(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3578469号
(P3578469)
(45)発行日　平成16年10月20日(2004.10.20)　(24)登録日　平成16年7月23日(2004.7.23)

| (51)Int.Cl.[7] | F I | | |
|---|---|---|---|
| G02F 1/37 | G02F | 1/37 | |
| G02B 6/12 | G02F | 1/35 | |
| G02F 1/35 | G02B | 6/12 | J |

請求項の数 3　(全 7 頁)

(21)出願番号　特願平5-29207
(22)出願日　平成5年2月18日(1993.2.18)
(65)公開番号　特開平6-242479
(43)公開日　平成6年9月2日(1994.9.2)
審査請求日　平成11年6月24日(1999.6.24)
審判番号　不服2002-7144(P2002-7144/J1)
審判請求日　平成14年4月25日(2002.4.25)

(73)特許権者　000005201
富士写真フイルム株式会社
神奈川県南足柄市中沼２１０番地
(74)代理人　100073184
弁理士　柳田　征史
(74)代理人　100090468
弁理士　佐久間　剛
(72)発明者　二瓶　靖和
神奈川県足柄上郡開成町宮台７９８番地
富士写真フイルム株式会社内
(72)発明者　原田　明憲
神奈川県足柄上郡開成町宮台７９８番地
富士写真フイルム株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光波長変換素子およびその作成方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
非線形光学効果を有する強誘電体のバルク結晶に周期的に繰り返すドメイン反転部が形成されてなり、該結晶において実質的に焦電効果を生じさせない温度条件下でこれらのドメイン反転部の並び方向に入射した基本波を波長変換する、光導波路を持たないバルク結晶型の光波長変換素子において、前記強誘電体結晶のドメイン反転部の並び方向に沿って延び、かつ分極方向と交わる表面の少なくとも基本波光路近傍部分に、透明導電性材料からなるコーティングが設けられていることを特徴とする光波長変換素子。
【請求項２】
非線形光学効果を有する強誘電体のバルク結晶に周期的に繰り返すドメイン反転部を形成した後、この強誘電体結晶のドメイン反転部の並び方向に沿って延び、かつ分極方向と交わる表面の少なくとも基本波光路近傍部分に、透明導電性材料からなるコーティングを施すことを特徴とするバルク結晶型光波長変換素子の作成方法。
【請求項３】
請求項１に記載のバルク結晶型光波長変換素子と、この光波長変換素子に基本波としてのレーザビームを入射させるレーザダイオードとからなる光波長変換装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、基本波を第２高調波等に変換する光波長変換素子、特に詳細には、非線形光学

効果を有する強誘電体結晶に周期ドメイン反転構造が形成されてなる光波長変換素子、およびその作成方法に関するものである。

【０００２】

また本発明は、上述のような光波長変換素子を備えた光波長変換装置に関するものである。

【０００３】

【従来の技術】

非線形光学効果を有する強誘電体の自発分極（ドメイン）を周期的に反転させた領域を設けた光波長変換素子を用いて、基本波を第２高調波に波長変換する方法が既にＢｌｅｏｍｂｅｒｇｅｎらによって提案されている（Ｐｈｙｓ．Ｒｅｖ．，ｖｏｌ．１２７，Ｎｏ．６，１９１８（１９６２）参照）。この方法においては、ドメイン反転部の周期Λを、

Λｃ＝２π／｛β（２ω）－２β（ω）｝　　……（１）

ただしβ（２ω）は第２高調波の伝搬定数

β（ω）は基本波の伝搬定数

で与えられるコヒーレント長Λｃの整数倍になるように設定することで、基本波と第２高調波との位相整合を取ることができる。非線形光学材料のバルク結晶を用いて波長変換する場合は、位相整合する波長が結晶固有の特定波長に限られるが、上記の方法によれば、任意の波長に対して（１）　を満足する周期Λを選択することにより、効率良く位相整合を取ることが可能となる。

【０００４】

【発明が解決しようとする課題】

上述のような強誘電体からなる光波長変換素子においては、発生した第２高調波等の波長変換波により強誘電体結晶に光損傷が生じるという問題が認められている。例えば強誘電体結晶としてＬｉＮｂＯ$_3$　（ＬＮ）の結晶を用い、そこに周期ドメイン反転構造を設けてなる光波長変換素子にあっては、２ｍＷ出力の第２高調波（波長：４７７　ｎｍ）によって光損傷が生じることもある。このように低出力の波長変換波によって光損傷を生じてしまう光波長変換素子は、実用的価値がさほど高いとは言えない。

【０００５】

そこで従来より、光損傷しきい値を向上させるために、強誘電体結晶の表面にドメイン反転部の並び方向に沿って延びる状態に金属を蒸着し、この導電性の高い金属によって電荷の偏りを解消することが提案されている。

【０００６】

しかし光導波路型の光波長変換素子において、光導波路を構成する強誘電体結晶の表面に上記のような金属を蒸着すると、導波する基本波および波長変換波の浸み出し光がこの金属によって反射や散乱等の影響を受け、それによる光伝搬損失のために波長変換効率が低下するという問題が生じる。またバルク結晶型の光波長変換素子においても、特にそれが薄い強誘電体結晶基板から形成された場合は、そこを通過する基本波および波長変換波のビーム端部が同様に結晶表面の金属によって反射や散乱等の影響を受け、波長変換効率が低下するという問題が生じる。

【０００７】

本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであり、光損傷しきい値が高く、そして基本波および波長変換波の反射や散乱等による伝搬損失を招かずに、高い波長変換効率を得ることができる光波長変換素子を提供することを目的とするものである。

【０００８】

また本発明は、そのような光波長変換素子を作成する方法を提供することを目的とするものである。

【０００９】

さらに本発明は、強力な波長変換波を出力できる光波長変換装置を提供することを目的とする。

【００１０】

【課題を解決するための手段】
本発明による光波長変換素子は、請求項１に記載の通り、非線形光学効果を有する強誘電体のバルク結晶に周期的に繰り返すドメイン反転部が形成されてなり、該結晶において実質的に焦電効果を生じさせない温度条件下でこれらのドメイン反転部の並び方向に入射した基本波を波長変換する、光導波路を持たないバルク結晶型の光波長変換素子において、強誘電体結晶のドメイン反転部の並び方向に沿って延び、かつ分極方向と交わる表面の少なくとも基本波光路近傍部分に、透明導電性材料からなるコーティングが設けられていることを特徴とするものである。なお、上述のような温度条件とは、入射したレーザー光による光学素子の温度上昇が実質的に焦電効果を招かない程度に抑えられている場合も含めて、基本的には意図的に温度変化を与えないことを意味するが、光学素子が使用される環境により、実用的に意味をなさない程度の焦電効果が生じてしまう温度変化が存在する場合も含むものとする。

【００１１】
一方、本発明による光波長変換素子の作成方法は、上記バルク結晶型の光波長変換素子を作成するものであり、請求項２に記載の通り、非線形光学効果を有する強誘電体のバルク結晶に周期的に繰り返すドメイン反転部を形成した後、この強誘電体結晶のドメイン反転部の並び方向に沿って延び、かつ分極方向と交わる表面の少なくとも基本波光路近傍部分に、透明導電性材料からなるコーティングを施すことを特徴とするものである。

【００１２】
なお、この本発明による光波長変換素子の作成方法において、ドメイン反転部を特に電子線照射により形成する場合には、強誘電体のバルク結晶の電子線照射面の表層部を研磨してから、上記コーティングを施すことが望ましい。

【００１３】
また本発明は、上記本発明によるバルク結晶型の光波長変換素子と、この光波長変換素子に基本波としてのレーザビームを入射させるレーザダイオードとからなる光波長変換装置を提供するものである。

【００１４】
【作用および発明の効果】
上記の光波長変換素子において、強誘電体結晶のドメイン反転部の並び方向に沿って延び、かつ分極方向と交わる表面の少なくとも基本波光路近傍部分に、透明導電性材料からなるコーティングが設けられていると、結晶表面に金属を蒸着する場合と同様に、この導電性コーティングによって強誘電体結晶の電荷の偏りを解消して、光損傷しきい値を向上させることができる。

【００１５】
そして、上記コーティングは透明材料から形成されているので、結晶表面に金属を蒸着する場合とは異なって、このコーティングにおいて基本波あるいは波長変換波が多大な反射や散乱等の影響を受けることも防止でき、よって高い波長変換効率を得ることが可能となる。

【００１６】
また、ドメイン反転部を特に電子線照射により形成する場合には、強誘電体結晶の電子線照射面の表層部を研磨してから上記コーティングを施せば、特に高い波長変換効率が得られるようになる。

【００１７】
一方、本発明の光波長変換装置は、上記のように高い波長変換効率が得られる光波長変換素子を用いているので、強力な波長変換波を出力できるものとなる。

【００１８】
【実施例】
以下、図面に示す実施例に基づいて本発明を詳細に説明する。図１は、本発明の第１実施例の光波長変換素子を作成する工程を示すものである。図中、１は非線形光学効果を有する強誘電体である$LiNbO_3$　（以下、ＬＮと称する）の基板である。この基板１は単

分極化処理がなされて厚さ０．２　ｍｍに形成され、最も大きい非線形光学材料定数$d_{33}$が有効に利用できるように、ｚ面で光学研磨されたｚ板が使用されている。そして同図（ａ）に示すように、この基板１の＋ｚ面にはアース電極として、厚さ３０ｎｍのＣｒ薄膜２が蒸着により形成される。

【００１９】

次いで同図（ｂ）に示すように、公知の電子線照射装置（図示せず）から発せられた電子線３を、基板１に－ｚ面から局所的に照射する。この際の電子線加速電圧は一例として２０～３０ｋＶ、照射電流は０．１　～１ｎＡに設定される。この電子線照射により基板１には、基板裏まで貫通し、所定周期Λで繰り返すパターンのドメイン反転部９が形成される。なお図１（ｂ）の矢印１０は、分極の方向を示している。ここで上記周期Λは、ＬＮの屈折率の波長分散を考慮して、基板１のｘ方向に沿って９４６　ｎｍ近辺で１次の周期となるように４．７　μｍとした。

【００２０】

次いでこの基板１を、ＬＮのキュリー点（１１３０℃）より低い５４０　℃で３時間、空気中で熱処理した。このようにキュリー点未満の温度で熱処理を行なえば、電子線３の照射により所定の向きに設定された分極方向が、この熱処理により変化してしまうことはない。

【００２１】

次に同図（ｃ）に示すように、Ｃｒ薄膜２を除去した後、ドメイン反転部９の並び方向に沿って延びる基板表面（ｙ面およびｚ面）に、透明導電性材料であるＩＴＯ（インジウム・スズ酸化物）の薄膜１１を蒸着する。次いでＬＮ基板１のｘ面および－ｘ面を研磨してそれぞれ光通過面２０ａ、２０ｂとすることにより、図２に示すようなバルク結晶型の光波長変換素子２０が得られる。

【００２２】

この周期ドメイン反転構造を有するバルク結晶型光波長変換素子２０を、図２に示すレーザダイオード励起ＹＡＧレーザの共振器内に配置した。このレーザダイオード励起ＹＡＧレーザは、波長８０９　ｎｍのポンピング光としてのレーザビーム１３を発するレーザダイオード１４と、発散光状態のレーザビーム１３を収束させる集光レンズ１５と、Ｎｄ（ネオジウム）がドープされたレーザ媒質であって上記レーザビーム１３の収束位置に配されたＹＡＧ結晶１６と、このＹＡＧ結晶１６の前方側　（図中右方）に配された共振器ミラー１７とからなる。光波長変換素子２０は結晶長が１ｍｍとされ、この共振器ミラー１７とＹＡＧ結晶１６との間に配置されている。

【００２３】

ＹＡＧ結晶１６は波長８０９　ｎｍのレーザビーム１３により励起されて、波長９４６　ｎｍのレーザビーム１８を発する。この固体レーザビーム１８は、所定のコーティングが施されたＹＡＧ結晶端面１６ａと共振器ミラー１７のミラー面１７ａとの間で共振し、光波長変換素子２０に入射して波長が１／２すなわち４７３　ｎｍの第２高調波１９に変換される。基本波としての固体レーザビーム１８と第２高調波１９は、周期ドメイン反転領域において位相整合（いわゆる疑似位相整合）し、ほぼこの第２高調波１９のみが共振器ミラー１７から出射する。

【００２４】

本例においてレーザビーム１８のビーム径（１／$e^2$　径）は０．１　ｍｍであり、ＬＮ基板１の厚さ０．２　ｍｍはそれにかなり近いから、もしＩＴＯ薄膜１１がこのレーザビーム１８や第２高調波１９に反射、散乱等の影響を与えるとすれば、かなりの伝搬損失が生じるはずである。しかし本例においては、レーザダイオード１４の出力が２００　ｍＷのとき、１０ｍＷと高出力の第２高調波１９が得られた。このように極めて高い波長変換効率が得られたことにより、基本波であるレーザビーム１８や第２高調波１９が透明のＩＴＯ薄膜１１によって多大な反射や散乱等の影響を受けることなく、良好に伝搬していることが実証された。

【００２５】

また本実施例の光波長変換素子２０においては、第２高調波１９の出力が１０ｍＷの場合も光損傷は生じなかった。それに対して、ＩＴＯ薄膜１１を設けない以外はこの光波長変換素子２０と同様に形成した光波長変換素子においては、第２高調波出力が１ｍＷのときに光損傷が認められたので、ＩＴＯ薄膜１１を設けたことにより明らかに光損傷しきい値が向上していると言える。

【００２６】

なお上記のＩＴＯ薄膜１１の代りに、その他の透明導電性材料からなるコーティングを設けてもよい。そのような材料としては、例えば透明導電性ポリマー等が挙げられる。

【００２７】

なお本発明において、周期ドメイン反転構造を形成する方法は先に説明した方法、すなわち強誘電体結晶に電子線を照射するという方法に限られるものではなく、その他例えば、強誘電体結晶にプロトン交換部を設けてそこに電場を印加する等のあらゆる方法が適用可能である。

【００２８】

また、電子線を強誘電体結晶に照射する方法を適用した場合は、電子線照射側の結晶表面から若干内側に入った部分から分極反転が起きることがある。そのような場合は、上記結晶表面から内部にかけての分極反転していない領域を研磨して除去し、この研磨後の新たな結晶表面にＩＴＯ薄膜１１等のコーティングを施すのが好ましい。

【００２９】

一例として、第１実施例と同様にしてバルク結晶型の光波長変換素子を作成する際、ＬＮ基板１の電子線照射面を数μｍ研磨してからＩＴＯ薄膜１１をコーティングした。それにより得られた光波長変換素子を図２に示すレーザダイオード励起ＹＡＧレーザの共振器内に配置したところ、レーザダイオード１４の出力が２００　ｍＷのとき、第１実施例よりもさらに高出力の１５ｍＷの第２高調波１９が得られた。このように、電子線照射面を研磨することにより、明らかに波長変換効率向上の効果が得られる。

【００３０】

また本発明は、非線形光学効果を有する強誘電体結晶としてＬＮを用いる場合に限らず、その他の強誘電体結晶を用いる場合にも同様に適用可能である。

【図面の簡単な説明】

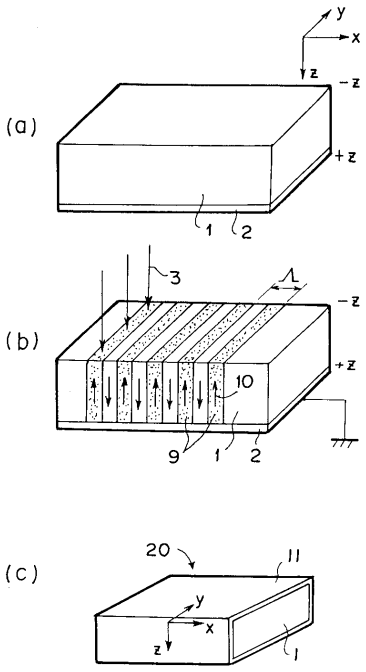
【図１】本発明の第１実施例の光波長変換素子を作成する様子を示す概略図

【図２】上記第１実施例の光波長変換素子を備えた固体レーザの側面図

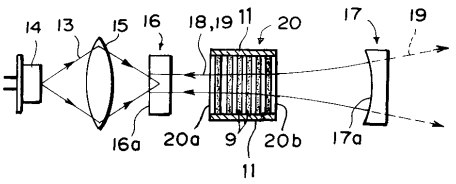
【符号の説明】

１　　$LiNbO_3$　単分極化基板（ｚ板）
１ａ、１ｂ　　基板表面
２　　Ｔａマスクパターン
３　　プロトン交換部
４　　コロナワイヤー
５　　金属Ｐｔ電極
７　　アース
８　　電源
９　　ドメイン反転部
１１　　ＩＴＯ薄膜
１３　　レーザビーム（ポンピング光）
１４　　レーザダイオード
１５　　集光レンズ
１６　　ＹＡＧ結晶
１７　　共振器ミラー
１８　　レーザビーム（基本波）
１９　　第２高調波
２０　　バルク結晶型光波長変換素子

【図１】


(a)
y
x
z
-z
+z
1
2
(b)
3
Λ
-z
+z
10
9
1
2
(c)
20
11
y
x
z
1

【図２】


14
13
15
16
18,19
11
20
17
19
16a
20a
9
20b
17a
11

フロントページの続き

(72)発明者　岡崎　洋二
神奈川県足柄上郡開成町宮台７９８番地　富士写真フイルム株式会社内

合議体
審判長　平井　良憲
審判官　稲積　義登
審判官　町田　光信

(56)参考文献　特開平４－２６４４０８（ＪＰ，Ａ）
特開平１－１８２８２４（ＪＰ，Ａ）
特開平４－２１２１３２（ＪＰ，Ａ）
特開平６－１４８７０５（ＪＰ，Ａ）
特開平３－１２２６０４（ＪＰ，Ａ）
Applied Physics Letters,Vol.37,No.7,pp.607-609(1980) D.Fong et al.
Electronics Letters,Vol.27,No.14,pp.1221-1222(1991) H.ITO et al.