

文章编号 : 0253-2239(2001)10-1190-04

光色效应(Fe, Mn):LiNbO₃晶体非挥发性全息存储中 自衍射效应的实验研究*

刘德安 刘立人 刘友文 周常河

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

徐良瑛

(中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 200050)

摘要: 在双掺杂(Fe, Mn):LiNbO₃晶体光色效应非挥发性全息存储实验中, 观测到光束耦合作用导致的自增强和自衰减效应。根据这种自衍射效应, 归纳了四种记录和光固定实验组合方案。实验结果表明, 在记录和光固定过程中利用自增强效应得到的最高衍射效率为利用自衰减效应得到的衍射效率的两倍左右, 说明在实际应用中必须考虑和利用自增强效应。

关键词: (Fe, Mn):LiNbO₃晶体; 光色效应; 光束耦合; 自衍射

中图分类号: O438.1 文献标识码: A

1 引 言

LiNbO₃晶体以其易生长、体积大和较好的光学均匀性等优点成为一种重要的全息数据存储材料而得到了广泛应用。但在读取过程中读出光对全息的擦除一直是实际应用中的一个需要解决的关键问题。近期, Buse 等人采用双掺杂(Fe, Mn):LiNbO₃晶体实现了光色效应非挥发性全息存储并取得了突破性进展^[1]。(Fe, Mn):LiNbO₃晶体中掺入铁离子(浅能级中心)和锰离子(深能级中心), 同以前的(Fe, Mn):LiNbO₃实验比较^[2], 关键在于用红光记录全息的同时利用均匀紫外光来照明晶体中要记录的部位, 保持了记录过程中晶体对红光的灵敏性, 从而有效地实现了电子从浅能级中心向深能级中心的转移, 大大提高了深能级中的内电场。该记录方案除具有高衍射效率和较小的散射等优点外, 还同时实现了记录和固定的全光过程, 可在全息存储和微光学三维集成系统等光学信息处理中得到广泛应用, 并已作为一个研究热点在理论和实验中进行了大量研究^[3-6]。

我们在(Fe, Mn):LiNbO₃晶体光色效应非挥发性全息存储的实验研究基础上^[7], 进一步发现全息

记录和光固定过程中在不同的光轴取向向下最终记录和固定得到的稳态衍射效率之间存在一定的差异。这种现象实质上是由于不同光轴方向对应的光束耦合作用不同, 导致了自增强或自衰减效应^[8-10]。为进一步研究这种光束自衍射效应, 我们在两记录光光束比一定的条件下设计了四种记录和固定方案。结果表明, 在光色效应(Fe, Mn):LiNbO₃非挥发性全息存储中必须考虑利用自增强效应来提高最终记录和固定的衍射效率。

2 实验原理

如图 1 所示, 光色效应(Fe, Mn):LiNbO₃晶体中 Fe 作为浅能级中心以 Fe³⁺ 和 Fe²⁺ 存在, Mn 作为深能级中心以 Mn³⁺ 和 Mn²⁺ 存在。紫外光可以同时激发浅能级中 Fe²⁺ 的电子和深能级中 Mn²⁺ 的电子到导带中, 然而, 红光只能激发浅能级中 Fe²⁺ 的电子到导带中。

一般地, 这种(Fe, Mn):LiNbO₃晶体光色效应非挥发性全息存储有三个步骤:

1) 预敏化过程: 用均匀紫外光照射晶体, 使电子通过导带从 Mn²⁺ 激发到 Fe³⁺ 中去, 以增加晶体对记录红光的灵敏度;

2) 红光记录过程: 在紫外光继续照射的同时, 用干涉调制的红光入射晶体, 周期性干涉光强同时

* 国家自然科学基金(69837020)资助课题。

收稿日期 2000-06-29; 收到修改稿日期 2000-08-30

在锰离子和铁离子中形成空间电荷场,并通过线性电光效应形成相位光栅;

3) 红光固定过程:关闭紫外光,只用一束红光照射晶体,消除铁离子中的内电场,保留对红光不敏感的锰离子内电场。保留下来的光栅对红光是不可擦除的,从而实现非挥发性全息存储。

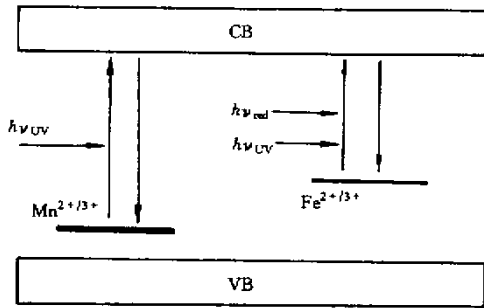


Fig. 1 Energy-band diagram of (Fe, Mn): LiNbO₃ crystal, where CB and VB represent conduction band and valance band respectively

图 2 给出了(Fe, Mn):LiNbO₃晶体光色效应非挥发性全息存储的实验装置示意图。按图中所示的晶体光轴取向(本文定义为对光束 1 的 +c 方向),

由于光束耦合效应光束能量将从光束 1 转移到光束 2,记录过程中如果光束 1 的初始光强大于光束 2 的初始光强,由于耦合效应两光束形成的干涉调制度乃至记录的光栅就会越来越大直至达到稳态值,这种情况下称之为自增强记录。反之,当晶体光轴倒转方向时(对光束 1 的 -c 方向),能量将从光束 2 转移到光束 1,如果初始光强比不变,光强干涉调制度就会越来越小,此时出现自衰减记录。在两种光轴方向设置下如果改变两光束的光强比,记录过程中也会出现相反的自衍射现象。光固定过程中如果用图示中的光束 1 读出固定,透射光和衍射光的干涉条纹同样地在深能级和浅能级中同时形成新的动态耦合光栅,并且该新光栅与原记录光栅之间相位移动为零,从而深能级中总的固定下来的光栅及其衍射效率得到加强,因此称为自增强固定;相反,当用光束 2 读出固定时,形成的新动态耦合光栅与原记录光栅之间有 180°的相位移动,从而减弱了深能级中光栅的幅度并使其衍射效率减小,相应地称为自衰减固定。这种记录和固定过程中的产生自衍射的光强比必要条件由表 1 给出。

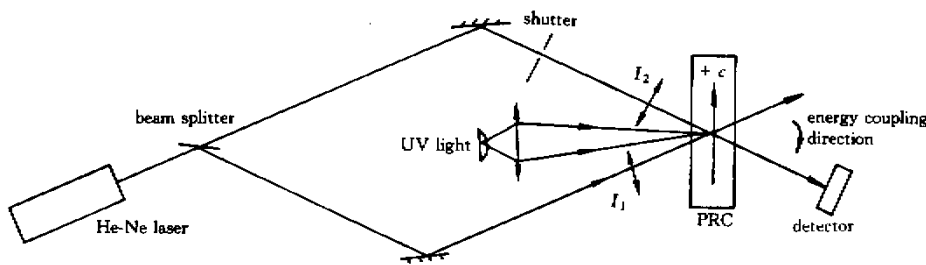


Fig. 2 The apparatus for (Fe, Mn):LiNbO₃ crystal photochromic nonvolatile holographic storage

Table 1. The conditions of beam ratio for different self-diffraction

processing phases	conditions	directions of c-axis(to beam 1)	
		+ c	- c
recording phase	$I_{10}/I_{20} < 1$	self-depletion recording	self-enhancement recording
	$I_{10}/I_{20} > 1$	self-enhancement recording	self-depletion recording
fixing phase	I_1	self-enhancement fixing	self-depletion fixing
	I_2	self-depletion fixing	self-enhancement fixing

于是,在两记录光光束比一定的条件下可以有四种记录和固定组合方案:自增强记录和自增强固定、自增强记录和自衰减固定、自衰减记录和自增强固定以及自衰减记录和自衰减固定。

3 记录和光固定过程中自衍射效应的实验观察

按照图 2 所示的实验装置,对(Fe, Mn):LiNbO₃晶体光色效应非挥发性全息存储的四种组

合进行了实验研究。

首先按图 2 中光轴设置方向(对光束 1 的 +c 方向)用均匀紫外光对要记录的晶体部位进行 1 小时的预敏化,然后两束干涉调制的记录红光以 30° 的夹角对称入射到晶体中,其中光束 1 和光束 2 的光强分别为 6.5 mW 和 3.7 mW,并且继续用均匀紫外光照射晶体进行全息记录。记录过程中每隔 2 分钟关闭光束 2,用光束 1 来读出测量光栅的衍射效率,直至达到稳定记录。

在这里衍射效率定义为衍射光与入射光的光强比。实验过程中,首先在按上述步骤在 +c 方向下进行自增强记录得到一个稳定光栅,只用光束 1 读出进行自增强固定,然后沿光轴方向平行移动晶体,在晶体的另一部位按原记录条件记录同样的一个稳定光栅,不同的是用光束 2 读出进行自衰减固定。

记录和固定过程中衍射效率的变化由图 3 中的 a-a₁ 和 a-a₂ 两条曲线给出。需要指出的是记录过程中两个相同光栅的衍射效率变化曲线基本重合,所以图中只给出了其中的一条记录曲线。

倒转图 2 中的晶体,按同样的步骤在 -c 方向下利用自衰减效应记录另外两个稳定光栅,其实验曲线由图 3 中的 b-b₁ 和 b-b₂ 给出。在曲线 a-a₁ 和 b-b₁ 中,最初由于新光栅的形成使总的光栅乃至衍射效率呈递增趋势,然后随着浅能级中光栅的逐渐擦除,衍射效率呈递减趋势并达到一个稳定值,这说明在深能级中已经固定了一个对红光不敏感的光栅。图中 a-a₁ 与 a-a₂ 以及 b-b₁ 与 b-b₂ 的稳定值的差别,正是由于新光栅的深能级部分使原光栅得到加强和降低而形成的。

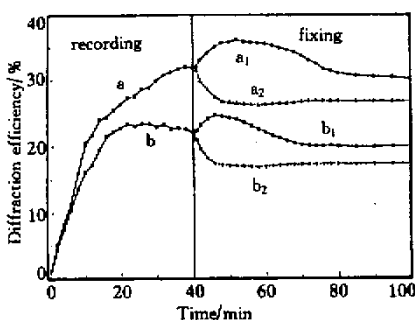


Fig. 3 The experimental curves for the self-enhancement and self-depletion effect in the phases of recording and fixing. Curve a: self-enhanced recording; b: self-depleted recording; a₁, b₁: self-enhanced fixing; a₂, b₂: self-depleted fixing

四种方案下所取得的最终衍射效率分别为

30.0%、26.7%、20.0%和 17.0%。可见,最大衍射效率为最小值的两倍左右。

实验中所用的样品是用 Czochralski 法生长并经氧化处理的 LiNbO₃ 单晶,其掺杂为 Fe₂O₃(质量分数为 1.5×10^{-3})和 MnO(质量分数为 10^{-4}),晶体厚度为 2 mm。75 W 的球形超压汞灯,用透紫色的滤光片滤光后经会聚透镜聚焦作为非偏振的紫外光源(365 nm),20 mW 的偏振氦氖激光器(633 nm)提供了两束直径为 2.5 mm 的非寻常偏振记录光 I₁ 和 I₂。

结论 研究了(Fe, Mn):LiNbO₃光色效应非挥发性全息存储中的自衍射效应,在一定的光束比条件下设计了四种记录和光固定组合方案。实验结果表明,自增强记录和自增强固定得到的最大衍射效率为自衰减记录和自衰减固定得到的衍射效率的两倍左右。因此得到一个有应用价值的结论:要达到最高的衍射效率,在记录和光固定过程中必须考虑和应用自增强效应。

参 考 文 献

- [1] Buse K, Adibi A, Psaltis D. Non-volatile holographic storage in doubly doped lithium niobate crystals. *Nature*, 1998, **393**(18): 665~668
- [2] Stabler D L, Phillips D. Hologram storage in photochromic LiNbO₃. *Appl. Phys. Lett.*, 1974, **24**(6): 268~270
- [3] Adibi A, Buse K, Psaltis D. Multiplexing holograms in LiNbO₃:Fe:Mn crystals. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(10): 652~654
- [4] Adibi A, Buse K, Psaltis D. Effect of annealing in two-center holographic recording. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **74**(25): 3767~3769
- [5] Liu Y, Liu L, Zhou C. Prescription for optimizing holograms in LiNbO₃:Fe:Mn. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(8): 551~553
- [6] Adibi A, Buse K, Psaltis D. Sensitivity improvement in two-center holographic recording. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(8): 539~541
- [7] 刘友文, 刘立人, 周常河等. 光色效应双掺杂(Fe, Mn):LiNbO₃的光折变全息存储. *光学学报*, 1999, **19**(10): 1437~1438
- [8] Stabler D L, Amodi J J. Couple-wave analysis of holographic storage in LiNbO₃. *J. Appl. Phys.*, 1972, **43**(3): 1042~1049
- [9] Gaylord T K, Rabson T A, Tittel F K *et al.*. Self-enhancement of LiNbO₃ holograms. *J. Appl. Phys.*, 1973, **44**(2): 896~897
- [10] Segev M, Kewitsch A, Yariv A *et al.*. Self-enhanced diffraction from fixed photorefractive gratings during coherent reconstruction. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**(9): 907~909

Experimental Study on Self-Diffraction Effect During Photochromic Nonvolatile Holographic Storage in (Fe,Mn):LiNbO₃ Crystals

Liu De'an Liu Liren Liu Youwen Zhou Changhe

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800*)

Xu Liangying

(*Shanghai Institute of Silicate, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050*)

(Received 29 June 2000 ; revised 30 August 2000)

Abstract : The self-enhancement and self-depletion phenomena originated from the beam-coupling effect are observed in photochromic (Fe,Mn):LiNbO₃ nonvolatile holographic storage experiments. Based on this self-diffraction effect, four kinds of recording and optical-fixing procedures are set up. The experimental results show that the highest diffraction efficiency available from the self-enhancement may be twice of the lowest one from the self-depletion, both during the recording and fixing phases. Therefore, the use of the self-enhancement is necessary for the practical applications.

Key words : (Fe,Mn):LiNbO₃ crystal ; photochromic effect ; beam-coupling ; self-diffraction