

声光调制器在激光腔倒空技术中的应用

杜 惊 雷 魏政新 李玉斌
(东北电力学院) (长春光机所)

1989年2月3日收到

本文介绍了以 36°Y 切铌酸锂为换能器,以熔石英为声光相互作用介质,驱动频率为 389.5MHz 的声光调制器的设计;计算并选定了换能器的各镀层厚度,研制成了用于激光腔内的中心频率 389.5MHz 声光脉冲调制器;叙述了该器件在同步泵浦染料激光器腔倒空技术中的应用。实验表明,当驱动平均功率约 0.2W 时,用该器件所实现的激光腔倒空的倒空比约 40% 。

一、引 言

一般声光器件常采用铌酸锂晶体或氧化锌薄膜为换能器的压电材料。对于频率低于 1GHz 的情况,多以铌酸锂单晶为换能片。该材料的机电耦合系数较高,电 Q 值较低,具有匹配网络简单的优点。对于高于 1GHz 的换能器件,换能片以使用氧化锌薄膜的较多。氧化锌的机电耦合系数没有铌酸锂的高,但在 1GHz 以上,换能器的制作工艺相对于铌酸锂的要简单些。然而,即使在几百 MHz 的情况,用机械研磨的方法对铌酸锂换能片来减薄也并不简单,制做该频率的声光器件的工艺也很复杂。为此,许多人使用氧化锌薄膜来做低频换能器。实验发现,对制做几百 MHz 的氧化锌换能器,在向声光介质上溅射氧化锌时,难以控制氧化锌薄膜的厚度及晶轴取向的序列化,器件的效果不够理想。我们认为,采用铌酸锂做几百 MHz 的换能器要比用氧化锌从材料的性能到制做的工艺都更实用易行些。本文报告了以 36°Y 切铌酸锂为换能器,驱动频率为 389.5MHz 的腔内声光调制器的研制,并在同步泵浦染料激光器的腔倒空中使其得到了应用。

二、腔内声光调制器的设计

腔内声光器件要求声光介质的光学损耗

应用声学

小、性能稳定,因此,这类器件多采用优质熔石英为声光介质。我们所研制的腔内声光调制器也采用熔石英为声光相互作用介质,以能产生超声纵波的 36°Y 切铌酸锂为换能器,该调制器是正常布拉格器件,图 1 是该器件的声光衍射示意图。当入射光以布拉格角

$$\theta_B = \sin^{-1} \frac{\lambda_0/n^{(1)}}{2\lambda_s}$$

入射到声光介质上时(式中 λ_0 为真空中的光波长, n 为声光介质的折射率, λ_s 为超声波长),光波与声波在介质中发生相互作用,使光衍射。衍射光分为 0 级光和 1 级光。1 级衍射光的衍射效率(在一般情况下,即衍射效率 $\eta < 50\%$) $\eta \propto LM_2P_s/H$,这里 L 是声光相互作用距离,即换能器的长度, H 是换能器的宽度, P_s 是超声功率, M_2 为声光介质的优值。

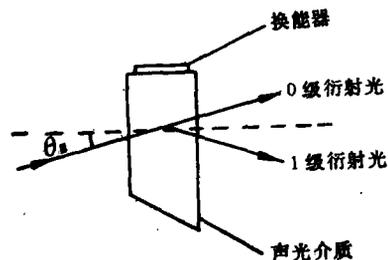


图 1 布拉格器件的声光衍射

对于声光脉冲调制器,设计时主要考虑是如何获得较高的 1 级光的衍射效率和较短的调制器上升时间 t_r , 上升时间 t_r 定义为衍射光强

• 31 •

由稳定值的 10% 增加到稳定值的 90% 所需的时间。在超声功率一定的情况下, 上述两个指标主要取决于激光束与超声束二者发散角之比 a 和超声渡越光束的渡越时间 τ 。最佳设计条件是: [1-2]

$$a = \frac{4\lambda_s L}{\pi d_0 L_0} = 1.5, \tau_s = 0.85\tau$$

其中 $\tau = \frac{d_0}{V}$ 为超声渡越时间, d_0 是激光束的束腰, V 是介质中的声速, L_0 为声光器件的特征长度其定义为 $L_0 = \frac{\lambda_s^2}{\lambda_0/n}$ 。对于熔石英为声光介质的器件 $n = 1.46$, $V = 5960\text{m/s}$, 设入射光波长 $\lambda_0 = 5800 \text{ \AA}$ $1 \text{ \AA} = 10^{-10}\text{m}$, 驱动频率为 389.5MHz , 则 $\lambda_s = 15.3\mu\text{m}$, $L_0 = 0.59\text{mm}$ 。

在满足上述最佳设计条件的同时, 设计还应满足零级光和一级光的严格可分离条件[1]:

$$f_c \geq \frac{2.55}{\tau}$$

或

$$d_0 \geq \frac{2.55V}{f_c}$$

这里 f_c 为调制器的驱动频率, 即 f_c 为 389.5MHz 。

若取激光束的束腰 $d_0 = 40\mu\text{m}$, 则

$$\frac{2.55V}{f_c} = 39\mu\text{m} < 40\mu\text{m} = d_0,$$

满足零级光和一级光的可分离条件。

依上述最佳设计条件, 则求得声光相互作用距离(也即换能器的长度)

$$L = \frac{\pi a d_0}{4\lambda_s} L_0 = 3.08L_0 = 1.82\text{mm},$$

调制器的上升时间 $\tau_s = 0.85\tau = 5.7\text{ns}$ 。按所求得的声光相互作用距离, 选定换能器的背电极长约 1.82mm , 宽约 0.55mm , 则电极面积约 1mm^2 。

声光器件的换能器的中心频率一般选择为与器件的驱动频率一致, 故而换能器的压电波长频率 f_0 (即在该频率处的超声波半波长

$$\frac{\lambda_s}{2} = \frac{u}{2f_0},$$

恰好等于压电层的厚度 l , $f_0 l = \frac{u}{2}$, u 是压电材料中的声速。)与中心频率 f_c 的比值决定换能片厚度, 为不使 f_0 太大而导致换能片必须减得很薄而增大减薄工艺的困难, 一般不希望 f_0/f_c 值较大。如定义相对频率 $F = f/f_0$, f 为超声的频率, 则我们可得到换能器的损耗值 TL 随 F 变化的关系曲线, $TL-F$ 曲线决定着换能器的带宽和 f_0/f_c 值, 该曲线受各电极层、键合层的材料和厚度影响很大。腔内声光调制器不需要很宽的换能器带宽, 因此, 以各镀层的相对厚度为参数计算 $TL-F$ 关系时, 我们选给各镀层以适当的相对厚度值, 使 f_0/f_c 值不超过 1.25 , 且换能器的 1dB 带宽内有较小的 TL 值。

依文献 [1] 我们计算并给出了一些 $TL-F$ 曲线的主要特征数据。其中 t_1 代表背电极层的相对厚度 $t_1 = \frac{2f_0}{u_1} \cdot l_1$, 这里用金做背电极, $u_1 = 3400\text{m/s}$ 为声速, l_1 为金层的厚度; t_2 和 t_4 为两层底电极层银层的相对厚度, $u_2 = u_4 = 3960\text{m/s}$ 为银中的声速; t_3 是键合层的相对厚度, 为钢层, 其声速 $u_3 = 2250\text{m/s}$ [1]; F_m 代表最小 TL 值处的相对频率。计算表明, 当 t_1 增大时, 最小 TL 值处的相对频率 F_m 迅速变小, 即 $TL-F$ 曲线向低频段移动, 同时 TL_{\min} 值也略有减小。当底电极的相对厚度 $t_2 = t_4$ 变大时(底电极为两层, 分别在键合层的上下), $TL-F$ 曲线也向低频段移动, TL_{\min} 值变小。键合层钢具有很强的粘接能力, 但钢在高频段对超声的吸收很明显 (400MHz 时, 吸收系数 $\alpha = 1.28\text{dB}/\mu\text{m}$), 我们在计算 $TL-F$ 关系曲线时考虑到了钢层吸收的影响。当 t_3 增大时, TL_{\min} 值将由大变小再变大, $TL-F$ 曲线也向低频段移动。

考虑到使 f_0/f_c 值不太大, TL_{\min} 值尽量小及工艺上的方便, 我们选 $t_1 = 0.06$, $t_2 = t_4 = 0.14$, $t_3 = 0.6$, 这时 $f_0/f_c = 1.25$, $f_0 = 1.25 \cdot f_c = 486.9\text{MHz}$, $l = \frac{u}{2f_0} = 7.5\mu\text{m}$ 。

表 1. TL-F 曲线主要特征数据

t_1	$t_2 \Rightarrow t_4$	t_3	$TL_{min}(dB)$	F_m	t_c/t_0	1dB 带宽 $\Delta f(MHz)$
0.04	0.04	0.5	4.93	0.91	0.9	49
0.04	0.06	0.5	4.74	0.89	0.87	58
0.06	0.06	0.5	4.59	0.86	0.86	44
0.06	0.08	0.5	4.45	0.85	0.85	44
0.06	0.15	0.5	3.92	0.81	0.81	40
0.06	0.15	0.6	3.72	0.79	0.79	40
0.06	0.08	0.6	4.33	0.83	0.83	40
0.06	0.14	0.6	3.81	0.8	0.8	40
0.06	0.08	0.7	4.39	0.81	0.81	40
0.08	0.1	0.6	4.05	0.8	0.8	40

按上述设计,我们先镀好底电极再将换能片用铟键合在声光介质上,然后按文献[3]的晶体加工办法,按严格的工艺过程对换能片减薄。根据文献[4],当换能片减薄至 $15\mu m$ 左右时,采用机械和化学抛光可将换能片减薄到 $6\mu m-8\mu m$,甚至 $3\mu m-6\mu m$ 。依此,我们精心获得了 $7.5\mu m$ 厚的铌酸锂换能器,并制成了 $389.5 MHz$ 声光调制器。

三、声光脉冲调制器在腔倒空空气中的实验

同步泵浦染料激光器的腔倒空装置示意图如图 2。倒空器中所采用的声光器件即上述声光调制器。声光器件位于激光束的束腰,锁模光脉冲两次经过声光脉冲调制器的衍射后,偏

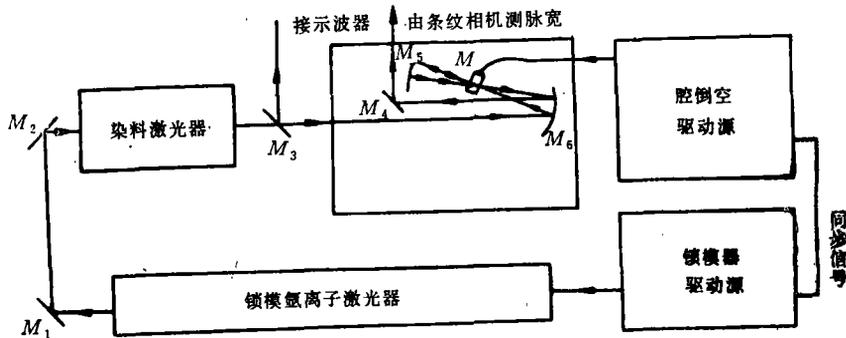


图 2 同步泵浦腔倒空染料激光器

M_1, M_2, M_4 为全反射, M_3, M_5, M_6 全反球面镜, M 为分光薄透明玻璃片, M 为声光器件

折出腔外,其倒空输出光强为^[6]:

$$I(t) = I_0(t)2\eta(1 - \eta)(\cos 2Q t + 1)$$

其中 $I_0(t)$ 为腔内光强, η 为声光调制器的衍射效率, Q 为超声的角频率。

对于同步泵浦染料超短光脉冲的腔倒空,理论上最大倒空比 $\eta' = 4\eta(1 - \eta)$,实际测量值略小于此值。测量倒空比的方法是用示波器测出腔内光强的变化,腔倒空时激光腔内的光强变化如图 3。 I_0 为未倒空时腔内光强, I_R 为

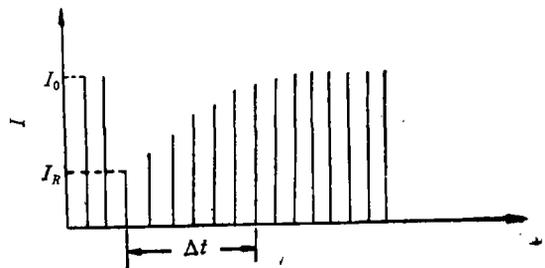


图 3 腔内光强变化示意图

竖线代表腔内光脉冲, Δt 为腔内光强恢复时间

倒空后腔内光强, 则 $I_0 - I_R$ 为腔倒空时输出光强, 所以, 倒空比 $\eta' = \frac{I_0 - I_R}{I_0}$.

当倒空驱动源门控信号脉宽约 10ns, 重复频率 4MHz, 驱动源输出匹配平均功率约 0.2W 时, 我们实验测得倒空比 η' 为 40%。由

$$\eta' = 4\eta(1 - \eta) = 0.4$$

可求得 $\eta = 11.3\%$, 即此时声光脉冲调制器的衍射效率约 11%。这时输出光脉冲的脉宽由

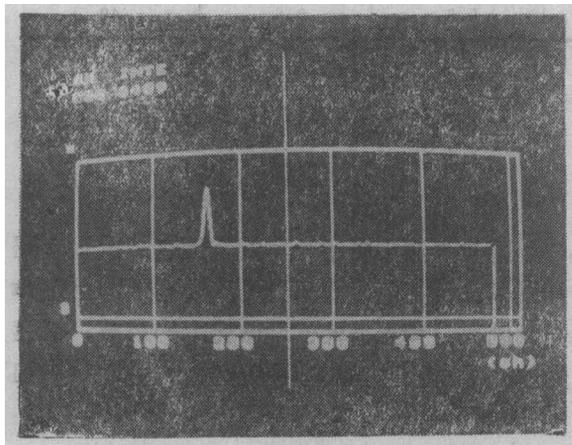


图 4 条纹相机测输出光脉宽

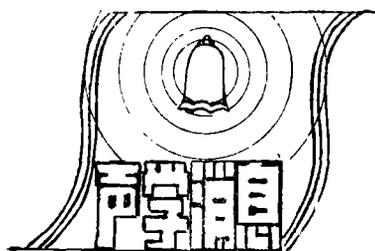
C1370 条纹相机测得约 20ps (见图 4)。

由于驱动源的输出功率不高, 且声光调制器与驱动源 (内阻 50Ω) 阻抗不匹配而使部分射频功率浪费, 从而影响了器件的衍射效率及系统的倒空比。我们下步工作将采用背电极多片串联的方法来加大换能器的阻抗, 或附加匹配网络提高驱动射频功率的利用率, 并且使用其它键合材料来代替铟键合层以降低换能器的损耗, 从而进一步提高器件的衍射效率和激光倒空系统的倒空比。

本文的实验得到了荆宝全、温忠义、阴玉英等同志的积极帮助, 在此谨表谢意。

参 考 文 献

- [1] 徐介平, 声光器件的原理、设计及应用, 科学出版社, 1982, 50—210.
- [2] Maydan, D., *IEEE J. Quant. Electron*, QE-6, (1970), 15.
- [3] 邦德, W. L., 晶体工艺学, 国防工业出版社, 1981.
- [4] Huang, H. C., *Appl. phys. lett.* 24, (1974), 109.
- [5] Kirchner, E. K., *Proc. SPIE*. 214, (1979), 102.
- [6] Johnson, R. H., *IEEE J. Quant. Electron*, QE-9(1973), 255.



新疆举办“世界先进音响灯光器材展销会”

新疆电影器材站、新疆文化厅录音录像中心和广州演出器材公司于 89 年 4 月在乌鲁木齐市自治区展览馆主办了“世界先进音响灯光器材展销会”, 应邀参展的有香港的光研社、中邦公司、广信公司、和记公司, 美国卡云公司, 日本罗兰公司, 哈尔滨电影机械厂等。会上展出了这些公司经营代理的美、英、西德、日本、意大利及香港等生产的专业音响器材、广播音响系统以及乐器等。展销会期间还举办了技术讲座, 由香港方面

钟辉成、李智宏、连文贤等先生介绍了 PA 系统、广播音响系统及舞台效果器等。五天的展览接待了观众 1000 多人, 他们多半是自治区各有关单位从事音响工作的人员。

这次活动对了解当今世界声频技术发展概况, 对促进边疆民族地区的文化及声频工作起了积极的作用。

(陈永春)