

KNbO₃:Fe 在 632.8 nm 处的自泵相位共轭

王威礼 王德煌 张合义 郑英俊
(北京大学物理系, 100871)

沈德忠 童小林
(北京人工晶体研究所, 100018)

提要: 本文报道在 He-Ne 激光的 632.8 nm 实现 KNbO₃:Fe 自泵相位共轭。虽然光折变材料的耦合系数随工作波长的增加而减少, 但通过晶体材料的特殊切割, 充分利用了最大电光系数: $r_{42} = 380 \text{ pm/V}$ 和内表面的全反射, 获得的自泵相位共轭反射率可达 40%。

关键词: 光折变, 相位共轭, KNbO₃

Self-pumped phase conjugation in KNbO₃:Fe at 632.8nm

Wang Weili, Wang Dehuang, Zhang Heyi, Zheng Yinjun
(Department of Physics, Peking University, 100871)

Shen Dezhong, Tong Xiaolin
(Beijing Research Institute of Synthetic Crystal)

Abstract: In this paper we report for the first time the observation of self-pumped phase conjugation in KNbO₃:Fe at 632.8nm He-Ne laser wavelength. We note the coupling coefficient decreases with working wavelength in photorefractive materials. Our experiments were carried out with the crystal specially cut to bring the largest electro-optic coefficient r_{42} and total internal reflection on the inner surfaces. The reflectivity of 40% for self-pumped phase conjugation at 632.8 nm was obtained.

Key words: photorefractive, phase conjugation, KNbO₃

自从 60 年代激光技术出现后提供了相干强光源, 从而促进了非线性光学的迅猛发展。当时各种非线性效应的产生都是以强光与物质相互作用为前提。因此, 在低功率激光下产生的非线性相互作用和非线性光学效应一直是人们所关注和十分活跃的研究领域。电光晶体光致折射率变化的非线性光学效应以其室温、宽波段应用和毫瓦激光低功耗等优点显示了它的可喜应用前景。

KNbO₃ 是属于铁电性的晶体材料, 一般它们具有较大的电光系数, 掺入过渡金属元素 Fe 和经过氧化还原处理后, KNbO₃:Fe 的室温吸收光谱除了在 3.2eV (400 nm) 的本征吸收(从氧 $p\pi$ 轨道的价带到铌 ds 导带的带间跃迁), 还附加形成了一个延伸到 110 nm 的吸收宽带, 它可归结于 Fe²⁺ 和 Fe³⁺ 杂质能级所造成, 在光致折射率变化的物理过程中, 光电离 Fe²⁺ 后电子被光激发到导带, 部分电子又为 Fe³⁺ 所俘获, 滞留在导带内的电子称为载流子, 因此,

空间调制的光束在晶体内造成电荷的重新分布。随之,空间电荷电场通过普克尔(Pockels)线性电光效应引起折射率的变化。

光折变材料的自泵相位共轭的反射率主要取决于耦合系数 Γ ^[3],它可表示为^[4]

$$\Gamma = \frac{\pi}{n\lambda} \frac{Er_{eff}}{\cos\theta} \quad (1)$$

其中

$$E = \frac{K_B T}{e} \frac{K}{1 + \left(\frac{K}{K_0}\right)^2} \quad (2)$$

而

$$K_0 = [N\epsilon^2 / (\epsilon\epsilon_0 K_B T)]^{1/2}$$

这里 λ 是激光波长, n 是晶体材料的折射率, N 是掺杂浓度, $K_B T$ 是热能, e 是电子电荷, $K = \frac{4n\pi}{\lambda} \sin\theta$ 是晶体内形成的光栅矢量。为了获得高效率 KNbO₃:Fe 自泵相位共轭的反射率,晶体进行了特殊切割和实现最佳耦合的实验配置。为了充分利用最大电光系数 $r_{42} = 380$ pm/V,切割后的晶体如图 1 所示,棱角 P 为 84° ,在晶体内入射光束 I_1 与经内表面反射而形成的光束 I_2 的夹角 $2\theta = 12^\circ$,折射率相位光栅常数 $\Lambda = \lambda / (2 \sin\theta) = 3 \mu\text{m}$,此时光栅波矢量的大小 $|K| = \frac{2\pi}{\Lambda} = 2.1(\mu\text{m})^{-1}$,矢量方向如图 1 所示,它和晶体光轴 O 的夹角 $\beta = 45^\circ$,满足了最佳耦合的实验配置,当入射光的偏振在水平面时的有效电光系数 $r_{eff} = 2n_2^2 n_3^2 r_{42} \cos\beta \sin^2\beta$,其中 $n_2 = 2.322$ 和 $n_3 = 2.381$ 分别是 KNbO₃ 双轴晶体的二个主折射率。从公式(1)和(2)可见自泵相位共轭的反射率或波耦合的增益系数将随激光波长的增加而减小。

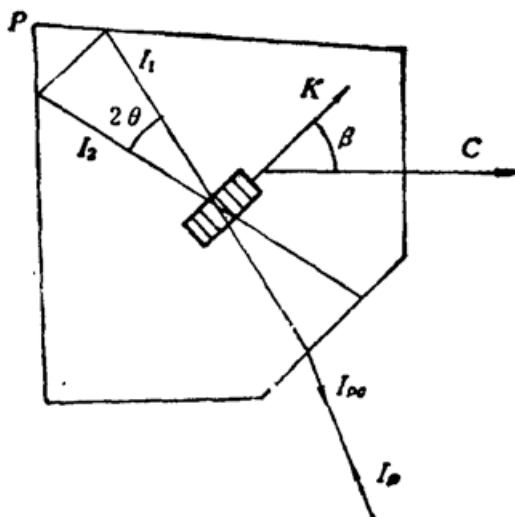


Fig. 1 Schematic diagram of the KNbO₃:Fe self-pumped phase conjugator with specially cut crystal

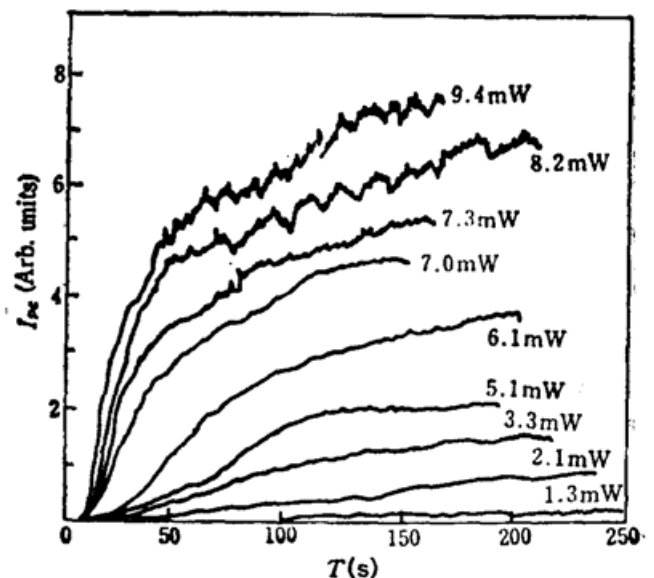


Fig. 2 Time dependence of reflective intensities for KNbO₃:Fe self-pumped phase conjugation for different incident intensities at room temperature

实验上我们采用 1 m 长 He-Ne 激光器的 632.8 nm 线为光源,图 2 给出了室温 KNbO₃:Fe 自泵相位共轭反射光强随时间变化的建立过程,在不同的入射光功率下,自泵相位共轭建立

时间具有不同的值,但相位共轭光强最终均达到稳定数值,并可获得相应的自泵相位共轭反射率。图3画出了反射率与入射光强关系的实验结果。在632.8 nm时测得的最大反射率 $\eta_{632.8} = 40\%$ 。该样品在514.5 nm时的最大反射率 $\eta_{514.5} = 60\%$,与按公式(1)的估算 $\eta_{632.8}/\eta_{514.5} = \Gamma_{632.8}/\Gamma_{514.5} = 0.66$ 相符。随着入射光功率的增加,自泵相位共轭建立时间将缩短,图4给出632.8 nm和514.5 nm波长时自泵相位共轭建立时间与入射光强的实验结果,对于这两相近的波长它们具有相同的规律,说明它们的光电离和光散射截面亦基本相近。

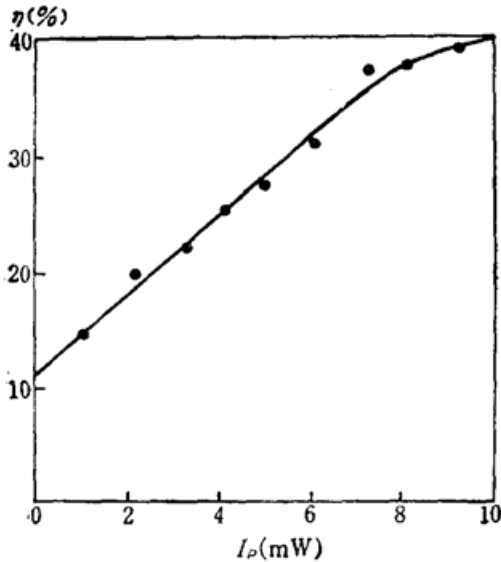


Fig. 3 Reflectance of $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ self-pumped phase conjugation versus incident intensities with 632.8nm wavelength

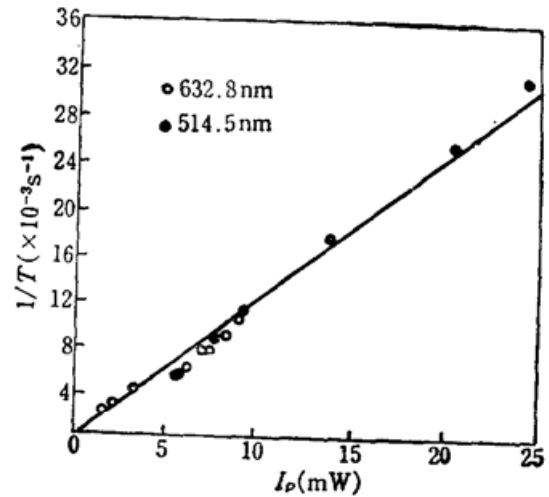


Fig. 4 Built up time of $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ self-pumped phase conjugation versus incident intensities with 632.8nm and 514.5nm wavelengths respectively

在本工作中北京大学物理系何雪华、刘越和陈尔立曾给予帮助,并做了大量的工作,作者在此表示深切的谢意。