

创刊十周年
特约文章

我国集成光学过去十年的 回顾与今后的展望

于荣金

(中国科学院长春物理所)

提要: 本文回顾了我国在过去十年中导波光学、波导制备和测试、波导器件、单片集成以及微加工技术等方面所取得的进展,指出了集成光学的发展趋势和需求。

Review on integrated optics in China over the past decade and prospect for the future

Yu Rongjin

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract: This article looks back on some progress of guided-wave optics, fabrication and measurement of waveguides, devices, monolithic integration and microfabrication techniques in China over the past 10 years and a brief comment on anticipated trends and needs in the field of integrated optics is given.

一、波导制备和测试

我国第一项集成光学的研究工作,是1974年开始的。当时采用高频溅射方法制备了玻璃平面光波导,并用棱镜耦合器测量了波导的折射率和膜厚,用纤维探针法测量了光波导的损耗($2 \pm 0.2 \text{ dB/cm}$)^[1]。后来,在玻璃衬底上用 AgNO_3 、 Tl_2SO_4 、 KNO_3 熔盐制备了平面和条形光波导,在电场辅助下用

离子交换制作玻璃光波导,以及在 Si-SiO_2 衬底上用射频溅射制备玻璃平面光波导。1975年开始,进行铌扩散钽酸锂光波导的研究^[2]。其后,采用 Ti 扩散方法在 LiNbO_3 衬底上制备光波导,并在闭管中加 LiNbO_3 粉抑制 Li_2O 外扩散,制备出了性能较好的光波导^[3]。在受到美国贝尔实验室工作启发之后,短时间内我国在 LiNbO_3 和 Ti 扩散 LiNbO_3 衬底上用苯甲酸质子交换,以及采

收稿日期:1984年11月28日。

用电场增强盐浴法,把LiNbO₃衬底放在AgNO₃(或TiNO₃)熔盐中,并加直流电场,均分别获得了LiNbO₃光波导^[4~6]。同时,还制备过聚苯乙烯薄膜光波导。考虑到许多实际器件中常采用复合波导和金属电极,对于复合多层结构的波导也开展了研究^[7~9]。

在评价波导性能和测量波导参数方面,采用棱镜耦合器^[1,10]、光栅耦合器^[11,12]以及棱镜-光栅耦合器^[13]测量波导参数。由于缺乏金红石棱镜,一般是采用其它一些高折射率材料(如锗酸铋、磷化镓)来代替金红石制作棱镜^[14,15],以满足LiNbO₃等高折射率波导测试的需要。对单模波导的参数测量,研究和提出了双偏振方法^[16]。关于波导的折射率分布的测量,提出了一些确定折射率及其分布的方法^[17~20]。天津大学精仪系从1979年开始研制“平板波导测试仪”,“II型平板波导测试仪”1984年3月通过鉴定,折射率测量误差 $\Delta n < 1 \times 10^{-4}$,厚度测量误差 $\Delta d < 1 \times 10^{-2}$ 。

在光波导制备方面,尚需从微观角度深入研究影响波导性能的机理和因素,提高现有各种波导的质量,例如进一步降低传输损耗,改善LiNbO₃波导的抗光损伤,以及提高质子交换LiNbO₃波导的热稳定性。在测试方面,要提高现有方法的可靠性、重复性和精度;波导(尤其是低损耗波导)传输损耗的测量是一个薄弱环节,除已采用的滑动棱镜和散射方法外,还要发展一些新的方法,如可以采用直接温度测量,得到波导的总损耗^[21]以及国外正在研究的标准具法。

二、波导器件

我国从1979年制备出Ti扩散LiNbO₃光波导之后,在这个材料体系上研制了一些波导电光和声光器件。波导电光器件有波导电光棱镜^[22]、波导定向耦合调制器^[23]、干涉型波导调制器^[24]。导波声光布喇格偏转器,中心频率已经达到330 MHz^[25]。玻璃和

LiNbO₃材料的波导短程透镜都已制备出来,问题是要寻找一些合适的工艺和技术,改善象差,甚至需要考虑研究其它类型的波导透镜。在光学双稳态器件方面,光波导TE-TM模干涉调制光学双稳态^[26]、导波光束偏转器的双稳态^[27]和分支光波导光学双稳态^[28]等器件也已研制成功。玻璃和GaAs材料的周期和变周期光栅,以及ZnS薄膜光波导中的非线性效应(二次和三次谐波)也取得了进展^[29]。

三、半导体单片集成

上海冶金所等单位,在半导体材料上开展了以激光器和波导为核心的单片集成工作,取得了一些较好的结果。用液相外延生长GaAs-AlGaAs多层结构外延片,经两步化学腐蚀制成具有对称双台面结构的GaAs激光器-波导-探测器或放大器集成光路^[30]。设计和研制了波导耦合双台面可控单模GaAs-(GaAl)As激光器、隐埋波导耦合GaAs-(GaAl)As纵模可控集成激光器、隐埋无源波导集成的沟道衬底平面条形GaAs-(GaAl)As激光器以及分布反馈染料激光器等。还对金属/氧化物/GaAs/AlGaAs波导的光学特性及氧化物缓冲层厚度的选择、不同限制层对三维GaAs/AlGaAs/ n^+ GaAs矩形波导传输及损耗特性的影响等进行了研究分析^[31]。

一些集成光学的半导体激光器,如分布反馈和分布布喇格反射半导体激光器,由于它比通常解理面的半导体激光器有好的模式特性,能够在高速调制下保持单纵模工作。过去在全息光栅和液相外延等方面已有一定基础的单位,正在争取做出这种器件。

四、导波光学

“导波光学”除了在部分高等院校已作为

专业课进行教学外,采用不同的理论方法和数值方法,分析介质波导中的一些光学现象和器件,在国内还是相当活跃的。如用耦合模理论描述棱镜耦合器,分析平面光波导的调制特性^[33];用特征矩阵法分析周期性矩形波导^[33];用格林函数推导平板波导耦合模方程,介质波导并矢格林函数的本征模展开式^[34];用一级微扰理论处理非对称高斯型折射率分布的扩散光波导模式^[35];利用射线光学方法推导一切LiNbO₃扩散波导TM模的本征值方程^[36];…。其中耦合模理论、射线光学方法等在处理某些问题中都是比较行之有效的。但对国际上已经开展的有些理论方法(如有限元法、快速傅里叶变换等)在我国还是空缺。

五、微加工技术

微加工技术在集成光学中占有相当重要的地位。我国各单位结合自己的条件及研究工作的需要,进行过若干微加工技术的研究,其中包括采用超声机械振动的微解理技术^[37];GaAs选择性热氧化^[38];GaAs的择优腐蚀;InP的化学腐蚀;离子蚀刻和光栅制作等。此外,对平面光波导与光纤的端面耦合技术也进行了研究。

六、展望

展望未来,今后一个时期的发展趋势是:

(1) 对集成光学的某些器件,如频谱分析仪、模-数和数-模转换器、采用集成光学形式的三元和四元系激光器以及中继器等作进一步的研究改进,达到实用化和商品化的地步。

(2) 进一步探索各种器件的制造工艺及材料。从科研到生产,技术上可能要经历从简到繁、从繁到简的过程。一方面,为适应器件和回路高精度制作的要求,要发展一些高

精尖的工艺(如电子束曝光、同步辐射、分子束外延、MOCVD等);另一方面,为适合生产的需要,还必须注意创建一些高性能的简单工艺,这是科学技术发展到一定阶段,移交大量生产时必须具备的条件。集成光学目前和今后一个时期对上述两个方面的技术都需要研究。从材料来看,目前主要是GaAs-GaAlAs、InP-InGaAsP半导体、LiNbO₃和LiTaO₃铁电体以及玻璃等,这些材料尽管具有一些优点,但仍有许多问题需要解决;同时要摸索更有前途的新材料,除半导体和铁电体外,还要注意某些具有光电功能的有机材料。材料的改性、探索和突破,是决定集成光学器件应用甚至前途的重大问题。

(3) 对一些重要的尚未充分研究的或新的现象进行研究,尤其是要加紧对光计算机元件的研究。如研究半导体室温、低功耗、超高速的微型光学双稳态器件,半导体和固体超短光脉冲(如亚微微秒的门)的产生和应用,具有超高速光开关、存贮、放大功能的新型元件的研究,运用光学原理进行数字和模拟运算的研究。这些主要是为光计算和高速光纤通信作储备。另外,改进现有的某些器件设计,提高器件性能,例如弯曲波导,要使损耗减小,就要增加长度、降低集成度,针对这个问题就有探索新的设计的必要。

(4) 进行光学元件与电学、声学、磁学元件的集成。有许多器件是靠各个物理量之间相互作用和转化(例如注入式半导体激光的产生、光信号的探测与放大、光调制、偏转、开关等,都是利用电-光、声-光、磁-光相互作用和转化)。因此把有关元件都集成在同一衬底上,可以减少连接和体积,增加可靠性。最近几年,光电元件之间的集成已做了不少工作,今后还会出现其它物理量的元件之间的集成。

参 考 文 献

[1] 中国科学院吉林物理所平板光波导题目组;《激光》,

- 1978, 5, No. 5~6, 97. 《光学技术》, 1980, No. 1, 29.
- [2] 中国科学院吉林物理所集成光学调制器组;《激光》, 1978, 5, No. 5~6, 97; 1979, 6, No. 5, 26.
- [3] 李玉善等;《科学通报》, 1980, 25, No. 15, 685.
- [4] 张筱扬, 陈益新;《中国光学学会第二届全国集成光学学术会议论文集》, 1983年, 9月, 长春, 54页.
- [5] 郑建和等;同[4], 48页.
- [6] 张筱扬, 陈益新;同[4], 56页.
- [7] 洪佩智, 于荣金;《中国激光》, 1983, 10, No. 4, 235.
- [8] 林盛强等;《中国激光》, 1983, 10, No. 4, 232.
- [9] 李瑞镛等;《光学学报》, 1984, 4, No. 1, 6.
- [10] 徐德维;《激光》, 1979, 6, No. 9, 43.
- [11] 徐德维;《物理学报》, 1980, 29, No. 9, 1135. 《光学学报》, 1981, 1, No. 3, 265.
- [12] 徐迈, 李燕;《吉林大学自然科学学报》, 1982, No. 4, 65.
- [13] 徐德维;《科学通报》, 1982, 27, No. 19, 1167.
- [14] 曹泽煌等;《压电与声光》, 1980, No. 2, 94.
- [15] 黄章勇;《激光》, 1982, 9, No. 4, 227. 黄章勇等;《中国激光》, 1983, 10, No. 11, 810.
- [16] 金锋, 李玉善;《光学学报》, 1981, 1, No. 4, 351.
- [17] 黄章勇;《中国激光》, 1983, 10, No. 4, 230.
- [18] 李幼等;《光学学报》, 1982, 2, No. 2, 177.
- [19] 金锋;《光学学报》, 1983, 3, No. 7, 656.
- [20] 范俊清;《光学学报》, 1983, 3, No. 1, 70. 《电子学报》, 1983, 11, No. 6, 68.
- [21] J. L. Jackel, J. J. Veselka; *Appl. Opt.*, 1984, 23, No. 2, 197.
- [22] 李玉善;《光学学报》, 1981, 1, No. 1, 93.
- [23] 黄章勇, 吴尊尊;《电子学报》, 1982, 10, No. 6, 88.
- [24] 黄章勇等;同[4], 112页. 《中国激光》, 1984, 11, No. 6, 352.
- [25] 曹泽煌等;同[4], 122页.
- [26] 邹立勋等;《中国激光》, 1984, 11, No. 5, 290.
- [27] 李玉善等;《光学学报》, 1983, 3, No. 8, 685.
- [28] 孙雨南等;《光学学报》, 1984, 4, No. 4, 374.
- [29] 徐德维等;同[4], 143页. 赵继然等;《光学学报》, 1984, 4, No. 2, 122.
- [30] 潘慧珍等;《科学通报》, 1981, 26, No. 18, 1141.
- [31] 马春生等;同[4], 37页. 《吉林大学自然科学学报》, 1983, No. 4, 67. 《电子学报》, 1984, 12, No. 1, 77.
- [32] 金锋等;《电子学报》, 1982, 10, No. 3, 56. 万立德, 朱国军;同[4], 103页.
- [33] 曹庄琪等;《应用科学学报》, 1984, 2, No. 1, 15.
- [34] 范俊清等;《吉林大学自然科学学报》, 1979, No. 4, 77. 范俊清;《光学学报》, 1981, 1, No. 4, 357.
- [35] 石邦任, 文雨水;《光学学报》, 1984, 4, No. 6, 541.
- [36] 金锋;《光学学报》, 1984, 4, No. 5, 430.
- [37] 张国义等;同[4], 149页.
- [38] 刘弘度等;《激光》, 1980, 7, No. 5~6, 118.

JG-3型长寿命千瓦级横流CO₂激光器通过鉴定

中国科学院上海光机所研制的JG-3型长寿命千瓦级横流CO₂激光器,是在1980年鉴定通过的JG-1型千瓦级CO₂激光器和JG-2型千瓦级横流CO₂激光器的基础上,以工矿企业的实际使用为目标重新改型而研制成功的。

自1984年初研制成功以来,经过三个季度的长时间考机试验,并在该机进行了激光相变硬化、激光微晶化、激光涂复、激光热处理、激光合金化及激光焊接等实验,证明该机性能稳定,功率漂移度小,连续运转时间长,能适应工厂的生产条件,从而能保证加工工艺参数的稳定性和产品质量的可靠性及良好的重复性。

1984年12月20、21日,上海市科委和中国科学院上海分院等有关领导组织了全国60多名专家在上海光机所对该机进行了校术鉴定。对JG-3型CO₂激光器的平均输出功率、功率不稳定性、连续运转时间、电光转换效率、激光设备噪声等项技术指标的测试结果表明,该机已达到国家科委及中国科学院提出的攻关技术指标要求,有些参数还有所超过。

与会专家认为,该机结构紧凑,操作简便,调试和维修方便,能满足实用要求,为工矿企业的大批量产品加工和激光加工研究提供了一种有效的工具。

（吉禾）