

连续固体激光器用声光 Q 开关

何晓亮, 刘伟, 艾毅智

(四川压电与声光技术研究所, 重庆 400060)

摘 要:介绍了用于连续固体激光器调 Q 用的声光 Q 开关, 阐述了其原理、设计和制作过程。给出了光孔径为 $\varnothing 4$ mm, 光波长 $1.06 \mu\text{m}$, 衍射损耗 $> 50\%$, 驱动功率 50 W, 插入损耗 $< 5\%$ 的实验结果。

关键词:声光 Q 开关; 衍射损耗; 插入损耗

中图分类号: TN248.1; TN65

文献标识码: A

Acoustooptic Q-switch Used in CW Solide Laser System

HE Xiao-liang, LIU Wei, AI Yi-zhi

(Sichuan Institute of Piezoelectric & Acoustooptic Technology, Chongqing 400060, China)

Abstract: The paper presents a kind of acoustooptic Q-switch used in cw solide laser system. The principles, design consideration and fabricating process are given. The experimental results of 50 W of Q-switch power, greater than 50% of diffraction loss, less than 5% of insert loss at 4 mm of the light beam in diameter, $1.06 \mu\text{m}$ of the light wavelength are obtained.

Key words: acoustooptics Q-switch; diffraction loss; insert loss

1 前言

固体激光器中用于产生高峰值输出的 Q 开关, 主要采用声光(AO)器件和电光(EQ)器件。声光 Q 开关具有工作电压低、响应快、重复频率高、插损低、易控制、全固化、工作频定等特点。对声光 Q 开关信号重复频率可达 50 kHz, 而电光 Q 开关最大重复频率仅为 50 Hz, 因此声光 Q 开关被广泛用于激光打标机、划片机、雕刻机、切割机等各种激光加工设备中, 有着广阔的市场前景。

为此, 我们开发了一种用于连续激励固体激光器的声光 Q 开关, 已被小批量用于激光打标机等激光加工设备中, 本文介绍了该声光 Q 开关的设计、制作及实验结果。

2 声光 Q 开关原理

声光 Q 开关是通过电声转换形成超声波使调制介质折射率发生周期性变化, 对入射光起衍射栅作用, 使之发生衍射损耗, Q 值下降, 激光振荡不能形成。在光泵激励下其上能级反转粒子数不断积累并达到饱和值, 这时突然撤除超声场, 衍射效应立即

消失, 腔内 Q 值猛增, 激光振荡迅速恢复, 其能量以巨脉冲形式输出。

3 设计

3.1 结构

声光 Q 开关基本结构如图 1 所示, 由声光互作用介质, 产生电声转换的压电换能器和高频匹配电路组成。

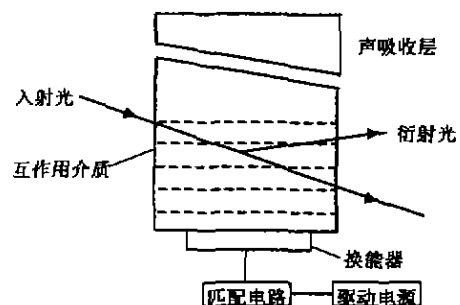


图 1 声光 Q 开关结构

选择声光 Q 开关的声光互作用介质材料时主要考虑:

(1) 衍射品质因数高;

收稿日期: 2001-08-07

作者简介: 何晓亮(1972-), 女, 重庆万州人, 工程师, 学士。

- (2) 在使用光波长范围内,光透射率高;
 (3) 化学稳定性高,机械寿命长;
 (4) 光损伤阈值高,易于机械加工;
 (5) 已建立能获得高质量大晶体的晶体生长技术;
 (6) 耐热冲击。

考虑到此声光 Q 开关是用于激光强度大的激

光加工设备中。我们综合比较了能适合(1)~(6)条件的材料,最后决定采用品质因素 M_2 较低,但能满足(2)~(6)条件的熔石英作为互作用介质材料。

作为产生电声转换的压电换能器,我们选用能有效激励纵波的 LiNbO_3 单晶(36°Y 切),采用了锡冷压焊工艺粘接。表 1、2 分别为 LiNbO_3 和熔石英的光学特性^[1,2]。

表 1 LiNbO_3 的光学特性

材料	声波	方向	机电耦合系数	声速 /m·s ⁻¹	机械阻抗 /10 ⁴ kg·m ⁻² ·s ⁻¹	介电常数	频率常数 /MHz·μm
LiNbO_3	L	36°Y 切	0.49	7 300	33.9	39	3 650

表 2 熔石英的光学特性

材料	声速	密度 /g·cm ⁻³	声吸收系数 /dB·cm ⁻¹	声速 /m·s ⁻¹	机械阻抗 /10 ⁴ kg·m ⁻² ·s ⁻¹	偏振	品质因数 /10 ⁻¹⁸ s ³ ·g ⁻¹
熔石英	L	2.20	3(500 MHz)	5 960	13.1	垂直偏振	1.51

为了消除超声反射,可考虑用硅橡胶等声吸收体吸声,但考虑到吸收体发热会影响器件性能以及装配方便的原因,我们将接合体对面切割成锥形。高频匹配电路是由调整电容和电感组成的。

由于换能器的电声转换过程及超声波被吸收后都会产生热量,如不及时耗散会在介质中形成温度梯度场,扰乱超声场的相位光栅,甚至使器件失去调 Q 作用,更为严重的是使换能器发生炸裂,所以必须考虑器件散热,用水冷散热结构设计为两块铝板夹层散热的全水冷结构。

3.2 高衍射损耗

调 Q 激光器多为固体激光器,比气体激光器的增益要大,为使激光器停振所需的损耗就大。声光器件的工作,根据参量 q 分类^[1,2],即

$$q = \frac{2\pi\lambda l}{\Lambda^2 \cos\theta_0} = \frac{2\pi l \lambda f^2}{nv^2} \quad (1)$$

式中 λ 为光波长; n 为调制介质折射率; Λ 和 v 分别为调制介质中超声波的波长和声速; f 为超声波频率; l 为声光互作用长度。

$q \geq 4\pi$ 为布喇格衍射, $1 < q < 4\pi$ 为喇曼衍射区,考虑到有效关断激光和使器件在腔内调整方便,我们选择合适的互作用介质长度。将器件设计为衍射效率较高的布喇格衍射,器件驱动源载波频率为 50 MHz,器件衍射效率

$$\eta = \sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda^0} \sqrt{\frac{M_2 L_1 P_s}{2H}}\right) \quad (2)$$

式中 L_1 为换能器长度; P_s 为声功率; H 为声柱宽度; M_2 为熔石英声光优值。

为了满足衍射损耗 $> 50\%$,克服连续 YAG 激

光器 $< 50\%$ 的增益,并考虑到电声转换中的损耗,驱动源功率设计为大于 50 W 以上。

3.3 插入损耗

由于激光器输出功率随腔内损耗的变化十分敏感,应尽量减少声光互作用介质的通光损耗。为了降低表面反射光在系统内经多次反射后部分变为杂散光的损耗,在熔石英表面镀制增透膜,增透膜分单层膜、双层膜(见图 2)和多层膜。根据计算,选用镀双层膜,双层膜的光学厚度为 $\lambda_0/4$,当光垂直入射时,要使波长 λ_0 的光反射为零,折射率应满足^[3]

$$n_s n_1^2 = n_0 n_2^2 \quad (3)$$

式中 n_s 为互作用介质折射率; n_1 为外层膜(低折射率膜)的折射率; n_2 为紧贴介质的内层膜(高折射率膜)的折射率; n_0 为空气折射率($n_0 = 1$)。

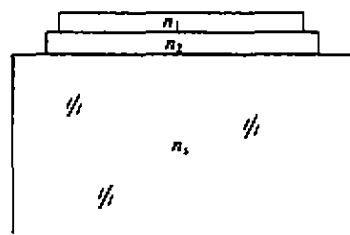


图 2 双层膜示意图

我们选用的膜材料为 Gd_2O_3 和 SiO_2 , Gd_2O_3 的 $n_2 = 1.8$,透光区 $0.22 \sim 9 \mu\text{m}$ 。 SiO_2 的透光区 $0.2 \sim 9 \mu\text{m}$, $n_1 = 1.45$ 。得到的理论透射率 $T = 99.92\%$ 。

为了满足布喇格入射条件 $\sin\theta_B = \lambda/2\lambda$,又能保证光束垂直透光面入射(这时介质面的反射损耗最小),我们把声光介质的通光面与超声波面(即换能器接触面)之间的夹角磨成 $(90^\circ - \theta_B)$,在 50 MHz

时 $\theta_b = 0.173^\circ$, 使器件静态插损最小(见图3)^[2]。

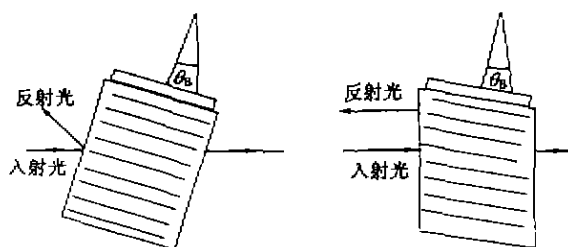


图3 两种声光Q开关工作方式比较

4 制作

声光Q开关的工艺制作如图4所示^[4]。

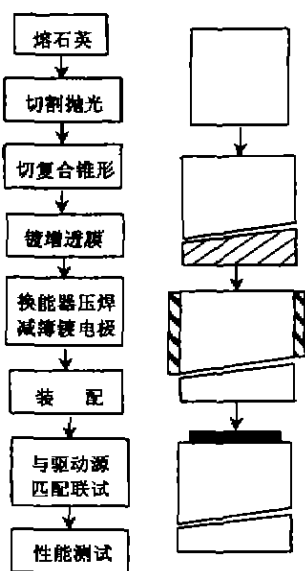


图4 声光Q开关制作工艺

制作声光Q开关的关键工艺是把 LiNbO_3 换能器和熔石英粘合在一起的键合工艺和将换能器减薄到所需尺寸的减薄工艺。因为换能器的超声功率要通过这个键合层进入熔石英中, 所以键合层必须是低损耗的。我们采用锡作过渡层的冷压焊工艺, 压焊时高真空度, 压力均匀, 然后根据中心频率将换能器减薄至所需厚度。

因为换能器的电输入阻抗一般不能达到匹配, 驱动源能量不能有效进入换能器, 所以必须使用匹配网络。我们采用单个并联电感的简单匹配网络或由电感 L 和电容 C 组成的匹配网络, 调整输入阻抗 L, C , 可实现电压驻波比 $V_{\text{SWR}} < 1.1$, 反射率 $< 2\%$ 。

5 实验结果

对声光Q开关器件, 减小 σ 级光与入射光的比值和降低插损很重要。图5为测定插损装置。



图5 测量Q开关静态插入损耗装置

将声光Q开关插入光路, 调整光路测出最大光强 I , 然后将器件移开, 测出此时光强 I_0 , 则插入损耗为 $1 - I/I_0$ 。光学透过率与静态插入损耗的关系如表3所示。

表3 光学透过率与静态插入损耗对照

器件编号	1	2	3	4	5
光学透过率/%	99.4	99.5	99.6	99.7	99.8
静态插损/%	8	7	5	4	2

图6为测量Q开关调制损耗的测试装置。开启驱动电源, 调整器件位置, 至零级光强最弱时为最佳, 记下此时零级光强 I_1 , 然后关掉驱动电源, 测出零级光强 I_0 , 则调制损耗为 $1 - I_1/I_0$ 。图7为器件的调制损耗与驱动功率的关系曲线。

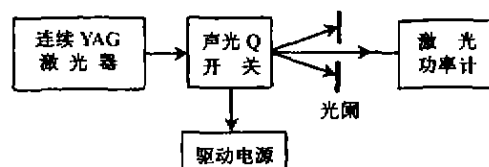


图6 测量Q开关调制损耗的测试装置

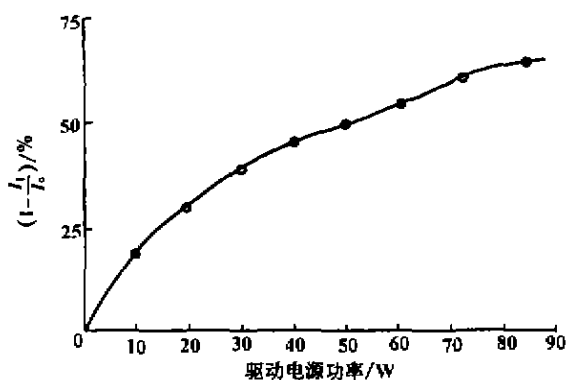


图7 器件的调制损耗与驱动功率的关系曲线

表4、5是声光Q开关的性能参数及采用此声光Q开关的激光打标机的性能。

表4 声光Q开关性能参数

器件编号	光波长 / μm	光孔径 / mm	驱动功率 / W	调制损耗 / %	插损 / %	脉冲宽度 / kHz	脉宽 / μs
1	1.06	4	55	54	3	1~50	1~10
2	1.06	4	60	57	4	1~50	1~10

(下转第41页)

- of ferroelectrics [C]. London England, 1994: 319-324.
- [2] 陶宝祺. 智能材料结构 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.
- [3] Yutaka Sugawara, Katsuhiko Onitsuka, Shoko Yoshikawa, et al. Metal-ceramic composite actuators [J]. J Am Ceram Soc, 1992, 75(4): 996-998.
- [4] HAERTLING G H. Rainbows-a new type of ultra-high displacement actuators [R]. Am Ceram Soc Bull, 1994, 73: 96-99.
- [5] LI Guang, FURMAN, EUGENE, et al. Stressed-enhanced displacements in PLZT rainbow actuators [J]. J Am Ceram Soc, 1997, 80(6): 1 382-1 388.
- [6] DAUSCH D, HOOKER M W. Low-field and high-field fatigue in PZT-based Rainbow actuators [J]. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 1997, 8(12): 1 044-1 051.
- [7] PAN W Y, DAAM C Q, CROSS L E. Large displacement transducers based on electric field forced phase transitions in the tetragonal $\text{Pb}_{0.47}\text{Sn}_{0.02}(\text{Zr}, \text{Sn}, \text{Ti})\text{O}_3$ family of ceramics [J]. J Appl Phys, 1989, 66(12): 965-968.
- [8] WANG Qing-ming, CROSS L E. Analysis of high temperature reduction processing of Rainbow actuator [J]. Mater Chem Phys, 1999, 58(1): 20-25.

(上接第 25 页)

表 5 采用声光 Q 开关的高速激光打标机技术参数

工作物质	平均功率 /W	刻线速度 /mm · s ⁻¹	刻写范围	刻写深度 /mm
Nol: YAG	60	0~50	∅65/100 mm	0.01~0.2

6 结束语

我们设计制作了用于连续激励固体激光器的声光 Q 开关器件, 该产品插入损耗低, 调制损耗大, 能有效关断 50~60 W 的连续 YAG 激光, 且成本低,

使用广, 已在多家厂家高速激光打标机等激光加工设备中工作了 2~3 年, 性能稳定可靠。

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. 50~65.
- [2] 蓝俗钜. 激光技术 [M]. 湖南: 科学技术出版社, 1981.
- [3] 潘承志. 实用二氧化碳激光技术 [J]. 激光集刊, 2000, 10(3): 29-32
- [4] 妹尾具展. 王大春译. 脉冲激励固体激光器用高调制损耗声光 Q 开关的工作特性 [J]. 应用物理 (日), 1990.

(上接第 37 页)

参考文献:

- [1] 张志彬, 赵伯雷, 曾周末, 等. 复合材料超声直线电机的研究 [J]. 光学精密工程, 1998, 6(4): 65-69.
- [2] 张双寅. 复合材料力学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1992.
- [3] 曾周末, 张志彬, 靳世久. 复合材料超声直线电机及其冲量分析模型 [J]. 压电与声光, 2000, 22(1): 54-56.
- [4] 倪振华. 振动力学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1989.