

# 调制器引起红外激光束横截面的畸变

劳 浦 东

(复旦大学物理系)

**摘要**——二氧化碳激光器所发射的 50 W 连续波激光束, 在穿过砷化镓红外电光调制器后, 光束横截面将发生畸变。本文报告实验结果和解决方法的理论分析。

## 一、引 言

激光雷达对军事应用、环境保护和大气监测均有一定的意义。作为激光雷达的发射光源, 应选取红外波段的大功率激光器, 其中波长  $10.6 \mu\text{m}$  的二氧化碳连续波激光器是可供选择的对象之一。此时用于测量的电信号可经由电光调制器转载到光波上去。为了提高测量距离, 应采用较大的激光发射光功率, 并提高光强调制深度, 这将在实验上产生一些问题。本文给出二氧化碳激光器所发射的 50 W 连续波光束在穿过调制电压为 6 kV 正弦波的砷化镓红外电光调制器后, 光束横截面发生畸变的实验结果, 并对解决方法作了理论分析。

## 二、实验装置

图 1 表示实验中所使用的红外电光调制器光学部件示意图, 它由下列四部分组成: 利用布儒斯特角反射做成的平板单晶锗起偏振器和检偏振器、硫化镉单晶四分之一波片和高阻砷化镓单晶做成的长方体电光调制晶体。光束沿砷化镓的  $[1\bar{1}0]$  方向通过, 调制电场沿砷化镓的  $[110]$  方向。

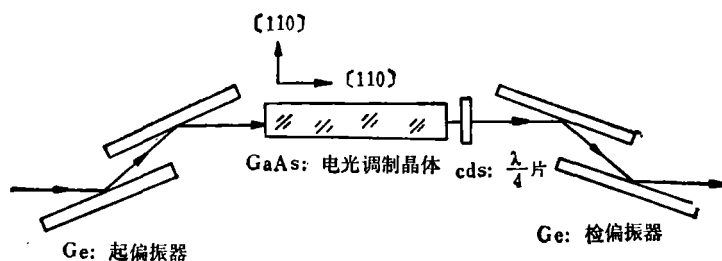


图 1 电光调制器示意图

### 三、实验结果

为把晶体在工作时产生的热量及时散发掉,保证晶体正常工作,我们改变了惯常施加电压的方法,即不采用在一对(110)侧面镀上金膜,然后紧靠在平板铜电极上加电压的方法,而采用图2所示的结构,以大块紫铜作为电极,提高散热速度,而晶体的另一对(001)侧面仍和空气相接触。实验表明,这种电极结构的晶体可以持久地承受调制的高电压。但激光光束在穿过晶体后,它的横截面将由原来的圆斑畸变成为椭圆斑,椭圆的长轴沿着晶体的[110]方向,即电极的方向。

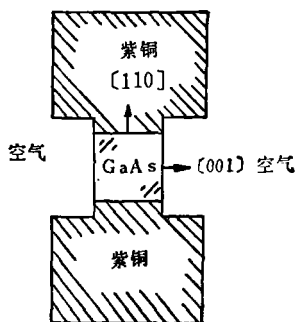


图2 产生光斑畸变的电极结构

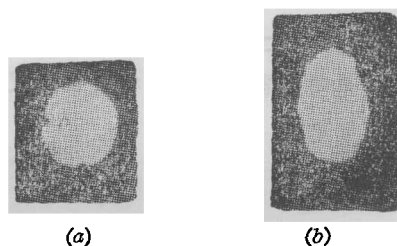


图3 采用图2电极时的光斑畸变

(a) 未经调制器的原光斑 (b) 穿过调制器后的光斑

图3所示的光斑是在调制器后面大约十五米远的地方烧灼而得,它清楚地表明了激光光束横截面的畸变。图3(a)是激光束不经过调制器的原光斑,图3(b)是激光束穿过加有6 kV 正弦调制电压的砷化镓晶体后的光斑,椭圆光斑的长半轴约比短半轴长4 mm。

我们放弃紫铜电极,把晶体的(110)和(001)共四个侧面都浸在用超级恒温器循环流动的变压器油中,电极引线则穿过变压器油直接焊到两个(110)面的金膜上。通光端面通过某种密封套仍暴露于空气中。采用这种电极结构的晶体,不仅使晶体能持久地承受调制高电压,而且光束穿过晶体后仍能保持圆形光斑。

### 四、讨论

本文根据砷化镓晶体的光学折射率随温度变化的特性来说明上述实验的结果。调制晶体在高电压作用下和激光高功率照射下,会损耗一定数量的电功率和吸收一定数量的光功率,从而引起晶体发热。计算表明,在我们这里所讨论的50 W 红外激光束调制器中,光功率的吸收要比电功率的损耗大得多,因此我们下面只讨论光吸收所产生的后果。

功率为 $W_0$ 的光束入射到光吸收系数为 $\alpha$ 的晶体中,穿过晶体长度 $L$ 后,出射功率 $W$ 由下列熟知的公式给出:

$$W = W_0 e^{-\alpha L}, \quad (1)$$

对于我们使用的砷化镓晶体, $\alpha = 0.02 \text{ cm}^{-1}$ , $L = 6 \text{ cm}$ ,发射光束的功率约为50 W,扣除锗片上的透射损失,实际进入砷化镓晶体的光功率 $W_0$ 约为30 W,代入式(1),可算得晶体吸收的光功率 $W_0 - W$ 为3.3 W。

被晶体吸收的红外辐射能量将转变成热能,此时,砷化镓晶体相当于一个热源,单位时间内产生的热量  $Q$  为  $3.3\text{J}$ 。本实验中之所以采取某种散热措施,就是因为考虑到晶体吸收红外辐射而产生热量,如不及时散发掉,晶体的电阻将会随温度的升高而下降,致使晶体不能持久地承受产生所需调制深度所要求的高电压。

实验证明,上述两种散热方式都能胜任这个任务。但是,在图 2 那种散热方式下,砷化镓晶体两对侧面的散热情况是不相同的。由于铜的导热性能比空气好得多,故经由铜电极散发的热量要比经由空气散发的热量多得多,作为近似,我们可以认为晶体产生的热量全部经由两个铜电极散发出去。由于激光光斑上的光强分布呈高斯型,它使晶体中的发热不均匀,本实验中入射到晶体上的激光光斑直径  $D \approx 6\text{mm}$ 。晶体通光截面为正方形,边长  $a = 12\text{mm}$ ,这就使晶体中的温度梯度分布更为复杂,它在各个方向上的数值不一样。下面我们主要讨论过晶体中心轴线而沿  $[110]$  方向上的温度梯度。

根据热传导理论,单位时间内沿着热流方向通过单位面积所传递的热量  $q$  应满足下列方程式<sup>[4]</sup>:

$$q = -\lambda \text{grad } T, \quad (2)$$

这里,  $\lambda = 50\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , 是砷化镓晶体的热导率,  $\text{grad } T$  是晶体中沿着热流反方向的温度梯度。

作为一种近似,在沿  $[001]$  方向上,我们取  $q = 0$ ,而在沿  $[110]$  方向上,  $q$  近似地由下式给出:

$$q = \frac{Q}{2LD}, \quad (3)$$

把有关的数值代入式(2)和式(3),得到沿  $[110]$  方向上的温度梯度  $\text{grad } T \approx 0.9\text{K}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。而沿  $[001]$  方向,温度梯度为零。

砷化镓晶体的光学折射率  $n$  是温度的函数,且  $\frac{1}{n} \frac{dn}{dT} \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ,其中  $n = 3.3$ ,是砷化镓晶体在  $10.6\mu\text{m}$  波长下的折射率。显然,晶体中温度梯度的存在会导致折射率梯度的存在,由  $\text{grad } n = \frac{dn}{dT} \text{grad } T$  及沿  $[110]$  方向上的温度梯度数据,可得  $\text{grad } n \approx 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$ ,折射率梯度的方向也由  $(110)$  侧面指向晶体中心轴。

光束穿过横截面上具有折射率梯度的介质时,它的传播方向会发生弯曲,曲率半径  $R$  由下式给出:

$$R = -\frac{n}{\nabla_{\perp} n}, \quad (4)$$

其中符号  $\perp$  表示梯度方向和光束传播方向垂直,故  $\nabla_{\perp} n$  即为上述之  $\text{grad } n$ ,负号表示由折射率低的区域弯向折射率高的区域。当光束穿过存在着折射率梯度  $\nabla_{\perp} n$  的长度为  $L$  的晶体后,它的传播方向相对于入射光束来说发生了一个角度为  $\alpha$  的偏折, $\alpha$  值由下式给出<sup>[5]</sup>:

$$\alpha = -\frac{L}{n} \nabla_{\perp} n, \quad (5)$$

把有关的数据代入,则得  $\alpha = 2.7 \cdot 10^{-1} \text{ rad}$ ,在离开十五米远的地方,光束偏折的距离约为  $4.0\text{mm}$ ,而在  $[001]$  方向上,近似可认为光束无偏折。这就和图 3 所示椭圆光斑的长半轴约比短半轴长  $4\text{mm}$  的实验结果相符合。

上述近似计算表明,由于作为热源的砷化镓电光调制晶体的两对侧面散热条件不同,光

束通过晶体后在互相垂直的两个方向上产生不同的偏折角度,使入射的圆形光斑穿过晶体后变成椭圆光斑,椭圆的长轴沿着散热快的那个方向。

可以用同样的方法对第二个实验结果进行讨论。当晶体四个侧面都浸在循环流动冷却的变压器油中时,由于两对侧面的散热条件相同,就不会出现上述的光斑变形,但严格说来,光束的发散角和光斑形状仍会有一些改变。

现场测试证明,改进后的调制器在二氧化碳激光雷达实验样机中满意地达到了预定的指标。

**致谢**——感谢王景义等同志对光斑测量实验工作所作的积极贡献,还感谢邹海兴同志亲密的合作和有效的讨论。

### 参 考 文 献

- [1] 米海耶夫 M. A., 传热学基础, 高等教育出版社, 1954, 6.
- [2] Born M. and Wolf, E. *Principles of Optics*, Oxford: Pergamon, 1975, 124.

## INFRARED LASER LIGHT BEAM CROSS SECTION DISTORTED BY A MODULATOR

LAO PUDONG

(*Department of Physics, Fu Dan University*)

### ABSTRACT

Reported in this paper are the experimental results about the fact that the cross section of the 50 W cw laser beam emitted by a CO<sub>2</sub> laser will be distorted when passing through a GaAs electro-optical infrared modulator, and the theoretical analysis for its solution.