えば放射源 S O が水銀ランプである場合、放射源 S O はリソグラフィ装置 1 0 0 , 1 0 0 ' の一体化された部分であってもよい。放射源 S O およびイルミネータ I L は、必要に応じてビームデリバリシステム B D とともに投影システムとみなされてもよい。

10

## 【 0 0 4 0 】

イルミネータ I L は、放射ビームの角度強度分布を調整するように構成されるアジャスタ A D ( 図 1 B ) を含んでもよい。たいいていの場合、イルミネータの瞳面における強度分布の外側半径範囲および/または内側半径範囲(それぞれ アウタおよび インナと通常呼ばれる)の少なくとも一方を調整できる。さらにイルミネータ I L は、インテグレート I N およびコンデンサ C O などの様々な他の要素( 図 1 B ) を備えてもよい。イルミネータ I L は、放射ビーム B を調整し、ビーム断面において所望の均一性および強度分布を有するように用いられてもよい。

## 【 0 0 4 1 】

図 1 A を参照すると、放射ビーム B は、サポート構造(例えばマスクテーブル) M T に保持されるパターンングデバイス(例えばマスク) M A に入射し、パターンングデバイス M A によりパターンが付与される。リソグラフィ装置 1 0 0 において、放射ビーム B はパターンングデバイス(例えばマスク) M A で反射される。パターンングデバイス(例えばマスク) M A で反射された後、放射ビーム B は投影システム P S を通過し、放射ビーム B が基板 W の目標部分 B に集光される。第 2 位置決め装置 P W および位置センサ I F 2 (例えば、干渉計装置、リニアエンコーダ、静電容量センサなど)の助けを借りて、例えば放射ビーム B の経路上に異なる目標部分 C を位置させるように、基板テーブル W T を正確に移動させることができる。同様に、第 1 位置決め装置 P M および別の位置センサ I F 1 を用いて、放射ビーム B の経路に対してパターンングデバイス(例えばマスク) M A を正確

20

30

## 【 0 0 4 2 】

図 1 B を参照すると、放射ビーム B は、サポート構造(例えばマスクテーブル M T ) に保持されるパターンングデバイス(例えばマスク M A ) に入射し、パターンングデバイスによりパターンが付与される。マスク M A を通過すると、放射ビーム B は投影システム P S を通過して基板 W の目標部分 C に集光される。投影システム P S は、照明システムの瞳 I P U と共役の瞳 P P U を有する。放射の一部は、照明システムの瞳 I P U での強度分布から生じ、照明システムの瞳 I P U にて強度分布像を生成するマスクパターンでの回折による影響なしにマスクパターンを通過する。

40

## 【 0 0 4 3 】

第 2 位置決め装置 P W および位置センサ I F (例えば、干渉計装置、リニアエンコーダまたは静電容量センサ)の助けを借りて、例えば放射ビーム B の経路上に異なる目標部分 C を位置させるように基板テーブル W T を正確に移動させることができる。同様に、第 1 位置決め装置 P M および別の位置センサ( 図 1 B に図示せず)を用いて、(例えばマスクライブラリの機械検索後やスキャン中において)放射ビームの経路に対してマスク M A を正確に位置決めすることができる。

## 【 0 0 4 4 】

一般に、マスクテーブル M T の移動は、第 1 位置決め装置 P M の一部を形成するロング

50

ストロークモジュール（粗動位置決め）およびショートストロークモジュール（微動位置決め）の助けにより実現されてもよい。同様に、基板テーブルWTの移動は、第2位置決め装置PWの一部を形成するロングストロークモジュールおよびショートストロークモジュールを用いて実現されてもよい。（スキャナと対照的に）ステップを用いる場合、マスクテーブルMTは、ショートストロークアクチュエータのみに接続または固定されることができる。マスクMAおよび基板Wは、マスクアライメントマークM1、M2および基板アライメントマークP1、P2を用いて位置合わせされてもよい。基板アライメントマークは、図示されるように専用の目標部分を占めているが、目標部分の間のスペースに位置していてもよい（これは、スクライプラインアライメントマークとして知られている）。同様に、マスクMAに一以上のダイが設けられる場合には、マスクアライメントマークはダイの間に位置してもよい。

10

## 【0045】

マスクテーブルMTおよびパターニングデバイスMAは、真空チャンバ内であってもよい。真空チャンバ内では、マスクなどのパターニングデバイスを真空チャンバの内外で移動するための真空内口ポットIVRを用いることができる。または、マスクテーブルMTおよびパターニングデバイスMAが真空チャンバの外側にある場合、真空内口ポットIVRと同様、様々な輸送作業に真空外口ポットを用いることができる。真空内および真空外口ポットの双方は、任意の積荷（例えばマスク）の円滑な搬送のため、搬送ステーションの固定されたキネマティックマウントに対して較正される必要がある。

## 【0046】

20

リソグラフィ装置100および100'は、以下のモードの少なくとも一つで使用されることができる。

## 【0047】

1. ステップモードでは、放射ビームBに付与されたパターン全体が1回の照射で一つの目標部分Cに投影される間、マスクテーブルMT及び基板テーブルWTは実質的に静止状態とされる（すなわち単一静的露光）。そして、基板テーブルWTはX方向および/またはY方向に移動され、異なる目標部分Cが露光される。

## 【0048】

2. スキャンモードでは、放射ビームBに付与されたパターンが目標部分Cに投影される間、マスクテーブルMT及び基板テーブルWTは同期してスキャンされる（すなわち単一動的露光）。マスクテーブルMTに対する基板テーブルWTの速度及び方向は、投影システムPSの拡大（縮小）率および像反転特性により定められる。

30

## 【0049】

3. 別のモードでは、放射ビームBに付与されたパターンが目標部分Cに投影される間、サポート構造（例えばマスクテーブル）MTはプログラマブルパターニングデバイスを保持して実質的に静止状態とされ、基板テーブルWTは移動またはスキャンされる。パルス放射源SOを用いることができ、プログラマブルパターニングデバイスは、基板テーブルWTが移動するたびに、または連続する放射パルス間に必要に応じてスキャン中に更新される。この動作モードは、本書に記載されるプログラマブルミラーアレイなどのプログラマブルパターニングデバイスを使用するマスクレスリソグラフィに直ちに適用できる。

40

## 【0050】

上記のモードを組み合わせて動作させてもよいし、モードに変更を加えて動作させてもよく、さらに全く別のモードを用いてもよい。

## 【0051】

本書ではICの製造におけるリソグラフィ装置の使用を例として説明しているが、本書に説明したリソグラフィ装置は他の用途にも適用することが可能であるものと理解されたい。他の用途としては、集積光学システム、磁気ドメインメモリ用案内パターンおよび検出パターン、フラットパネルディスプレイ、液晶ディスプレイ（LCD）、薄膜磁気ヘッドなどがある。当業者であればこれらの他の適用に際して、本書における「ウェハ」ある

50

いは「ダイ」という用語がそれぞれ「基板」あるいは「目標部分」という、より一般的な用語と同義であるとみなされると理解することができるであろう。本書に言及された基板は露光前または露光後において、例えばトラック（典型的にはレジスト層を基板に塗布し、露光後のレジストを現像する装置）、メトロロジツール、および/またはインスペクションツールにより処理されてもよい。適用可能であれば、本書の開示はこれらのまたは他の基板処理装置にも適用され得る。また、基板は例えば多層ICを製造するために複数回処理されてもよく、その場合には本書における基板という用語は既に処理されている多数の処理層を含む基板をも意味しうる。

【0052】

別の実施の形態において、リソグラフィ装置100は、EUVリソグラフィのためのEUV放射ビームを生成するように構成される極端紫外（EUV）源を含む。一般にEUV源は、（後述の）放射システム中に構成され、対応する照明システムがEUV源のEUV放射ビームを調整するように構成される。

10

【0053】

本書に記載される実施の形態において「レンズ」および「レンズ素子」という用語は、文脈上許されれば、屈折型、反射型、磁気型、電磁気型および静電型の光学要素を含む、様々なタイプの光学要素のいずれか又はその組合せを指すことができる。

【0054】

さらに、本書で用いられる「放射」および「ビーム」の用語は、いかなる種類の電磁的な放射を包含し、可視放射（例えば400 - 780 nmの範囲の波長を有する）、紫外（UV）放射（例えば365、248、193、157または126 nmの波長を有する）、極端紫外（EUVまたは軟X線）放射（例えば5 - 20 nmの範囲の波長を有し、例えば13.5 nm）または5 nm未満で機能する硬X線を含むとともに、イオンビームや電子ビームといった粒子ビームをも含む。一般に、約780 - 3000 nm（またはそれ以上）の間の波長を有する放射はIR放射とみなされる。UVは約100 - 400 nmの波長を持つ放射を指す。リソグラフィにおいて「UV」の用語は水銀放電ランプにより生成できる波長（G線436 nm；H線405 nm；および/またはI線365 nm）にも適用される。真空UVまたはVUV（つまり空気中で吸収されるUV）は、一般に約100 - 200 nmの波長を有する放射を指す。深紫外（DUV）は一般に126 nmから428 nmの範囲の波長を有する放射を指し、ある実施の形態において、リソグラフィ装置内に用いられるエキシマレーザはDUV放射を生成できる。例えば5 - 20 nm範囲の波長を有する放射は、少なくとも一部が5 - 20 nmの範囲に含まれる特定の波長帯に関連することが理解されよう。

20

30

【0055】

アライメントセンサの実施形態は米国仮特許出願第61/888,803号、出願日：2013年10月9日で詳細に説明されており、PCTの下で国際公開第2015/051970号として公開されている。両方の文献の内容はその全体が参照により本明細書に援用される。

【0056】

一般的に、アライメントマーク、例えば回折格子や他のタイプのアライメントマークなどが基板上に設けられる。アライメントセンサは、アライメントマークによって散乱させるために、アライメントマーク上に光パルスを投影する。散乱光パルスの強度は検出器により測定され、そこから位置情報（例えばアライメントセンサに対するアライメントマークの位置を表す）が導き出される。

40

【0057】

複数の波長が適用されてよい。それに加えて、光パルスは、狭帯域パルスをより広いスペクトルのパルス、複数の異なる波長のパルスや光波長帯のパルスなど、に変換する非線形光学素子に与えられる。異なる波長で散乱パターン、例えば回折格子を備えるアライメントマークを用いる場合は回折パターン、を検出するために、異なる波長または異なる波長帯に対して別々の検出器が設けられてもよい。基板構造は、ますます複雑になる傾向に

50

あり、基板に設けられる層の総数は増加傾向にある。その結果、アライメントのために用いられるアライメントマークは、その上に設けられるいくつかの層で覆われる可能性がある。層の構造によって、特定の光波長の光の透過が影響される可能性がある。一部の波長の光パルスは吸収され、反射され、あるいはこれらの層により影響を受ける可能性がある。多数の波長を利用するとき、アライメントマークの検出は残っている波長を使用して実行される。

【 0 0 5 8 】

非線形光学素子はノイズ源を形成する可能性がある。これは、異なる波長のパルスへの入射パルスの変換がパルスごとのばらつきを示す可能性があるからである。このノイズ源は、アライメントセンサの測定結果の誤りになる可能性がある。

10

【 0 0 5 9 】

図 2 は、パルス列 L P T を生成する光源 L L S の概略図である。光源は、例えば可視スペクトル、近紫外 ( U V ) スペクトルまたは近赤外 ( I R ) スペクトルのパルスを放射するものであってよい。パルス列 L P T は、任意の適切なパルス繰り返し周波数を有してよい。実用的な実装では、例えば 1 0 M H z から 1 G H z の範囲の繰り返し周波数、例えば約 8 0 M H z のパルス繰り返し周波数が使用されてよい。パルス列は、フォトニック結晶ファイバなどの非線形光学素子 N L O に提供される。その非線形光学特性のため、非線形光学素子は、(例えば単色の)パルスを波長範囲内の少なくとも 2 つの波長を備えるパルスに変換する。例えば非線形光学素子は、パルス列中の(例えば単色の)パルスを、例えば可視波長帯の光学スペクトルを超えるパルスに変換してよい。レンズシステムなどの結像システム O I S は、非線形光学素子により変換されたパルスを基板上に、特にアライメントマークの検出が期待される基板のゾーンに投影する。非線形光学素子により変換されて光学結像システムにより投影されるパルス列 L P T の入射により、散乱フィールド D P N が発生する。回折格子を備えるアライメントマークの場合、散乱フィールドは例えば 1 つ以上の 1 次および - 1 次回折ビーム、2 次および - 2 次回折ビームを含んでよい。検出器 D E T (例えばフォトダイオードから成る)は、散乱パターンを検出し、それに応じた検出器出力信号を生成する。データ処理装置 D P D (例えば適切なソフトウェア命令でプログラムされたマイクロプロセッサおよび/または専用のデータ処理ハードウェアを含む)は、検出器の検出器出力信号を受け、そこから、例えば検出器信号中の位相情報から、位置情報を導き出す。アライメントセンサに対するアライメントマークの位置を表す位置情報は、検出された散乱パターンから導き出されてよい。

20

30

【 0 0 6 0 】

図 3 に示すように、本発明の態様では、パルス遅延発生器 P D G が設けられる。パルス遅延発生器 P D G は、図 2 の説明で上述した結像システム O I S 中に備えられてよい。パルス遅延発生器は、スプリッタ S P L および再結合器 R E C を備える。スプリッタは、パルス列の伝播経路に配置され、パルス列を異なる偏光を有するパルス列、すなわち、第 1 偏光の第 1 偏光パルス列と第 2 偏光の第 2 偏光パルス列に分離する。第 1 偏光と第 2 偏光は互いに異なり、例えば互いに直交してよい。第 1 偏光の方向と第 2 偏光の方向は、図 3 にそれぞれ垂直矢印と水平矢印で模式的に図示されている。再結合器は、第 1 偏光パルス列と第 2 偏光パルス列を再結合し、再結合パルス列を生成する。スプリッタおよび再結合器は両方とも偏光スプリッタにより形成されてよい。第 1 偏光パルス列は、第 1 伝播経路 F P P に沿って、スプリッタから再結合器に伝播する。第 2 偏光パルス列は、第 2 伝播経路 S P P に沿って、スプリッタから再結合器に伝播する。この略図の実施形態では、第 1 伝播経路は、スプリッタに入射するパルス列の伝播経路と同じ方向に延びている。スプリッタは、分離面 S P L S をそなえている。これは、本実施形態では、スプリッタに入射するときパルス列の伝播経路に対して 4 5 度の角度に配置されている。その結果、第 2 伝播経路はスプリッタから、第 1 伝播経路と垂直な方向に延びている。図示の実施形態では、パルス遅延発生器は、2 つの部分から成る反射ミラー R M R を備える。反射ミラー R M R の第 1 の反射ミラーの反射面は、スプリッタの分離面と平行に配置される。反射ミラー R M R の第 2 の反射ミラーの反射面は、再結合器の分離面 S P L S と平行に配置される。反

40

50

射ミラーは、スプリッタおよび再結合器から第1伝播経路に垂直な方向に間隔をあけている。その結果、第1伝播経路の伝播経路長は第2伝播経路の伝播経路長と異なる。結果として、第1伝播経路に沿った伝播時間は第2伝播経路に沿った伝播時間と異なる。従って、再結合器により再結合される再結合パルス列においては、第1偏光パルス列と第2偏光パルス列の一方が他方に対して遅延する。第1伝播経路と第2伝播経路の間の伝播経路長の差、およびその結果としての遅延の差は、例えば、光源LLSにより生成されるパルス列のパルスサイクル時間の半分に設定されてよい。その結果、(アライメントマークに入射するときと検出器DETに入射するとき)有効パルス周波数が2倍になる。

#### 【0061】

一般的に、第1偏光パルス列と第2偏光パルス列の互いに対する遅延差の結果、アライメントマークに入射するときと検出器DETに入射するときの有効パルス周波数が増大する。上述したように、非線形光学素子は、パルス列中に光学的ノイズを導入する可能性があり、これは、既知の解決法では、検出器により検出されたときに検出器信号中にノイズ寄与をもたらす。従ってアライメント測定にノイズ寄与をもたらす。本発明者は、パルス列の異なる偏光中のノイズ寄与は相関関係のないことに気が付いた。その結果、第1および第2偏光の両方が用いられるときに全有効信号が増大する(例えば2倍)し、一方で非線形光学素子により第1および第2偏光パルス列に導入される光学的ノイズに相関関係がないので、アライメント測定の有効信号対雑音比が増大する。さらに、パルス周波数が効果的に増大し、これにより、検出器による検出器信号のより正確な平均化を行うことが可能となる(アライメントマークにより散乱した散乱ビームを検出する間に検出器が受ける有効全パルス数が増大する)。さらに、両方の偏光が用いられるとき、全有効パルス強度が増大し、低い量子光子ショット雑音リミットがもたらされ、従って改善されたアライメント測定再現性がもたらされる。さらに、アライメントマークに回折格子が存在する場合、回折格子に入射する2つの直交パルス列の結果として、回折格子の非対称効果がある程度平均化される。さらに、アライメント測定の適用空間が増大する。偏光方向の一方が低い検出器信号強度をもたらす場合(例えばアライメントマークを覆う基板層での吸収のため)、偏光方向の他方の検出器信号強度がより少ない程度に減少し、検出器信号強度を高める。

#### 【0062】

第1伝播経路と第2伝播経路の長さの差は、任意の適切な値を有してよい。ある実施形態では、第1偏光パルス列の伝播経路の伝播経路長と第2偏光パルス列の伝播経路の伝播経路長の差は、時間がたつと、第1偏光パルス列と第2偏光パルス列を互いに対してパルス繰り返し周波数のパルス繰り返し時間の10%から50%の相対遅延分シフトする。それにより、第1および第2パルス列は、時間がたつと、互いに対して間隔をあけ、これにより検出器はそれらを順々に検出することが可能となる。

#### 【0063】

ある実施形態では、パルス遅延発生器は、直線偏光に対して+または-45度に方向付けられ、再結合器の下流に配置される4分の1波長板QWPを備える。4分の1波長板は、第1および第2偏光パルス列の直交偏光をそれぞれ左または右回り円偏光、またはその逆に変換する。アライメントマークが回折格子を含む場合、回折格子は特定の偏光の入射光を回折するだけということがある。回折偏光、2つの直交する直線偏光が利用可能である。さらに、回折偏光は、回折対称であり、その結果として、第1方向に沿ったパターンニングを伴うアライメントマークと第1方向と垂直な第2方向に沿ったパターンニングを伴う別のアライメントマークは、同じように入射光を散乱する。一般的に、一方向に沿ったマークは、一部のパターンニングがこの方向にない場合には、左回りおよび右回り円偏光を異なるように回折する。

#### 【0064】

さらなる実施形態が図4に示されている。この実施形態では、第1パルス遅延発生器PDGおよび第2パルス遅延発生器PDGが直列に接続されている。第1および第2パルス遅延発生器は、それぞれ上述のタイプおよび構成であってよい。パルス遅延発生器を直列

10

20

30

40

50

につなぐことによって、パルス列のパルス繰り返し周波数がさらに増大する。効果的には、光源により生成されたパルス列中のそれぞれのパルスに対して、4つのパルスがアライメントマーク上に投影されてよい。一般的に、1つの遅延発生器の遅延時間の差は、光源によるパルス列出力のパルス繰り返し周波数の25%から50%の範囲の有効な遅延をもたらすよう設定される。もう1つのパルス遅延発生器とさらなるパルス遅延発生器のそれぞれの経路長の差は、パルス繰り返し周波数のパルス繰り返し時間の5%から25%である。それによって、4つのパルスは、各パルス繰り返し時間内となり、パルスは順々に検出される。これにより、図3を参照して説明した単一のパルス遅延発生器を採用した実施形態について上述した効果をさらに促進することが可能となる。パルスを互いに離すために、1つのパルス遅延発生器とさらなるパルス遅延発生器のそれぞれの経路長の差は、パルス繰り返し周波数のパルス繰り返し時間の実質的に50%に設定されてよく、もう1つのパルス遅延発生器とさらなるパルス遅延発生器のそれぞれの経路長の差は、パルス繰り返し周波数のパルス繰り返し時間の実質的に25%に設定されてよい。4つのパルスを発生させるために、1つのパルス遅延発生器を非常に短い遅延とし、もう1つのパルス遅延発生器をパルス繰り返し時間の実質的に50%の遅延を有するようにすることも可能である。最大の遅延を有するパルス遅延発生器と最小の遅延を有するパルス遅延発生器がどちらかの順序で直列につながれてもよい。図4に示すように、2分の1波長板HWPが第1のパルス遅延発生器の下流且つ第2のパルス遅延発生器の上流に設けられる。2分の1波長板は、第1および第2偏光方向（垂直および水平矢印で表される）を有する直交偏光を45度変換する。その結果、第2パルス遅延発生器に入射するそれぞれのパルスは、第2偏光方向の成分だけでなく第1偏光方向の成分を含む。その結果、第2のパルス遅延発生器は再度各パルスを第1パルス遅延発生器の後に2つのパルス、すなわち第1偏光方向のパルスと第2偏光方向のパルスが生じるよう分割する。

#### 【0065】

パルス繰り返し時間とパルス繰り返し周波数のそれぞれへの言及に関して遅延を述べる場合、これは、1つまたは自然数のパルス繰り返し時間を規定量分超える遅延を含むものと理解されることに注意する。例えば、パルス繰り返し時間の25%の遅延は、パルス繰り返し時間の125%、225%、325%の遅延もまた参照するものと理解すべきである。

#### 【0066】

遅延発生器のある実施形態が図5を参照して説明される。図5は、図3と同様に、スプリッタSPL、再結合器REC、および反射ミラーRMRを示す。第1の光学ブロックFOBはスプリッタおよび再結合器を備える。スプリッタSPLの分離面および再結合器RECの再結合面は、それぞれ、第1伝播経路FPPに対してそれぞれ45度に配置されている。それにより、スプリッタおよび再結合器が単一部品に組み込まれている。第2の光学ブロックSOBは、2つの反射面を備え、それらは反射ミラーRMRとして機能する。反射面は、それぞれ分離面および再結合面と平行に配置されており、分離面および再結合面から、スプリッタの分離面からの1つの偏光パルス列が反射する反射方向に、この実施例では、パルス列の第1伝播経路FPPの方向に垂直な方向に、間隔をあけている。第2伝播経路は、符号SPPで示されている。このように、僅かな部品しか採用されておらず、遅延時間は、第1および第2の光学ブロックの寸法設計により効果的に設定される。ある実施形態では、第2の光学ブロックは第1の光学ブロックまで延在しており、従ってそれらの間には狭いギャップしか残されていない。これは、遅延時間がとして光学ブロックの寸法設計により設定されることを可能とする。従って、第1光学ブロックの分離面および再結合面に面する側の第2光学ブロックの形状は、第1光学ブロックの分離面および再結合面の形状を補完する。第1および第2の光学ブロックは、ガラス、カルサイト、プラスチック、空気などの任意の実質的に透明な素材から形成されてよい。多くの他の遅延発生器の実施が可能である。例えば、スプリッタ、再結合器および偏光依存性遅延は、偏光依存性遅延を有するファイバに一体的に設けられてもよい。そのような実施形態では、両方の（例えば直交する）偏光が同じファイバを通過するが、それらの一方は他方よりも大

10

20

30

40

50

きく遅延する。

【0067】

ある実施形態では、処理装置は、ローパスフィルタを備える。ローパスフィルタは、検出器により検出される回折パターンのパルス列を滑らかにする。データ処理装置は、

【0068】

ローパスフィルタの出力信号を積分し、

【0069】

積分されたローパスフィルタ出力信号と記憶されたキャリブレーション信号とを比較し、

【0070】

比較からアライメントデータを導き出す、よう構成されてよい。このように、検出器によって検出される検出・回折パルス列は、検出器出力信号からパルス繰り返し周波数成分を低減するためにローパスフィルタされる。結果として生じる信号は、アナログ・デジタル変換器によりデジタル化されてよい。デジタル化された信号は、さらに積分され、記憶されたキャリブレーションデータ、例えばフィルタされ、積分された検出器信号の関数として回折格子の位置データを表す記憶されたキャリブレーション曲線など、と比較される。キャリブレーションデータも、様々な検出器、例えば1次回折を検出する検出器および-1次回折を検出する検出器、のキャリブレーションデータにより形成されてよい。そのような場合、積分された1次および-1次信号の比からキャリブレーションが実行されてよい。

【0071】

ある実施形態では、非線形光学素子は、光波長を白色光スペクトルに変換するよう構成される。白色光は例えば約500ナノメートルから約2.5マイクロメートルまでの全ての波長を含むスペクトルである。多くの色が存在するほど、ユーザは多数の色を選択（または検討）する自由度が高まる。より多くの利用可能な色は、処理に対する影響が少ないことを意味する（スタックパラメータ）。

【0072】

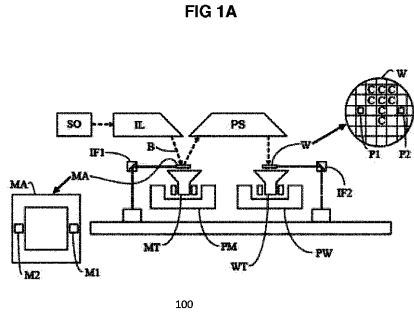
本発明の別の態様によれば、上述のアライメントセンサを備えるリソグラフィ装置が提供される。リソグラフィ装置は、図1および/または図1Bを参照して説明したようなタイプであってよい。リソグラフィ装置は、基板を保持する基板テーブルを備えてよい。アライメントセンサは、基板の位置を測定して基板を整列させることができるように、基板テーブルにより保持される基板の位置を決定するよう構成される。

10

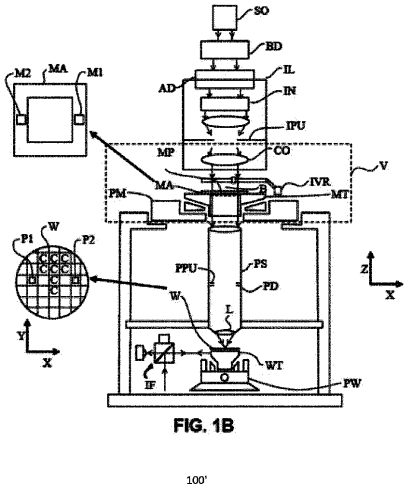
20

30

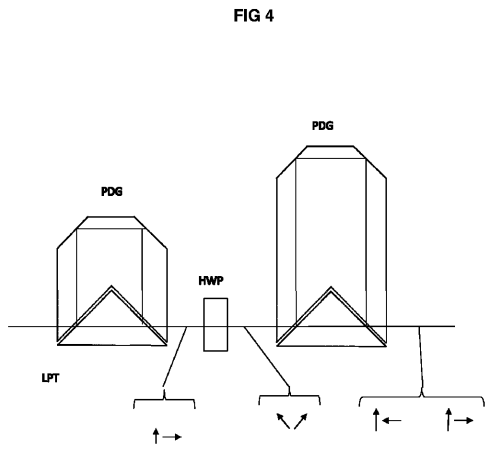
【 図 1 A 】



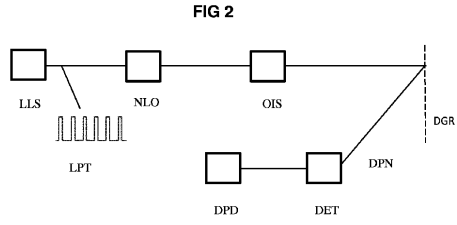
【 図 1 B 】



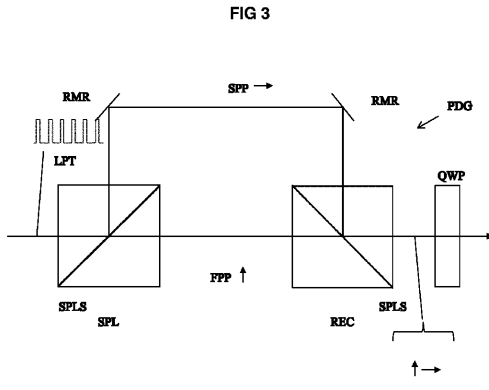
【 図 4 】



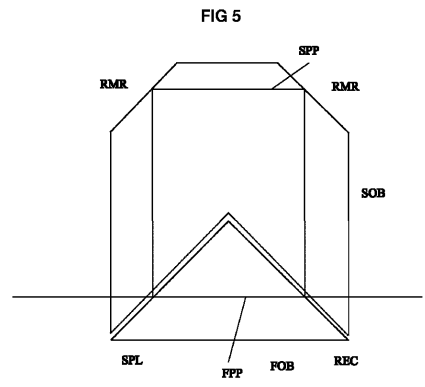
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 5 】



## フロントページの続き

- (74)代理人 100134256  
弁理士 青木 武司
- (72)発明者 マテイツェン、シモン、ガイスベルト、ヨセフス  
オランダ国 ヴェルトホーフェン 5500 エーエイチ, ピー・オー・ボックス 324
- (72)発明者 デン ボエフ、アリー、ジェフリー  
オランダ国 ヴェルトホーフェン 5500 エーエイチ, ピー・オー・ボックス 324
- (72)発明者 クロイツァー、ジャスティン、ロイド  
オランダ国 ヴェルトホーフェン 5500 エーエイチ, ピー・オー・ボックス 324
- (72)発明者 ティンネマンス、パトリシウス、アロイシウス、ヤコブス  
オランダ国 ヴェルトホーフェン 5500 エーエイチ, ピー・オー・ボックス 324

審査官 今井 彰

- (56)参考文献 特開2004-343057(JP,A)  
特開昭64-046925(JP,A)  
特開平02-312221(JP,A)  
特開平03-294831(JP,A)  
特開2000-200747(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027、21/30  
G03F 7/20-7/24、9/00-9/02  
G01B 11/00-11/30