

基于狭缝波导振荡微环的电光调制器

黄誉¹,丁明吉¹,肖经^{2*}

(1.中国电子科技集团公司 第三十四研究所,广西 桂林 541004;2.桂林电子科技大学 机电工程学院,广西 桂林 541004)

摘要:针对传统电光调制器存在调制速度慢、损耗高和封装尺寸大等问题,采用高电光系数的高分子材料,结合狭缝波导理论,提出了一种基于振荡微环的电光调制器,并利用 COMSOL Multiphysics 和 Lumerical FDTD solutions 仿真软件对该调制器的关键性能进行仿真分析。分析结果表明:该电光调制器在小封装尺寸条件下,具有优异的光电性能,而且兼容互补金属氧化物半导体(CMOS)标准制造工艺。

关键词:调制器;振荡微环;电光调制;狭缝波导;光电集成

中图分类号:TN761 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-5561(2020)07-0056-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.07.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Electro-optic modulator based on oscillating microring of narrow waveguide

HUANG Yu¹, DING Mingji¹, XIAO Jing^{2*}

(1. The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: Aiming to the problems of slow modulation speed, high loss, and large package size of traditional electro-optic modulators, an electro-optic modulator based on oscillating microring is proposed by using high electro-optic coefficient polymer materials and the theory of slit waveguide. The key performance of the modulator is analyzed by using COMSOL Multiphysics and Lumerical FDTD solutions simulation software. The analysis results show that the electro-optic modulator has excellent photoelectric performance under the condition of small package size and is compatible with complementary metal oxide semiconductor(CMOS) standard manufacturing process.

Key words: modulator; oscillating microring; electro-optic modulator; narrow waveguide; optoelectronic integration

0 引言

电光调制器是光电集成系统的关键器件之一^[1],如何实现具有小体积、低插损和高调制速度的高性能电光调制器一直是业内研究的热点和方向。马赫-曾德尔调制器是通信领域常用的电光调制器。但是,传统的马赫-曾德尔调制器一般尺寸较大,而且能耗较

高,如胡宇宸等人^[2]基于光子晶体多模干涉耦合器件设计的一种马赫-曾德尔调制器,其插入损耗为0.3 dB,消光比为15.1 dB,器件整体尺寸却达到了 $46\mu\text{m}\times 8\mu\text{m}\times 0.22\mu\text{m}$,在高度集成光电模块的应用中受到较大的限制。为了实现更紧凑的器件结构,研究人员提出了基于振荡微环结构的电光调制器,微环结构能够有效地减少器件尺寸^[3-4],但是,这类器件依旧存在许多不足,如高插入损耗、互补金属氧化物半导体(CMOS)制造工艺不兼容等缺点。针对上述问题,本文基于高性能电光高分子材料和狭缝波导理论,结合振荡微环结构,提出一种新型电光调制器。

1 电光调制器结构及相关理论

本文提出的电光振荡微环调制器三维结构示意图和相关参数如图1(a)所示。该电光调制器由振荡微

收稿日期:2020-02-17。

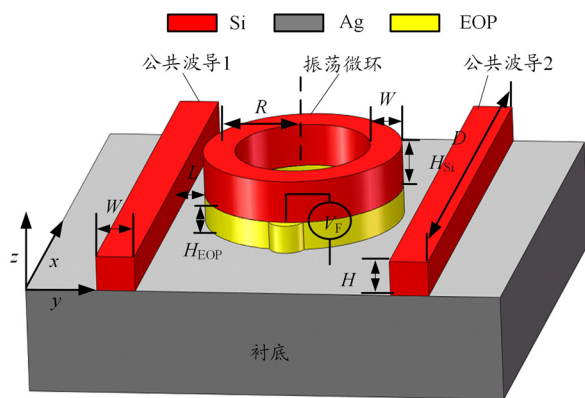
基金项目:国家自然科学基金项目(NO.61764002)资助;广西自然科学基金面上项目(NO.2017GXNSFAA198282)资助。

作者简介:黄誉(1978—),男,高级工程师,主要从事光通信网络技术及光电子器件方面的研究工作,曾获国家级科技进步二等奖1项,省部级科技进步一等奖1项,二等奖1项,地市级科学技术奖2项。

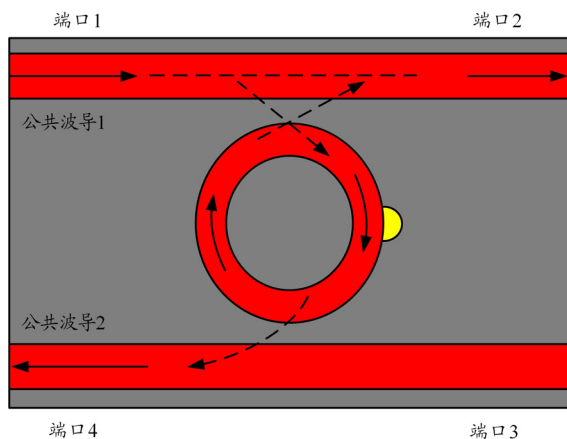
*通信作者:肖经(E-mail: xiaojing@guet.edu.cn)。



环、公共波导以及衬底三部分构成。振荡微环主要由电光高分子材料(EOP,本文所使用的EOP为非晶态聚碳酸酯)、衬底以及硅(Si)组成。振荡微环半径为 R ,宽度为 W 。EOP高度为 H_{EOP} ,在EOP微环上方是一个高度为 H_{Si} 的硅微环。在振荡微环两边距离 L 处放置2根高度为 H 、宽度为 W 的硅波导。光束从公共波导1的端口1入射,在经过振荡微环时,满足振荡条件的光将耦合进微环中,不满足振荡条件的光束则从公共波导1的端口2输出;满足振荡条件的光进入微环之后,沿着振荡微环顺时针传输,经过耦合区时,满足一定条件的光束又将耦合进公共波导2中,沿着公共波导2传输,从端口4输出。光束的传输路径如图1(b)所示。



(a) 三维结构示意图



(b) 光信号传输路径示意图

图1 振荡微环电光调制器结构与光传输路径

图1中,振荡微环的有效折射率是由EOP折射率、中心振荡波长和振荡微环结构参数等共同决定的,通过控制加载在EOP层的电压对微环振荡器振荡

波长进行控制,从而有效地操控端口2不同波长的出射强度,实现光信号调制。

为了实现电光调制器的最优结构和最佳调制性能,本文利用COMSOL Multiphysics仿真软件研究分析振荡微环的传输模式。仿真结果表明:由于狭缝效应的存在,光束大部分被束缚在分子层,并且出现了较强的增强效应。因此, H_{EOP} 对该调制器的性能有重要的影响,传输损耗越小, H_{EOP} 越理想。为了能够在光束束缚能力和传输损耗方面实现较好的均衡,本文对振荡微环结构进行优化时引入化因子 Q_{FOM} ,其数学描述为:

$$Q_{\text{FOM}} = L / [2(A_{\text{eff}} / \pi) / 2] \quad (1)$$

其中, A_{eff} 为有效模场面积, L 为公共波导与振荡微环间的距离。在振荡微环硅层高度 H_{Si} 分别为170 nm、200 nm、230 nm和260 nm的情况下,本文研究了不同 H_{EOP} 下的 Q_{FOM} ,如图2所示。可以看出,随着振荡微环硅层厚度 H_{Si} 的增加, Q_{FOM} 随之增加;在相同的 H_{Si} 情况下, Q_{FOM} 随着 H_{EOP} 的增加而增加。综合考虑各方面因素,振荡微环的最佳结构参数为: $H_{\text{Si}}=260$ nm, $H_{\text{EOP}}=40$ nm。此时,振荡微环的复合折射率为 $1.87+0.0018i$,振荡微环的单位长度传输损耗 $\alpha_1=0.657$ dB/mm。

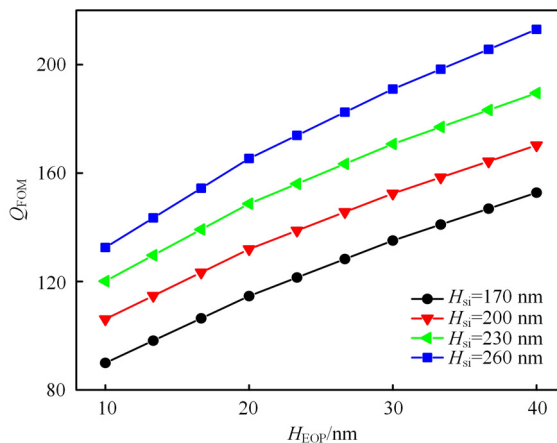


图2 优化因子 Q_{FOM} 与 H_{EOP} 的关系

2 电光调制器性能

2.1 传输性能

本文采用Lumerical FDTD solutions仿真软件对光信号传输性能进行研究分析。考虑到加工工艺和耦合效率等方面因素,取硅基波导高 $H=200$ nm,此时公共波导的单位长度传输损耗为 $\alpha_2=2.8$ dB/mm,公共波导与振荡微环间的距离 $L=60$ nm,公共直波导长度 $D=2.5$ μm ,振荡微环半径 $R=535$ nm。入射光波长范围为

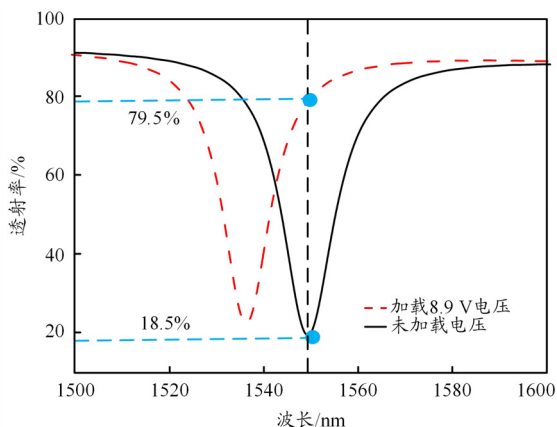
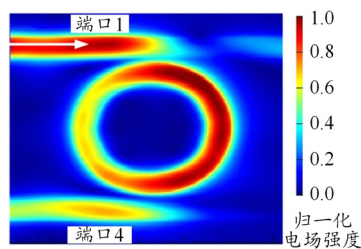


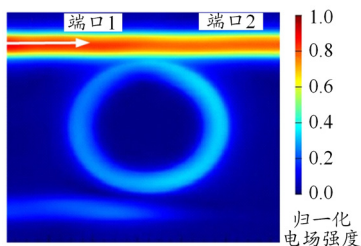
图3 加载电压前后的端口2透射频谱

1500~1600 nm,中心振荡波长为1550 nm。该电光调制器在加载电压前后的端口2透射频谱的变化如图3所示。在未加载电压时,振荡器的中心谐振波长为1550 nm,透射率为18.5%;加载了8.9 V电压后,中心振荡波长蓝移了13.2 nm,变为1536.8 nm,透射率为79.5%。

为了更深入地观察调制器在加载电压前后的状态变化,本文研究了波长为1550 nm时调制器在高度方向上 $z=9$ nm处的归一化电场强度分布,如图4所示。可以看出,在未加载电压时,波长为1550 nm的光束在调制器中激励出了较强的振荡,大部分光束经振荡微环从端口4输出,只有少量的光束从端口2输出;而在加载了8.9 V的电压之后,波长为1550 nm的光束在调制器中基本没有激



(a) 加载电压前



(b) 加载电压后

图4 电光调制在 $z=9$ nm处的归一化电场强度分布

励出谐振,光束主要从端口2输出,这与图3具有非常好的一致性。

2.2 光学性能

从器件中光的传输路径来看,光信号在公共直波导总长度为 D 、微环中传输长度为 $2\pi R$ 时,根据插入损耗计算公式 $IL=De_2+2\pi Re_1+IL_{\text{耦合}}$,其中振荡微环插损 $IL_{\text{耦合}}=10\lg(P_{\text{max}}/P_{\text{min}})$, P_{max} 和 P_{min} 分别为振荡微环的最大透射率和最小透射率,可计算得 $IL=0.831$ dB。对于调制深度,公共直波导与振荡微环存在2次耦合过程,而公共直波导与振荡微环间的耦合效率为91.4%,由此可以计算调制深度为 $=13.4$ dB、3 dB带宽为 $\Delta\lambda_{3\text{dB}}=13.2$ nm。此外,根据文献[5]可以计算出调制器的自由光谱范围(FSR)、品质因子 Q 值和光谱精细度分别为345.3 nm、105和27.6。

3 结束语

本文采用高电光系数的高分子材料作为关键材料,并结合振荡微环结构和狭缝波导理论,提出了一种基于振荡微环和狭缝波导的电光调制器。该调制器在工作波长1550 nm下的调制深度为13.4 dB,插入损耗为0.831 dB,光谱精细度可以达到27.6,且FSR达到了345.3 nm。该电光调制器不仅结构紧凑,易于集成,还兼容CMOS标准制造工艺,在光电集成模块和光互连系统中具有较大的应用潜力。

参考文献:

- [1] 喻千尘,梁雪瑞,马卫东. 铌酸锂电光调制器的研究进展[J]. 光通信技术, 2020, 44(4): 37-39.
- [2] 胡宇宸,陈鹤鸣,周昊天. 基于光子晶体和纳米线波导的马赫-曾德尔型调制器[J]. 红外与毫米波学报, 2019, 38(4): 499-507.
- [3] CAI W, WHITE J S, BRONGERSMA M L. Compact, high-speed and power-efficient electrooptic plasmonic modulators [J]. Nano Letter, 2009, 9(12): 4403-4411.
- [4] WU Z, NELSON R L, HAUS J W, et al. Plasmonic electro-optic modulator design using a resonant metal grating [J]. Optics Letter, 2008, 33(6): 551-553.
- [5] YI Y S, KOCH B J, SMITH T L. Nanoparticle Sensing Utilizing Back Scattering Reflection Mode of an Integrated Micro-Resonator [J]. IEEE Journal Selected Topics Quantum Electronic, 2016, 22(4): 1-11.

欢迎投稿, 欢迎订阅!
欢迎刊登广告!