

# 铌酸锶钡光折变表面电磁波实验<sup>\*</sup>

张天浩 路彦珍<sup>†</sup> 康慧珍 杨大鹏 郑建亚 方哲宇 楼慈波 杨 嘉 杨会战 尹美荣

(南开大学物理科学学院光子学中心, 弱光非线性光子学材料先进技术及设备教育部实验室,

天津市信息光子材料与技术重点实验室, 天津 300071)

(2004 年 10 月 11 日收到, 2005 年 3 月 15 日收到修改稿)

在实验中观察到扩散和漂移机理下在光折变晶体铌酸锶钡(SBN)与空气的界面形成的光折变表面电磁波. 这种表面电磁波形成的条件是: 入射光束与界面成  $55^\circ$  角入射, 信号光与背景光比值越大越有利于形成表面电磁波, 外加电场越大表面电磁波就越强.

关键词: 表面电磁波, 扩散和漂移机制, SBN

PACC: 4110H, 7390, 4225G

## 1. 引 言

近年来人们从理论上预言了一种新型的非线性表面电磁波(non-linear surface electromagnetic wave, non-linear SEW)——光折变表面电磁波(photorefractive surface electromagnetic wave, PR SEW)的存在. 由于自弯曲效应, 光波被约束在光折变介质表面下一定深度并沿着表面传播不被散射, 形成表面电磁波. 光折变表面电磁波不同于光折变晶体内的电磁波的性质, 它对介质界面的性质是很敏感的. 这种非线性的光折变表面电磁波一般可在光折变晶体与空气的界面、光折变晶体与电介质的界面或光折变晶体与另一种光折变晶体的界面形成. 表面电磁波形成并稳态传播就意味着写入了表面光孤子. 光折变晶体体孤子已得到深入研究<sup>[1]</sup>, 而光折变表面电磁波的研究尚未形成一个完整的体系. 光折变表面电磁波将在表面探测和表面光子器件设计方面具有潜在的应用.

1997 年 Belyi 和 Khilo 首次提出在扩散和漂移机制下, 在大小和方向不同的外加电场下, 光折变晶体的表面可形成不同类型的表面电磁波<sup>[2]</sup>. 2001 年, Zimin 和 Petrov 分析了扩散和漂移机制下, 在各向同性介质与光折变晶体界面上的光学双稳态问题, 得出形成了光学双稳态有利于表面电磁波的形成, 并

提出此时的能量反射率将不仅仅是入射角的函数, 而且还是外加电场的函数. 达到双稳态的一个必要条件是入射角在全内反射角附近, 且在此角度附近满足光学双稳态的外加电场的阈值很小. 文章详细分析了当入射角分别小于、大于、约等于全内反射角三种不同情况下的能量反射率与外加电场的关系, 得出结论: 当外加电场增大时, 角滞后的间隔和晶体内的空间电荷场会随之急剧增大, 该场中存在孤子解, 即表面电磁波<sup>[3]</sup>. 同年, Aleshkevich, Vysloukh 和 Kartashov 从理论上证明了扩散和漂移机制下在光折变晶体与线性电介质界面处有形成表面波的可能性, 并得到这种表面波的形态<sup>[4]</sup>. 同年, Aleshevich, Kartashov 和 Egorov 也提出了扩散和漂移机制下光折变晶体与电介质界面处定域表面波的形成与稳定性问题<sup>[5]</sup>. 2002 年 Petrov 从理论上研究了在扩散和漂移机制下在光折变晶体与透明的各向同性介质的界面上形成的表面电磁波的性质, 得出在该界面处只有孤子类型的表面电磁波形成<sup>[6]</sup>. 以上这些人的工作从不同的角度在理论上证明了在扩散和漂移机制下可以形成表面电磁波.

1999 年 Smolyaninov 等人在  $\text{BaTiO}_3$  晶体与空气的界面激发了基于扩散机制下的光折变表面电磁波, 并利用近场扫描光学显微镜观察了这种光折变表面电磁波的形态<sup>[7]</sup>, 测得其光折变表面电磁波在光折变晶体表面的贯穿深度约为  $10\mu\text{m}$ . 然而通过

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(批准号 60208002)资助的课题.

<sup>†</sup> 联系作者. E-mail: lpy@mail.nankai.edu.cn

实验观察扩散和漂移机制下形成的表面电磁波,至今还尚未见报道。

本文将从实验上验证并观测在扩散和漂移机制下铌酸锶钡(SBN)晶体与空气的界面处可激发光折变表面电磁波,并在实验中得出形成表面电磁波的条件和特点。

## 2. 实验与结果

实验装置如图 1 所示。我们用波长为 532nm 的单模固体激光器(TEM<sub>00</sub>)作为光源。用分束器把入

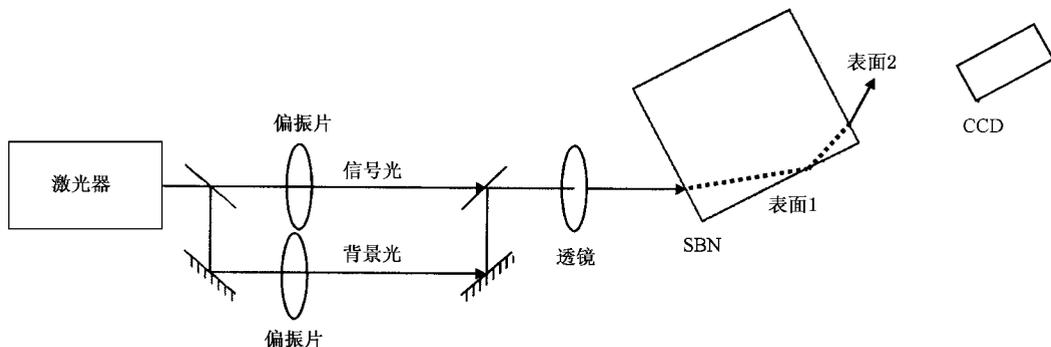


图 1 扩散和漂移机制下在 SBN 晶体与空气界面产生和观测光折变表面电磁波的实验装置图

射光以 55°左右斜入射到晶体的前表面后,在不加外电场的情况下折射到表面 1,由于全内反射,光经表面 2 透射出去。当沿 C 轴正方向加直流负电压时,基于扩散和漂移机制,光束在光折变晶体表面附近由于自弯曲效应折射到表面 1 的光波,一部分由全内反射经表面 2 透射出去,另外一部分沿表面 1 传播形成光折变表面电磁波。而当沿 C 轴正方向加直流正电压时,不能形成表面电磁波。

在晶体后通过 CCD 可以明显的观察到 SBN 表面 1 有表面电磁波产生。实验中外加电场 10min 后表面 1 与表面 2 相交的棱边处的狭长线形光斑光强有明显增强,40min 后棱边处光强基本达到稳定,不再有明显的增强现象。图 2(a),2(b),2(c),2(d),2(e),2(f)给出了不同外场强度下的实验结果:图 2(a),2(c),2(e)都是不加外场时采集的后表面的图像,图 2(b),2(d),2(f)是外加电场强度分别为 3880V/cm,5600V/cm,5800V/cm,40min 后采集的后表面的图像。如图 2(b),2(d),2(f)所示,左侧的狭长线形光斑所在处为 PR SEW 产生的位置,光斑的平均相对强度分别为 189,227,253。由实验结果可以看出,外加电场强度越大表面波越强。

射光分为两束。其中信号光是一束非寻常偏振的光,背景光是一束均匀的寻常偏振光。为了便于表面电磁波的形成,我们把信号光的强度调整为背景光光强的 170 倍左右。这两束光经透镜 L<sub>1</sub> 会聚后斜入射到晶体上。透镜 L<sub>1</sub> 的作用是使得入射到晶体上的信号光的光束直径达到 μm 级。实验中用到的晶体是 7.6mm×6.9mm×5mm 的 SBN。晶体的 C 轴方向垂直纸面。沿晶体的 C 轴方向加直流电压。极板尺寸与晶体上表面相等,并用银胶将二者粘接。在晶体后用一 CCD 对晶体后表面成像。实验中外加电场对 CCD 的工作状态没有影响。

## 3. 分 析

我们发现信号光与背景光的光强的比值越大,越有利于表面波的形成。比值较小时在实验中不能观察到表面波;当其比值为 170 左右时可以明显的观察到表面波。

在实验中另一个需要重视的条件是光的入射角。由于非寻常偏振光入射到晶体时不满足折射定律,所以由理论不容易计算出理想的入射角度。在光束在表面 1 发生全内反射的前提下,经过反复实验摸索,我们发现在入射光束与界面成 55°角入射时才能观察到表面波,即入射角必须在全内反射角附近。并且在此角度下,所加的外电场强度越大,表面波的光强越大。入射的角度的偏差不能大于 ±1°,否则无论加多大的电场也不能观察到表面波。实验结果证明能量反射率不仅是入射角的函数也是外加电场的函数。以上由实验得出的结论与 2001 年 Zimin 和 Petrov 的理论分析结果符合得很好。不同之处在于 Zimin 和 Petrov 认为在全内反射角附近的外加电场的阈值的变化范围很小,而实验中在全内反射角附近的外加电场的可变范围很大。由图 2(b),

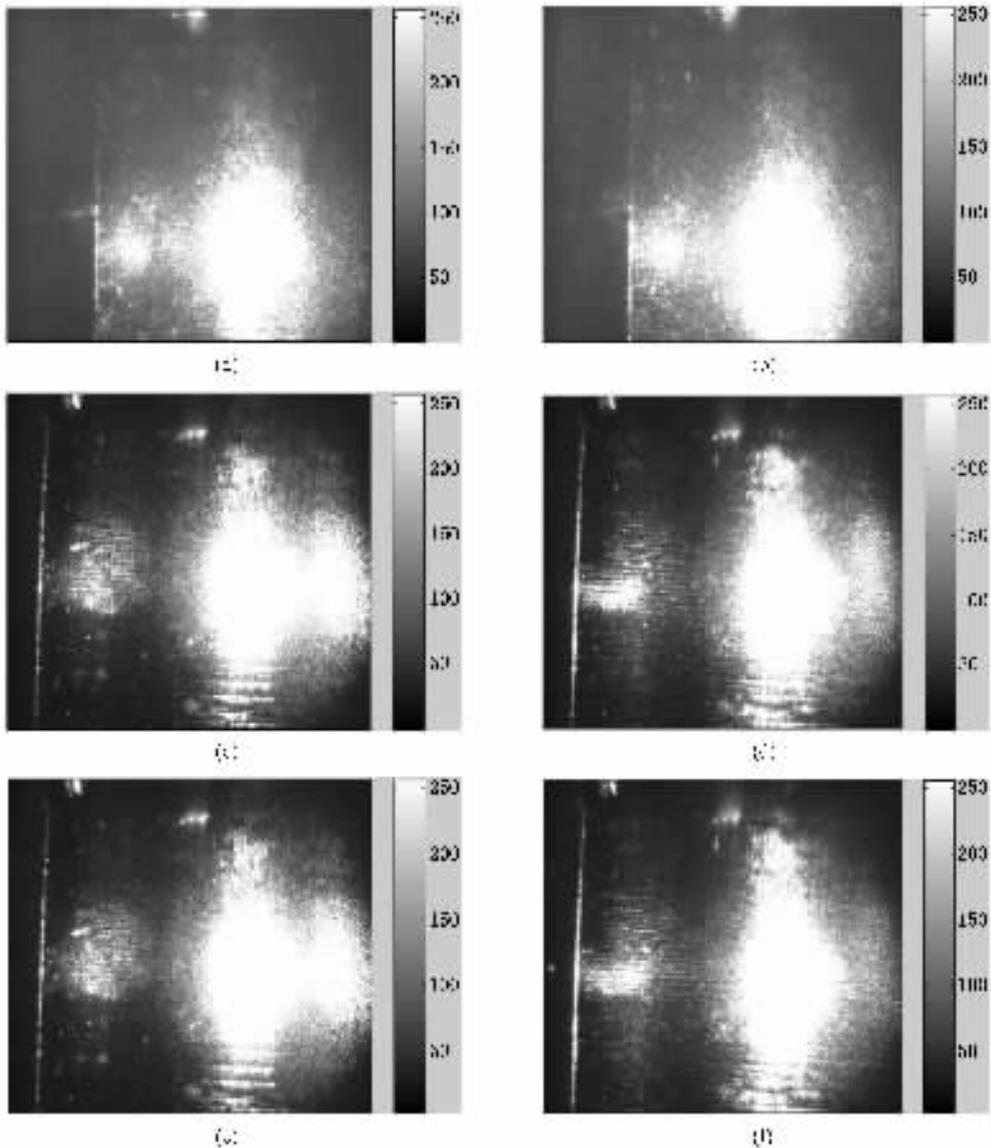


图2 SBN与空气界面形成的光折变表面电磁波 (b)(d)(f)中左侧的狭长线形光斑为PR SEW产生的位置。(a)(c)(e)为无外加电场后表面图像 (b)(d)(f)是外加电场强度分别为3880V/cm,5600V/cm,5800V/cm 40min后的后表面图像,狭长线形光斑的相对强度分别为242,251,253

(d)(f)可以看出表面波的光强随外加电场的增大而增大,其电场的变化范围是很大的。

需要指出的是,多次实验结果表明:沿C轴正向加直流负压40min后后表面棱边处光强达到稳定。这里的时间是表面电磁波开始形成直到达到稳定所需要的时间,而不是扩散和漂移过程的时间。与体孤子不同,光折变表面电磁波的形成来源于在表面1处全反射的光能量的部分转移,而体孤子的形成包括全部入射光束能量。界面处在光照开始时没有光折变表面波,在扩散-漂移作用下随着光生载流子不断向界面处迁移,逐渐形成折射率梯度,部分

光能量转移并被约束到界面。与体孤子光照处开始就有较强光能量存在不同,光折变表面波是一个光能量从无到有的过程。光能量的转移是一个正反馈的过程,光能量的不断转移伴随折射率梯度的逐步增大,而逐步增大的折射率梯度更有利于光束的自陷,并最终达到稳态形成光折变表面波。与体孤子相比较由于初始状态下光能量不同,因而光生载流子的数密度也不同,所以光折变表面波的形成过程和与之伴随的折射率梯度的构建过程需要更长的时间。所以一般在SBN中形成体孤子需要几分钟,而在我们的实验中观察到形成表面波的过程需要几十

分钟. 另外, 在不同的电压下形成稳定的光折变表面电磁波波所需时间大致相同.

## 4. 结 论

首次从实验上验证观测到在扩散和漂移机制下

光折变表面电磁波的存在. 但是由于入射光波转化为表面电磁波的效率不高, 需要对实验条件和介质性质的进一步改进和优化. 我们将在以后的工作中进一步深入研究. 对于光折变表面电磁波的研究将有可能在表面探测技术和表面光子器件的开发等方面得到应用.

- 
- [ 1 ] She W L and Li R J 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 2166 ( in Chinese )  
[ 余卫龙、李荣基 2001 物理学报 **50** 2166 ]
- [ 2 ] Belyi V N and Khilo N A 1997 *Tech. Phys. Lett.* **23** 467
- [ 3 ] Zimin A B and Petrov N S 2001 *Optics and Spectroscopy* **90** 896
- [ 4 ] Aleshkevich V, Vysloukh V and Kartashov Y 2001 *Optical and Quantum Electronics* **33** 1205
- [ 5 ] Aleshkevich V, Kartashov Y and Egorov A 2001 *Phys. Rev. E* **64** 056610
- [ 6 ] Petrov N S 2002 *Optics and Spectroscopy* **93** 84
- [ 7 ] Smolyaninov I I and Davis C C 1999 *Opt. Lett.* **24** 1367

## Experiment on PR SEW of SBN crystal<sup>\*</sup>

Zhang Tian-Hao Lu Yan-Zhen<sup>†</sup> Kang Hui-Zhen Yang Da-Peng Zheng Jian-Ya

Fang Zhe-Yu Lou Ci-Bo Yang Jia Yang Hui-Zhan Yin Mei-Rong

( *Photonics Research Center, The MOE Key Laboratory of Advanced Technique and Fabrication for Weak-Light Nonlinear Photonics Materials, and Tianjin Key Laboratory of Photonics Materials and Technology for Information Science, Nankai University, Tianjin 300457, China* )

( Received 11 October 2004 ; revised manuscript received 15 March 2005 )

### Abstract

Photorefractive surface electromagnetic wave ( PR SEW ) at the interface between SBN crystal and air based on drift and diffusion mechanism was observed experimentally for the first time. PR SEW can be formed when laser beam was incident at an angle of 55° in proper ratio of signal beam to background beam, and the intensity of PR SEW increases along with the increasing of additional electric field.

**Keywords** : Photorefractive surface electromagnetic wave ( PR SEW ), drift and diffusion mechanism, SBN

**PACC** : 4110H, 7390, 4225G

---

<sup>\*</sup> Project supported by the National Natural Science Foundation of China ( Grant Nos. 60208002 ).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail : lpy@mail.nankai.edu.cn