

Fe:KTN 晶体的二波耦合特性研究

管庆才 王继扬 魏景谦 刘耀岗 蒋民华

(山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

王大地 杨华光 叶佩弦

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

提 要

首次报道四方相 Fe:KTN 晶体的二波耦合性质。测得晶体的二波耦合增益系数和衍射效率分别为 7.3 cm^{-1} 和 42%，响应时间为 2.8 sec。文中还分析了主要载流子的符号并计算了其它参数。

关键词 二波耦合, KTN 晶体。

1 引 言

二波耦合是光折变材料的一种重要特性。研究晶体的二波耦合性能, 不仅能直接得到二波耦合增益系数和响应时间等反映材料光折变性能的参数, 而且还能给出诸如光生载流子符号和浓度等有关光折变效应微观机制的信息。人们已经对 BaTiO_3 ^[1]、 KNbO_3 ^[2]、 SBN ^[3] 等晶体的二波耦合特性进行了大量的研究, 但对钽铌酸钾 ($\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$, KTN) 晶体二波耦合特性的研究目前尚未见报道。

本文对室温下为四方相的 Fe:KTN 晶体的二波耦合特性进行了研究, 测量了二波耦合增益系数和衍射效率, 研究了时间响应特性, 并计算了晶体的光生载流子浓度, 内电场大小以及光致折射率变化等重要参数。

2 实 验

2.1 样品制备和实验装置

本实验所用样品是用熔盐提拉法^[4]生长的室温下为四方相的 Fe:KTN 晶体。晶体的居里点 $T_c = 54^\circ\text{C}$, 组分为 $\text{KTa}_{0.56}\text{Nb}_{0.44}\text{O}_3$, 熔体中 Fe_2O_3 的掺入量为 0.1 wt%。样品为沿晶体 [001] 方向切割的长方体, 厚度为 4.5 mm, 实验前经仔细抛光及极化为单畴。

实验装置如图 1 所示。Ar⁺ 激光器产生的 514.5 nm 单横模激光经分束器分束后, 以夹角 2θ 再次相汇于 Fe:KTN 晶体中, 入射光采用 e 偏振光, 其角平分线垂直于晶体的 a 面。

2.2 结果与分析

在如图 1 所示的实验安排中, 首先将 I_s 引入晶体, 当 I_R 被引入晶体后, I_s 被平稳地放大, 同时 I_R 相应地衰减, 整个耦合过程无显著的振荡, Fe:KTN 晶体的二波耦合时间响应

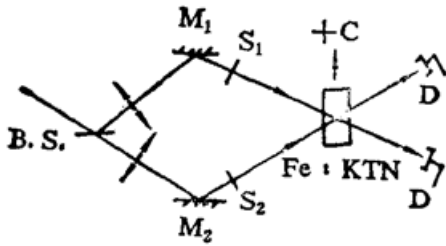


Fig. 1 Schematic of the set-up for two-wave mixing experiment with Fe:KTN crystal

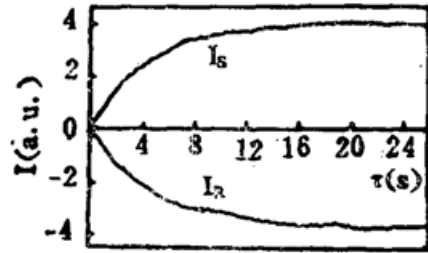


Fig. 2 Two-wave mixing time response properties of Fe:KTN

特性见图 2. 实验发现, 无论 I_R 和 I_S 的比值取多大, 总是 I_S 被放大, 即二波耦合放大的方向与晶体的 $+C$ 方向是一致的(同时观察到扇形光也是向 $+C$ 方向散射的), 可以判断, 在 Fe:KTN 晶体中起主要作用的载流子符号为正号, 这与 BaTiO₃^[1] 晶体是一致的, 而与 SBN^[3] 晶体不同. 而 KNbO₃ 晶体则可根据氧化还原处理过程的不同, 主要载流子符号可正也可负^[2].

实验中采用 $I_S:I_R=1:1.5 \times 10^3$ 的光强比, 因此, 二波耦合增益系数可用如下简化表达式表示^[3]

$$\Gamma = (1/d) \ln(I_S/I_{S0}), \quad (1)$$

式中 d 为样品厚度, I_{S0} 和 I_S 分别为信号光在入射到晶体前后的光强. 改变入射角 2θ , 测得二波耦合增益系数与 2θ 的关系如图 3 所示. 从图中可以看出, 当 $2\theta=28^\circ$ 时, 晶体的二波耦合增益系数最大, 可达 7.3 cm^{-1} . 根据这一结果和测得的 Fe:KTN 晶体的介电常数 $\epsilon_{23}=400$, 利用由文献[3]推导出的公式

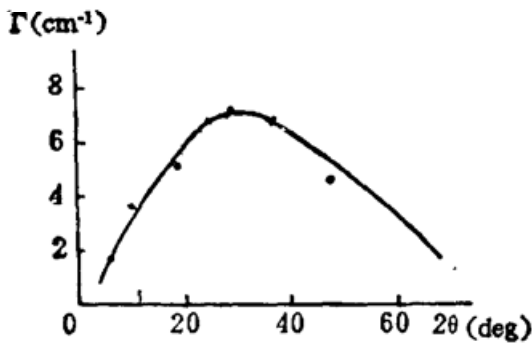


Fig. 3 Gain coefficient Γ versus the incident angle 2θ

$$N_{\text{eff}} = (4\pi/\lambda) (\epsilon\epsilon_0 k_B T/e)^2 \sin^2 \theta_{\text{peak}}, \quad (2)$$

$$E_{\text{sc}} = (k_B T/e) (2\pi/\lambda) \sin \theta_{\text{peak}}, \quad (3)$$

可以求出 Fe:KTN 晶体的有效光生电荷密度 $N_{\text{eff}}=2.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 最大内电场 $E_{\text{sc}}=7.38 \times 10^4 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$. 利用关系式

$$\delta_n = -(1/2)n_0^3 r_{\text{eff}} E_{\text{sc}}, \quad (4)$$

还可以近似估计出光致折射率变化 δ_n 的大小. 取 $n_0=2.31$, $r_{\text{eff}}=r_{33}=500 \text{ pm/V}$ ^[5] 代入(4)式可得 $\delta_n=2.27 \times 10^{-4}$.

实验还研究了晶体的二波耦合响应时间与入射光强的关系. 在这里, 定义响应时间为从引入 I_R 到 I_S 被放大到其最大值的 $(1-e^{-1})$ 倍所需的时间. 实验中采用 $I_R=I_S$ 的等光强入射方式, 以便得到较快的响应速度. 实验结果绘于图 4 中. 从图中可以看出, 随着入射光强的增加, 由于单位时间内用于激发载流子的光子数量的增多, 晶体的响应时间变短, 当光强达到一定值时, 响应时间达到一饱和值. 实验测得的最短响应时间为 $\tau=2.8 \text{ sec}$.

在测量晶体的衍射效率的实验中, 采用 $I_R=2I_S$ 的入射光强记录 60 sec 后, 挡掉 I_R , 用 I_S 探测晶体的衍射效率. 得到 η 与 2θ 的关系如图 5 所示. 测得的最大衍射效率为 42%.

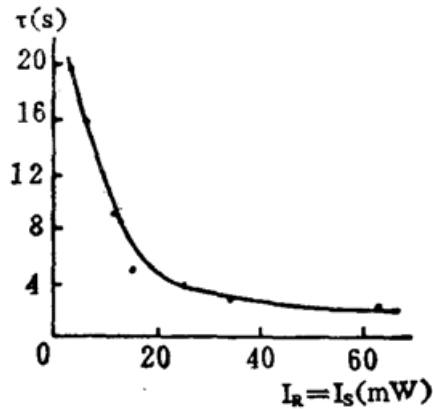


Fig. 4 Response time as a function of the input power

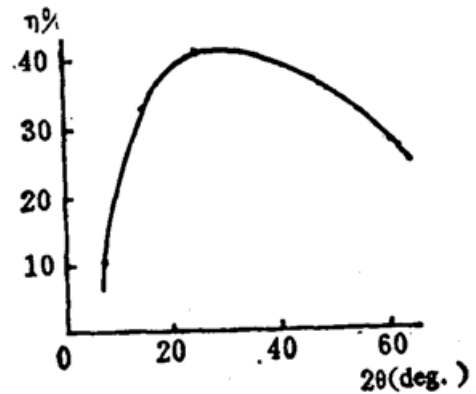


Fig. 5 Plot of the diffraction efficiency η versus the incident angle 2θ

3 讨论与结论

在目前所研究的光折变材料中,铁电氧化物晶体由于电光系数大、光折变效应显著而受到普遍重视,其中最受人关注的材料有: KNbO_3 和 SBN 等。人们对这些材料的二波耦合性能已进行了大量的研究,但由于所用晶体的掺杂、质量、处理方法以及实验条件的不同,对同一种材料所测得的结果也往往有很大差异。例如:文献[6]报道的 Fe:KNbO_3 (掺杂量为 150 ppm) 的增益系数为 3.4 cm^{-1} ; Fe:KNbO_3 (掺杂量为 300 ppm) 的增益系数达到 10.2 cm^{-1} ; 而纯的 KNbO_3 的增益系数只有 2.1 cm^{-1} 。文献[7]报道的 BaTiO_3 的增益系数为 2.6 cm^{-1} , 而文献[8]报道的数据则达到 5.8 cm^{-1} 。文献[9]总结了掺杂 SBN 晶体的二波耦合增益系数, 12 位掺杂的 Ce:SBN , $\Gamma = 19 \text{ cm}^{-1}$, 9 位掺杂的 Ce:SBN , $\Gamma = 5 \sim 6 \text{ cm}^{-1}$, Cr:SBN , $\Gamma = 6 \sim 7 \text{ cm}^{-1}$ 。同样,对这些材料的响应时间的报道也有很大差异,一般的报道都认为这类材料的响应时间为秒的量级。

KTN 晶体作为最早发现的具有光折变性能的材料之一,对其光折变性能的研究很早就受到人们的重视。但由于这种材料生长组分均匀的晶体比较困难,对其光折变性能的研究要比上述几种材料少得多。本实验首次对四方相 Fe:KTN 晶体的二波耦合性能进行了全面测量,测得二波耦合增益系数为 7.3 cm^{-1} , 响应时间 2.8 秒,衍射效率 42%。这些基本性能参数已与目前公认为最优越的光折变材料的相应参数相当或更佳。作者认为,通过对 KTN 晶体组分、掺杂及后处理工艺等进行更深入的研究,这种材料的光折变性能还有可能进一步提高。

另外, KTN 晶体作为一种固溶体材料,它具有居里点随组分可调的特性,因而可以通过选择晶体组分来人为地控制其某些性质。例如,可以选择生长某一特定成分的晶体,使其居里点处于一比较合适的温度,从而保证获得足够大的电光系数,同时又能有效地避免 BaTiO_3 , KNbO_3 等晶体生长过程中常出现的开裂现象,并且便于单畴化处理,这是获得性能优、质量好的光折变材料的一个有效途径。由于 KTN 晶体在顺电相和铁电相都具有显著的光折变效应,它还是研究光折变性能与材料的组分、结构间的关系从而深入研究光折变效应的机理的理想材料。因此,对 KTN 晶体的光折变性能进行研究很有意义。

参 考 文 献

- [1] J. Feiberg, D. Heiman, A. R. Tanguay, Jr. *et al.*, Photorefractive effects and light-induced charge migration in barium titanate. *J. Appl. Phys.*, 1980, **51** (3): 1297~1305
- [2] C. Medrano, E. Voit, P. Amrhein *et al.*, Optimization of the photorefractive properties of KNbO_3 crystals. *J. Appl. Phys.*, 1988, **64** (9): 4668~4673
- [3] M. D. Ewbank, R. R. Neurgaokar, W. K. Cory *et al.*, Photorefractive properties of strontium-barium niobate. *J. Appl. Phys.*, 1987, **62** (6): 374~380
- [4] 刘耀岗,管庆才,魏景谦等. 熔盐提拉法生长光折变晶体 $\text{K}(\text{Ta},\text{Nb})\text{O}_3$, *硅酸盐学报*, 1990, **18** (6): 529~535
- [5] W. Haas, R. Johannes, Linear electro-optic effect in KTN crystals. *Appl. Opt.*, 1967, **6** (11): 2007~2009
- [6] C. Medrano, E. Voit, P. Amrhein *et al.*, Optimizatin of the photorefractive properties of KNbO_3 crystals. *Ferroelectrics*, 1989, **92** (1): 289~297
- [7] D. Rytz, M. B. Klein, R. N. Schwartz *et al.*, High-efficiency fast response in photorefractive BaTiO_3 at 120°C. *Appl. Phys. Lett.*, 1988, **52** (21): 1759~1771
- [8] G. A. Borst, R. A. Motes, J. R. Rotge, Intensity-dependent absorption and photorefractive effects in barium titanate. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1988, **5** (9): 1879~1885
- [9] R. R. Neurgaokar, W. K. Cory, J. R. Oliver *et al.*, Ferroelectric tungsten bronze crystals and their photorefractive applications. *Ferroelectrics*, 1990, **102** (1): 3~14

Study on the two-wave mixing properties of Fe:KTN crystal

GUAN QINGCAI WANG JIYANG WEIJINGQIAN LIU YAOGANG JIANG MINHUA

(*Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100*)

WANG DADI YANG HUAGUANG YE PEIXIAN

(*Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

(Received 22 October 1991, revised 22 April 1992)

Abstract

In this paper, the two-wave mixing properties of tetragonal phase Fe doped KTN crystal are reported for the first time. A gain coefficient of 7.3cm^{-1} and a diffraction efficiency of 42% were measured. The response time is 2.8 seconds. The sign of the dominant charge carriers is determined and some other parameters are calculated.

Key words two-wave mixing, KTN crystal.