

射频激励 CO₂ 波导激光器

本文报导了射频激励 CO₂ 波导激光器的运行情况。其最大输出功率为 21W，效率高于 10%。讨论了内径尺寸、波导制造技术及气体混合物的影响。

前 言

近几年来，射频激励 CO₂ 激光器作为重要的辐射源脱颖而出。这些紧凑的器件发出高的连续功率，使它们成为医学和材料加工应用方面理想的激光器。虽然，只有为数不多的几篇文章讨论过射频激励波导激光器的电特性和光特性[1~4]，可是其重要性却日益增加。

本文详细地描述了两个不同的射频激励波导激光器。一个是混合金属陶瓷波导激光器，增益为 0.3W/cm，输出 21W 的功率。另外一个为优质氧化铝波导激光器，增益为 0.46W/cm，输出 21W 的功率，效率高于 10%。这些器件的输出功率密度较之早期器件的有了明显的提高[1,2]，其效率也与较近期器件的接近。这些近期的器件都是很紧凑的器件，它们都采用高输入功率（大于 100W/cm²）来获得高效率和大输出功率的运转。但是，本文中我们试验了中等射频输入功率（50~100W/cm²）的激光器，目前几乎还没有发表过这种激光器的具体运转和详细结构的报导。

一、混合波导激光器的运转

第一个器件的结构示于图 1。方形横截面波导，由在铜电极和铝基板之间夹紧的两块氧化铝板构成。铝基板用水冷却，上电极分成长 29.5cm 的两段。这两段波导用 He-Ne 激光束准直，但是我们并不试图估算由分界面产生的不大的光学损耗。每一段都用三个沿长度均匀放置的电感线圈将谐振调到 72MHz。这些电感减少了沟道电容的影响[6]，并且改善了放电的均匀性[7,8]。每一段都由一台 100W 的射频放大器激励。该放大器带有一个变换放电阻抗的网

（上接第 29 页）

采用以上电路后，LiNbO₃ 晶体的高低温特性亦有所改善。

参 考 文 献

- [1] 华中工学院、天津大学、西北电讯工程学院合编，《激光技术》，湖南科学技术出版社，1982年2月出版。
- [2] 中国科学院上海光机所，近光轴光调制和单块晶体激光 Q 开关，《激光》，1975年第2期。

络：以便与 50Ω 的放大器输出阻抗相匹配。

为了保证获得稳定的放电，射频工作频率应仔细选择。最低可工作频率约为 30MHz ，低于这个频率时，电子的漂移损耗过大，

失去了放电的正阻抗特性[9]。在电极的电压变化过大的时候，就达到了工作频率的上限。从实验上，研究者们发现，频率低于 150MHz 时，电压均匀性是可以控制的[8]。因此，为了满足此两个极限，选择 72MHz 的工作频率。

两块镀膜的硒化锌反射镜安装在离波导 2mm 处，以使光学耦合损耗减至最小[10]，同时把波导表面研磨平，以降低光学吸收损耗[11]。

此激光器充入了各种混合气体。图2和图3分别表示边长 2.5mm 和 2.0mm 的方形波导激光器输出功率与气体压力之间的函数关系。

在两种情况中都使用 16% 的输出耦合，而激光输出功率采用Coherent公司的功率计来监测。比较两个图表明，激光峰值功率随着孔径尺寸的减小而从 21W 降到 19W 。其功率下降是由于波导光学吸收增加所致[11]。然而，功率损耗可以由激光器输出的横模稳定性的改善而得到补偿。

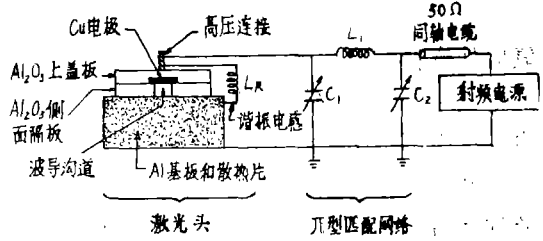


图1 混合波导放电结构的横截面图。

当电感 L_1 固定在小于 $0.5\mu\text{H}$ 的时候，为了获得良好的阻抗匹配，可由 0 至 150pF 调整π型网络电容。

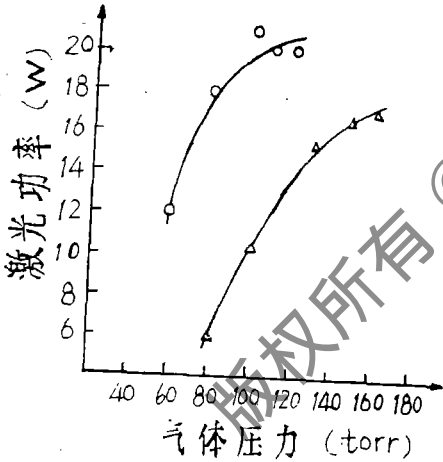


图2 对于不同的He:CO₂:N₂:Xe气体混合物，激光输出功率与气体压力之间的关系； Δ : [16:1:2:0]；O: [8:1:1:5%]。波导的横截面是 2.5mm 的方形

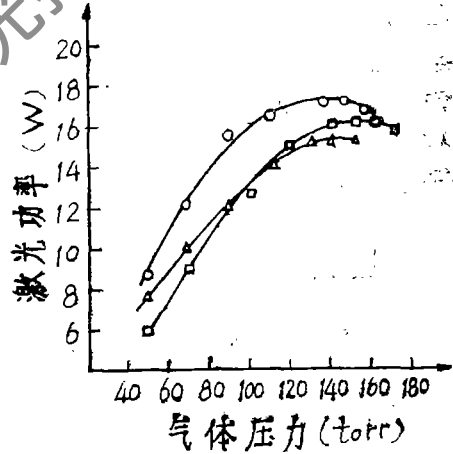


图3 对于不同的He:CO₂:N₂:Xe气体混合物，激光输出功率与气体压力之间的关系； \square : [7:1:1.5:5%]；O: [5:1:1:5%]； Δ : [9:1:1:5%]；波导的横截面是 2.0mm 的方形

二、完全由氧化铝制成的波导激光器的运转

为了实现更有效的气体激励，设计并装配了第二个波导器件。该波导器件是完全由氧化

铝构成的,在装配之前对每一个反射面都进行了研磨和光学抛光,采用扫描电子显微镜来比较研磨氧化铝表面和光学抛光氧化铝表面的质量。经过抛光,最小凹陷尺寸从 $50\mu\text{m}$ 减小到 $10\mu\text{m}$ 以下。因此,由于光学散射的减小,就可以预料并观察到改善了激光器的运转性能。

使用“Torr Seal”型号的环氧把侧壁严密地粘结在底部氧化铝板上^[12]。然后把这个环氧构件夹持在氧化铝盖板和水冷铝接地板之间。采用厚的银膜胶在氧化铝盖板的上表面形成上电极^[13]。为了增加射频输入功率密度,激光器的长度从60cm减小到46cm,而最大的射频输入功率仍维持在200W。阻抗匹配网络与第一个器件相同。

开始,只有150W射频功率传输到46cm的长度上。借助于这种结构研究了激光输出功率随气体混合物和气体压力的变化情况。实验结果示于图4。激光器产生的最大输出功率为17.5W,此时效率为11.6%。该效率与已报导的10%至15%接近。峰值功率是采用气体成分比为 $\text{He}:\text{N}_2:\text{CO}_2 = 6:1:1$ 和5%Xe的最佳气体混合物以及非最佳的、反射率为84%的平面输出耦合器获得的。为了进一步研究激光器的功率特性,让射频输入功率在120~200W之间变化。射频功率用Bird ThruLine公司的射频计测量。正反两个方向功率的测量表明,只有不到总输入功率1%的功率反射回放大器。图5示出实验结果。虽然最大激光功率仍然只有21W,但是应注意,激光器的运转性能有了几项改善。

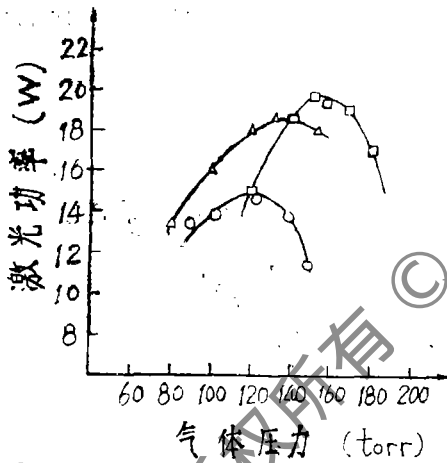


图4 对于不同的 $\text{He}:\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{Xe}$ 气体混合物,激光输出功率与气体压力之间的关系; Δ :[10:1:1:5%];
 \square :[14:1:1.5:5%]; \circ :[6:1:1:5%]

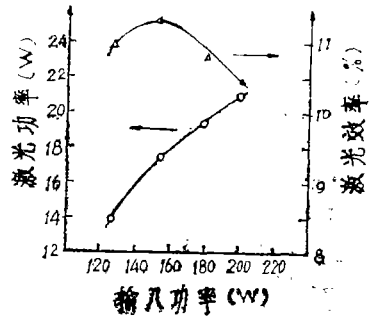


图5 激光功率(O)和效率(Δ)与射频输入功率之间的关系;采用 $\text{He}:\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{Xe}$ 为[6:1:1:5%]的气体混合物

首先,实验证明:当用单一材料结构代替混合波导器件时,2.5mm波导的横模稳定性得到改善。这种稳定性的改善是由于波导微分热膨胀系数的降低所造成的^[14]。其次,即使激光器长度缩短,也仍然保持21W的最大输出功率。因而,单位长度输出功率从 $0.35\text{W}/\text{cm}$ 增加到 $0.46\text{W}/\text{cm}$ 。该结果优于Laakmann^[14]用类似射频输入功率密度所获得的 $0.26\text{W}/\text{cm}$ 的输出功率。激光器性能的改善是由于波导光学质量的改善和射频输入功率增加的结果。此外,图

3. 试验用三个样品在 $1.06\mu\text{m}$ 、 $0.53\mu\text{m}$ 两个波段, 样品处于 0° (垂直入射)和 30° 时进行生物损伤实验, 实验选用青紫兰灰兔15只, 每一波长, 每个位置用三只兔眼进行测试, 每只眼在激光重复频率1次/s情况下, 打50个样点, 少数兔眼照100个样点, 个别兔眼照10~15个样点, 共照1840个样点, 结果对 $0.53\mu\text{m}$ 在角膜入射能量密度为 $5.7 \times 10^{-7} \sim 9.1 \times 10^{-7} \text{J}/\text{cm}^2$, 对 $1.06\mu\text{m}$ 角膜入射能量密度为 $5.4 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-5} \text{J}/\text{cm}^2$ 时 (选用能量密度略高于安全标准值) [2]均未见有损伤出现, 详细情况见文献[1]。

讨 论

1. 测试中两束光的分束比标准误差系数在5%以内, 光密度测试结果均取5次测试平均值, $1.06\mu\text{m}$ 激光光密度测试标准误差系数小于1%, $0.53\mu\text{m}$ 激光测试精度稍差, 在2%以内。所测激光光密度值与用分光光度计所测透过曲线相符, 其中514*, 因 $0.53\mu\text{m}$ 膜层镀偏, 光密度降为0.91 (非正式样品, 见图6)。

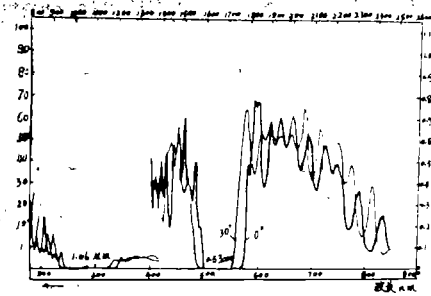


图6 防护镜样品光谱透射曲线

2. 破坏实验结果难以给出确切的测量误差, 主要是所用激光光斑尺寸是用读数显微镜测出的相纸烧斑直径, 未进行更精确的测量, 光斑直径的误差直接影响测试精度。

3. 由动物实验看出, 测试结果与国外激光安全标准和国内临时“激光防护规程的建议”相符, 样品可对中小型激光器件起防护作用。

小 结

本实验提供复合型激光防护镜的主要性能及测试方法, 在 $0 \sim 30^\circ$ 范围内, 对 $0.53\mu\text{m}$ 激光的平均光密度为4.3; $1.06\mu\text{m}$ 激光平均光密度为5, 在正向入射时进行破坏实验, 能量密度为 $155.4 \text{J}/\text{cm}^2$ 时出现可见损伤斑, 膜层在能量密度 $110 \text{J}/\text{cm}^2$ 时出现小损伤斑; 在 $0.53\mu\text{m}$ 和 $1.06\mu\text{m}$ 两波长激光入射能量为 $\sim 10^{-2} \text{J}$ 和 10^{-1}J 量级时, 照射兔眼1840个样点, 未见眼底损伤。

参 考 文 献

[1] 胡富根等, 复合型激光防护镜对激光眼损伤防护效应观察 (待发表)。

[2] American National Standard for the Safe Use of Lasers, Z-136.1-1980.

(上接第35页)

5 上升的输出功率曲线表明, 气体混合物没有完全饱和。因此, 把射频输入功率密度增加到 $70.0 \text{W}/\text{cm}^3$ 以上, 还可以进一步提高输出功率。最近, 他和Hall[4]制作了一台增益为 $0.83 \text{W}/\text{cm}$ 、输出功率为 30W 的波导激光器。这表明超过了我们的前述结果的一倍。但是该激光器要求单位体积的射频输入功率差不多也增加了一倍。我们预计: 只要射频输入功率密度增加, 并使气体混合物和输出耦合相应地最佳化, 我们单一材料的波导也能给出类似的输出功率。

译自 Rev. Sci. Instrum., 1981, Vol. 55, No. 10, P. 1539~1541.

王世贵 译 封鸿渊 校