



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 91102591.X

[51]Int.Cl⁶

G02F 1/37

[45]授权公告日 1996年5月29日

[24]颁证日 96.3.2

[21]申请号 91102591.X

[22]申请日 91.4.25

[30]优先权

[32]90.4.25 [33]US[31]514,787

[32]90.4.26 [33]US[31]514,822

[73]专利权人 北美飞利浦公司

地址 美国纽约

共同专利权人 杜邦德纳莫公司

[72]发明人 约翰·戴维·贝尔兰

G02B 6/12

约瑟夫·布赖恩·布朗

卡洛卢斯·约翰尼斯·范德堡尔

[74]专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

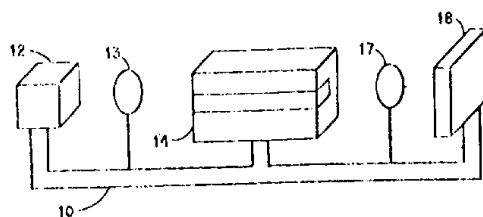
代理人 张维东

权利要求书 4 页 说明书 25 页 附图页数 5 页

[54]发明名称 用于波长转换系统中的光学制品及其制造方法

[57]摘要

公开了用于波长转换的制品与方法，它们使用一系列用于波长转换的光学材料的对准的部件，这些材料是选自具有化学式 $K_{1-x}Rb_xTiOMO_4$ 的材料，其中 X 是从 0 至 1 的值而 M 是选自 P 与 As 的以及所述化学式的材料其中所述化学式的阳离子已经部分地被 Rb^+ ， Tl^+ 与 Cs^+ 中至少一种，及 Ba^{++} ， Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种所取代。该序列部件是以非线性光学系统，部件长度，以及部件 ΔK （即，入射波的传播常数之和与生成波的传播常数之和的差）的一种改变为特征的。



权 利 要 求 书

1. 一种用于波长转换系统中的光学制品, 所述光学制品包括至少一个光学转换段, 该段由包含一系列光学材料的对准的部分的一个单晶体构成, 这些材料是选自 (a) 具有化学式 $K_{1-x}R_b xT_iO M O_4$ 的材料, 其中 X 是从 0 至 1 的值而 M 是选自 P 与 As 的, 以及 (b) 所述的化学式的材料, 其中所述化学式的阳离子已经部分地被 Rb^+ , Tl^+ 与 Cs^+ 中至少一种及 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种所取代, 条件是: 至少一个部分具有选自 (b) 的光学材料, 且对于选自 (b) 的光学材料, 其中 X 是大于 0.8 的, 所述化学式的阳离子是部分地被 Tl^+ 与 Cs^+ 中至少一种及 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种取代, 其中所述部分是这样选择的使得各部分在对准方向上的长度与该部分的 ΔK 的乘积之和等于大约 $2\pi N$, 其中 N 是一个非零的整数, 且使得至少一个部分的非线性光学系数是相对于至少一个邻接部分的非线性光学系数改变的; 其中各部分的 ΔK 是该部分中的波长转换系统的入射波的传播常数之和与该部分中的波长转换系统的生成波的传播常数之和的差。

2. 根据权利要求 1 的一种光学制品, 具有交替的 $KTiOP O_4$ 部分与其中的阳离子已经被 Ba^{++} 及 Tl^+ 与 Rb^+ 中至少一种取代了的 $KTiOP O_4$ 部分。

3. 根据权利要求 1 的一种光学制品, 其中各部分的长度是在 $0.25 \mu m$ 至 $50 \mu m$ 的范围内, 各部分的宽度是在大约 $0.2 \mu m$ 至 $50 \mu m$ 的范围内, 以及各交换过的部分的深度是在大约 $0.1 \mu m$ 至 $50 \mu m$

的范围内。

4. 根据权利要求1的一种光学制品，它是一种波导，包括交替的晶体基板的部分，该晶体基板具有化学式 $K_{1-x}Rb_xTiOMo_4$ 其中X是从0至1的值而M是P或As，以及基板材料的部分，其中所述基板的阳离子已经被选自由 Rb^+ ， Cs^+ 与 Tl^+ 组成的族中的足量阳离子及选自由 Ba^{++} ， Sr^{++} 与 Ca^{++} 所组成的族中的足量的阳离子所取代以改变相对于所述基板的非线性光学系数至少1%的非线性光学系数。

5. 根据权利要求1的一种光学制品，其中在至少一个部分的非线性光学系数与至少一个邻接部分的非线性光学系数之间至少有大约1%的差；以及其中在所述至少一个部分的表面折射率与所述至少一个邻接部分的表面折射率之间至少有大约0.00025的差。

6. 在一种光波导装置中，包括至少一个通道波导，将进入一个光波耦合进所述通道波导的装置，以及将一个射出波耦合出所述通道波导的装置，其特征为其中的通道波导包括至少一个光学转换段，该段由包含一系列光学材料的对准的部分的一个单晶体构成，这些材料是选自(a)具有化学式 $K_{1-x}Rb_xTiOMo_4$ 的材料，其中X是从0至1的值而M是选自P与As的，以及(b)所述的化学式的材料，其中所述化学式的阳离子已经部分地被 Rb^+ ， Tl^+ 与 Cs^+ 中至少一种及 Ba^{++} ， Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种所取代，条件是：至少一个部分具有选自(b)的光学材料，且对于选自(b)的光学材料，其中X是大于0.8的，所述化学式的阳离子是部分地被 Tl^+ 与 Cs^+ 中至少一种及 Ba^{++} ， Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种取代，其

中所述部分是这样选择的使得各部分在对准方向上的长度与该部分的 ΔK 的乘积之和等于大约 $2\pi N$ ，其中 N 是一个非零的整数，且使得至少一个部分的非线性光学系数是相对于至少一个邻接部分的非线性光学系数改变的；其中各部分的 ΔK 是该部分中的波长转换系统的入射波的传播常数之和与该部分中的波长转换系统的生成波的传播常数之和的差。

7. 一种用于制备如权利要求1所述光学制品的方法，包括下述步骤：

(1)向具有化学式 $K_{1-x}Rb_xTiOMO_4$ ，其中 x 为从0至1的值而 M 为 P 或 As 的单晶体材料的 Z 截割基板的 Z 截割表面提供一个光学光滑表面；

(2)提供一种熔盐，它含有选自 Rb^+ ， Cs^+ 与 Tl^+ 所组成的族中的阳离子以及选自 Ba^{++} ， Sr^{++} 与 Ca^{++} 所组成的族中的阳离子，条件是当 x 大于0.8时，熔盐含有选自 Tl^+ 与 Cs^+ 的阳离子，其含量，当以一个选择的温度暴露于所述光学光滑表面经过一个选择的时间后，能够有效地提供足够的阳离子取代以相对于所述基板的折射率改变折射率，以及提供一个非线性光学系数它是相对于基板的非线性光学系数改变了的；

(3)在所述基板上施加一种掩蔽材料以沿所述光学光滑表面的一部分提供一种对准区域的花纹，这些区域是交替地以一种抗所述熔盐的材料掩蔽与不掩蔽的；

(4)在所述选择的温度上将所述掩蔽的基板浸入所述熔盐经过所述选择的时间，借此在所述不掩蔽的区域中提供阳离子取代；

(5)从所述基板上清除该掩蔽材料；以及

(6)抛光所述基板以提供具有抛光的波导输入与输出面的一个光洁的波导;

所述掩蔽的与不掩蔽的区域的长度是这样选择的使得在不掩蔽区域中进行所述阳离子取代以后,在光学光滑表面的所述部分提供了一个通道波导,它包括至少一个光学转换段,该段由一系列在一个晶体中的非线性光学材料的对准的部分组成,并且使得该系列的部分中的各部分的长度与该部分的 ΔK 的乘积之和是等于大约 $2\pi N$ 的,其中 N 是一个非零整数;其中各部分的 ΔK 在该部分中的波长转换系统的入射波的传播常数之和与该部分中所述波长转换系统的生成波的传播常数之和的差。

用于波长转换系统中的光学制品及其制造方法

本发明涉及光学制品,更具体地涉及用于波长转换的光学制品。

在通信,光存储器及其它应用中使用光学系统的优点刺激了对具有高非线性度,良好的光学性质,以及能够进行周相匹配以增加入射激光的频率的光学介质的探索。在这种系统的设计中经常遇到的问题是高效地生成具有特别适用于这种系统中的波长的光波。例如,虽然高效的红外波激光生成是通常可以利用的,但某些具有较短波长的更适用的波的直接生成则通常是相当困难的。

提供具有更理想的波长的波的一种方法是波长转换,从而包含一种光介质的制品被用来至少部分地将入射到该介质的光波转换成具有不同波长的出射光波。经常使用的波长转换过程包含二次谐波的生成,其中所生成的波的频率是入射波的两倍。在典型的方法中,入射光波被导经一种介质(例如,一种无机非线性晶体)在其中通过介质与光波的交互作用生成具有对应于入射光波的波长的二次谐波波长的光波并从该介质中出射。

典型地,在用于波长转换的光学制品中,适当波长的波是在介质的长度上生成的。在设计这种制品中众所周知的是除非设置了用于抑制沿介质长度各点上生成的波之间的破坏性干涉的装置,诸如二次谐波生成这些波长转换方式的效率可能严重地受到限制。因而,通常有必要采用某种技术来控制这种破坏性干涉的影响。

以更为理论性些的名词,波长转换系统一般可以根据一个传播常数 K 来对该转换介质中的交互作用的各光波进行论述。为了说明这一目的,每一光波的 K 可定义为等于

$2\pi n/\lambda$, 这里 n 为介质的折射率而 λ 则为波的波长。鉴于传播常数与波长之间的倒数关系, 以及不同频率的光波可以具有不同的折射率这一事实, 在转换介质中的各相互作用的光波的传播常数清楚地可以是不同的。

一般地, 对于波长转换, 交互作用入射波的频率之和等于交互作用所生成的波的频率之和。为了使介质中生成的波之间的破坏性干涉最小化, 一般认为交互作用入射波的传播常数之和也紧密地逼近交互作用所生成的波的传播常数之和是理想的。换言之, 对于包含在波长转换中的光波, 介质中入射波的总传播常数与介质中所生成的波的总传播常数之间的差(即, 该介质的 ΔK)接近零, 被认为对于高效波长转换是理想的。将一个波长转换系统调整到 ΔK 接近零的状态称作周相匹配。

一种特定介质的波长转换系统中具有一定意义的一个光学参数是粘着长度, coh , 它一般定义为 $2\pi/\Delta K$ 。对于 ΔK 接近零的状态, 明显地, 其对应的 coh 是相对地大的。

在一个晶体系统中包含三条光束的非线性交互作用的一种正常的周相匹配过程中, 其中各自具有频率 ω_1 与 ω_2 以及各自的波长 λ_1 与 λ_2 的入射光波的两条光束被引导通过具有作为光波频率的函数而变化的折射率 $n(\omega)$ 的一种介质(例如, 一个晶体或者一种复合物)以生成具有频率 ω_3 及波长 λ_3 的光波, 对各波束所定义的波束传播常数 K 为等于 $2\pi n(\omega)/\lambda$, 而该光学介质的 ΔK 则由下列关系式表示:

$$\Delta K = \frac{2\pi n(\omega_3)}{\lambda_3} - \frac{2\pi n(\omega_2)}{\lambda_2} - \frac{2\pi n(\omega_1)}{\lambda_1}$$

最大输出亮度出现在当周相系统匹配的状态(即, ΔK

为零)下的一个系统中。周相匹配系统的输出亮度一般与 h^2 成比例地增加,即光学介质(例如,晶体)的长度 h 的平方。

对于二次谐波生成系统,频率 ω_1 与 ω_2 取为相等的并为频率 ω_3 的一半。相应地,波长 λ_1 与 λ_2 是波长 λ_3 的两倍而二次谐波生成系统的 ΔK 可以按照上面的例子以下述关系式表示:

$$\Delta K = \frac{2\pi}{\lambda_3} (n(\omega_3) - n(\omega_1))$$

这种二次谐波生成系统的粘着长度从而可用下列关系式表示:

$$\text{coh} = \frac{\lambda_3}{n(\omega_3) - n(\omega_1)} = \frac{0.5\lambda_1}{n(\omega_3) - n(\omega_1)}$$

波长转换系统的另一个例子包括从一个波长为 λ_4 的单一输入波生成波长为 λ_5 与 λ_6 的两个波。

已经为达到高效的周相匹配论证或提出过若干技术。(可参见,例如, F. A. Hopf 等, 应用古典电动力学, 卷 II, 非线性光学, John Wiley & Sons, 1986, 29-56 页) 它们中最常用的是使用在诸如二次谐波生成以及和与差频生成等几乎所有当前应用中的角度与温度调整技术。在诸如单晶体这样的大块材料的角度调整中, 对该晶体相对于入射光的朝向进行调整以达到周相匹配。一般认为这一技术可适用于波导结构中, 由于它们的设计性质, 它们必须朝向相对于入射波的一个特定方向。温度调整取决于材料的双折射的温度依赖性, 它既可用于波导也可用于大块材料。

然而,对于许多双折射的温度依赖性大的材料而言,虽然对这些材料中的波导进行温度调整是可能的,但必须提供高度的温度控制(例如, $\pm 1^\circ\text{C}$)。在双折射的温度依赖性小的光学材料中(例如, K TiOPO_4),虽然不必要高度的温度控制,但波导可能进行温度调整的波长范围却是小的。

使用折射率的周期性变化来校正 ΔK 不等于零这一事实的二次谐波生成的周相匹配可以通过使得反射的光束是周相匹配的这样一种方法来反射回基本波束与二次谐波束来实现(见,例如, S. Somekh “周期性薄膜中的周相可互换非线性光学交互作用”, 应用物理通讯, 21, 140(1972))。以上述方法,二次谐波输出亮度随所用材料的长度的平方增加。然而,在实践中,这一方法的总的效率甚至比上面讨论的方法还要低。

最近, J. Bierlein 等开创了一种特别有用的波长转换技术,这一方法包括引导要进行波长转换的入射光波通过一系列对准的光学材料部分来进行波长转换,所述部分是这样选择的,使得部分系列中各部分在对准方向上的长度与这一部分的 ΔK 的乘积之和接近于零,并且各部分的长度小于其粘着长度;其中或者至少一种所述材料是光学非线性的或者在波长转换中邻接于所述系列提供一层非线性光学材料,或者两者兼而有之。这一技术是以波长转换可以通过使用一系列光学材料部分来完成这一发现为基础的,其中对折射率与部件长度之差进行了平衡以控制通过该系列的破坏性干涉的影响,使得即使光波在单个部分中并不周相匹配,它们在该系列的后端也是周相匹配的(见美国专利申请第 07/449,616 号)。

用于波长转换的称作“准”周相匹配技术并包括周期性畴反相或内部反射的其它技术也已经描述过(见 J. A.

匹配, 及提供改变非线性光学系数(即, “d”)的符号与 / 或幅值以达到波长转换。根据本发明, 使用一系列光学材料的部分通过准周相匹配来完成波长转换。该部分系列是这样特征化的, 使得至少一个部分的非线性光学系数是相对于至少一个相邻接的非线性光学系数改变的; 并且使得对于该系列的各部分的长度(即, h_i)与 ΔK (即, ΔK_i) 的乘积之和大致上等于 $2N\pi$ (即, $\sum_i \Delta K_i h_i \cong 2\pi N$) 其中 N 是一个非零的整数。改变非线性光学系数的一种较佳方法将至少一个部分的偏振轴相对于至少一个相邻接的部分的偏振轴进行反向。最可取的是, 至少有一个部分的非线性光学系数与至少一个相邻接的部分的非线性光学系数之间至少具有 1% 的差; 并且最可取的是在所述至少一个部分的表面折射率与所述至少一个相邻接的部分的表面折射率之间具有至少大约为 0.00025 的差。

根据本发明提供了一种用于波长转换的方法, 包括下述步骤: 将用于进行波长转换的入射光波引导通过包含一系列光学材料的对准的部分的一个单晶体, 这些光学材料是选自 (a) 具有化学结构式 $K_{1-x} Rb_x TiO M O_4$ 的材料, 其中 X 是从 0 到 1 的值且 M 是选自由 P 与 As 构成的族, 及 (b) 所述化学结构式的材料, 其中所述化学结构式的阳离子部分地被 Rb^+ , Tl^+ , Cs^+ 中至少一种与 Ba^{++} , Sr^{++} 中至少一种以及 Ca^{++} 所取代(条件是至少一个部分具有选自 (b) 的光学材料, 且对于选自 (b) 的光学材料其中的 X 是大于 0.8 的, 所述化学结构式的阳离子是部分地被 Tl^+ , Cs^+ 中的至少一种和 Ba^{++} , Sr^{++} 中的至少一种以及 Ca^{++} 所取代), 所述部分是这样选择的, 使得该系列部件的各部分在对准方向上的长度(即, h_i)与该部分的 ΔK (即, ΔK_i) 的乘积之和近似等于 $2\pi N$ (即, $\sum_i \Delta K_i h_i \cong 2\pi N$) 其中 N 为非零整数, 并

且使得至少一个部分的非线性光学系数相对于至少一个相邻接部分的非线性光学系数改变。各部分的 ΔK 是在该部分中波长转换系统的入射波的传播常数之和与该部分中的波长转换系统的生成波的传播常数之和的差。该方法可用于从两束入射光中生成具有一定波长的光束。此外,该方法可以用于从一束入射光生成两束光束。然而,该波长转换方法的一种理想用途是用于二次谐波生成,其中,所生成的波具有入射光束的一半波长。

根据本发明,提供了用于波长转换系统的光学制品。该制品包括一个至少一个由单晶体组成的光学转换段,该单晶体包含一系列对准的光学材料部分,这些材料选自(a)具有化学式 $K_{1-x}Rb_xTiOMO_4$, 以及(b)所述化学式的材料,其中所述化学式的阳离子已部分地被 Rb^+ , Tl^+ 中至少一种,以及 Cs^+ , 以及 Ba^{++} , Sr^{++} 以及 Ca^{++} 中至少一种所取代(条件是,至少一个部分具有选自(b)的光学材料,以及对于选自(b)的光学材料,其中的 X 是大于 0.8 的,所述化学式中的阳离子是部分地被 Tl^+ 与 Cs^+ 中至少一种以及 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种所取代),其中,所述部分是这样选择的,使得各部分的长度(即, h_i),该部分的 ΔK (即, ΔK_i) 的乘积之和近似等于 $2\pi N$ (即, $\sum_i \Delta K_i h_i \cong 2\pi N$),其中 N 为一个非零整数,并且至少一个部分的非线性光学系数是相对于至少一个邻接部分的非线性光学系数改变的。

对于一个具有 P 个各自的长度为 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_p$ 的部的段,其特征为具有在该波长转换系统中各光波的一系列传播常数 $K_1, K_2, \dots, K_i \dots K_p$, 其中 $K_i = 2\pi n_i(\omega) / \lambda$, 及 $n_i(\omega)$ 与 λ 分别为部分中的折射率与波长,为各部分提供了一个 ΔK , 它对应于该部分中的波长转换系统的

入射波的总和传播常数与该部件中的波长转换系统的生成波的总传播常数之差。根据本发明,各段中的部分是这样选择的,使得该段的和 $\Delta K_{1h1} + \Delta K_{2h2} + \dots + \Delta K_{ih1} + \dots + \Delta K_{php}$ (即, $h_i \Delta K_i$ 对序列求和,即 $\sum_i \Delta K_{ih1}$) 近似等于 $2\pi N$, 并且至少一个部分的非线性光学系数是相对于至少一个邻接部分的非线性光学系数改变的。

一个较佳实施例包含二次谐波生成。

本发明还提供改进的光学设备,它包括至少一个光学制品,将一个进入光波耦合进所述光学制品的装置以及将一个射出波从所述光学制品引出的装置,其中的改进包括使用按照本发明制成的一个光学制品。例如,按照本发明构成的通道波导可用于改进光学波导设备,它包括至少一个通道波导,用于将一个进入波耦合入所述通道波导的装置以及将一个射出波引出所述通道波导的装置。

本发明还提供一种用于制备一种光学制品的方法。一种用于制备具有一系列对准部分的通道波导的方法,其中至少一个部分的非线性光学系数是相对于根据本发明的一个波长转换系统的至少一个邻接部分的非线性光学系数改变的,这一方法包括下述步骤: (1) 提供给单晶体材料(具有化学式 $K_{1-x}Rb_xTiOMO_4$, 其中 x 是从 0 到 1 的值,且 M 为 P 或 As) 的一个 Z 截割基板的 Z 表面以一个光学地平滑的表面; (2) 提供一种熔盐,它包含选自由 Rb^+ , Cs^+ 与 Tl^+ 所组成的族中的阳离子以及选自由 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 所组成的族中的阳离子(条件是: 当 x 大于 0.8 时,该熔盐包含选自由 Cs^+ 与 Tl^+ 的阳离子) 当在一个选定的温度上以选定的时间暴露于所述光学光滑表面时,这些离子的量能够有效地提供足够的阳离子取代以改变相对于所述基板的折射率

的折射率,并且提供一个非线性光学系数,该系数是相对于该基板的非线性光学系数改变的;(3)在所述基板上作用一种掩膜材料以沿所述光学地平滑的Z表面的一部分提供对准的区域的一种花样,这些区域是交替地用一种抗所述熔盐的材料掩蔽和不加掩蔽的;(4)在所述选定的温度上将所述掩蔽的基板浸在所述熔盐中经过所述选定的时间,借此在所述未掩蔽区域中提供阳离子取代;(5)将所述掩膜材料从所述基板上清除;以及(6)抛光所述基板以提供一个具有抛光的波导输入与输出面的光洁波导。在这一方法中,掩蔽与非掩蔽区的长度是这样选择的,使得在非掩蔽区中阳离子取代以后,提供根据本发明的一个波导,它包括至少一个光学转换段,该段由一系列用于波长转换的对准的光学材料部分。本发明被认为是对使用修正后的 KTiOPO_4 单晶体生成兰色光是特别有用的。

图1是根据本发明的用于波长转换的一个装置的示意图。

图2是根据本发明的用于波长转换的一个波导的透视图。

图3是图2中的波导所提供的非线性光学材料的对准部分的透视图。

图4是根据本发明的用于波长转换的波导的另一个实施例的透视图。

图5是不同波导宽度的深度与折射率之间的不匹配的一种计算所得的关系的展示曲线。

图6示出二次谐波波长与波导的周期的相互关系。

根据本发明,提供了适用于至少部分地将具有一种波长的光波变换成具有不同波长的光波的装置。一般,在波长转换中,入射波的频率之和与生成波的频率之和是相等的。从

而,对于将具有频率 ω_1 与波长 λ_1 的波与具有频率 ω_2 与波长 λ_2 的波共同用于生成具有频率 ω_3 与波长 λ_3 的波长转换系统而言, ω_3 等于 ω_1 与 ω_2 之和;而对于使用具有频率 ω_4 与波长 λ_4 来同时生成具有频率 ω_5 与波长 λ_5 的波与具有频率 ω_6 与波长 λ_6 的波的波长转换系统而言, ω_4 等于 ω_5 与 ω_6 之和。

根据本发明,提供了一种用于波长转换的方法,它包括下述步骤:将用于波长转换的入射光波引导通过包括一系列用于波长转换的光学材料的对准的部分的一个单晶体,所述部件是这样选择的,使得该系列部件中各部分在对准方向上的长度与该部分的 ΔK 的乘积之和近似等于 $2N\pi$ 其中 N 是一个非零整数,并且至少一个部分的非线性光学系数是相对于至少一个邻接部分的非线性光学系数改变的。如下面要进一步讨论的,各部分的 ΔK 是在该部分中的波长转换系统的入射波的传播常数之和与在该部分中的波长转换系统的生成波的传播常数之和的差。

在本发明中使用的晶体光学材料是具有化学式 $K_{1-x}Rb_x TiO.M O_4$ 的单晶材料,其中 X 为从 0 到 1 的值,而 M 则选自由 P 与 As 组成的族,并且所述化学式的单晶体材料,其中所述化学式的阳离子已部分地被 Rb^+ , Tl^+ 与 Cs^+ 中至少一种,以及 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种所取代。系列中对准的部分中至少一个必须具有所述化学式的一种光学材料,其中的阳离子已部分地被 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种所取代。为了实用目的,当使用所述化学式的材料而其中的阳离子已部分地被取代且 X 大约为 0.80 或更大时,其单价取代阳离子必须包含 Cs^+ , Tl^+ 或者 Cs^+ 与 Tl^+ 两者。这些部分最好对准在晶体的 Z 表面上。

这一方法可用于从两束入射光生成具有一定波长的光

束。此外,这一方法可用于从一束入射光生成两束光线。然而,该波长转换方法的一种理想用途是用于二次谐波生成,其中的生成波的波长是入射光束的波长的一半。

本发明用于波长转换系统的光学制品包括至少一个光学转换段,它是由一个包含一系列用于波长转换的对准的光学材料部分的单晶体组成的。这些部分较理想地对准在晶体的 Z 表面上。该系列可以表示为多个 P 个对准的光学材料邻接部分, $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_p$, 各具有化学式 $K_{1-x}Rb_xTiOMO_4$ 范围内的一种成分以及所述化学式的阳离子已如上面所定义的被取代的成分。各部分是以在对准方向上的一个长度 h_i 以及一个折射率 $n_i(\omega)$ 为特征的, 折射率 $n_i(\omega)$ 是随通过其中的光波的频率 ω 变化的一个函数。各对准的部分的入射波的总和传播常数与各对准部分的生成波的总和传播常数之差为该部件定义一个 ΔK_i 。根据本发明, 各个所述段的部分是这样选择的, 使得一个部分的 ΔK 与所述部分的在段上的长度之乘积的和 (即, $\Delta K_1 h_1 + \Delta K_2 h_2 + \dots + \Delta K_i h_i + \dots + \Delta K_p h_p$) 大约等于 $2\pi N$, 其中 N 是一个非零整数; 并且至少一个部分的非线性光学系数是相对于至少一个邻接部分的非线性光学系数改变的。

根据本发明的各部分的长度与各部分的 ΔK 的乘积的关系是与传统的折射率晶格周相匹配相同的。然而, 根据本发明, 各部分的长度一般可以是任何长度, 只要不是零, 并且符合下述条件: 各部分的长度 h_i 与该部分的 ΔK 的乘积之和在该光学转换段的长度上大约等于 $2\pi N$ 即可, 即, 对于一个包含 P 个部分的光学转换段 (即, i 为从 1 至 P), $\sum \Delta K_i h_i \approx 2\pi N$ 。

所期望的是, $\sum \Delta K_i h_i$ 越接近 $2\pi N$ 越实用。然而,

应当理解, 光学特征与部分长度的完美平衡是难于达到的, 以及本发明的优点只有当 $\sum \Delta K_i h_i$ 维持在接近 $2\pi N$ 的范围内时才能达到: 即在 $2\pi N + \delta$ 与 $2\pi N - \delta$ 之间时, 其中 δ 小于 $2\pi/M$ 而 M 则为整个波长转换路径上的光学转换段的总数。设计达到这一平衡的波长转换路径的一种方法是去实际计算各部的 ΔK 与部分长度。在这一方法中, 当在整个波长转换路径上的各部分的 ΔK 与该部分的长度的乘积之和约等于 $2\pi N$ 时, 认为已经出现了有利的平衡。较理想的是所述乘积的结果总和是在 $2\pi N + 1.5\pi/M$ 与 $2\pi N - 1.5\pi/M$ 之间, 而最为理想的是在 $2\pi N + \pi/M$ 与 $2\pi N - \pi/M$ 之间。

作为一个实际问题, 在许多情况中, 由于与制备一系列用于这一发明的部分相关联的精度限制(包括制备光学材料本身)人们可能希望确认所期望的平衡或者 ΔK 与部分长度已经通过观察在整个波长转换路径上的总粘着长度大于该路径的长度得到实现。在某些情况中, 人们可以直接从检验沿波长转换路径长度的波的弱散布中观察总体粘着长度。

例如, 在一个部分中, 分别具有频率 ω_1 与 ω_2 及各自的波长 λ_1 与 λ_2 的两束入射光波被引导通过一种介质(例如, 一个晶体或一种组合材料)(该介质具有长度 h_i 及一个作为随光波频率变化的函数的折射率 $n_i(\omega)$)以生成具有频率 ω_3 与波长 λ_3 的光波, 为各波束所定义的束传播常数等于 $2\pi n(\omega)/\lambda$, 而该部分的 ΔK_i 则由下列关系式表示:

$$\Delta K_i = 2\pi n_i(\omega_3)/\lambda_3 - 2\pi n_i(\omega_1)/\lambda_1 - 2\pi n_i(\omega_2)/\lambda_2.$$

根据本发明的方法, 这种波长转换系统的入射光波(具有频率 ω_1 与 ω_2)是被引导通过一系列这样选择的部分的,

使得该系列的 $h_i \Delta K_i$ 之和等于大约 $2\pi N$, 其中 N 是一个非零整数。使用这种波长转换系统的光学制品的光学转换段由一系列这样选择的部分组成, 使得该系列的 $h_i \Delta K_i$ 之和大约为 $2\pi N$ 。

在二次谐波生成的情况中, ω_1 与 ω_2 是相等的并各等于 ω_3 的一半。从而, 对于二次谐波生成, 各部分的 ΔK_i 可以用下列关系式表示:

$$\Delta K_i = 2\pi(n(\omega_3) - n(\omega_1)) / \lambda_3。$$

另一方面, 在一个部分中, 当一束具有频率 ω_4 与波长 λ_4 的入射光波被引导通过一种具有长度 h_i 与作为光波频率的函数而变化的折射率 $n_i(\omega)$ 的介质以生成两束分别具有频率 ω_5 与 ω_6 及各自的波长 λ_5 与 λ_6 的光波时, 为各光束定义的一个束传播常数 K_i 等于 $2\pi n_i(\omega) / \lambda$, 以及该部分的一个 ΔK_i 用下列关系式表示:

$$\Delta K_i = 2\pi n_i(\omega_6) / \lambda_6 + 2\pi n_i(\omega_5) / \lambda_5 - 2\pi n_i(\omega_4) / \lambda_4。$$

根据本发明的方法, 这种波长转换系统的入射光波(具有频率 ω_4) 被引导通过一系列部分, 使得该系列的 $h_i \Delta K_i$ 之和大约等于 $2\pi N$, 其中 N 是一个非零整数。使用这种波长转换系统的光学制品的光学转换段由一系列这样选择的部分组成使得该系列的 $h_i \Delta K_i$ 之和大约为 $2\pi N$ 。

在任何情况中, 在该系列中的至少一个部分的非线性光学系数必须是相对于一个邻接部分的非线性光学系数改变的。

对于本发明的某些实施例 P 个光学材料的部分可以用 g 对邻接的光学材料部分, m_1 与 m_2 , m_3 与 m_4 , $\dots$, m_{i-1} 与 m_i , $\dots$, m_{2g-1} 与 m_{2g} (即, $p = 2g$) 来表示其特征, 各部分用对应的长度 $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_{2g}$, 对应的折射

率, $n_1, n_2, \dots, n_i, \dots, n_{2g}$, 与该波长转换系统的各波长相关联的对应的传播常数, $k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_p$, 来表示其特征, 并且这些材料是这样选择的, 使得对于各对材料部分 m_{i-1} 与 m_i 偏振轴是反向的。

对于最大二次谐波生成, N 必须等于 1, 每段的部分数必须等于 2, 各部分的长度必须等于其各自的粘着长度的一半(即, $h_1 = \pi / \Delta K_1$ 与 $h_2 = \pi / \Delta K_2$)。一般, 长度 h_i 可以是各不相同的并各在 0.25 微米至 50 微米的范围内。在实践中, 邻接部分长度之比(即, $h_{i-1} : h_i$)通常在 1 : 20 至 20 : 1 的范围内。各部件的宽度可在 0.2 微米至 50 微米的范围内, 而较理想地在 2 微米至 10 微米的范围内, 各部分的深度可在 0.1 微米至 50 微米的范围内, 较理想地在 1 微米至 20 微米范围内, 最好是在 2 微米至 10 微米的范围内。较理想的是在至少一个部分的非线性光学系数与至少一个邻接的部分的非线性光学系数之间至少大约有 1% 的差;。

较理想的基板材料为具有化学式 $KTiOMO_4$ 的单晶体材料, 其中 M 为 P 或 As 。化学式为 $KTiOMO_4$ 的单晶体材料(被认为是实施本发明的一种有用的基板材料)可以通过提供具有光学性质的晶体的任何一种方法制备。晶体生长的常用方法包括水热方法与助熔剂方法。美国专利 4,305,778 号公开了一种用于生长 $KTiOMO_4$ 单晶体的水热方法, 包括作为一种矿化溶液使用一种由选定的 $K_2O / M_2O_3 / (TiO_2)_2$ 系统的三元图的指定部分所定义的玻璃水溶液。美国专利第 4,231,838 公开了用于生长 $KTiOMO_4$ 单晶体的适用的助熔剂生长方法包括加热选择的初始成分, 选择为在一个三相图的区域内所期望的晶体产品是唯一的稳定固态, 然后有控制地冷却以结晶化所期望

的产品。当应用 KTiOMoO_4 单晶体根据本发明的教导来制备光学制品时,人们可以使用水热生长或助熔剂生长的晶体。然而,一般认为在水热生长晶体中离子交换较为困难;从而,具有较高水平二价阳离子(例如, Ba^{++}) 的熔盐通常更适合用于使用水热生长的 KTiOMoO_4 晶体的离子交换。

一般,周期匹配具有两种型式:型式 I,当两个人射光波具有相同的偏振;以及型式 II,当两个人射光波具有正交的偏振。对于大块结晶 KTiOPO_4 ,与型式 II 相比,型式 I 周期匹配给出低转换效率。此外,尽管对于大块结晶 KTiOPO_4 通过型式 II 具有较好的转换效率,但周期匹配只能在输入波长大于大约 1 微米时才能实现。

利用根据本发明制成的一种光学制品,当输入与输出波是沿晶体的极性或 C 轴偏振时以及当非线性光学系数是大约两倍于传统使用型式 II 方法的系数时,容许型式 I 的周期匹配。由于二次谐波转换效率是与非线性光学系数的平方成正比的,应用本发明将为光学制品提供四倍于传统的型式 II 方法的效率。然而,在某些型式 I 的实施例中,输入偏振是垂直于极性或 C 轴的而输出偏振则是沿该极性或 C 轴的。此外,对于本发明的光学制品所提供的准周期匹配,在 KTiOPO_4 (350nm 至 $4.5\mu\text{m}$) 以及在 KTiOAsO_4 (350nm 至 $5.5\mu\text{m}$) 中整个透光度范围上均可实现型式 I 与型式 II 的周期匹配。

对于波导,所设置的部分数可能取决于诸如所用的光学材料及波导长度等因素。在一个典型的 5 毫米长的波导中可设置大约在 400 个至 1000 个范围内的部件。较长的波导可有多达 10000 个部分或更多。然而,只有两个部分的光学转换段所组成的制品也可以认为是在本发明的范围内。

本发明可用于波导结构,以及混合的导向的与非导向的波系统。在混合系统中,在波传播方向上的各非导向长度必须小于该材料中的波的散焦长度以最小化导向部分之间的发射损失。

本发明可用于改进一种光学波导装置,该装置包括至少一个通道波导,将一个进入光波耦合进所述通道波导的装置以及将一个光学射出光波引导出所述通道波导的装置。该装置是通过在其中使用根据本发明的一个制品作为波导来进行改进的。

本发明的使用是通过参照示出图 1 中的装置(10)来展示的,其中,由激光器(12)以一种波长发射的光波可用于生成另一波长的波。透镜(13)用于将激光器(12)所发射的光波聚焦在一个根据本发明制成的波导(14)中。波长转换在波导(14)中发生,而一个第二透镜(17)被设置来校准来自波导的光波。在示出的该装置中设置了一个滤光板(18)以滤掉具有发射的入射波的波长的剩余光波,而允许在波导(14)中所生成的具有期望的波长的光波通过。从而,例如,如果激光器(12)是用于生成波长为 $0.8\mu\text{m}$ 的偏振光的一种 $\text{Ti}:\text{Al}_2\text{O}_3$ 激光器,而波导(14)是根据本发明制成的用于使用这种入射光的二次谐波生成的,则滤光板(18)将适于允许波长为 $0.4\mu\text{m}$ 的光波通过,而从波导中发出的校准后的光束中波长为 $0.8\mu\text{m}$ 的光波则被滤掉。结合图 1 的装置(即,激光器(12),波导(14),滤光板(18),以及透镜(13)与(17))的设备是被视为在本发明范围内的一种制品。当然,诸如波导(14)这样的波导本身是被视为在本发明范围内的制品。

本发明的一种波导的一个实施例由图 2 中(20)所表示的用于二次谐波生成的波导展示。所示的波导包括一块(22)

单晶体 K TiO M O_4 (M 为 P 或 As), 该块具有部分(24), (25), (26), (27) 与 (28), 全部都具有化学式为 $\text{K}_{1-x} \text{Rb}_x \text{TiO M O}_4$ 的另一种晶体材料, 其中 x 是从 0 至 1 的值, 其中所述化学式的阳离子已部分地被 Rb^+ , Tl^+ 与 Cs^+ 中至少一种以及 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种所取代。部分(24), (25), (26), (27) 与 (28) 对准排列在制品的顶(30)与制品的底(32)之间, 使得所述部分连同块(22)与它们对准的部分构成一个波导。该波导是这样设计的, 使得在工作中, 光波的人射束在制品(20)的顶(30)上的部分(24)的上表面(34)处进入波导。入射束是对准的, 所以光波通过部分(24), (25), (26), (27) 与 (28) 中每一个以及块(22)中所述部分对准的部分所表示的部分, 然后从块(22)的底(32)出射。

从而, 如图 3 进一步展示的, 图 2 所实施的波导是这样设计的, 使得通过其中的光束通过若干个由块(24), (25), (26), (27) 与 (28) 表示的由一种材料构成的部分, 以及相等数目的由(23)表示的由另一种材料构成的部分, 这是块(22)中与它们对准的部分。

一种制备具有示出在图 2 与 3 中根据本发明的型式的通道波导的方法是修正具有化学式 $\text{K}_{1-x} \text{Rb}_x \text{TiO M O}_4$ 的单晶体基板, 其中 x 是从 0 至 1 的值而 M 为 P 或 As 。使用这些基板来制造通道波导是本技术领域所熟知的, 并且可参照美国专利第 4, 766, 954 号, 在这里借此将其整个结合进来。在制造波导中使用的一种典型的基板是一种 K TiO P O_4 的晶体(即, “KTP”)。

如美国专利第 4, 766, 954 中所说明的, 使用基板掩蔽允许一个光学平滑表面的阳离子被选自 Rb^+ 与 Cs^+ 与 Tl^+ 中至少一种的离子所取代, 并且产生相对于初始基板的折射

率的表面折射率的改变。根据本发明,阳离子也部分地被选自 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种的离子所取代,并且沿用于形成所期望的通道晶体基板表面部分的区域可以是在阳离子取代过程中交替地掩蔽与非掩蔽的,使得造成的通道是由一系列对准的部分组成的,它们在原基板与已经被 Rb^+ , Tl^+ , Cs^+ 中至少一种及 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种所取代的基板材料之间交替着(条件是当 X 大于 0.8 时,阳离子已被 Tl^+ 与 Cs^+ 中至少一种及 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 中至少一种所取代)。最好是基板的阳离子是被 Ba^{++} 及 Tl^+ 与 Rb^+ 中至少一种所取代以保证在邻接部分中的非线性光学系数的改变。标准光刻技术可用于提供所期望的掩蔽。例如,一种保护性材料(例如, Ti) 可以通过在其中生成的一种花纹施放在晶体基板的 Z 表面上,适当暴露于一种熔盐后,通过阳离子交换形成一种第二光学材料的部。阳离子取代后,剩余的保护性材料便可以清除了。

在本发明的情况中,选择的基板为 KTiMO_4 , 其中 M 为 P 或 As , 且最好是 P , 并且基板是在 Z 表面上掩蔽的,它可以用传统的 X 射线结晶技术来确定。较为理想的是有足够的阳离子取代来改变相对于基板的非线性光学系数至少 1% 的非线性光学系数。

用于制备用于根据本发明的波长转换系统的一个通道光导的一种方法包括下述步骤: (1) 向具有化学式 $\text{K}_{1-x}\text{Rb}_x\text{TiMO}_4$ (其中 X 为 0 至 1 的值而 M 为 P 或 As) 的单晶体材料的一个 Z 截割基板的 Z 表面提供一个光学平滑的表面; (2) 提供一种熔盐,它含有选自由 Rb^+ , Cs^+ 与 Tl^+ 所组成的族中的阳离子以及选自由 Ba^{++} , Sr^{++} 与 Ca^{++} 所组成的族中的阳离子(条件是当 X 大于 0.8 时,该熔盐含有选自 Tl^+ 与 Cs^+ 的阳离子),其量应能在一个选定的

温度上暴露在所述光学光滑表面经过一个选定的时间后有效地提供足够的阳离子交换以改变相对于所述基板的折射率的折射率,并且提供一个相对于基板的非线性光学系数改变的非线性光学系数;(3)在所述基板上施加一种掩蔽材料以提供沿所述光学光滑表面的一部分的对准区域的一种花纹,它们是交替地以一种抗所述熔盐的材料掩蔽与非掩蔽的;(4)在所述选择的温度上将所述掩蔽后的基板浸入所述熔盐中经过所述选择的时间,借此在所述非掩蔽区中提供阳离子取代;(5)从所述基板上清除该掩蔽材料;以及(6)抛光所述基板以提供具有抛光的波导输入与输出面的光洁波导。在这一方法中,所述掩蔽与非掩蔽区的长度是这样选择的,使得在非掩蔽区的所述阳离子取代以后,在光学光滑表面的所述部分上提供了一个通道波导,它包括至少一个由一系列在一个晶体中的非线性光学材料的对准的部分所组成的光学转换段;并且使得该系列部分的各部件的长度与该部分的 ΔK 的乘积之和大约等于 $2\pi N$,其中 N 是一个非零整数;其中各部分的 ΔK 是该部分中的波长转换系统的人射波的传播常数的和与该部分中所述波长转换系统的生成波的传播常数之和的差。二价阳离子与单价阳离子可以交替地在不同的步骤中进行交换。

KTP 基板可按照步骤(1)提供:将基板截割成Z板并抛光一块1毫米厚的Z截割基板。较为理想的是在步骤(2)中提供的熔盐含有 Ba^{++} 连同 Tl^{+} , Rb^{+} 或者 Tl^{+} 与 Rb^{+} 两者兼有。Ti的掩蔽可根据步骤(3)按标准光刻技术以顺序地在基板上施加Ti来提供;在Ti上施加一种感光性树脂材料并固化该感光性树脂;提供具有所期望的花纹的光掩模,并通过光掩模接触暴光感光性树脂;将感光性树脂的暴光部分清除;以及蚀刻掉清除了感光性树脂下面的Ti;并清除未

暴光的感光性树脂,因而形成花纹的 Ti 掩模保留在基板上。一般,在基板浸入熔盐以前要进行最后抛光;并在清除该盐以后进行清洗。Ti 掩模清除以后,便可将光导适当地安装使得一个激光束可以被引导进入。较理想地,阳离子交换提供表面折射率的变化,使得在至少一个部分(例如,阳离子交换后的部分)上的表面折射率与至少一个邻接部分(例如,基板)上的表面折射率之差至少为大约 0.00025。

应当认识到,在已经按照用于制备光导的本方法交换了阳离子的各部分的 ΔK 可以通过改变该部分的宽度与 / 或深度来进行某些改变,并可以作为取代离子类型与浓度的函数而进行某些改变。相应地,人们可能希望制备具有不同宽度等的若干波导以确定使用特定材料的一种特定波长转换系统的优化设计。

为了进一步展示由本发明提供的处理范围以及波导深度与折射率不匹配 Δn 之间的关系人们可以使用 M. J. Adams 的“光波导引论”(John Wiley & Sons, NY 1981)中所提出的方法以 Y 传播作为具有不同波导宽度的一个波导的波导深度的函数来计算 $KTiOPO_4$ (KTP) 中型式 I 二次谐波生成的折射率不匹配,即, Δn (即, $\Delta n = n_z(\omega) - n_z(2\omega)$, 其中 $n_z(\omega)$ 与 $n_z(2\omega)$ 分别为入射与生成波的有效折射率,这两种光波分别具有 Z 偏振频率 ω 与 2ω)。使用这一方法,对 $\lambda = 0.420$ 与 $0.840\mu m$ 的最低序空间模的有效模率进行了计算。在计算中,假定了在深度方向上的一种指数率分布。用于 KTP 的折射率在 $\lambda = 0.840\mu m$ 时为 $n_z = 1.8410$ 而在 $\lambda = 0.420\mu m$ 时为 $n_z = 1.946$, 如 J. D. Bierlein 与 M. Vanherzeele, 在 J. Opt. Soc. Am., (美国光学学会学报) B, 6,622-633(1989)所公开的。对于平面型 Rb- 交换的波

导已测出其表面折射率在 $\lambda = 0.840\mu\text{m}$ 时为 $n_z = 1.8610$, 而在 $\lambda = 0.420\mu\text{m}$ 时 $n_z = 1.966$ 。计算结果示出在图 5 中。在零波导深度处, Δn 等于大块 KTP 基板值。对应的粘着长度为 $4\mu\text{m}$ 。对于 Rb 交换波导, 在无穷深度, Δn 将对应于大块 RbTiOPO_4 (RTP) 的值。最小值出现在 1 至 $3\mu\text{m}$ 的深度范围内。

图 5 示出了使用根据本发明的教导分段的波导相对于均匀的波导在达到二次谐波生成周期匹配中的实际优点。由于最小值出现在 Δn 的深度函数曲线上, 在这一最小值附近, 处理条件改变时 Δn 的改变可望非常小, 这种处理条件为诸如能够改变波导深度的交换时间或温度。选择这一最小值, 周期匹配可以通过调整光学转换段的各部分的长度使得 $h_i \Delta n_i + h_i \Delta K_2$ 大约等于 $2\pi N$ 来达到。反之, 对于其它的波导深度, 小的影响波导深度的处理变化将给出 Δn 的较大改变, 从而, 处理范围会变狭。

利用有选择的单晶体基板的 Z 表面, 特别是 KTiOPO_4 , 以及使用 Ba^{++} 与 Tl^+ , Rb^+ 或者 Tl^+ 与 Rb^+ 两者兼用的阳离子交换, 对于在本发明的实施中增进邻接部分的非线性光学系数的改变的实现是较为理想的。在掩蔽与在其上进行阳离子交换以前, 单晶体基板的 Z 表面可以用传统的 X 射线结晶技术来测定, 如上所述。其中非线性光学系数的改变是基于反向偏振的, 反相偏振的实行可以通过蚀刻光学制品来进行, 或者更具体地, 蚀刻光学制品的一个或多个光学转换段, 或者使用表面 SHG (二次谐波生成) 技术。例如, 液体静电调色剂可用于优先对光学转换段的阳离子交换后的部分或未交换部分之一进行调色。

根据本发明的波导形式的光学制品的另一个实施例示出在图 4 中。一个 KTiOPO_4 的单晶体基板(22)具有多

个对准的化学式为 $K_{1-x}Rb_xTiOPO_4$ (其中 x 小于 1 大于 0) 的部分(29), (31), (33), (35) 与 (37), 与多个化学式为 $K_{1-x}Rb_xTiOPO_4$ (其中 x 小于 1 大于或等于 0, 且其中阳离子已部分地为 Ti^{4+} 所取代与部分地为 Ba^{2+} 所取代) 的对准的部分(30), (32), (34), (36) 与 (38) 互相交替地排列。在这一实施例中, 以所示方式在 $KTiOPO_4$ 基板中阳离子的取代保证了通过该波导的光路上的波的基本完整的导向。

从下述非限制性例子中本发明的实施将进一步得到了解。

例子

为了测定在下述例子中所制备的波导的偏振反向, 各波导是使用一种市场供应的油脂(阿匹松 N 脂) 固定在一个培养皿的底上。然后将该培养皿浸入一干冰丙酮浴中大约四秒钟, 并将少数几滴高清晰度静电调色剂施加在该波导上。所用的调色剂为悬浮在异链烷烃(isopar) 中的带电微米大小的粒子。一种适用的带正电荷的市售调色剂为 James River Graphics T8718。一种适用的带负电荷的市售调色剂为 Savin 黑色调色剂, 它是通常用于 Savin 7300 复印机中的。在两种情况中, 根据固体与异链烷烃(isopar) 的总重量, 调色剂的固体量调整为大约 0.1% 至 1% 的重量。

例 1

首先将一种 $KTiOPO_4$ 的水热生长的晶体截割成大约 1 毫米厚的 Z 板。然后抛光 Z 表面并以热蒸发涂复大约 1000 埃的 Ti。然后通过包含所期望的波导花纹的光掩模接触暴光一种感光性树脂。暴光后的感光性树脂被清除, 在清除了的感光性树脂下而露出的 Ti 涂层用一种含有乙二胺四乙酸(EDTA), H_2O_2 与 NH_4OH 的溶液进行化学蚀

刻使 KTiOPO_4 基板有选择地显露。然后将剩余的感光性树脂清除掉,并将 Ti 掩蔽的基板最后抛光。

为了允许制备 Rb/Ti/Ba 交换的波导部分与大块 KTiOPO_4 部分交替的目的,在 Ti 掩膜中生成一系列波导花纹,掩蔽后的基板提供 36 种不同的波导花纹具有大约 400 至 1000 部分的数量级。这些花纹由从 $4\mu\text{m}$ 到 $9\mu\text{m}$ 以 $1\mu\text{m}$ 步长变化的宽度的开放区组成,并且在光束传播方向上,又从 3 至 $6\mu\text{m}$ 范围内以 $1\mu\text{m}$ 步长。该波导是面向 KTiOPO_4 中的 X 传播的。

该掩蔽的基板是经过抛以给出大约 5mm 的总波导长度并在一种含有 1 克分子 % BaNO_3 , 95 克分子 % RbNO_3 , 与 4 克分子 % TiNO_3 的熔盐浴中,在 360°C 温度上进行离子交换一小时。交换时间过去以后,基板冷却至室温并去除 Ti 掩膜。

使用通过显微镜的物镜的染料激光器的纵向耦合对二次谐波生成转换效率进行测定。将这一激光器的波长从大约 850nm 变到 970nm 并观察二次谐波输出。对于波导周期为 $4\mu\text{m}$, 与波导宽度为 $5\mu\text{m}$ 的型式 I 匹配的二次谐波生成(即,在具有相同偏振的两个入射波的周期匹配)的 $0.407\mu\text{m}$ 输出进行了观察,而对于波导周期为 $5\mu\text{m}$ 则周期匹配的输出为 $0.43\mu\text{m}$ 。在两种情况中,观察到大约 0.02% /W - CM^2 的二次谐波转换效率。

例 2

除了 KTiOPO_4 晶体是熔融生长的与使用 Ti : Al_2O_3 激光器来测定二次谐波生成转换效率以外,其它过程都与例 1 相同。

对于波导周期为 $4\mu\text{m}$ 与波导宽度为 μm , 型式 I 周期匹配二次谐波生成的 $0.43\mu\text{m}$ 的输出进行了观察(即,两个

入射波具有相同的偏振的周期匹配) 具有二次谐波转换效率大约为 $50\% / W - \text{CM}^2$ 。对于波导周期为 $5\mu\text{m}$, 周期匹配的输出是在 $0.45\mu\text{m}$, 以及对 $6\mu\text{m}$ 的波导, 周期匹配的输出为 $0.48\mu\text{m}$, 两者都具有大约 $50\% / W - \text{CM}^2$ 的二次谐波转换效率。

例 3

除了交换时间为 45 分钟以外, 使用基本上与例 2 中的过程相同的过程将一种熔融生长的 KTiOPO_4 晶体截割, 抛光, 掩模, 处理与平价。对波导宽度为 $5\mu\text{m}$ 与波导周期为 $4\mu\text{m}$ 的型式 I 周期匹配的 $0.85\mu\text{m}$ 输入的二次谐波生成进行了观察, 其二次谐波转换效率为大约 $50\% / W - \text{CM}^2$ 。

例 4

除了本例是在一种由克分子 $\% \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, 99 克分子 $\% \text{RbNO}_3$ 组成的熔盐浴中在 360°C 进行离子交换 30 分钟以外, 其余均按照例 2 将一种熔融生长的晶体进行截割, 抛光, 掩模, 处理与平价。处理以后, 基板被冷却到室温并清除 Ti 掩模。使用 $\text{Ti} : \text{Al}_2\text{O}_3$ 激光器, 对波导周期为 $3\mu\text{m}$ 与波导宽度为 μm 的型式 I 周期匹配进行了观察。转换是从 $\lambda = 0.79\mu\text{m}$ 到 $\lambda = 0.395\mu\text{m}$, 其二次谐波转换效率大约为 $40\% / W - \text{CM}^2$ 。对于波导周期为 $4\mu\text{m}$ 与波导宽度为 $5\mu\text{m}$, 二次谐波转换是从 $\lambda = 0.85$ 到 $\lambda = 0.425$, 其效率大约为 $20\% / W - \text{CM}^2$ 。

例 5

除了使用的是由 5 克分子 $\% \text{BaNO}_3$ 与 95 克分子 $\% \text{RbNO}_3$ 组成的熔盐浴以外, 其余过程与例 1 相同; 这些波导是面向 KTiOPO_4 中的 Y 传播的; 并且使用了波长 850nm 的二极管激光器来测定二次谐波转换效率。

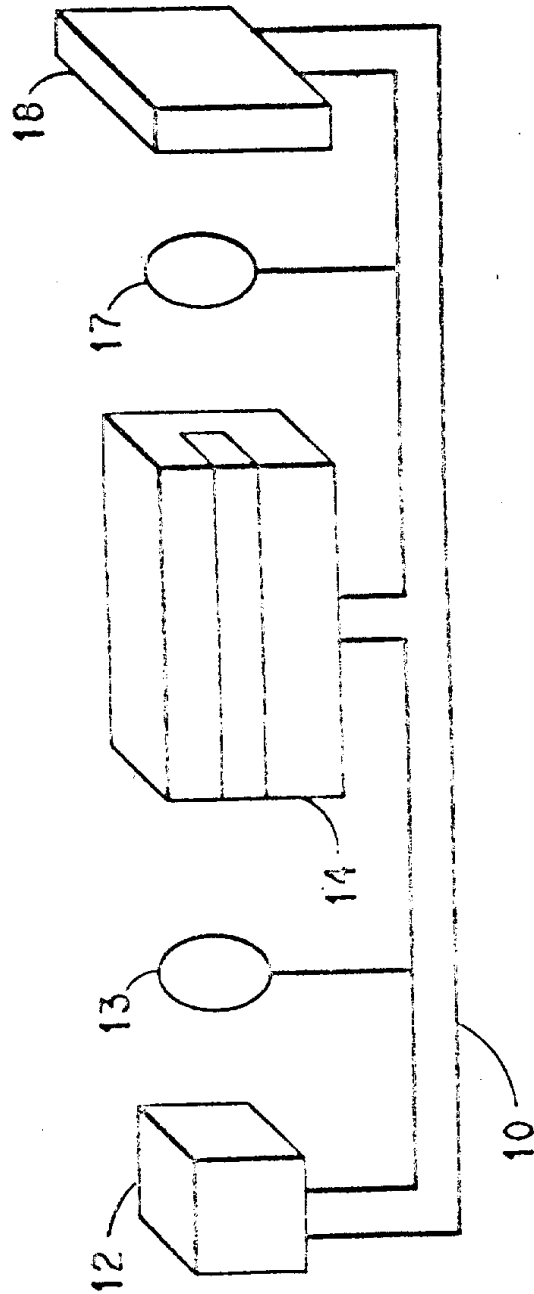
对波导宽度为 $6\mu\text{m}$ 与波导周期为 $4\mu\text{m}$ 的型式 I 周期匹配的二次谐波生成的 $0.425\mu\text{m}$ 输出进行了观察, 其二次谐波转换效率约为 $3\% / \text{W} - \text{CM}^2$ 。

图 6 示出了要进行转换的光的波长与掺入 Rb, Ti 的 KTP 波导的周期之间的相互关系。受测试的波导被提供具有变化着的周期与宽度的通道。最上面一行表示用晶格 / 段的百万分之一 (μ) 表示的周期。左侧的列示出以毫微米表示的波长, 上面的数字为输入光的而下面的数字为输出光的。第二行表示所测试的通道的宽度。在图中实线表示强二次谐波生成而虚线则表示弱二次谐波生成。可以看出, 4μ 周期通道有效地从 850nm 输入光生成 425nm 光。 5μ 周期通道则有效地从 924nm 输入光生成 462nm 光, 而 6μ 周期通道则从 950nm 输入光生成 475nm 输出光。

结果表明, 高效二次谐波生成出现在周期性地调制以获得周期匹配的 Rb, Ti KTP 波导中。波导的效率可以通过多种技术进一步提高, 这些技术包括标准步骤(index step), 几何外形, 构成波导结构的单位单元的朝向的优化。在这一考虑中的其它因素包括在多波型配置中的波形拍频以及在单位单元中的类似法布里—布洛共振。

在这些例子中包含了本发明的特殊实施例。从对说明书的思考或这里所公开的本发明的实践中, 其它实施例对于本领域的技术人员而言将是显而易见的。应当理解, 可以不脱离本发明的新颖概念的精神与范围而实现各种修改与变型。还进一步理解, 本发明并不局限于这里所示的特殊形式与例子, 而它包含了下述权利要求书的范围中出现的这类修正形式。

图 1



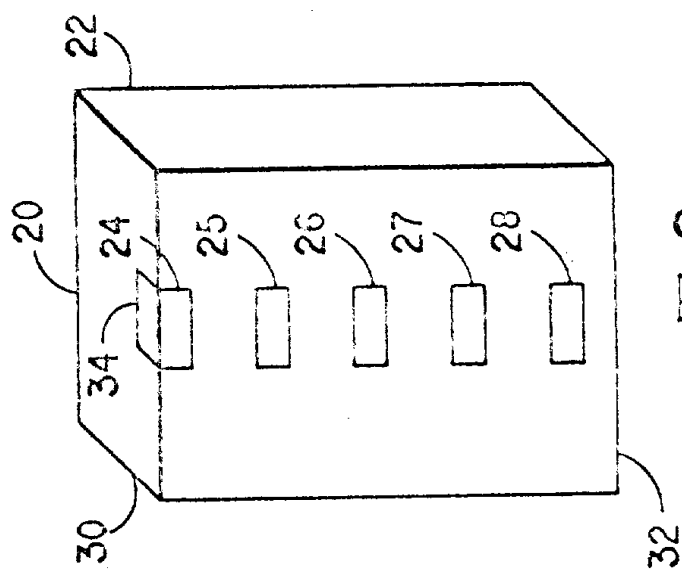


图 2

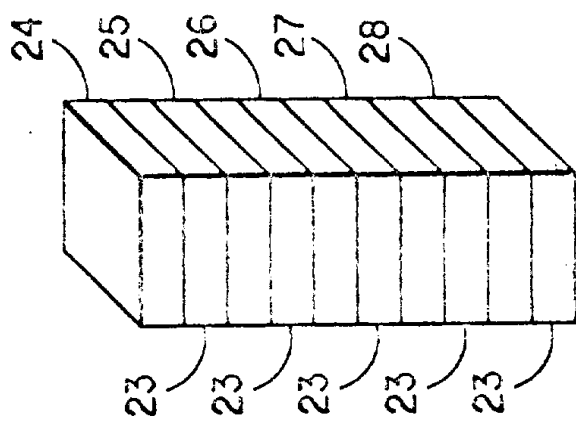


图 3

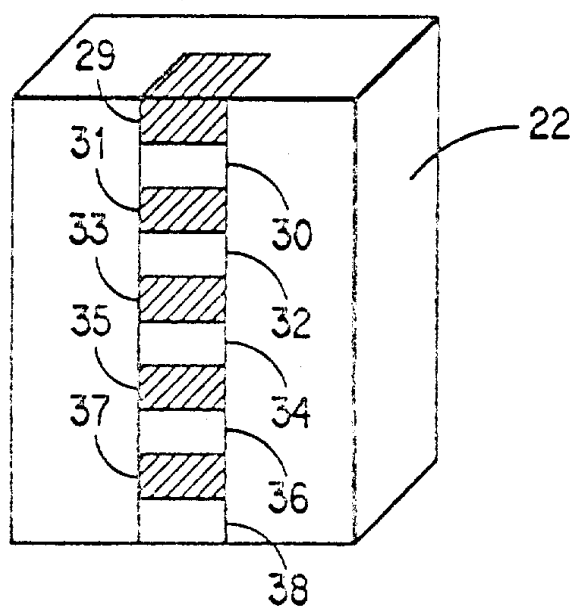


图 4

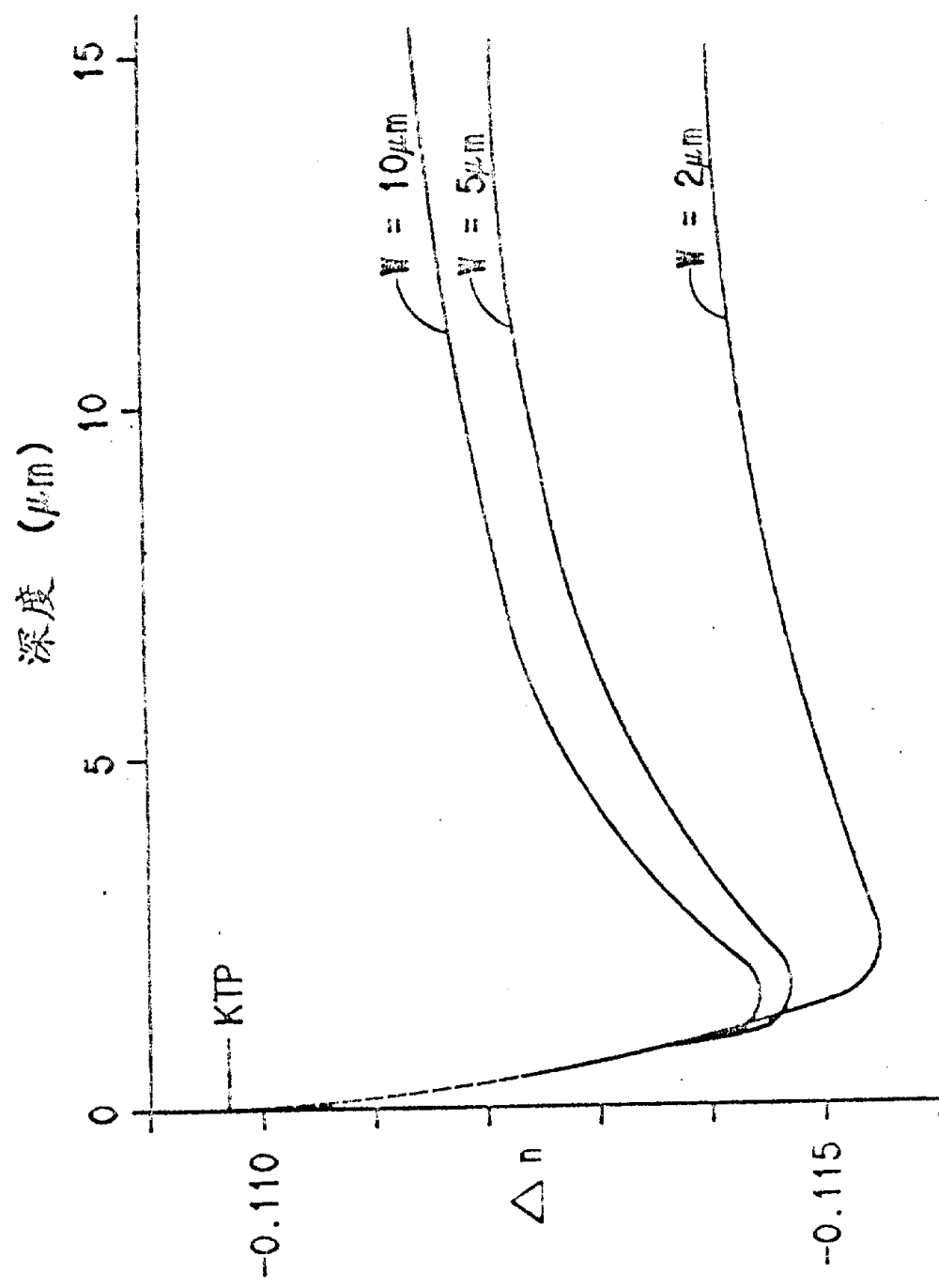


图 5

Rb, Ti:KTP 波导 具有晶格/段

period	5μ	6μ	3μ	4μ	5μ	6μ	3μ	4μ	5μ
well	2 4 6 8 10	3 5 7 9							
#	5 6 7 8	9 10 11 12	13 14 15 16 17 18 19 20	21 22 23 24	25 26 27 28 29 30 31 32	33 34 35 36 37 38	39 40 41 42 43 44	45 46 47 48 49 50	51 52 53
850									
925									
975									
1025									
1075									
1125									
1175									
1225									
1275									
1325									
1375									
1425									
1475									
1525									
1575									
1625									
1675									
1725									
1775									
1825									
1875									
1925									
1975									
2025									
2075									
2125									
2175									
2225									
2275									
2325									
2375									
2425									
2475									
2525									
2575									
2625									
2675									
2725									
2775									
2825									
2875									
2925									
2975									
3025									
3075									
3125									
3175									
3225									
3275									
3325									
3375									
3425									
3475									
3525									
3575									
3625									
3675									
3725									
3775									
3825									
3875									
3925									
3975									
4025									
4075									
4125									
4175									
4225									
4275									
4325									
4375									
4425									
4475									
4525									
4575									
4625									
4675									
4725									
4775									
4825									
4875									
4925									
4975									
5025									
5075									
5125									
5175									
5225									
5275									
5325									
5375									
5425									
5475									
5525									
5575									
5625									
5675									
5725									
5775									
5825									
5875									
5925									
5975									
6025									
6075									
6125									
6175									
6225									
6275									
6325									
6375									
6425									
6475									
6525									
6575									
6625									
6675									
6725									
6775									
6825									
6875									
6925									
6975									
7025									
7075									
7125									
7175									
7225									
7275									
7325									
7375									
7425									
7475									
7525									
7575									
7625									
7675									
7725									
7775									
7825									
7875									
7925									
7975									
8025									
8075									
8125									
8175									
8225									
8275									
8325									
8375									
8425									
8475									
8525									
8575									
8625									
8675									
8725									
8775									
8825									
8875									
8925									
8975									
9025									
9075									
9125									
9175									
9225									
9275									
9325									
9375									
9425									
9475									
9525									
9575									
9625									
9675									
9725									
9775									
9825									
9875									
9925									
9975									
10025									
10075									
10125									
10175									
10225									
10275									
10325									
10375									
10425									
10475									
10525									
10575									
10625									
10675									
10725									
10775									
10825									
10875									
10925									
10975									
11025									
11075									
11125									
11175									
11225									
11275									
11325									
11375									
11425									
11475									
11525									
11575									
11625									
11675									
11725									
11775									
11825									
11875									
11925									
11975									
12025									
12075									
12125									
12175									
12225									
12275									
12325									
12375									
12425									
12475									
12525									