

高掺MgO:LiNbO₃晶体的性能、折射率和室温倍频研究

徐观峰 郭永金 陈家蓉 李斌

(西南技术物理研究所, 成都)

陈春尧

(中国科学技术大学材料科学和工程系, 合肥)

摘要: 本文报导用自控提拉法生长的高掺MgO:LiNbO₃晶体的性能、折射率、位相匹配角和室温下1.06μm激光辐射的倍频。

The property, refractive index and frequency doubling investigation at room-temperature of heavily MgO-doped LiNbO₃ crystal

Xu Guanfeng, Guo Yongjin, Chen Jiarong, Li Bin

(Southwest Institute of Technical Physics)

Chen Chunyao

(Department of Materials Science and Engineering, USTC)

Abstract: In this paper, the properties, refractive indices, phase-matching angle and frequency doubling at room-temperature of heavily MgO-doped LiNbO₃ have been reported.

一、引 言

LiNbO₃是一种优良的电光和非线性光学材料,它的非线性光学系数比KDP大一个数量级以上,但是同成分LiNbO₃易发生光折变,而且在室温下不能实现位相匹配。我们生长的高掺MgO:LiNbO₃晶体克服了这些问题^[1]。过去人们主要研究该晶体的非临界温度位相匹配,对1.06μm辐射倍频时需要将晶体加热到100℃左右才能实现,应用不太方便。本文报导用自控提拉法生长的高掺MgO:LiNbO₃晶体的光学透过谱和光学均匀性,并且通过测定晶体的折射率,计算出位相匹配角,实现了Nd:YAG激光器1.06μm辐射的室温倍频,从而为MgO:LiNbO₃晶体的应用增添了一条路子。

二、MgO:LiNbO₃的透过谱

过去我们对MgO:LiNbO₃晶体的光透过特性未作细致测量。本文测量了不同掺杂浓度的晶体的光学透过谱(本文晶体的MgO浓度都是用同成分LiNbO₃熔体中掺入的MgO量来代

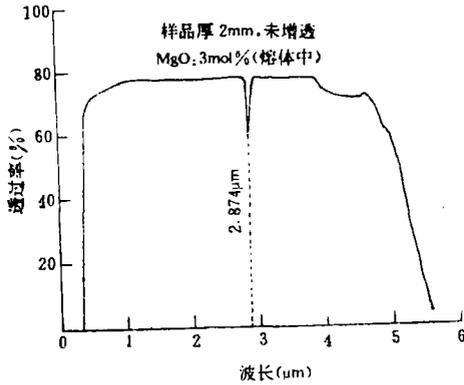
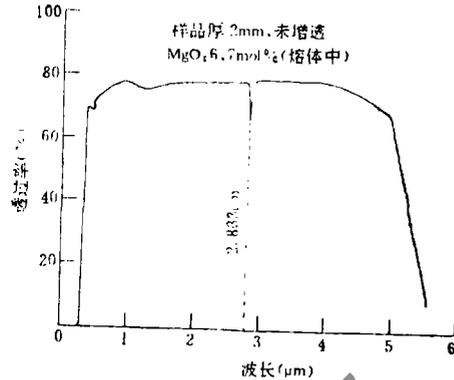
图1 3mol% MgO:LiNbO₃的透过谱图2 高掺MgO:LiNbO₃的透过谱

表), 如图1和图2所示。结果表明MgO:LiNbO₃的透过波段为0.36μm~5μm($T > 60\%$)。样品表面反射未作修正。浓度不同的MgO:LiNbO₃和同成分LiNbO₃的紫外截止和OH⁻吸收峰位置是不相同的, 如表1所列。MgO的掺入使LiNbO₃的透过波段向紫外区移动了0.04μm。在MgO浓度掺高时(>5.0mol%), OH⁻吸收峰位置从2.874μm移到2.833μm。文

表1 不同组分LiNbO₃晶体的光透过特性

晶 体	紫外截止波长 (μm)	OH ⁻ 吸收峰位置 (μm)
同成分LiNbO ₃ (48.6mol%Li ₂ O)	0.36	2.874
3mol% MgO : LiNbO ₃	0.32	2.874
6.0mol% ~ 7.0mole% MgO:LiNbO ₃	0.32	2.833

献〔2〕指出, LiNbO₃晶体中OH⁻吸收峰的位置是识别其是否抗光折变的一个特征。当OH⁻吸收峰位置在2.833μm时, 这样的MgO:LiNbO₃就具有抗光折变能力。因此, 对激光应用来说, MgO掺入浓度要大于5.0mol%。

三、MgO:LiNbO₃的光学均匀性

MgO:LiNbO₃的光学均匀性对激光应用是关键指标。我们用正交平行偏光干涉法测量自控提拉法生长的MgO:LiNbO₃的双折射率梯度。样品经光学加工, 光学面平行度6", 通光方向垂直于晶体光轴或沿角度匹配方向。图3为三个样品的正交平行偏光干涉图照片, 其中样品a和b基本无干涉条纹, 样品c有一根干涉条纹, 通光方向垂直于拉晶

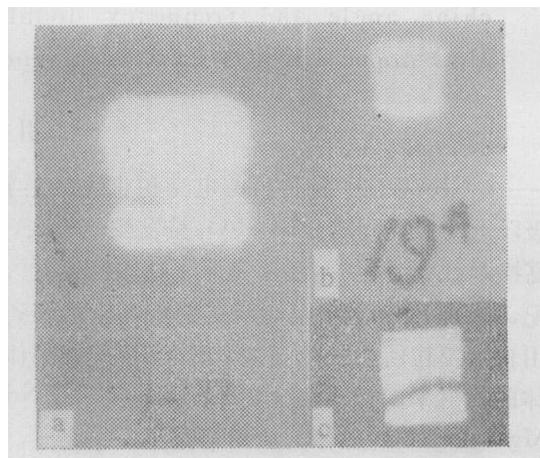


图3 自控提拉法生长的高掺7.0mol% MgO:LiNbO₃样品的正交平行偏光干涉图照片
a—8mm×8mm×35mm b—5mm×5mm×35mm
c—5mm×5mm×14mm

方向(沿晶体Y轴)。计算双折射率均匀性的公式为

$$\frac{\Delta B}{\Delta Z} = \frac{N \cdot \lambda}{d \cdot l} \tag{1}$$

式中, N 为干涉条纹数, λ 为测量光波长(6328 Å), d 为条纹所在区域的宽度, l 为样品通光长度。由图3照片和(1)式可知, 用自控提拉法生长的高掺MgO:LiNbO₃晶体样品的双折射率均匀性($\Delta B/\Delta Z$)可以达到 $10^{-5}/\text{cm}$ 数量级。但是要达到这样好的光学均匀性, 必须选择MgO的分凝系数接近或等于1的配方和合适的生长条件, 否则晶体内会出现生长层, 从而使晶体光学均匀性大大降低。

四、MgO:LiNbO₃晶体的折射率和室温位相匹配角

我们用最小偏向角方法测量了高掺7.0mol%MgO:LiNbO₃晶体在可见光和近红外区的折射率, 拟合后得到21℃时异常光和寻常光的折射率色散方程:

$$n_o^2 = 4.54686 + \frac{0.0947791}{\lambda^2 - 0.0453947} - 0.0267214\lambda^2, \tag{2}$$

$$n_e^2 = 4.87615 + \frac{0.115541}{\lambda^2 - 0.0467351} - 0.0331187\lambda^2, \tag{3}$$

式中, 波长 λ 的单位为 μm 。

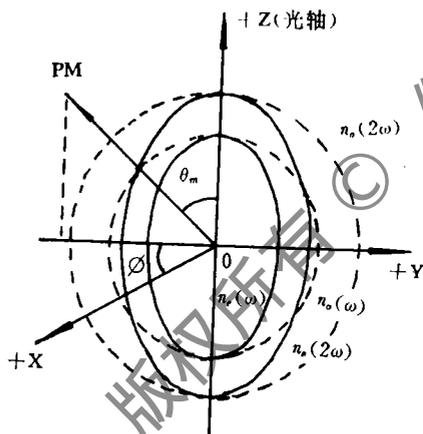


图4 MgO:LiNb₃晶体的I类位相匹配示意图 (θ_m 为位相匹配角, 方位角 $\varphi = -90^\circ$)

表2 7.0mol% MgO:LiNbO₃晶体的折射率(21℃)

波 长 (μm)	折 射 率 n_o	折 射 率 n_e
0.532	2.31425	2.22219
1.064	2.22376	2.14565

MgO:LiNbO₃是光学负单轴晶体, 折射率在YZ平面上的投影如图4所示, 图中 θ_m 为位相匹配角, φ 为方位角, I类位相匹配条件为

$$n_e(2\omega, \theta_m) = n_o(\omega), \tag{4}$$

θ_m 是晶体中MgO含量的函数。7.0mol%MgO:LiNbO₃晶体在0.532 μm 和1.064 μm 波长的折射率根据色散方程(2)和(3)可以得到, 见表2。负单轴晶体I类位相匹配角 θ_m 由下式给出^[3]:

$$\theta_m = \sin^{-1} \left\{ \frac{[n_o(\omega)]^{-2} - [n_o(2\omega)]^{-2}}{[n_e(2\omega)]^{-2} - [n_o(2\omega)]^{-2}} \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

将表2中的有关值代入(5)式, 得到21℃时1.064 μm 倍频到0.532 μm 时的位相匹配角 $\theta_m = 82.3^\circ$ 。因此可得出21℃时7.0mol%MgO:LiNbO₃对不同波长的位相匹配角曲线如图5所示。倍频时二次谐波强度主要取决于 θ_m , 但与方位角 φ (相对于X轴)也有关系, LiNbO₃的有效非线性光学系数表示式为^[4]:

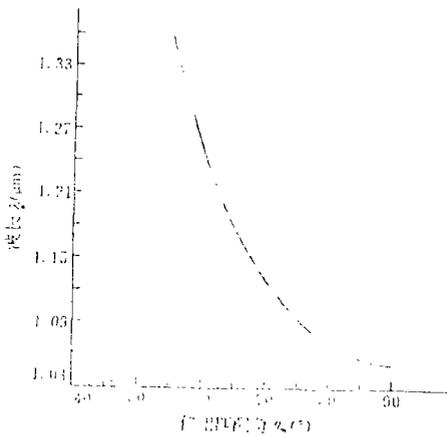


图5 7.0mol% MgO:LiNbO₃ 室温下 (21℃) SHG位相匹配角曲线

$$d_{eff} = d_{31} \sin\theta_m - d_{22} \cos\theta_m \sin 3\varphi, \quad (6)$$

由于 $d_{31} < 0$, $d_{22} > 0$, 所以(6)式中 φ 取 30° 或 -90° 时可使有效非线性光学系数 d_{eff} 的平方取最大值, 从而使倍频转换效率最高。因此, 7.0 mol% MgO:LiNbO₃ 晶体用于Nd:YAG 1.064μm激光辐射倍频时, 位相匹配参数可取 $\theta_m = 82.3^\circ$, $\varphi = -90^\circ$ (或 30°)。

五、MgO:LiNbO₃的室温倍频

我们生长的高掺 MgO:LiNbO₃ 晶体已广泛用于Nd:YAG激光器的倍频, 下面是几个例子。

1. 腔外单通偏振光倍频

MgO:LiNbO₃ 倍频元件通光长度 14mm, 光学端面对基波和二次谐波增透, 室温下对染料片调Q的Nd:YAG激光器1.064μm辐射进行腔外单通偏振光倍频(基波由格兰棱镜起偏), 当基波能量为61.36mJ时, 获得0.532μm二次谐波能量为18.66mJ, 倍频转换效率达30%, 重复性好, 没有光折变出现。

2. 室温锁模倍频

一块通光长度12mm的 MgO:LiNbO₃ 室温倍频元件, $\theta_m = 82.3^\circ$, 基波光源为 Q开关Nd:YAG激光器, 光束 $\phi 3\text{mm}$, 未聚焦, 当基波峰值功率密度为 39MW/cm^2 , 脉宽20ns, 重复频率10Hz时, 1.064μm到0.532μm的倍频转换效率为37%。当用脉冲锁模 Nd:YAG 激光器1.064μm辐射 (30ps, 5Hz) 作基波光源时, 在基波功率密度为 140MW/cm^2 时, 获得了1.064μm到0.532μm 45%的转换效率。

3. 45°-MgO:LiNbO₃ 室温倍频

可以将MgO:LiNbO₃晶体加工成45°棱形元件对Nd:YAG激光器1.064μm辐射进行腔外室温倍频, 装置如图6所示。当基波入射到倍频晶体MgO:LiNbO₃上的能量 $E_1(\omega)$ 为15mJ时, 测得0.532μm二次谐波输出能量 $E_2(2\omega)$ 为4.5mJ, 倍频能量转换效率为30%。这种45°棱形MgO:LiNbO₃ 室温倍频方式的优点是二次谐波与基波经倍频晶体45°面内反射后自动分开4°左右, 便于测量, 成为双色激光器。

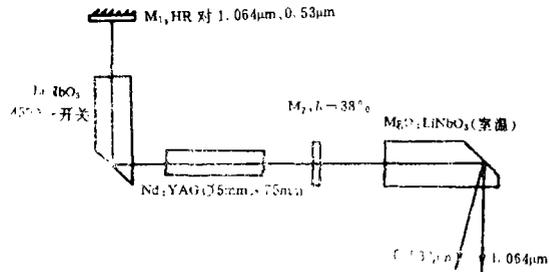


图6 45°-MgO:LiNbO₃室温倍频示意图

六、室温倍频时的角度调整

图7是5mm×5mm×12mm 室温倍频 MgO:LiNbO₃ 的倍频转换效率对位相匹配角的扫描线, 曲线十分对称, 这说明MgO:LiNbO₃倍频晶体有很好的光学均匀性, 但是倍频转换效率 η 对位相匹配角 θ 的变化十分敏感, 因此用该晶体于室温倍频时, 必须仔细调整, 使 $\Delta\theta = 0$, 即完全处于位相匹配状态, 这样才能得到高的转换效率。实验观察到, 当 $\theta \approx \theta_m$ (θ_m 为位相匹

配角)而在其附近时SHG绿光光斑如图8a所示,当 $\theta = \theta_m$,即达到角度位相匹配时,绿光光斑为图8b所示,SHG输出绿光缩成了一个亮点,此时倍频转换效率最高。

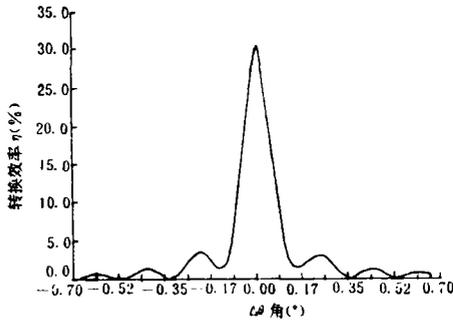


图7 MgO:LiNbO₃的SHG转换效率与角度失配 $\Delta\theta$ 的关系($\Delta\theta = \theta_m - \theta$)



图8 MgO:LiNbO₃室温角度倍频时SHG绿光光斑的变化

最后,作者十分感谢我所韩凯、USA的高志云等为本文提供了数据。

参 考 文 献

- [1] 仲跻国,徐观峰,王廷福 *et al.*物理学报, 1983; 32(6): 795~798
- [2] Bryan D A, Gerson R, Tomaschke H E. *A P L*, 1984; 44(9): 847~849
- [3] Walter Koechner. *Solid-State Engineering*. New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1976: 498
- [4] Midwinter J E, Warner J. *British J A P*, 1965; 16(8): 1135

收稿日期: 1992年3月11日。 收到修改稿日期: 1992年4月9日。

· 产品简讯 ·

辐射计/焦耳能量计

Optilas公司引进了由Terahertz Technologies公司研制的Digirad 辐射计。Digirad 辐射计被认为是高速光学能量和功率测量方面的一个重要的技术成就。现在,一台辐射计不但能监测从10pJ到1J的能量,而且还能监测从100mW到100W的功率,它的成本低于一台普通能量计的成本。

两个传感器能共用一台Digirad辐射计; S-444硅探头用于测量低脉冲能量很理想,而热电P-444探头能插入PH-30功率头,以便提供一个能作能量和连续功率两种测量的探测器。

译自Electro Opt, 1992; 22(99):UK23 邹福清 译 邹声荣 校