

光致折射晶体 Ce-SBN 的双光束耦合、放大的特性

徐怀方 金元望

(上海师范大学物理系)

杭永珍

(上海师范大学数学系)

Characteristics of two beam coupling and amplification in photorefractive crystal Ce-doped SBN

Xu Huaiyang, Jin Yuanwang

(Department of Physics, Shanghai Teachers University, Shanghai)

Hang Yongzhen

(Department of Mathematics, Shanghai Teachers University, Shanghai)

提要: 本文报道了考虑吸收后的光致折射晶体 Ce-SBN 中双光束耦合方程的数值解, 并与实验作了比较。推算了在 Ce-SBN 晶体中钡含量在 0.25 或 0.75 二端值时晶体将有最佳光致折射效应。

关键词: 光致折射, 双光束耦合

本文是文献[1]的继续。

一、有吸收的双光束耦合方程及解

在一级近似下认为吸收系数 α 与光强无关, 则 [1] 中双光束耦合方程必然变为:

$$\frac{dI_1}{dz} = BI_1I_2/I_0 - \alpha I_1 \quad (1)$$

$$\frac{dI_2}{dz} = -BI_1I_2/I_0 - \alpha I_2 \quad (2)$$

其中: $B = -n_1\omega/c \cdot \cos\theta_2$

$$n_1 = -r_{eff}n_0^3 \cdot E_p \cdot E_d / (E_p + E_d) = -r_{eff}n_0^3 \cdot E \quad (3)$$

$$E_d = mK_BTK/e; \quad E_p = eP_d/\epsilon K\epsilon_0^* \quad (4)$$

当 $\theta \approx 0$ 时 $r_{eff} \approx (n_e/n_0)^3 \cdot r_{33}$ (对 e 光)

上述非线性方程很难求得解析解, 但可以运用计算机进行数值求解。当给出边界条件及必要的参数: $I_1(0) = I_{10}; I_2(0) = I_{20}$ (当 $z=0$); 以及 $\theta, \lambda, T, P_0, m, r_{eff}, \epsilon, l$ (晶体厚度)、 α 等, 方程(1)、(2)就可求解。图 1 虚线就是计算得出的不同 I_{20} 时 $I_1(l) \sim I_{10}$ 的曲线组。该曲线表示的是当 $l=0.17\text{cm}$, $\alpha=10\text{cm}^{-1}$ (Ce 含量为 0.1 wt% 时实测值^[1]), $x=0.48$, Ce=0.1 wt% 时的函数关系。当 $I_{20}=0$ 时得到一直线, 这就是由方程:

$$I_1(l) = I_{10} \cdot e^{-\alpha l}$$

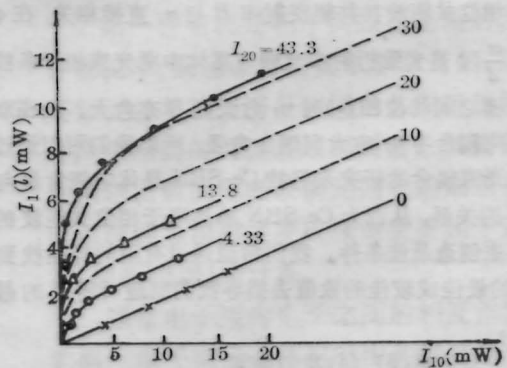
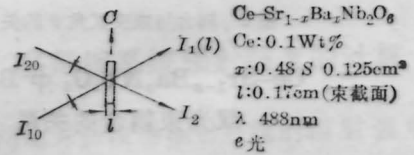


图 1 在不同的 I_{20} 条件下 I_1 与 $I_{10}(l)$ 关系曲线

给出的。图 1 实线是相同条件下的实验曲线。可见两者符合得较好。图 1 给出了光的线性放大区域。

同样我们利用方程(1)、(2)中隐含的 θ , 可计算

* 文献[1]中 E_p 误印为 $E_p = eP_d/\epsilon K_0$

出耦合与 θ 的关系。当耦合最大时的 θ 对应了 K_0 ，从而再求 P_d (根据[1]中式(8))，并与初始值 P_d (由实验测到) 进行比较。这里我们以 $\Delta I_1' \left(= \frac{I_1(1) - I_{10} \cdot e^{-\alpha l}}{I_{10} \cdot e^{-\alpha l}} \right)$ 来表征耦合的大小，以 $\Delta I_1'$ 为纵坐标，以

$$2 \sin \theta \left(= k / \frac{n\omega}{c} \right)$$

为横坐标，计算得到它们的关系如图 2 所示。由图 2 可见当 $2 \sin \theta = 0.278$ 时 $\Delta I_1'$ 达极大，可与[1]图 4 比较。

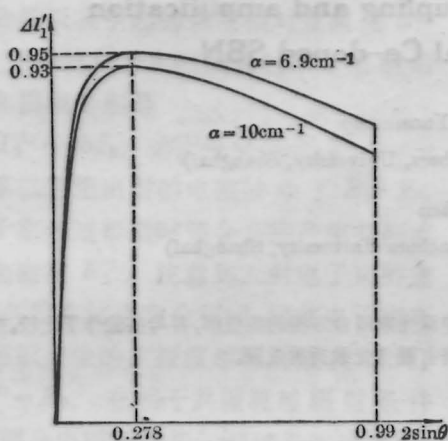


图 2 耦合与束交叉角 θ 的关系

二、 $\text{Ce-Sr}_{1-x}\text{Ba}_x\text{Nb}_2\text{O}_6$ 中 Ba 含量 x 与双光束耦合的关系

文献[2]指出，在光致折射晶体中四波混频产生的相位共轭波其共轭反射率 R 与 n_I 直接相关，在 $\phi = \frac{\pi}{2}$ (ϕ 是光致折射率光栅与晶体中两光束相干条纹光栅之间的位相差) 时 n_I 愈大则 R 亦愈大。而在双光束耦合中 n_I 愈大则耦合愈强，所以我们可以通过双光束耦合的研究来寻找 Ce-SBN 晶体中钡含量与 n_I 的关系，从而为 Ce-SBN 单晶用于相位共轭波的产生创造最佳条件。我们希望通过有限的样品找到 x 的最佳或较佳的数值去指导我们制造所需要的晶体。

从方程(3)、(4)我们得到：

$$n_I = -n_o^3 \cdot r_{33} \cdot E \quad (5)$$

由[1](12)：

$$E \cdot K = \pi P_d \cdot e / \epsilon \epsilon_0 \quad (6)$$

(6)代入(5)：

$$n_I = -n_o^3 r_{33} \pi P_d e / \epsilon \epsilon_0 K$$

当 K 保持常数，则：

$$n_I \propto r_{33} \cdot P_d / \epsilon \quad (7)$$

(7)式中 r_{33} 、 P_d 、 ϵ 均与晶体中钡含量 x 有很大关系。 P_d 可由双光束耦合实验测定^[1]， ϵ 、 r_{33} 也可由实验测定。表 1、2 即是这些数据 (其中 P_d 为作者测得，其余数据有的已注明出处，未注明的数据来自上海硅酸盐研究所)。

表 1 下列值是对 Ce-SBN 晶体 Ce:0.1wt%

x	$P_d (10^{16} \text{cm}^{-3})$	$r_{33} (10^{-12} \text{M/V})$	ϵ_{11}	$P_d \cdot r_{33} / \epsilon_{11}$
0.25	179	1340 ^[4]	11000	2.18×10^5
0.48	3.04	1303 ^[3,4]	551	7.18×10^3
0.52	11.1	100 ^[4]	400	2.78×10^4

表 2 下列值是对 SBN 单晶

x	$r_{33} (10^{-12} \text{M/V})$	ϵ_{11}	$r_{33} / \epsilon_{11} (10^{-13})$
0.25	1340 ^[4]	11000	1.22
0.4	200 ^[3]	880 ^[3]	2.27
0.5	110 ^[4]	450 ^[4]	2.44
0.75	51.7 ^[4]	118 ^[4]	4.38

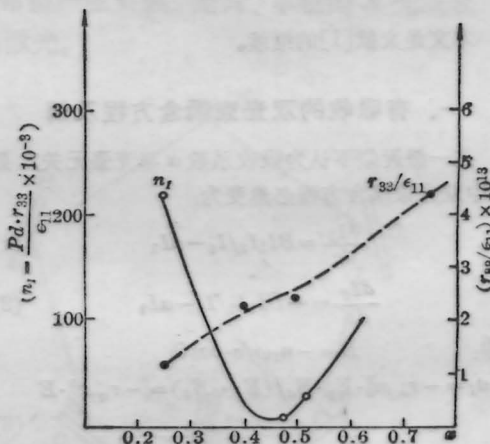


图 3 n_I 及 r_{33}/ϵ_{11} 与 Ba 含量 x 的关系曲线

由于光致折射率光栅波矢 k 指向平行于光轴 e ，说明光致电荷产生的静电场指向也是平行于光轴的，因此式(7)中 ϵ 应该用 ϵ_{11} (即 ϵ_3)。从表 1、2 可见 r_{33} 及 ϵ_{11} 对于 Ce-SBN 及 SBN 其值相近，因此可通用。相应的计算值可画出 $n_I (\propto P_d r_{33} / \epsilon_{11}) \sim x$ 的曲线及 $r_{33} / \epsilon_{11} \sim x$ 的曲线，如图 3 所示。从曲线可看出 n_I 将在 x 取最低值(0.25)或最高值(0.75)处达到较高值。还可看出 $x=0.48$ 是 n_I 处于较低的谷底附近，由此可见，如果选用合适的 x 、 n_I 或耦合效率或共轭反射率将会比 $x=0.48$ 时有很大提高。

在实验中还发现,即使是同样组分 x 、同样掺杂、同样切割、同样厚度的不同晶体样品,它们的耦合效率也会有很大的差别。其原因推测是它们极化或退极化的情况不同所致。Ce-SBN单晶的居里点 T_c 一般较低(低于 100°C)可能是其易退极化的原因。

实验中所用晶体全部系上海硅酸盐研究所提供,在此谨表示深切的谢意。

参 考 文 献

- 1 徐怀方 *et al.*, 中国激光 **14**(4), 220(1987)
- 2 Baruch Fisher *et al.*, *Opt. Lett.*, **6**(11), 519(1981)
- 3 Baruch Fisher *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **40**(10), 863(1982)
- 4 P. V. Lenzo *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **11**(1), 20(1967)

(收稿日期:1987年11月6日)

基于不等频二步激发Ca蒸气产生的受激和串级受激辐射*

金海燕 陈 郁 李永放 王祖赓

(华东师范大学物理系)

Stimulated and cascade stimulated radiation based on unequal frequency two-step excitation in Ca vapor

Jin Haiyan, Chen Yu, Li Yongfang, Wang Zugeng

(Department of Physics, East China Normal University, Shanghai)

提要:由氮分子激光器同步泵浦的两台染料激光器二步激发Ca蒸气,产生位于红外和可见光波段的受激和串级受激辐射。文中对产生受激辐射的机制,包括单重态之间的碰撞能量转移等过程,作了分析和讨论。

关键词:二步激发, Ca蒸气, 受激、串级受激辐射

一、引 言

碱土金属的第一激发态能级较高,高位激发态又非常密集,所以,对泵浦光源的选择要求比较高。例如,对于Ca原子,如欲以单光子泵浦它到高位能级,则需用紫外激光;如以等频双光子进行激发,通常也需用能量较大的泵浦源。

Trainor等人^[1]利用波长为249nm的紫外激光激发Ca原子,获得了533和586nm的受激辐射。Ding^[2]使用输出能量大于1mJ的可见区激光,等频双光子激发Ca原子到 $4p^2\ ^1D$ 、 $4p^2\ ^3S$ 、 $4s^5\ ^1D$ 、 $4s^5\ ^3S$ 能级,产生了相应的受激辐射。这种等频双光子激发方式,虽然不必使用紫外激光,但往往由于对中间能级离共振过大而需要较高的泵浦能量。

我们选择了不等频二步共振激发方式。以 N_2 激光同步泵浦的两台染料激光器作为泵浦源,使Ca

原子经二步共振激发后布居到 $4p^2\ ^1D$ 能级,产生波长位于2.507、2.047、2.929、3.086、2.526和 $1.035\ \mu\text{m}$ 的红外受激辐射以及671.7和714.8nm的可见波段受激辐射,其中2.929、3.086和 $1.035\ \mu\text{m}$ 的受激辐射尚未见报道。我们注意到,即使在本实验中仅以输出能量约为 $20\ \mu\text{J}$ 的泵浦光,仍能产生输出能量约为数百nJ的红外受激辐射,而且还观察到许多一级和二级串级受激辐射,以及基于高位单重态之间碰撞能量转移产生的受激辐射。我们还观察到将Ca原子等频双光子激发到同一能级 $4P^2\ ^1D$ 后所产生的受激辐射。

二、实验装置

实验装置如图1所示。由 N_2 激光器1(输出能量约为2mJ)同步泵浦的两台染料激光器2(染

* 国家自然科学基金资助课题。

** 永久地址:西安市陕西师范大学物理系。