

Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体的折射率测量和 室温自倍频激光器

徐观峰 巩马理 郭永金 陈家蓉 李斌 翟刚 韩凯

(西南技术物理研究所, 610015)

摘要: 本文首次报道 Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体的折射率、位相匹配角及其室温自倍频激光器的测量结果。在 26°C 时, 用小型氙灯泵浦, 获得了每个脉冲 400 μJ 的纯绿光输出, 阈值小于 4.8 J, 器件工作温度范围为 25°C 到 45°C, 没有观察到光折变现象。

关键词: Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体, 折射率, 自倍频激光器

Refractive index measurement of Nd:MgO:LiNbO₃ crystal and its self-frequency-doubled laser at room temperature

*Xu Guanfeng, Gong Mali, Guo Yongjin, Chen Jiarong,
Li Bin, Zhai Gang, Han Kai*

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu)

Abstract: Refractive index measurement of the Nd:MgO:LiNbO₃ crystal and its self-frequency doubled laser at room temperature are reported for the first time. Net SHG green output at 400 μJ/shot has been obtained with a small Xe lamp pump at 26°C. The threshold pump energy is smaller than 4.8 J. The laser operates over 25~45 °C No photorefractive damage was observed.

Key words: Nd:MgO:LiNbO₃ crystal, self-frequency -doubled laser, refractive indices

1979年, Nd:LiNbO₃ 用氙灯泵浦实现了自倍频^[1], 但绿光输出低, 只有 16 μJ, 位相匹配温度为 87°C。1986年, T. Y. Fan 等人用染料激光器 598 nm 光端面泵浦 Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体棒, 在 152°C 时实现了 OW 自倍频^[2]。

本工作是用小型氙灯泵浦, 在室温下实现 Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体的自倍频。为此, 我们测量了晶体的折射率, 算出室温下的位相匹配角 θ_m , 在 26°C 时成功地实现了该晶体的自倍频, 每个脉冲输出纯绿光 400 μJ。

一、晶体生长

Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体用提拉法从熔体中生长。熔体的组成为: LiNbO₃ 为固液同成分

配比 (Li₂O 占48.6 mole%), 并添加 5~7mole % MgO 和 0.5~1.0at. % Nd。原料纯度为 99.99%。生长速度为 2mm/h 左右, 籽晶转速一般为 20 转/分。晶体经单畴化处理。本文所用的晶体中含有 1.8 Wt. % MgO 和 0.21 Wt% Nd₂O₃。

二、晶体折射率测量

我们用最小偏向角方法测量 Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体的折射率。为此, 用该晶体材料加工了一个秃顶直角棱镜, 如图 1(a) 所示, 棱镜取向如图 1(b) 所示。晶体光轴 z 的取向使得温度

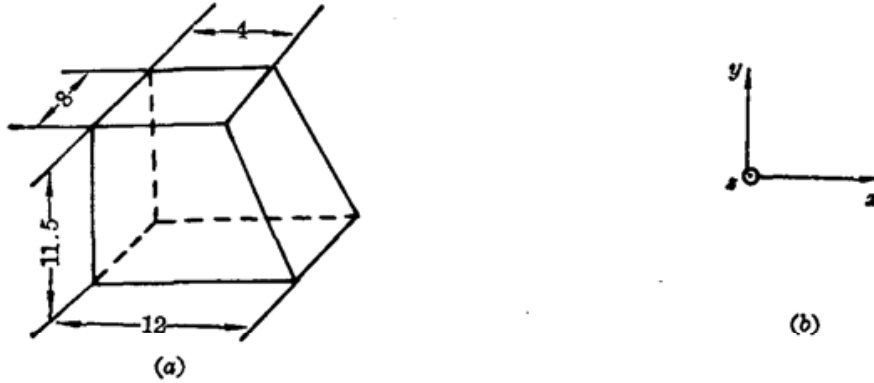


Fig. 1 Nd:MgO:LiNbO₃ prism and its crystallographic axis orientation

Table 1 Refractive indices of Nd:MgO:LiNbO₃ (21°C) crystal

| λ (nm) | n_e | n_o | $n_o - n_e$ |
|----------------|--------|--------|-------------|
| 404.7 | 2.3119 | 2.4251 | 0.1132 |
| 435.8 | 2.2802 | 2.3866 | 0.1064 |
| 486.1 | 2.2448 | 2.3442 | 0.0994 |
| 491.6 | 2.2419 | 2.3406 | 0.0987 |
| 496.2 | 2.2394 | 2.3379 | 0.0985 |
| 546.1 | 2.2173 | 2.3115 | 0.0942 |
| 577.0 | 1.2068 | 2.2992 | 0.0924 |
| 579.0 | 2.2062 | 2.2984 | 0.0922 |
| 589.3 | 2.2033 | 2.2948 | 0.0915 |
| 623.4 | 2.1942 | 2.2843 | 0.0901 |
| 690.7 | 2.1809 | 2.2684 | 0.0875 |
| 694.3 | 2.1800 | 2.2673 | 0.0873 |
| 893.3 | 2.1581 | 2.2412 | 0.0831 |
| 1014.0 | 2.1496 | 2.2313 | 0.0817 |
| 1067.0 | 2.1466 | 2.2280 | 0.0814 |
| 1083.0 | 2.1458 | 2.2270 | 0.0812 |

变化对棱镜角影响很小。棱镜的 X 面和斜面为光学通光面。测得棱镜顶角为 $19^{\circ}14'18'' \pm 2''$ 。由于 Nd:MgO:LiNbO₃ 是负单轴晶体(点群 3m), 所以待测的主折射率只有 n_o 和 n_e , 它们分别代表光垂直于晶体光轴方向振动和平行于晶体光轴方向振动的折射率。实验测得的 16 个波长的折射率如表 1 所列。Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体折射率色散的 Sellmeier 方程为

$$n_i^2 = A_i + \frac{B_i}{\lambda^2 - C_i} - D_i \lambda^2 \quad (1)$$

i 代表 o 和 e 。利用实验测得的折射率确定出方程(1)中的系数如表 2 所示。 λ 是以 μm 为单位的波长。折射率测量时的温度为 21°C , 折射率拟合精度为 10^{-4} 量级。根据系数已知的方程(1)可计算出几个常用波长的折射率, 见表 3。

Table 2 Sellmeier equation coefficients

| n | A | B | C | D |
|-------|---------|----------|-----------|-----------|
| n_o | 4.55301 | 0.093157 | 0.0468386 | 0.0265341 |
| n_e | 4.8969 | 0.113145 | 0.049548 | 0.0324978 |

Table 3 Refractive indices of Nd:MgO:LiNbO₃ crystal at common wavelengths (21°C)

| $\lambda(\text{nm})$ | n_e | n_o | $n_o - n_e$ |
|----------------------|--------|--------|-------------|
| 632.8 | 2.1922 | 2.2817 | 0.0895 |
| 532.0 | 2.2226 | 2.3178 | 0.0952 |
| 1064.0 | 2.1468 | 2.2281 | 0.0813 |
| 547.0 | 2.2168 | 2.3109 | 0.0941 |
| 1094.0 | 2.1453 | 2.2264 | 0.0811 |

三、Nd:MgO:LiNbO₃晶体的吸收光谱和荧光光谱

我们用 U-V-NIR-365 分光光度计测量了 Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体的吸收谱。在光路中加了格兰棱镜, 将吸收谱分解为 π 偏振($E \parallel c$)和 σ 偏振($E \perp c$), 结果如图 2 所示。由图 2 可见, 两种偏振的吸收谱有些区别。但是由于稀土激活离子 Nd³⁺ 的掺入, 在 530 nm、600 nm、760 nm 和 815 nm 处出现了 MgO:LiNbO₃ 和纯 LiNbO₃ 透过谱中所没有的吸收带, 其中以 600 nm 波长处最强。这就为选择泵浦方式提供了依据。

Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体红外谱区的 OH 吸收峰位置仍在 $2.83 \mu\text{m}$ 处, 与抗光折变的高掺杂 MgO:LiNbO₃ 晶体相同。该晶体的透过波段为 $3.6 \mu\text{m}$ 到 $5 \mu\text{m}$, 在自倍频波长处($0.547 \mu\text{m}$ 和 $1.094 \mu\text{m}$)无明显吸收。

我们还测了 Nd:MgO:LiNbO₃ 的不同偏振的荧光光谱, 激发光源为波长 476 nm 的 Ar⁺ 激光器, 结果如图 3 所示。该晶体的 z 轴棒只有 σ 偏振($E \perp c$)振荡, y 轴或 x 轴棒以 $1.085 \mu\text{m}$ 的 π 偏振($E \parallel c$)振荡为主, 也有 σ 振荡。Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体的自倍频是 I 类位相匹配, 所以基波必须是 σ 偏振。本工作用的 σ 振荡波长为 $1.094 \mu\text{m}$, 对应于 11254cm^{-1}

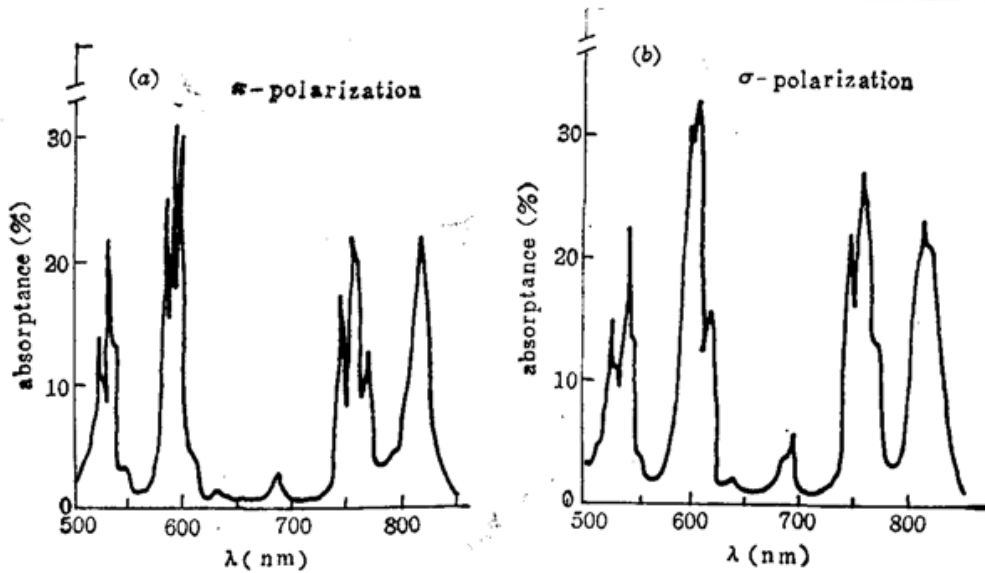


Fig. 2 Polarized absorption spectra of Nd:MgO:LiNbO₃ crystal with Nd₂O₃ doping level of 0.21wt%

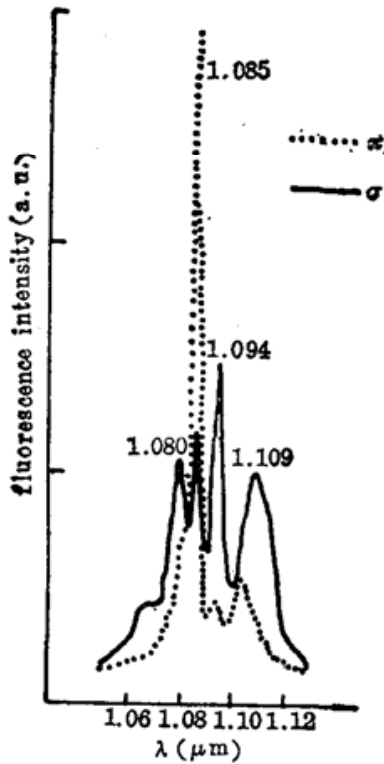


Fig. 3 Fluorescence spectra of Nd:MgO:LiNbO₃ at room temperature

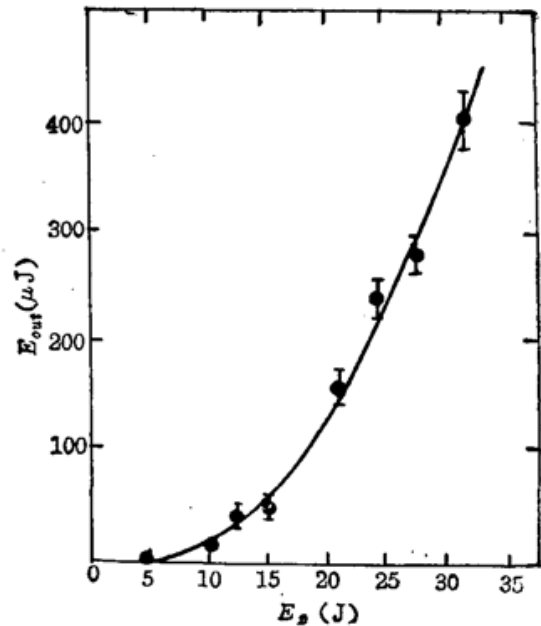


Fig. 4 Output energy of the second harmonic for the self-frequency doubled laser of Nd:MgO:LiNbO₃ crystal

${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ 2107 cm⁻¹ 跃迁^[3]。

室温下测得自倍频所用样品的荧光寿命为 110 μs, 而文献[2]在室温下测得低掺样品和高掺样品的荧光寿命分别为 120 μs 和 102 μs。

四、室温位相匹配角

由于 Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体的自倍频阈值随着位相匹配温度的升高而成倍增加^[2], 而且在较高温度下使用不方便, 对泵浦用氙灯寿命也不利, 因此我们通过角度位相匹配实现室温下

的自倍频。

Nd:MgO:LiNbO₃ 是负单轴晶体, I 类位相匹配角由下式表示^[4]:

$$\sin^2 \theta_m = \frac{[n_o(\omega)]^{-2} - [n_o(2\omega)]^{-2}}{[n_e(2\omega)]^{-2} - [n_o(2\omega)]^{-2}} \quad (2)$$

将表 3 中的有关折射率值代入(2)式, 得到在 21°C 时, 将 1.094 μm 基波自倍频到 0.547 μm 二次谐波时的位相匹配角

$$\theta_m = 70^\circ 50'$$

由于本工作是用小型氙灯作泵浦源, 我们考虑到自倍频晶体的泵浦温升效应, 除了用伺服系统对聚光腔进行冷却和恒温外, 自倍频晶体加工时所取的 θ_m 角比上面的理论计算值稍微大一点。

五、室温自倍频实验和结果

自倍频用的 Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体是沿光轴 c 生长的, 双折射率的均匀性达到 $10^{-5}/\text{cm}$ 量级, 晶体尺寸为 $3 \times 4 \times 25 \text{ mm}^3$ 。其中 25 mm 为通光长度, 4 mm 长的棱与晶体光轴相垂直。晶体光学端面对基波 1.094 μm 增透, 单面剩余反射约 0.1%, 对 0.547 μm 二次谐波透过 80%。泵浦光源采用滤紫外的小型氙灯, 其尺寸为直径 5 mm, 两电极间长度 50 mm。偏振膜片被插入腔内使基波为 σ 振荡。为了提高基波强度而有利于自倍频, 用了两个曲率半径均为 145 mm 的球面镜形成一个共焦腔, 其中输出镜对基波全反, 对二次谐波 96% 透过, 另一个腔镜对基波和二次谐波均为全反。同时, 椭圆聚光腔与超级恒温器相连, 以便控制和调节自倍频温度。在测量自倍频二次谐波输出时, 在腔外输出光路上加上滤光片, 滤去可能漏出的基波。

上述装置成功地实现了 Nd:MgO:LiNbO₃ 晶体的自倍频。自倍频阈值为 4.8 J, 这是电源直接提供的泵浦能量。在位相匹配温度为 26°C 时, 自倍频产生的纯绿光达到 400 μJ /脉冲。输入的泵浦能量与自倍频二次谐波绿光输出能量的关系如图 4 曲线所示。在泵浦过程中, 对腔可作微调, 以便取得最佳状态。通过温度扫描, 在 25~45°C 范围内都有二次谐波输出, 没有观察到晶体光折变所引起的输出降低现象。

最后, 作者感谢胡伯清、王金叶等同志对本工作的帮助和支持。

参 考 文 献

- 1 V. G. Dmitriev *et al.*, *Sov. Tech. Phys. Lett.*, **5** (11), 590~591 (1979)
- 2 T. Y. Fan *et al.*, *J. Opt. Soc. Am. B*, **3**(1), 140~147 (1986)
- 3 A. A. Kaminskii, *Laser Crystals*, Berlin Heidelberg New York, 1981, p. 60
- 4 Walter Koehler, *Solid-State Engineering*, 1976, p. 498