

文章编号: 1002-2082(2006)03-0239-03

光折变聚合物材料在光电子技术中的应用

刘建静^{1,2}, 郝伟¹, 刘锴³, 唐保军¹

(1. 北京工业大学 应用数理学院, 北京 100022; 2. 天津科技大学 理学院,
天津 300222; 3. 西安理工大学 理学院, 西安 710048)

摘要: 光折变聚合物材料与光折变晶体相比, 其非线性光学系数大, 响应时间快, 成本低廉, 制备灵活, 有可能成为制作光子学集成器件的材料。简要介绍了光折变聚合物材料在图像识别、光信息存储及光学相干层析技术等方面的应用情况, 指出光折变聚合物材料中存在光子带隙。最后预测了光折变聚合物材料作为光子晶体在光子学器件中的应用前景。

关键词: 光折变聚合物材料; 图像识别; 光信息存储; 光子晶体

中图分类号: O63; TN209

文献标志码: A

Application of photorefractive polymer in electrooptics

LIU Jian-jing^{1,2}, HAO Wei¹, LIU Kai³, TANG Bao-jun¹

(1. College of Applied Sciences, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;
2. College of Sciences, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China;
3. Xi'an University of Sciences & Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In recent years, there is increasing interest in photorefractive polymer due to its good optical processing capability. Compared to photorefractive crystal, it has the advantages of large nonlinear optical coefficient, quick response, low cost and great compositional flexibility, thus there is a potential for photorefractive polymer to become the materials for preparing photonic integrated device in the future. The applications of photorefractive polymer in pattern recognition, holographic storage and optical coherence tomography(OCT) are summarized. At last, it is pointed out that there is band gap in photorefractive polymer.

Key words: photorefractive polymer; pattern recognition; holographic storage; photonic crystal

引言

光折变效应是指在相干光照射下材料内的光电荷重新分布形成空间电荷场, 随后由于电光效应导致材料的折射率发生变化的一种非线性光学现象。后来的研究发现, 如果用光均匀照射材料, 折射率又回到均匀态。这种效应被人们称为光折变效应。

在过去 30 多年里人们主要研究无机光折变晶体材料。无机光折变晶体与光折变聚合物材料相比难以生长, 样品制作和掺杂也比较困难, 而且许多

无机晶体的介电常数较大, 使光折变品质因数无法提高, 这些不利因素大大限制了无机晶体的实际应用。1994 年 K. Meerholz 等人^[1]在 PVK : DMN-PAA (50%) : ECZ (33%) : TNF (1%) 体系中得到了令人振奋的结果, 测得这种材料的衍射效率高达 86%, 二波耦合增益系数高达 220 cm^{-1} 。随着对材料本身性质的深入研究, 人们对它在光信息处理中的应用研究也进行了广泛的尝试。本文简单介绍了光折变聚合物材料的应用情况, 最后对光折

收稿日期: 2005-09-07; 修回日期: 2005-11-27

作者简介: 刘建静(1977—), 女, 河北石家庄人, 北京工业大学硕士研究生, 主要从事新型材料的物性及应用研究。E-mail: liujianjing@emails.bjut.edu.cn

变聚合物材料作为光子晶体在光子学器件中的应用做了预测。

1 光折变聚合物材料的应用

1.1 光折变聚合物材料在图像识别中的应用

图像识别是指从给定图像中提取有用的信息和辨认图像,或者检测某一特定信息是否存在,也称为特征识别。图像识别的基本结构是光学相关器^[3]。匹配滤波器可以实现光学相关。滤波器的记录材料一般使用全息干板,如果用实时记录材料如光折变聚合物就可以大大缩短图像识别的时间。

1996年 B. L. Volodin 等人^[3]首次在安全检测系统中实现了用 PVK 光折变聚合物材料进行图像识别。2002年 Won-Jae Joo 等人^[4]对 PSX-CZ 光折变聚合物材料在图像识别中的应用进行了研究,指出 PSX-CZ 聚合物材料与 PVK 相比具有较低的 T_g 温度(51 °C)。由于聚合物的 T_g 较低,不需要加入增塑剂,也不会引起体系的相分离,所以该体系的光学质量非常好,光散射比 PVK 系统降到几分之一,并且外加的极化电场也很小。实验中所用样品以 PSX-CZ 为基体,并掺杂生色团 DB-IP-DC 和光敏剂 TNF 合成。由于此聚合物的玻璃转化温度极低(仅为 27 °C),所以四波混频试验中在 30 V/ μm 的电场强度下其衍射效率高达 92%。如此高衍射效率的聚合物为特征识别和指纹识别提供了优质的实时全息记录材料。

1.2 光折变聚合物材料在光信息存储中的应用

自 1965 年发现光折变效应以来,人们就一直研究这种效应在光信息存储方面的应用。光折变聚合物材料和无机晶体一样,从发现之初人们就对它的光信息存储能力表现出极大的兴趣,无论是 PVK, PSX-CZ, 还是 PMMA 为基体的聚合物材料都具有存储能力。衍射效率决定了在给定体积中可以存储全息图的数目,因此良好的光折变聚合物材料需要具有高效的衍射效率。为了增大聚合物材料的衍射效率,1994年,Stankus 等人^[5]把多层材料堆积起来,各层中间用 2 面带有透明电极的绝缘隔层隔开,分别施加电场,制成多层全息光学元件。多层结构有利于提高角度选择性,可大幅度提高角度复用的全息图数量,实现了高密度全息存储。

全息存储中,记录的稳定性也是影响存储的一个重要因素。在光折变过程中被陷阱俘获的载流子重新分配,引起空间电荷场发生热弛豫现象,导致材料的记录稳定性降低。研究表明,在材料中增加

陷阱中心可提高衍射效率和增益系数。与不增加陷阱中心材料相比,其记录稳定性有所提高,但是这会延长相位栅的写入时间。产生这种现象的原因是由于通过简单混合增加材料组成中的陷阱中心会阻止材料中电荷的传输,因此需要找到一种既可以增加俘获中心又不会影响写入时间的方法。2003年 Won Sun Kim 等人^[6]介绍了一种新的多层聚合物结构材料,即将聚合物层夹在 2 层陷阱层(trapping layer)之间,而不是将陷阱中心等 4 种组分进行简单的混合。这种新的多层聚合物结构的优点在于聚合物材料层中发生的电荷传输过程与陷阱层中的俘获过程分离,所以不会影响写入速度。试验中样品 1 为常规掺杂型光折变聚合物材料,材料的成分为 PVK, DR1, ECZ, C60; 样品 2 将聚合物材料夹在 2 层聚乙烯苯酚陷阱层之间。通过 2 种样品的对比证明了陷阱层对记录稳定性和响应时间均有影响。实验结果表明,样品 1 和 2 的最大衍射效率分别为 0.36% 和 3.56%, 增益系数分别为 4.85 cm^{-1} 和 10.6 cm^{-1} , 并且在 2 种情况下的透射率分别为 85% 和 86%。这说明在引入陷阱层后,聚合物层和陷阱层之间几乎没有光损失,写入相位栅时,所用时间几乎相等,约为 200 s, 而且引入陷阱层不影响写入速度。在擦除过程中,样品 1 的相位栅在几秒钟内消失;在增加陷阱层的情况下以 20% 的衍射效率保持了近 100 s, 600 s 后才完全消失。样品 2 的相位栅寿命远远大于样品 1。因此,采用这种结构不仅提高了衍射效率和增益系数,而且记录稳定性也明显增加。除了存储三维体全息图之外,人们还研究了聚合物材料的 bit 型数字记录三维双光子存储特性。在光学数据存储中应用双光子吸收技术,可以减少记录位的体积,提高存储密度。例如光致聚合物,虽然它的记录密度可以达到万亿比特每立方厘米,但是是不可擦除的。1999年 Daniel Day 等人^[7]首次用光折变聚合物材料实现了 bit 型数字记录三维双光子存储,虽然此材料仍有许多缺点,但是存储的信息是可擦除并可以重新写入的。

1.3 光折变聚合物材料在光学相干层析技术(OCT)中的应用

OCT (optical coherence tomography) 技术是通过生物组织(高散射介质)的不同层面进行探测,并逐点扫描建立二维图像的一种新型光学成像技术。由于 OCT 技术能对活体组织进行实时、高分辨率断层成像,所以在医学诊断中有很大的应用潜力。目前, OCT 技术已经应用于眼睛疾病和早期

癌变的诊断。另外,在发育生物学上 OCT 技术也有着广阔的应用前景^[8]。如果在 OCT 技术中应用光折变材料成像,可以直接用参考光作为读出光得到二维图像并进行实时记录,而不需要逐点扫描,节省了获得图像的时间,在光折变晶体和光折变多重量子阱(photorefractive multiple quantum well)中可实现对散射介质成像。2004年,P. Dean 等人^[9]又以光折变聚合物材料作为 OCT 技术中的相干门得到了散射介质的图像。与晶体相比,聚合物可以提供较宽的角度带宽和较大的图像分辨率,其响应时间仅是 BaTiO₃ 晶体的 1/10。

1.4 光折变聚合物材料作为光子晶体的应用

随着通信和计算机产业的发展,电子器件的小型化和高度集成化已经不能满足人们的需求,希望能用光子器件来代替电子器件。光子晶体作为光子产业的一种基础性材料已经受到人们的广泛关注,它是一种折射率周期性变化的人工微结构光学材料。光折变材料在相干光照射下,折射率也会发生连续性周期正弦变化。根据光子晶体的定义,光折变聚合物材料中也应该存在光子带隙。最近已有有关在折射率周期性正弦变化的体全息结构中计算光子带隙的报道^[10]。图 1 是在不同入射角时测得的反射全息光谱图。由图可知,当再现光入射角从 0°~45°变化时,谱线宽度在反射率为 12% 处从 27.3 nm 减小到 22.7 nm;但是在相同条件下,理论计算结果则是禁带宽度从 24.7 nm 减小到 23 nm。试验结果和理论计算结果几乎一致。目前,

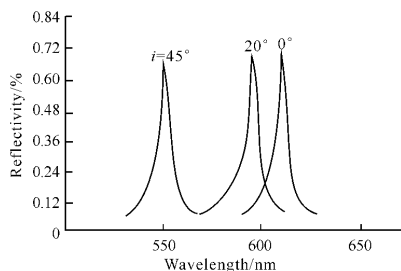


图 1 以不同入射角入射时得到的反射光谱图

Fig. 1 Measured spectra of a reflection hologram at different incident angles

光折变聚合物材料在理论计算中也存在极窄的光子带隙,相关实验研究正在进行中。多年来,人们尝试了许多制作光子晶体的方法,这些方法大多数比较复杂。因此,光折变聚合物材料中的光子带隙给我们提供了一种得到光子晶体的简便方法,利用光折变聚合物材料的窄带隙特点可将它做成可调谐

窄带带阻滤波器和窄频率光全反射镜等光学元件,从而使之广泛应用于光通信领域和光信息处理等领域。

2 结束语

光折变聚合物材料经过十几年的发展,其应用已经非常广泛。除了上面所提到的应用之外,人们一直尝试光折变聚合物材料在光电子器件方面的应用,如滤波器和光开关等。但是,要使其实现器件化,降低外加电场是一个必须解决的问题,还有材料的非线性系数及稳定性等性能也有待提高。我们相信,经过努力,用光折变聚合物材料制备集成光电子器件的日子为期不远了。

参考文献:

- [1] MEERHOLZ K, VOLODIN B L, SANDALPHON, *et al.* A photorefractive polymer with high optical gain and diffraction efficiency near 100% [J]. *Nature*, 1994, 371(6497):497-500.
- [2] 郑光昭. 光信息科学与技术应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [3] VOLODIN B L, KIPPELEN B, MEERHOLZ K, *et al.* A polymeric optical pattern-recognition system for security verification [J]. *Nature*, 1996, 383(6595):58-60.
- [4] JOO W J, CHOI C S, MOON I K, *et al.* Applications of photorefractive polymer to pattern recognition [J]. *Opt Eng*, 2002, 4802:122-129.
- [5] STANKUS J J, SILENCE S M, MOERNER W E, *et al.* Electric-field switchable stratified volume holograms in photorefractive polymers [J]. *Opt Lett*, 1994, 19(18):1480-1482.
- [6] KIM W S, LEE J W, PARK J K. Enhancement of the recording stability of a photorefractive polymer composite by the introduction of a trapping layer [J]. *Appl Phys Lett*, 2003, 83(15):3045-3047.
- [7] DAY D, GU M. Use of two-photon excitation for erasable-rewritable three-dimensional bit optical data storage in a photorefractive polymer [J]. *Opt Lett*, 1999, 24(14):948-950.
- [8] 李剑平, 李栋. OCT 技术在发育生物学中的应用 [J]. *应用光学*, 2005, 26(2):60-64.
- [9] DEAN P, DICKINSON D P, WEAT D P. Full-field coherence-gated holographic imaging through scattering media using a photorefractive polymer composite device [J]. *Appl Phys Lett*, 2004, 85(3):363-365.
- [10] YE Zhi-cheng, ZHENG Jun, LIU Da-he, *et al.* Structures of photonic crystals and band gaps in volume hologram [J]. *Phys Lett: A*, 2002, 299:313-317.