

# 一种6信道声光调制器

杨涛,周建国,艾毅智,刘保见,吴畏

(中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆400060)

**摘要:**介绍了一种6信道声光调制器。通过在换能器上制备电极阵列,设计独立的阻抗匹配电路和电输入端口,将6个声光相互作用单元集成在一起,实现了对6束激光的并行、独立调制。经测试,该6信道声光调制器工作波长为355 nm,工作频率为220 MHz,单信道衍射效率>75%,全局串扰<0.5%。

**关键词:**声光调制器;多信道;全局串扰

**中图分类号:**TN65 **文献标识码:**A

## Acousto-Optic Modulator with Six Channels

YANG Tao, ZHOU Jianguo, AI Yizhi, LIU Baojian, WU Wei

(The 26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

**Abstract:** This article introduces an acousto-optic modulator, with six channels, that achieves parallel and independent modulation of six laser beams by preparing electrode arrays on the transducer, designing independent impedance matching circuits and electrical input interfaces, and integrating six acousto-optic interaction units. The acousto-optic modulator has an optical wavelength of 355 nm, a working frequency of 220 MHz, a diffraction efficiency of over 75% for each channel, and a global cross-talk below 0.5%.

**Key words:** acousto-optic modulator; multi-channel; cross-talk

### 0 引言

随着激光技术的发展,声光调制器成为多个领域的关键器件。在量子通信领域,声光器件不仅可用作光开关和光路由,还是量子通信的关键器件<sup>[1]</sup>。声光调制是利用声光相互作用效应将电磁波信息加载于光载波上的一种物理过程。调制信号是以电信号(调幅、调相或调频)形式作用于电声换能器上,通过电声换能器把电信号转化为相同规律变化的超声信号,当光波通过声光介质时,声光互作用使光载波受到调制而输出携带信息的调制光波。声光调制器可用于多种形式的信号调制,如数字编码信号、模拟信号,其具有工作电压低、响应速度快、消光比高及全固态等优点。

在量子计算<sup>[2]</sup>等新兴技术领域,以离子阱系统<sup>[3]</sup>为代表的量子系统对声光调制器提出了新的应用需求。在离子阱系统中,通过将离子制备到振动基态(0声子态),再操纵激光聚焦到离子上,实现了对单离子的么正变换和多离子的逻辑门操作<sup>[4]</sup>。为

了获得高量子比特数,系统使用多束激光对离子阵列进行操控,这需要对多束激光组成的光束阵列进行并行、独立调制。传统声光调制器存在系统体积大、难集成等问题,多信道声光调制可以很好地解决这些问题。多信道声光调制器在单个器件内部集成了多个声光作用单元,实现对多个光束的并行、独立调制,对于待处理的信息量较大或要求信息处理速度较快的情况,多信道声光调制器显示出较大优势<sup>[5]</sup>。

本文介绍了一种6信道声光调制器,采用石英晶体作为声光介质,铌酸锂(LN)作为换能器,通过6路独立的射频信号驱动实现了对6束光信号的调制。

### 1 基本原理

6信道声光调制器由声光介质、底电极、换能器、表电极阵列和阻抗电路阵列等部分组成,其工作原理如图1所示。射频信号经阻抗电路耦合后,通过表电极和底电极施加到换能器上,因逆压电效应产生的超声波经耦合进入声光介质,形成了折射

收稿日期:2023-12-09

作者简介:杨涛(1981-),男,陕西省宝鸡市人,高级工程师。

率光栅。因此,由6个表电极组成的表电极阵列将驱动换能器产生6束超声波,在声光介质内形成6个依次排列的折射率光栅。当6束激光对准相应的折射率光栅并以布喇格角入射时,分别产生声光布喇格衍射,控制每路射频信号参数就能实现对激光束阵列的并行调制。

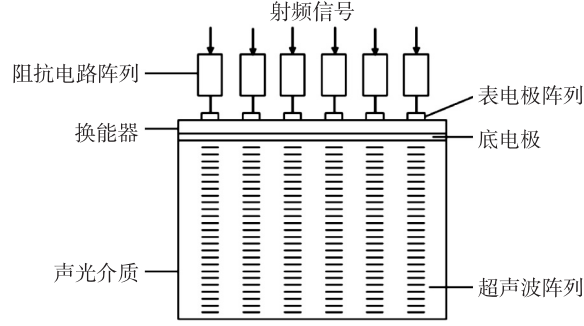


图1 基本原理图

## 2 器件设计

### 2.1 声光参数设计

声光参数设计首先需要确定声光互作用的模式,即采用拉曼-奈斯衍射,还是布喇格衍射模式。6信道声光调制器使用一级衍射光作为输出光,故需要工作在布喇格衍射模式,以提高光的利用效率。通常将品质因数( $Q$ )值作为区分拉曼-奈斯衍射和布喇格衍射的定量标准,声光器件 $Q$ 值表征为

$$Q = 2\pi L f^2 \lambda_0 / (nV^2) \quad (1)$$

式中: $L$ 为声光相互作用长度; $f$ 为工作频率; $\lambda_0$ 为光波长; $n$ 为声光介质折射率; $V$ 为声光介质中的声速。

由式(1)可见,当 $Q \leq \pi$ 时,声光器件为拉曼-奈斯衍射模式;当 $Q \geq 4\pi$ 时,声光器件为布喇格衍射模式。

在众多的技术参数中,衍射效率是表征声光器件性能的关键指标,是声光参数设计的重点。布喇格衍射模式下的衍射效率表征<sup>[6]</sup>为

$$\eta = \sin^2 \left( \frac{\pi}{\lambda_0} \sqrt{\frac{M_2 L P}{2H}} \right) \quad (2)$$

式中: $M_2$ 为声光介质材料的声光优值; $P$ 为超声功率; $H$ 为声光相互作用宽度。

此外,声光参数设计还需要考虑声发散角与光发散角的匹配问题。若声发散角大于光发散角,则边缘超声能量被浪费;相反,若光发散角大于声发散角,则边缘光线因无方向合适(即满足布喇格方程)的超声而不能被衍射<sup>[7]</sup>。

激光束通常都是高斯光束,经透镜聚焦后仍为高斯光束,其发散角 $\Delta\phi$ 为

$$\Delta\phi = \frac{4\lambda}{\pi d_0} \quad (3)$$

式中: $\lambda$ 为介质内光波长; $d_0$ 为聚焦在声光介质内高斯光束的腰部直径。声发散角一般取4 dB发射角 $\Delta\theta$ ,有:

$$\Delta\theta = \frac{\Lambda}{L_1} \quad (4)$$

式中: $\Lambda$ 为声光介质内声波长; $L_1$ 为换能器长度。定义光发散角和声发散角的比值为比发散角 $a$ ,有:

$$a = \frac{\Delta\phi}{\Delta\theta} \quad (5)$$

事实上,为了充分利用声能和光能,调制器一般需要工作在比发散角 $a \approx 1$ 的条件下。

根据上述理论,本文的6信道声光调制器采用石英晶体作为声光介质,铌酸锂作为换能器,声波模式为纵波,其中心频率为220 MHz,单个表电极尺寸为12 mm×0.24 mm。

### 2.2 电极设计

为了在单个器件内部集成多个声光相互作用单元,采用了阵列式表电极设计方案,如图2所示。表电极阵列位于换能器上表面,6组尺寸为12 mm×0.24 mm的表电极平行排列,长度方向对应光传输方向,底电极位于换能器与声光介质的结合面。

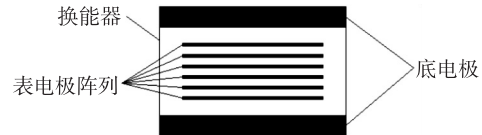


图2 表电极图形

电极阵列的布局还需要考虑声串扰因素。声串扰是由于声束在空间传播过程中存在一定的发散角,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。合理设计电极宽度和电极间距,使电极宽度与相邻电极中心距离之比小于1/3,则可在一定的传播距离内减小声场串扰。本文表电极中心间距设计为0.9 mm。

### 2.3 电路设计

6信道调制器电路设计的重点是防止和降低各信道间的电信号串扰。其原因在于:一方面由于各信道电极间的间距很小,且需要多个靠得很近的匹配网络和传输线连接,这样相邻信道间难免会产生高频辐射串扰。另一方面由于各信道共用同一底电极,将会在相邻信道间产生传导耦合串扰。

为了降低电信号交叉干扰,需要做好电路接

地。一般而言,每个信道的阻抗为 6~10 Ω,这时接地电阻必须做到几纳欧以下。采用低损耗阻抗匹配网络,对每个信道实现良好的耦合,并将每个信道匹配网络独立地放入金属屏蔽盒内。为了降低接线之间互调,可采用微带板设计,并与器件的电极相连,其他所有接线均采用特制的屏蔽同轴传输线。器件外接头采用微型密封式同轴接头,以便降低接头之间的高频干扰。另外,适当降低驱动器的输入功率也可降低电干扰。

### 2.4 热设计

对 6 信道声光调制器来说,虽然单个信道的射频功率不大,产生的热量有限,但 6 个信道同时工作时产生的热量累积还是可观的,需要及时将热量导出,防止因热量积累而影响器件的稳定性和可靠性。

首先,考虑到晶体的导热系数相对较低,在信道孔径和间距一定的条件下,尽量减小声光介质的厚度,从而缩短热量在晶体内的传播距离。其次,声光晶体的侧面和底面通过厚约 0.1 mm 的导热填充层与金属壳体结合(见图 3),填充层的导热系数达到

4.0 W/(m·K),在声光晶体和金属壳体间建立快速热传递通道,将晶体内部温度控制在合理范围内。

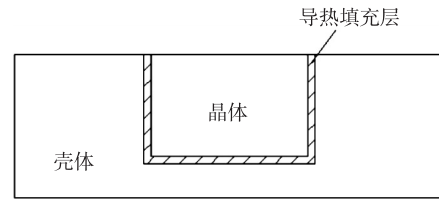


图 3 晶体热设计方案

## 3 实验测试

### 3.1 衍射效率测试

图 4 为 6 信道声光调制器的衍射效率实验框图。波长为 355 nm 的光源输出连续的线偏振激光,经过光阑,用 1×10 的光学衍射元件(DOE)将光束等分成 10 束激光,经过透镜后变为光束直径  $\varnothing$  0.2 mm、间距 0.9 mm 的平行光束阵列,与声光调制器的信道孔径和信道间距相匹配。使其中 6 束激光对准声光调制器各信道输入,由驱动器向声光调制器输入 6 路独立的射频驱动信号,调整布喇格角,测试输出端各信道的光功率并得到对应的衍射效率。

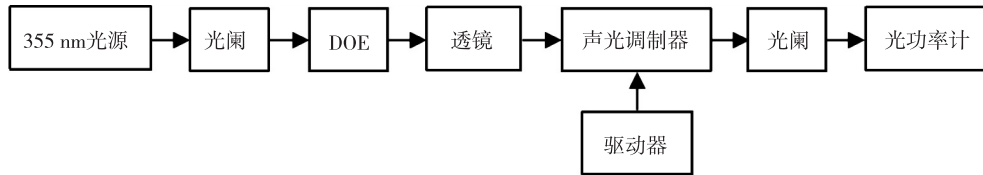


图 4 衍射效率实验框图

样品的衍射效率测试数据如表 1 所示。

表 1 衍射效率测试数据

信道序号	总光功率/ $\mu$ W	衍射光功率/ $\mu$ W	衍射效率/%	射频功率/W
1	200	153	76.5	1.0
2	203	168	82.8	1.0
3	190	154	81.1	1.0
4	184	148	80.4	1.0
5	206	168	81.6	1.0
6	201	162	80.6	1.0

由表可见,在驱动功率 1.0 W 条件下,6 个信道

的衍射效率均高于 75%,各信道衍射效率一致性较好。

### 3.2 全局串扰测试

全局串扰表征的是声光调制器各信道间的信号干扰程度,实验装置(见图 5)与衍射效率测试类似。为了提高测试精度,采用光电探测器和示波器测试声光调制器输出端各信道的信号。实验过程如下:首先测试某个信道衍射光的信号幅度,再关闭该信道,开启其他所有信道,测试进入该信道衍射光位置的干扰光信号幅度,干扰光与该信道衍射光信号幅度的比值定义为该信道的全局串扰。重复以上过程,依次完成 6 个信道的测试。

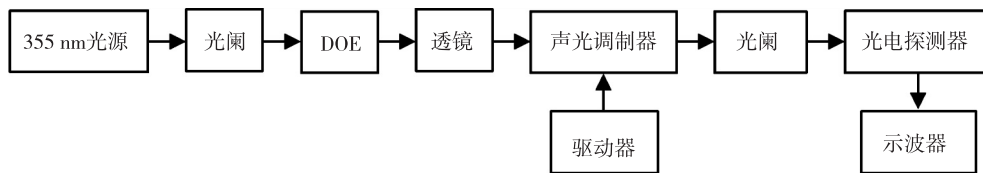


图 5 全局串扰实验框图

样品的全局串扰测试数据如表 2 所示。由表可见,6 个信道的全局串扰均低于 0.5%。

表 2 全局串扰测试数据

信道序号	衍射光信号 幅度/V	干扰光信号 幅度/mV	全局串扰/%
1	2.309	8.716	0.377
2	2.423	7.149	0.295
3	2.322	11.518	0.496
4	2.368	7.099	0.300
5	2.410	8.705	0.361
6	2.403	9.804	0.408

#### 4 结束语

本文介绍了一种 6 信道声光调制器,在单个器件内部集成了 6 个声光相互作用单元,实现了对 6 束激光的并行、独立调制。该器件工作波长为 355 nm,输入光偏振态为线偏振,工作频率 220 MHz,单信道光孔径 $\varnothing$ 0.24 mm,信道中心间距 0.9 mm,驱动功率为 1.0 W/信道,各信道衍射效率 $>75\%$ ,全局串扰 $<0.5\%$ 。

#### 参考文献:

- [1] 毕然,陈力荣,李晋鹏,等.任意偏振光保偏的声光衍射效率增强系统的研究[J].激光与光电子学进展,2021,58(1):0123002.  
BI Ran, CHEN Lirong, LI Jinpeng, et al. Acousto-optic diffraction efficiency enhancement system for polarization maintaining of arbitrarily polarized light[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021,58(1):0123002.
- [2] 郭光灿,周正威,郭国平,等.量子计算机的发展现状与趋势[J].学科发展,2010,25(5):516-524.  
GUO Guangcan, ZHOU Zhengwei, GUO Guoping, et al. Present status and development of quantum computers[J]. Disciplinary Development, 2010, 25(5): 516-524.
- [3] 王晨旭,贺冉,李睿睿,等.量子计算与量子模拟中离子阱结构研究进展[J].物理学报,2022,71(13):133701.  
WANG Chenxu, HE Ran, LI Ruirui, et al. Advances in the study of ion trap structures in quantum computation and simulation[J]. Acta Phys Sin, 2022, 71(13):133701.
- [4] 饶欣欣,李卓瑛,宋潇,等.离子阱量子计算机的发展现状与趋势[J].世界科技研究与发展,2022,44(2):157-171.
- [5] 胡爱民.微声电子器件[M].北京:国防工业出版社,2008.
- [6] 何晓亮,刘伟,艾毅智.连续固体激光器用声光 Q 开关[J].压电与声光,2002,24(1):23-25.  
HE Xiaoliang, LIU Wei, AI Yizhi. Acoustooptic Q-switch used in CW solide laser system[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2002,24(1):23-25.
- [7] 徐介平.声光器件的原理设计和应用[M].北京:科学出版社,1982.