**文章编号:**1004-2474(2018)03-0319-04

# 微型声光调 Q 开关

傅礼鹏,令狐梅傲,何晓亮,王智林,朱 贺,陈华志

(中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆 400060)

摘 要:该文介绍了应用于激光器系统中的微型声光调Q开关的设计、测试及应用。通过有限元数值分析各因素对声光调Q开关衍射损耗的影响,提出了一种新型优化声光调Q开关的设计方案。选用氧化碲(TeO<sub>2</sub>)晶体 作为光电偏转材料,利用集成电路兼容工艺加工得到封装尺寸为17.8 mm×6.8 mm×17.8 mm,工作波长 1 064 nm,光脉冲上升时间28.99 ns的微型声光调Q开关。该微型声光调Q开关具有优异的性能,其体积缩减到 原来产品的40%;光孔径为Ø0.8 mm;在全温范围(-45~70 °C)内稳定工作,衍射损耗保持在35%(±2%)。

关键词:微型声光调Q开关;光脉冲上升时间;光孔径;衍射损耗 中图分类号:TN24 文献标识码:A DOI:10.11977/j.issn.1004-2474.2018.03.003

## Micro Acousto-optic Q-switch

#### FU Lipeng, LINGHU Meiao, HE Xiaoliang, WANG Zhiling, ZHU He, CHEN Huazhi

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

Abstract: This paper introduced the design, testing and applications of micro acousto-optic Q-switch in laser system. The influences of various factors on the diffraction loss of the acousto-optic Q-switch was analyzed by the finite element method and a new design scheme for optimizing the acoustic-optical Q-switched was proposed. The tellurium oxide (TeO<sub>2</sub>) crystal was selected as the photoelectric deflection material, and the micro acousto-optic Q-switch with a package size of 17.8 mm×6.8 mm×17.8 mm, operating wavelength of 1 064 nm and the light pulse rise time of 28.99 ns was fabricated by using the integrated circuit compatible process. The micro acousto-optic Q-switch has excellent performance, in which the volume has reduced to 40% of the original product and the diameter of the aperture was 0.8 mm. With stable operation over the full temperature range ( $-45 \sim 70$  °C), the diffraction loss was maintained at 35% ( $\pm 2\%$ ).

Key words: micro acousto-optic Q-switch; rise-time of light pulses; light aperture; diffraction loss

0 引言

声光调Q开关具有体积小,通光方向长度短, 功耗低,无需冷却及控制方便等特点,能极大地促进 纳秒级/亚纳秒级激光器的发展,在激光测距、激光 成像等方面具有重要应用<sup>[1-3]</sup>。

本文利用氧化碲(TeO<sub>2</sub>)晶体,通过优化设计得 到了工作于 1 064 nm,光脉冲上升时间 28.99 ns, 光孔径 $\emptyset$ 0.8 mm,衍射损耗 35%,尺寸 17.8 mm× 6.8 mm×17.8 mm 的微型 Q 开关,并理论分析了 影响衍射损耗的因素。

1 微型声光调 Q 开关的基本原理

微型声光调 Q 开关<sup>[1-3]</sup>由器件和驱动电源组成,器件和驱动电源通过一根高频电缆线连接,如图 1 所示。驱动电源<sup>[4]</sup>主要由控制电路、振荡电路和 功率放大网络等组成。器件主要由电极、换能器、声

光互作用介质、匹配电路等组成,如图 2 所示。驱动 电源产生的射频信号传输到声光调 Q 开关器件内, 经过匹配电路加载到压电换能器上。换能器激发超 声波传入声光介质形成折射率光栅,当光通过折射



收稿日期:2017-12-18

作者简介:傅礼鹏(1986-),男,湖北人,工程师,主要从事声光技术产品的设计研发。

率光栅时发生衍射。

如图 3 所示,当声光调 Q 开关工作时,衍射光 偏离激光谐振腔,使谐振腔处于高损耗状态,品质因 数(Q)值被降低,激光振荡不能形成。在泵浦源的 作用下,上能级反转粒子数可以大量积累。当反转 粒子数积累到最大值时突然使声光调 Q 开关停止 工作,此时,腔内损耗减小,Q 值突增,激光振荡迅速 建立,在极短的时间内上能级反转粒子数被消耗,转 变为腔内激光能量,从腔的输出端以单一脉冲形式 释放出来,获得脉冲极短、峰值功率很高的1 064 nm 波长激光<sup>[4-5]</sup>。



图 3 驱动电源组成 图 4 为声光调 Q 开关工作原理示意图。



图 4 声光调 Q 开关工作原理示意图

2 微型声光调 Q 开关设计

#### 2.1 衍射损耗

衍射损耗<sup>[5]</sup>是指声光调Q开关在工作时,各级 衍射光强度总和与器件关闭时0级光光强的比值。 衍射损耗的高低直接影响声光调Q开关为激光器 工作时产生的调制损耗的高低。衍射损耗越高,调 制损耗越高,器件对激光的关断能力越强。

微型声光调 Q 开关采用布喇格衍射模式,衍射 损耗的高低主要取决于器件的布喇格衍射效率。声 光器件的布喇格衍射效率为

$$\eta = \sin^2 \left( \pi \sqrt{\frac{PkLM_2}{2H\lambda^2}} \right) \tag{1}$$

式中:*P* 为驱动功率;*k* 为机电耦合系数;*M*<sub>2</sub> 为声光 优值;*L* 为换能器长度;*H* 为换能器宽度;λ 为器件 工作的光波长<sup>[6-8]</sup>。

由式(1)可看出, $\eta 与 L$ 、*P*成正比,与*H*成反 比。由于微型声光调Q开关器件整体通光方向长 度的限制,器件的*L*设计为6.1 mm。微型声光调 Q开关的*H*设计为1 mm。当*L*=6.1 mm、*H*= 1 mm时,微型声光调Q的 $\eta$ 与*P*关系如图5所示。



图 5 η 与 P 关系

由图 5 可看出,增大 *P* 能够提高器件的 η。设 计微型声光调 Q 开关的 *P*>1.5 W,此时,器件衍射 损耗大于 30%。

## 2.2 光学透过率

声光调 Q 开关的透过率越高,在激光腔内的插 入损耗越小,输出的激光功率越高。微型声光调 Q 开关声光互作用介质材料 FeO<sub>2</sub> 光学透过率为 70%,折射率n=2.2759。不镀增透膜达不到要求, 因此要给器件镀增透膜。为了抗激光损伤、耐腐蚀, 拟设计 ZrO<sub>2</sub>(折射率 $n_1=2.1$ )、SiO<sub>2</sub>(折射率 $n_2=$ 1.45)双层增透膜,如图 6 所示。



图 6 双层增透膜结构 当两层膜厚均为 λ/4 时,单面反射率 R 为

$$R = \left(\frac{n_2^2 \cdot n - n_1^2}{n_2^2 \cdot n + n_1^2}\right)^2$$
(2)

由式(2)计算可得镀增透膜后器件通光面 R= 0.17%,器件光学透过率 $(1-R)^2=99.67\%$ 。

实际使用时,希望插入损耗越小越好。为了降低插入损耗,在设计器件时还要考虑器件的布喇格角,如图7所示。在声光互作用介质上修正布喇格角,使用时使激光垂直入射到通光面即可,这不仅使



#### 图 7 修正布喇格角

用方便,且可降低器件的腔内插入损耗。这是由于 通光面上反射的激光未反射出激光腔,仍然在激光 腔内振荡。本器件中心频率为 120 MHz,修到喇格 角 22.96′。

#### 2.3 分离角

声光调 Q 开关分离角<sup>[6]</sup>是指器件工作时,0 级 光与衍射光之间在器件外的最小偏转角度。器件分 离角过小会造成衍射光无法偏离激光谐振腔,在腔 内继续振荡消耗反转粒子数。声光调 Q 开关的分 离角取决于器件外的衍射光偏转角。本项目微型声 光调 Q 开关在设计时将一级衍射光偏转角作为器 件分离角。声光调 Q 开关一级光偏转角为

 $\alpha = \lambda f/v$  (3) 式中: f 为器件工作中心频率; v 为声光互作用介质 声速。微型声光调 Q 开关工作光波长为 1 064 nm, 中心频率为 120 MHz,采用的 TeO<sub>2</sub> 晶体声速为 4 200 m/s,代入式(3)可得器件的一级光偏转角为 1.74°。

## 2.4 调制频率、中心频率

从器件部分分析,选择的声光互作用介质是 FeO<sub>2</sub> 晶体,其超声波速度  $v_0$  为 4 200 m/s,在光束 直径 D 为Ø1 mm 时的渡越时间为

$$\tau = D/v_0 = 0.24(\mu s) \tag{4}$$

为了保证有良好的调Q效果,就必须有高的消 光比,这时脉冲的最小周期T为

$$T \approx 3_{\tau} \approx 0.72(\mu s) \tag{5}$$

脉冲调制的最高频率 f<sub>0</sub> 为

$$f_0 = 1/T \approx 1 388(kHz)$$
(6)  
这时需要的中心频率 f 为

 $f \ge 2.55/\tau \approx 10.63(\mathrm{MHz}) \tag{7}$ 

当器件的 f>10.63 MHz 时,脉冲调制的最高 频率 能达到 1 388 kHz。我们实际设定 f =120 MHz,足以保证器件在 D=1 mm 时,脉冲调制 频率范围为  $0\sim1$  388 kHz。

从驱动电源角度分析,微型声光调Q开关驱动 电源采用外调制触发方式获得≪1 kHz 的脉冲调制 频率。驱动电源的设计方案中加入了外部调制模块 以方便使用外部信号源对驱动电源输入调制信号, 外部调制信号经过两次与非门之后输入图中 DDS 的 OSK 端口,如图 8 所示。采用此驱动电源方案的 可输入调制信号频率范围为 0~100 kHz,满足≪ 1 kHz的调制频率需求。



#### 2.5 驱动功率

微型声光调 Q 开关驱动电源采用 2 级放大电

路为器件提供 *P*≥1 W 的驱动功率,功放电路主要 由放大管、匹配网络、滤波元件等组成,如图 9 所示。



第一级放大使用 RF5089。RF5089 是通用高 线性度的射频 IC 放大芯片,增益 19 dB。

第二级放大使用 MRF160,增益 16 dB。将第 二级放大结果作为驱动电源的驱动功率输出,同时 第二级放大方式选择丙类放大模式,能够提高驱动 电源的开关比。

当 DDS 芯片输出信号为 0,经过 RF5089 和 MRF160 两级放大后最高能达 35 dBm,即此驱动方 案最大可为器件提供 3.2 W 的驱动功率。

3 研制结果

基于以上的设计,我们研制出了微型声光调Q 开关<sup>[7]</sup>样品,如图10所示。



图 10 微型声光调 Q 开关器件图

微型声光调 Q 开关工作波长为 1 064 nm,工作 频率为 120 MHz。器件测试仪器包括 1 064 nm 激光 器、脉冲信号源、驱动电源、光电探测器、光功率计和 示波器。最后测试该器件光脉冲上升时间 28.99 ns, 衍射效率 35%。其光脉冲上升时间如图 11 所示。

(上接第 318 页)

恒温晶振。通过测试,在振动相位噪声达到 -147 dBc/Hz@1 kHz,封装尺寸仅为25.4 mm× 25.4 mm×15 mm,可以满足新一代电子装备对晶 振小体积和良好动态相噪指标的严格要求,具有广 阔的应用前景。

#### 参考文献:

 BLOCH M, MANCINI O, MCCLELLAND T, et al. Acceleration G compensated quartz crystal oscillator
IEEE International Frequency Control Symposium, 2009:175-180.



图 11 示波器上测试的光脉冲上升时间图

#### 4 结束语

本文理论分析了影响 Q 开关衍射效率<sup>[7-8]</sup>、透 过率、调制频率等因素。设计了工作频率 120 MHz,光脉冲上升时间 28.99 ns,衍射损耗保持 在 35%,光孔径Ø0.8 mm 的微型声光调 Q 开关。 在光纤激光器、激光测距、激光成像等方面具有重要 应用。

#### 参考文献:

- [1] 徐介平. 声光器件原理、设计和应用[M]. 北京:科学出版社,1982.
- [2] 俞宽新,丁晓红,庞兆广.声光原理与声光器件[M].北 京:科学出版社,2011.
- [3] 吴中超,何晓亮,周建国,等.光纤声光开关的研究及应 用[J].红外与激光工程,2010,39(增刊1);124-128.
- [4] 于复生,陈江华,李树强.LD 泵浦的声光调 Q 腔内倍 频固体激光器[J]. 半导体光电,2000,21(4):249-252.
- [5] 崔志超,过振,徐银新,等.二维声光调Q开关近场衍 射效率分布[J].电子科技,2010,23(7):36-40.
- [6] 戈平. DPL 中声光调 Q 开关衍射效率的角度匹配问题 研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2011.
- [7] 黄国标,张渝楠,刘扬满,等.激光声光调Q技术的研究[J].中国激光,1978(增刊1):132.
- [8] 叶艳,王石语,文建国,等. DPL 的声光 Q 开关衍射特 性[J].应用光学,2003,24(4):9-11.
- [2] FRYS J , BURNETT G A. Reducing the acceleration sensitivity of AT-strip quartz crystal oscillators [J]. IEEE,2010: 25-30.
- [3] XU Shuyi, CHEN Zhongping. Development of an antivibration crystal oscillator for reducing vibration-induced phase noise[J]. Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications, 2011: 217-220.
- [4] 陈亚良,李东来,徐金荣.晶体振荡器隔振系统理论研 究[J].电子机械工程,2005,21(5):26-29.
- [5] CLAYTONL D, EERNISSE E P. Four-point SC-cut crystal unit design calculations for reduced acceleration sensitivity[J]. IEEE International Frequency Control Symposium, 1992: 582-596.