

文章编号:1007-2780(2009)06-0818-05

平行排列向列相液晶的导波研究

李志广^{1,2}, 叶文江¹, 郭婷婷¹, 张志东¹, 檀润华²

(1. 河北工业大学 理学院, 天津 300401, E-mail: zhglee@hebut.edu.cn;

2. 河北工业大学 机械工程学院, 天津 300130)

摘 要: 基于透镜扩束系统, 应用棱镜耦合技术对液晶层的全漏导模特性进行了研究。采用盒厚为 $4.6\ \mu\text{m}$ 的平行排列向列相液晶盒, 其内灌注 E7 液晶, 通过实验给出了平行排列向列相液晶薄层的导波图, 进而将实验结果与理论模拟结果进行了比较, 理论所预言的液晶波导的导模在实验的导波图上得到了很好的验证。

关 键 词: 向列相液晶; 透镜扩束系统; 导波; 导模; 波导

中图分类号: O753+.2 **文献标识码:** A

1 引 言

导波光学器件不仅在光信号的传输及处理方面有很大作用, 在信号获取方面的功能也日益受到人们的重视^[1]。液晶薄层指向矢排列的变化会对光波导中光的传输特性(光强、相位、偏振方向及波长等)产生影响, 可用来对液晶薄层的信息进行传感^[2,3]。当光束射入液晶层时, 就会在其中激发出一系列分离的模式(量化波导动量), 这些模的光谱依赖于薄层中折射率的分布^[4], 通过深入研究导模光谱, 就能得到薄膜的光学性质的详细情况。信息的获取在现代社会中的重要性日益增长, 导波方法获取介质特性的研究开发工作也是导波光学应用的热点之一。

平行排列液晶盒有着广泛的应用, 例如对光波的纯相位调制等^[5]。研究液晶在基板上的锚定问题时, 包括锚定的方向(预倾角)和锚定强度^[6,7], 平行排列液晶盒也起着重要的基础作用。液晶指向矢的变化受很多因素的影响^[8], 而液晶层导波结构对液晶指向矢的变化非常敏感, 通过对导波图的分析可获取影响液晶指向矢排列因素的更详细的信息。

本文通过光学导波方法研究了平行排列向列相液晶盒的波导结构, 通过实验给出了平行排列向列相液晶薄层的导波图, 进而将实验结果与理

论模拟结果进行了比较, 理论所预言的液晶波导的导模在实验的导波图上得到了很好的验证。

2 原 理

平面几何波导的结构主要由 3 部分组成: 覆盖层(折射率为 n_c)、薄膜层(折射率为 n_g)和衬底(折射率为 n_s), 如图 1 所示。要求 $n_g > n_s$ 且 $n_g > n_c$, 为了进一步讨论, 假设 $n_s > n_c$, 因此有 $n_g > n_s > n_c$ 。这里考虑的情况是: 一束平面光以入射角 β 射到界面上, 并在薄膜中传播, 由 Snell 定律, 在上下界面发生全反射的临界角分别为:

$$\beta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_c}{n_g}\right) \quad (1)$$

$$\beta_s = \sin^{-1}\left(\frac{n_s}{n_g}\right) \quad (2)$$

其中 $\beta_s > \beta_c$ 。入射角 β 取不同范围的值, 对应有 3 种不同的“Z”字型路径, 如图 1 所示。当 $\beta_s < \beta < \pi/2$ 时, 如图 2(a)所示, 光线在上下界面处均发生全反射, 这种情况称为全导模式; 当 $\beta_c < \beta < \beta_s$ 时, 如图 2(b)所示, 光线只在上界面处发生全反射, 部分导模的能量从下界面处辐射到衬底, 这种类型的波导称为半漏波导模式; 当 $\beta < \beta_c$ 时, 如图 2(c)所示, 导模的能量将从上下界面处分别向覆盖层和衬底辐射, 这种模式称为全漏波导模式。相应地, 应用棱镜耦合方法, 有 3 种导模几何光学研究薄膜波导, 本文所用的是全漏导模几何光学。

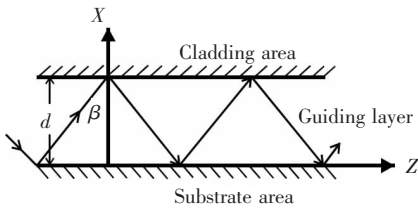


图 1 导波结构简图
Fig. 1 Waveguide geometry

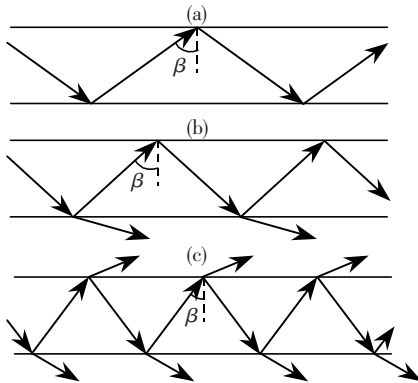


图 2 平板波导的 3 种导波模式。(a)全导模式;(b)半漏导波模式;(c)全漏导波模式。
Fig. 2 Three guided modes in a planar waveguide. (a) full guided mode; (b) half-leaky guided mode; (c) fully-leaky guided mode.

夹在两块平行锚泊的玻璃基板之间的液晶可以形成液晶波导,光在其间传播形成导波。首先,实验研究全漏波导模式下液晶层的导波结构^[2]。液晶全漏导模的几何结构如图 3 所示,主要包括玻璃棱镜、液晶盒和匹配液。液晶盒上下玻璃基板分别用相应的匹配液(其折射率与相接触的的玻璃棱镜的折射率相同)与玻璃棱镜形成耦合,使光在不同的介质界面上不发生偏折,经玻璃棱镜折

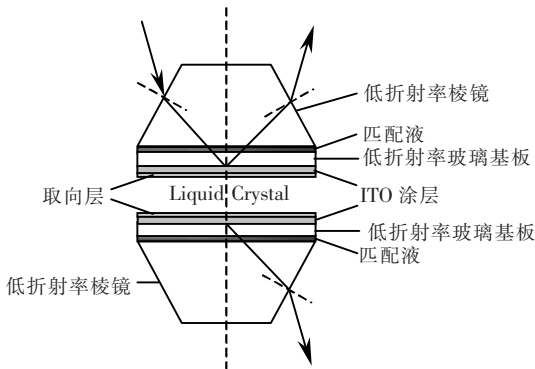


图 3 液晶全漏导模的几何结构
Fig. 3 Geometry of fully-leaky guided mode of liquid crystal

射后直线入射到液晶层上。光在液晶层中的传播发生全反射而形成导波,同时由于出现在上下基板的消逝波的耦合,液晶层导波光线可以由上下棱镜射出,分别对应反射和透射的导模光线。改变光线的入射角度(通过旋转导模结构实现),可以把完整的液晶层导模图记录下来。实验中,可以通过透镜扩束系统实现一定角度范围的入射光束,使用成像屏把导模图承接下来。这里只是针对反射情况下的导模图进行了实验和理论分析。

3 实 验

实验装置如图 4 所示,主要包括 He-Ne 激光器(632.8 nm)、透光孔、偏光片(3 片)、1/4 波片(632.8 nm)、 θ -2 θ 转台、凸透镜 1($f=1$ cm)、凸透镜 2($f=15$ cm)、屏和全漏导模系统。全漏导模系统所采用的液晶盒是平行排列向列相液晶盒,盒厚为 4.6 μm ,灌注的液晶是 E7。E7 液晶由 4 种液晶单体混合而成,包括 7CB、5CB、8CB 和 5CT。

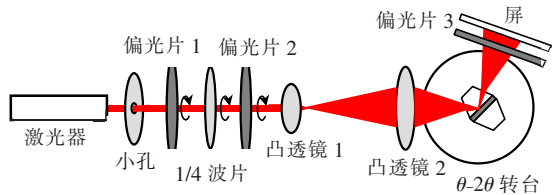


图 4 实验装置图
Fig. 4 Schematic of the experimental installation

主要实验步骤如下:

- ①首先在平台放上小孔,调节激光器位置,使光束能在小孔位于导轨上前后不同位置时均能通过小孔,这样光束就成为水平平行光束入射到转台上的棱镜侧面;
- ②把偏振片和 1/4 波片放在平台上,并调节二者使投射光为圆偏振光;
- ③调节光束射在棱镜表面的入射角,按照布儒斯特定律,检测出偏光片 2 的平行于棱镜入射面的偏振方向(p 偏振方向)和垂直于棱镜入射面的偏振方向(s 偏振方向)所对应的角度位置;
- ④调节凸透镜 1 的镜心位置,使得光线透过镜心;
- ⑤调节凸透镜 2,使穿过凸透镜 1 的全部光线落在凸透镜 2 上,最大光斑落在凸透镜 2 的镜心位置;

⑥调节凸透镜 1、2 及 θ -2 θ 转台位置,使穿过凸透镜 2 的光焦点落在液晶层中心(通过检测出焦点位置后移动透镜 2 并结合成像屏上的导波图),这样做是为了得到尽可能大的角度范围的入射光束射到液晶层薄膜上,从而在成像屏上能够获得尽可能多的导波峰。

4 结果与讨论

应用多层光学理论和向列相液晶的连续体弹性理论^[9,10],通过计算机程序进行模拟,可以得到液晶层全漏导模的反射率 R_{pp} (偏光片 2 和偏光片 3 的偏振方向均为 p 偏振方向)和 R_{ss} (偏光片 2 和偏光片 3 的偏振方向均为 s 偏振方向)。在模拟过程中,假设均匀的线偏振光入射(p 光或 s 光),角度变化范围是 $60\sim 75^\circ$ (实验中经过透镜扩束系统后的入射光的角度范围约为 $60\sim 75^\circ$)。图 5 给出了不同盒厚($4.4\ \mu\text{m}$, $4.5\ \mu\text{m}$, $4.6\ \mu\text{m}$)的平行排列液晶盒的反射率 R_{pp} 和 R_{ss} 的理论模拟结果。对于 $0.1\ \mu\text{m}$ 盒厚的变化,在 R_{pp} 及 R_{ss} 反射率曲线上可以看到导波峰的位置对应不同入射角度有明显的变化,说明导模结构对盒厚非常敏感。

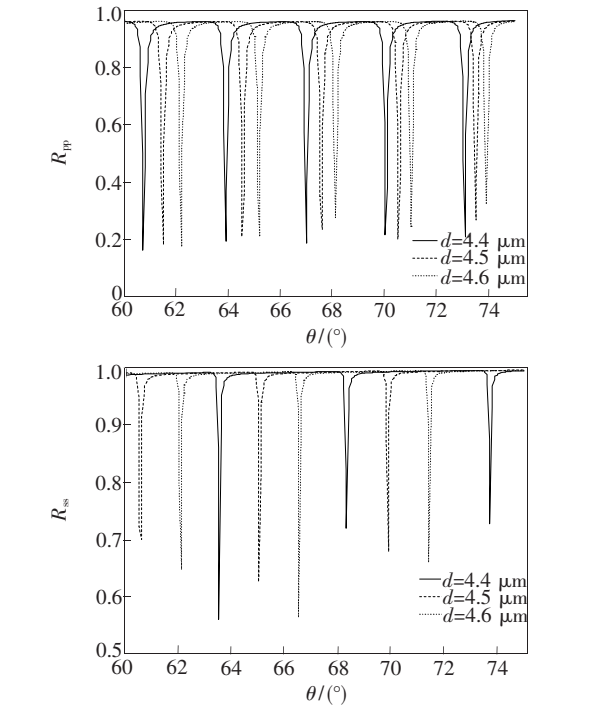
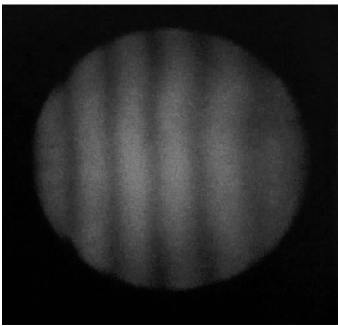
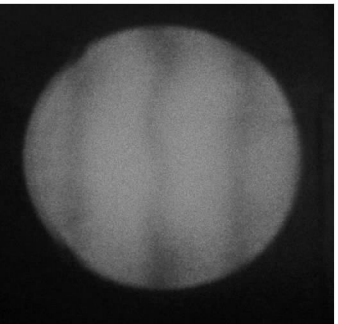


图 5 不同盒厚的平行排列向列相液晶盒的反射率 R_{pp} 和 R_{ss}

Fig. 5 Reflectivities R_{pp} and R_{ss} of the parallel aligned nematic liquid crystal cell with different cell gap



(a) p 光入射,p 偏振接收



(b) s 光入射,s 偏振接收

图 6 平行排列向列相液晶盒的导模图像照片

Fig. 6 Pictures of guided mode of the parallel aligned nematic liquid crystal cell

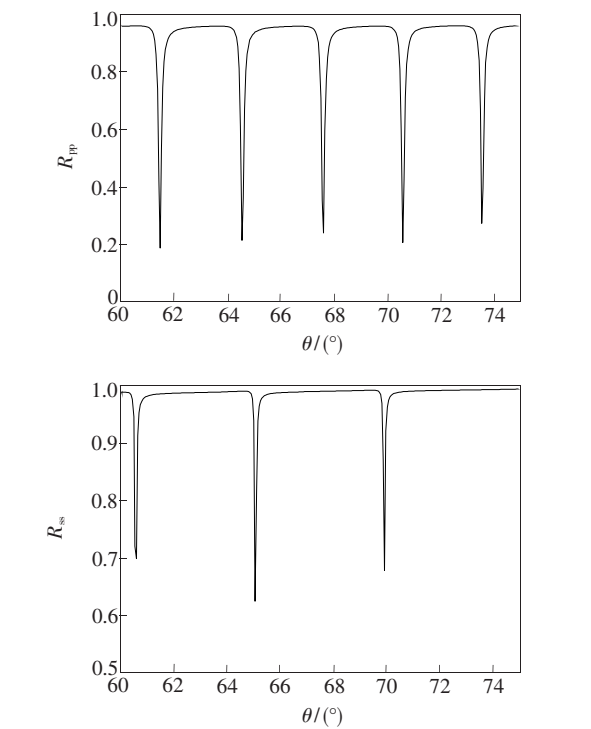


图 7 平行排列向列相液晶盒的反射率 R_{pp} 和 R_{ss}

Fig. 7 Reflectivities R_{pp} and R_{ss} of the parallel aligned nematic liquid crystal cell

实验中,采用透镜扩束系统对入射光进行扩束,以获得大角度范围入射的光束,然后调节入射光的焦点位置使其位于液晶层中心,从而使反射光束角度范围也很大,这样就可以在成像屏上观察到一个具有多个导波峰的图像。图 6 是用数码相机拍摄的屏上平行排列向列相液晶盒导模图像的照片,图 6(a)为 p 光入射 p 偏振接收;图 6(b)为 s 光入射 s 偏振接收。图 7 为对应其反射率 R_{pp} 和 R_{ss} 的理论模拟曲线。通过比较照片和理论曲线,可以看出理论曲线上出现的导波峰在导模图像上得到了很好的验证。

5 结 论

采用光学导波方法研究了平行排列向列相液晶盒的波导结构。通过理论模拟可知,平行排列向列相液晶盒的导模结构可以区分 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 的液晶盒的厚度,通过对盒厚 $4.6\text{ }\mu\text{m}$ 的液晶盒的导模图像照片和理论曲线比较,对结果的可靠性进行了验证。结论认为,导波方法对于平行排列向列相液晶盒信息(盒厚、指向矢排列等)获取方面具有非常强大的功能。

参 考 文 献:

[1] 余守宪. 光信息科学与技术系列丛书:导波光学物理基础 [M]. 北京:北方交通大学出版社,2002:1-40.

[2] Yang Fuzi, Samble J R. *Guided Mode Studies of Liquid Crystal Layers, Chapter 16 of Nanotechnology and NICE Devices* [M]. London, UK: Taloy and Francis Ltd. , 2003:271-280.

[3] Yang Fuzi, Samble J R. Optical fully leaky mode characterization of a standard liquid-crystall cell [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1999, 16(3):488-497.

[4] Yang Fuzi, Samble J R, Bradberry G W. *Guided Modes and Related Optical Techniques in Liquid Crystal Alignment Studies, Chapter 5 of The Optics of Thermotropic Liquid Crystals* [M]. London, UK: Taloy and Francis Ltd. , 1998:85-95.

[5] Yang Fuzi, Sambles J R. *Measurements of Physical Properties of Nematic Liquid Crystals by Guided Wave Techniques, Chapter 7.3 of Physical Properties of Liquid Crystals: Nematics* [M]. London, UK: INSPEC, IEE, 2001:344-356.

[6] 林子扬,项颖,张介立,等. 相位延迟法平行排列丝状液晶在静磁场中扭曲效应研究 [J]. 物理学报,1999,48(10):1898-1903.

[7] 关荣华,杨国琛. 弱锚定条件下平行排列向列相液晶盒的一级转变 [J]. 液晶与显示,2003,18(3):183-187.

[8] 张志国,李丽,杨国琛. 不对称弱锚定沿面排列向列相液晶盒的研究 [J]. 液晶与显示,2003,18(3):205-211.

[9] 叶文江,张志东,邢红玉. 平行排列液晶盒的挠曲电效应及一级 Fréedericksz 转变 [J]. 液晶与显示,2005,20(3):229-234.

[10] Ko D Y K, Sambles J R. Scattering matrix method for propagation of radiation in stratified media: attenuated total reflection studies of liquid crystals [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1988, (5):1863-1866.

Guided Wave of Parallel Aligned Nematic Liquid Crystal Layer

LI Zhi-guang^{1,2}, YE Wen-jiang¹, GUO Ting-ting¹, ZHANG Zhi-dong¹, TAN Run-hua²

(1. School of Sciences, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China, E-mail: zhglee@hebut.edu.cn;

2. School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

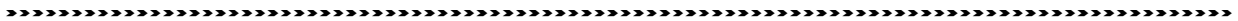
Abstract

Based on the divergent beam system of lens, the fully-leaky guided mode characterization of liquid crystal layer have been studied by means of the prism-coupling technique. The guided wave figures of

a parallel aligned nematic liquid crystal cell with cell gap 4.6 μm , in which the liquid crystal E7 is filled, have been given through experiment. By comparing the guided wave pictures with the theoretical simulation results, the guided modes of the liquid crystal waveguide predicted by theory are well consistent with the guided wave figures obtained through experiment.

Key words: nematic liquid crystal cell; divergent beam system of lens; guided wave; guided modes; waveguide

作者简介:李志广(1978—),男,河北衡水人,硕士,讲师,现从事液晶显示方面的教学及科研工作。



科技参考文献著录的规则

根据中华人民共和国国家标准“文后参考文献著录规则”(GB/T7714-2005),《液晶与显示》编辑部希望广大作者在向本刊投稿时注意参考文献的著录。

1. 文后参考文献书写格式

期刊:[序号]作者. 文献题名[文献类型标志]. 连续出版物题名:其他题名信息,年份,卷号(期号):起止页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[1]凌志华. STN-LCD 技术的发展[J]. 液晶与显示,2002,17(4):233-242.

例:[2]李晓东,张庆红,叶瑾琳. 气候学研究的若干理论问题[J]. 北京大学学报:自然科学版,1999,35(1):101-106.

例:[3]邵喜斌,王丽娟,李梅. a-Si:H TFT 亚阈值区 SPICE 模型的研究[J/OL]. 液晶与显示,2005,20(4):267-272. [2005-10-18]. http://www.wanfangdata.com.cn/src/szhqk/wf_szhqk_browser.Asp.

专著:[序号]作者. 题名[文献类型标志]. 析出文献其他责任者//专著主要责任者. 专著题名:其他题名信息. 版本项(第1版略). 出版地:出版者,出版年:析出文献的页码[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[4]周其凤,王新久. 液晶高分子[M]. 北京:科学出版社,1994:27-38.

例:[5]日本学术振兴会第142委员会. 液晶器件手册[M]. 黄锡珉,黄辉光,李之熔,译. 北京:航空工业出版社,1992.

例:[6]母国光. 白光光学信息处理及期彩色摄影术[M]//陈星旦. 光学与光学工程,北京:科学出版社,2005:62-72.

例:[7]赵耀东. 新时代的工业工程师[M/OL]. 台北:天下文化出版社,1998[1998-09-26]. [http://www.ie.nthu.edu.tw/inf/ie.newie.htm\(Big5\)](http://www.ie.nthu.edu.tw/inf/ie.newie.htm(Big5)).

例:[8]陈兵,徐寿颐. 新型烷基环己基炔类液晶的合成与性质[C]//2002年中国平板显示会议论文集. 深圳:深圳天马微电子股份有限公司,2002:167-168.

例:[9]闫石. 液晶光控取向膜材料的研究[D]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2001.

例:[10]全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. GB/T5795-1986 中国标准书号[S]. 北京:中国标准出版社,1986.

专利:[序号]专利所有者. 专利题名:专利国别,专利号[文献类型标志]. 公告日期或公开日期[引用日期]. 获取和访问路径.

例:[11]吕永积,王群伟,邵佑军,等. 平板真空摄像器件:中国,ZL95241185.7[P]. 1997-08-09.

(下转 P906)