

# Ce-Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 全息照相 性能与应用研究\*

何雪梅 唐元汾 方轩朗 徐良瑛

(中国科学院上海硅酸盐研究所)

## 提 要

本文报导 Ce-Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 单晶的全息照相性能及某些应用试验的结果。晶体组分配比、Ce 杂质含量、曝光功率及晶面取向等因素都对全息照相性能有影响。Ce-Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 的最高衍射效率可大于 90%；当衍射效率为 10% 时，曝光量为 14 毫焦耳/厘米<sup>2</sup>。用 Ar<sup>+</sup> 激光记录时，光存储灵敏度较高，用 He-Ne 激光亦可记录、读出和擦除。

## Investigation on holographic properties and application of Ce-Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>

He Xuemei Tang Yuanfeng Fang Xuanlang Xu Liangying

(Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica)

## Abstract

This paper reports on the results of the investigation of the holographic properties and some application experiments of Ce-Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> single crystals. The factors such as the composition of crystal, the contents of Ce dopant, the exposure level and the orientation of crystal face have influences on the holographic properties. Maximum diffraction efficiency of Ce-SBN is over 90%. An exposure level is 14mj/cm<sup>2</sup> with an efficiency of 10%. As recorded with an Ar<sup>+</sup> laser, the optical storage sensitivity of the crystal is higher, and a He-Ne laser can be used for recording, reading and erasing.

## 一、引 言

铌酸锶钡 (Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) 单晶具有电光和热电效应，电光调制半波电压低、热电系数高、响应速度快。利用它的电光性进行全息照相，具有高的光存储灵敏度。用不掺杂的 SBN 晶体进行光存储，所得的重现图象的

衍射效率低；用作全息照相时，在晶体上外加高压电场，虽然可提高记录灵敏度和衍射效率<sup>[1]</sup>，但效果并不显著。在外加电场(6 千伏/厘米)进行多次反复全息照相试验中，观察到晶体原有的缺陷越来越扩展，使全息照相的噪声增大。

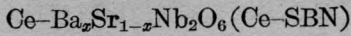
收稿日期：1979 年 11 月 29 日。

\* 本所铌酸锶钡晶体研究组提供晶体。

我们在 Fe-LiNbO<sub>3</sub> 全息照相性能与应用研究的基础上,也采用了掺杂来提高 SBN 晶体的记录灵敏度及衍射效率,取代外加电场的方法,使 SBN 晶体获得了高的灵敏度及衍射效率,反复使用性能也不会变坏。

## 二、全息照相及其装置

用于全息照相性能研究的



晶体是用熔体提拉法沿 *c* 轴方向生长的,  $\alpha$  值为 0.25~0.52, Ce 杂质是以 CeO<sub>2</sub> 形式掺入原料中,其含量为 0.05~0.20% (重量比)<sup>[2]</sup>。所得晶体按不同取向沿 *c* 轴切片,磨制成 1~2 毫米厚的抛光片;在 <001> 方向两端涂上银电极,在高于居里温度 10°C 的温度下,以 10 千伏/厘米直流电进行极化处理,然后供性能测试。

全息照相实验采用两种光学系统,一种是傅里叶全息照相系统,如图 1 所示,所记录的信息要求是透光或记录不透明物体的影象;另一种是漫反射菲涅耳立体全息照相系统,如图 2 所示,这种系统可以得到与被拍摄物体完全相同的立体图象。

由于 Ce-SBN 晶体对 Ar 离子激光特别敏感,记录的全息图用 Ar 离子激光读出时,易被擦除。因此在记录时,用 He-Ne 激光进行监视,用 *x-y* 函数记录仪记录全息照相的写入和擦除过程。用于全息照相的晶片,其 *c* 轴取水平位置,并使其置于物光束与参考光束构成的平面内,光束的偏振方向垂直

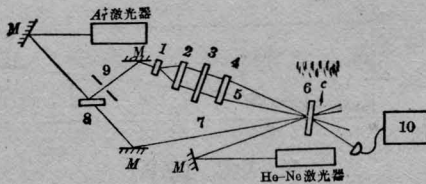


图1 傅里叶全息照相光路简图

M—反射镜 1—扩束器 2—准直器 3—信号板  
4—转换透镜 5—物光束 6—铌酸锶钡晶体  
7—参考光束 8—分束器 9—快门 10—检测系统

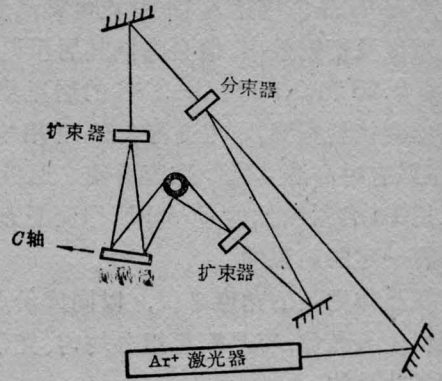


图2 漫反射全息照相光路简图

于晶体的 *c* 轴。物光束与参考光束的夹角为 30~60°, 二光束的强度比例为 1 比 2~3。

## 三、SBN 晶体全息照相性能

### 1. Ba 与 Sr 配比与光存储性能的关系

Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 晶体中的 Ba 与 Sr 的配比对其电学性能有明显的影晌,随着

$$\alpha = 0.25 \sim 0.75,$$

居里温度则由 60° 变到 120°C。而在全息照相性能方面,也因 Ba 与 Sr 的配比不同而有差异,图 3 为 CeO<sub>2</sub>=0.10 重量%的 Ce-SBN 的  $\alpha$  值与衍射效率的关系曲线。从图 3 可见,  $\alpha$  值为 0.44 的 Ce-SBN 晶体的衍射效率较高,  $\alpha$  为 0.25、0.33 及 0.48 和 0.52 的衍射效率都较低。

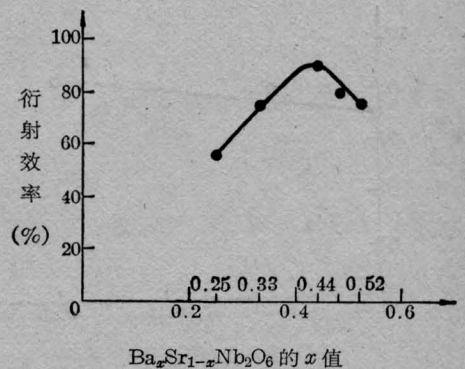


图3 Ce-SBN 的  $\alpha$  值与衍射效率的关系  
(CeO<sub>2</sub>=0.10 重量%)

在SBN晶体中掺入Ce杂质可提高光存储灵敏度及衍射效率,但会降低其居里温度。 $\alpha$ 值为0.25和0.33的Ce-SBN的居里温度已降低到接近室温。在进行全息照相实验时,室温有时高达32°C,这容易使之退极化,所以用Ba含量较低的Ce-SBN作全息照相材料有一定的局限性。

从晶体生长的角度来说,以同成份点组成配料生长晶体,容易获得组分均匀、光学质量较好的晶体。

总结上述因素,为了获得全息照相性能稳定的优质晶体,应采用靠近晶体同成份点组成的Ba与Sr配比较好。

### 2. Ce对SBN全息照相性能的影响

在SBN晶体中掺入适量的CeO<sub>2</sub>,可以改善其光存储性能。我们测定了SBN晶体中不同CeO<sub>2</sub>含量对全息照相衍射效率的影响,结果示于图4。从图4可见,全息照相的衍射效率随着CeO<sub>2</sub>掺入量增加而提高。这是由于随着CeO<sub>2</sub>掺入量增加,晶体在Ar离子激光波段范围内光吸收增大,这可从图5看出:随着SBN晶体中CeO<sub>2</sub>的掺入量增加,其透过率降低,即光吸收增加的实验结果得以证实。但要注意,掺杂量要以能生长出光学均匀性好的晶体为限度。

### 3. 曝光功率与光存储性能的关系

照相用的感光材料,一般都有其较适当的曝光条件。在用Ce-SBN晶体进行全息

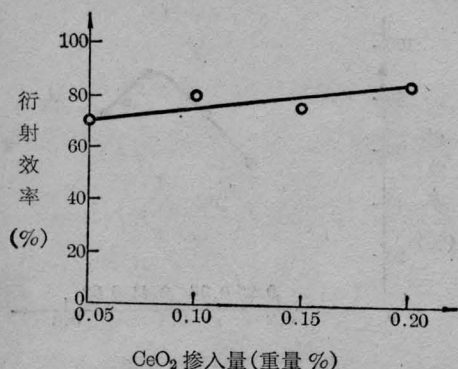


图4 CeO<sub>2</sub>掺入量与衍射效率的关系  
( $\alpha=0.48$ , 曝光功率=12毫瓦)

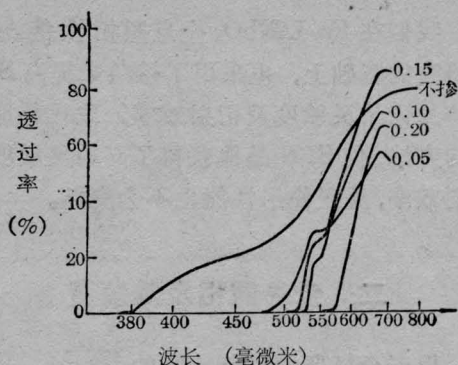


图5 CeO<sub>2</sub>掺入量不同的SBN透过率曲线  
( $\alpha=0.48$ , CeO<sub>2</sub>=0~0.20重量%)

照相实验时,观察到当采用较高的曝光功率(>40毫瓦),所得的再现图象不完整。因此有必要了解在试验条件下,用Ce-SBN晶体进行全息照相时的最佳曝光功率。为此测定了各种晶片的曝光功率对衍射效率的影响。晶片分为两组,一组是CeO<sub>2</sub>含量相同,而 $\alpha$ 值不同的SBN晶片,另一组是 $\alpha$ 值相同而

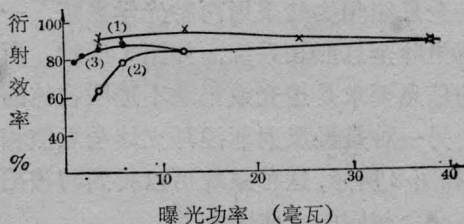


图6 曝光功率与衍射效率的关系  
(1)Ba=0.44, CeO<sub>2</sub>=0.10%; (2)Ba=0.48, CeO<sub>2</sub>=0.10%; (3)Ba=0.44, CeO<sub>2</sub>=0.20%

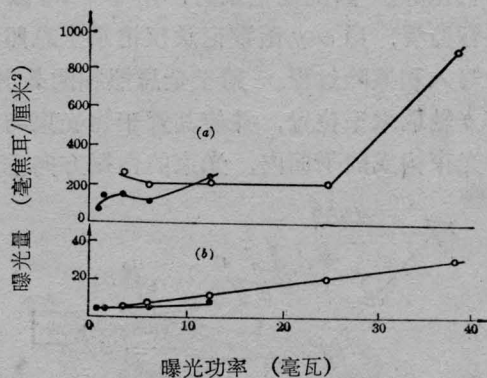


图7 Ce-SBN曝光功率与曝光量的关系  
○—Ba=0.44, Ce<sub>2</sub>O=0.10%;  
●—Ba=0.48, CeO<sub>2</sub>=0.20%。  
(a)衍射效率最大时;(b)衍射效率=10%

CeO<sub>2</sub> 含量不同的 SBN 晶片。所得结果示于图 6 和图 7。

从图 6 和图 7 可见, 不同组分配比的晶体, 各有其最佳的曝光功率范围。例如, 对  $x=0.44$  及 CeO<sub>2</sub>=0.10% 的 Ce-SBN 晶片来说, 以采用 10~24 毫瓦的曝光功率为宜, 对  $x=0.48$  及 CeO<sub>2</sub>=0.10% 的 Ce-SBN 晶片, 则以 10~20 毫瓦为宜; 而对提高了 Ce 含量的  $x=0.48$  及 CeO<sub>2</sub>=0.20% 的晶片来说, 则以 1~6 毫瓦的曝光功率为宜。从图还可看到, 对于前两种晶片用 6 毫瓦的曝光功率就可使衍射效率大于 70%; 对 CeO<sub>2</sub> 掺入量为 0.20% 的晶片则只需要 1 毫瓦左右的曝光功率, 就可使其衍射效率大于 70%, 而且它们达到 10% 衍射效率所需的曝光量更低。这说明了 Ce-SBN 晶体的光存储阈值很低。

#### 4. 晶面取向与全息照相性能的关系

SBN 晶体属四方晶系 4mm 点群, p4bm 空间群结构(钨青铜结构)。晶体用熔体提拉法沿 *c* 轴方向生长, 容易出现 6 种晶面族和 4 次对称的柱面, 是具有 24 个柱面的柱状晶体(见图 8)。我们选择其中 {100}、{110}、{120} 及 {130} 四种晶面族取样, 晶片垂直

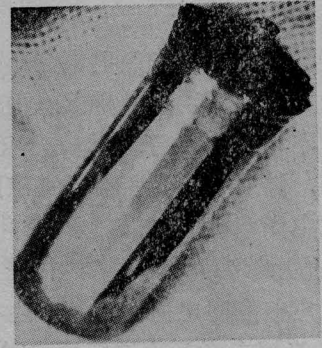


图 8 Ce-Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 单晶  
( $x=0.44$ , CeO<sub>2</sub>=0.10 重量%, 1.7×)

于 (001) 晶面沿上述四种晶面族切割, 磨制成 2 毫米厚的抛光片。以这四种晶面作为全息照相的记录面。

对  $x$  值为 0.44 及 CeO<sub>2</sub> 掺入量为 0.10 重量% 的 Ce-SBN 晶体, 分别用 12、6 和 3.4 毫瓦的曝光功率进行全息照相, 其衍射效率及曝光量的测定结果列于表 1。

从表 1 可见, 以不同曝光功率照相的三组实验得到相似的结果。当衍射效率为 10% 时, {100} 面族的曝光量最小; {100} 面族是较大的晶面, 沿此面切片可提高晶体的利用率, 因此, 沿 {100} 面族切制晶片是有利的。

表 1 掺 Ce-SBN 晶片取向与光存储性能的关系

曝光功率 (毫瓦)	测试条件		Ba <sub>0.44</sub> Sr <sub>0.56</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			
			晶面			
	内 容	单 位	100	110	120	130
12	$\eta=10\%$ 时的曝光量	毫焦耳/厘米 <sup>2</sup>	<11	11	22	14
	最高衍射效率 $\eta_m$	%	94	80	90	80
	$\eta_m$ 时的曝光量	毫焦耳/厘米 <sup>2</sup>	217	325	193	325
6	$\eta=10\%$ 时的曝光量	毫焦耳/厘米 <sup>2</sup>	<7	<13	<13	<13
	最高衍射效率 $\eta_m$	%	90	81	85	78
	$\eta_m$ 时的曝光量	毫焦耳/厘米 <sup>2</sup>	195	325	260	195
3.4	$\eta=10\%$ 时的曝光量	毫焦耳/厘米 <sup>2</sup>	7	12	14	<10
	最高衍射效率 $\eta_m$	%	92	78	78	65
	$\eta_m$ 时的曝光量	毫焦耳/厘米 <sup>2</sup>	253	288		120

## 5. 反复使用试验

用适当波长的激光照射电光晶体时,在陷阱中的电子被激发到导带上,引起自由载流子浓度不均匀。由于光伏特效应,产生电子的迁移,随后在弱光照射区被空陷阱所捕获,通过电光效应引起折射率变化<sup>[3,42]</sup>;将Ce-SBN晶片放在光干涉图案中进行曝光,则形成相应的空间电荷图案,产生相位型的全息图。当用参考光束进行读出时,伴随着擦除过程,可观察到一级衍射的再现图象逐渐衰减消失,这是由于被捕获的电子较容易重新被激发,并均匀地重新分布于整个体积内,而使全息图擦除。

SBN晶体具有上述快速记录和擦除的可逆过程的特点,但是在反复多次连续使用时,它的全息照相性能是否会变坏?为此,我们进行了在同一记录部位的反复使用试验。在掺入0.10% CeO<sub>2</sub>的Ce-Ba<sub>0.44</sub>Sr<sub>0.56</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>晶体的同一记录部位上,进行多次反复记录和擦除,用Ar离子激光进行记录,而用Ar离子激光和He-Ne激光同时读出及擦除。实验结果证明,Ce-SBN晶体经过连续十多次循环使用,其光存储性能没有变坏。

## 6. 与Fe-LiNbO<sub>3</sub>晶体比较

Ba<sub>2-x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>和LiNbO<sub>3</sub>等电光晶体具有光存储特性是以它们的电光效应为基础的,但SBN单晶的电光系数比LiNbO<sub>3</sub>的大,因此其光存储灵敏度亦相应地比LiNbO<sub>3</sub>的高。从两者的全息照相特性曲线(见图9)可清楚看出,当全息照相的衍射效率达到相同高度时,Ce-SBN晶体(曲线(a), $x=0.44$ ,CeO<sub>2</sub>=0.10重量%)需要的曝光时间比Fe-

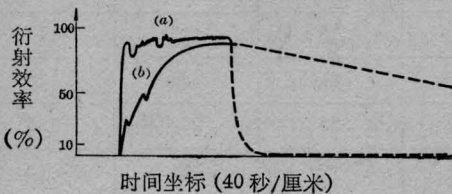


图9 Ce-SBN和Fe-LiNbO<sub>3</sub>的记录和擦除曲线  
(曝光功率12毫瓦,虚线为擦除曲线)

LiNbO<sub>3</sub>(曲线(b),Fe=0.07克分子%)需要的短得多,它们的记录灵敏度相差一个数量级,擦除灵敏度则相差二个数量级;但对Fe-LiNbO<sub>3</sub>采用相干擦除的方法<sup>[5]</sup>也可达到快速擦除的目的。

从另一角度来看,Fe-LiNbO<sub>3</sub>晶体的全息图存储寿命较长,还可作高密度存储介质,这是Ce-SBN晶体所不能及的。而Ce-SBN具有前述特点,更适宜于作随机存储器件及快速循环使用的可逆光存储介质。

分别用Ce-SBN和Fe-LiNbO<sub>2</sub>晶体进行图片的全息照相试验,所得的全息图再现图象示于图10。从图10可见,用Ce-SBN晶体也可拍摄良好的平面全息图。

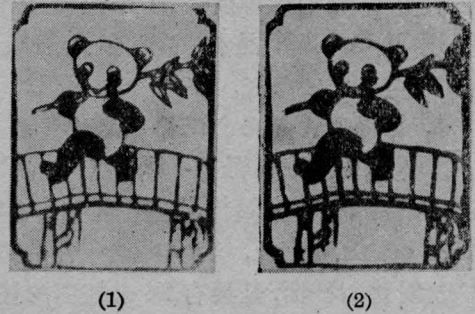


图10 记录在晶体中的全息再现图  
(1)在Ce-SBN中(2)在Fe-LiNbO<sub>3</sub>中

## 四、全息照相应用试验

由于Ce-Ba<sub>2-x</sub>Sr<sub>1-x</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>晶体的全息照相灵敏度较高,当衍射效率为10%时曝光量为14毫焦耳/厘米<sup>2</sup>;最高衍射效率可大于90%。因此,用这种晶体不仅能拍摄透光物体的平面全息图,而且可用于拍摄物体的立体全息图。用时间平均二次曝光法全息干涉照相,对橡皮碗作无损探伤试验,获得清晰的再现图像,示于图11。图11是橡皮碗的振动状态和静止状态二次曝光的全息干涉图的再现图象的照片,这显示出Ce-SBN晶体用作全息照相无损探伤记录介质的特性。由于其记录过程不需经过湿法显影和定影处



图 11 二次曝光全息干涉再现图  
(橡皮圈的振型)



图 12 用 He-Ne 激光记录的全息再现图

理,能实时记录和读出,使用简便,二次曝光重合性好,这对应用于快速多次曝光无损探伤和流场显示是极为有利的。

Ce-SBN 晶体对 He-Ne 激光也相当敏感,因此可用 He-Ne 激光进行记录和读出,曾作透光物体的全息照相试验,获得清晰的再现图象,示于图 12。

### 参 考 文 献

- [1] J. B. Thaxter *et al.*; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, No. 4, 913~924.
- [2] K. Megumi *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, **30**, No. 12, 631~633.
- [3] F. S. Chen; *J. Appl. Phys.*, 1969, **40**, 3389~3396.
- [4] J. J. Amodei *et al.*; *BCA Reviv*, 1972, **33**, 71~93.
- [5] J. P. Huigmand *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1975, **26**, No. 5, 265.

(上接第 25 页)

9,185 小时,仍在正常运转。输出功率随时间变化可见图 2 中(B)、(D)所示。

为了既能做到长寿命又不使输出功率下降,采用纯银电极,气体组分中既有 CO,也有 N<sub>2</sub>,即为 CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-CO-He-Xe-H<sub>2</sub>O,气体比例见表 1,运转寿命已达 9,207 小时,目前仍在正常运转。

同时,用纯银电极,气体组分为 CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He-Xe-H<sub>2</sub>O 的混合气体也获得了长的工作寿命,达到 10,476 小时,输出功率随时间的变化见图 2 中(B)所示。这根附加 N<sub>2</sub> 的 CO<sub>2</sub> 激光器初始功率为 30 瓦,经运转 10,476 小

时后,输出功率仍有 21 瓦。我们不但用 CO 代替 N<sub>2</sub> 后,工作寿命获得近 10,000 小时(目前仍在运转),而用 N<sub>2</sub> 后工作寿命也获得一万多小时,说明到目前为止,在采用银电极中,氮的氧化物对寿命的影响还不是主要的。

我们在制作 CO<sub>2</sub> 激光器时,管子均不进行烘烤,而是附加 H<sub>2</sub>O。附加水蒸气的作用,除了在放电成分上有催化效应外,在输出功率上也有显著的效应,这是因为 H<sub>2</sub>O 有利于 CO<sub>2</sub> 激光能级间的粒子数反转。此外,由于 H<sub>2</sub>O 加快了分解物的复合,降低了放电中 CO<sub>2</sub> 的分解量,因而对封闭型 CO<sub>2</sub> 激光器的寿命也有贡献