

文章编号 : 0258-7025(2002)10-0908-03

# 集成液晶可调谐 RCE 光电探测器的实验研究

黄 辉<sup>1</sup>, 成步文<sup>2</sup>, 黄永清<sup>1</sup>, 王兴妍<sup>1</sup>, 王 琦<sup>1</sup>, 任晓敏<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>北京邮电大学电信工程学院, 北京 100876; <sup>2</sup>中国科学院半导体研究所, 集成光电子学国家重点实验室, 北京 100083)

**提要** 实现了波长调谐范围为 8 nm 的集成液晶可调谐谐振腔增强型(RCE)光电探测器, 并且对相应的实验结果进行讨论。这种器件可用在波分复用(WDM)光网络中。

**关键词** 波分复用, RCE 光电探测器, 液晶, 调谐

**中图分类号** TN 929.11 **文献标识码** A

## Experimental Study on the Tunable RCE Photodetectors with Built-in Liquid-crystal Layer

HUANG Hui<sup>1</sup>, CHENG Bu-wen<sup>2</sup>, HUANG Yong-qing<sup>1</sup>,  
WANG Xing-yan<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>1</sup>, REN Xiao-min<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Beijing University of Posts and Telecommunications, POB 66 #, Beijing 100876  
<sup>2</sup>National Integrated Optoelectronic Lab., Institute of Semiconductors,  
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083

**Abstract** An experiment on the tunable RCE photodetectors with built-in liquid-crystal layer is reported. A tuning range of 8nm has been obtained. Corresponding theoretical analysis and discussions are presented.

**Key words** WDM, RCE photodetectors, liquid crystal, tunable

## 1 引 言

随着波分复用(WDM)光网络技术的飞速发展, 如何解决基于波长选路和光交叉连接的波长冲突问题、提高网络的灵活性和可扩展性成了目前研究的热点<sup>[1]</sup>。利用波长可调谐的解复用接收技术, 可以降低 WDM 网络中的信息传输时延和提高波长信道的利用率<sup>[2]</sup>。因此, 研究具有波长选择性、可调谐的光电探测器成为 WDM 技术中的关键课题。

近年来提出的谐振腔增强型(RCE)光电探测器, 是将光吸收层插入由两个反射镜构成的谐振腔中从而构成整个器件。谐振腔的谐振增强效应使器件可以在较薄的吸收层情况下获得较高的量子效

率, 减少了光生载流子在耗尽区的渡越时间, 从而解决了普通光电探测器量子效率与响应速率之间相互制约的问题, 使其具有高的量子效率和响应速率<sup>[3]</sup>。并且谐振腔的选模作用使其具有波长选择性<sup>[4]</sup>。

目前可调谐 RCE 光电探测器引起了人们的关注, 其中利用外腔镜结构<sup>[5, 6]</sup>以及用微机械技术制作的悬臂梁结构<sup>[7]</sup>实现了 RCE 光电探测器的响应峰值波长调谐, 并且利用量子限制斯塔克(Quantum Confined Stark)效应实现了多量子阱(MQW)RCE 光电探测器的电致调谐<sup>[8]</sup>。本文研制的集成液晶可调谐 RCE 光电探测器, 在对液晶单边定向的条件下, 实验获得了 8 nm 的调谐范围, 同时还对液晶的调谐特性进行了初步的研究。

收稿日期 2001-07-20; 收到修改稿日期 2001-09-24

基金项目 国家杰出青年基金(项目号 69625101)和国家自然科学基金(项目号 69976007)资助项目。

作者简介 黄辉(1974—)男, 博士研究生, 主要从事可调谐光波技术及光电探测技术的研究。E-mail: juihuang@263.net

## 2 器件结构与制备

器件结构如图 1 所示,在镀有透明导电膜(ITO)的玻璃片上蒸镀 4 对  $ZrO_2/SiO_2$  分布布拉格反射镜(DBR),中心波长 830 nm 处的反射率为 67%,接着在其上倾斜 60°蒸镀 60 nm 厚的  $SiO_2$  定向层。然后涂敷聚合物薄层,光刻、腐蚀出环状结构,加热固化;接着与带有底镜的 PIN 光电探测器粘贴形成液晶腔(液晶为 TEB110 型向列液晶),其中液晶腔的厚度为 3.04  $\mu m$ 。这样玻璃片上的介质膜反射镜与带有底镜的 PIN 探测器构成了 RCE 光电探测器,通过外加电压调节腔内液晶的折射率,实现调节探测器的谐振吸收峰。

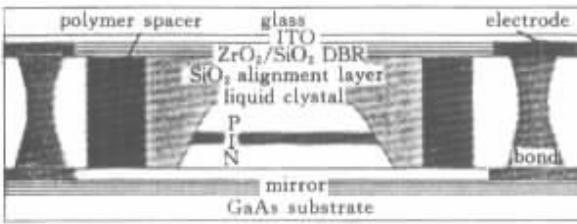


图 1 集成液晶可调谐 RCE 光电探测器的结构  
Fig.1 Structure of tunable RCE photodetectors with built-in liquid-crystal layer

其中带有底镜的 PIN 探测器的结构如图 2 所示,它是利用金属有机化学气相沉积(MOCVD)技术在 GaAs 衬底上外延生长而成的,底镜由 21 对光学厚度为  $\lambda/4$  的  $Al_{0.9}Ga_{0.1}As/Al_{0.14}Ga_{0.86}As$  薄层交替组成的分布布拉格反射镜(DBR)构成,其设计中心波长为 820 nm。在底镜上生长 484 nm 厚的  $n$  掺杂  $Al_{0.14}Ga_{0.86}As$  底电极接触层,其上为 400 nm 厚的本征型  $Al_{0.14}Ga_{0.86}As$  隔离层。接着生长 193 nm 厚的本征 GaAs 吸收层,40 nm 厚的本征型  $Al_{0.14}Ga_{0.86}As$  隔离层以及 50 nm 厚的  $p$  掺杂 GaAs 顶电极接触层。

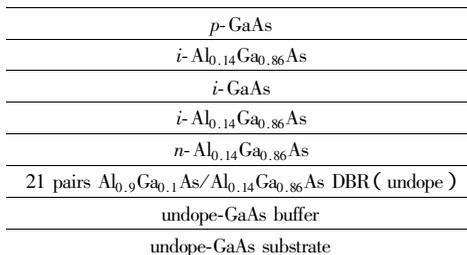


图 2 PIN 探测器的结构

Fig.2 Structure of PIN photodetectors

实验中利用光栅单色仪(型号 WDG30)对钨卤素灯白光光源进行分光,分光后的单色光经过透镜聚焦入射到探测器上。调节光栅单色仪可以测试器件对不同波长光波的响应,即器件的响应光谱。

通过 ITO 电极和 PIN 探测器的顶电极对腔内的液晶施加调谐电压,使得液晶的折射率发生改变。图 3 为外加 500 Hz 方波交流电压时,集成器件的响应光谱曲线。由图 3 可知,外加电压小于 2.5 V 时响应曲线均没有变化,响应谱一共有 4 个较明显的峰值,分别位于 780 nm,790 nm,814 nm 及 824 nm 波长处。随着外加电压由 2.5 V 增加到 4.0 V,790 nm 和 824 nm 处的峰值逐渐向短波方向移动并且分别与 780 nm 和 814 nm 处的峰值重合。这是因为液晶是光学各向异性晶体,外加电压改变了液晶分子的排列方向,从而改变了非寻常光的折射率( $n_e$ ),而非寻常光的折射率( $n_o$ )却未发生改变<sup>[9]</sup>。因此,780 nm 和 814 nm 处的峰值为寻常光的响应峰值,而 790 nm 和 824 nm 处的非寻常光的响应峰值能够随着外加电压移动,当电压由 2.5 V 增加到 4.0 V 时移动了 8 nm。

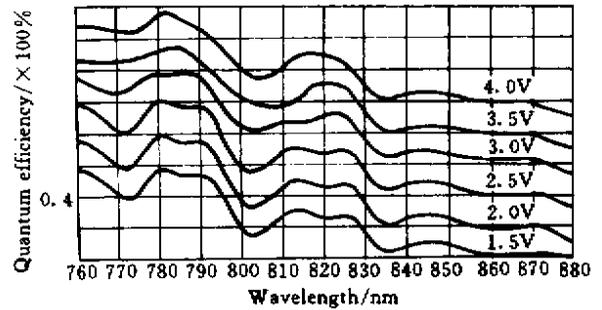


图 3 外加 500 Hz 不同幅值的方波交流电压时,集成器件的光谱响应曲线

Fig.3 Spectral response of the tunable photodetector by applying ac square wave electric fields at frequency of 500 Hz

利用传输矩阵的方法<sup>[10]</sup>对实际器件的响应谱与液晶折射率的变化关系进行模拟,结果如图 4 所示。因为 PIN 探测器与液晶的界面存在反射,整个器件是一个复合腔的结构,所以响应峰值的移动与折射率的变化不是成线性的关系。随着外加电压的增加,折射率减小响应峰值逐渐朝着短波方向移动。实际器件的光谱响应曲线没有观察到如模拟结果所示的尖锐的峰值,这是由于液晶分子对光波存在散射损耗,以及玻璃片上的顶镜与探测器的底镜之间不是严格平行所致。

## 3 实验结果及分析

将图 3 中的非寻常光响应峰与图 4 的响应峰值位置进行对比,可以获得外加不同电压时液晶的非寻常光折射率。图 5 显示了外加调制电压与液晶非寻常光折射率( $n_e$ )的变化关系。由图可知,液晶调谐的阈值电压为 2.5 V,当增加外加电压超过 4.0 V 时  $n_e$  趋于固定值。其中  $n_e$  的变化幅度为 0.042,而 TEBi10 型向列液晶  $n_e$  的最大变化幅度为 0.2(变化范围 1.39~1.60),这是由于液晶分子排列的预倾角(即液晶分子主轴与顶镜平面法线之间的夹角)大约为 30°,因此  $n_e$  的变化范围较小。通过改进定向层,增大液晶分子排列的预倾角将能获得更大的调谐范围。

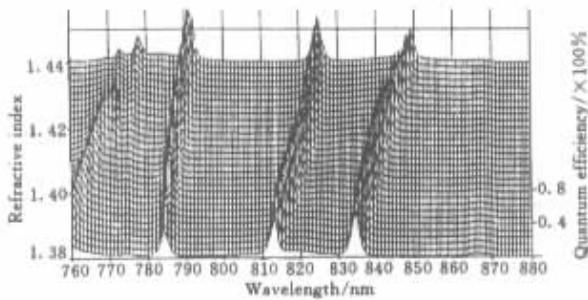


图 4 液晶折射率不同时 模拟计算的  
器件光谱响应

Fig.4 Calculated spectral response via refractive index  
of liquid crystal

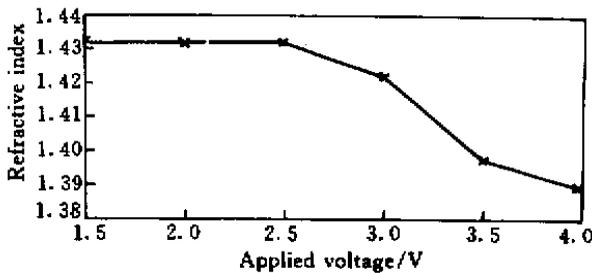


图 5 外加调制电压与液晶非寻常光折射率的变化关系  
Fig.5 Relationship between extraordinary refractive index  
of liquid crystal and applied voltage

## 4 结 论

我们研制的集成液晶可调谐 RCE 光电探测器,在对液晶单边定向的条件下,实验上获得了 8nm 的调谐范围,进一步改进器件的设计和制作工艺,将能得到性能优越的可调谐波长选择性探测器。

致谢 感谢中国科学院半导体所马晓宇、高俊华、李成以及清华大学液晶中心的余晋老师对本课题的大力支持。

## 参 考 文 献

- 1 C. A. Brackett, A. S. Acampora, J. Sweitzer *et al.*. A scalable multiwavelength multihop optical network: A proposal for research on all-optical networks [ J ]. *J. Lightwave Technol.*, 1993, **11**( 5/6 ):736 ~ 752
- 2 Krishna M. Sivalingam, Patrick W. Dowd. Lightweight media access protocol for a WDM-based distributed shared memory system [ C ]. INFOCOM '96, Fifteenth Annual Joint Conference, Vol. 3 946 ~ 953
- 3 M. S. Ünlü, S. Strite. Resonant cavity enhanced photonic devices [ J ]. *J. Appl. Phys.*, 1995, **78**( 2 ):607 ~ 639
- 4 T. Knodl, K. H. H. Choy, J. L. Pan *et al.*. RCE photodetectors based on VCSEL structure [ J ]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**( 10 ):1289 ~ 1291
- 5 Huang Yongqing, Liu Kai, Liu Liyi *et al.*. Experimental study on tunable external cavity RCE photodetector [ J ]. *Chinese J. Lasers* ( 中国激光 ), 2000, **A27**( 9 ):801 ~ 804 ( in Chinese )
- 6 Ren Xiaomin, Liu Kai, Huang Yongqing *et al.*. Experimental study on tunable external cavity photodetectors [ J ]. *Optical Materials*, 2000, **14**:243 ~ 246
- 7 M. S. Wu, E. C. Vail, G. S. Li *et al.*. Widely and continuously tunable micromachined resonant cavity detector with wavelength tracking [ J ]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**( 1 ):98 ~ 100
- 8 Kafai Lai, Joe C. Campbell. Design of a tunable GaAs/AlGaAs multiple-quantum-well resonant-cavity photodetector [ J ]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**( 1 ):108 ~ 114
- 9 A. Sneh, K. M. Johnson, Jian-yu Liu. High-speed wavelength tunable liquid crystal filter [ J ]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1995, **7**( 4 ):379 ~ 381
- 10 Kai Liu, Yongqing Huang, Xiaomin Ren. Exact numerical analysis of resonant-cavity-enhanced-photodetectors with matrix simulation [ C ]. *SPIE*, 1998, **3532**:197 ~ 202