

环状激光束的形成及其应用

何海林

(上海医疗器械研究所)

提要: 本文叙述一种新型而实用的光学元件——双凸光锥变换器。它能把圆形激光束变换成一定尺寸的环状激光束;并对光锥的变换原理、结构、主要参数作了分析,最后还介绍了环状激光束的一些应用。

Forming of ring profile laser beams and its applications

He Hailin

(Shanghai Medical Equipment Research Institute)

Abstract: This paper reports a new and useful optical component—a cylinder converter with two convex circular cones. It can convert circular profile of a laser beam into a ring one with given sizes. The principle, structure and choice of parameters are described. Some applications of laser beams with ring profiles are given.

一、前言

随着激光应用的进一步深入和普及,近来也出现了许多新的激光工作物质和新波长激光器。但目前多数激光器的输出光斑一般均为高斯分布的圆形光束。由于某些应用方面的特殊要求,希望激光器能够输出一种环状激光束。[1]曾提出一种环状输出激光器,但由于光泵两端电极引线在光学谐振腔内引出,因而造成遮挡,影响了一部分光束能量的输出。

为了方便地获得各种波长的环状激光束与各种外径的环状激光光,斑作者提出一种新型的激光束变换元件——双凸光锥变

换器^[2],该光锥安放在激光器的输出端,通过它能方便地把圆形激光束(连续或脉冲)变换成具有一定尺寸要求的环状激光束。

二、双凸光锥变换器的工作原理及主要参数计算

双凸光锥变换器是根据光线的折射原理而制成的。众所周知,光线经过平行平板的折射其折射光线平行于入射光线,但平行移动了一段距离 BD 。 BD 的大小仅与入射角 I_1 、平板折射率 n_2 、平板厚度 d 有关。计算公式如下:

收稿日期: 1985年6月25日。

$$BD = \frac{d \cdot \sin(I_1 - I_1')}{\cos I_1'} \quad (1)$$

图1为双凸光锥AA'的剖折示意图。A、A'分别为两个圆锥的顶点(两锥角相等)。图中SA(光轴)光线通过顶点A进入光锥后分成上下两束折射光束AB、AB'。根据几何光学原理可以求得光锥的长度

$$L = AA'$$

$$L = \frac{R \cdot \cos I_1'}{\sin(I_1 - I_1') \cos I_1} \quad (2)$$

(2)式中AA'为光锥长度L, R为环状光斑外半径; I₁为入射角=90°-锥角/2; I₁'为折射角。

图2为双凸光锥光路图, 直径为φ的入射光束(中心与光轴重合)经光锥的两次折

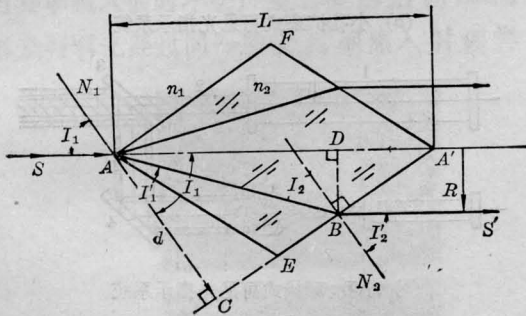


图1 光线在双凸光锥内部折射示意图

表 1

材料	锥角(°)	折射率 n ₂	入射角 I ₁ (°)	折射角 I ₁ '(°)	光锥长度 L
石英	90	1.458	45	29	4.487R
K9	90	1.514	45	27.84	4.238R
硒化锌	90	2.48 (1.06μm)	45	16.56	2.85R
硒化锌	90	2.4 (10.6μm)	45	17.14	2.89R
石英	120	1.458	30	20	6.285R
K9	120	1.514	30	19.28	5.86R
硒化锌	120	2.48 (1.06μm)	30	11.63	3.589R
硒化锌	120	2.4 (10.6μm)	30	12.03	3.655R

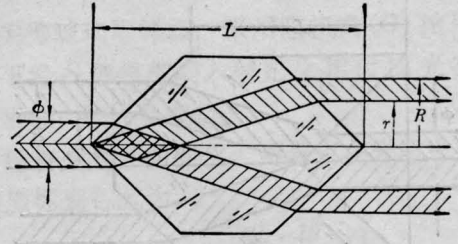


图2 双凸光锥光路示意图

射, 输出为环状光束。光斑外半径R为已知参数, 内半径 $r = R - \phi/2$, 根据(2)式我们可以设计出不同光学材料及不同锥角的双凸光锥。其长度L与光斑外半径R的关系如表1所示。

从表1可以看出, 当光斑外半径确定后, 其光锥的长度正比于锥角, 反比于光学材料的折射率。为了便于光学加工, 设计时一般采用几种特殊锥角。而120°比90°的光锥加工容易, 强度亦高, 不易损坏, 故在长度许可下宜采用大锥角光锥。

三、光锥的传输效率

传输效率主要决定光学材料对激光的吸收系数。表2为传输1.06μm激光束的石英光锥测试数据。

表 2

锥角(°)	增透膜 (1.06μm)	输入功率 (W)	输出功率 (W)	传输损耗 (%)	输入光斑 (mm)	输出光斑 (mm)
90	无	44	39.9	9.3	6	6 12
90	有	52.8	49.2	6.8	6	6 12
120	无	58.5	54.5	6.8	6	7 13
120	有	50.2	49.2	2	6	7 13

注: 因功率计量程所限, 光锥的输入功率 ≤ 50W, 但实际输入功率可达百瓦以上。

四、凹凸光锥

图3为凹凸光锥变换器, 它是双凸光锥

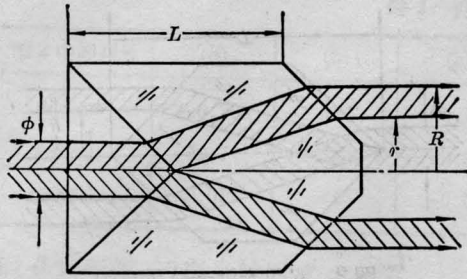


图3 凹凸光锥光路示意图

的另一种形式。其工作原理和设计方法均同双凸光锥。其长度 L 计算如下：

$$L = \frac{r \cdot \cos I'_1}{\sin(I_1 - I'_1) \cos I_1} \quad (3)$$

(3)式中光斑内半径 r 为已知数据；其外半径 $R = r + \phi/2$ 。

图3中凹形锥面为光束输入端面，凸锥面为输出端面。由于输入端为凹形锥面，因此给光学加工带来困难。但是，如果采用浇注成型的加工工艺，可以把凹锥加工改为凸形锥面浇注模具加工。浇注材料可采用高透过率的硬质塑料光学材料。由于塑料的吸收较大，故只适用于变换低功率的可见激光束。注塑加工的特点是简单、重复性好、成本低，适宜大批量生产。

五、应用

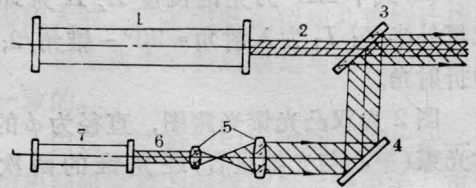
1. 红外激光束同光路可见光指示

由于 CO_2 激光为不可见光，故在临床应用中给医生精确治疗带来不便，为了便于操作者对激光束位置的定位与观察，目前有些 CO_2 激光治疗仪已增加了可见光指示系统。

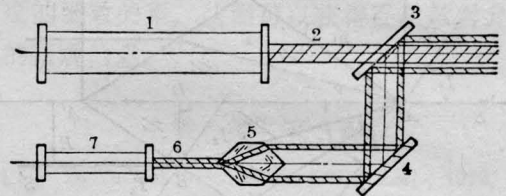
图4(a)为小孔扩束式指示系统， CO_2 激光器1输出 $10.6\mu\text{m}$ 光束2，穿过中间开孔的 45° 反射镜3，由于小孔的存在，He-Ne激光器7输出的光束6通过扩束镜5进行扩束（光斑直径应大于小孔直径），并通过反射镜4和3的反射，与光束2形成同轴光束。该系统由于小孔的存在，故He-Ne光束的传输

损耗较大。

环状光斑变换器也可用于指示光系统，图4(b)为小孔环状光斑指示系统。He-Ne激光器7产生的光束6经光锥变换器5转换成一定尺寸的环状光束，并经反射镜4、3的反射，与穿过小孔反射镜3的 CO_2 光束2形成同轴光束，达到指示的作用。该指示系统的特点是结构简单，调试方便，传输损耗亦小。



(a) 小孔扩束式可见光指示系统



(b) 小孔、环状式可见光指示系统

图4

2. 复合激光手术刀

CO_2 和 YAG 大功率激光手术刀在临床上具有独特疗效，但由于它们的激光波长相差很大，因而产生的生物效应也不同。 CO_2 激光切割表皮、肌肉较快；YAG 激光穿透性强、止血凝固良好。为了发挥两种激光的各自特长，医务工作者曾希望研制复合激光手术刀。但由于混合技术未能突破，复合激光手术刀未能实现。现在，由于双凸光锥变换器的提出和光学加工的实现，从而为复合激光手术刀提供了一个实用的关键性光学元件。

图5为 CO_2 、YAG 复合激光手术刀光路原理图。 CO_2 激光器1输出大于30W的激光束2（光斑直径约 $\phi 4 \sim 6\text{mm}$ ），穿过小孔反射镜3。He-Ne激光器12和输出功率大于50W的YAG激光器11所组成的双光

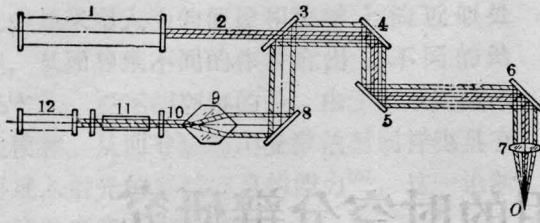


图5 CO₂、YAG 复合激光手术刀光路示意图

束10, 经过双凸光锥9变换成内直径7mm、外直径13mm的环状光束。经45°反射镜8和45°小孔反射镜3的反射, 与光束2组成复合激光束。再通过导光系统内部45°反射镜4、5、6多次反射, 最后经过硒化锌透镜7聚焦输出, 在焦点O处形成具有三种激光的复合光斑。采用双凸光锥变换器的主要优点是大大减少了YAG激光束的传输损耗, 提高了激光器的效率, 达到一机多用之目的。

3. 加热、焊接与切割

一般激光器的光斑能量大多为高斯分布

(上接第661页)

为B区。C和D区存在氧化过程, 并充满冷却的原子蒸气, 故为吸收谱和分子带谱的产生区域。

由于A和B区的生成物会消耗掉很多激光能量(尤其是激光脉冲尾部的能量), 所以为了提高激光钻孔、切割效率可以采用如

(上接第663页)

模式理论是一种简单但不严密的方法, 并且容易造成物理概念上的混淆。事实上, 可以从多种途径较严格而又实用地建立这一理论。鉴于这一问题在腔模理论中的重要性, 作者认为, 对此问题的进一步讨论有可能深化对腔模理论的认识。

作者曾就本文有关论点与魏光辉副教授、陈侗嵘教授以及西德H. Weber教授作过十分有益的讨论, 谨此致谢。

的圆形光束, 由于激光束的高能量、高密度的特点, 它已被广泛用于工业中的加热、焊接与切割等加工工艺。但在某些特殊要求的场合, 例如对某些工件需要进行环状加热、焊接与切割时, 圆形光束将给使用者带来不便。通过双凸光锥可以方便地得到任意尺寸的环状光斑, 而不需要对原激光器作任何变动, 就可以对需要进行环状加热、焊接、切割的工件进行加工。

作者在双凸光锥的光学加工中, 曾得到上海教育仪器厂王善荣、姚海林, 上海技术物理研究所陆艺伟等同志的大力协助和指导, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 唐贵琛等; 环状输出激光器, 83年上海激光学会年会论文。
- [2] 何海林; 上海医疗器械研究所十周年论文集, 1982年。

下措施: 减少靶面对激光的反射和散射(靶面可进行预先处理); 选择合适波形的重复率脉冲(以Al-Mg合金靶为例, 选用1ms矩形脉冲)。我们建议钻孔或切割用的激光采用振荡-放大结构, 由振荡器提供合适波形和重复率的弱激光然后放大输出经聚光镜作用于靶。

参 考 文 献

- [1] G. D. Boyd, H. Kogelnik; *Bell Syst. Techn. J.*, 1962, **41**, 1347.
- [2] J. P. Gordon, H. Kogelnik; *Bell Syst. Techn. J.*, 1964, **43**, 2873.
- [3] A. Yariv; *Quantum Electronics*, 2. Edition John Wiley & Sons Inc., 1975.
- [4] 陈侗嵘; 《成都电讯工程学院学报》, 1983, **4**, 10.

(四川大学物理系 吕百达
1985年11月18日收稿)