

KNbO₃:Fe 的红外光折变效应*

王威礼 王德煌

(北京大学物理系, 北京, 100871)

摘要: 利用 1.15 μm He-Ne 激光对光折变晶体 KNbO₃:Fe 的二波耦合实验测量, 得到二波耦合增益系数为 1.4 cm⁻¹, 频率响应时间为 5 ms. 在红外波段的初步实验结果与可见波段的规律相符.

关键词: 光折变, 二波耦合.

引言

电光晶体中光折变效应研究已显示在非线性光学领域中许多潜在的实用价值^[1], 但大多数氧化物铁电晶体, 如 BaTiO₃^[2]和 SBN (Sr_{1-x}Ba_xNb₂O₆)^[3]等, 它们在可见光波段有较大的电光系数, 但对近红外波段光折变效应研究不多. 目前, 适于红外波段的半绝缘半导体 GaAs 和 InP 等^[4,5]因受电光系数较小的限制, 严重地影响研究工作的进一步深入. 本文报道首次实现光折变 KNbO₃:Fe 晶体的红外二波耦合, 在 1.15 μm 测得二波耦合增益系数为 1.4 cm⁻¹, 频率响应为 5 ms. 结果表明实验规律与可见波段基本相符, 呈现了光折变铁电晶体在近红外的应用前景.

1 KNbO₃:Fe 晶体中的二波耦合

根据 N. V. Kukhtarev 理论^[6], 表征二波耦合过程中能量转移的增益系数 Γ 可表示为^[7]

$$\Gamma = \frac{2\pi K_B T}{\lambda n e} \frac{\gamma_{\text{eff}}}{\cos\theta} \frac{K_g}{1 + (K_g / K_0)^2} \cdot (\hat{e}_1 \cdot \hat{e}_2). \quad (1)$$

式中 λ 是入射光的真空波长, n 是晶体的平均折射率, e 是电子电量, K_B 是玻耳兹曼常数, T 是绝对温度, $|K_g| = \frac{4\pi n}{\lambda} \sin\theta$ 是光栅波矢的大小 (其中 θ 是两相干光束的夹角),

$K_0 = \left(\frac{N_e^2}{\epsilon\epsilon_0 K_B T} \right)^{1/2}$ (其中 N 是掺杂浓度, ϵ_0 为真空介电常数, $\epsilon = \hat{K}_g \cdot \vec{\epsilon}_{DC} \cdot \hat{K}_g$,

这里 $\vec{\epsilon}_{DC}$ 是晶体的直流介电常数), \hat{K}_g 是光栅波矢的单位矢量, \hat{e}_1 和 \hat{e}_2 分别是两光束

本文 1991 年 7 月 31 日收到, 修改稿 1992 年 3 月 30 日收到.

*国家自然科学基金资助项目.

I_1 和 I_2 的单位偏振矢量, γ_{eff} 是有效电光系数, 与晶体的电光张量系数 \vec{R} 、光栅矢量和光束的偏振方向等因素有关. 对于 2 mm 点群对称的 KNbO_3 晶体, 可得

$$\gamma_{\text{eff}} = \hat{e}_1 \cdot \vec{\epsilon}_\omega \cdot (\vec{R} \cdot \hat{K}_g) \cdot \vec{\epsilon}_\omega \cdot \hat{e}_2$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ -\sin(\theta + \beta) \\ \cos(\theta + \beta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_1^2 \gamma_{13} \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & n_2^2 \gamma_{23} \cos \beta & n_2 n_3 \gamma_{42} \sin \beta \\ 0 & n_2 n_3 \gamma_{42} \sin \beta & n_3^2 \gamma_{33} \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & \sin(\theta - \beta) & -\cos(\theta - \beta) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

式中 $\vec{\epsilon}_\omega$ 是晶体的光频介电张量, n_1 、 n_2 和 n_3 是 KNbO_3 双轴晶体沿 a 、 b 和 c 轴的折射率, 两入射光束为非寻常光, 即光的偏振面在图 1 所示的 $\hat{y}-\hat{z}$ 平面内, γ_{eff} 可表达为

$$\gamma_{\text{eff}} = \frac{\cos \beta}{2} [n_2^2 \gamma_{23} (\cos 2\theta - \cos 2\beta) + 4n_2 n_3 \gamma_{42} \sin^2 \beta + n_3^2 \gamma_{33} (\cos 2\theta + \cos 2\beta)]. \quad (3)$$

式中 β 是晶体 \hat{c} 轴与光栅矢量 \hat{K}_g 的夹角.

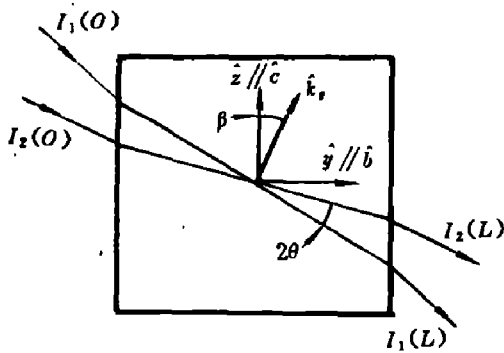


图 1 $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ 光折变晶体中二波耦合的几何配置图

Fig. 1 Geometrical configuration of two-beam coupling in $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ photorefractive crystal

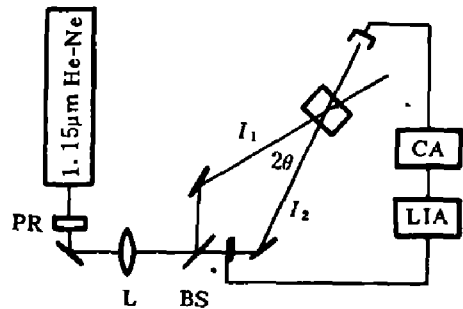


图 2 红外二波耦合实验装置图

Fig. 2 Sketch of the experimental set up for infrared two-beam coupling

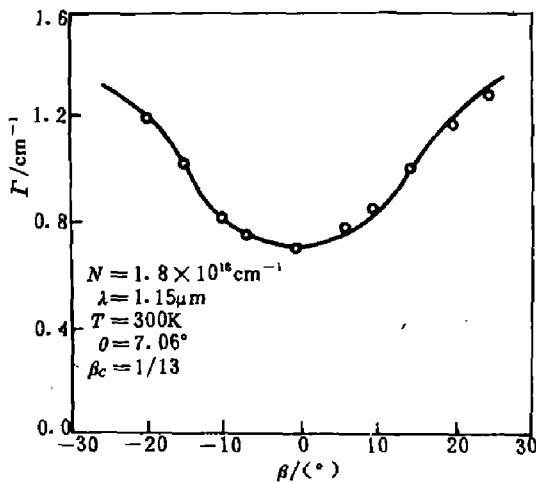


图 3 $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ 二波耦合增益系数 Γ 的测量值与光栅矢量 \hat{K}_g 偏转角 β 的关系

Fig. 3 The measured gain coefficients Γ of two-beam coupling as a function of the angle β between the grating vector \hat{K}_g and crystal axis c for $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$

2 实验测量结果

图 2 给出了实验装置的示意图, He-Ne 激光器发出的 $1.15 \mu\text{m}$ 红外辐射, 经偏振面旋转器 PR 可使偏振面在 $\hat{y}-\hat{z}$ 平面内, 又经 1 m 的长焦距透镜 L 和分束片 BS, 得到信号光 $I_1(0)$ 和泵浦光 $I_2(0)$, 两束光的强度比 $\beta_0 = I_1(0)/I_2(0) = 1/13$. 两相干光投射于 $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ 晶体 (掺杂浓度 $N_1 = 1.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) 的 b 面, 在晶体内的夹角为 2θ , 通光方向的厚度 $L_1 = 4 \text{ mm}$, 晶体放置于可旋转的平台上.

$\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ 红外二波耦合增益系数 Γ 与光栅矢量 \hat{K}_g 偏转角 β 的实验规律如图 3

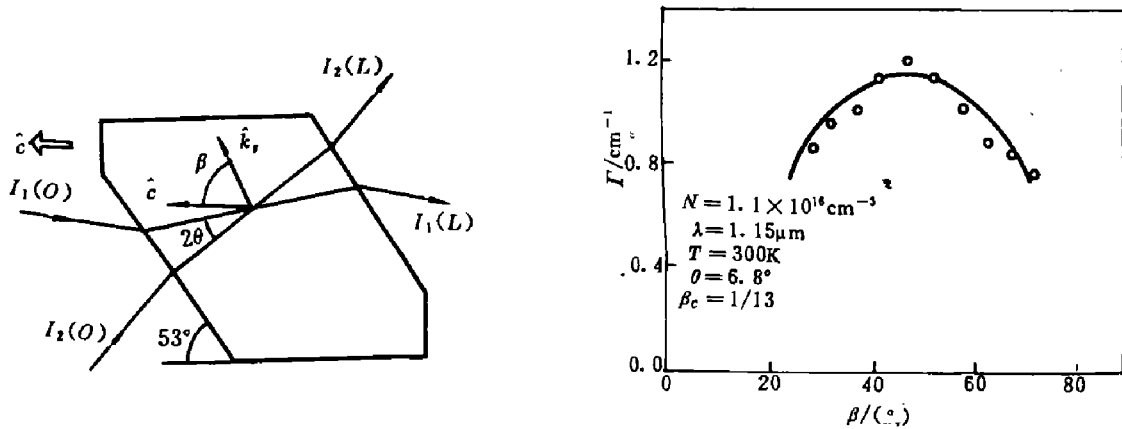


图 4(a) 特殊切割的 KNbO₃:Fe 晶体,
 (b) 特殊切割 KNbO₃:Fe 二波耦合增益系数 Γ 的测量值与光栅矢量 \hat{K}_g 偏转角 β 的关系
 Fig. 4(a) Geometry of specially cut KNbO₃:Fe crystal,
 (b) The measured gain coefficients Γ of two-beam coupling as a function of the angle β between the grating vector \hat{K}_g and crystal axis \hat{c} for specially cut KNbO₃:Fe

所示. 实验数据的分布点基本上是以 0° 轴 (晶体光轴 \hat{c} 与光栅矢量 \hat{K}_g 重合) 为对称中心的偶函数形式, 由于 KNbO₃ 的折射率较大 ($n = 2.2$), β 取值限制在 $-30^\circ \leq \beta \leq +30^\circ$. 为了获得最佳二波耦合条件, 利用另一块特殊切割的样品 (如图 4(a)), 其通光方向的厚度 $L_2 = 5 \text{ mm}$, 该样品使 β 的范围为 $30^\circ \leq \beta \leq 70^\circ$, 在 $\beta = 48^\circ$ 时获得最佳耦合. 耦合增益系数 Γ 峰值如图 4(b) 所示, 但由于掺杂浓度 $N_2 = 1.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 偏低而未能使耦合增益系数超过第一块样品, 由此可见向近红外长波长的延伸. 折射率、电光系数和耦合增益系数虽均是波长的函数, 使可见与红外取不同的值, 但和可见光波段具有相似的规律^[8].

KNbO₃:Fe 晶体作为光折变材料的优点是电光系数较大, 在铁电类晶体中它的介电常数较小, 因而具有较高的品质因子. 我们用图 2 的实验装置, 改变斩波器频率, 进行了 KNbO₃:Fe 的红外二波耦合频率响应特性的测量, 实验结果如图 5 所示: 在低频 100 Hz 以下耦合增益系数 Γ 为常量, 在 100 Hz 以上时 Γ 值开始下降, 到 200 Hz 时, Γ 值下降为低频常量的 1/2, 由此可估计红外波段的响应时间约为 5 ms.

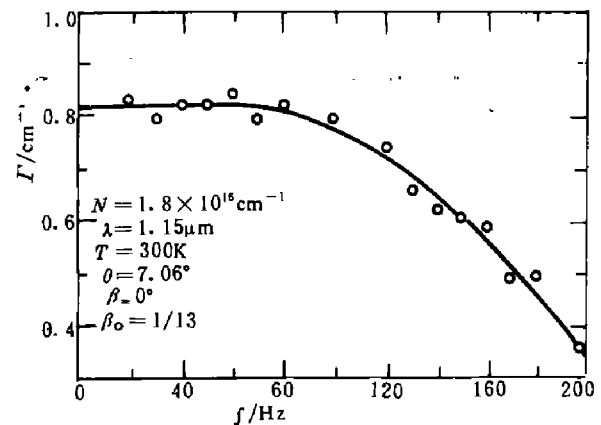


图 5 KNbO₃:Fe 红外二波段耦合的频率响应曲线
 Fig. 5 The frequency response curve of infrared two-beam coupling in KNbO₃:Fe crystal

致谢: 作者感谢张合义、冯宇给予的帮助和北京人工晶体研究所提供的晶体.

参考文献

- 1 Gunter P. *Ferroelectrics*, 1978,40:43
- 2 Feinberg J. *Opt. Lett.*, 1982,7:486
- 3 Salamo G et al. *Opt. Commun.*, 1986,59:417
- 4 Klein M B. *Opt. Lett.*, 1984,9:550
- 5 Glass A M et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1984,44:948
- 6 Kukhtarev N V et al. *Ferroelectrics*, 1979,22:961
- 7 Feinberg J et al. *Appl. Phys.*, 1980,51:1297
- 8 王威礼等. *发光学报*, 1991,12:12

INFRARED PHOTOREFRACTIVE EFFECTS IN $\text{KNbO}_3:\text{Fe}^*$

Wang Weili, Wang Dehuang

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

Abstract: The two-beam coupling measurements for infrared He-Ne laser radiation at $1.15\mu\text{m}$ in $\text{KNbO}_3:\text{Fe}$ photorefractive crystal are reported. The two-beam coupling gain coefficient 1.4cm^{-1} and the response time of the order of 5 ms have been obtained. The preliminary experimental results in the infrared wavelengths are found to be in excellent agreement with that in the visible ones.

Key words: photorefractivity, two-beam coupling.

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