

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5951589号  
(P5951589)

(45) 発行日 平成28年7月13日(2016.7.13)

(24) 登録日 平成28年6月17日(2016.6.17)

(51) Int.Cl.

F I

G O 2 B 6/12 (2006.01)

G O 2 B 6/12 3 6 1

G O 2 F 1/377 (2006.01)

G O 2 F 1/377

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2013-245782 (P2013-245782)  
 (22) 出願日 平成25年11月28日(2013.11.28)  
 (65) 公開番号 特開2015-102844 (P2015-102844A)  
 (43) 公開日 平成27年6月4日(2015.6.4)  
 審査請求日 平成27年8月19日(2015.8.19)

(73) 特許権者 000004064  
 日本碍子株式会社  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 (74) 代理人 100097490  
 弁理士 細田 益稔  
 (74) 代理人 100097504  
 弁理士 青木 純雄  
 (72) 発明者 浅井 圭一郎  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 日本碍子株式会社内  
 (72) 発明者 山口 省一郎  
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号  
 日本碍子株式会社内

審査官 磯野 光司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光導波路素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム - タンタル酸リチウム、イットリウム・アルミニウム・ガーネット、イットリウム・バナデート、バナジン酸ガドリニウム、タングステン酸カリウムガドリニウムおよびタングステン酸カリウムイットリウムからなる群より選ばれた光学材料からなる薄層、

この薄層上に装荷されているリッジ部であって、五酸化タンタルからなり、光の伝播方向に対して垂直な横断面で切ってみたときに台形をなしているリッジ部、および

光の伝播方向に対して垂直な横断面で切ってみたときに前記リッジ部の両側に形成されている被覆層であって、五酸化タンタルからなり、前記リッジ部と一体の膜を形成している被覆層

を備えており、前記リッジ部はテープ剥離試験で前記薄層から剥離せず、前記テープ剥離試験は、JIS H8504試験に従い、JIS Z1522規格のテープを前記リッジ部を覆うように3.0 mmの長さで貼り付けた後に前記テープを垂直方向に引く試験であることを特徴とする、光導波路素子。

【請求項 2】

光の伝播方向に対して垂直な横断面で切ってみたときに、前記リッジ部の傾斜面の立ち上がり角度が45°以上、80°以下であることを特徴とする、請求項1記載の素子。

【請求項 3】

前記薄層の前記リッジ部とは反対側に設けられた支持基板を備えていることを特徴とす

10

20

る、請求項 1 または 2 記載の素子。

【請求項 4】

前記薄層中に周期分極反転構造が形成されていることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか一つの請求項に記載の素子。

【請求項 5】

少なくとも前記リッジ部上に二酸化珪素膜が形成されていることを特徴とする、請求項 1 ~ 4 のいずれか一つの請求項に記載の素子。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか一つの請求項に記載の光導波路素子を製造する方法であって、前記リッジ部および前記被覆層をウェットエッチングで形成することを特徴とする、光導波路素子の製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光導波路素子に関するものである。

【背景技術】

【0002】

ニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウム単結晶のような非線形光学結晶は二次の非線形光学定数が高く、これら結晶に周期的な分極反転構造を形成することで、疑似位相整合 (Quasi-Phase-Matched : QPM) 方式の第二高調波発生 (Second-Harmonic-Generation: SHG) デバイスを実現できる。また、この周期分極反転構造内に導波路を形成することで、高効率な SHG デバイスを実現でき、光通信用、医学用、光化学用、各種光計測用等の幅広い応用が可能である。

20

【0003】

通常、SHG デバイスには、外部から励起光といわれる基本波光源が必要であり、例えば、緑色の SHG レーザ場合、基本波光源には、800nm 帯の半導体レーザに、例えばイットリウム・バナデート ( $YVO_4$ ) というレーザ結晶を組み合わせ、1064nm の波長の光を発振する固体レーザが使用されることがある。レーザ用結晶材料としては、 $YVO_4$  の他にイットリウム・アルミニウム・ガーネット (YAG)、バナジン酸ガドリニウム ( $GdVO_4$ )、タングステン酸カリウムガドリニウム (KGW)、タングステン酸カリウムイットリウム (KYW) などが例示できる。

30

【0004】

SHG レーザーを高効率化するためには、SHG デバイスのみでなく、レーザー結晶も導波路化すること有用である。

【0005】

しかし、SHG 用の結晶やレーザ結晶は難加工性材料であり、光伝播損失の小さな光導波路を加工によって形成することが難しい。例えば機械加工法では材料が欠け易く、伝播損失の原因となる。また、レーザーアブレーション法でも生産性の向上に限界があり、また加工速度を上げると光導波路のコーナーに欠けが生じたり、側壁および加工底面に粗れが生じたりし、この結果として導波路の伝播特性を低下させる。

40

【0006】

更に、波長変換素子や光変調素子では、設計上、光導波路の進路を曲げたり、湾曲させたり、分岐させることが必要なことがある。しかし、機械加工やレーザーアブレーションでは、加工用のステージを進行方向に対して横に動かすことが難しい。また、加工用のステージを横に動かしながら進行させたとしても、直進しながら加工した場合と異なり、リッジ溝の横断面形状が歪んでしまうので、伝播損失が大きくなる。

【0007】

一方、特許文献 1 によれば、ネオブ酸カリウムからなる薄層上にリフトオフ法によってストライプ状の誘電体を装荷し、装荷型のチャンネル光導波路を形成することを開示して

50

いる。こうした装荷型光導波路であれば、光導波路の進行方向を湾曲させたり、分岐させたりすることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2003-131182

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明者は、特許文献1記載の装荷型光導波路を検討した結果、以下の問題点が残ることを見いだした。すなわち、本発明者は、例えばタンタル酸リチウムの薄層上に五酸化タンタルのリッジ部を装荷することで装荷型のチャンネル光導波路を形成してみた。しかし、装荷されたリッジ部が薄層から剥離し易く、歩留りが低下した。

【0010】

本発明者がこうした伝播損失増大の原因を検討したところ、装荷されたリッジ部と薄層との密着性が悪いことがわかった。これは、リフトオフによって形成されるリッジ部は蒸着膜からなるため、薄層表面との密着性が悪くなるものと考えられる。この理由であるが、リッジ部は比較的厚く、蒸着には時間がかかるため、レジストパターンへの蒸着時に基板表面が150 程の高温となり、レジスト成分が揮発し、リッジ部と基板との界面やリッジ部の内部に不純物が入るためであると思われる。

【0011】

更に、特許文献1記載の装荷されたリッジ部は、横断面で見て長方形である。これはレジストパターンは台形状には形成できないためである。そして、現実にリッジ部を形成してみると、リッジ部の上部コーナーが突出し易く、またリッジ部の側壁面が粗れる傾向があった。この理由であるが、上記のような熱によりレジスト形状が崩れ、長方形の上部コーナーの突出やリッジ側壁面の粗れが発生したものと考えられる。

【0012】

本発明の課題は、リッジ型光導波路の設計が比較的容易な特定の装荷型光導波路素子において、装荷されたリッジ部の薄層への密着力が高い光導波路素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明に係る光導波路素子は、

ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム - タンタル酸リチウム、イットリウム・アルミニウム・ガーネット、イットリウム・バナデート、バナジン酸ガドリニウム、タングステン酸カリウムガドリニウムおよびタングステン酸カリウムイットリウムからなる群より選ばれた光学材料からなる薄層、

この薄層上に装荷されているリッジ部であって、五酸化タンタルからなり、光の伝播方向に対して垂直な横断面で切ってみたときに台形をなしているリッジ部、および

光の伝播方向に対して垂直な横断面で切ってみたときに前記リッジ部の両側に形成されている被覆層であって、五酸化タンタルからなり、前記リッジ部と一体の膜を形成している被覆層

を備えており、前記リッジ部はテープ剥離試験で前記薄層から剥離せず、前記テープ剥離試験は、JIS H8504試験に従い、JIS Z1522規格のテープを前記リッジ部を覆うように30 mmの長さで貼り付けた後に前記テープを垂直方向に引き剥がすものである。

好適な実施形態においては、リッジ部および被覆層をウェットエッチングで形成する。

【発明の効果】

【0014】

エッチング法によれば、リッジ部の形状は、パターンニング用マスクの形状を変更することによって、比較的自由に設計することができる。この結果、湾曲や分岐した装荷型光導波路を形成することができる。

#### 【 0 0 1 5 】

そして、薄層上に装荷されるリッジ部の横断面形状は台形であり、下地である薄層に対する密着性の高い形状である。リッジ部が薄層から剥離しないことにより、リッジ部における伝播損失を一層抑制できる。

#### 【図面の簡単な説明】

10

#### 【 0 0 1 6 】

【図 1】本発明の実施形態に係る光導波路素子 1 の横断面図である。

【図 2】参考形態に係る光導波路素子 1 A の横断面図である。

【図 3】参考形態に係る光導波路素子 1 B の横断面図である。

【図 4】( a ) は、光導波路素子 1 の側面図であり、( b ) は、光導波路素子 1 をリッジ部に沿って切ってみた縦断面図であり、( c ) は、光導波路素子 1 A、1 B をリッジ部に沿って切ってみた縦断面図である。

【図 5】光導波路素子 1 の光導波路のパターン例を示す平面図である。

【図 6】光導波路素子 1 A の光導波路のパターン例を示す平面図である。

【図 7】光導波路素子 1 B の光導波路のパターン例を示す平面図である。

20

【図 8】実施例において作製された光導波路を示す写真である。

【図 9】図 8 の光導波路を解説する斜視図である。

【図 10】リフトオフ法で形成された光導波路を示す写真である。

【図 11】レーザーアブレーション法でニオブ酸リチウム薄層に形成されたリッジ型光導波路を示す写真である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【 0 0 1 7 】

本発明の光導波路素子で採用する導波路構造は、装荷型と称される光導波路構造である。本発明の光導波路は、下地を構成する特定の光学材料からなる薄層上に、これらの光学材料に近い屈折率を有する五酸化タンタルからなるリッジ部を装荷したものである。この装荷されたリッジ部によって、その直下における光の閉じ込め性を上げ、光を導波させやすくしたものである。

30

#### 【 0 0 1 8 】

以下、図面を適宜参照しつつ更に説明する。

図 1、図 4 ( a )、( b )、図 5 に示す光導波路素子 1 においては、支持基板 2 の表面 2 a 上に薄層 3 が形成されており、薄層 3 上に、五酸化タンタルからなるリッジ部 5 が形成されている。ここで、図 1 は、光の進行方向に対して垂直な方向に素子を切ってみた横断面図であり、図 2、図 3 も同様である。

#### 【 0 0 1 9 】

リッジ部 5 には、平坦な上面 5 a、一对の傾斜面 5 c および底面 5 b が形成されている。本例では、リッジ部 5 の両側に、それぞれ、五酸化タンタルからなる被覆部 8 が形成されており、各被覆部の外側にそれぞれ段差部 9 が形成されている。本例では、リッジ部 5、被覆部 8 および段差部 9 は一体の膜を形成している。そして、リッジ溝 6 はウェットエッチングによって形成されており、被覆部 8 はウェットエッチング時のエッチング残りによって形成されている。なお、被覆部 8 は無くても良いが、被覆部 8 があると剥離強度が高くなり、より好ましい。

40

#### 【 0 0 2 0 】

この光導波路素子 1 を上面から見ると、図 5 のようになる。すなわち、リッジ部 5 の両側にリッジ溝 6 が形成されており、各リッジ溝 6 の両側に段差部 9 が形成されている。リ

50

リッジ溝およびリッジ部はウェットエッチングによって形成されているので、図5に示すように湾曲させたり、あるいは分岐させることが容易である。

【0021】

図2、図4(c)、図6に示す光導波路素子1Aにおいては、支持基板2の表面2a上に薄層3が形成されており、薄層3上に、五酸化タンタルからなるリッジ部5が形成されている。

【0022】

リッジ部5には、平坦な上面5aおよび一对の傾斜面5cが形成されている。本例では、リッジ部5の両側に、それぞれ、リッジ溝6が形成されており、五酸化タンタルからなる被覆部は形成されていない。このため、リッジ溝6に薄層3の上面3aが露出している。各リッジ溝6の外側にそれぞれ段差部9が形成されている。本例では、リッジ部5と段差部9は一体の膜を形成しておらず、リッジ溝6で分離されている。そして、リッジ溝6はウェットエッチングによって形成されており、リッジ溝におけるエッチング残りが無いので、被覆部は残留していない。

【0023】

この光導波路素子1Aを上面から見ると、図6のようになる。すなわち、リッジ部5の両側にリッジ溝6が形成されており、各リッジ溝6の両側に段差部9が形成されている。リッジ溝には薄層3の上面3aが露出している。

【0024】

図3、図4(c)、図7に示す光導波路素子1Bにおいては、支持基板2の表面2a上に薄層3が形成されており、薄層3上に、五酸化タンタルからなるリッジ部5が形成されている。

【0025】

リッジ部5には、平坦な上面5aおよび傾斜面5cが形成されている。本例では、リッジ部5の両側には五酸化タンタル膜がなく、五酸化タンタル膜はウェットエッチングで除去されている。このため、リッジ部5の両側に薄層3の上面3aが露出している。

【0026】

この光導波路素子1Bを上面から見ると、図7のようになる。すなわち、リッジ部5の両側には、薄層3の上面3aが露出している。

【0027】

本発明においては、リッジ部はテープ剥離試験で薄層から剥離しない。これは、実施例に記載のテープ剥離試験によって剥離が確認されないことを意味する。

【0028】

以下、本発明の各構成要素について更に述べる。

薄層3は、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム - タンタル酸リチウム、イットリウム・アルミニウム・ガーネット、イットリウム・バナデート、バナジン酸ガドリニウム、タングステン酸カリウムガドリニウム、タングステン酸カリウムイットリウムからなる群より選ばれた光学材料からなる。

【0029】

ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム - タンタル酸リチウムからなる薄層は、波長変換素子に特に適している。特に、タンタル酸リチウムは透明性が高く、レーザの吸収性が低いことから、レーザ加工を実施すること自体が困難であるため、本発明が特に有用である。

【0030】

また、薄層の材質として、イットリウム・アルミニウム・ガーネット、イットリウム・バナデート、バナジン酸ガドリニウム、タングステン酸カリウムガドリニウム、タングステン酸カリウムイットリウムを用いると、1060nm帯で発振するレーザ部品を作製す

10

20

30

40

50

ることができる。

#### 【0031】

薄層の厚さTは、光の閉じ込めによって光変換効率を高める観点からは、10 μm以下が好ましく、5 μm以下が更に好ましい。また、薄層の厚さは、他の光学部品との光結合性を高める観点から、1 μm以上が好ましく、2 μm以上が更に好ましい。

#### 【0032】

主に波長変換素子に使用されるニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウムには、光導波路の耐光損傷性を更に向上させるために、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、スカンジウム(Sc)及びインジウム(In)からなる群より選ばれる1種以上の金属元素を含有させることができ、マグネシウムが特に好ましい。薄層中には、ドーパ成分として、希土類元素を含有させることができる。この希土類元素は、レーザ発振用の添加元素として作用する。この希土類元素としては、特にNd、Er、Tm、Ho、Dy、Prが好ましい。

#### 【0033】

また、主に固体レーザ用に使用するイットリウム・アルミニウム・ガーネット、イットリウム・バナデート、バナジン酸ガドリニウム、タングステン酸カリウムガドリニウム、タングステン酸カリウムイットリウムなどには、通常、ネオジウム(Nd)やイッテルビウム(Yb)、エルビウム(Er)などの希土類や、クロム(Cr)やチタン(Ti)などの金属などが添加されており、所望とするレーザ波長によって、これら添加材料を選択する。

#### 【0034】

薄層上に装荷されているリッジ部および被覆層は五酸化タンタルからなる。この五酸化タンタル中には、特定の物性を得るための添加物や、不可避免的な不純物が含まれていて良い。添加物としては、例えば屈折率を高めるTiO<sub>2</sub>を例示できる。

#### 【0035】

素子を光の伝播方向に対して垂直な横断面で切ってみたとき、リッジ部が台形をなしている。これは、幾何学的な意味で厳密に台形であることは必要ではなく、製造上の誤差を許容する趣旨である。また、幾何学的には、リッジ部5の上面5aは薄層3の上面3aに平行であるが、製造上の理由でリッジ部5の上面5aが薄層3の上面aに対して傾斜していることは許容される。

#### 【0036】

本発明の素子を構成するリッジ部は、例えば図8に示すように、横断面形状が台形であり、光の伝播方向に向かって細長く延びている。図8の解説図を図9に示す。

#### 【0037】

好適な実施形態においては、リッジ部5はウェットエッチングにより形成されている。この場合、図1に示すようなリッジ溝6および被覆部8、図2に示すようなリッジ溝6を、ウェットエッチングによって形成することが好ましい。ウェットエッチングの時間を調整することによって、リッジ溝におけるエッチング残りを制御し、被覆部の有無を選択することができる。

#### 【0038】

ウェットエッチングに用いるエッチャントは、五酸化タンタルをエッチング可能であれば特に限定されないが、KOH、NaOHなどの水酸化アルカリや、フッ酸が好ましい。

#### 【0039】

ウェットエッチングの際の温度は、生産性の観点からは、25℃以上とすることが好ましく、また、表面の粗れを抑制するという観点からは、50℃以下とすることが好ましい。

#### 【0040】

ウェットエッチングを行う際には、マスクパターンを利用したフォトリソグラフィ法

10

20

30

40

50

で行うことが好ましい。こうしたマスクパターンの材質としては、モリブデン、クロム、ニッケル、金、白金の単層膜及び多層膜が好ましい。こうしたマスクパターンを利用すれば、図 6、図 7 に示すような湾曲した導波路や分岐導波路を作製できるし、この際、リッジ溝の横断面形状が歪むようなこともない。

【 0 0 4 1 】

なお、リッジ部を、ドライエッチングにによって形成することも可能である。

ドライエッチングの場合も、ウェットエッチングと同様にして、マスクパターンを形成する。マスクパターンの材質としては、特にチタン・ニッケルが好ましい。マスク材料にチタンを使用する場合はレジストパターン形成後、フッ化物系のエッチングガスによりパターン形成を行ってもよい。このようなマスクパターンを形成後、塩素系あるいはフッ化物系あるいは塩素系・フッ化物系の混合ガスなどにより真空雰囲気中でエッチングを行う。

【 0 0 4 2 】

好適な実施形態においては、光の伝播方向に対して垂直な横断面で切ってみたときに、リッジ部 5 の傾斜面 5 c の立ち上がり角度（図 1、図 2、図 3 参照）が  $45^{\circ}$  以上、 $80^{\circ}$  以下である。この立ち上がり角度とは、傾斜面 5 c と薄層 3 の上面 3 a とがなす角度である。この立ち上がり角度を  $80^{\circ}$  以下とすることによって、リッジ部の薄層への密着性を向上させることができる。この観点からは、立ち上がり角度は、 $70^{\circ}$  以下が更に好ましい。また、この立ち上がり角度を  $45^{\circ}$  以上とすることによって、光の伝播損失を更に抑制することができる。この観点からは、立ち上がり角度は、 $50^{\circ}$  以上が更に好ましい。

【 0 0 4 3 】

リッジ部の上面 5 a の幅 W は、伝播光閉じ込め性が高く、かつ、他の光部品との光結合性が高いという観点からは、 $3 \sim 8 \mu\text{m}$  が好ましい。

【 0 0 4 4 】

また、リッジ溝 6 の深さ D は、伝播光閉じ込め性が高く、かつ、他の光部品との光結合性が高いという観点からは、 $1 \sim 3 \mu\text{m}$  が好ましい。

但し、リッジ部の上面 5 a の幅 W およびリッジ溝 6 の深さ D は、波長により好適範囲が変化し、この限りではない。

【 0 0 4 5 】

好適な実施形態においては、薄層のリッジ部とは反対側に設けられた支持基板を備えている。これによって、薄層およびリッジ部のハンドリング性が良くなる。

【 0 0 4 6 】

支持基板の具体的材質は特に限定されず、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム・タンタル酸リチウム、イットリウム・アルミニウム・ガーネット、イットリウム・バナデート、バナジン酸ガドリニウム、タングステン酸カリウムガドリニウム、タングステン酸カリウムイットリウム、石英ガラスなどのガラスや水晶、Si などを例示することができる。

【 0 0 4 7 】

薄層 3 は、支持基板 2 に対して接着層を介して接着されていてもよいが、直接接合されていてもよい。接着層の材質は、無機接着剤であってよく、有機接着剤であってよく、無機接着剤と有機接着剤との組み合わせであってよい。また、薄層の上面、底面には、それぞれクラッド層を設けることもできる。

【 0 0 4 8 】

参考形態においては、光の伝播方向に対して垂直な横断面で切ってみたときに、リッジ部の両側に薄層が露出している。例えば図 2、図 3 はこの実施形態に係るものである。この実施形態においては、リッジ部の横方向への閉じ込めがもっとも強くなる。

【 0 0 4 9 】

本発明においては、光の伝播方向に対して垂直な横断面で切ってみたときに、リッジ部

10

20

30

40

50

の両側に五酸化タンタルからなる被覆層が形成されている。図 1 はこの形態に係るものである。

【 0 0 5 0 】

このように、リッジ部の両側に五酸化タンタルからなる被覆層を設けることによって、五酸化タンタルのエッチング溶剤が、薄層基材に直接的に接触することがなくなるため、より低ダメージに素子を形成することが可能である。また、五酸化タンタルの被覆層は保護膜として機能するため、素子の信頼性を向上させることが可能となる。

【 0 0 5 1 】

好適な実施形態においては、薄層中に周期分極反転構造が形成されている。これによって、本素子を伝播する光の波長を変換することができる。

10

【 0 0 5 2 】

波長変換素子は、好ましくは第二高調波、第三高調波、第四高調波などの高調波発振素子であり、これらには本発明が原理的に適用可能であるが、これに限定されるものではなく、差周波発生、和周波発生用の波長変換素子にも適用可能である。

【 0 0 5 3 】

好適な実施形態においては、薄層部あるいは五酸化タンタルに、周期的なグレーティング構造が形成されている。周期グレーティング構造は、特定の波長に対して、比較的任意な反射率を有する反射器を実現することができ、このようなグレーティング構造を持たせることで、特定波長にレーザの波長を安定化させることが可能である。

【 0 0 5 4 】

20

好適な実施形態においては、五酸化タンタルの表面に保護膜として二酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) 膜が形成されている。

【実施例】

【 0 0 5 5 】

(実施例 1)

図 1、図 4 ( a ) および図 5 に記載のような素子 1 を作製した。

【 0 0 5 6 】

具体的には、 $\text{MgO}$  ドープニオブ酸リチウムからなる薄層 3 ( 厚み  $2.0 \mu\text{m}$  ) /  $\text{SiO}_2$  からなるクラッド層 / 接着層 / ノンドープニオブ酸リチウムの Y 板からなる厚さ  $5 \text{ mm}$  の支持基板 2 の積層体を作製した。この薄層 3 上に、スパッタにて  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  膜を厚さ  $1.5 \mu\text{m}$  成膜した。

30

【 0 0 5 7 】

次いで、薄層 3 の上面 3 a、および支持基板 2 の底面上に、それぞれ、厚さ  $100 \text{ nm}$  のモリブデン膜を成膜した。次いで、薄層およびモリブデン膜上に、フォトリソグラフィ法 ( レジスト塗布・現像 ) によってレジストパターンを形成した。また支持基板 2 の底面にはレジストを全面塗布した。次いで、モリブデン膜をウェットエッチングしてレジストを除去し、モリブデン膜からなるパターンを形成した。

【 0 0 5 8 】

次いで、25 に温調した  $50\% \text{ HF}$  に積層体を  $240$  秒間浸漬し、モリブデン膜をマスクとして五酸化タンタルをウェットエッチングした。このエッチングにより、高さ  $1.4 \mu\text{m}$  の段差が形成された。  $0.35 \mu\text{m}$  / 分のエッチングレートが得られた。次いで、残ったモリブデン膜をウェットエッチングで除去した。

40

【 0 0 5 9 】

得られた素子表面を 3 次元顕微鏡で観察した。図 8 に観察像を示す。装荷されたリッジ部の上面、側面、エッチングされた五酸化タンタルの底面は、滑らかな面が得られている。導波路の立ち上がり部の角度は  $70^\circ$  であった。この角度については、エッチング時の温度やエッチング液の濃度を変えることで  $45 \sim 80^\circ$  まで制御可能である。

【 0 0 6 0 】

この薄層内に、波長  $980 \text{ nm}$  に対して位相整合する周期的な分極反転構造を形成すると、第二高調波発生素子を得ることができた。リッジ部の幅  $W$  を  $5 \mu\text{m}$  としたところ、9

50



80 nmの波長に対して、0.4 dB/cmの伝播損失となった。

【0061】

更に、以下のようにしてテープ試験を行った。

JIS H8504試験に従い、JIS Z1522規格のテープ（幅15mm、延着力 幅8mmあたり8N）を、リッジ加工部を覆うように30mmの長さで素子に貼り付ける。この際、気泡が入らないように10秒以上テープを押す。次いで、3秒かけてテープを垂直方向に引き剥がす。テープへの膜付着及びリッジ部を目視で観察し、テープへの膜の付着の有無とリッジ部の素子からの剥離の有無を確認した。

この結果、テープへの膜の付着もリッジ部の素子からの剥離も確認されなかった。

10

【0062】

（比較例1）

五酸化タンタルからなる装荷部（リッジ部）をリフトオフ方法で製作した例である。

【0063】

具体的には、MgOドーブニオブ酸リチウムからなる薄層3（厚み2.0 μm）/SiO<sub>2</sub>からなるクラッド層/接着層/ノンドーブニオブ酸リチウムのY板からなる厚さ.5 mmの支持基板2の積層体を作製した。この薄層3上に、レジスト塗布し、フォトリソグラフィ法（レジスト塗布・現像）によってレジストパターンを形成した。次いで、蒸着にてTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜を厚さ1.5 μm成膜した。

【0064】

次いで、アセトン10分・純水10分、超音波・純水フローし、五酸化タンタルのうち装荷部（リッジ部）以外をレジスト膜と共に剥離させた。この結果、リッジ部の薄層からの剥がれが約30%発生した。更に、続いてテープ剥離試験を行ったところ、残りのリッジ部のうち約20%について剥がれが発生した。

20

【0065】

この理由であるが、リフトオフ法で形成される、装荷されるリッジ部は、蒸着膜であるので、薄層表面との密着性が悪い。その上、装荷のために比較的厚い蒸着膜を形成する必要があるため、レジストパターンへの蒸着時に基板表面が150 程の高温となり、レジスト成分が揮発し、基板界面・膜中に不純物が入る。

【0066】

その上、装荷されるリッジ部の横断面形状は長方形となり、上部コーナーが突出し、リッジ部の側面は粗れた形状になる傾向がある。図10に示す写真の矢印は、装荷されたリッジ部を示すものである。この理由として、レジストパターンは台形形状には形成できない。また、熱によりレジスト形状が崩れ、長方形の上部コーナーが突出したり、リッジ側面の粗れが発生したものである。

30

【0067】

本発明者は、ベンゼン等でオーバーハング状（上部0.1 μm程の開口部が小さくなる形状）にすることも検討したが、蒸着ではレジストの無い導波路部分に垂直にTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>原料が飛来するため、形成される装荷部（リッジ部）の横断面は台形形状にはならない。

【0068】

（比較例2）

MgOドーブニオブ酸リチウムからなる薄層3（厚み3.5 μm）/SiO<sub>2</sub>からなるクラッド層/接着層/ノンドーブニオブ酸リチウムのY板からなる厚さ.5 mmの支持基板2の積層体を作製した。この薄層3に一对のリッジ溝を形成することによって、薄層内にリッジ型光導波路を形成した。リッジ溝の加工にはエキシマレーザを使用した。

40

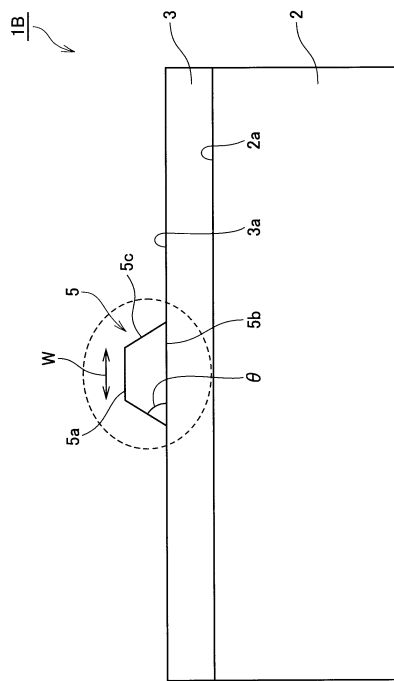
【0069】

エキシマレーザによる導波路は、リッジ部の側壁部でカケが生じたり、側壁および加工底面が荒れたりするので、導波路の伝播特性を低下させる。図11に、リッジ部の側壁部に生じた欠けを示す。また、加工に使用するステージは、直進的に稼働するものが大半であるために、直線状の加工形状に限定され、分岐導波路や曲がり導波路の形成は困難とな

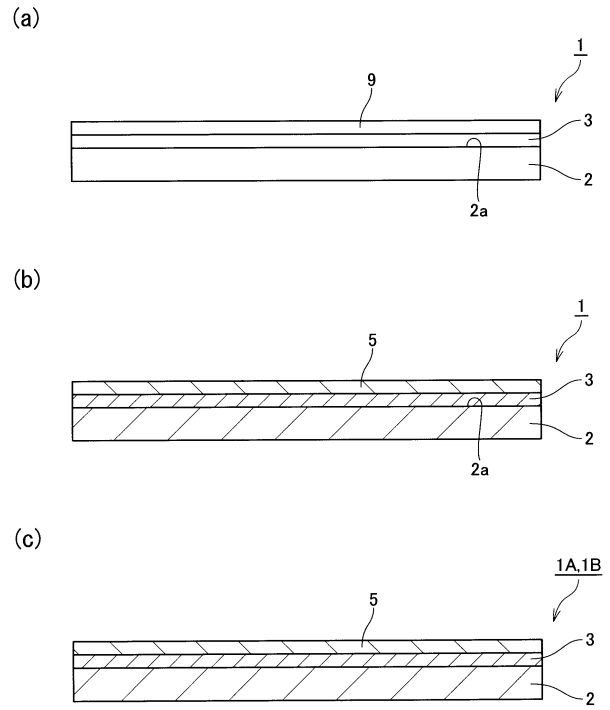
50



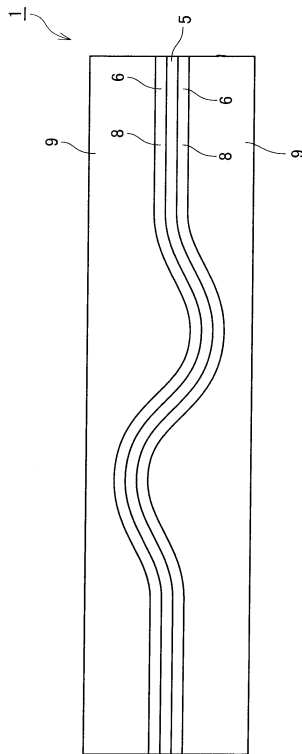
【図 3】



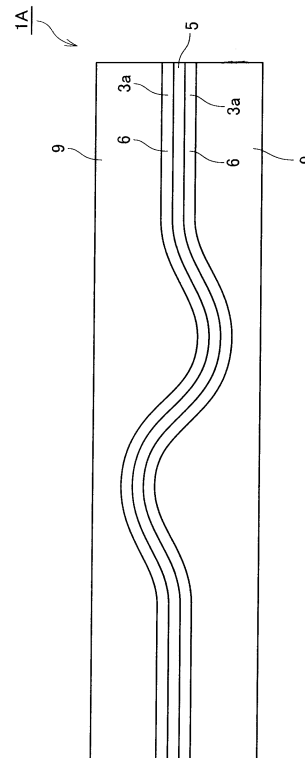
【図 4】



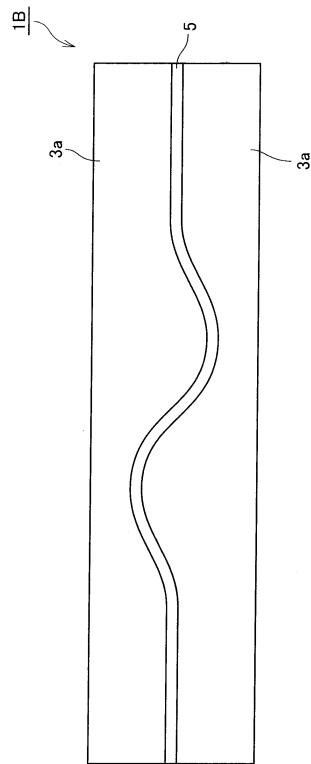
【図 5】



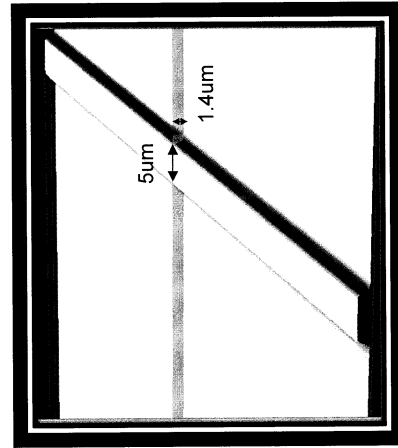
【図 6】



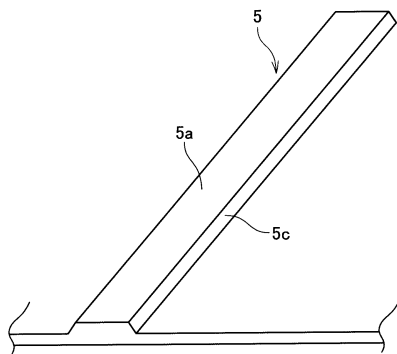
【図 7】



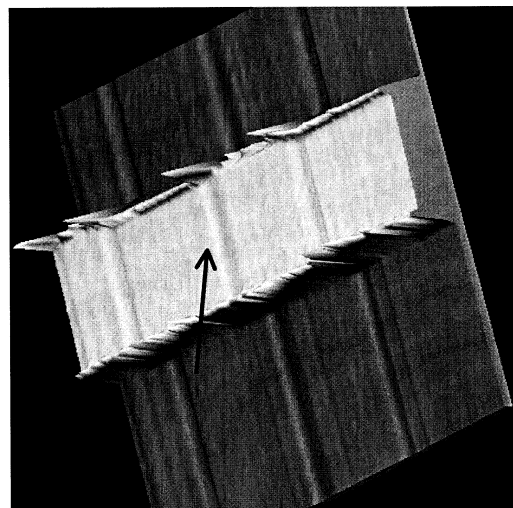
【図 8】



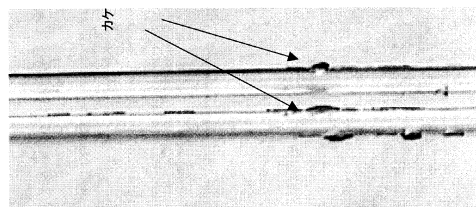
【図 9】



【図 10】



【図 11】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-250949(JP,A)  
特開2012-078375(JP,A)  
特開2008-180997(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B	6/12 - 6/14
G02F	1/00 - 1/125
G02F	1/21 - 7/00
H01S	3/00 - 3/02
H01S	3/04 - 3/0959
H01S	3/098 - 3/102
H01S	3/105 - 3/131
H01S	3/136 - 3/213
H01S	3/23 - 4/00