

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5036610号  
(P5036610)

(45) 発行日 平成24年9月26日(2012.9.26)

(24) 登録日 平成24年7月13日(2012.7.13)

(51) Int. Cl. F 1  
**G 0 2 F 1/37 (2006.01)** G O 2 F 1/37  
**G 0 2 F 2/02 (2006.01)** G O 2 F 2/02

請求項の数 6 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2008-80893 (P2008-80893)	(73) 特許権者	599011687
(22) 出願日	平成20年3月26日(2008.3.26)		学校法人 中央大学
(65) 公開番号	特開2009-237081 (P2009-237081A)		東京都八王子市東中野742-1
(43) 公開日	平成21年10月15日(2009.10.15)	(74) 代理人	100080296
審査請求日	平成23年3月18日(2011.3.18)		弁理士 官園 純一
		(72) 発明者	庄司 一郎
			東京都文京区春日1-13-27 中央大 学理工学部内
		(72) 発明者	川路 宗矩
			東京都文京区春日1-13-27 中央大 学大学院理工学研究科内
		(72) 発明者	井村 健
			東京都文京区春日1-13-27 中央大 学理工学部内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

空間反転対称性を有しない化合物の単結晶から成る同じ結晶方位を持つ2枚のプレートを、プレート面内の結晶方位が180°反転するように対向させて設置してから、これら2枚のプレートの表面に原子ビーム、分子ビーム、もしくは、イオンビームを照射して上記表面を活性化処理する第1のステップと、

上記活性化処理されたプレートの表面同士を常温にて密着させて接合する第2のステップと、

上記常温接合されたプレートと上記化合物から成る活性化処理されていない同じ結晶方位を持つプレート、もしくは、上記第1及び第2のステップにより常温接合された2枚のプレート同士を、プレート面内の結晶方位が180°反転するように対向させて設置し、これら2枚のプレートの表面を活性化処理する第3のステップと、

上記活性化処理された表面同士を常温接合する第4のステップとを備え、

上記第1及び第3のステップでは、上記2枚のプレートの側面側に設置されたビーム源から原子ビーム、分子ビーム、もしくは、イオンビームを上記2枚のプレートの表面に照射して、上記2枚のプレートの表面を同時に活性化処理することを特徴とする擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法。

【請求項2】

上記対向するプレートのプレート面を(110)面としたことを特徴とする請求項1に記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法。

10

20

## 【請求項3】

上記2枚のプレートの間隔が1～5mmであることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法。

## 【請求項4】

上記活性化処理に用いられる原子ビームはArビームであり、このArビームの広がりが $10^\circ \sim 30^\circ$ の範囲にあることを特徴とする請求項1～請求項3のいずれかに記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法。

## 【請求項5】

上記Arビームの照射エネルギー密度が $90 \sim 1200 \text{ J/cm}^2$ の範囲にあることを特徴とする請求項4に記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法。

10

## 【請求項6】

上記化合物は、III-V族化合物半導体もしくはII-VI族化合物半導体であることを特徴とする請求項1～請求項5のいずれかに記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、レーザ光の波長を変換する波長変換デバイスの製造方法に関するもので、特に、空間反転対称性を有しない化合物の結晶の方位を周期的に反転させて接合した擬似位相整合型の波長変換デバイスの製造方法に関する。

20

## 【背景技術】

## 【0002】

レーザ光の波長領域を変換して従来のレーザで得られない波長のレーザ光を得るためのデバイスとして、2次の非線形光学効果を用いた高効率の波長変換デバイスが知られている。この波長変換デバイスの製造方法で主流になっているのは、材料の結晶の向きを数～数百 $\mu\text{m}$ 周期で $180^\circ$ 反転させる擬似位相整合で、この擬似位相整合により高効率な波長変換を行うことができる。

擬似位相整合波長変換デバイスの材料としては、リチウムナイオベート( $\text{LiNbO}_3$ )やリチウムタンタレート( $\text{LiTaO}_3$ )などの自発分極を有する強誘電体結晶が広く用いられている。これらの強誘電体結晶は、分極方向に電界を印加して分極の向きを周期的に反転させてやることにより、上記の擬似位相整合を実現させる。

30

しかしながら、上記強誘電体結晶を用いた擬似位相整合波長変換デバイスでは、変換できる波長領域が $0.3 \sim 5 \mu\text{m}$ に制限されていた。これは、上記変換できる波長領域が当該材料の透明波長領域によって制限されるため、材料として強誘電体結晶を用いている限り、 $0.3 \mu\text{m}$ よりも短波長のレーザ光や、 $5 \sim 20 \mu\text{m}$ の長波長のレーザ光を得ることは困難である。更に、強誘電体結晶では、光損傷閾値(光損傷が起こり始める入射レーザ光のパワー)が十分に大きくないため、高出力の波長変換デバイスを製造するには限界がある。なお、光損傷は、結晶の屈折率が変化したり、結晶構造そのものが破壊されることをいう。

## 【0003】

40

そこで、注目されているのが、半導体ガリウム砒素( $\text{GaAs}$ )を用いた擬似位相整合波長変換デバイスである。 $\text{GaAs}$ は長波長での透明波長領域が広くかつ非常に大きな2次の非線形光学定数を有する材料であることは知られているが、光学的には等方的であり、上記の強誘電体結晶のように、電圧をかけると結晶構造が $180^\circ$ 反転する性質がないため、これまで擬似位相整合を得ることが困難であった。

そこで、 $\text{GaAs}$ のプレートを、プレート面内の結晶方位を $180^\circ$ 反転させながら順に接着して、交互に積層された積層体を作製すれば、さまざまな波長のレーザ光を高出力でかつ効率良く発生させることのできる擬似位相整合波長変換デバイスを得ることができると考えられる。

$\text{GaAs}$ のプレート同士を接着した例としては、Crをドーブした $\text{GaAs}$ の単結晶を

50

[ 1 1 1 ] 方向に垂直に切断したプレートの表面をケミカルエッチングした後、プレート同士を圧着させたものがある（例えば、非特許文献 1 参照）。

また、真空中でかつ高温（500～840℃）環境下で、GaAs 表面の酸化膜を除去した後にプレート同士を接合する拡散接合法が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

一方、副格子交換エピタキシーを用いて擬似位相整合させる方法が提案されている。具体的には、GaAs 基板上に非反転層である第 1 の GaAs 層を分子線エピタキシー法（MBE 法）で成長させた後、この第 1 の GaAs 層の表面に Ge 層を成長させ、この Ge 層の上に反転層である第 2 の GaAs 層を成長させる。次に、上記第 2 の GaAs 層をストライプ状にエッチングし、このエッチング部分に上記第 1 の GaAs 層の表面を露出させた後、非反転層から成る第 3 の GaAs 層を形成する。最後に表面を研磨して平滑にすることにより、反転層である第 2 の GaAs と非反転層である第 3 の GaAs 層とがストライプ状に交互に並んだ積層体を得る（例えば、特許文献 2 参照）。

【非特許文献 1】D.E.Thompson et.al “ Second-harmonic generation in GaAs stack of plates using high-power CO<sub>2</sub> laser radiation ” ; Applied Physics Letters, Vol.29, No2, 15 July 1976: pp113-115

【特許文献 1】特開 2003 - 15175 号公報

【特許文献 2】特開 2005 - 115150 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、表面をケミカルエッチングした後に圧着させる方法では、2枚のプレートの界面に原子レベル以上の隙間ができてしまい、そのため、入射レーザ光及び波長変換光が上記界面で散乱されて、変換効率が大幅に低下するといった問題点がある。

また、拡散接合法は原子レベルでの接合が可能であるが、接合温度が高いために As の一部が飛んでしまうなどして、材料が劣化するといった問題点がある。

一方、副格子交換エピタキシーを用いて擬似位相整合させる方法では、高品質なデバイスを製造することはできるものの、厚さが数 μm 程度であるため、デバイスを高出力化するには限界がある。

【0005】

本発明は、従来の問題点に鑑みてなされたもので、さまざまな波長のレーザ光を高出力でかつ効率良く発生させることのできる擬似位相整合波長変換デバイスを容易に作製する方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の請求項 1 に記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法は、空間反転対称性を有しない化合物の単結晶から成る同じ結晶方位を持つ 2 枚のプレートを、プレート面内の結晶方位が 180° 反転するように対向させて設置してから、これら 2 枚のプレートの表面に原子ビーム、分子ビーム、もしくは、イオンビームを照射して上記表面を活性化処理する第 1 のステップと、上記活性化処理されたプレートの表面同士を常温にて密着させて接合する第 2 のステップと、上記常温接合されたプレートと上記化合物から成る活性化処理されていない同じ結晶方位を持つプレート、もしくは、上記第 1 及び第 2 のステップにより常温接合された 2 枚のプレート同士を、プレート面内の結晶方位が 180° 反転するように対向させて設置し、これら 2 枚のプレートの表面を活性化処理する第 3 のステップと、上記活性化処理された表面同士を常温接合する第 4 のステップとを備え、上記第 1 及び第 3 のステップでは、上記 2 枚のプレートの側面側に設置されたビーム源から原子ビーム、分子ビーム、もしくは、イオンビームを上記 2 枚のプレートの表面に照射して、上記 2 枚のプレートの表面を同時に活性化処理することを特徴とする。

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法において、上記対向するプレートのプレート面を（110）面としたことを特徴とする。

なお、上記プレート面は、プレートの厚さ方向に垂直な面を指す。

請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 または請求項 2 に記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法であって、上記 2 枚のプレートの間隔が 1 ~ 5 mm であることを特徴とする。

請求項 4 に記載の発明は、請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれかに記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法であって、上記活性化処理に用いられる原子ビームは Ar ビームであり、この Ar ビームの広がり角が  $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$  の範囲にあることを特徴とする。

請求項 5 に記載の発明は、請求項 4 に記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法であって、上記 Ar ビームの照射エネルギー密度が  $90 \sim 1200 \text{ J/cm}^2$  の範囲にあることを特徴とする。

請求項 6 に記載の発明は、請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれかに記載の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法であって、上記化合物は、III - V 族化合物半導体もしくは II - VI 族化合物半導体であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、GaAs などの III - V 族化合物半導体、ZnSe など II - VI 族化合物半導体、SiC などの IV - IV 族化合物半導体、あるいは、水晶などの誘電体結晶のような、空間反転対称性を有しない化合物の単結晶から成る同じ結晶方位の 2 枚のプレート（例えば、プレート面が (110) 面であるプレート）を、プレート面内の結晶方位が  $180^{\circ}$  反転するように対向させて設置してから、これら 2 枚のプレートの表面に、2 枚のプレートの側面側に設置されたビーム源から原子ビーム、分子ビーム、もしくは、イオンビームを上記 2 枚のプレートの表面に照射して上記 2 枚のプレートの表面を同時に活性化処理した後、上記活性化処理されたプレートの表面同士を常温接合する操作を繰り返し行って、隣接するプレート面の面内の結晶方位が  $180^{\circ}$  異なるように接合されて擬似位相整合された波長変換デバイスを製造するようにしたので、短時間で、材料を劣化させることなく、接合面を原子レベルで接合することができる。したがって、さまざまな波長のレーザー光を高出力でかつ効率良く発生させることのできる擬似位相整合波長変換デバイスを容易に作製できる。

また、上記対向するように設置された 2 枚のプレートの間隔を 1 ~ 5 mm とすれば、活性化処理後の界面の状態がクリーンな状態で常温接合できるので、変換効率を向上させることができる。

また、上記活性化処理に用いる原子ビームとして、広がり角が  $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$  の範囲にある Ar ビームを用いれば、プレートの表面を均一にエッチングできるだけでなく、ケミカルエッチングのように、不要に深くエッチングすることがないので、表面を適正に活性化処理できる。したがって、原子レベルでの接合を確実に行うことができ、変換効率を向上させることができる。

また、Ar ビームの照射エネルギー密度を  $90 \sim 1200 \text{ J/cm}^2$  の範囲とすれば、不要なエッチングをすることがなく、表面を確実に活性化処理することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

以下、本発明の最良の形態について、図 1 のフローチャートに基づき説明する。

まず、エピタキシャル成長させた GaAs の単結晶から所定の大きさ（ここでは、一辺が 5 mm、厚さが 0.1 mm）のプレートを複数枚切り出す（ステップ S10）。このとき、上記切り出されたプレートの厚さ方向に垂直な面（プレート面）を (110) 面とする。なお、ここでは、6 枚のプレートを接合する例について説明する。

次に、上記プレートの中の 2 枚を、図 2 に示すように、常温接合装置 10 の真空チャンパー 11 内に設置された第 1 及び第 2 の試料ホルダー 12, 13 に、上記プレートの面内の [001] 方向が互いに  $180^{\circ}$  異なるように、それぞれ取付ける（ステップ S11）。ここで、上記第 1 及び第 2 の試料ホルダー 12, 13 の試料取付面 12a, 13a を水平面とし、この面に垂直な方向を上下方向とする。なお、本例では、上記第 1 の試料ホ

10

20

30

40

50

ルダ－１２を可動ホルダ－とし、上記第２の試料ホルダ－１３を固定ホルダ－とした。上記第１の試料ホルダ－１２は、図示しない昇降機構により、上記第２の試料ホルダ－１３方向に上下動する。

上記真空チャンバ－１１内の上記第１及び第２のホルダ－１２，１３の側面側には、Arビームを照射するビーム源１４が設置されている。このビーム源１４から照射されるArビームの中心は、固定ホルダ－である上記第２の試料ホルダ－１３の試料取付面１３aから所定距離離れたところにある。

#### 【０００９】

プレート２１，２２の取付けが終了すると、真空チャンバ－１１を閉じ、図示しない真空ポンプにより、上記真空チャンバ－１１内を所定の真空度まで真空引きする（ステップS１２）とともに、上記第１の試料ホルダ－１２を、上記第２の試料ホルダ－１３方向に下降させた後、上記プレート２１の表面２１aと上記プレート２２の表面２２aとの距離が所定の距離dになった位置で保持する（ステップS１３）。そして、真空チャンバ－１１内が所定の真空度に到達してから、図３（a）に示すように、上記ビーム源１４を作動させて、Arビームを上記プレート２１，２２の表面２１a，２２aに所定時間照射して、上記表面２１a，２２aをエッチングする（ステップS１４）。これにより、上記プレート２１，２２の表面２１a，２２aを活性化処理することができる。

ここで、上記Arビームの広がり角  $\theta = 10^\circ \sim 30^\circ$  とし、上記２枚のプレート２１，２２の間隔dを1～5mmとすることが好ましい。また、上記Arビームの照射エネルギー密度としては  $90 \sim 1200 \text{ J/cm}^2$  の範囲とすることが好ましい。これにより、プレート２１，２２の表面２１a，２２aを均一にエッチングできるだけでなく、ケミカルエッチングのように、不要に深くエッチングすることがないので、上記表面２１a，２２aを適正に活性化処理することができる。したがって、原子レベルでの接合を確実に行うことができ、変換効率を向上させることができる。

#### 【００１０】

上記プレート２１，２２の表面２１a，２２aの活性化処理が終了すると、図３（b）に示すように、Arビームの照射を停止するとともに、上記第１の試料ホルダ－１２を、上記第２の試料ホルダ－１３方向に下降させて、上記プレート２１の表面２１aと上記プレート２２の表面２２aとを密着させて、上記プレート２１と上記プレート２２とを常温接合する（ステップS１５）。本例では、上記２枚のプレート２１，２２の間隔dを1～5mmとしているので、上記接合を1～3秒程度の短時間で行うことができる。

その後、真空ポンプを停止させるとともに、上記真空チャンバ－１１内に不活性ガスを導入して、上記真空チャンバ－１１内を大気圧に戻した後、上記真空チャンバ－１１を開けて、プレート２１と上記プレート２２とが接合された複合プレート２０Dを取り出す（ステップS１６）。次に、上記複合プレート２０Dを可動側の試料ホルダ－である第１の試料ホルダ－１２に取付ける。また、固定側の試料ホルダ－である第２の試料ホルダ－１３には、新たなプレート２３を取付ける（ステップS１７）。このとき、上記第２の試料ホルダ－１３に取付けられた新たなプレート２３のプレート面内の[001]方向と、上記第１の試料ホルダ－１２に取付けられた複合プレート２０Dの上記プレート２３に対向する側のプレート２２のプレート面内の[001]方向とが互いに180°反転するように取付ける。

そして、上記ステップS１２～ステップS１４までの操作を行い、図３（c）に示すように、上記新たなプレート２３の表面２３aと複合プレート２０Dの表面（上記プレート２２の裏面）２２bとを活性化処理した後、ステップS１５に進み、図３（d）に示すように、上記新たなプレート２３と複合プレート２０Dとを常温接合する。

このような操作を、所定回数  $n = 5$  だけ繰り返すことにより、図４に示すような、複数のプレート２１～２６が、隣接するプレート同士の面内の[001]方向が互いに180°異なるように接合されてGaAs擬似位相整合波長変換デバイス（以下、波長変換デバイスという）２０を作製することができる。

#### 【００１１】

図5は、上記常温接合装置10を用いて作製した、本発明の波長変換デバイスに、波長が $1.064\ \mu\text{m}$ のポンプレーザー光を入射し、波長が $5\ \mu\text{m}$ のシグナル光を発生させたときのポンプレーザー光のピークパワー ( $P_p$ : Pump Peak Power) とシグナル光のピークパワー ( $P_s$ : Signal Peak Power) との関係を示すグラフで、比較例として、拡散接合を用いて作製した波長変換デバイスの測定結果を合わせて記した。ピークパワーは、パルス動作するレーザーのピーク位置でのパワーを示す。

なお、GaAsの接合枚数はいずれも6枚で、デバイスの長さは $0.6\ \text{mm}$ である。

また、本発明による波長変換デバイスの作製条件は以下の通りである。

真空度.....  $2.0 \times 10^{-6}\ \text{Torr}$

Arビーム..... 電流:  $2\ \text{mA}$ 、電圧:  $5\ \text{kV}$ 、

広がり角:  $20^\circ$ 、照射時間:  $60\ \text{秒}$

試料間距離.....  $2\ \text{mm}$

ビーム - 試料間の距離.....  $10\ \text{mm}$

接合時間.....  $2\ \text{秒}$

図5のグラフから、波長変換デバイスが動作を開始するポンプレーザー光のピークパワー (発振の閾値) は、拡散接合で作製した波長変換デバイスが $320\ \text{W}$ であるの対し、本発明の波長変換デバイスでは、 $130\ \text{W}$ と発振の閾値が約60%も低減していることがわかる。また、スロープ効率 (シグナル光のピークパワーの変化率) も、変換効率 (ポンプ光のピークパワーに対するシグナル光のピークパワー) も大幅に向上している。

このように、発振の閾値が低く、かつ、スロープ効率及び変換効率が高いということは、本発明による波長変換デバイスは、接合部におけるレーザー光の散乱が少なく、かつ、接合部近傍でのレーザー光の吸収も少ないことを意味している。すなわち、本発明による作製方法の方が、従来の拡散接合に比較して、プレート間の接合状態が良好である。

また、本発明による波長変換デバイスは、必要とする入射パワーが少なく済むので、発熱も小さい。したがって、動作が安定しているだけでなく、耐久性も向上するので、レーザー装置の小型化・省エネ化を図ることができる。

#### 【0012】

このように本最良の形態によれば、エピタキシャル成長させたGaAsの単結晶から切り出したプレート21, 22を、常温接合装置10の真空チャンパー11内に設置された第1及び第2の試料ホルダー12, 13に、上記プレート21, 22のプレート面内の[001]方向が互いに $180^\circ$ 異なるように取付け、真空中にて、Arビームを上記プレート21, 22の表面21a, 22aに所定時間照射して、上記表面21a, 22aをエッチングして活性化処理した後、上記第1の試料ホルダー12を下降させて、上記プレート21の表面21aと上記プレート22の表面22aとを密着させて、上記プレート21と上記プレート22とを常温接合する、という動作を繰り返して、複数のプレート21~26が、隣接するプレート同士の面内の[001]方向が互いに $180^\circ$ 異なるように接合されたGaAs波長変換デバイス20を作製するようにしたので、発振の閾値が低くかつスロープ効率及び発振効率に優れた波長変換デバイスを容易に作製することができる。

#### 【0013】

なお、上記最良の形態では、プレート21~26の厚さを $0.1\ \text{mm}$ 、プレート枚数を6枚としたが、これに限るものではなく、入射するレーザー光の波長や変換したい波長、あるいは、入射パワーなどにより適宜決定されるものである。

また、上記例では、接合するGaAsのプレート面を(110)面としたが、(111)面などの他の面を接合面としてもよい。

また、上記例では、複合プレート20Dと新たなプレート23とを接合したが、複合プレート20D同士を接合することも可能である。

また、上記例では、GaAsのプレート21, 22の表面21a, 22aをArの原子ビームでエッチングしたが、分子ビーム、もしくは、イオンビームを用いてもよい。

また、上記プレート21~26を構成する材料は、GaAsに限定されるものではなく、GaPなどの他のIII-V族化合物半導体、あるいは、ZnSeなどのII-VI族化合物

10

20

30

40

50

半導体、更には、SiCなどのIV-IV族化合物半導体、水晶などの誘電体結晶を用いても同様の効果を得ることができる。すなわち、本発明の擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法に用いられる化合物単結晶材料としては、波長変換を行う波長領域で透明であり、かつ、空間反転対称性を有しない材料であれば、いずれも適用可能である。

【産業上の利用可能性】

【0014】

以上説明したように、本発明によれば、発振の閾値が低くかつスロープ効率及び発振効率に優れているだけでなく、さまざまな波長を発生させることのできる擬似位相整合波長変換デバイスを容易に作製することができる。また、入力パワーが少なくすむので、安定性や耐久性に優れるとともに、レーザ装置の小型化を図ることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の最良の形態に係る擬似位相整合波長変換デバイスの製造方法を示すフローチャートである。

【図2】本発明の最良の形態に用いられる常温接合装置の模式図である。

【図3】プレートの接合方法を示す図である。

【図4】本発明による擬似位相整合波長変換デバイスの模式図である。

【図5】本発明の擬似位相整合波長変換デバイスの特性を示す図である。

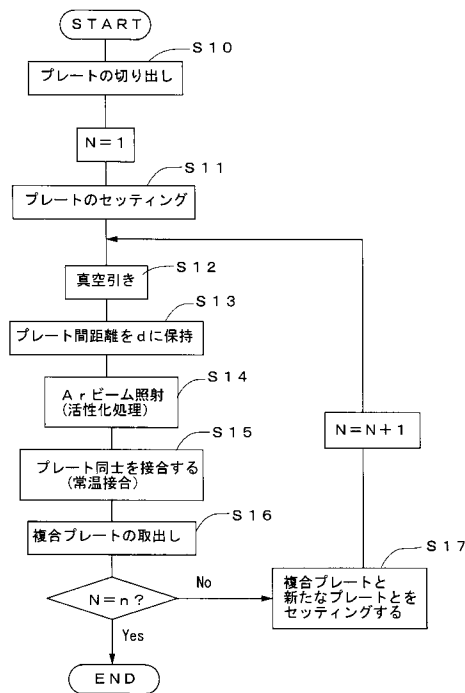
【符号の説明】

【0016】

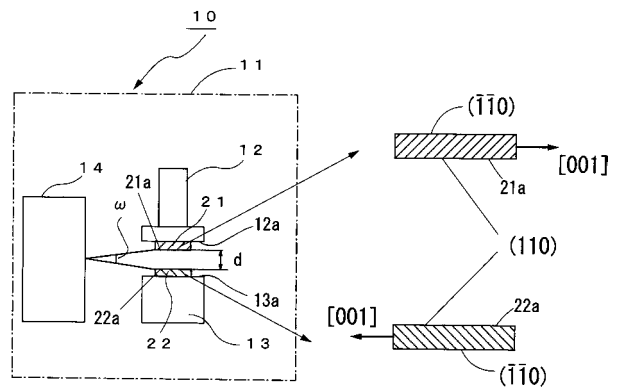
20

- 10 常温接合装置、11 真空チャンバー、12 第1の試料ホルダー、
- 13 第2の試料ホルダー、12a, 13a 試料取付面、14 ビーム源、
- 20 GaAs擬似位相整合波長変換デバイス、20D 複合プレート、
- 21~26 プレート。

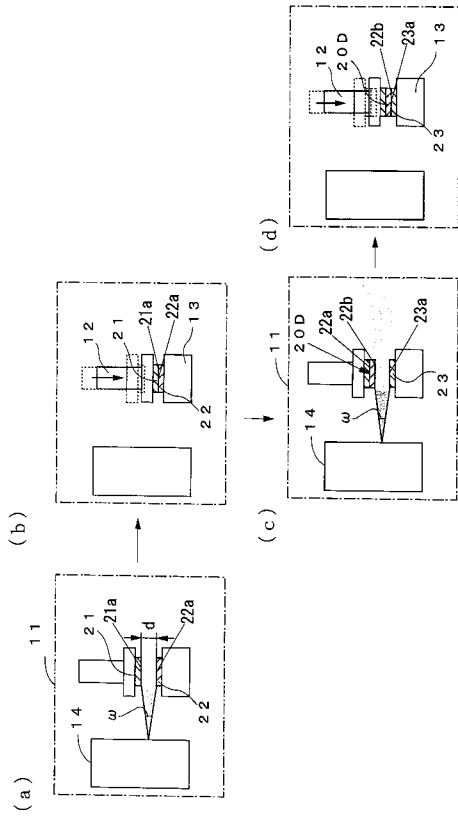
【図1】



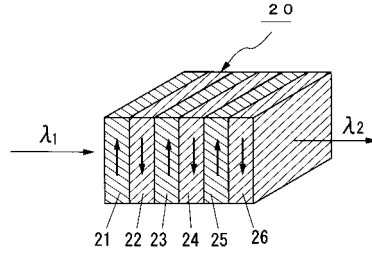
【図2】



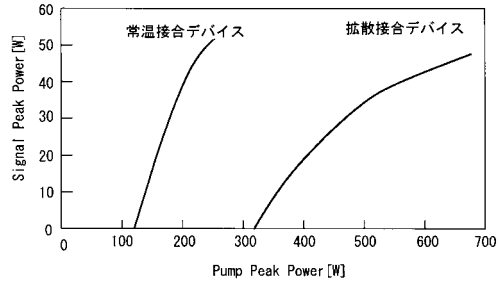
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】





---

フロントページの続き

審査官 林 祥恵

- (56)参考文献 特開2006-243390(JP,A)  
特開平10-092702(JP,A)  
特開2006-235381(JP,A)  
特開2003-015175(JP,A)  
特開2004-239959(JP,A)  
特開2005-266005(JP,A)  
須賀唯知,「触れるだけでくつつく? - 常温接合の世界 -」,現代化学,1998年 7月,p.  
31-38

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/35 - 1/39  
G02F 1/00 - 1/125  
G02B 6/12 - 6/14  
H01L 21/02  
H01L 21/60  
JSTPlus/JST7580(JDreamII)  
IEEE Xplore