



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103605248 B

(45) 授权公告日 2016.01.13

(21) 申请号 201310597494.1

(22) 申请日 2013.11.22

(73) 专利权人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 陈玉萍 李广珍 唐喻斌 张晋平

蒋淞苇 陈险峰

(74) 专利代理机构 上海交达专利事务所 31201

代理人 王毓理 王锡麟

(51) Int. Cl.

G02F 1/37(2006.01)

(56) 对比文件

US 6016214 A, 2000.01.18, 全文.

US 2005/0190805 A1, 2005.09.01, 全文.

CN 102338966 A, 2012.02.01, 全文.

陈玉萍. 一阶准相位匹配周期性极化铌酸锂倍频产生 18mW 绿光连续输出. 《光学学报》. 2002, 第 22 卷 (第 4 期), 全文.

Sheng-wey Chiow, et al.. Generation of 43

W of quasi-continuous 780 nm laser light via high-efficiency, single-pass frequency doubling in periodically poled lithium niobate crystals. 《OPTICS LETTERS》. 2012, 第 37 卷 (第 18 期), 全文.

审查员 马桂英

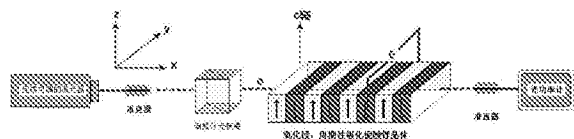
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

基于周期性极化铌酸锂的倍频的增强方法

(57) 摘要

一种光信息处理技术领域的基于周期性极化铌酸锂的倍频的增强方法, 首先对铌酸锂晶体进行室温电场极化, 在晶体的 +Z 面上负畴区域改变电畴极化方向, 在晶体的 Y 向两侧进行真空镀膜溅射电极; 然后对晶体进行寻常光照射的同时用高压源给铌酸锂晶体的 Y 向两侧加电压, 通过产生的慢光效应实现寻常光倍频的增强。本发明首创将准相位匹配的技术(QPM) 和慢光效应所引起



1. 一种基于周期性极化铌酸锂的倍频的增强方法, 首先对铌酸锂晶体进行室温电场极化, 在晶体的 +Z 面上负畴区域改变电畴极化方向, 其特征在于, 在晶体的 Y 向两侧进行真空镀膜溅射电极; 然后对晶体进行寻常光照射的同时用高压源给铌酸锂晶体的 Y 向两侧加电压, 通过产生的慢光效应实现倍频的增强。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征是, 所述的电场极化所采用的周期通过以下方式得到:

$$1) \text{ 确定同时满足准相位匹配条所需要的极化周期 } \Lambda, \text{ 即满足: } \Lambda_0 = \frac{\lambda}{2(n_z^{2\omega} - n_z^\omega)};$$

$$\Lambda_1 = \frac{\lambda}{2(n_z^{2\omega} - n_y^\omega)}; \quad \Lambda_2 = \frac{\lambda}{2(n_y^\omega - n_z^\omega)}; \text{ 其中: } \lambda \text{ 为基波光的波长, } n_z^\omega \text{ 为基波 E 光的折射率, } n_y^\omega$$

为基波 O 光的折射率, $n_z^{2\omega}$ 为倍频 E 光的折射率, Λ_0 为 I 型倍频的周期, Λ_1 为 O 型倍频的周期, Λ_2 为禁带的周期;

2) 由于 O 光宽带倍频不仅要求准相位匹配, 还要求群速度匹配, 即所求的周期在 $\Lambda - \lambda$ 关系曲线的切点处; 因此用 matlab 软件模拟 Λ_0 、 Λ_1 和 Λ_2 与 λ 的关系图, 求得三个周期的交点, 交点对应的周期则可以实现 O、E 光同时倍频和禁带; 通过改变温度, 可以获得不同的交点; 并在某一特定的温度下可以让交点落在 $\Lambda_1 - \lambda$ 曲线的切点处, 此点对应的温度和周期, 则可以同时实现 O 光的宽带倍、E 光倍频和禁带, 即为所需要的周期和温度。

3. 根据权利要求 2 所述的方法, 其特征是, 所述的室温电场极化是指: 采用室温极化技术, 根据得到的周期实现周期性反转, 得到周期性极化铌酸锂晶体。

4. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征是, 所述的真空镀膜溅射电极是指: 采用真空镀膜机采用溅射的方法在周期性极化铌酸锂晶体的 Y 向两侧镀上电极。

5. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征是, 所述的寻常光照射是指: 通过精确控制环境温度, 采用连续可调的激光器中出射基频光, 经过偏振分光棱镜产生寻常光入射到晶体表面, 在高压源给铌酸锂晶体的 Y 向两侧加电压的同时, 对出射的倍频光强度通过光功率计来测量。

6. 根据权利要求 5 所述的方法, 其特征是, 所述的激光器的基频光波长为 1518 - 1627nm, 通光方向为 x 方向。

7. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征是, 所述的倍频的增强是指: 采用输出电压不超过 10KV 的高压源在铌酸锂晶体的 Y 向加电压, 通过产生的慢光效应来增强 O 光倍频, 同时 O 光也会部分转变为 E 光, E 光的倍频效率远大于 O 光, 当忽略基频光波到倍频光波的转换

损耗, 可导出倍频增强的最大倍数为: $S^2 \frac{d_{33}^2}{d_{31}^2}$ 其中: S 为慢光增强的倍数, d_{33} 为 O 型倍频是

用的非线性系数, d_{31} 为 I 型倍频使用的非线性系数。

基于周期性极化铌酸锂的倍频的增强方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种光信息处理技术领域的方法,具体涉及一种基于周期性极化铌酸锂的倍频的增强方法。

背景技术

[0002] 自激光技术诞生以来,非线性频率转换技术和慢光技术一直是研究的热点。基于周期极化非线性晶体的准相位匹配技术(QPM)是拓宽激光可调谐波长最有效、最常用的办法之一。常用的周期极化非线性晶体有:LiNbO₃(PPLN)、LiTaO₃及KTP等。准相位匹配技术即人为的在非非线性晶体中制备周期性极化反转光栅,对晶体的非线性系数进行周期性调制,从而满足相位匹配的条件。在频率转换技术中,倍频(SHG)技术应用最为广泛。LiNbO₃晶体为负单轴晶体,有两种倍频方式,0型倍频和I型倍频。0型倍频是指参与倍频过程的基频光和倍频光都是在晶体中以非寻常光(E光,Extraordinary Light)入射或传播的;I型倍频是指参与倍频过程的基频光以寻常光(O光,Ordinary Light),倍频光以非寻常光入射或传播的。0型倍频使用的非线性系数为d₃₁,倍频效率高但是带宽窄;I型倍频使用的非线性系数为d₃₃,倍频带宽宽,但是效率低。两种倍频产生的都是非寻常光。慢光效应作为光子晶体一个很重要的特性,可以用于实现时间延迟、增加相移以及增强非线性效应等。

[0003] 经对现有技术的检索发现,2007年F.LU等人在《Electronics Letters》(43,2007)上“Broadcast wavelength conversion based on cascaded? (2)nonlinearity in MgO-doped periodically poled LiNbO₃”(《基于周期性极化铌酸锂晶体的二阶非线性系数多波长转换器》)一文,其中采用了非线性的倍频过程。虽然采用了准相位匹配技术(QPM),但是同时,由于倍频非线性系数不大,需要很高的泵浦光功率才可以得到可观的转换效率。

[0004] 2010年Kun Liu等人在《Applied Physics Letters》(97,2010)上发表了“Active control of group velocity by use of folded dielectric axes structures”(《利用层叠介电轴结构的群速度调控》)一文,该文介绍了利用在周期性畴反转铌酸锂晶体PPLN内,通过外加横向Y向电场使得晶体的正畴和负畴的光轴形成一个周期性摇摆,从而使得经过每一个畴之后的出射光的偏振方向都发生改变。在经历合适的N个畴之后,出射光的偏振方向与入射时垂直,从而形成禁带。文章中还表明,利用这个禁带,可以形成较慢的群速度。

[0005] 对比上述准相位匹配频率转换技术及群速度控制方法参考文献,本专利提出制作一种周期性结构,外加电压构造一维电光光子晶体,同时实现上述两种基于准相位匹配的倍频方式和群速度调控形成的慢光效应,以达到增强二阶非线性效应的方法设计,解决0光倍频效率低和E光倍频带宽窄的问题。

[0006] 经过对现有技术的检索发现,中国专利文献号CN102338966A,公开日2012-02-01,公开了一种偏振无关的准相位匹配倍频器,该技术包括在光路中依次摆放的消偏器和第一周期性极化铌酸锂晶体片和第二周期性极化铌酸锂晶体片;其中,所述第一周期性极化铌酸锂晶体片和所述第二周期性极化铌酸锂晶体片光学性能相同,分别为Z向切割的铌酸锂晶体经过室温电场极化制成,所述室温电场极化为在铌酸锂晶体片的+z面

上负畴区域改变电畴极化方向；所述光路的方向为 x-y-z 坐标系中的 x 方向；所述第一周期性极化铌酸锂晶体片的 c 轴沿 z 方向，所述第二周期性极化铌酸锂晶体片的 c 轴沿 y 方向。但该技术的缺陷在于其结构复杂，必须通过两块 PPLN 晶片才能实现。并且只能达到 0 型倍频，因为 0 型倍频带宽较窄且泵浦波长固定，所以倍频光的波长不可调，难以满足现有工业需求。

发明内容

[0007] 本发明针对现有技术存在的上述不足，提出一种基于周期性极化铌酸锂的倍频的增强方法，基于两种倍频效应，加电压后 O 光会转为 E 光，E 光的倍频效率远大于 O 光，同时 O 光、E 光相互耦合可以产生慢光，可以进一步增强倍频。所以可以使 O 光的倍频效率得到大大的增强。进而通过改变周期性极化铌酸锂晶体的周期和温度，可以改变同时实现 O、E 光和禁带的波长位置，即可在宽带倍频内调节倍频增强的位置。

[0008] 本发明是通过以下技术方案实现的，本发明首先对铌酸锂晶体进行室温电场极化，在晶体的 +z 面上负畴区域改变电畴极化方向，在晶体的 Y 向两侧进行真空镀膜溅射电极；然后对晶体进行寻常光照射的同时用高压源给铌酸锂晶体的 Y 向两侧加电压，通过产生的慢光效应实现寻常光倍频的增强。

[0009] 所述的电场极化所采用的周期通过以下方式得到：

[0010] 1) 确定同时满足准相位匹配条所需要的极化周期 Λ ，即满足：
$$\Lambda_0 = \frac{\lambda}{2(n_z^{2\omega} - n_z^\omega)}$$
$$\Lambda_1 = \frac{\lambda}{2(n_x^{2\omega} - n_y^\omega)}$$
$$\Lambda_2 = \frac{\lambda}{2(n_y^\omega - n_z^\omega)}$$
其中： λ 为基波光的波长， n_z^ω 为基波 E 光的折射率， n_y^ω

为基波 O 光的折射率， $n_x^{2\omega}$ 为倍频 E 光的折射率， Λ_0 为 I 型倍频的周期， Λ_1 为 O 型倍频的周期， Λ_2 为禁带的周期。

[0011] 2) 由于 O 光宽带倍频不仅要求准相位匹配，还要求群速度匹配，即所求的周期在 $\Lambda - \lambda$ 关系曲线的切点处；因此用 matlab 软件模拟 Λ_0 、 Λ_1 和 Λ_2 与 λ 的关系图，可以求得三个周期的交点，交点对应的周期则可以实现 O、E 光同时倍频和禁带；通过改变温度，可以获得不同的交点；并在某一特定的温度下可以让交点落在 $\Lambda_1 - \lambda$ 曲线的切点处，此点对应的温度和周期，则可以同时实现 O 光的宽带倍、E 光倍频和禁带，即为本发明所需要的周期和温度。

[0012] 所述的室温电场极化是指：采用室温极化技术，根据得到的周期实现周期性反转，得到周期性极化铌酸锂晶体 (PPLN)。

[0013] 所述的真空镀膜溅射电极是指：采用真空镀膜机采用溅射的方法在周期性极化铌酸锂晶体的 Y 向两侧镀上电极。

[0014] 所述的寻常光照射是指：通过精确控制环境温度，采用连续可调的激光器中出射基频光，经过偏振分光棱镜 (PBS) 产生寻常光入射到晶体表面，在高压源给铌酸锂晶体的 Y 向两侧加电压的同时，对出射的倍频光强度通过光功率计来测量。

[0015] 所述的激光器的基频光波长为 1518-1627nm，通光方向为 x 方向。

[0016] 所述的寻常光倍频的增强是指：采用输出电压不超过 10KV 的高压源在铌酸锂晶

体的 Y 向加电压,通过产生的慢光效应来增强 O 光倍频,同时 O 光也会部分转变为 E 光,E 光的倍频效率远大于 O 光,所以会进一步提高 O 光的倍频效率,具体为:当忽略基频光波到倍

频光波的转换损耗,可导出倍频增强的最大倍数为: $S^2 \frac{d_{33}^2}{d_{31}^2}$ 其中:S 为慢光增强的倍数, d_{33}

为 O 型倍频是用的非线性系数, d_{31} 为 I 型倍频使用的非线性系数。

[0017] 技术效果

[0018] 与现有技术相比,本发明的技术效果包括:

[0019] 1、在不改变波长转换输出谱和带宽的前提下,可在宽带中的某个波长附近实现比原倍频方案更高的转换效率。

[0020] 2、同过温控炉的温度控制,以及所施加的电压的大小,可以很好地将实现慢的群速度下的倍频过程与铌酸锂晶体本身的 O 光宽带倍频和 E 光高效率倍频结合起来。

[0021] 3、改变周期性极化铌酸锂晶体的周期和温度,可以改变同时实现 O、E 光和禁带的波长位置,即可在宽带倍频内调节倍频增强的位置,即使 O 光的宽带倍频和 E 光高效率倍频得到很好的结合。

[0022] 4、可以在弱光条件下实现倍频增强。

[0023] 5、可以将慢光增强倍频推广到增强和频、差频、参量振荡等非线性过程。

[0024] 6、实现结构简单,只需要一个 PPLN 的晶片便可以实现倍频增强,可以通过调节电压的大小改变倍频增强的大小。

附图说明

[0025] 图 1 为本发明实现增强二阶非线性的一维电光光子晶体的原型器件的结构示意图;

[0026] 图 2 为所示器件的工作原理图;

[0027] 图中:基频光从波长范围可在 1518-1627nm 范围内调节的可调节激光器输出,经过准直器(Collimator)入射到偏振分光棱镜上,形成寻常光入射到 PPLN 的表面,PPLN 的 Y 向加电压,精确控制环境的温度,即可在 O 光的宽带倍频内实现 E 光倍频和禁带,达到增强 O 光倍频的效果。倍频光的输出功率用光功率计进行测量。

具体实施方式

[0028] 下面对本发明的实施例作详细说明,本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0029] 实施例 1

[0030] 下面结合图 1 和图 2 对本发明的实施例做详细说明。

[0031] 1) 选取一片大小为 $30 \times 10 \times 0.5\text{mm}$,即厚度为 0.5mm 的 5%mol 掺镁 Z 切割铌酸锂晶体。晶体的 +/-Z 均抛光,其中 +Z 面与水平面平行并面向 Z 轴正方向,-Z 面与水平面平行并面向 Z 轴负方向。

[0032] 2) 用 Matlab 软件模拟满足准相位匹配条件所需要的周期 Λ : $\Lambda_0 = \frac{\lambda}{2(n_x^{2\omega} - n_z^{\omega})}$,

$\Lambda_1 = \frac{\lambda}{2(n_x^{2\omega} - n_y^{\omega})}$, $\Lambda_2 = \frac{\lambda}{2(n_y^{\omega} - n_z^{\omega})}$, 其中 : λ 的范围为 1518-1627nm, 折射率可由 Sellmeier

方程求出。

[0033] 得到晶片的温度为 15.15℃ 时 E 光可在 0 光宽带倍频中心倍频, 同时可以在此位置实现 O、E 光耦合并产生慢光的周期为 19.5 μm , 其中 : 0 光宽带倍频的范围是 : 1.537-1.558 μm , E 光倍频和禁带中心波长为 1.549 μm 。

[0034] 3) 根据得到的周期对晶体进行室温极化, 具体如下 :

[0035] 首先根据计算得到的周期制作周期性电极掩模板 ; 通过晶体的热释电效应进行定向, 确定晶片的 +Z 面 ; 对晶片进行清洗, 保证表面无杂物 ; 用离子束溅射的方法在晶片的 +Z 向镀电极 ; 在晶体表面的金属膜上面, 刻蚀出与掩模板完全对应的几何图形, 以实现选择性扩散和金属薄膜布线的目的, 光刻有以下七个主要过程 : 涂胶、前烘、曝光、显影、腐蚀和去胶 ; 设计极化电路, 电场极化的电极配置通常采用液体电极接触的方式 ; 最后用脉冲高压电场进行极化, 在有电极的畴区域, 利用高压电场克服晶体内部的矫顽场使该畴区域的电畴的自发极化方向反转 ; 在无电极的畴区域, 电畴的极化方向仍保持原来的方向, 其中, +Z 面与水平面平行并面向 z 轴正方向。所用外电场为脉冲高压电场, 由于铌酸锂晶体的矫顽场为 21kv/mm, 所以施加在厚度为 0.5mm 的铌酸锂晶片上脉冲峰值电压要大于 10.5kv/mm, 脉冲周期的长短与次数与电极的实际表面积有关, 可通过下面公式计算得

到 : $I_{pol} = \frac{V_1 - V_c}{R_s} - \frac{V_c}{R_{vm}}$, $Q = 2P_s A_s t_{pol} = \frac{Q}{I_{pol}}$, 其中 : I_{pol} 为极化电流, Q 是晶体表面的输运电

荷, t_{pol} 是极化时间。

[0036] 4) 给极化好的晶片镀 Y 向电极, 具体如下 :

[0037] 先在极化好的晶体的 +/-Z 面和 +/-X 面涂一层厚 1 μm 的光刻胶, 把样品放入真空溅射机(使用的靶材为银)腔内中央的垫片上 ; 抽真空, 首先使用机械泵, 样品室压强降低到 5Pa ; 预溅基片(铌酸锂)在功率 200W, 时间 4 分钟 ; 关闭溅射电源, 冷却 5 分钟后, 打开真空室取出 PPLN, 即可得在 Y 向镀电极的 PPLN 晶体。

[0038] 5) 如图 2 所示室温控制为 15.15℃, PPLN 前面放偏振分光棱镜使得 0 光入射, 1520-1620nm 的可调谐激光作为基波光输入, PPLN 的 Y 向加电极, 在 PPLN 的后面用光功率计测量倍频光的功率。

[0039] 6) 施加不超过 400V/mm 的电压, 在基波光波长 1549nm 附近倍频光的功率都会比未加电压时大, 电压为 80V/mm 时, 倍频光的功率最大。表明在此处, 倍频光得到了增强。

[0040] 在其他实施例中, 也可以选用其他的周期或其他非周期性极化非线性晶体, 亦可以实现此目的 ; 同时可以如图 2 中所示的较小的实施设备占用体积实现改变 PPLN 的周期和实验时的温度, 调节倍频增强在 0 光宽带倍频内的位置。

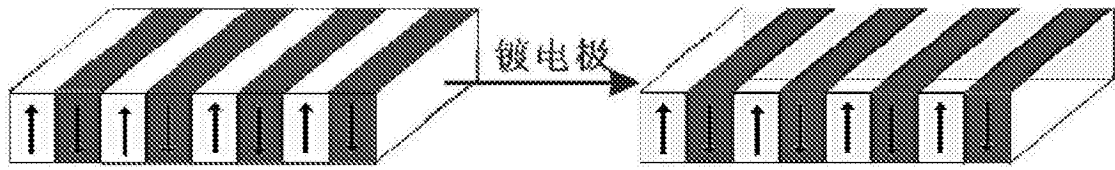


图 1

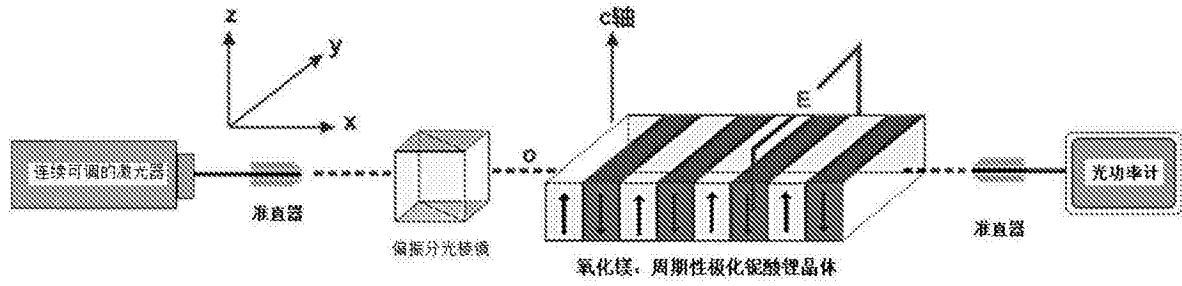


图 2