

PbMoO₄ 和 TeO₂ 声光偏转器的仿真及特性分析

严一民,陈啸宇,王素飞,刘 承,宁智华

(电子科技大学 物理电子学院,四川 成都 610054)

摘 要:该文设计了中心频率 100 MHz、在 0.632 8 μm 波长激光下工作的 PbMoO₄ 和 TeO₂ 正常声光偏转器,并给出了 2 个器件的尺寸设计参数,然后使用 MATLAB 软件对 2 个器件进行仿真,根据得到的最大衍射效率、工作带宽及渡越时间等特性曲线和参数,对 2 种偏转器的工作特性进行了分析。仿真结果表明,TeO₂ 偏转器的工作特性较 PbMoO₄ 偏转器有一定提升。

关键词:声光偏转器;器件特性;PbMoO₄;TeO₂;MATLAB 仿真

中图分类号:TN65;TN29

文献标识码:A

Simulation and Performance Analysis of PbMoO₄ and TeO₂ Normal Acousto-optic Deflector

YAN Yimin, CHEN Xiaoyu, WANG Sufei, LIU Cheng, NING Zhihua

(School of Physical Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: In this paper, PbMoO₄ and TeO₂ normal acousto-optic deflectors with center frequency of 100 MHz and operating at laser length of 0.632 8 μm . The size design parameters of two deflectors are given. The characteristics of deflectors are analyzed through maximum diffraction efficiency, bandwidth, transit time and other performance characteristics and curves obtained from the simulation of two deflectors on MATLAB software. The simulation result shows that TeO₂ deflector has an improvement on characteristics comparing with PbMoO₄ deflector.

Key words: acousto-optical deflector; device characteristics; PbMoO₄; TeO₂; MATLAB simulation

0 引言

目前声光器件已被运用在光通信和军事等许多领域。声光器件主要有声光偏转器、声光调制器和声光可调谐滤波器等。用 PbMoO₄ 和 TeO₂ 制作的声光器件是目前使用较广泛的声光器件。前者主要用来制作正常声光器件(声波沿[001]方向传播),而后者多被用来制作反常声光器件(声波沿[110]方向传播)。根据已有文献[1-2]可知,与 TeO₂ 正常声光器件有关的研究工作不多,且没有仿真数据能对 PbMoO₄ 和 TeO₂ 正常声光偏转器的工作特性进行对比分析。为研究这两种偏转器的特性,本文用 PbMoO₄ 和 TeO₂ 介质分别设计了 2 个声光偏转器,然后用 MATLAB 软件对这 2 个器件的工作特性进行了仿真和对比分析。

1 声光偏转器的原理

图 1 为声光偏转器的基本结构。声光偏转器由压电换能器与传输超声波的声光介质组成。压电换

能器将超声功率信号源输出的电信号转换成机械振动信号。介质中传播的声波引起声光介质中的折射率变化,效果相当于建立了体光栅。这种光栅会对入射激光产生衍射作用,此现象为声光效应。在各向同性声光介质中,入射光偏振态不发生变化,产生正常声光效应;在各向异性声光介质中,入射光偏振态发生变化,产生反常声光效应。按照声光互作用

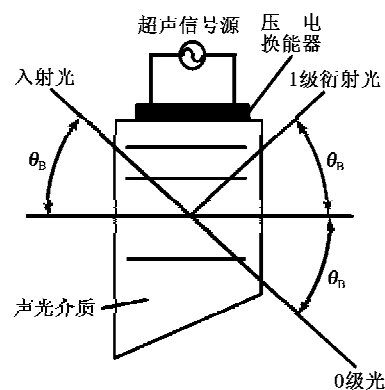


图 1 声光偏转器

收稿日期:2014-06-10

基金项目:全国高校创新创业基金资助项目

作者简介:严一民(1960-),男,四川荣县人,高级工程师,主要从事声学技术的研究。E-mail:yanymed@163.com。

长度进行区分,声光效应有拉曼-奈斯声光效应和布喇格声光效应两类。理论上布喇格衍射的衍射效率可达 100%,拉曼-奈斯衍射中 1 级衍射光的最大衍射效率仅为 34%,所以实用的声光器件一般都采用布喇格衍射^[3]。

由图 1 可看出,当入射角为布喇格角 θ_B 时,入射光会发生布喇格衍射,衍射光只有 0 级和 1 级,入射光的偏转角为 $2\theta_B$ 。对于声光偏转器,入射光的偏转角 α 正比于体光栅间隔,即正比于声光介质中超声波的频率 f ,且

$$\alpha = \frac{\lambda}{nv} f \quad (1)$$

式中: λ 为入射光波长; n 为介质折射率; v 为超声波在声光介质中的速度。

2 器件的设计

设计中心频率为 100 MHz 的 PbMoO₄ 和 TeO₂ 声光偏转器,偏转的激光波长为 0.632 8 μm 。表 1 为声波沿[001]方向传播时 PbMoO₄ 和 TeO₂ 介质的特性参数。表中, Z_0 为单位面积介质的声阻抗, α_0 为介质的声吸收系数(声衰减)。 M_1 为反映声光介质的物理性质及声光衍射效率的品质因数, M_2 为反映声光介质工作带宽的品质因数。

表 1 声波模式 L[001]下 PbMoO₄ 和 TeO₂ 介质的主要特性参数

声光介质	$v/(\text{m/s})$	$M_1/(\text{m}^2 \cdot \text{s/kg})$	$M_2/(\text{m}^3/\text{kg})$
PbMoO ₄	3632	113×10^{-6}	36.1×10^{-15}
TeO ₂	4200	138×10^{-6}	34.5×10^{-15}
声光介质	$Z_0/(\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$	$\alpha_0/(\text{dB/cm})$	
PbMoO ₄	25.2×10^6	15	
TeO ₂	25.2×10^6	15	

描述声光器件工作特性的一个重要参数为效率带宽积 $\eta \Delta f$, 其计算式为

$$\eta \Delta f = \frac{9\pi^2 P_m}{10\lambda^3 f_c H} M_1 \quad (2)$$

式中: η 为衍射效率; Δf 为器件工作带宽; P_m 为入射超声波的功率; H 为声光互作用介质的高度; f_c 为声光器件中心频率。

由式(2)可知, Δf 与 M_1 成正比。由表 1 可看出, TeO₂ 声光偏转器具有更高的效率带宽积。此外, 由表 1 还可看出, PbMoO₄ 和 TeO₂ 具有相同的声衰减系数。

2.1 压电换能器的设计

压电换能器是声光器件中的重要部分,它对声

光偏转器的工作特性的影响很大。压电换能器的设计要点是考虑换能器镀层结构及镀层和压电晶体的材料和厚度。目前, 4 个镀层结构的压电换能器使用较多, 但 5 个镀层结构的压电换能器能提高换能器的带宽并增强带宽稳定性^[4], 因此这里设计 5 个镀层结构的换能器, 其结构如图 2 所示。

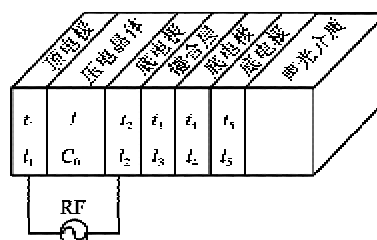


图 2 压电换能器的结构

换能器的压电晶体使用 36° Y-切 LiNbO₃。LiNbO₃ 是在可见光和近红外范围内最常用的声光介质之一, 具有良好的光学和声学特性^[5]。在图 2 中, $t_1 \sim t_5$ 表示换能器镀层的相对厚度, 单位为 1。取 $t_1 = 0.03 \text{ mm}$, $t_2 = 0.13 \text{ mm}$, $t_3 = 0.14 \text{ mm}$, $t_4 = 0.13 \text{ mm}$, $t_5 = 0.03 \text{ mm}$, 使用 MATLAB 软件仿真得到换能器的插入损耗随频率的变化曲线如图 3 所示。

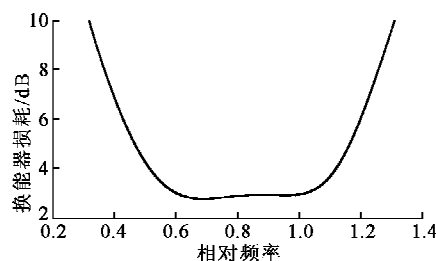


图 3 设计的压电换能器的频率特性

由图 3 中的仿真结果可知, 换能器插入损耗的最小值为 2.739 8 dB, 对应频率(半波长频率 f_0) 为 122.888 MHz。镀层的相对厚度 t_n 和绝对厚度 l_n 的关系为

$$l_n = \frac{v_n}{2f_0} t_n \quad (3)$$

压电晶体厚度为

$$l = v'/(2f_0) \quad (4)$$

式中: v_n 为各镀层的声速; v' 为压电晶体的压电增劲声速。通过式(2)、(3)可算出压电换能器各层的厚度, 如表 2 所示。

表 2 压电换能器各层的厚度

$l/\mu\text{m}$	$l_1/\mu\text{m}$	$l_2/\mu\text{m}$	$l_3/\mu\text{m}$	$l_4/\mu\text{m}$	$l_5/\mu\text{m}$
(LiNbO ₃)	(Au)	(Ag)	(In)	(Ag)	(Au)
29.998	0.415	2.095	1.282	2.095	0.415

接下来设计换能器的长 L 和宽 D 。设信号源输出电阻 $R_s = 50 \Omega$, 为了使换能器工作在最小损耗状态, 换能器的 L 和 D 要满足

$$R_s(LD)\Omega_0\epsilon_0\epsilon=1 \quad (5)$$

式中: $\Omega_0 = 2\pi f_0$; ϵ 为压电晶片的相对介电常数。此外, 为了让偏转器在布喇格衍射区工作的同时具有最大的超声利用率, 令换能器的长度 $L = 3.68L_0^{(c)}$ ($L_0^{(c)}$ 为声光器件中心频率处的特征长度), 则宽度 D 可由 L 经式(4)算出。最终设计得到 PbMoO_4 偏转器的换能器的 $L = 17.811 \text{ mm}$ 、 $D = 0.128 \text{ mm}$, TeO_2 偏转器的换能器 $L = 23.957 \text{ mm}$ 、 $D = 0.095 \text{ mm}$ 。

2.2 声光偏转器的尺寸设计

压电换能器的尺寸确定完成后, 声光器件几何尺寸就确定了(见图 4)。在声光器件的几何尺寸中, 长度 L 和宽度 W 对器件的特性影响比高度 H 大, 因此, 只考虑器件 L 和 W 。 L 一般取为换能器的长度, W 不超过 30 mm ^[6], 这样可减小超声波被介质吸收后对器件工作特性的影响, 选取 2 个器件的宽 $W = 8 \text{ mm}$ 。并设计得到 PbMoO_4 偏转器的长 $L = 17.811 \text{ mm}$, TeO_2 偏转器的换能器长 $L = 23.957 \text{ mm}$ 。

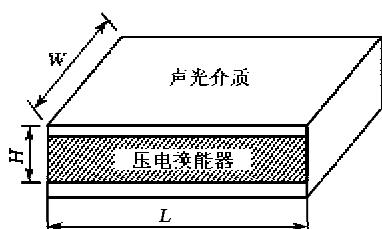


图 4 声光偏转器的几何尺寸

3 器件仿真及分析

使用 MATLAB 软件对前面设计的 PbMoO_4 和 TeO_2 声光偏转器进行仿真, 得到衍射效率(η)随相对频率的变化曲线(见图 5)、 η 随信号源电功率(P_s)的变化曲线(见图 6)及相关仿真数据(见表 3)。

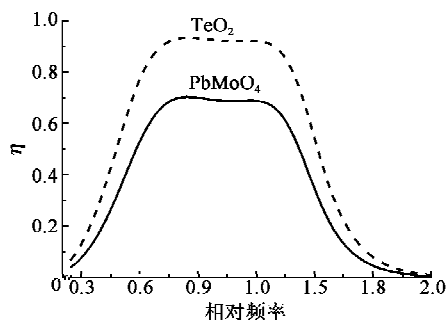


图 5 衍射效率随相对频率的变化图

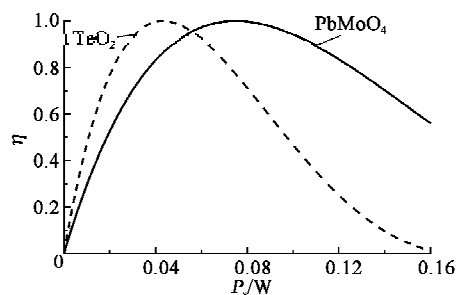


图 6 衍射效率随信号源电功率的变化图

表 3 PbMoO_4 和 TeO_2 声光偏转器的工作特性参数

声光介质	衍射效率最大值/%	工作带宽/MHz	衍射效率最大时信号源电功率/mW
PbMoO_4	70.27	99.69	74.3
TeO_2	93.27	106.22	43.6
声光介质	渡越时间/ μs	可分辨点数/个	偏转角/rad
PbMoO_4	0.275	27	0.007 3
TeO_2	0.238	25	0.007 1

由图 5 及表 3 可知, 在满足换能器损耗最小和超声功率利用率最大的情况下, TeO_2 声光偏转器的衍射效率和工作带宽比 PbMoO_4 声光偏转器高, 并由此得出 TeO_2 声光偏转器的效率带宽积比 PbMoO_4 声光偏转器大。根据式(2)可知, M_1 值大的声光介质具有较高的效率带宽积。仿真数据与预测结果完全吻合。

由表 3 还可以看出, TeO_2 声光偏转器在达到效率最大时所需信号源功率低于 PbMoO_4 声光偏转器。由于 TeO_2 声光偏转器的渡越时间小于 PbMoO_4 声光偏转器的渡越时间, 因此, 激光束在 TeO_2 声光偏转器的偏转速度更快。此外, PbMoO_4 声光偏转器的可分辨点数及偏转角与 TeO_2 声光偏转器相差不大。总体上 TeO_2 声光偏转器的工作特性较好。

4 结束语

本文针对 PbMoO_4 和 TeO_2 介质, 分别设计了 2 个声光偏转器, 且对这 2 个器件的参数、特性及工作模式进行了仿真分析对比, 得到 TeO_2 声光偏转器的工作较 PbMoO_4 声光偏转器有较好改善。 TeO_2 声光偏转器更适合在衍射效率高, 工作带宽长, 光束偏转速度快的声光效应场合下使用。

(下转第 16 页)