

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5100146号  
(P5100146)

(45) 発行日 平成24年12月19日(2012.12.19)

(24) 登録日 平成24年10月5日(2012.10.5)

(51) Int. Cl. F I  
**GO2B 1/02 (2006.01)** GO2B 1/02  
**GO2B 5/30 (2006.01)** GO2B 5/30  
**GO2B 27/28 (2006.01)** GO2B 27/28 Z

請求項の数 7 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2007-32708 (P2007-32708)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成19年2月13日(2007.2.13)	(74) 代理人	100105289 弁理士 長尾 達也
(65) 公開番号	特開2007-264604 (P2007-264604A)	(72) 発明者	坂本 淳一 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(43) 公開日	平成19年10月11日(2007.10.11)	(72) 発明者	寺田 順司 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
審査請求日	平成22年2月12日(2010.2.12)	(72) 発明者	中井 法行 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2006-52013 (P2006-52013)		
(32) 優先日	平成18年2月28日(2006.2.28)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学素子及び光学素子の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上に、少なくとも第1の層の上に第2の層が積層され、  
 前記第1の層と前記第2の層に、可視光の波長以下のピッチの空間と構造体が、前記積層された方向に対して垂直な方向に繰り返された繰り返し構造を備えた光学素子であって

前記第1の層と前記第2の層との界面において、前記第1の層の繰り返し構造と前記第2の層の繰り返し構造とが、

前記積層された方向に、下層側の構造体の上面側における一部が上層側の構造体の下面側における一部に食い込む一方、上層側の構造体の下面側における一部が下層側の空間に

10

食い込んだ、これら相互の食い込み部分によるオーバーラップした構造を有し、  
 前記相互の食い込み部分において3nm以上20nm以下の範囲でオーバーラップし、  
 該オーバーラップした構造によって相互に密着力を大きくして接合されていることを特徴とする光学素子。

【請求項2】

前記基板と前記第1の層との間に複数の層を有し、前記第1の層が前記基板から数えてi層目の層によって構成され、前記第2の層がi+1層目の層によって構成されていることを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

【請求項3】

前記第1及び第2の層の繰り返し構造が、ラインアンドスペースによる構造、ホールに

20

よる構造、ドットによる構造、の何れかであることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の光学素子。

【請求項 4】

前記第 1 及び第 2 の層における可視光の波長以下のピッチが、10 nm 以上 200 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 5】

前記第 1 及び第 2 の層の繰り返し構造が、同一材料で構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 6】

前記第 1 及び第 2 の層の繰り返し構造が、誘電体で構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

10

【請求項 7】

基板上に、少なくとも第 1 の層の上に第 2 の層が積層され、  
前記第 1 の層と前記第 2 の層に、可視光の波長以下のピッチの空間と構造体が、前記積層された方向に対して垂直な方向に繰り返された繰り返し構造を備えた光学素子の製造方法であって、

第 1 の層を形成する工程と、

前記第 1 の層に、可視光の波長以下のピッチの繰り返し構造を形成する工程と、前記繰り返し構造におけるスペース領域を、犠牲層材料で埋め込み、犠牲層を形成する工程と、  
前記犠牲層をエッチングして、前記繰り返し構造の側面を、前記繰り返し構造の上面から 3 nm 以上 20 nm 以下の範囲で、前記犠牲層から露出させる工程と、

20

前記犠牲層から露出させた側面を含む繰り返し構造および前記犠牲層の上に、第 2 の層を形成する工程と、

前記第 2 の層に、可視光の波長以下のピッチの繰り返し構造を形成する工程と、

前記犠牲層を取り除く工程と、

を有することを特徴とする光学素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学素子及び光学素子の製造方法に関する。  
特に、表面に可視光の波長より面内周期の短い構造を有する偏光ビームスプリッタ、位相板、バンドパスフィルターなどの 3 次元の中空構造を有する光学素子及びその製造方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

近年、3次元中空構造を有する光学部品の提案が盛んに行われている。  
このような 3次元中空構造を得ることは、今後、光学部品の機能向上において、不可欠な技術であるが、ナノメートルオーダーの構造であり、製法が確立されておらず、素子の強度等に関しても実用上多くの問題を有している。

3次元中空構造を得るに際し、マイクロメートルオーダーの中空構造、いわゆる MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) を製造する方法として犠牲層を用いる方法がある(特許文献 1)。

40

【0003】

これらの MEMS 構造は、デジタルミラーデバイスを提供する。  
このデジタルミラーデバイスは、稼動ミラーを受けるためのヒンジを形成し、外力を受けるヨークをヒンジ上に形成し、さらに、外光を偏向させるミラーをヨーク上に形成し、構成される。

これらの構造は、数ミクロンから数百ミクロンのサイズであり、上層と下層の密着力は十分であり、実用上問題は発生しない。

【0004】

50

また、特許文献 2 には、フォトニック結晶導波路の構造および製造方法が、開示されている。

フォトニック結晶導波路は、ラインアンドスペース構造を有する層に、構造欠陥を与え、これらを、直行する方向で積層することにより、3次元導波路を得ようとするものである。

ここで開示されている製造方法は、半導体材料を用いて、高温で半導体元素をマストランSPORTさせ、接合を実施する。

これらの材料における接合は、金属結合や、共有結合をさせることが可能で、強固に上層と下層を密着させることが可能である。

【特許文献 1】米国特許第 4,662,746 号明細書

【特許文献 2】特開 2001-074955 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、半導体材料は、赤外域では透明であるが、可視域では不透明であるため、可視域で機能する光学素子には、半導体材料を用いることは出来ない。

そのため、誘電体を用ることが必要となるが、誘電体は高温に加熱しても、誘電体同士で元素をマストランSPORTさせ、接合を実施することが困難である場合もある。このように材料によって熱による接合が困難な場合もある。

また、犠牲層プロセスを用いてボトムアップによる積層構造を得ることを試みた場合は、可視光の波長以下のナノメートル構造の場合、上層と下層の接触面積が極端に小さくなる。

そのため、その界面での密着力が極端に小さく、素子が非常に脆弱になるという不都合が生じる。

【0006】

本発明は、上記課題に鑑み、可視域で機能することができ、素子の構造界面における密着力を向上させることが可能となる3次元構造を有する光学素子及び光学素子の製造方法を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、上記課題を達成するために、以下のように構成した3次元構造を有する光学素子及び光学素子の製造方法を提供するものである。

本発明の光学素子は、基板上に、少なくとも第1の層の上に第2の層が積層され、

前記第1の層と前記第2の層に、可視光の波長以下のピッチの空間と構造体が、前記積層された方向に対して垂直な方向に繰り返された繰り返し構造を備えた光学素子であって

前記第1の層と前記第2の層との界面において、前記第1の層の繰り返し構造と前記第2の層の繰り返し構造とが、

前記積層された方向に、下層側の構造体の上面側における一部が上層側の構造体の下面側における一部にくい込む一方、上層側の構造体の下面側における一部が下層側の空間にくい込んだ、これら相互のくい込み部分によるオーバーラップした構造を有し、

前記相互のくい込み部分において3nm以上20nm以下の範囲でオーバーラップし、該オーバーラップした構造によって相互に密着力を大きくして接合されていることを特徴としている。

また、本発明の光学素子は、前記基板と前記第1の層との間に複数の層を有し、前記第1の層が前記基板から数えて*i*層目の層によって構成され、前記第2の層が*i*+1層目の層によって構成されていることを特徴としている。

また、本発明の光学素子は、前記第1及び第2の層の繰り返し構造が、ラインアンドスペースによる構造、ホールによる構造、ドットによる構造、の何れかであることを特徴としている。

10

20

30

40

50

また、本発明の光学素子は、前記第 1 及び第 2 の層における可視光の波長以下のピッチが、10 nm 以上 200 nm 以下であることを特徴としている。

また、本発明の光学素子は、前記第 1 及び第 2 の層の繰り返し構造が、同一材料で構成されていることを特徴としている。

また、本発明の光学素子は、前記第 1 及び第 2 の層の繰り返し構造が、誘電体で構成されていることを特徴としている。

また、本発明の光学素子の製造方法は、基板上に、少なくとも第 1 の層の上に第 2 の層が積層され、

前記第 1 の層と前記第 2 の層に、可視光の波長以下のピッチの空間と構造体が、前記積層された方向に対して垂直な方向に繰り返された繰り返し構造を備えた光学素子の製造方法であって、

第 1 の層を形成する工程と、

前記第 1 の層に、可視光の波長以下のピッチの繰り返し構造を形成する工程と、前記繰り返し構造におけるスペース領域を、犠牲層材料で埋め込み、犠牲層を形成する工程と、前記犠牲層をエッチングして、前記繰り返し構造の側面を、前記繰り返し構造の上面から 3 nm 以上 20 nm 以下の範囲で、前記犠牲層から露出させる工程と、

前記犠牲層から露出させた側面を含む繰り返し構造および前記犠牲層の上に、第 2 の層を形成する工程と、

前記第 2 の層に、可視光の波長以下のピッチの繰り返し構造を形成する工程と、

前記犠牲層を取り除く工程と、

を有することを特徴としている。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、基板上における上層と下層の密着力をアップさせることができ、密着不良が起らないようにすることができる。

また、製造プロセス等で、外力が作用する場合等において、パターン倒れなどの微細構造特有の問題を生じないようにすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

つぎに、本発明の実施の形態として、本発明の基板上に、少なくとも第 1 の層と第 2 の層とを有する光学素子の構成例について説明する。

図 1 に、本実施の形態における 3 次元構造を有する光学素子の構成を説明する模式図を示す。

(a) は斜視図、(b) は矢印 i の方向から見た断面図、(c) は矢印 i i の方向から見た断面図である。

図 1 において、1 は基板、2 は第 1 の構造体、3 は第 2 の構造体、201 及び 301 は空間 (エアギャップ) である。

本実施の態様においては、基板 1 上に、第 1 の層の繰り返し構造体 (第 1 の構造体 2 と空間 201 が積層方向に対して垂直な方向、つまり基板表面に沿って繰り返された構造体) と第 2 の層の繰り返し構造体 (第 2 の構造体 3 と空間 301 が積層方向に対して垂直な方向に繰り返された構造体) とが積層され、このような積層構造体を備えた光学素子が構成されている。

その際、基板 1 と第 1 の構造体 2 の間には、複数の層を存在させ、この構造体 2 を基板から数えて i 層目の層によって構成してもよい。

また、第 2 の構造体 3 の上層に、複数の層を存在させるようにしてもよい。

【0010】

ここで、構造体 2 を基板から数えて i 層目の層によって構成した場合、i 層目の層と i + 1 層目の層とを、可視光の波長以下のピッチの空間と構造体との繰り返し構造によって構成する。

そして、これら各層の界面において、これらのパターン構造がその積層方向においてオー

10

20

30

40

50

オーバーラップした構造とする。

すなわち、 $i$  層目の層（第 1 の構造体 2）と  $i + 1$  層目の層（第 2 の構造体 3）との界面において、 $i$  層目の可視光の波長以下のピッチの繰り返し構造と  $i + 1$  層目の可視光の波長以下のピッチの繰り返し構造とが、積層方向において重なり部を有している。つまり相互に食い込んだ構造を有している。

以下、この食い込んだ状態をオーバーラップと称し、食い込んだ構造をオーバーラップ構造と称することにする。

また、食い込んだ部分 4 をオーバーラップ部と称することにする。

本実施の態様においては、このようなオーバーラップ構造を有することによって、 $i$  層目と  $i + 1$  層目の接触面積を大きくすることができ、相互の密着力を大きくすることが可能となる。

10

また、このようなオーバーラップ部の存在により、パターン倒れなどの微細な構造欠陥を防止することが可能となる。

その際、上記した  $i$  層目の層（第 1 の構造体 2）と  $i + 1$  層目の層（第 2 の構造体 3）との界面において、最も深くオーバーラップした部分 4 が  $3 \text{ nm}$  以上から  $20 \text{ nm}$  以下の範囲で、オーバーラップさせることが望ましい。

面内の最も深いオーバーラップ部が、 $3 \text{ nm}$  以下の場合、製造上の面内分布が発生したとき、部分的に密着不良が発生する可能性がある。

また、 $3 \text{ nm}$  以下の場合、上下層の接触面積が小さく、十分な密着強度が得られない。

また、面内の最も深いオーバーラップ部が、 $20 \text{ nm}$  以上の場合、 $i + 1$  層目の平坦性が悪くなり、光散乱など、光学的に悪影響が発生する。

20

また、オーバーラップ部分の屈折率は、 $i$  層と  $i + 1$  層の中間の値をとるため、光学的に薄くしなければ所望の特性が得にくくなってしまうこととなる。

#### 【0011】

また、本実施の形態において、上記  $i$  層と  $i + 1$  層目の層における可視光の波長以下のピッチの繰り返し構造は、ラインアンドスペースによる構造、ホールによる構造、ドットによる構造の何れかによって構成することができる。

パターンが、ラインアンドスペースによる構造の場合は、光の偏光成分に対して、異方性となり、偏光ビームスプリッタや、ローパスフィルターなどの構成を、得る上で有効な構造である。

30

さらに、ラインアンドスペースによる構造体のラインを可視光波長以下のピッチで分割してもよい（図 11 参照）。分割することにより膜応力によるパターンの剥がれを防ぐことができる。

また、パターンが柱状であるドットによる構造や、パターンが穴状であるホールによる構造の場合、光の偏光成分に対して、等方性となり、多層干渉膜による、反射防止膜や、バンドパスフィルターの構成要素として有効となる。

#### 【0012】

ここで、繰り返し構造のピッチを可視光の波長以下とすることによって、光学素子の使用波長における回折現象を防止することにより、光学的に安定な特性を得ることが可能となる。

40

その際、この繰り返し構造のピッチを  $10 \text{ nm}$  以上  $200 \text{ nm}$  以下にすることが望ましい。特に、ピッチが  $150 \text{ nm}$  以下の場合には、波長  $400 \text{ nm}$  以上の可視光領域で機能する  $45^\circ$  入射角光学素子において、回折光が発生しないため、有効に機能する。 $10 \text{ nm}$  未満であると構造体として維持することが難しい。

また、空間（本明細書においては、以下エアギャップと称することにする。）と構造体で構成される層の有効性は、特に所望の屈折率が得られることにある。

一般的に、屈折率は材料ごとに決まっており、任意の屈折率を得ることは困難である。

ところが、エアギャップと構造体で構成させれば、その比率を制御することにより、任意の屈折率を獲得できる。

具体的には、構造体を構成する物質の屈折率から、空気の屈折率 1 よりも大きな値まで、

50

理論的には制御可能である。特に、低屈折率層として、安定的に用いることが出来るフッ化マグネシウムの屈折率は1.38である。

ところが、構造体として酸化ケイ素(屈折率1.46)を用い、エアギャップを9割とした場合、ホール構造を形成したとき、屈折率は1.146となり、誘電体では実現し得ない、非常に低い屈折率層を得ることが可能となる。

また、ラインアンドスペース構造で、同様にエアギャップを9割とした場合、さらに低屈折率で、かつ、屈折率異方性が出現する。

電界(ライン方向に平行な光の振動成分)に対する屈折率は1.055、磁界(ライン方向に垂直な光の振動成分)に対する屈折率は1.028となる。

#### 【0013】

また、本実施の形態においては、 $i$ 層目および $i+1$ 層目の層による構造材料を、同一材料とすることができる。

このように、 $i$ 層目および $i+1$ 層目の層の構造材料を、同一材料で形成する場合、前述の中間屈折率の影響を無視できるため、所望の特性が得安くなる。

また、本実施の形態においては、構造材料に誘電体を用いることができる。

可視域で機能する光学素子は、可視域で吸収のない材料を用いることが望ましい。

多くの誘電体は、可視域で透明であり、本発明の光学素子の構造材料として有効である。

特に、酸化ケイ素、酸化チタン、五酸化タンタル、酸化ジルコニウム等は、エッチング工程を考慮した場合、容易にエッチング可能なので、有効な材料である。

#### 【0014】

つぎに、本実施の形態における3次元構造を有する光学素子の製造方法を説明する。

まず、 $i$ 層目の、可視光の波長以下のピッチの繰り返し構造を形成する工程は、フォトリソグラフィ法を用いてパターンニングを行った後、エッチングを行う。フォトリソグラフィ法において、露光は、ステッパー、EB(Electron Beam)描画装置、X線露光装置、干渉露光装置など、特に限定するものではなく、所望のピッチを獲得できる方法であればよい。

また、エッチングは微細な構造のため、ドライエッチングを用いることが望ましい。

ドライエッチングにおいて、RIE(Reactive Ion Etching)、ICP(Inductively Coupled Plasma)、NLD(Neutral Loop Discharge)など、いくつかの方法があるが、特に限定するものではなく、所望のピッチを獲得できる方法であればよい。

また、ウェットエッチングにおいて、所望のピッチを獲得できるのであれば、ウェットエッチングでもよい。

また、レジストをマスクに、誘電体をエッチングしようとした場合、選択比が問題になることがある。この場合、構造体をエッチングするためのマスクを、多層マスクにして、選択比が得られる構成にすることが望ましい。

#### 【0015】

次に、スペース部(スペース領域)を犠牲層材料で、埋め込み犠牲層を形成する工程は、一般的なコーティング技術を応用することが出来る。例えば、スピンコート法やスプレーコート法、スリットコート法を用いればよい。

また、犠牲層の材料は、フォトレジスト剤、BARC(Bottom Anti-Reflection Coating)材、アクリル系樹脂、ポリスチレン樹脂など、酸素でアッシング可能な材料であればよい。

また、犠牲層表面の平坦性を良くする為には、構造体上面からの厚さを、厚くするほうがよい。

一方、平坦化工程のプロセス時間を短くするためには、薄い方が望ましい。

したがって、構造体上面からの犠牲層の厚さは、50nm以上、200nm以下が望ましい。尚、犠牲層の平坦性を向上させるためには、複数回に分けて塗布を行うことが有効である。

#### 【0016】

次に、犠牲層全面をエッチング（エッチングバック）して、 $i$ 層目の繰り返し構造体の上部を、前記犠牲層から露出させる工程は、一般的なドライエッチングを用いることが望ましい。

例えば、平行平板のRIE（Reactive Ion Etching）装置を用いることが出来る。繰り返し構造体の側面を、繰り返し構造体の上面から3nm以上20nm以下の範囲で前記犠牲層から露出させる。

エッチング量の制御は、エッチング時間で行うことが可能である。

この際、エッチングガスとして酸素を用いるが、純酸素の場合、エッチングレートが早く、エッチング量の制御性を悪くすることが有る。

そこで、 $CF_4$ や $CHF_3$ 、 $Cl$ ガスを酸素に混合することにより、エッチングレートを遅くすることが出来て、エッチング量の制御性を向上することが可能となる。

#### 【0017】

次に、 $i$ 層目上に $i+1$ 層目の材料を形成する工程は、一般的な成膜技術を用いることが可能である。例えば、蒸着法スパッタリング法、CVD法などを用いる。

但し、犠牲層が変形、変質しない様に、プロセス温度の管理を行わなければならない。

次に、 $i+1$ 層目の可視光の波長以下ピッチの繰り返し構造を形成する工程は、 $i$ 層目のパターニングと同様の方法を用いる。

犠牲層が表出するまでエッチングを行なうため、 $i$ 層目のパターンの上部をオーバーラップ部分の高さ範囲と同じ深さでエッチングすることになる。（図1(c)4参照）

$i$ 層目のパターンの上部を光学特性が許す範囲でオーバーラップ部分の高さ範囲以上エッチングしてもよい。このようにすると、 $i$ 層目のパターンと $i+1$ 層目のパターンの間に段差ができるので、犠牲層を取り除きやすくなる。

最後に、 $i$ 層目のスペースに埋め込まれている犠牲層を取り除く工程は、ドライエッチングを用いることが可能である。

一般的な純酸素を用いたRIE装置でのエッチングで良い。

この他、レジスト専用のアッシング装置を用いることも可能である。ここでのプロセス制御も、時間で行うことが可能である。

以上の方法で、3次元構造体光学素子を得ることが可能となる。

#### 【0018】

以上のように、本実施の形態によれば、基板上における上層と下層の密着力をアップさせることができ、密着不良が起こらないようにすることができる。

また、製造プロセス等で、外力が作用する場合等において、パターン倒れなどの微細構造特有の問題を生じないようにすることができる。

また、6インチや8インチなどの大面積一括加工において、全面有効に使えるため、取り個数が多くなり、効率的な生産が可能となる。

また、オーバーラップ部が厚くなると光学特性に影響が出るが、20nm以下の範囲で、オーバーラップさせる構成を採ることにより、所望の光学特性を容易に得ることが可能となる。

#### 【実施例】

#### 【0019】

以下に、本発明の実施例について説明する。

#### 【実施例1】

まず、図2及び図3を用いて、本実施例における光学素子の3次元構造における基板とパターン配置について説明する。

6インチ石英ウエハー基板5上に、25mmのパターン6を、9点パターニングする。このとき、第1層目のパターンは、図3(a)に示すような、 $0.26\mu m$ ピッチ、ホールパターン7の径は $0.13\mu m$ で正三角形の頂点に配列される構造とした。

また、第2層目のパターンは、図3(b)に示すような、 $0.26\mu m$ ピッチ、ホールパターン8の径は $0.2\mu m$ で正三角形の頂点に配列される構造とした。なお、本実施例では、ホール径は同一マスクを用いて、露光量にて制御を行っているが、マスクは交換して

10

20

30

40

50

も良い。

#### 【0020】

次に、3次元構造を有する光学素子の製造プロセスについて説明する。

図4に、本実施例における上記光学素子の製造プロセスを説明する図を示す。

まず、第1層目のパターンニングについて説明する。

6インチ石英ウエハー基板9を洗浄乾燥後、膜厚100nmの酸化ケイ素を、スパッタリング法により成膜を行い、酸化ケイ素層10を形成した。これにより、第1層目の構造体を形成する層を得た(図4(a))。

次に、酸化ケイ素層10をパターンニングするためのフォトリソグラフィ工程を実施する。

その際、まずパターンニングのためのフォトレジストとして、クラリアント社製AX6850Pを用いた。

レジスト塗布はスピコート法を用い、膜厚300nmとなるようにコーティングを行った。

コーティングの後、110℃で2分間プリベークを行った。

次に、露光は、キャノン社製ステッパーFPA-5000-ES4bを用いた。露光パターンとしては、25mmエリアに0.13μmホールパターンを0.26μmピッチで正三角形の頂点に配列されるように露光した。

このときの露光量は、32mJ/cm<sup>2</sup>であった。また、6インチ基板内に9点露光を行った。

露光後、120℃で2分間PEB(Post Exposure Bake)(露光後焼きしめ)を行った。

#### 【0021】

次に、TMAH(水酸化テトラメチルアンモニウム)2.38%の現像液に1分間浸漬した後、純水シャワーでリンスを行いレジストのホールパターン11を得た(図4(b))。

次に、酸化ケイ素層のエッチングを行った。平行平板型のRIE装置で、CHF<sub>3</sub>をエッチングガスとして圧力2.7Pa、RFパワー100W(0.3W/cm<sup>2</sup>)で4.3分間エッチングを実施した。

さらに、残渣レジストを取り除くため、酸素ガスをエッチングガスとして圧力2.7Pa、RFパワー100Wで1分間アッシングを実施した。

そして、ホール深さ100nmの酸化ケイ素ホールパターン12を得た(図4(c))。

#### 【0022】

つぎに、埋め込み、平坦化工程について説明する。

埋め込み材料は、クラリアント社製AZ Exp. KrF-17C8を用いた。埋め込みは、スピコート法を用いた。2500rpmで30秒スピコートを行った後、180℃で1分間プリベークを行った。

これを2回繰り返して、埋め込みを行った(図4(d))。

その結果、酸化ケイ素ホールパターン上面14より50nm上方に、埋め込み層界面13が平坦に存在した。

平坦化は、エッチングと同様の装置で行った。酸素ガス(17vol%)とCHF<sub>3</sub>(83vol%)の混合ガスをエッチングガスとして圧力3Pa、RFパワー20W(0.06W/cm<sup>2</sup>)で5.5分間アッシングを実施した。

AFMで測定の結果、酸化ケイ素の構造体の露出量(酸化ケイ素パターン側面141がパターン上面14まで犠牲層上面から露出する高さであって、図4(e)のAで示した部分)が3nmである平坦化基板(図4(e))を得た。

#### 【0023】

つぎに、第2層目のパターンニングについて説明する。

第2層目のパターンニングに際し、基板に対して第2層目をスパッタリング法により、膜厚10nmの酸化ケイ素成膜を行った。

10

20

30

40

50

その結果、表面の平坦性が良く、連続で一様な酸化ケイ素層 15 を得ることが出来た（図 4（f））。

次に、第 2 の酸化ケイ素層をパターンニングするためのフォトリソグラフィ工程を実施する。第 1 の酸化ケイ素層のパターンニングと同様に行ったが、露光量のみ、 $50 \text{ mJ/cm}^2$  とした。

現像後のパターンは  $0.26 \mu\text{m}$  ピッチで、ホール径は  $0.2 \mu\text{m}$  であった。

次に、第 2 の酸化ケイ素層を第 1 の酸化ケイ素層と同様に、エッチングを行った。但し、エッチング時間のみ  $0.5$  分間とした。

さらに、残渣レジストを取り除くため、酸素ガスをエッチングガスとして圧力  $2.7 \text{ Pa}$ 、RF パワー  $100 \text{ W}$  で 1 分間アッシングを実施した。

そして、ホール深さ  $10 \text{ nm}$  の酸化ケイ素ホールパターン 16 を得た（図 4（g））。なお、本断面模式図は、図 4（i）の a - a' 間における断面を示している。

#### 【0024】

つぎに、犠牲層のアッシングについて説明する。

犠牲層のアッシングは、RIE 装置を用いて、酸素ガスによりアッシングを行った。アッシング条件は、圧力  $3 \text{ Pa}$ 、パワー  $100 \text{ W}$  で、3 分間実施した。

そして、第 1 層のホールに埋め込まれた犠牲層を取り除き、中空構造 17 を得た（図 4（h））。

気化されて、取り除かれる犠牲層は、非常に微細な隙間 18 から、プラズマにより気化されて、取り除かれる（図 4（i））。

犠牲層の材料特性としては、常温固体で、有機溶剤に溶解した時、スピコートやスプレーコートで、薄膜化可能な材料である必要が有る。

また、酸素プラズマで、蒸気圧の高い気体に分解可能な材料であれば、基本的にはどのようなものでも、使用可能である。

以上のようにして、2 層構成の酸化ケイ素 3 次元構造を得た。6 インチ面内の 9 点パターン全てに於いて、外観上、パターンを作成した  $25 \text{ mm}$  の範囲は均一であり、 $0.5 \text{ MPa}$  の窒素ブローを実施しても、外観に変化は無く、良好な構造であった。

また、パターン中央を割断して、断面を FE-SEM で観察した結果、第 1 層と第 2 層の界面は、強固に密着していることが確認された。

#### 【0025】

##### [実施例 2]

実施例 2 においては、平坦化工程を 6 分間実施した。平坦化により、酸化ケイ素構造体上部が  $20 \text{ nm}$  露出する構造となった。

また、第 2 の酸化ケイ素層を  $70 \text{ nm}$  とし、第 2 の酸化ケイ素層のエッチング時間を  $3.5$  分間とした。上記以外は実施例 1 と同様にして、2 層構成の酸化ケイ素 3 次元構造を得た。

第 2 の酸化ケイ素層の成膜工程後、断面観察を行った結果、表面は約  $5 \text{ nm}$  の凹凸があるものの、連続膜となっており、後工程も同様に実施することが出来た。6 インチ面内の 9 点パターン全てに於いて、外観上、パターンを作成した  $25 \text{ mm}$  の範囲は均一であり、 $0.5 \text{ MPa}$  の窒素ブローを実施しても、外観に変化は無く、良好な構造であった。

また、パターン中央を割断して、断面を FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscope) で観察した結果、第 1 層と第 2 層の界面は、強固に密着していることが確認された。

#### 【0026】

##### [実施例 3]

実施例 3 においては、実施例 1 と同様に 6 インチウエハ形状の光学ガラス基板を用い、9 点露光を行った。

図 5 に、本実施例における光学素子の 3 次元構造の製造プロセスを説明する図を示す。

まず、オハラ社製 S-TIH53 光学ガラス基板 19 を洗浄後、五酸化タンタル層 20 を  $960 \text{ nm}$  の膜厚で蒸着を行った（図 5（a））。

10

20

30

40

50

次に、五酸化タンタルをエッチングする為のマスク材として、WSi層21をスパッタリング成膜した。次に、WSi層21をエッチングする為のマスク材として、酸化ケイ素層22を成膜した。

これらの多層マスク層は、後述のエッチング工程において、フォトレジストと、エッチングされる層との、選択比が取れない場合に、有効な手法である。WSi層及び酸化ケイ素層の膜厚はそれぞれ200nm及び120nmとした。

#### 【0027】

次に、酸化ケイ素層をエッチングする為のマスクとして、フォトレジストパターンを作成した。フォトレジストパターンの露光工程は、干渉露光法を用いて行った。

このとき、多層マスクにWSiを用いている為、露光時の裏面戻り光が強くなる。そのため、戻り光と、入射光の干渉が生じ、露光、現像後のフォトレジスト断面形状が、矩形にならない問題が生じる。

そのため、BARC層23を設けて、この層に裏面戻り光を吸収させて、露光、現像後のフォトレジスト断面形状を矩形にする。

フォトレジストは、シプレ社製UV-170を用いた。また、BARCは、クラリアント社製AZ Exp. KrF-17C8を用いた。それぞれの材料を、多層マスク材料を成膜した基板にスピコートした。

BARCは、180で1分間プリベークを行った。その時の膜厚は115nmであった。また、フォトレジストは、100で2分間プリベークを行った。その時の膜厚は140nmであった。

#### 【0028】

次に、この基板を二光束干渉露光法で露光を行った。使用光源は、Nd-YAG(Nedymium : yttrium - aluminum - garnet)の4倍波である266nmの波長を使用し、基板への入射角度は56°とした。レーザービームは、ビームエキスパンダを用いて、100倍に拡大した。

また、露光量は、30mJ/cm<sup>2</sup>とした。ちなみに、三光束とした場合は、実施例1のホールパターンを形成することも可能である。

露光後、120で1.5分間PEBを実施した後、TMAH2.38%の液中に30秒間浸漬後、純水シャワーでリンスを行い、フォトレジストパターン24を得た(図5(b))。

このとき、35mmの範囲で、パターン有効エリアを取ることが出来た。

#### 【0029】

次に、BARC、酸化ケイ素、WSi、五酸化タンタル層のエッチングを実施した。エッチングは、ICP装置を用いて行った。

BARC及び酸化ケイ素のエッチングは、実施例1と同様のエッチングガスを用い、エッチング条件も同様に設定した。WSiのエッチングは、SF<sub>6</sub>と塩素を1:2の混合ガスで実施した。

圧力2.7Pa、RFパワー1.5W/cm<sup>2</sup>で、40秒間エッチングを行った。その後、SF<sub>6</sub>をエッチングガスとして、圧力6Pa、パワー1.2W/cm<sup>2</sup>、基板側のバイアス20Wを掛け、50分間五酸化タンタルのエッチングを実施し、五酸化タンタルのラインアンドスペース構造25を得た(図5(c))。ここで、ラインアンドスペースの状態は、ライン130nm、スペース30nm、ピッチ160nmであった。

次に、埋め込み平坦化工程を実施した。埋め込みは、実施例1と同様に行った。その結果、五酸化タンタルパターン上面より50nm上方に、埋め込み層界面26が平坦に存在する埋め込み基板を得た(図5(d))。

次に、実施例1と同様の方法で5.6分間、平坦化を実施した。その結果、五酸化タンタル構造体の側面271が犠牲層上面から五酸化タンタル構造体の上面27まで5nmの高さで露出した平坦化基板を得た(図5(e))。

次に、第2層及び第3層目の成膜を実施した。真空蒸着法を用いて、五酸化タンタル層28を24nm蒸着した後、酸化ケイ素層29を10nm蒸着した(図5(f))。

10

20

30

40

50

## 【0030】

この後、多層マスクを形成し、干渉露光法で第1層目と同様にして、フォトレジストパターンを作成した。

このときの露光量は、 $25\text{ mJ/cm}^2$ とした。その後、第1層目と同様にして、多層マスク、及び、酸化ケイ素層と五酸化タンタル層のエッチングを行った。酸化ケイ素層と五酸化タンタル層のエッチングは、第1層目の五酸化タンタルのエッチング条件と同様に、同時に行った。

エッチング時間は1.5分とした。このときの断面模式図を図5(g)に示した。この断面模式図は、図5(f)の矢印*i*方向から見た断面図を示してある。

つまり、第1層と第2層のパターンは直行している。このときの、ラインアンドスペースの状態30は、ライン96nm、スペース64nm、ピッチ160nmであった。

10

## 【0031】

次に、実施例1と同様の方法で、犠牲層のアッシングを実施し、中空構造31を有する3次元構造体光学素子を得た(図5(h))。

この断面模式図は、図5(g)の矢印*i*方向から見た図である。

6インチ面内の9点パターン全てに於いて、外観上、パターンを作成した35mmの範囲は均一であり、0.5MPaの窒素ブローを実施しても、外観に変化は無く、良好な構造であった。

また、パターン中央を割断して、断面をFE-SEMで観察した結果、第1層と第2層の界面は、強固に密着していることが確認された。

20

## 【0032】

本実施例の光学素子は、位相板として機能する。

図6に本実施例による位相板の位相差特性と、一般的に用いられる水晶製位相板の位相差特性の比較を示す。

図中の は、従来の水晶位相板の位相特性を示し、 は、図5(i)構造の位相板の位相特性を、示している。

この結果から、本実施例による位相板は、可視域における位相差の変化が、水晶製位相板よりも小さく、光学的特性に優れていることが解る。

また、図7に、可視域の平均透過率を測定した結果を示す。

これによると、可視域の平均透過率も100%に近く、反射防止効果も同時に得られることが分かる。

30

これは、最終層に設けた酸化ケイ素の構造体が、低屈折率層として機能することにより、反射防止効果をより効率的に引き出していると考えられる。

## 【0033】

## [実施例4]

実施例4では、上記した実施例3と同様の光学ガラス基板を用い、酸化チタン層を360nmスパッタリング法で成膜を行った。

次に、実施例3と同様に多層マスクをスパッタリング法にて成膜した。多層マスクの構成は、膜厚50nmのクロム及び膜厚80nmの酸化ケイ素である。

次に、実施例3と同様に、BARC及びフォトレジストを塗布後、パターンニング、エッチングを行い、第1層目の構造体を得た。

40

但し、干渉露光の基板への入射角度を72°とし、露光量は $35\text{ mJ/cm}^2$ とし、クロムのエッチング条件は、エッチングガスとして塩素と酸素の1:3混合ガスを用い、圧力6Paで、RFパワー50W、基板バイアス120Wで1分40秒実施した。

また、酸化チタン層のエッチング時間は25分とした。以上の要領で、第1層目の構造体を得た。ここで、第1層目のラインアンドスペースの状態は、ライン30、スペース110nm、ピッチ140nmであった。

## 【0034】

次に、実施例3と同様に埋め込み平坦化プロセスを実施した。

同様の材料を用いて、埋め込み条件は、1000rpmで30秒スピコートを行った後

50

、180 で1分間プリベークを行った。これを2回繰り返して、埋め込みを行った。その結果、酸化チタンパターン上面より200nm上方に、埋め込み層界面が平坦に存在した。平坦化は、実施例3と同様にして、22分間アッシングを実施した。図2に示した、6インチ光学ガラス基板上の9点のパターン中心における酸化チタンの露出量をAFMで測定した結果、6-1、6-3、6-7、6-9では20nm、6-2、6-4、6-6、6-8では15nm、6-5では10nmであった。

#### 【0035】

次に、第2層目の形成を実施した。

第2層目も酸化チタンを70nm、多層マスクとして、第1層目と同様に、膜厚50nmのクロム及び膜厚80nmの酸化ケイ素を、スパッタリング法で成膜を行った。その後、レジストパターンを作成した。露光量は18mJ/cm<sup>2</sup>とした。

そして、第1層と、酸化チタンのエッチング時間を5分間とした以外、第1層と同様の条件で第2層目の構造体を形成した。第2層目のラインアンドスペースの状態は、ライン120nm、スペース20nm、ピッチ140nmであった。

#### 【0036】

次に、実施例3と同様に犠牲層をアッシングして、第1層目の中空構造を作成した。

さらに、第1層目の埋め込み平坦化プロセスと同様の処理を施した。この基板に酸化チタンを、360nmの膜厚でスパッタリングした。

この第3の酸化チタン層も、第1層と同様の方法でパターニングを行った。ラインアンドスペースの状態は、第1層目と同様、ライン30nm、スペース110nm、ピッチ140nmであった。最後に第1層目の犠牲層と同様にアッシングを行い第2層目の中空構造を作成した。

第3層目の形成過程は、第2層目のスペースが小さいため、犠牲層プロセスを用いず直接成膜を施した場合でも連続膜を形成することが可能である。この方法においても、スペース部上部にも成膜材料が埋め込まれ、第2層目と第3層目を積層方向にオーバーラップさせることが可能である。

#### 【0037】

6インチ面内の9点パターン全てに於いて、外観上、パターンを作成した35mmの範囲は均一であり、0.5MPaの窒素ブローを実施しても、外観に変化は無く、良好な構造であった。

また、パターン中央を切断して、断面をFE-SEMで観察した結果、第1層と第2層の界面、及び第2層と第3層の界面は、強固に密着していることが確認された。

次に、得られた3層構造の基板をスクライブして、28.3×20mmの長方形に切り出し、9個の3次元構造体基板を作成した。9枚を用いて、各々S-TIH53基板と貼り合わせを実施した。

#### 【0038】

図8に、その張り合わせのためのプロセスについて説明する模式図を示す。

まず、S-TIH53基板32を洗浄した(図8(a))。

次に、接着剤層をスピコート後、仮硬化を行う。接着剤として、チタンカップリング剤である味の素ファインテック社製プレーンアクトKR-55を、イソプロピリアルコールで60倍に希釈したものをを用いた。

スピコートは5000rpmで30秒間、仮硬化は180 で2分間実施し、接着剤層33付基板を得た(図8(b))。

次に、前述のスクライブされた3次元構造を有する基板34を、構造体部と、接着層が接触するように重ね合わせる。

次に、この重ね合わせた基板を、ホットプレート上で、2kgの荷重をかけながら、5分間、200 で放置する(図8(c))。

基板を冷却後、S-TIH53製の45°プリズム35で挟み込むように接着を行い、プリズムを得た(図8(d))。

#### 【0039】

本実施例の光学素子は、偏光ビームスプリッタとして機能する。  
本実施例におけるプリズムの入射角  $45^\circ$  プラスマイナス  $10^\circ$  における S 偏光及び P 偏光の分光透過率を図 9 に示す。

この図に示されているように、入射角  $35^\circ$  における S 偏光の透過率が上昇することと、入射角  $55^\circ$  における P 偏光の透過率が低下する以外、問題が無い。

特に  $45^\circ$  プラスマイナス  $5^\circ$  の入射角における特性の変化はほとんど無く、光学特性に優れていることが分かる。(  $40^\circ$  及び  $50^\circ$  の入射角については  $45^\circ$  の入射角とほぼ同じ結果が得られたためプロットは省略した。 )

図 8 では、3 次元構造が基板の端まで構成されているが、図 10 に示すように、基板の端部と構造体の間に空間部を有している構造でもよい。

このように構成することにより、素子開口部に空間を持たせることができるため急激な温度変化に対して熱的損傷を緩和させ、接合部からのガス放出を抑えることができる。

これによりさらに対環境的に安定した投影面像を得ることが可能となる。

【 0 0 4 0 】

( 比較例 1 )

比較例 1 においては、第 1 層目の埋め込み層を平坦化する工程で、20 分間アッシングを実施した。

この時、図 2 に示した、6 インチ光学ガラス基板上の 9 点のパターン中心における酸化チタンの露出量を AFM で測定した結果、6 - 1、6 - 3、6 - 7、6 - 9 では  $1 \text{ nm}$ 、6 - 2、6 - 4、6 - 6、6 - 8 では  $-4 \text{ nm}$ 、6 - 5 では  $-9 \text{ nm}$  であった。

ここで、マイナスは、酸化チタンは露出せず、表面に犠牲層が残った状態を示している。この後、実施例 4 と同様のプロセスを実施した。パターン 6 - 2、6 - 4、6 - 6、6 - 8、及び 6 - 5 は、犠牲層をアッシング後において、光散乱を生じていた。欠陥部を、割断して FE - SEM で測定の結果、第 2 層の酸化チタン層が、微小なエリアで全面欠陥が生じていた。

また、パターン 6 - 1、6 - 3、6 - 7、6 - 9 は、概観の不都合が無い場合、プリズムで接合したところ、接着剤のポストバーク工程である 200 で放置中に、界面から剥離することが確認された。

【 0 0 4 1 】

( 比較例 2 )

比較例 2 においては、6 . 1 分間平坦化を実施した。このときの五酸化タンタルの露出量は  $25 \text{ nm}$  であった。それ以外、実施例 3 と同様にして位相板を得た。

その結果、概観上、白く曇った状態となっていた。また、分光透過率を測定した結果、図 7 の で示すように、透過率の低下が確認された。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 2 】

【図 1】本発明の実施の形態における 3 次元構造を有する光学素子の構成を説明する模式図。

【図 2】本発明の実施例 1 における基板とパターン配置を説明する図。

【図 3】本発明の実施例 1 における光学素子の 3 次元構造の第 1 層目と第 2 層目のパターン形状を示す図。

【図 4】本発明の実施例 1 における 3 次元構造を有する光学素子の製造プロセスを説明するための断面模式図。

【図 5】本発明の実施例 3 における 3 次元構造を有する光学素子の製造プロセスを説明するための断面模式図。

【図 6】本発明の実施例 3 における位相板の位相差特性と、水晶製位相板の位相差特性の比較図。

【図 7】本発明の実施例 3 における位相板及び比較例 2 の位相板の平均透過率を示す図。

【図 8】本発明の実施例 4 におけるプリズムに張り合わせるためのプロセスについて説明する模式図。

10

20

30

40

50

【図 9】本発明の実施例 4 における偏光ビームスプリッタの S 偏光及び P 偏光の分光透過率を示す図。

【図 10】本発明の実施例 4 における光学素子の他の実施例を示す図。

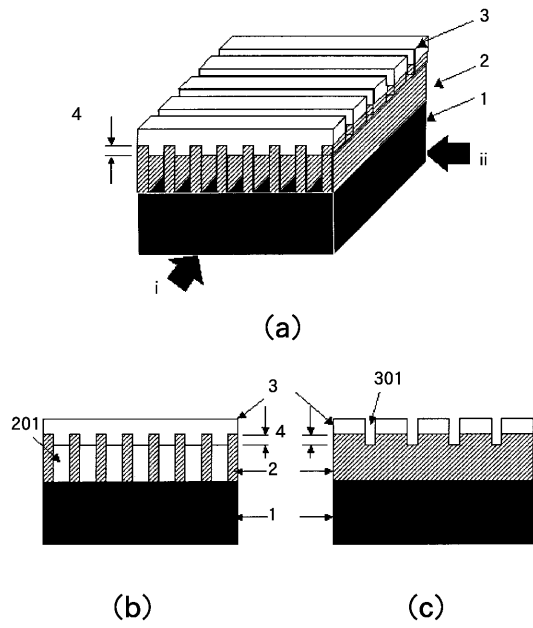
【図 11】ラインアンドスペースによる構造体パターンの一例を示す図。

【符号の説明】

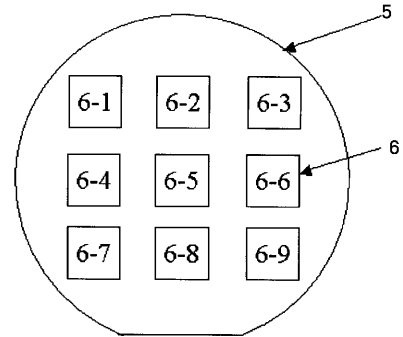
【0043】

- 1、9、19、32：基板
- 2：第 1 の構造体
- 3：第 2 の構造体
- 4：オーバーラップ構造 10
- 5：ウエハ基板
- 6、6-1、6-2、6-3、6-4、6-5、6-6、6-7、6-8、6-9：パターンニングエリア
- 7：実施例 1 の 1 層目のホールパターン
- 8：実施例 1 の 2 層目のホールパターン
- 10、15、22、29：酸化ケイ素層
- 11：レジストホールパターン
- 12、16：酸化ケイ素ホールパターン
- 13、26：埋め込み層界面
- 14：酸化ケイ素露出面 20
- 17、31：中空構造
- 18：微細な隙間
- 20、28：五酸化タンタル層
- 21：WSi 層
- 23：BARC 層
- 24：フォトリジストパターン
- 25：五酸化タンタルのラインアンドスペース構造
- 27：五酸化タンタル露出面
- 30：第 2 層目のラインアンドスペース構造
- 33：接着剤層 30
- 34：3次元構造を有する基板
- 35：プリズム

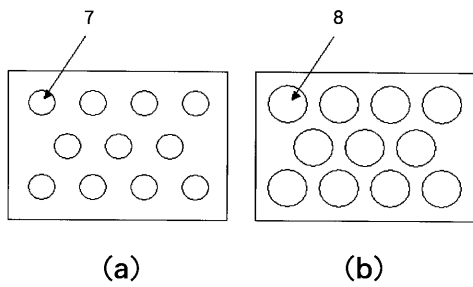
【 図 1 】



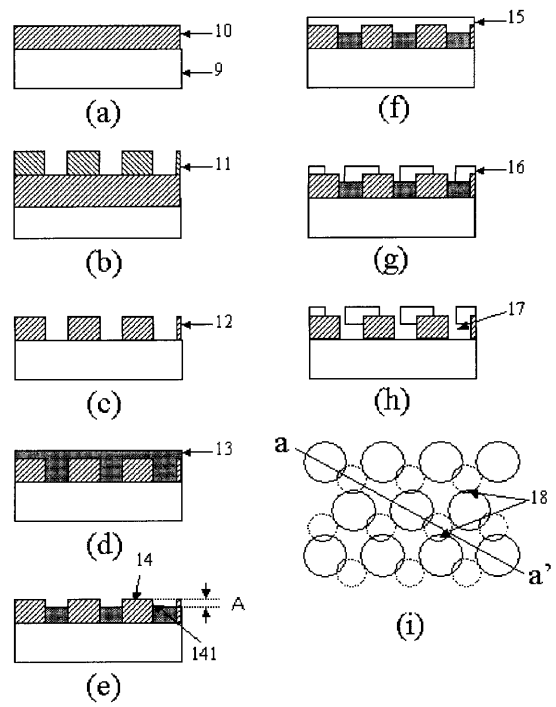
【 図 2 】



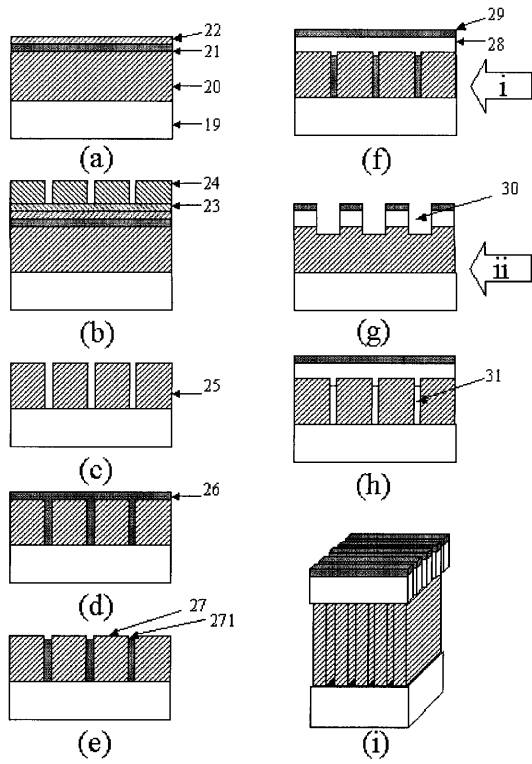
【 図 3 】



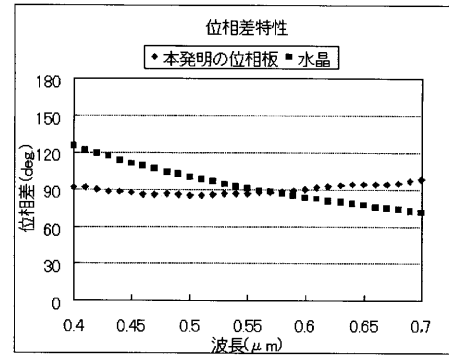
【 図 4 】



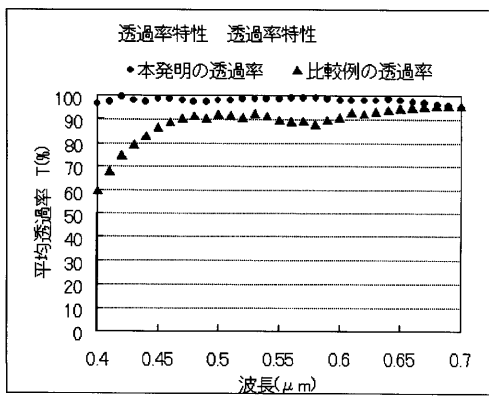
【図5】



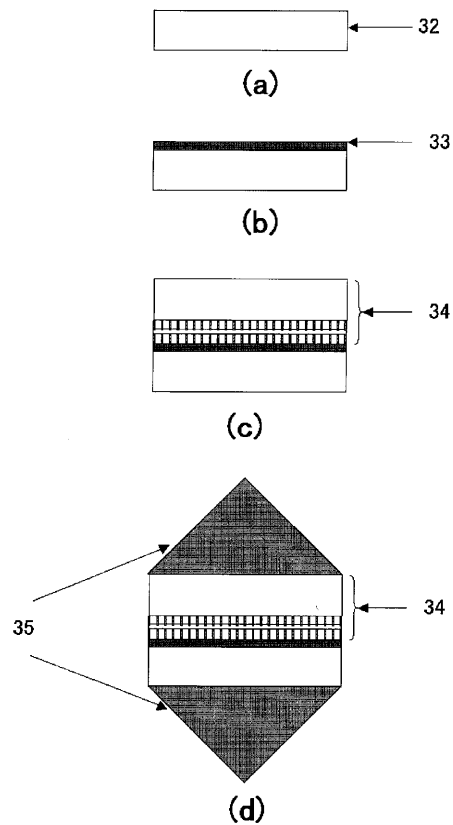
【図6】



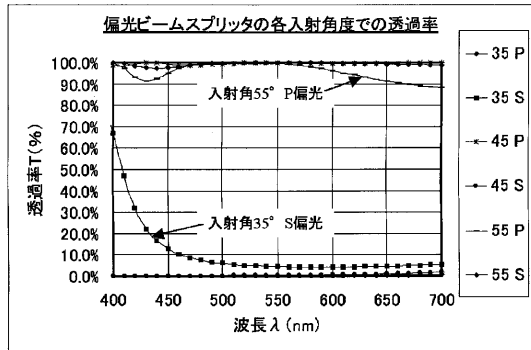
【図7】



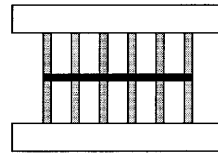
【図8】



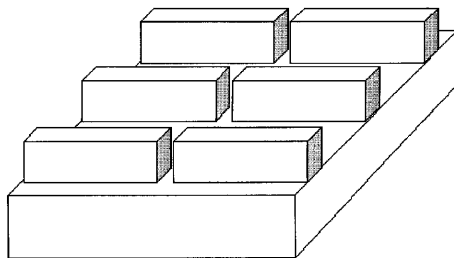
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 荒井 一浩  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 竹村 真一郎

(56)参考文献 特開2004-361451(JP,A)  
特開2000-284136(JP,A)  
特開2002-365454(JP,A)  
特開2001-194501(JP,A)  
特開2005-331671(JP,A)  
特開2001-209189(JP,A)  
特開2005-353233(JP,A)  
特表2005-521073(JP,A)  
特開2001-281473(JP,A)  
特開2002-162576(JP,A)  
特開2005-292787(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G02B 1/02、5/18、5/30  
G02B 27/28