

光折变聚合物中斩波调制对二波耦合增益系数的增强效应*

袁保红 陈钟贤 姜永远 孙秀冬 周忠祥 姚凤凤

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150001)

(2001 年 10 月 28 日收到)

通过二波耦合测量了光折变聚合物 PVK:5CB:C₆₀ 中的耦合增益系数, 并利用斩波调制技术实现了二波耦合增益系数的增强. 研究了最佳斩波频率及处于此频率下的耦合增益系数随外加电场、入射总光强、光栅波矢的关系.

关键词: 光折变聚合物, 二波耦合, 增益系数

PACC: 4240, 4270G

1. 引言

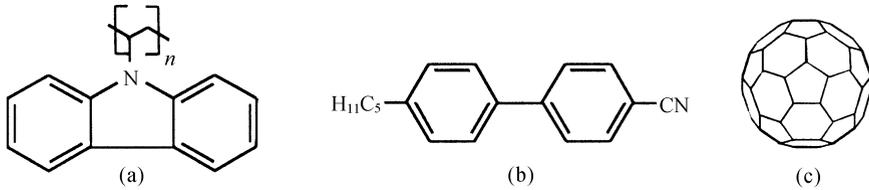
为了获得大的耦合增益系数, 采用一种简单的技术, 即用运动干涉条纹进行全息记录的方法^[1-3]. 可以用多种方法获得运动干涉条纹, 如使二波耦合的两光束中的任何一束光增加一个小的频移^[4], 或者对其中一束光进行斩波调制^[5], 或者调制其中一束光波的相位或偏振方向^[2-6]. 关于无机光折变晶体中的运动光栅理论已有很多研究^[2-6], 对于有机聚合物中的运动光栅理论, 我们已在文献 [7] 中进行了详细讨论. Kawata 曾在 Bi₁₂SiO₂₀ 晶体中通过斩波的方法实现了二波耦合增益系数的增强^[5]. 许京军曾在 LiNbO₃:Fe 晶体中也实现了斩波调制双光束耦合增强^[8]. 本文选择斩波方法以获得运动光栅, 并通过二波耦合实验, 测量了 PVK:5CB:C₆₀ 系统中的增益系数随外界实验条件的变化关系.

2. 实验

实验所采用的材料均可在一般的商业公司买到. PVK (polymer N-vinylcarbazole) 即聚乙烯咔唑是一种导电聚合物, 在系统中起电荷传输作用. 由于它是一种高分子聚合物, 所以系统的机械性能主要由它决定. 我们选用 5CB (即 4, 4'-n-pentylcyanobiphenyl,

戊氰基联苯液晶) 液晶作为非线性光学 (NLO) 生色团. 5CB 的熔点和清亮点分别为 23 和 35℃, 这说明在室温下, 这种液晶处于液体状态. 液体生色团的大量掺入有利于降低系统的玻璃转变温度 (T_g), 从而提高生色团在聚合物基体中的取向能力, 进一步提高材料的光折变性能. 此外, 这种液晶分子的形状是棒状的, 垂直和平行于棒的方向上的光频极化率相差很大 ($\Delta\epsilon = +20.1$, $\Delta n = 0.212$), 分子的这种双折射率性质对宏观材料的折射率改变非常有利. 所以液晶在体系中所起的主要作用是非线性光学生色团, 同时部分地起到增塑剂的作用. C₆₀ (即 foot-ballene, 足球烯) 在体系中起敏化剂的作用. 在光辐射的作用下, 它容易夺取咔唑基团 (高分子 PVK 中的功能基团) 中的电子. 如果仅在光辐射的作用下, C₆₀ 通常并不能完全得到咔唑基上的电子, 而是在两者之间形成激子状态. 如果存在外加电场时, 在外加电场的辅助下, 才有一部分激子能够完全电离. 这样 C₆₀ 成为负电荷中心, 而咔唑基则带上正电荷. 在外加电场和扩散机理的作用下, 相邻咔唑基上的电子容易跳跃到带正电的咔唑基上. 这样, 带正电的空穴就会沿着 PVK 链进行传输. 从上述电荷产生和传输机理可以看到, 外加电场对载流子的产生率和迁移率有很大影响. 这也正是有机聚合物区别于无机晶体的特点之一. 这三种材料的分子结构式示于图 1.

* 国家自然科学基金 (批准号: 69878006) 和国家教育部优秀青年教师基金资助的课题.

图1 PVK, 5CB, C₆₀分子结构示意图

利用通常的二波耦合实验光路图,将其中一束光(抽运光 I_p)进行斩波.具体实验条件如下:样品厚度约为 $100\mu\text{m}$,玻璃转变温度约为 40°C ^[9],样品的平均折射率约为 1.62.斩波频率的占空比约在 2.3—2.8 范围之间.采用氩-氟激光波长 632.8nm ,两束入射光的光强比为 1.2(信号光 I_s /抽运光 I_p),且偏振方向均为 P 偏振,其他条件见相应的曲线图.

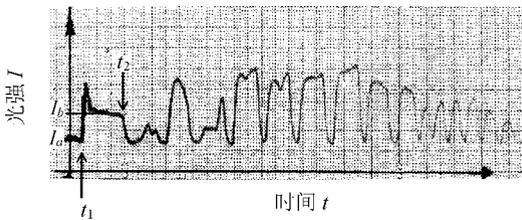


图2 典型的二波耦合实验曲线

图2为典型的二波耦合实验结果曲线图,所示曲线为信号光的光强变化.初始比较平滑的一段曲线是没有外加电场时的信号光的透射光强 I_a ,在 t_1 时刻外加电场被施加到样品上,信号光的光强开始增大,最后基本达到稳定值 I_b .这说明由抽运光向信号光转移了能量.在 t_2 时刻开始对抽运光进行斩波调制,可以看到起初信号光的变化没有规律,这是运动的干涉条纹对已有光栅进行破坏的表现.经过一段时间后,信号光也开始了相应的周期变化,并且光强的增加比没有调制时的光强增加要大.这说明在此调制频率下,二波耦合增益比没有调制时的耦合增益要大.知道了光强耦合前后的变化,利用下式就可求得二波耦合增益系数:

$$\Gamma = \frac{1}{L} \ln \left(\frac{1+\alpha}{1-\beta\alpha} \right), \quad (1)$$

其中 $\alpha = \Delta I_s(L) / I_s(L)$, $\Delta I_s(L)$ 为样品后的信号光在施加抽运光前后的光强变化值, $I_s(L)$ 为无抽运光时样品后的信号光的光强, $\beta = I_s(0) / I_p(0)$, 即样品

前信号光 $I_s(0)$ 和抽运光 $I_p(0)$ 的光强比, L 为光在样品中所经过的光程^[10].

图3给出不加斩波调制时的耦合增益系数随三个实验参数的关系.从图3(a)可以看出,随外加电场的增加,二波耦合增益系数以非线性的函数形式增加.另外,随外加电场的增大,误差也越大.图3(b)给出二波耦合增益系数 Γ 与入射总光强 I_i 之间的关系.如果不考虑其中光强最高的那个数据点,用3阶多项式拟合的结果在图中用实线标出.如果考虑所有的数据点,则3阶多项式拟合的结果在图中用虚线标出.我们猜测随光强的继续增大,可能还会发现一些新的规律.这也说明二波耦合增益系数随入射总光强的变化关系比较复杂,对于不同材料可能有不同规律.图3(c)给出在无斩波调制时的光栅波矢 k 与二波耦合增益系数 Γ 之间的关系.从图中可以看到存在一个最佳光栅波矢,使得此时的二波耦合增益系数达到最大.

为了能够说明问题,图4给出三个具有代表性的实验图,即三个不同外加电场下,二波耦合增益系数 Γ 与斩波频率 f 之间的关系图.可以看出,随斩波频率由零开始增加,二波耦合增益系数 Γ 也随之增加.存在一个最佳频率 f_{op} ,使得二波耦合增益系数达到一个最大值.随后随调制频率的增加,二波耦合增益系数开始减小.我们将这个最大的二波耦合增益系数定义为最佳频率 Γ_{op} .图4给出这些实验数据的误差范围.需要说明的是,实验发现这些误差并不是一个固定值,而是随外加电场的增加而增加.当外加电场为 $30, 35, 40\text{V}/\mu\text{m}$ 时,对应的实验数据误差范围分别约为 5%, 10%, 13%.我们认为这可能与光栅内部竞争有关,即电场越大,由散射光所形成的光栅对主要光栅(由信号光和抽运光形成)的影响也越大,而散射光所造成的影响通常是随机的,所以导致测量中的随机性增大,进一步导致实验误差增大.

利用同样的方法,通过改变入射总光强 I_i 及两个入射光束的夹角 2θ ,可以测得类似的曲线.这样

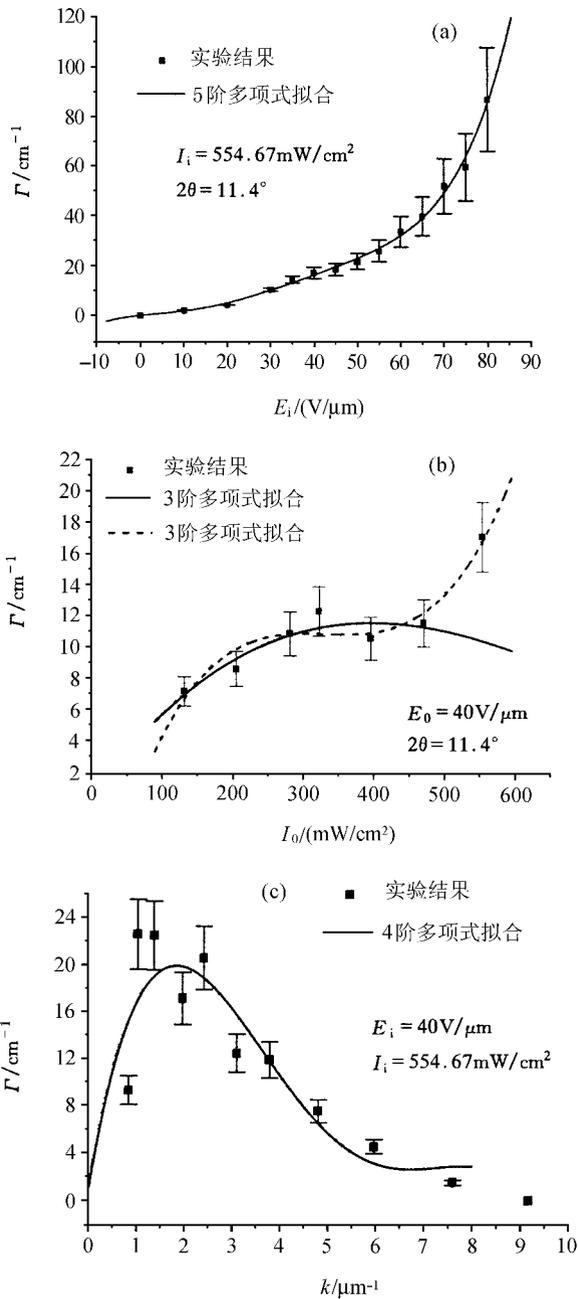


图3 无调制时,二波耦合增益系数 Γ 随 (a) 外加电场 E_1 、(b) 入射总光强 I_i 、(c) 光栅波矢 k 之间的关系图

就可以通过这些曲线图,寻找到 f_{op} 和 Γ_{op} 与外界实验条件之间的关系.图5给出最佳频率 f_{op} 和处于最佳频率处的二波耦合增益系数 Γ_{op} 随外界实验条件之间的变化关系.图5(a)实线对应最优调制频率 f_{op} ,虚线对应在相应频率下的二波耦合增益系数 Γ_{op} .可以看出,随外加电场的增加, f_{op} 和 Γ_{op} 也在增加.由图5(b)可以发现,在我们可以实现的光强变化范围内, f_{op} 和 Γ_{op} 基本上是入射总光强 I_i 的线性

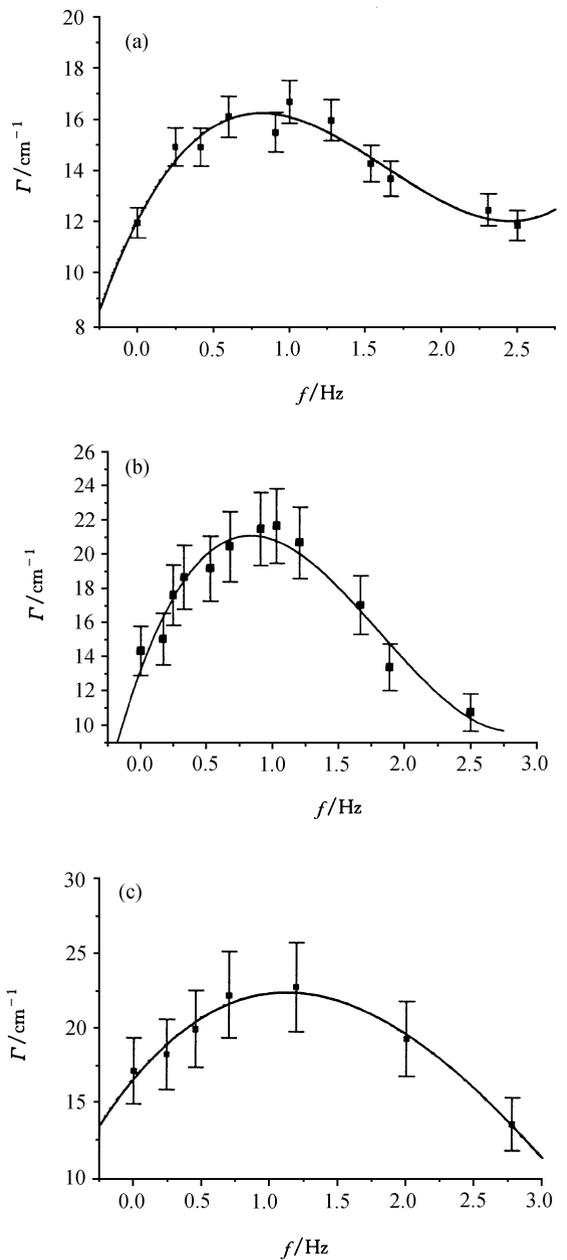


图4 二波耦合增益系数 Γ 随斩波频率 f 的关系图 $E_1 = 30 \text{ V}/\mu\text{m}$ (a), $35 \text{ V}/\mu\text{m}$ (b), $40 \text{ V}/\mu\text{m}$ (c), $I_i = 554.67 \text{ mW}/\text{cm}^2$, $2\theta = 11.4^\circ$. ■为实验结果, —为3阶多项式拟合

递增函数.从图5(c)可以看出, f_{op} 随光栅波矢 k 的增加而减小, Γ_{op} 随光栅波矢 k 的增加先增加后减小.

在实验中我们发现,当外加电场较高 ($50 \text{ V}/\mu\text{m}$) 且施加的时间也较长时,撤掉此电场后,仍有一定的二波耦合现象,我们暂且认为是剩余光栅在起作用.同时还发现此剩余光栅随外加电场的增加而增加,即施加的电场越高,撤掉电场后的剩余二波

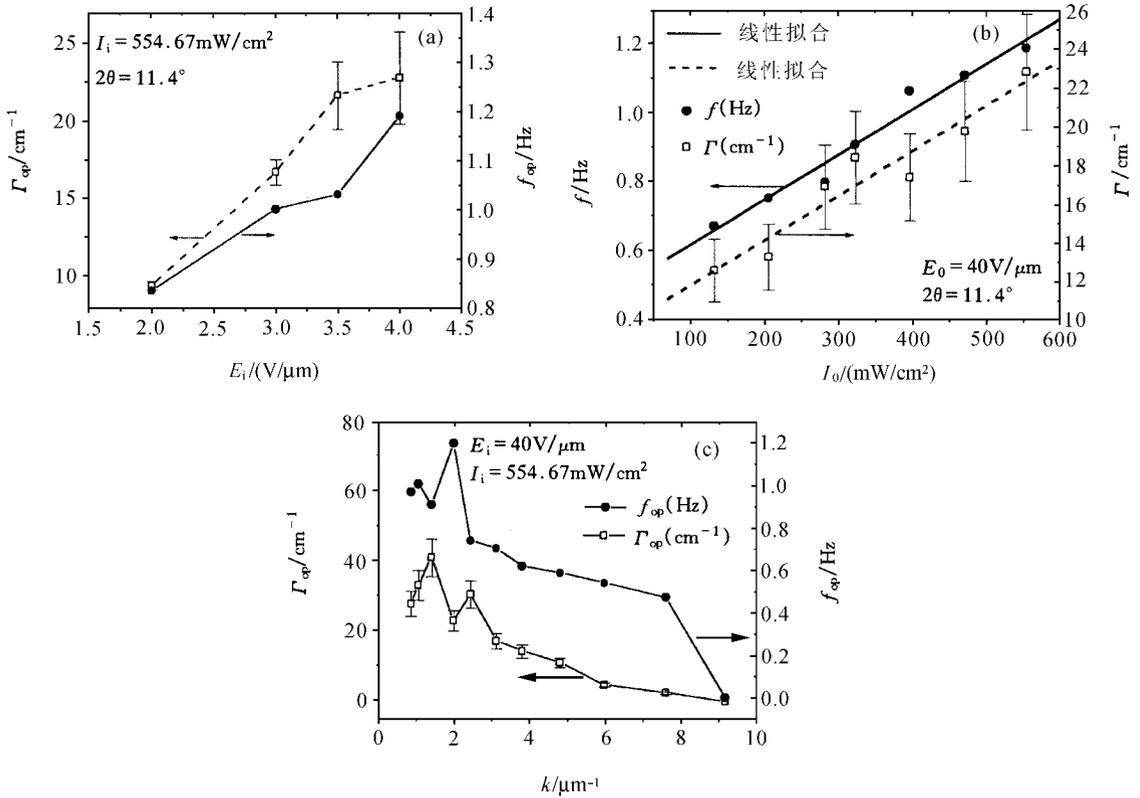


图5 最佳频率 f_{op} 和处于最佳频率处的二波耦合增益系数 Γ_{op} 与 (a) 外加电场 E_i 、(b) 入射总光强 I_i 、(c) 光栅波矢 k 之间的关系图

耦合增益系数越大,但是,随电场撤掉的时间增加,二波耦合增益系数慢慢地下降,直至最后消失。我们猜测这一过程反映了电场撤去之后,生色团 5CB 失去其有序取向的过程。当生色团完全无序时将导致材料重新具有中心对称结构,进而失去了电光效应,即取向增强效应,也就失去了二波耦合现象。

3. 结 论

首先测量不加调制时的二波耦合增益系数与外

界实验条件的关系,结果发现二波耦合增益系数随外加电场和入射总光强的增加而增加,随光栅波矢的增加先增加后减小。其次通过实验发现,可以通过斩波调制技术实现光折变聚合物中二波耦合增益系数的增强,并且存在一个最佳频率,在此频率下二波耦合增益系数达到最大。随外加电场和入射总光强的增加,最佳频率及处于此频率下的二波耦合增益系数也增大。随光栅波矢的增大最佳频率减小,但处于最佳频率处的二波耦合增益系数随光栅波矢的增加存在一个最大值。

[1] Liu S M, Guo R and Ling Z F 1992 *Photorefractive Nonlinear Optics* (Beijing: Standard Press of China) pp104—134 (in Chinese) [刘思敏、郭儒、凌振芳 1992 光折变非线性光学(北京:中国标准出版社)第 104—134 页]

[2] Huignard J P and Marrakchi A 1981 *Opt. Commun.* **38** 249

[3] Stepanov S I, Kulikov V V and Petrov M 1982 *Opt. Commun.* **44** 19

[4] Huignard J P and Herriau J P 1985 *Appl. Opt.* **24** 4285

[5] Kawata Y, Kawata S and Minami S 1991 *Appl. Opt.* **30** 2453

[6] Refregier Ph, Solymar L, Rajbenbach H and Huignard J P 1985 *J. Appl. Phys.* **58** 45

[7] Yuan B, Sun X, Hou C, Li Y, Zhou Z and Jiang Y 2001 *J. Appl. Phys.* **89** 5881

[8] Xu J J, Liu S M, Wu Y Q and Zhang G Y 1991 *Acta Phys. Sin.* **40** 1443 (in Chinese) [许京军、刘思敏、武原庆、张光寅 1991 物理学报 **40** 1443]

[9] Zhang J and Singer K D 1998 *Appl. Phys. Lett.* **72** 2948

[10] Yu L, Chan W, Peng Z and Gharavi A 1996 *Acc. Chem. Res.* **29** 13

Gain enhancement by chopping technology in a photorefractive composite *

Yuan Bao-Hong Chen Zhong-Xian Jiang Yong-Yuan Sun Xiu-Dong Zhou Zhong-Xiang Yao Feng-Feng

(*Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China*)

(Received 28 October 2001)

Abstract

We measured the gain efficiency in PVK 5CB :C₆₀ composite by two-wave mixing and carried out enhancement of the gain efficiency through chopping technique. Also, we studied the relations of the optimal chopping frequency and gain efficiency at the optimal chopping frequency with three experimental parameters: external applied electric field, total incident intensity, and grating wave vector.

Keywords : photorefractive polymer, two-wave mixing, gain coefficient

PACC : 4240, 4270G

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 69878006), and the Foundation for Excellent Young Teachers from Ministry of Education of China.