

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第3564215号  
(P3564215)

(45) 発行日 平成16年9月8日(2004.9.8)

(24) 登録日 平成16年6月11日(2004.6.11)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H O 1 L 21/027  
G O 3 F 7/20

F I  
H O 1 L 21/30 5 2 8  
G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 11 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願平7-312914	(73) 特許権者	000005049
(22) 出願日	平成7年11月30日(1995.11.30)		シャープ株式会社
(65) 公開番号	特開平9-153446		大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号
(43) 公開日	平成9年6月10日(1997.6.10)	(74) 代理人	100084146
審査請求日	平成14年12月2日(2002.12.2)		弁理士 山崎 宏
		(74) 代理人	100100170
			弁理士 前田 厚司
		(74) 代理人	100122286
			弁理士 仲倉 幸典
		(74) 代理人	100103296
			弁理士 小池 隆彌
		(72) 発明者	高橋 幸司
			大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号
			シャープ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 干涉露光装置およびそれを用いた干涉露光方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

感光性膜が被着された基板と、前記感光性膜に接する第1面と、該第1面に隣接し、互いに対向した第2、第3面とを少なくとも有するプリズムと、を備え、前記プリズムの第2面及び第3面に同一波長を有する光線をそれぞれ照射して、前記プリズムの第1面に前記光線による干涉縞を形成し、該干涉縞のパターンを前記感光性膜に転写する干涉露光装置において、少なくとも前記プリズムの第2、及び第3面には、それぞれ反射防止膜が形成されてなることを特徴とする干涉露光装置。

【請求項2】

感光性膜が被着された基板と、前記感光性膜に接する第1面と、該第1面に隣接し、互いに対向した第2、第3面とを少なくとも有するプリズムと、を備え、前記プリズムの第2面及び第3面に同一波長を有する光線をそれぞれ照射して、前記プリズムの第1面に前記光線による干涉縞を形成し、該干涉縞のパターンを前記感光性膜に転写する干涉露光装置において、前記プリズムの第2面及び第3面に近接又は接して、前記プリズムの第1面から離れた位置に遮光手段を配置して、プリズムの第2、第3面に入射する光線を制限してなることを特徴とする干涉露光装置。

【請求項3】

感光性膜が被着された基板と、前記感光性膜に接する第1面と、該第1面に隣接し、互いに対向した第2、第3面とを少なくとも有するプリズムと、を備え、前記プリズムの第2面及び第3面に同一波長を有する光線をそれぞれ照射して、前記プリズムの第1面に前記

10

20

光線による干渉縞を形成し、該干渉縞のパターンを前記感光性膜に転写する干渉露光装置において、前記プリズムの第2面に入射した後、前記プリズムの第3面内壁に照射されて反射する反射光と、前記プリズムの第3面に入射した後、前記プリズムの第2面内壁に照射されて反射する反射光とはいずれも、それら反射光の向きが前記プリズムの第1面から離れる方向にすすんでなることを特徴とする干渉露光装置。

【請求項4】

請求項2に記載の干渉露光装置は、少なくとも前記プリズムの第2、及び第3面には、それぞれ反射防止膜が形成されてなることを特徴とする干渉露光装置。

【請求項5】

請求項3に記載の干渉露光装置は、前記プリズムの第1、第2、及び第3面に、それぞれ反射防止膜が形成されてなることを特徴とする干渉露光装置。 10

【請求項6】

感光性膜が被着された基板と、前記感光性膜に接する第1面と、該第1面に隣接し、互いに対向した第2、第3面とを少なくとも有するプリズムと、を備え、前記プリズムの第2面及び第3面に同一波長を有する光線をそれぞれ照射して、前記プリズムの第1面に前記光線による干渉縞を形成し、該干渉縞のパターンを前記感光性膜に転写する干渉露光装置において、前記プリズムの第1面と、前記プリズムの第2、第3面とのなす角 $\alpha$ 、 $\alpha'$ は、下記式(1)を満たしていることを特徴とする請求項3または請求項5に記載の干渉露光装置。

【数1】

$$\frac{1}{2} (270^\circ - \theta_C) < \phi \text{ (or } \phi') < \sin^{-1} \left( \frac{1}{n_p} \right) + \theta_C \cdots (1)$$

ここで、 $n_p$ はプリズムの屈折率

$\theta_C$ はプリズムの内部に照射された光線の、プリズムの第三の面に対する入射角

【請求項7】

前記プリズムの第1面と第2面とのなす角 $\alpha$ と、前記プリズムの第1面と第3面とのなす角 $\alpha'$ とが等しいことを特徴とする請求項6に記載の干渉露光装置。 30

【請求項8】

前記プリズムの第1、第2、及び第3面を除く全ての面は、光の入反射に寄与しない粗面であることを特徴とする請求項1～7のいずれかに記載の干渉露光装置。

【請求項9】

請求項1～8のいずれかの装置を用いて干渉露光してなることを特徴とする干渉露光方法。

【請求項10】

前記プリズムにおいて、

前記第2面および前記第3面のうちの少なくとも一方の一部には、段差あるいは透明薄膜が設けられていることを特徴とする請求項1乃至8の何れかに記載された干渉露光装置。 40

【請求項11】

請求項10に記載の干渉露光装置を用いて干渉露光して回折格子を形成することを特徴とする干渉露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、干渉露光装置およびそれを用いた干渉露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

A l G a A s系の分布帰還型半導体レーザ（以下、「DFB-LD」）をはじめとする短波長のDFB-LDには、一次の回折格子としてピッチが120nm以下となる回折格子が要求される。このようなピッチの小さな回折格子を形成する方法として、図8に示されているプリズムを介した干渉露光法がある。（なお、通常「プリズム」とは「塊状の硝子や石英等の透明物質でできた三角柱形状の光学部品」のことを示すことが多いが、本明細書中では、三角柱形状に限定せず、「塊状の硝子や石英等の透明物質でできた種々な形の面をもつ光学部品」のことを「プリズム」と表現する。）すなわち、まず、図8（a）に示されるように、ホトレジスト801が塗布された基板802を、キシレンなどのホトレジストを侵さない高屈折率の液体803を介してプリズム804と平行に設置する。基板802とプリズム804との間隔は出来るだけ狭くする。プリズム804（屈折率 $n_c$ とする）の2面805, 806を通して2方向から単一波長を有するレーザ光線807, 808を、面809の法線に対して $c$ の角度でそれぞれ照射すると、レーザ光線807, 808が干渉し干渉縞を生じる。この干渉縞の明暗に応じて感光されたホトレジスト801を現像することにより図8（b）に示されるようにホトレジスト801が基板802上に所定のピッチ（例えば約120nm）の縞状に残ることになる。図8（c）に示されているように縞状に残されたホトレジストをマスクとして基板802をエッチングし、ピッチの溝を有する回折格子810を基板802の表面に転写することが出来る。図8（b）,（c）では図面を分かりやすくする為に基板802の上に8本の縞状のレジスト801, 溝810しか描かれていないが、実際には例えば1～3インチ径程度のGaAs基板802の上に120nm程度の間隔で非常に多数の縞が露光、転写されることになる。この方法により作製される回折格子のピッチは、下記式（2）で決定される。

【0003】

【数2】

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2 n_c \sin \theta_c} \quad \dots (2)$$

【0004】

露光に用いられる光源としては、特性が安定し、可干渉性が高いHe-Cdレーザ（ $\lambda = 325\text{nm}$ ）、Arレーザ（ $\lambda = 351.1, 363.8\text{nm}$ ）等のガスレーザが用いられる。上記式（2）において $0^\circ < \theta_c < 90^\circ$ である為に、例えば $\lambda = 325\text{nm}$ のHe-Cdレーザを光源に用いた場合、プリズムの屈折率を $n_c = 1.5$ とすると上記の方法で作製される回折格子のピッチとして最小108nmまでの回折格子が作製できる。プリズム804を用いずに空気中で干渉露光を行う方法の場合（上記式（2）において $n_c = 1.0$ に相当）に作製できる最小ピッチは上記式（2）から163nmとなり、よりピッチの小さな回折格子を作製することが出来る点でプリズムを用いた上述の方法は優れた方法である。特に、AlGaAs等を材料系とする短波長のDFB-LDに対する一次の回折格子ではピッチが120nm前後の小さなものである為、プリズムを用いた干渉露光法が必須の技術となる。

【0005】

なお、図8においては下記の文献1に基づいて直方体形状のプリズムに関して図示したが、下記の文献2においては、三角柱形状のプリズムが用いられている。

【0006】

文献1 : OPTICS COMMUNICATIONS

第9巻, 1973年, 35ページ

文献2 : Applied Physics Letters

第23巻, 1973年, 54ページ

【0007】

10

20

30

40

50

**【発明が解決しようとする課題】**

前述の技術を用いた方法は、可干渉性の高いガスレーザが光学的に作り出す干渉パターンをそのまま転写するものであり、ピッチが非常に均一に揃った回折格子を作製することが出来る点で有効な方法である。しかしながら、従来の直方体形状や三角柱形状のプリズムを用いて回折格子を作製した場合、露光される回折格子の露光状態にモアレ状のムラが生じたり、感光性膜に露光される回折格子パターンのコントラストが悪いという問題があった。本発明の課題は従来のプリズムを用いて露光した場合に生じる、露光状態のムラによる回折格子の品質の低下が生じることのない干渉露光方法及び干渉露光装置を提供することにある。

**【0008】**

10

**【課題を解決するための手段】**

本発明に係る請求項1に記載の干渉露光装置は、

感光性膜が被着された基板と、

前記感光性膜に接する第1面と、該第1面に隣接し、互いに対向した第2、第3面とを少なくとも有するプリズムと、

を備え、

前記プリズムの第2面及び第3面に同一波長を有する光線をそれぞれ照射して、前記プリズムの第1面に前記光線による干渉縞を形成し、該干渉縞のパターンを前記感光性膜に転写する干渉露光装置において、

少なくとも前記プリズムの第2、及び第3面には、それぞれ反射防止膜が形成されてなることを特徴とするものである。

20

**【0009】**

本発明に係る請求項2に記載の干渉露光装置は、

感光性膜が被着された基板と、

前記感光性膜に接する第1面と、該第1面に隣接し、互いに対向した第2、第3面とを少なくとも有するプリズムと、

を備え、

前記プリズムの第2面及び第3面に同一波長を有する光線をそれぞれ照射して、前記プリズムの第1面に前記光線による干渉縞を形成し、該干渉縞のパターンを前記感光性膜に転写する干渉露光装置において、

30

前記プリズムの第2面及び第3面に近接又は接して、前記プリズムの第1面から離れた位置に遮光手段を配置して、プリズムの第2、第3面に入射する光線を制限してなることを特徴とするものである。

**【0010】**

本発明に係る請求項3に記載の干渉露光装置は、

感光性膜が被着された基板と、

前記感光性膜に接する第1面と、該第1面に隣接し、互いに対向した第2、第3面とを少なくとも有するプリズムと、

を備え、

前記プリズムの第2面及び第3面に同一波長を有する光線をそれぞれ照射して、前記プリズムの第1面に前記光線による干渉縞を形成し、該干渉縞のパターンを前記感光性膜に転写する干渉露光装置において、

40

前記プリズムの第2面に入射した後、前記プリズムの第3面内壁に照射されて反射する反射光と、前記プリズムの第3面に入射した後、前記プリズムの第2面内壁に照射されて反射する反射光とはいずれも、それら反射光の向きが前記プリズムの第1面から離れる方向にすすんでなることを特徴とするものである。

**【0011】**

本発明に係る請求項4に記載の干渉露光装置は、請求項2に記載の装置のうち、少なくとも前記プリズムの第2、及び第3面には、それぞれ反射防止膜が形成されてなることを特徴とするものである。

50

## 【 0 0 1 2 】

本発明に係る請求項 5 に記載の干渉露光装置は、請求項 3 に記載の装置のうち、前記プリズムの第 1、第 2、及び第 3 面に、それぞれ反射防止膜が形成されてなることを特徴とするものである。

## 【 0 0 1 3 】

本発明に係る請求項 6 に記載の干渉露光装置は、請求項 3 または 5 に記載の装置のうち、感光性膜が被着された基板と、  
前記感光性膜に接する第 1 面と、該第 1 面に隣接し、互いに対向した第 2、第 3 面とを少なくとも有するプリズムと、

を備え、

前記プリズムの第 2 面及び第 3 面に同一波長を有する光線をそれぞれ照射して、前記プリズムの第 1 面に前記光線による干渉縞を形成し、該干渉縞のパターンを前記感光性膜に転写する干渉露光装置において、

前記プリズムの第 1 面と、前記プリズムの第 2、第 3 面とのなす角  $\theta$ 、 $\theta'$  が、下記式 (1) を満たしていることを特徴とするものである。

## 【 0 0 1 4 】

## 【 数 3 】

$$\frac{1}{2} (270^\circ - \theta_C) < \phi \text{ (or } \phi') < \sin^{-1} \left( \frac{1}{n_p} \right) + \theta_C \cdots (1)$$

ここで、 $n_p$  はプリズムの屈折率

$\theta_C$  はプリズムの内部に照射された光線の、プリズムの第三の面に対する入射角

## 【 0 0 1 5 】

本発明に係る請求項 7 に記載の干渉露光装置は、請求項 6 に記載の装置のうち、前記プリズムの第 1 面と第 2 面とのなす角  $\theta$  と、前記プリズムの第 1 面と第 3 面とのなす角  $\theta'$  とが等しいことを特徴とするものである。

## 【 0 0 1 6 】

本発明に係る請求項 8 に記載の干渉露光装置は、請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の装置のうち、

前記プリズムの第 1、第 2、及び第 3 面を除く全ての面が、光の入反射に寄与しない粗面であることを特徴とするものである。

## 【 0 0 1 7 】

本発明に係る請求項 9 に記載の干渉露光方法は、請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の装置を用いて干渉露光してなることを特徴とするものである。

本発明に係る請求項 10 に記載の干渉露光装置は、請求項 1 乃至 8 のいずれか一つに記載の干渉露光装置において、前記プリズムにおいて、前記第 2 面および前記第 3 面のうちの少なくとも一方の一部には、段差あるいは透明薄膜が設けられていることを特徴とするものである。

本発明に係る請求項 11 に記載の干渉露光方法は、請求項 10 に記載の干渉露光装置を用いて干渉露光して回折格子を形成することを特徴とするものである。

## 【 0 0 1 8 】

ここで、プリズムの第 1 面に隣接し、互いに対向した第 2、第 3 面とは、例えば縁取りを目的として形成される等、干渉露光に何ら影響を及ぼさない面は含まない。

## 【 0 0 1 9 】

また、反射防止膜は、少なくともプリズムの第 2、及び第 3 面に形成されると記載したが、その他に感光性膜に接する第 1 面に形成してもよい。

## 【 0 0 2 0 】

10

20

30

40

50

図9は、従来の直方体プリズム（ $\theta = \theta' = 90^\circ$ ）を用いた場合の、プリズム内部での光の軌跡を示す上面図である。なお、図9においては面905から入射される一方の平行光線しか図示されていないが、実際の干渉露光では面904からも左右対称に同一波長の平行光線を入射させて2つの光線を干渉させる。露光に用いる平行光線はガスレーザから発せられる幅の細い光線をレンズを用いて幅の広い平行光線に変換することによって得るが、基板902に均一な光強度分布で露光が出来るように平行光線の幅は基板902の大きさよりも十分に広く（例えば基板が20mmであれば平行光線は50mm程度）する必要がある。

#### 【0021】

この場合、従来のプリズムを用いた露光においては、910, 911で示される直接的に面906に達してレジスト901への露光に寄与する光と、908, 909で示されるプリズムの反対側の入射面904の内側で一度反射されてから間接的に面906に達してレジスト901への露光に寄与する光とが存在することになる。この一度反射した後に露光に寄与する908, 909で示される光が、露光状態にムラを生じさせたりコントラストを悪化させる原因になる。プリズム内部での不要な反射光の影響を受けず、高い品質の回折格子を作製する為には、908, 909で示される余分な光が露光に寄与しないことが必須となる。なお、従来から用いられてきた三角柱形状のプリズムでも全く同じ状況が生じる。

#### 【0022】

上記の問題を回避する方法として、余分な光908, 909がプリズムの内部に入射した後、面904に届かない様に十分に幅の広い大きなプリズムを用いる手段が考えられる。例えば基板が20mmであれば平行光線は50mm程度となり、プリズムの基板設置面906の幅は一辺200mm程度にすれば良い。しかし、半導体プロセスでは基板の面積は日進月歩で大面積化が進んでおり、これに対応するには非常に巨大なプリズムが要求されることになりかねない。この場合、高い面精度が要求されるプリズムの加工が難しくなり、コストがかかる等の問題が生じるため、プリズムの大きさは出来るだけ小さく、好ましくは基板の大きさに近いことが望ましい。

#### 【0023】

高い品質の回折格子を作製する為の手段として、本発明では次の3つの手段を提供する。  
 （方法1）面904（905）に反射防止膜を設けることにより、光908, 909が面904の内側で反射されることがなくなり、レジスト901への露光に寄与しない。  
 （方法2）面905に入射する前に光908, 909を遮光する。  
 （方法3）光908, 909が面904の内側で反射された時に、これらが面906の方向ではなく、面907の方向（感光性膜901から離れる方向）に反射されるような形状のプリズムにする。

#### 【0024】

（方法3）の条件を満たすプリズムの形状を、簡単な幾何光学的な計算で導出したところ、プリズムの角度 $\phi$ が下記式（3）を満足している必要があることがわかった。

#### 【0025】

#### 【数4】

$$\frac{1}{2} (270^\circ - \theta_C) < \phi \quad \dots (3)$$

ここで、 $n_p$  はプリズムの屈折率

$\theta_C$  はプリズムの内部に照射された光線の、プリズムの第三の面に対する入射角

#### 【0026】

つまり、式（3）の関係を満たすプリズムは、プリズムの基板設置面906が基板902と同程度の大きさであっても露光状態にムラを生じたりコントラストを悪化させる内部反

10

20

30

40

50

射光の影響が露光状態に現われない形状のプリズムである。

【 0 0 2 7 】

また、光を面 9 0 5 へ入射する際にその光が面 9 0 5 で全反射されないことが必要であり、その為にはプリズムの角度  $\phi'$  が下記式 ( 4 ) を満足している必要があることも簡単な幾何光学的な計算で導かれる。

【 0 0 2 8 】

【 数 5 】

$$\phi' < \sin^{-1} \left( \frac{1}{n_p} \right) + \theta_C \cdots (4)$$

10

【 0 0 2 9 】

なお、面 9 0 5 から入射される光に関して角度  $\theta$  の条件式 ( 3 ) と角度  $\phi'$  の条件式 ( 4 ) を示したが、図 9 には記述されていない面 9 0 4 から入射される光に対しても全く等価であることから式 ( 3 ) , ( 4 ) はそれぞれ  $\theta$  ,  $\phi'$  についても成り立ち、結局、式 ( 1 ) が ( 方法 3 ) を実現する為のプリズムの形状の条件となる。

【 0 0 3 0 】

また、( 方法 3 ) において、面 9 0 7 の方向 ( 感光性膜 9 0 1 から離れる方向 ) に反射された余分な光が、更に多重反射を繰り返して最終的に感光性膜 9 0 1 に達してしまうことが無いように、面 9 0 4 , 9 0 5 , 9 0 6 以外は、例えばスリガラス等の粗面であることが望ましい。

20

【 0 0 3 1 】

また、( 方法 3 ) において、角度  $\theta$  と  $\phi'$  が等しい対称な形状のプリズムを用いると露光に用いる光学系全体を左右対称に設置することが出来、光学系の構築が容易になりより望ましい。

【 0 0 3 2 】

なお、光の利用効率を高める観点から、上記 3 つの方法全てにおいて、面 9 0 4 , 9 0 5 , 9 0 6 に相当する面に反射防止膜を施すことが望ましい。

【 0 0 3 3 】

【 発明の実施の形態 】

30

本発明の実施の形態を以下に説明する。

【 0 0 3 4 】

< 実施の形態 1 >

図 6 は、第 1 の実施の形態で用いたプリズムの形状を示す図である。角度  $\theta$  ,  $\phi'$  として  $90^\circ$  を有する直方体形状の光学部品 ( プリズム ) である。角度の精度は  $90^\circ \pm 5$  秒以内で作製されている。材質は硼硅酸ガラス ( B K 7 ) から成り、波長  $351.1 \text{ nm}$  に対して透明であり、屈折率は  $1.539$  である。また、鏡面研磨された面 6 0 1 , 6 0 2 , 6 0 3 の面精度は  $\lambda/20$  である。面 6 0 1 と 6 0 3 及び 6 0 2 と 6 0 3 の角度の精度は  $90^\circ \pm 5$  秒以内、面 6 0 1 と 6 0 2 の平行度は 5 秒以内で作製されている。面 6 0 1 , 6 0 2 , 6 0 3 を除いた面は全てスリガラス状の粗面になっている。プリズムの大きさは、面 6 0 1 , 6 0 2 , 6 0 3 は  $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$  となっている。

40

【 0 0 3 5 】

図 2 は後に説明する実施の形態 3 をの光学系を示す斜視図であるが、ここでは実施の形態 1 のプリズムを図 2 に示す光学系において 2 0 7 と置き換えて使用した。プリズムの面 6 0 3 ( 図 2 における 2 1 0 に相当 ) には、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$  のホトレジスト A z 1 4 0 0 ( シプレイ社製 ) が表面に塗布されたガラス基板が、プリズムの面 6 0 3 ( 図 2 における 2 1 0 に相当 ) に対して平行になるようにキシレンを介して設置した。基板の大きさは、 $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$  の角型である。ここに一定の光量の干渉縞をレジストに照射し、現像液 M F 3 1 9 ( シプレイ社製 ) で処理すると、基板上に均一なピッチを有する回折格子が形成された。図 2 における全反射ミラー 2 0 5 , 2 0 6 の角度  $X$  ,  $Y$  を共に  $28^\circ$  とした

50

時、ピッチ 115 nm の回折格子が露光されていた。

#### 【0036】

本実施の形態においては、角度  $\theta$  は式(1)の範囲に含まれない為、面 601 (602) から入射した光は面 602 (601) の内側で反射されて面 603 に達し、露光に寄与することになる。面 601, 602 に反射防止膜を施さないプリズムを用いた場合には図 3 と同様のレジストマスクの幅が周期的変動する露光ムラを有する回折格子が露光された。一方、面 601, 602 に反射防止膜を施し、反射率を低く抑えた場合、露光ムラが小さい高品質の回折格子が作製されていた。

#### 【0037】

しかしながら、面 601, 602 に反射防止膜を施す加工を行っても、完全に面 601, 602 の反射率を無くすることは困難であり、数%程度の反射率が残ってしまう。単にプリズムに反射防止膜を施すことによって露光ムラを小さく抑えることは出来たものの、その品質は後に述べる実施の形態 3 の様に台形状を底辺とする柱状のプリズムを用いて作製したものよりもやや劣るものであった。

#### 【0038】

なお、面 601, 602 に反射防止膜を施した場合、ホトレジストを露光するのに必要な光量は約 15% 低減した。面 603 に反射防止膜を施したプリズムを用いた場合には更に 30% も低い光量で露光することができ、露光の効率を大きく向上させ、スループットの向上に寄与することが明らかになった。

#### 【0039】

< 実施の形態 2 >

図 7 は、第 2 の実施の形態で用いたプリズムの形状を示す図である。角度  $\theta$  として  $60^\circ$  を有する正三角形を底辺とする柱状の光学部品である。角度の精度は  $60^\circ \pm 5$  秒以内で作製されている。材質は合成石英から成り、波長 351.1 nm に対して透明であり、屈折率は 1.476 である。鏡面研磨された面 701, 702, 703 の面精度は  $\lambda/20$  である。また、面 701, 702, 703 を除いた面は全てスリガラス状の粗面になっている。光の入射面 701, 702 の一部には波長 351.1 nm の光に対して不透明な樹脂 704, 705 の被覆が施されている。プリズムの大きさは、面 703 は 30 mm  $\times$  30 mm, 面 701 と 702 は 30 mm  $\times$  50 mm となっている。

#### 【0040】

図 2 は後に説明する実施の形態 3 の光学系を示す斜視図であるが、ここでは実施の形態 2 のプリズムを図 2 に示す光学系において 207 と置き換えて使用した。プリズムの面 703 (図 2 における 210 に相当) には、厚さ 0.1  $\mu$ m のホトレジスト A z 1400 (シプレ社製) が表面に塗布されたガラス基板が、プリズムの面 703 (図 2 における 210 に相当) に対して平行になるようにキシレンを介して設置した。ここに一定の光量の干渉縞をレジストに照射し、現像液 MF 319 (シプレ社製) で処理すると、基板上に均一なピッチを有する回折格子が形成された。図 2 における全反射ミラー 205, 206 の角度 X, Y を共に  $20^\circ$  とした時、ピッチ 120 nm の回折格子が露光されていた。

#### 【0041】

本実施の形態においては、角度  $\theta$  は式(1)の範囲に含まれない為、樹脂 704, 705 の被覆が施されていない場合には面 701 (702) から入射した光は面 702 (701) の内側で反射されて面 703 に達し、露光に寄与する。この場合には図 3 と同様のレジストマスクの幅が周期的変動する露光ムラを有する回折格子が露光された。一方で面 701 (702) から入射した光のうち、面 702 (701) の内側に達する光を遮光するように面 701, 702 の一部に不透明な樹脂 704, 705 の被覆を施した場合、露光ムラが少ない高品質の回折格子が作製されていた。

#### 【0042】

なお、光の一部を遮光する方法としては、上述のようにプリズムの光入射面に直接遮光用のマスクを被覆する方法の他にも、図 10 に示された方法が考えられる。すなわち、露光に用いる平行光線 1001 ~ 1004, 1005 ~ 1008 がプリズムに入射する前に、

10

20

30

40

50



平行光線の通路の一部に不透明な物体 1009, 1010 を置いて一部を遮光し、影をつくる。遮光する位置は、図 2 における空間フィルタ 202・ビームスプリッタ 204・全反射ミラー 205, 206・プリズムの光入射面 208, 209 に至る光の通路の途中であれば同様の効果を有する。

#### 【0043】

注意すべきことには、平行光線 1001~1004, 1005~1008 の通路の一部に不透明な物体 1009, 1010 を置いて遮光した場合、平行光は不透明な物体 1009, 1010 のエッジで回折を受け、物体 1003, 1004 の近傍を通過した部分 (1002, 1006 近傍) の波面が乱れる。その為、不透明な物体 1003, 1004 のエッジ近傍を通過した光で露光された部分にはエッジ回折によるモアレ状の露光ムラが見られることがあり、露光された回折格子の品質は後で述べる実施の形態 3 の様に台形状を底辺とする柱状のプリズムを用いて作製したものよりもやや劣るものであった。なお、乱れた波面は、光が進むに連れて平行光の全体に広がっていく為、波面の乱れが露光に与える影響が少しでも小さくなるように、感光性膜 1013 に出来だけ近い位置で遮光するのが望ましかった。

#### 【0044】

##### < 実施の形態 3 >

図 1 は、第 3 の実施の形態で用いたプリズムの形状を示す図である。角度  $\theta$  として  $110^\circ$  を有する台形を底辺とする柱状の光学部品である。角度の精度は  $110^\circ \pm 5$  秒以内で作製されている。材質は硼硅酸ガラス (BK7) から成り、波長  $351.1 \text{ nm}$  に対して透明であり、屈折率は  $1.539$  である。また、鏡面研磨された面 101, 102, 103 の面精度は  $\lambda/20$  であり、面 101, 102, 103 の表面には無反射コーティングが施されている。面 101, 102, 103 を除いた面は全てスリガラス状の粗面になっている。プリズムの大きさは、面 103 は  $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ , 面 101 と 102 は  $30 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  となっている。

#### 【0045】

このプリズムを図 2 に示す光学系に設置して使用した。すなわち、単一波長  $351.1 \text{ nm}$  の Ar レーザから発せられたレーザ光は凸レンズ 201, 空間フィルタ 202, 凸レンズ 203 を経て  $50 \text{ mm}$  の円形の平行光線に変換される。 $50 \text{ mm}$  の平行光線の内、中心部の約  $20 \text{ mm}$  程度で光量がほぼ一定であり、露光に用いることが出来る。レンズ 203 を透過した後、ビームスプリッタ 204 で二分された後、全反射ミラー 205, 206 を経てプリズム 207 の面 208 と 209 とに入射される。プリズムの面 210 には、例えばホトレジスト等の感光性膜 211 が表面に塗布された  $10 \text{ mm}$  角の正方形のガラス基板 212 が、プリズムの面 210 に対して平行になるように例えばキシレン 213 等のオイルを介して設置されている。二つの平行光線 214 と 215 はプリズムに入射されるとプリズム中で干渉し合い、図 2 の紙面に垂直方向に平行な干渉縞を形成する。例えば数十  $[\text{mJ}/\text{cm}^2]$  といった一定の光量の干渉縞を感光性膜 211 に照射し、適切な現像液で処理すると、ガラス基板上に均一なピッチを有する回折格子が露光された。全反射ミラー 205, 206 の角度  $X, Y$  を共に  $35^\circ$  とした時、ピッチ  $115 \text{ nm}$  の均一な回折格子が露光されていた。露光された回折格子には露光ムラが一切無く、高品質の回折格子が作製されていた。

#### 【0046】

本実施の形態においては、下記式 (1)

#### 【0047】

#### 【数 6】

$$\frac{1}{2} (270^\circ - \theta_C) < \phi \text{ (or } \phi') < \sin^{-1} \left( \frac{1}{n_p} \right) + \theta_C \cdots (1)$$

ここで、 $n_p$  はプリズムの屈折率

$\theta_C$  はプリズムの内部に照射された光線の、プリズムの第三の面に対する入射角

#### 【0048】

与えられる範囲は

$$94^\circ < \phi \text{ (or } \phi') < 123^\circ$$

となる。上記で用いたものは角度  $\phi$  ,  $\phi'$  として  $110^\circ$  を有するものであり、この範囲に入っていることから、露光ムラが無く、高品質の回折格子が作製されることになった。また、 $\phi$  と  $\phi'$  は共に等しく、図2における光学系の設置が容易であった。

#### 【0049】

比較の為、 $\phi$  として  $80^\circ$  ,  $85^\circ$  ,  $90^\circ$  ,  $\cdots$  ,  $120^\circ$  ,  $125^\circ$  ,  $130^\circ$  で  $5^\circ$  刻みで異なる11種類のプリズムを用意し、同一のピッチ  $115 \text{ nm}$  の回折格子を露光した。いずれも  $\phi'$  は  $\phi$  に等しい形状とした。 $80^\circ$  ,  $85^\circ$  ,  $90^\circ$  のプリズムを用いて露光したものに関しては、図3に断面のイラストが示されているように基板上的レジストマスクの幅が数百  $\mu\text{m}$  間隔で周期的に変調された露光ムラを有する回折格子が露光されていた。図3のように均一でない回折格子では、回折効率が大幅に低下し、回折格子の品質としては良くない。一方で、 $\phi$  ,  $\phi'$  として  $95^\circ$  から  $120^\circ$  のプリズムを用いた場合、何れも図3のような露光ムラは見られず、均一で高品質な回折格子が露光されていた。 $125^\circ$  ,  $130^\circ$  のプリズムの場合には、露光量を数百  $[\text{mJ}/\text{cm}^2]$  以上にまで大きくしても全く回折格子は露光されていなかった。これは、 $125^\circ$  ,  $130^\circ$  のプリズムの場合には、プリズムに入射する光線が全てプリズムの光入射面で全反射してしまうことによる。

#### 【0050】

<実施の形態4>

図4は、第4の実施の形態で用いたプリズムの形状を示す図である。角度  $\phi$  ,  $\phi'$  として  $100^\circ$  を有する台形を底辺とする柱状の光学部品（プリズム）である。角度の精度は  $100^\circ \pm 5$  秒以内で作製されている。材質は合成石英から成り、波長  $351.1 \text{ nm}$  に対して透明であり、屈折率は  $1.476$  である。また、鏡面研磨された面401, 402, 403の面精度は  $\lambda/30$  である。面401, 402, 403を除いた面は全てスリガラス状の粗面になっている。プリズムの大きさは、面403は  $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$  , 面401と402は  $30 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  となっている。またプリズムの一方の表面401にはストライプ状のPMMAから成る透明薄膜404が設けられている。なお、図4にはプリズムの構造がわかりやすくなるように図を簡略し、ストライプ状の透明な薄膜を4本しか表示していないが、実際には厚さ約  $250 \text{ nm}$  の透明な薄膜404が間隔  $36 \mu\text{m}$  , 幅  $36 \mu\text{m}$  で多数本設けられている。

#### 【0051】

このプリズムを図2に示す光学系において207と置き換えて使用した。ただし、 $n$  型  $\text{GaAs}$  結晶の上に下クラッド層となる  $n$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  を  $1 \mu\text{m}$ 、活性層となる  $\text{Al}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{As}$  層を  $0.08 \mu\text{m}$ 、第一上クラッド層なる  $p$  型  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$  を  $0.2 \mu\text{m}$ 、ガイド層となる  $p$  型  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$  を  $0.1 \mu\text{m}$  を化学気相堆積法によって積層させたものを基板212としてプリズムの面210に接するように設置した。また、感光性膜211として厚さ  $0.1 \mu\text{m}$  のホトレジスト  $\text{AZ1400}$ （シプレイ社製）を用いた。ここで約  $30 [\text{mJ}/\text{cm}^2]$  の光量の干渉縞を感光性膜211に照射し、現像液  $\text{MF319}$ （シプレイ社製）で処理すると基板212上には回折格子状のホトレジストが残った。

10

20

30

40

50

## 【0052】

本実施の形態に用いたプリズムでは、プリズムの面401を透過した光のうち、薄膜404を通過した部分と通過していない部分との光の位相が反転するように薄膜404の厚さを設定していることから、ホトレジスト上に作製される回折格子は図5に503で示されるように途中で空間的な位相が反転する部分を有するものとなった。また回折格子のピッチは、全反射ミラー205、206の角度X、Yを共に30°とした時に120nmであった。

## 【0053】

引き続いて湿式エッチングにより回折格子のパターンを基板501の表面に転写した後、ホトレジストを剥離し、第2上クラッド層となるp型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As層を0.8μm、コンタクト層となるp型GaAs層を0.5μmを化学気相堆積法により積層させた。作製された基板を厚さ約100μmに研磨し、上下に適切な電極を付けた後、位相反転部の一つが中央になる様に300μm角のチップ状に劈開分割し、劈開した両端面に無反射コートを施して半導体レーザとした。上下の電極を通して電流を注入したところ、回折格子のピッチに対応するブラッグ波長で単一スペクトルを有するレーザ光が出射された。

## 【0054】

本実施の形態においては、下記式(1)

## 【0055】

## 【数7】

$$\frac{1}{2} (270^\circ - \theta_C) < \phi \text{ (or } \phi') < \sin^{-1} \left( \frac{1}{n_p} \right) + \theta_C \cdots (1)$$

ここで、 $n_p$ はプリズムの屈折率

$\theta_C$ はプリズムの内部に照射された光線の、プリズムの第三の面に対する入射角

## 【0056】

で与えられる範囲は

$$94^\circ < \phi \text{ (or } \phi') < 125^\circ$$

となる。上記で用いたものは角度 $\phi$ 、 $\phi'$ として100°を有するものであり、この範囲に入っていることから、露光ムラが無く、高品質の回折格子が作製されることになった。また、 $\phi$ と $\phi'$ は共に等しく、図2における光学系の設置が容易であった。

## 【0057】

<実施の形態5>

図11は、第5の実施の形態で用いたプリズムの形状を示す図である。角度 $\phi$ 、 $\phi'$ として110°を有する六角形を底辺とする柱状の光学部品である。角度 $\phi$ 、 $\phi'$ の精度は110°±5秒以内で作製されている。面1104と面1105とは5秒以内の精度で平行であり、面1104と面1103及び面1105と面1103とは90°±5秒の精度で垂直になるように作製されている。材質は硼硅酸ガラス(BK7)から成り、波長351.1nmに対して透明であり、屈折率は1.539である。また、鏡面研磨された面1101、1102、1103、1104、1105の面精度はλ/20であり、面1101、1102、1103の表面には無反射コーティングが施されている。面1101、1102、1103、1104、1105を除く他の面は全てスリガラス状の粗面になっている。つまり、本実施例で用いた図11のプリズムは、図1に示した第3の実施の形態で用いたプリズムに、面1103と垂直の角度を成す面1104、1105を含む部分を付け足した形状となっている。プリズムの大きさは、面1103は30mm×30mm、面1101と1102は30mm×50mm、面1104と1105は30mm×30mmとなっている。

10

20

30

40

50

## 【0058】

このプリズムを、面1101, 1102が光の入射面、面1103が基板を設置する面となるように、図2に示す光学系において207と置き換えて使用した。面1101, 1102, 1103に対応する部分は第3の実施の形態で用いたプリズムと等価な作用を及ぼし、回折格子の露光結果に与える効果に関しては第3の実施の形態と同等であった。

## 【0059】

図11のプリズムにおいては、面1103に垂直になるように付け加えられた面1104, 1105から成る部分があることにより、プリズムを光学系に取り付ける時のアライメントが精度良く容易に出来るようになった。図12に示す様にアライメント用のHe-Neレーザ1201の光線を土台の光学定盤に平行かつ基板1206の方向と平行にプリズム1204のアライメント用の面1205(図11における面1104に相当)に当たる様に設定しておき、その反射光の位置をピンホールの開いたスクリーン1202の上でモニターすることによって位置ずれを検知し、プリズムの位置、角度のずれを修正すると、プリズムのアライメントが高精度で出来た。

10

## 【0060】

プリズムのアライメントは、図11における面1101または1102にアライメント用のHe-Neのレーザ光を当てて、上述と同様の方法で行うことも可能であった。しかしながら、面1101, 1102は光学系の基準となる方向(例えば基板の面の方向)に対して110°に傾いた面であり、アライメント用のHe-Neレーザ自体を光学系の基準となる方向に対して110°に傾けて精度良く設定することが難しかった。これは、光学定盤の上には基盤の目状に光学部品を取り付けるネジ穴が切られている為に、光学部品を45°, 90°, ...といった区切りの良い方向にアライメントすることは非常に容易であるが、それ以外の角度に精度良くアライメントすることは難しい事に寄っている。基準となる面に対して45°, 90°, ...といった区切りの良い角度の面をアライメント用の面としてプリズムに付加することは、実用上効果的となる。

20

## 【0061】

ところで、ここまでに説明した実施の形態は図2に示された光学系を用いたものであるが、2本の平行光線がプリズムに至るまでに通過する空間フィルタ・凸レンズ・ビームスプリッタ・全反射ミラー等からなる光学系は、図2に示されたものと同等の機能を有するものであれば光学部品の構成・配置に変更があってもよいことは明らかである。

30

## 【0062】

また、光源には何れもArガスレーザによる紫外光を用いたものを示したが、He-Cdガスレーザ等の他の光源による紫外光によっても効果は同じであり、可視光・深紫外光を用いることも出来る。

## 【0063】

また、プリズムの材質・基板の種類・感光性膜の種類・プリズムと基板との間に満たすオイルの種類についても上記の実施の形態で用いたものに限定されることはない。

## 【0064】

また、本発明で得られる回折格子の応用例として / 4シフト型屈折率結合DFB-LDに関して説明したが、利得結合DFB-LD等の他のタイプのDFB-LDや、DBR-LD・波長フィルター・グレーティングカップラー等の他の用途にも応用することが可能である。

40

## 【0065】

## 【発明の効果】

本発明による干渉露光装置およびそれを用いた干渉露光方法によれば、ピッチの小さな回折格子を露光ムラが無く、高品質に露光することができ、また、光の利用効率が向上し、露光のスループットが向上する。

## 【0066】

また、と'とを等しくすることにより、光学系全体が対称な配置となり、光学系の設置が容易となる。

50

## 【図面の簡単な説明】

【図 1】第 3 の実施の形態の回折格子の製造方法で用いたプリズムの形状を示す斜視図である。

【図 2】第 3 の実施の形態の回折格子の製造方法で用いた光学系を示す模式図である。

【図 3】第 3 の実施の形態の比較例の製造方法で作製された品質の低い回折格子を示す断面図である。

【図 4】第 4 の実施の形態の回折格子の製造方法で用いたプリズムの形状を示す斜視図である。

【図 5】第 4 の実施の形態の回折格子の製造方法で作製された回折格子を示す斜視図である。

10

【図 6】第 1 の実施の形態の回折格子の製造方法で用いたプリズムの形状を示す斜視図である。

【図 7】第 2 の実施の形態の回折格子の製造方法で用いたプリズムの形状を示す斜視図である。

【図 8】従来の回折格子の製造方法を示す図である。

【図 9】従来の回折格子の製造方法の問題点を示す上面図である（プリズムに入射する 2 本の平行光線の内、一方だけが表示されている。）。

【図 10】第 2 の実施の形態の回折格子の製造方法を示す上面図である。

【図 11】第 5 の実施の形態の回折格子の製造方法で用いたプリズムの形状を示す斜視図である。

20

【図 12】第 5 の実施の形態の回折格子の製造方法で用いたプリズムのアライメントの方法を示す上面図である。

## 【符号の説明】

1 0 1 , 1 0 2 光入射面

1 0 3 基板設置面

2 0 1 凸レンズ

2 0 2 空間フィルタ

2 0 3 凸レンズ

2 0 4 ビームスプリッタ

2 0 5 , 2 0 6 全反射ミラー

30

2 0 7 プリズム

2 0 8 , 2 0 9 光入射面

2 1 0 基板設置面

2 1 1 感光性膜

2 1 2 基板

2 1 3 オイル

2 1 4 , 2 1 5 平行光線

3 0 1 基板

3 0 2 レジスト

4 0 1 透明な薄膜が設けられた光入射面

40

4 0 2 光入射面

4 0 3 基板設置面

4 0 4 透明な薄膜

5 0 1 基板

5 0 2 感光性膜

5 0 3 位相反転部

6 0 1 , 6 0 2 光入射面

6 0 3 基板設置面

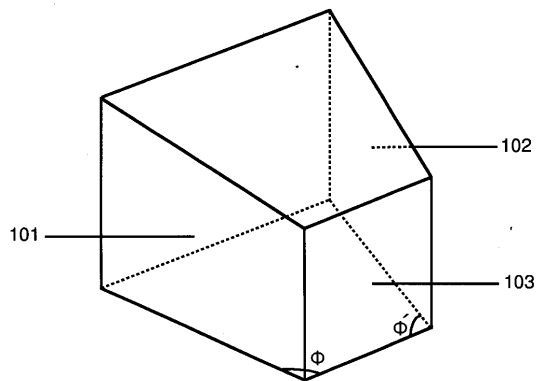
7 0 1 , 7 0 2 光入射面

7 0 3 基板設置面

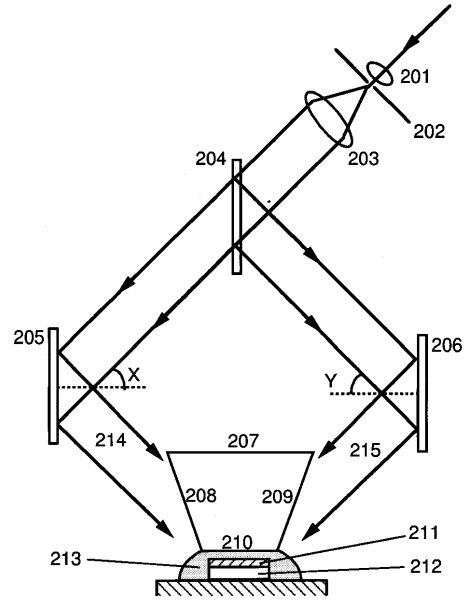
50

7 0 4 , 7 0 5	不透明な遮光用の膜	
8 0 1	感光性膜	
8 0 2	基板	
8 0 3	オイル	
8 0 4	プリズム	
8 0 5 , 8 0 6	光入射面	
8 0 7 , 8 0 8	平行光線	
8 0 9	基板設置面	
8 1 0	回折格子	
9 0 1	感光性膜	10
9 0 2	基板	
9 0 3	オイル	
9 0 4	光入射面	
9 0 5	光入射面	
9 0 6	基板設置面	
9 0 7	プリズム	
9 0 8 , 9 0 9 , 9 1 0 , 9 1 1	入射光	
1 0 0 1 ~ 1 0 0 8	入射光	
1 0 0 9 , 1 0 1 0	遮光用の不透明な物体	
1 0 1 1	直方体形状のプリズム	20
1 0 1 2	基板	
1 0 1 3	感光性膜	
1 0 1 4	オイル	
1 1 0 1 , 1 1 0 2	光入射面	
1 1 0 3	基板設置面	
1 1 0 4 , 1 1 0 5	アライメント面	
1 2 0 1	He - Ne レーザ	
1 2 0 2	ピンホールの開いたスクリーン	
1 2 0 3	全反射ミラー	
1 2 0 4	プリズム	30
1 2 0 5	アライメント用の面	
1 2 0 6	基板	
1 2 0 7	感光性膜	
1 2 0 8	オイル	

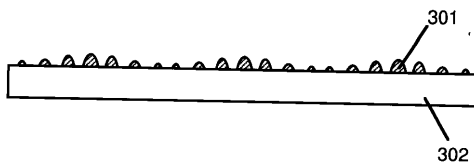
【図 1】



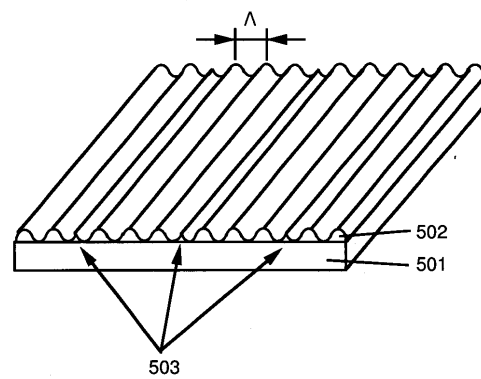
【図 2】



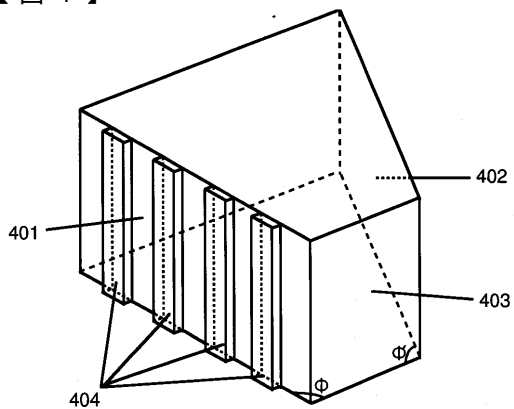
【図 3】



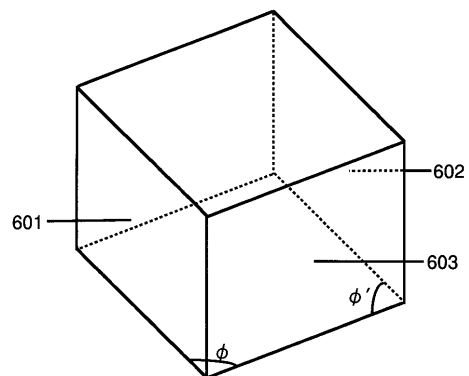
【図 5】



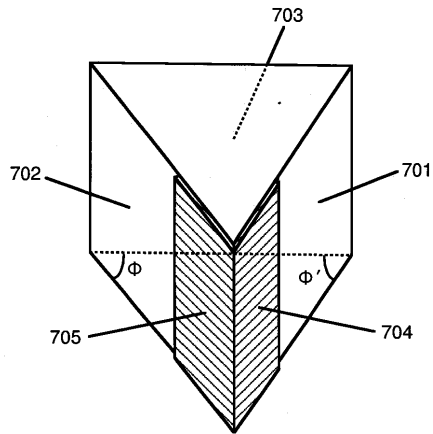
【図 4】



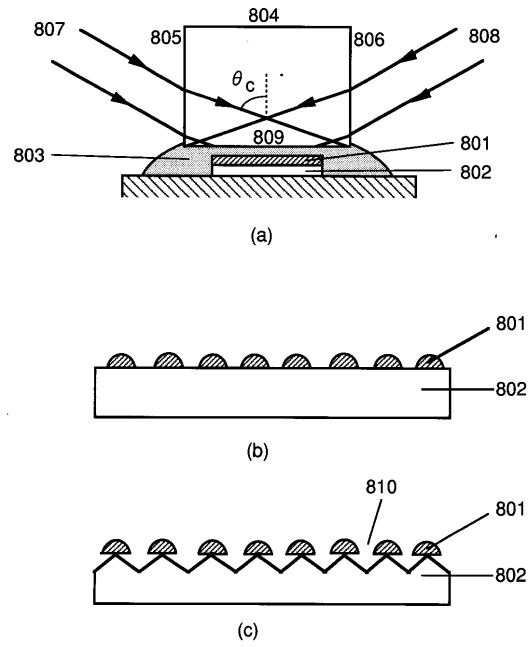
【図 6】



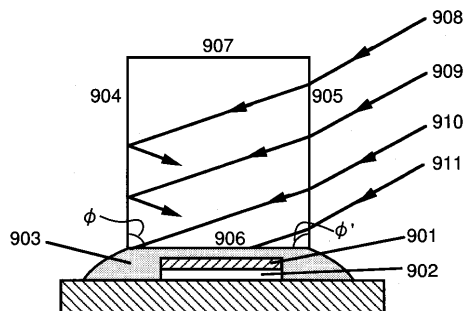
【図 7】



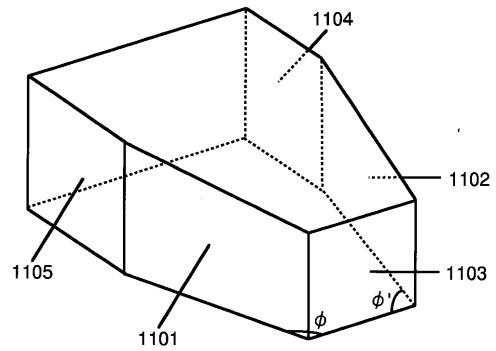
【図 8】



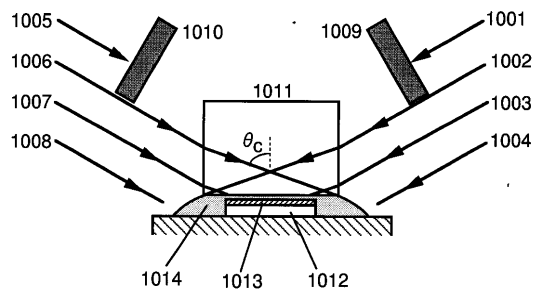
【図 9】



【図 11】

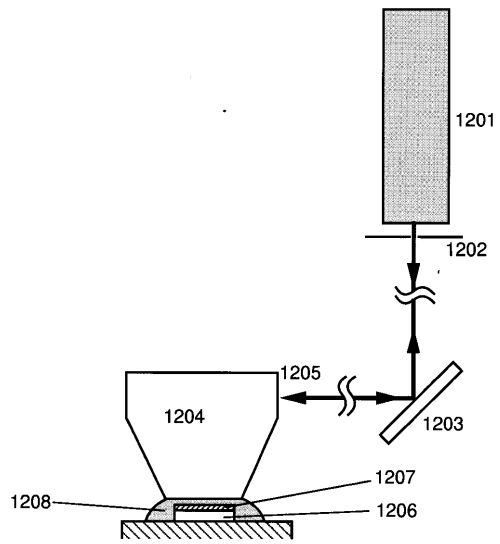


【図 10】





【図 12】



---

フロントページの続き

審査官 岩本 勉

- (56)参考文献 特開平06-067008(JP,A)  
特開昭63-177101(JP,A)  
特開昭61-190368(JP,A)  
特開昭51-072452(JP,A)  
特開平06-018709(JP,A)  
特開平05-165221(JP,A)  
特開平06-011609(JP,A)  
特開平07-134203(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H01L 21/027

G03F 7/20