

多通道 $2\ \mu\text{m}$ 声光 Q 开关

张泽红, 杨 涛, 何晓亮, 高维松

(中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060)

摘要:介绍了一种多通道工作的 $2\ \mu\text{m}$ 声光 Q 开关。在声光介质的两个相邻垂面上分别制作了两组换能器阵列, 实现了两维声光 Q 开关通道组合方式的多样化, 声光 Q 开关在某个工作区域的性能出现下降(如增透膜损伤等)时, 可以方便地通过切换工作通道来改变工作区域, 从而提高产品使用寿命。制作出的样品在光波长为 $2\ \mu\text{m}$, 驱动电功率为 $2 \times 80\ \text{W}$, 光孔径 $\varnothing 2\ \text{mm} \times 2\ \text{mm}$ 时衍射效率高达 95%。

关键词:多通道; 两维; 声光 Q 开关; 衍射效率

中图分类号: TN65 **文献标识码:** A

Study on $2\ \mu\text{m}$ Acousto-optic Q Switch With Multiple Channel

ZHANG Zehong, YANG Tao, HE Xiaoliang, GAO Weisong

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

Abstract: A kind of $2\ \mu\text{m}$ acousto-optic Q switch working in multiple channel is introduced in this paper. Two sets of transducer arrays are fabricated on two adjacent vertical surfaces of acousto-optic medium and the diversification of the two-dimensional acousto-optic Q-switch channel combination is realized. When the performance of the acousto-optic Q switch declines in a working area (such as the AR coating damage, etc.), it can easily switch to change the working area through the working channel, thereby enhancing the service life. With the light wavelength of $2\ \mu\text{m}$, driving power of $2 \times 80\ \text{W}$, and aperture of $\varnothing 2\ \text{mm} \times 2\ \text{mm}$, the diffraction efficiency of the sample is up to 95%.

Key words: multichannel; two-dimension; acousto-optic Q switch; diffraction efficiency

0 引言

声光 Q 开关已广泛应用于激光器中, 是在激光腔内起调 Q 作用的关键部件, 它能迅速地把连续激光调 Q 成所需频率的高功率脉冲激光, 具有衍射效率高, 关断能力强, 插入损耗小, 重复频率高, 控制方便及性能稳定可靠等特点^[1]。常用的声光 Q 开关都是采用一维设计, 即在一个通声面上制作一个换能器, 这种声光 Q 开关的衍射效率通常不到 90%, 难以满足一些功率密度很高的激光器的需求^[2-3]。

为了提高声光 Q 开关的衍射效率, 人们发明了二维声光 Q 开关, 它是在同一个声光介质相互正交的两个面上分别制作换能器, 使用时, 射频信号同时传输到两个换能器表电极上, 两个换能器把吸收的射频信号转化为超声波的同时传输到声光互作用介质内, 在介质内形成相互正交的折射率光栅。入射

光与相互正交的折射率光栅同时发生声光互作用, 产生二维衍射光, 这样就能达到提高衍射效率的目的。如一个换能器的衍射效率为 90%, 那么两个换能器同时工作的衍射效率能达到 99%。

由于这种二维声光 Q 开关只有一对相互正交的换能器, 因此只有一个位置能实现二维衍射, 当高功率激光把这个位置的增透膜打坏时就会导致产品报废而无法使用, 严重降低产品的寿命。针对现有二维声光 Q 开关只有一个位置能实现二维衍射的不足, 我们设计制作了一种有多个通道位置实现二维衍射的多通道声光 Q 开关。

1 基本原理

常用的二维声光 Q 开关如图 1 所示, 它是在同一个声光介质相互正交的两个通声面上分别制作一个换能器, 因此, 只有一个区域能实现二维衍射, 当高功率激光把这个位置的增透膜打坏时就会导致产

品就报废无法使用,严重降低了产品的寿命。

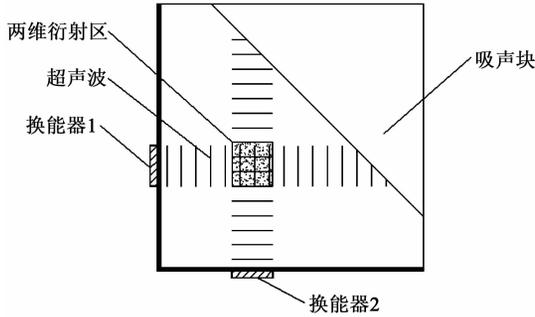


图 1 两维声光 Q 开关

为了解决这个问题,我们在一个声光介质相互正交的 XY 两个面上分别制作多个换能器,这样就有多个位置可以产生两维衍射。当高功率激光把某个位置的增透膜打坏时,把激光换到另一个通道位置又可以继续工作,这样就能达到提高产品使用寿命的目的。

图 2 为多通道声光 Q 开关。由图可知,在相互正交的 XY 两个面上分别制作 2 个换能器,共计 4 个换能器,使用时,一路射频信号从换能器 1 或换能器 2 输入,另一路射频信号从换能器 3 或换能器 4 输入,这样就会有 A、B、C、D 共 4 个通道位置可以产生两维衍射,产品的使用寿命是以前的 4 倍,提高了产品使用寿命。

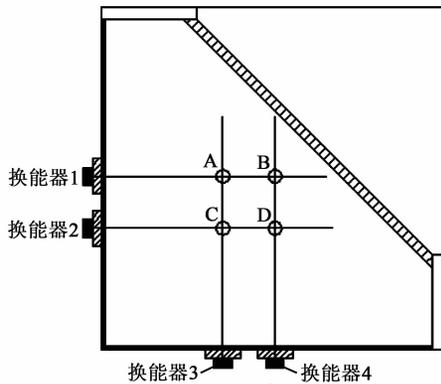


图 2 多通道声光 Q 开关

2 衍射效率

为了关断高功率的 2 μm 激光,我们采用损伤阈值较高的红外融石英作声光介质,红外融石英的性质如表 1^[4] 所示。为了提高开关速度,我们采用纵波工作模式。工作频率取 27.12 MHz,这时红外融石英的特征长度为 34.9 mm。声光相互作用长度 L=42 mm,这时声光 Q 开关的工作模式介于布喇格衍射与拉曼衍射之间的过渡衍射模式。

表 1 红外融石英的性质

材料	声波	声速/ (s · m ⁻¹)	声光优值/ (10 ⁻¹⁵ s ³ /kg)	光偏 振态
红外融 石英	纵波	5 950	M _{2⊥} = 1.51 M _{2//} = 0.55*	⊥ //
	横波	3 760	M ₂ = 0.47	任意

注: * 为有的文献给出的值是 0.3 10⁻¹⁵ s³/kg,但我们发现 0.55 10⁻¹⁵ s³/kg 较符合实验结果。

为了使任意偏振态的入射光都有相同的衍射效率,把每个通道的参数如换能器厚度 l、L、声光相互作用宽度 H 和驱动声功率 P_a 等设计成一样的,这时 A、B、C 和 D 4 个两维通道中的任意一个通道的衍射效率为^[5]

$$\eta = 1 - \cos^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{M_{2//} LP_a}{2H}} \right) \times \cos^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{M_{2\perp} LP_a}{2H}} \right) \quad (1)$$

式中 λ 为光波长。

换能器采用铌酸锂晶体,其机电耦合系数为 0.49,这时 P_a 与驱动电功率 P 的关系为

$$P_a = 0.49 \times P \quad (2)$$

表 2 为一维声光 Q 开关与两维声光 Q 开关衍射效率的对比测试结果。一维声光 Q 开关在 2 μm 波长的衍射效率(⊥偏振光)最高只能达到 87.5%,再增加电功率衍射效率不仅不会增加,反而会降低,但 2 个换能器同时工作的两维声光 Q 开关的衍射效率(任意偏振光)实测值高达 95%,突破了一维声光 Q 开关衍射效率(2 μm 波长)难以大于 90% 的瓶颈,这时 P=2×80 W、光孔径 ∅2 mm×2 mm。

表 2 一维与两维声光 Q 开关的衍射效率

光波长/ μm	电功 率/W	η/%			
		一维声光 Q 开关		两维声光 Q 开关	
		⊥偏振光 理论	⊥偏振光 实测	任意偏振光 理论	任意偏振光 实测
2	0	0	0	0	0
2	10	18.3	21.9	23.5	38.5
2	20	34.3	40.3	42.5	62.5
2	30	48.1	55.3	57.5	76.6
2	40	59.8	67.4	69.4	85.3
2	50	69.8	76.9	78.5	89.1
2	60	78.1	84	85.4	92.1
2	70	84.8	85.6	90.6	93.5
2	80	90.1	87.5	94.2	95.0
2	90	94.2	86.7	96.8	94.6

在 $P=2\times 80\ \text{W}$ 的条件下,分别对 A、B、C、D 4 个两维通道进行衍射效率测试,测试结果分别为 94.8%、95.0%、95.2% 和 94.9%,一致性较好,为通道间互换使用创造了条件。

衍射效率与驱动电功率的关系如图 3 所示。由图可知,衍射效率在达到饱和前,理论值与实测值相差较大,其原因为式(1)是由布喇格衍射模式推导出来的,而实测产品的工作模式是介于布喇格衍射与拉曼衍射之间的过渡衍射模式。

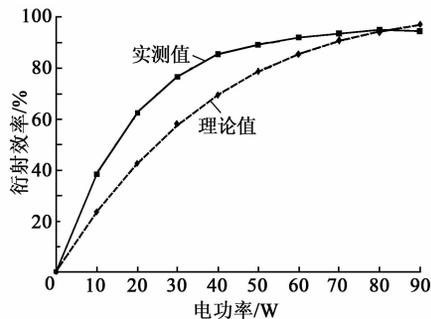


图3 两维声光 Q 开关衍射效率与驱动电功率的关系

提高工作频率就可以使器件工作在布喇格衍射模式下,如把工作频率设为 40 MHz,这时红外融石英的特征长度为 16 mm,满足布喇格衍射条件(特征长度小于 L 的一半),但这时器件的衍射效率比工作频率 27.12 MHz 的更低(衍射效率降低了 15%, P 均为 80 W)。分析其原因发现是凹槽内的导热胶作为换能器的背吸声层吸收了部分换能器振动(纵波)能量,使得进入声光介质的振动能量减弱,进而降低了器件的衍射效率。

实验还发现,同样的背吸声层,吸收的换能器振动能量与频率有关。频率越高,背吸声层吸收换能器振动能量的能力越强,进入声光介质的振动能量就越弱,器件的衍射效率就越低;反之,频率越低,背吸声层吸收换能器振动能量的能力越弱,进入声光介质的振动能量就越强,器件的衍射效率就越高。

降低工作频率,有助于降低背吸声层的影响,但同时会减小衍射光的分离角。分离角与声光 Q 开关的关断能力有关,分离角太小会影响声光 Q 开关的关断能力,因此必须选择一个合适的工作频率,兼顾分离角与衍射效率。实验发现,27.12 MHz 是一个较合适的频率,背吸声层(导热胶)的影响较小(降低衍射效率不到 2%),分离角为 9 mrad,能满足大部分高功率激光器的使用要求,因此,我们把多通道 $2\ \mu\text{m}$ 声光 Q 开关的工作频率设计成 27.12 MHz。

由于未工作在 $2\ \mu\text{m}$ 的照相机,我们用 1 064 nm 激光观察多通道声光 Q 开关工作时的衍射光斑(见图 4),这时的 $P=20\ \text{W}$ 。0 级光是未衍射的入射光,其他光斑都是衍射光。

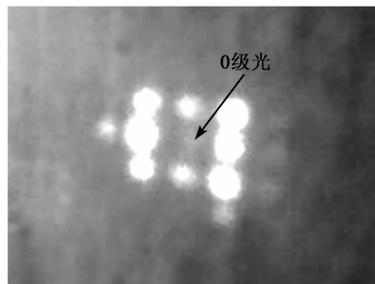


图4 衍射光斑

3 热设计

多通道 $2\ \mu\text{m}$ 声光 Q 开关每个换能器要承受 80 W 的电功率,整个器件有 2 个换能器,因此,器件要承受 160 W 的电功率,是普通声光 Q 开关的 3 倍^[6],而声光介质红外融石英的热导率较低,换能器温升较大,因此,我们进行了散热设计,降低换能器温度,提高产品的可靠性。

制作的多通道 $2\ \mu\text{m}$ 声光 Q 开关块体结构如图 5 所示,它主要由声光介质、换能器、表电极、焊接层、吸声块和水冷块等组成,焊接层位于换能器与声光介质之间。

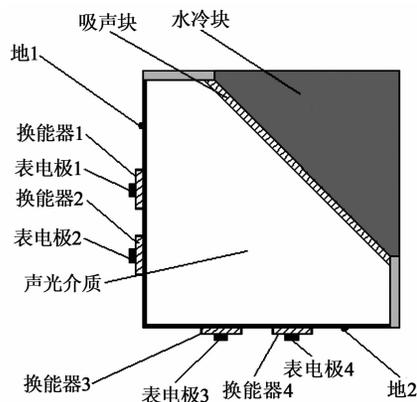


图5 多通道 $2\ \mu\text{m}$ 声光 Q 开关块体

多通道 $2\ \mu\text{m}$ 声光 Q 开关的散热结构如图 6 所示。安装块体 4 个换能器的位置做了凹槽,凹槽内填满导热胶,以降低换能器温度。块体的 4 个面通过导热胶紧贴在外壳上,外壳通冷却水。在输入 $2\times 80\ \text{W}$ 电功率、水温 $22\ ^\circ\text{C}$ 时,换能器的温度约为 $30\ ^\circ\text{C}$,换能器与声光介质之间的焊接层的熔点大于 $200\ ^\circ\text{C}$,因此,能保证换能器长期正常工作。图 7 为热成像仪拍摄的温度照片。

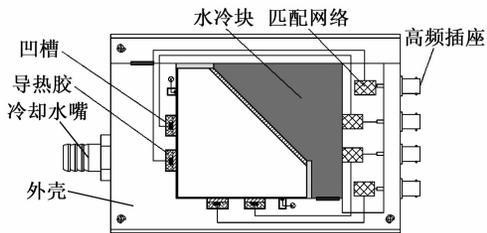


图6 多通道 2 μm 声光 Q 开关的散热结构

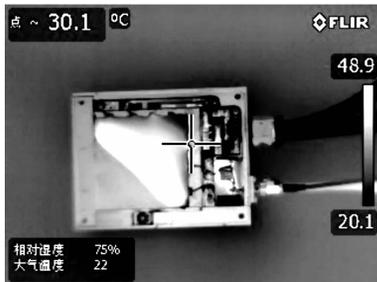


图7 多通道 2 μm 声光 Q 开关的热像仪照片

4 结束语

基于多个换能器制作的多通道 2 μm 声光 Q 开关不仅能提高衍射效率,还能成倍提高产品的工作时间,解决了普通两维声光 Q 开关工作寿命有限的

问题,但多通道 2 μm 声光 Q 开关制作工艺较复杂,成品率较低,还需要在以后的工作中加以解决。

参考文献:

[1] 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.

[2] 王宝华,李强. 双声光二维 Q 开关提高连续 Nd:YAG 激光关断损耗研究[J]. 应用激光,2008(2):142-144.

[3] 陈莹,王立新,曾祥江,等. 双棒串接双声光器件调 QNd:YAG 激光器的研究[J]. 中国激光,2000, A27(9):782-784.

[4] 徐介平. 声光器件的原理、设计和应用[M]. 北京:科学出版社,1982.

[5] 张泽红,陈文友,柏富芬,等. 两维声光 Q 开关[J]. 压电与声光,1998,20(1)7-13.

ZHANG Zehong, CHEN Wenyong, BO Fufen, et al. The two-dimensional acousto-optic Q-switch[J]. Piezo-electrics & Acousto-optics, 1998,20(1):7-13.

[6] 何晓亮,王晓新,刘伟,等. 高功率 DPL 用声光 Q 开关组件[J]. 激光与红外, 2006,35(suppl3):208-211.

读者信息反馈卡(2017年第4期)

▲您目前最感兴趣的技术问题: _____

▲您认为本期最佳文章: _____ 理由: _____

▲您认为本期欠佳文章: _____ 理由: _____

▲您希望本刊增加哪些内容: _____

读者姓名: _____ 通信地址: _____ 邮编: _____

复印有效

《压电与声光》免费索阅卡

姓名: _____ 职务: _____ 职称: _____ 单位: _____

地址: _____ 邮编: _____ 电话: _____

企业产品: _____

索阅期号: _____ 年 _____ 月(每次仅限壹期)

复印有效