

KNbO₃:Fe 环形腔被动相位共轭器*

王威礼 王德煌

(北京大学物理系, 北京, 100871)

摘要: 介绍有附加反射镜组成的 KNbO₃:Fe 环形腔自泵相位共轭器, 实验演示了相位共轭光建立过程中各光束间的能量转移现象, 并测得自泵相位共轭反射率 R 随入射角 α 、环形腔光束夹角 2θ 和入射光强 I_4 的依赖关系, 在最佳条件 $\alpha=23^\circ$ 和 $2\theta=20^\circ$ 时, 测得最大的相位共轭反射率 $R=36\%$.

关键词: 光折变, 相位共轭.

引言

四波混频技术是实现相位共轭光的基本方法^[1], 光折变晶体是当前最为理想的非线性光学介质, 在极低的毫瓦量级的激光功率下, 可观察到一系列非线性光学现象^[2]. 能省去一对外加相对传播泵光的自泵相位共轭器^[3]或基于自感振荡的被动式相位共轭器^[4]更引起人们的关注. 本文介绍 KNbO₃:Fe 环形腔被动相位共轭器, 并系统地给出了实验测量规律和分析讨论.

1 实验装置

KNbO₃ 晶体是一种理想的光折变晶体材料, 为了充分利用最大的电光系数 $\gamma_{42}=380$ pm/V 和获得最佳的有效电光系数 γ_{eff} , 我们的 KNbO₃:Fe 样品经过特殊切割, 如图 1(a) 所示, 其通光表面涂增透层以减小表面损耗. 实验装置如图 1(b), 样品置于可在水平面内自由旋转的平台上. Ar⁺ 激光器输出水平偏振 514.5 nm 激光束, 经空间滤波和准直系统后, 光束直径为 1.0 mm, 经 BS 分束片照射在样品上. 透射光经反射率分别为 95% 和 85% 的 M₁ 和 M₂ 反射镜后形成内环腔的光学回路. 入射光与样品法线间的夹角为入射角 α , 可从样品平台的刻度读出. 晶体顺时针旋转时 α 取正值, 逆时针旋转时 α 取负值. 光束 I_4 和 I_1 在晶体外的夹角为 2θ . 我们取 $\angle M_1 M_2$ 为直角, 这样 $2\theta = \tan^{-1}(M_1 M_2 / OM_1)$, 通过改变 M₁M₂ 的距离来改变 2θ . 实验中的相位共轭反射率 $R = I_3 / I_4 = I_3' / I_4' T_0$, 其中 $T_0 = 50\%$

本文 1992 年 10 月 20 日收到, 修改稿 1993 年 2 月 26 日收到.

* 国家自然科学基金资助课题.

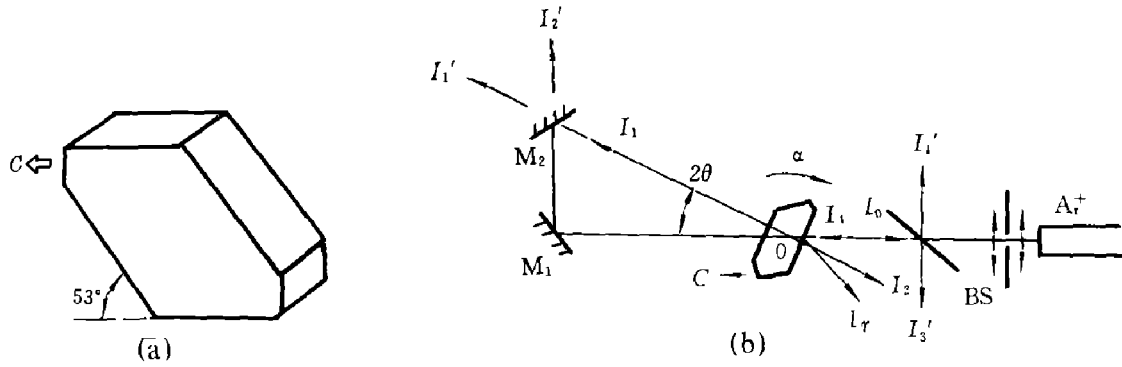


图 1 (a) 特殊切割的 KNbO₃:Fe 样品; (b) 实验装置示意图
 Fig. 1 (a) Specially cut KNbO₃:Fe crystal sample;
 (b) Schematic diagram of the experimental arrangement

是 BS 分束片的透过率, I_1', I_3', I_4', I_2' 和表面反射光 I_7 分别由激光功率计和 X-Y 记录仪接收. 所有实验测量均在室温下进行.

2 结果与分析

2.1 相位共轭光的建立

利用激光功率计和 X-Y 记录仪可以分别测量相位共轭光 I_3' 、入射光 I_4' 、样品表面反射光 I_7 、经环形腔和样品后的透射光 I_2 、在反射镜 M_2 测量得到的部分透射光 I_1' 和 I_2' .

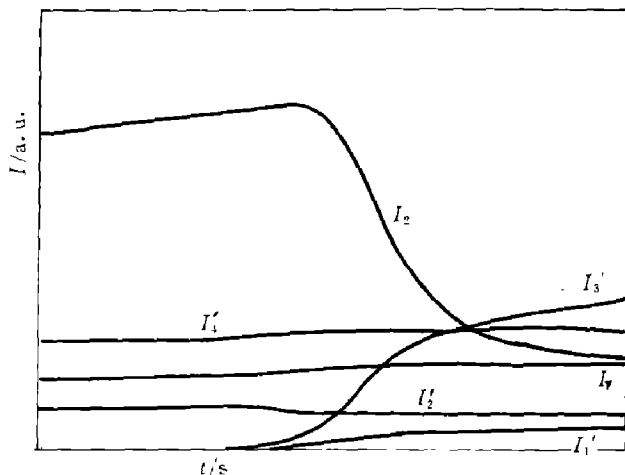


图 2 相位共轭光建立过程中实验观察的各光束随时间的变化

Fig. 2 Experimentally observed temporal evolution of different light beams during the build-up of phase conjugate light

入射光 I_4 在光折变晶体内散射和耦合放大, 沿 I_2 的逆方向可以产生光束 I_1 , 实验上可测得 I_1' 随时间的增长过程如图 2 所示. I_1 和 I_2 相对传播的光束构成四波混频的泵光, 结果在 I_4 的逆方向产生了相位共轭光 I_3 , 激光功率计可以测得图 2 中 I_3' 的变化曲线. 随着相位共轭光的增强和达到饱和的过程, 入射光 I_4 不断地向 I_1 能量转移, 造成透射光 I_2 的衰减. 同时, 形成的相位共轭光与激光器输出镜之间的耦合提高了环形腔的输入光 I_4 (或 I_4'). 在相位共轭光的建立过程中, 可忽略反射光 I_7 和镜面 M_2 的部分透射光 I_2' 的变化. 按能量守恒要求: 入射光的增量 ΔI_4 和透射光的减量 ΔI_2 应该等于相位共轭光 I_3 和 I_1' 之

和, 即 $\Delta I_4 + \Delta I_2 \approx \Delta I_3 + \Delta I_1'$. 实验上 I_4 和 I_3 是通过分束片 BS 部分反射光的测量而进行的, 因此, 实验结果应该满足:

$$\frac{T_0}{1-T_0} \Delta I_4' + \Delta I_2 \approx \frac{1}{1-T_0} \Delta I_3 + \Delta I_1'$$

其中 $\Delta I_4' = I_4'(t=\infty) - I_4(t=0)$, $\Delta I_2 = I_2(t=0) - I_2(t=\infty)$, $\Delta I_3 = I_3(t=\infty) - I_3(t=0)$, $\Delta I_1' = I_1'(t=\infty) - I_1'(t=0)$. 相位共轭光 I_3' 和透射光 I_1' 随时间的变化相同, 说明了光束 I_4 和 I_1 的二波耦合与 I_1 、 I_2 、 I_3 和 I_4 的四波混频是紧密地与光栅建立时间相联系的, 若以光强饱和值的 90% 来规定时间常数, 则光栅建立时间常数 τ 和入射光强 I_4 的乘积为常量, 即 $\tau I_4 = 205 \text{ mW}\cdot\text{s}$. 实验结果如图 3.

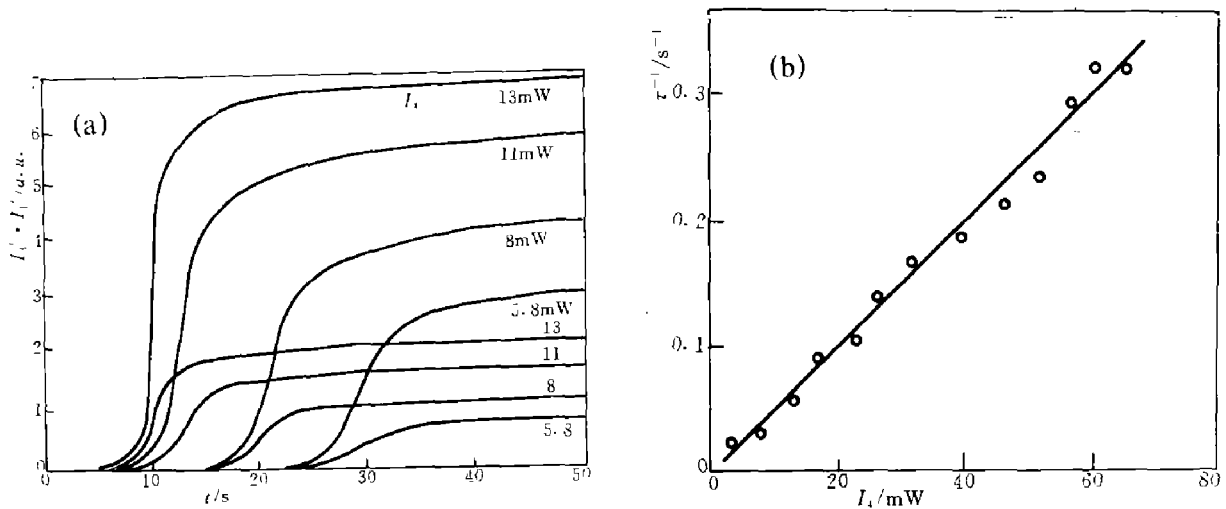


图 3 (a) 相位共轭光 I_3' 和透射光 I_1' 随时间变化关系;

(b) 自泵相位共轭中光栅建立时间常数 τ 和入射光强关系

Fig. 3 (a) Time dependence of phase conjugate light I_3' and transmitted light I_1' ;

(b) Incident intensity dependence of the time constant τ for grating build-up for self-pumped phase conjugation

2.2 相位共轭光反射率与实验配置的依赖关系

光折变晶体内耦合强度除晶体本身性能 (如电光系数和掺杂浓度) 的影响外, 很大程度上取决于实验配置的外部条件^[5]. 按光折变晶体中的四波混频理论^[6], 产生沿 I_4 逆方向传播的相位共轭光 I_3 的耦合波方程为

$$\frac{dA_3}{dZ} = \Gamma_{\text{I}} \frac{A_1 A_4^* + A_2^* A_3}{I_0} A_2 + \Gamma_{\text{II}} \frac{A_1^* A_3 + A_2 A_4^*}{I_0} A_1,$$

其中 A_1 和 A_2 是泵光的电矢量振幅; A_3 和 A_4 是相位共轭光和入射光的电矢量振幅; 总光强为 $I_0 = \sum_{j=1}^4 I_j$, 其中 $I_j = |A_j|^2$, $j=1, 2, 3, 4$; Γ_{I} 和 Γ_{II} 分别是透射和反射光栅的耦合常数.

对于我们的 KNbO₃:Fe 样品, 由二波耦合理论计算和实验得到的最佳耦合条件是: 晶体光束夹角 $2\theta' \approx 8^\circ$, 光栅矢量 K_g 与光轴 c 的夹角 $\beta \approx 46^\circ$ ^[7]. 图 4 是在不同入射角 α 时、相位共轭反射率 R 随晶体外光束夹角 2θ 的变化规律, 实验测量指出峰值位置均在 $2\theta \approx 20^\circ$ 附近 (即晶体内夹角 $2\theta' \approx 8^\circ$), 图 5 是实验设置 $2\theta \approx 20^\circ$ 时, 相位共轭反

射率 R 随入射角 α 的依赖关系, 存在 3 个峰值, 分别对应 α 取值为 -7° , 23° 和 33° , 对应的相位共轭反射率 R 为 23%, 32% 和 33%. 相位共轭反射率峰值产生的机制可以认为是由于光栅矢量 K_g 相对晶体光轴 c 处于最佳位置所致, 即: α 取正值时, 透射光栅 $\beta_I = 53^\circ + \theta' - \alpha'$ ($\alpha'_1 \approx 10^\circ$), 反射光栅 $\beta_{II} = 37^\circ - \theta' + \alpha'$ ($\alpha'_2 \sim 14^\circ$); α 取负值时, 透射光栅 $\beta_{III} = 53^\circ - \theta' - \alpha'$ ($\alpha'_3 \sim 3^\circ$). 其中 53° 和 37° 是晶体入射面特殊切割后的倾角, α'_i ($i=1, 2, 3$) 分别对应不同入射角的情况下在晶体内的折射角.

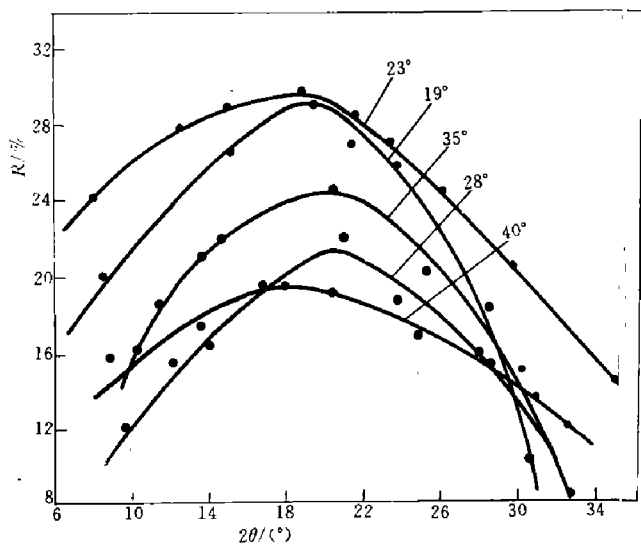


图 4 在不同入射角 α 时相位共轭反射率 R 随光束外夹角 2θ 的关系
 Fig. 4 Phase conjugate reflectivity R as a function of external intersecting angle 2θ for different incident angles α

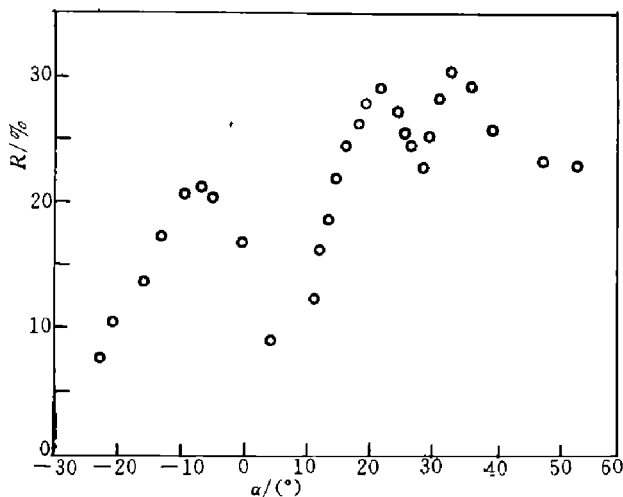


图 5 在光束外夹角 $2\theta = 20^\circ$ 时相位共轭反射率 R 与入射角 α 的关系
 Fig. 5 Phase conjugate reflectivity R as a function of incident angle α for external intersecting angle $2\theta = 20^\circ$

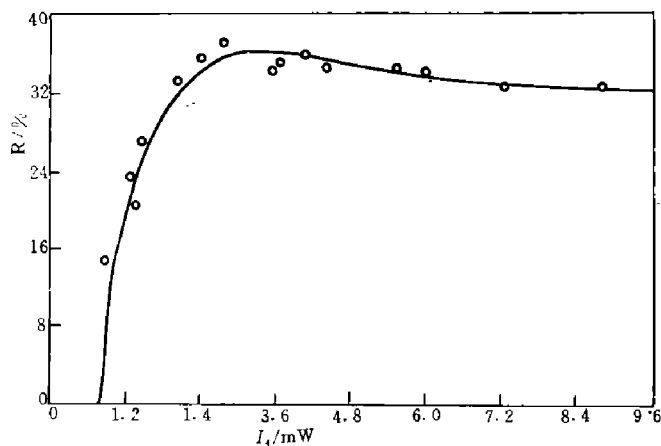


图 6 在最佳外部条件 $\alpha = 23^\circ$ 和 $2\theta = 20^\circ$ 时环形腔相位共轭反射率 R 与入射光 I_4 的关系
 Fig. 6 Phase conjugate reflectivity R of ring cavity as a function of incident intensity I_4 for optimal condition $\alpha = 23^\circ$ and $2\theta = 20^\circ$

2.3 相位共轭光反射率与入射光强的关系

原则上光折变晶体中稳态折射率光栅与输入光束的总强度无关, 而是依赖于两输入光束的相对强度. 事实上, 二波耦合和四波混频中的耦合增益系数或相位共轭反射率均呈现了与入射总光强的依赖关系. 图 6 是在最佳外部条件 $\alpha = 23^\circ$ 和 $2\theta = 20^\circ$ 时, 测得环形腔相位共轭反射率 R 与入射光 I_4 的依赖关系, 光强从 0.6 mW 增至 2.7 mW 过程中, 相位共轭反射率随之增大, 在更大的光强时, 反射率趋于饱和值 $R = 36\%$, 这一现象可归结于暗电导的影响, 即耦合增益系数或相位共轭反射率应该包括一项 $(1 + \frac{\sigma_d}{\sigma_{ph}})^{-1}$ 因子^[8], 这里 σ_d 是暗电导率, σ_{ph} 是光

电导率, 由此可得相位共轭光反射率的拟合曲线 $R=47.4/(1+\frac{2.86}{I_4})$, 这里 R 取百分数, I_4 的单位为 mW, 光强在 0.6 mW 以下未能测得相位共轭的反射信号, 由此可估计 KNbO₃:Fe 环形腔自泵相位共轭光的产生阈值在 0.5~0.6 mW.

致谢: 本实验采用的 KNbO₃:Fe 样品由北京人工晶体所提供, 谨致谢意.

参考文献

- 1 White JO et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1982,40:450
- 2 Gunter P. *Phys. Rep.*, 1982,93:201
- 3 Feinberb J. *Opt. Lett.*, 1982,7:406
- 4 Cronin-Golomb M et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1982,41:689
- 5 Feinman Y et al. *Opt. Eng.*, 1986,25:228
- 6 Cronin-Golomb M et al. *Opt. Lett.*, 1982,7:313
- 7 王威礼等. *发光学报*, 1991,12:12
- 8 Kuroda K et al. *Opt. Lett.*, 1990,15:1197

KNbO₃:Fe PASSIVE RING CAVITY PHASE CONJUGATOR*

WANG WEILI, WANG DEHUANG

(Department of Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The KNbO₃:Fe self-pumped phase conjugation in a ring cavity with two additional reflected mirrors is presented in this paper. During the build-up of phase conjugate light the time evolution of different light beams with energy transfer was experimentally demonstrated. The self-pumped phase conjugation reflectivity R as a function of the incident angle α , the light beam intersecting angle 2θ for ring cavity and incident light intensity I_4 was measured. Under the optimal condition $\alpha=23^\circ$ and $2\theta=20^\circ$, the maximum phase conjugation reflectivity was obtained to be $R=36\%$.

Key words: photorefractivity, phase conjugation.

*The project supported by the National Natural Science Foundation of China.