

多通道声光调制器的研制

李银柱¹ 李卓² 杨睿³ 朱健强¹

¹ 高功率激光物理国家实验室 中国科学院上海光机所 上海 201800
² 长春光机学院理学院 长春 130022; ³ 云南大学物理系 昆明 650032

提要 介绍了多通道声光调制器的基本工作原理。设计并制作了中心频率为 80 MHz, 带宽为 10 MHz 的 LN/ZF-6 四通道线性声光调制器, 对这类器件的制作工艺进行了分析和研究。实验测得器件的指标为: 中心频率 75 MHz, 衍射效率大于 10% (1.5 W 输入功率), 带宽 15 MHz, 已经达到实用要求。

关键词 多通道声光调制器, 声串音, 电串扰

1 引言

60 年代开始国外的一些声光器件已进入了系列化生产, 现在国外的单通道和多通道器件都已开始系列化生产。国内在单通道器件的研制上, 与国外的差距不是很大, 但是在多通道器件的研制方面还是一个空白, 这样在此类器件的设计、制作和应用等方面, 都需要进行细致的研究和发展。

多通道声光调制器的结构、理论分析、设计和工艺等与单通道器件相似, 但又增加了许多约束条件: (1) 需要减小电极的宽度。(2) 需要设计合理的电极引出结构。(3) 需要减小相邻通道间的声串音。(4) 需要减小相邻通道间的电串扰等。

多通道声光调制器与单通道声光调制器相比, 可以增加调制光束的路数, 降低扫描速率, 并可以降低调制带宽, 极大地提高器件的线性特性, 因而在激光彩色打印机、多通道声光光谱仪、光数字计算机、二维光信息处理和视频/红外动态图像转换系统^[1]等方面有很大应用。但是由于结构的复杂性大大增加, 对工艺的要求将更高。

本文设计并制作了中心频率为 80 MHz, 带宽为 10 MHz 的四通道 LN/ZF-6 声光调制器, 制作过程中采用了独特的压焊工艺, 对大面积的换能器与声光介质之间的键合取得了很好的效果。器件达到的实际指标为: 中心频率 75 MHz, 带宽 15 MHz, 衍射效率大于 10%。该器件的研制开辟了国内多通道器件研制与应用的新领域。

2 多通道声光调制器的基本原理

声光器件是利用在介质内传播的超声波和光波之间的相互作用, 以实现控制激光束的目的。当声波在声光介质中传播时, 介质便发生应变, 使介质折射率 \bar{n} 产生周期性变化, 形成了

折射率光栅, 当一单色光通过时, 将发生衍射。

Raman 和 Nath 从参量相互作用观点出发, 导出了声光相互作用的耦合波方程。该方程在 Bragg 衍射条件下的分析解为^[2]

$$\eta = \sin^2 \left[\frac{\pi}{\lambda_0} \sqrt{\frac{M_2 L P_a}{2H}} \right]$$

其中, η 为一级衍射光的衍射效率, λ_0 为光波在真空中的波长, M_2 为声光介质的声光优质, P_a 为声功率, L 和 H 分别为换能器的长度与宽度。由上式可以看出, 通过控制 P_a 就可以控制衍射光的光强, 达到对激光进行调制的目的。

多通道声光调制器的基本结构如图 1 所示^[2], 一块较大的压电换能器晶片被键合到一块声光晶体上, 金属键合层同时也作为换能器的底电极。顶电极包含有许多条蒸镀到换能器上的平行电极条, 每一条电极将确定一个独立的通道, 每一通道将有各自的调幅射频源激励。这样当光束通过该多通道声光调制器时, 将独立地调制出一系列的衍射光, 可以对多路光信号同时进行分析和处理^[3]。

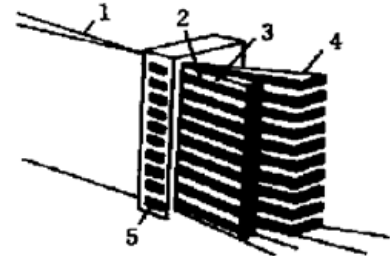


图 1 多通道声光调制器的工作原理

1: 入射光; 2: 没有被衍射的光;

3: 被衍射后减弱的光; 4: 衍射光; 5: 换能器

Fig. 1 Schematic of multichannel acousto-optic modulator

1: incident light; 2: undiffracted light; 3: light weakened by diffraction; 4: diffracted light; 5: transducers

3 LN/ZF-6 多通道声光调制器的设计与制作

3.1 LN/ZF-6 多通道声光调制器的设计

多通道声光调制器的基本参数的设计与单通道器件类似。但是多通道声光调制器是将多条电极镀在同一块声光换能器衬底上, 还需重点考虑其相邻通道间的声串音和电串扰等问题。

3.1.1 声串音: 声串音是由于声束在空间传播过程中有一定的发散角, 导致声光作用介质内的声场在一定的传播距离上产生交叠而引起的^[4]。选择合理的电极宽度 H 和电极间距 a 可以在一定的传播距离 d 内减小声场串扰。

3.1.2 电串扰: 电串扰一方面由于各通道的电极间的间距很小, 且需要很多个独立的靠得很近的匹配网络和传输线连接, 这样相邻通道间难免产生高频辐射串扰。另一方面由于各通道共用同一底电极, 将会在相邻通道间产生传导耦合串扰^[5]。选择合适的匹配网络和降低功率源的输入功率将可以大大减小电干扰。声光调制器具体设计指标如下: 激光波长 $\lambda_0 = 0.6328 \mu\text{m}$; 中心频率

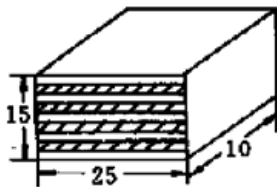


图 2 四通道声光调制器(单位: mm)

Fig. 2 Configuration of four-channel acousto-optic modulator

$f_0 = 80 \text{ MHz}$; 输入阻抗 50Ω ; 调制带宽 $f_m = 10 \text{ MHz}$; 衍射效率 $\eta > 10\%$; 通道数 4。

选定的 $36^\circ Y$ 切 LiNbO_3 换能器的尺寸为 $25 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, 根据设计指标的需要以及考虑到声串音和电串扰的影响得出多电极的设计参数为: 单电极的宽度 $H = 1.5 \text{ mm}$; 电极间距 $a = 1.5 \text{ mm}$; 电极长度 $L = 22.5 \text{ mm}$; 换能器厚度 $l = 38 \mu\text{m}$ 。

3.2 声光器件的制作工艺

声光器件的制作工艺中, 镀膜、键合和减薄是制作过程中的关键工艺。根据目前的实验设备和条件, 采用电阻式蒸发镀膜机。镀膜时, 真空度、加料量、蒸发电流、时间和蒸发距离等条件要严格掌握。

当声光介质基片和换能器基片上蒸镀好钢层后, 就把它们焊接在一起, 这是制作声光器件的关键工艺之一。常用的焊接方法有: 超声焊、热压焊和冷钢焊等。在制作器件过程中, 采用了独特的大气条件下钢热压焊工艺, 利用一套简易加压和加热的装置, 加压装置不仅有较高的机械精度, 而且还采用球面接触逐渐加压, 同时进行缓慢加热, 这样对大面积的换能器(10 mm × 25 mm)与声光介质间的键合取得了很好的效果。大气条件下钢热压焊的关键在于镀完膜后, 要立即压合, 使钢的氧化尽量减少, 并注意消除键合层的热应力。

制作声光器件的另一关键就是键合后减薄的工艺, 这里采用普通的机械研磨成功地将换能片减薄到 30 μm 左右。减薄工艺成功的关键在于键合工艺的完善程度, 要求所有区域都很好键合。

减薄工艺完成后, 在换能器的上端再镀上一层金作为上电极, 所有工序完成后, 即可在压电换能器上焊接出电极引线, 然后进行装配。

4 性能测试

4.1 实验测试

4.1.1 衍射效率

使器件工作在中心频率 $f_0 = 80 \text{ MHz}$ 上, 改变驱动源的电输入功率 P_i , 实际上是改变超声功率 P_a , 即可测出不同功率下的 I_0 和 I_1 , 作出如图 3 的 $\eta - P_i$ 曲线。

由曲线可得: 1) 此器件所能达到的最大衍射效率约为 15% (输入电功率为 1.5 W)。2) 在 $f_0 = 80 \text{ MHz}$ 时, $\eta - P_i$ 曲线的线性很好。基本满足线性多通道声光调制器的要求。

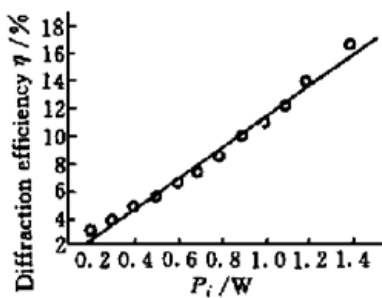


图 3 通道 1 的 $\eta - P_i$ 实验曲线

Fig. 3 Experimental curve of the diffraction efficiency versus the input power for channel 1

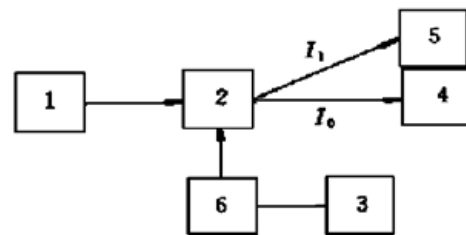


图 4 衍射效率测试装置示意图

1: 氦氖激光器; 2: 调制器; 3: 射频源; 4, 5: 功率计; 6: 驻波比功率计

Fig. 4 Set-up for measuring diffraction efficiency

1: He-Ne laser; 2: LN/ZF-6 modulator; 3: RF (radio frequency) power source; 4, 5: power meter; 6: SWR (standing wave ratio) power meter

4.1.2 测试 3 dB 带宽

图 4 为测试衍射效率的实验装置。在超声功率一定的情况下, 改变驱动源频率, 测得不同频率下的衍射光强度 I_1 , 作出 $I_1 - f$ 曲线(如图 5), 当衍射光的强度下降到最大值的 50% 时, 所对应的频率范围即 3 dB 带宽。

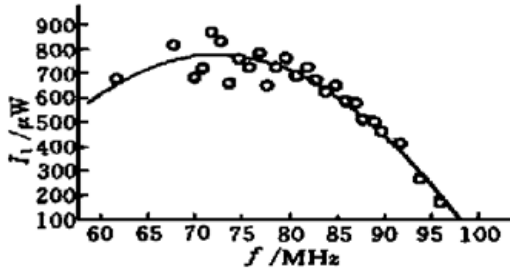


图 5 通道 1 的 I_1-f 实验曲线

Fig. 5 Curve of the diffraction light intensity versus frequency for channel 1

从 A 点到 D 点的相对光强分布, 实验曲线见图 7。

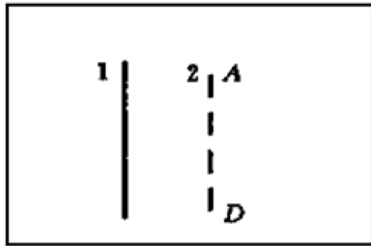


图 6 衍射光的平面分布

1: 没有被衍射的光; 2: 衍射光

Fig. 6 Configuration of the diffraction light
1: undiffracted light; 2: diffraction light

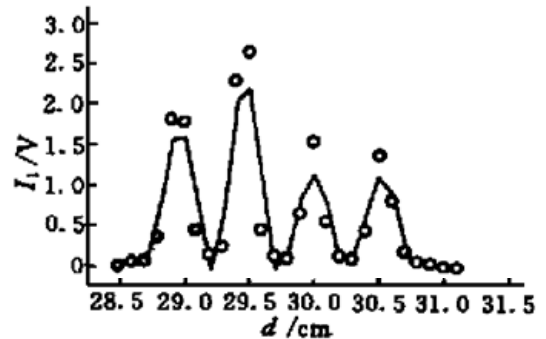


图 7 衍射光强的空间分布

Fig. 7 Spatial distribution curve of the diffraction light intensity

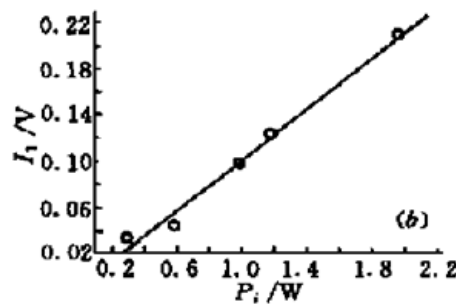
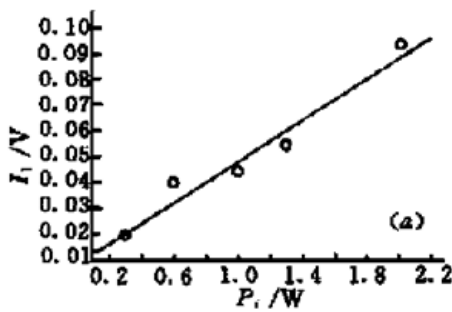


图 8 通道 2 对通道 3 的电串扰 (a) 和通道 3 对通道 2 的电串扰 (b)

Fig. 8 Electrical crosstalk from channel 2 to channel 3 (a) and from channel 3 to channel 2 (b)

由曲线可以看出, 4 个极大值与 4 个极小值的光强差很大, 说明各通道的调制光的空间独立性很好。

4. 1. 4 声串音和电串扰的测试

由于各通道的间距设计得较宽, 实验中没有发现明显的声串音现象, 故仅测量了通道间的电串扰。实验中选择了相邻的通道 2 和通道 3 进行测试。

由 I_1-f 曲线可知器件的最佳谐振点不在 80 MHz 上, 而是约为 75 MHz, 这主要是由于在设计、制作和装配等工艺上还有许多方面有待探讨和完善。但是此时可以看出器件的 3 dB 带宽大于 15 MHz, 完全满足 10 MHz 的要求。

4. 1. 3 衍射光强的空间分布

当四个通道均输入 1.5 W 功率, 以柱面光束照射调制器时, 所调制出的衍射光的平面分布如图 6 所示, 其中 A-D 分别是四个通道 1~ 4 的衍射光。利用 PIN 光电管与数字电压表的组合依次测量了

令通道 3 的输入功率 $P_i = 0$, 测试在通道 2 加上不同功率时通道 3 的光强变化, 实验曲线见图 8(a) 所示。同理可以测试通道 3 对通道 2 的电串扰, 实验曲线见图 8(b) 所示。

由实验曲线可知, 相邻通道间的电串扰随着输入功率的增大而增大, 故在衍射效率允许的范围内, 应尽量减小功率源的输入功率, 以减小通道间的电串扰。

4.2 实验结论

LN/ZF-6 声光调制器实际达到的指标如下: 工作波长 $0.6328 \mu\text{m}$; 中心频率约 75 MHz; 通道数 4 个; 调制带宽 15 MHz; 衍射效率大于 10%。

参 考 文 献

- 1 Scott B. Mobley. Dynamic infrared scan projection technology. *SPIE*, 1991, **1486**: 325~ 332
- 2 C. V. Raman, N. S. Nath. The diffraction of light by high frequency sound waves. *Proc. India Acad. Sci.*, 1956, **44A**(10): 165~ 170
- 3 Dennis R. Pape. Multichannel Bragg cells: design, performance and applications. *Opt. Eng.*, 1992, **31**(10): 2148~ 2158
- 4 A. VanderLugt, G. S. Moore, S. S. Mathe. Multichannel Bragg cells: compensation for acoustic spreading. *Appl. Opt.*, 1983, **22**(23): 3906~ 3912
- 5 Leon Bademian. Parallel-channel acousto-optic modulation. *Opt. Eng.*, 1986, **25**(2): 303~ 308

Development of the Multichannel Acousto-optic Modulator

Li Yinzhu¹ Li Zuo² Yang Rui³ Zhu Jianqiang¹

¹State Key Lab of High Laser Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800

²Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022

³The Physics Department of Yunnan University, Kunming 650032

Abstract A brief review of the fundamental acousto-optic interaction theory is given. The considerations of design and fabrication for multichannel Bragg cell are studied. A four-channel LN/ZF-6 modulator with 75 MHz center frequency, 15 MHz bandwidth and more than 10% diffraction efficiency has been designed and fabricated.

Key words multichannel acousto-optic modulator, acoustic crosstalk, electrical crosstalk