

的。由于短波长强激光的出现,会使一些应用课题的研究得到广泛的开展。几年来,在激光育稻种方面有了明显的效果,经过2660埃激光辐照的稻种生长快、叶宽、叶绿素含量高,成熟期早,并遗传了四、五代,目前正在实验中。在辐照链霉素菌种的工作中,与快中子辐照配合,得到新链霉素菌种,提高产额近20%。这说明激光在生物化学、激光诱导遗传因子变异方面,2660埃是一个很好的波长;此外,各种物质在强紫外激光的照射下,都产生很强的荧光,因此可作为荧光谱和喇曼谱的激发光源,来研究物质结构的特性;用短脉冲紫外激光激发物质,可开展物质激发态的物理化学性质的研究;该相干辐射光源,可

用透镜聚焦成很小的光斑,高能量的光子流,对物质的破坏本领很大,可用来研究破坏的机理;还可做为研究非线性效应的光源,染料激光器的泵浦源等,国外也很重视这个波长,他们认为在激光诱导光化学,特别是同位素分离和核聚变的研究中有着重要的作用<sup>[3]</sup>。总之,从目前初步观察到的一些应用和预期的一些应用来看,2660埃的强激光有着广阔的应用前景。

### 参 考 资 料

- [1] F. Zernike, J. E. Midwinter, Applied Nonlinear optics, 1973.
- [2] 激光与红外, 1976, 10期。
- [3] Appl. Phys. Lett., 1976, No. 1, p. 32~34.

## 虚共心型介稳腔输出特性的研究

赫光生 刘凤兰 朱大庆

(中国科学院上海光机所)

### 提 要

设计并实验研究了用于钎玻璃激光器的几种虚共心型介稳腔系统,并与几种其他常用腔型(稳定球面腔、平行平面腔、非稳腔)的输出特性作了比较。实验结果表明,虚共心型介稳腔输出激光束具有低发散角、高亮度和场图分布均匀性高等优点。

### 一、引 言

采用几何光学理论所作的分析表明,满足条件 $g_1g_2=1$ 的虚共心型介稳腔,其波型限制能力,在同样腔长的条件下,与平行平面腔相比有显著增强,因此,用于实际激光器系统中可期望获得较小的输出光束发散角和较高的定向亮度<sup>[1]</sup>。为从实验上验证上述理论推断是否正确,设计了几种用于脉冲钎玻璃激

光器的虚共心腔系统,并研究了这几种介稳腔系统的输出激光特性(能量、发散角、亮度、场图分布均匀性等)和在同样激光器条件下与其他几种常用腔型(稳定球面腔、平行平面腔、非稳腔)的输出特性作了比较。

### 二、实验装置和条件

不同腔型的比较实验均是在同一钎玻璃激光器装置上进行的。钎玻璃圆棒为 $\phi 30 \times$

800 毫米,  $\text{Nd}^{3+}$  掺杂浓度约为 2%, 二端面  $3^\circ$  平行磨斜; 在棒的水平方向两侧采用两根串联的  $\phi 40 \times 1000$  毫米的脉冲氙灯激励。

虚共心腔的实验装置如图 1 所示。实际的共振腔由一块曲率半径  $R=0.5$  米的凸球面全反射镜和一块  $R=1.5$  米的平凸透镜式反射镜(反射膜镀在面向腔外的平端面上, 反射率约为 50%)所组成。这种共振腔系统, 在光学上完全等价于图 1 所示的虚共心腔系统。在不放工作物质棒的空腔情况下, 腔长应为  $L=2.5$  米, 在置放钕玻璃棒后, 考虑到工作物质的折射效应, 腔长应增加如下的光程修正量:

$$\Delta L = l \left( 1 - \frac{1}{n} \right) \quad (1)$$

式中  $l$  为工作物质棒长,  $n$  为工作物质折射率。在满足上述条件的情况下, 才能保证反射透镜的焦点与全反射球面镜球心的重合(亦即等价虚共心状态)。

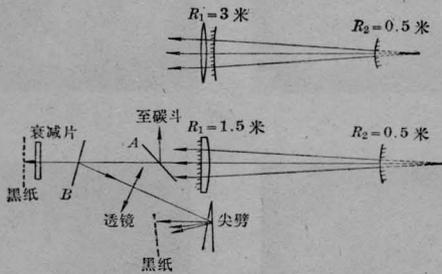


图 1 虚共心腔激光器系统简图和等价腔光路图

在激光束输出的方向经平板 A 分束取样入射到  $\phi 100$  毫米的炭斗中进行能量测量, 再经过一块平板 B 取样入射到透镜—尖劈系统测量光束发散角和亮度。透镜焦距  $f=120$  厘米, 由两个反射面组成的空气隙光学尖劈的前端面反射率为  $r=60\%$ , 后端面为全反射, 在透镜的焦平面附近置放照相黑纸, 记录经尖劈递次反射衰减后的远场分布图。最后, 在距输出腔约 1 米的主光路位置放另一照相黑纸, 以记录输出激光束光强分

布的近场图。

在激光器其他条件相同的情况下, 分别选用了其他几种腔型进行了比较实验。表 1 为几种腔型和参数。

表 1

腔 型	参 数
平凹型稳定球面腔	1. 凹球面全反射镜曲率半径 $R=20$ 米; 2. 输出端为不镀膜平行平板玻璃。
平行平面腔	后端为平面全反射镜, 输出端为不镀膜平行平板玻璃。
望远镜型非稳腔	1. 凹面全反射镜曲率半径 $R=6$ 米; 2. 凸面全反射镜曲率半径 $R=2$ 米; 3. 放大率因子 $M=3$ ; 4. $45^\circ$ 开孔全反射镜耦合输出。

### 三、实验测量结果

表 2 列出了本实验中采用的如图 1 所示等价虚共心腔和其他几种腔型输出激光特性的主要测量结果。

图 2 为与表 1 数据相对应的四种不同腔型在照相黑纸上的远场图照片。设尖劈前反射面反射率为  $r$ , 透过率为  $T$ , 后反射面为全反射, 则由尖劈多次反射的光束亮度的相对比值依次应为

$$r, T^2, T^2r, T^2r^2, T^2r^3, \dots \quad (2)$$

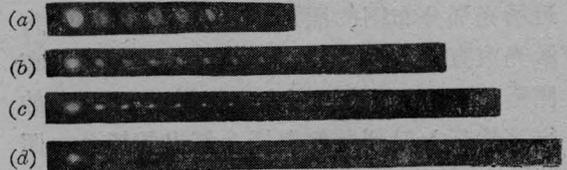


图 2 经尖劈多次反射衰减后的激光远场图  
(a) 平凹腔, (b) 平面腔, (c) 望远镜腔, (d) 等价虚共心腔

这意味着, 从第二次反射算起, 多次反射光的亮度依次成比例地衰减, 衰减比即为  $r$ 。因此, 以平凹腔的最后一个尖劈反射远场点所

表 2

腔 型	参			数		腔 参 数
	氙灯充电电压 (伏)	激光能量 (焦耳)	尖 劈 点 数 (个)	峰 值 亮 度 (相对值)	半峰值亮度角宽度 (毫弧度)	
平 凹 腔	2900	310	7	1	2.5	$L=3.3$ 米 $R=20$ 米
平 面 腔	2800	280	13	21	0.7	$L=3.3$ 米
	2900	360	14	35	0.7	
	3000	430	14	35	0.8	
	2800	300	16	95	0.4	
望 远 镜 腔	2900	370	16	95	0.5	$L=2.27$ $\pm 0.02$ 米 $M=3$
	3000	480	16	95	0.5	
	2800	140	17	158	0.2	
等 价 虚 共 心 腔	2900	200	17	158	0.2	$L=2.77$ $\pm 0.02$ 米 等价 $\frac{R_1}{R_2}=6$
	3000	240	18	263	0.2	

对应的峰值亮度为 1 来计算,那么,对于其他腔型,每多打出  $m$  个点,即意味着峰值亮度的相对值提高了  $1/(r)^m$  倍。本实验中  $r \approx 60\%$ ,因此倒数第二个点对应的亮度就大致相当于最后一个点所对应的峰值亮度的一半;由此,可进一步把倒数第二个点对应的角宽度(光点直径被透镜焦距除),粗略定义为亮度-角分布曲线的半峰值宽度。

由表 2 和图 2 中可以看出,虽然本实验中等价虚共心腔的输出能量水平略低一些,但光束发散角(半峰值亮度角宽度)却最小,而峰值亮度却最高。

图 3 为几种不同腔型情况下输出激光束近场光强分布图的照片。其中左面的照片为激光束直接入射到照相黑纸上打出的场分布图形,右面的照片为激光束经过  $T=30\%$  的衰减片后入射到照相黑纸上打出的场分布图形,脉冲氙灯的充电电压为 2900 伏。由图 3 中可看出,平行平面腔的输出激光光强在截面内的分布很不均匀,并且在边缘处有不规则不清晰的圆状条纹。对望远镜腔来说,输出激光为中心缺空的环状光束(这是非稳腔的固有特点),光强分布也很不均匀,有明显

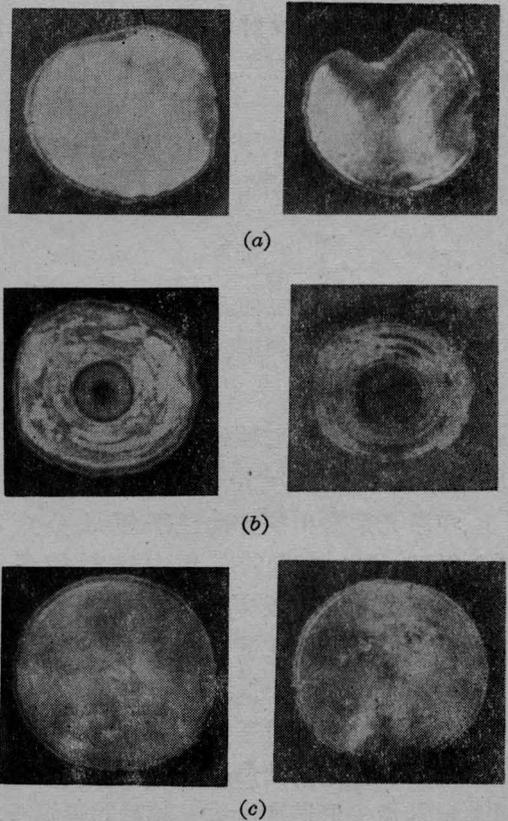


图 3 输出激光的近场图

(a) 平面腔; (b) 望远镜腔; (c) 等价虚共心腔。左图为不经衰减入射,右图为经衰减后入射。

的大间隔的空间调制条纹,这是由于棒端面的菲涅耳衍射再加上由腔内小尺寸输出镜光孔边缘(或小尺寸输出反射镜边缘)的菲涅耳衍射的总和效果所决定的。对于等价虚共心腔而言,由图3(c)可看出,输出激光束的光强分布相对其他腔型而言是比较均匀的,除了在边缘区可看到由棒端面引起的规则菲涅耳衍射条纹外,内部大部分区域的光强分布是连续而均匀的,因此做为激光放大器系统的高质量输入光束(高亮度、高均匀光强分布)是比较适宜的。

#### 四、有关虚共心介稳腔的其他实验

以上所述的有关虚共心型介稳腔的实验结果,主要是利用如图1所示的由透镜反射镜-凸面全反射镜构成的等价虚共心腔系统获得的。这种腔型的特点是腔内光束为球面波,而输出光束为平面波,因此一般应用起来比较方便。由表2可看出,这种腔的输出能量水平与其他几种腔相比略低一些,这主要是由于反射透透镜面向腔内的凸球面没有镀增透膜的缘故,因此有可能引起寄生振荡或超辐射,这相当于增大了腔内的无用损耗;此外,由于上述表面不镀增透膜,还可能由于激光在透镜内多次反射而引起寄生反馈,当这种寄生反馈光取会聚形式聚焦在铍玻璃棒内某一点时,还有可能引起工作物质的破坏。因此应用这种腔型时,应注意非工作反射面镀增透膜以及使可能的寄生反馈的会聚点不落在工作物质棒之内。

除了图1所示的等价虚共心腔外,还在稍大规模的铍玻璃激光器系统上,实验研究了如图4(a)、(b)所示的另外两种虚共心型介稳腔。其中图4(b)为由平面镜-透镜-凸球面镜组成的等价虚共心腔系统,腔内透镜两面均镀增透膜(但仍有约0.1%的剩余反射率),变动平面镜至透镜的距离,可控制寄生反馈光的会聚点不落在工作物质棒内。这

种腔的缺点是组成腔的元件多而调整较困难。图4(a)为由一块曲率半径大的凹球面部分反射镜和一块曲率半径小的凸球面全反射镜组成的真正的虚共心腔系统,其特点是输出光束为发散的球面波,采用适当焦距的腔外透镜,可使输出球面波转换为平面波。

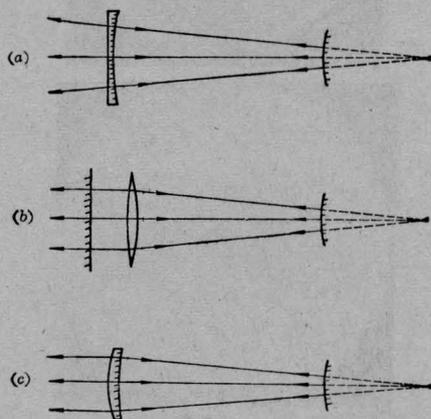


图 4

(a) 凹凸型虚共心腔(输出球面波); (b) 分离透镜式等价虚共心腔(输出平面波); (c) 凹凸型虚共心腔(输出平面波)

实验结果表明,在其他条件相同的情况下,上述两种虚共心腔的输出激光能量水平与其他几种常用腔型(平面腔、非稳腔)相同,而仍然保持低发散角、高亮度和光强分布均匀等优点。特别是如图4(a)所示的真正虚共心腔,装置简单,调整容易,不存在寄生反馈的问题,场图分布高度均匀,因此有较大的推广应用价值。图5(a)为在铍玻璃激光器上采用放大率因子 $M \approx 4$ 的双凸型非稳腔获得的输出近场图,由于激光束是经过小尺寸全反射镜侧面直接逸出,而该镜又是固定在细支撑杆上,因此输出场图中间除了有一暗圆外尚有一暗的直线段。由图5(a)又一次可看出为各类非稳腔所固有的强的空间调制现象,当这种光束输入到放大介质中时,很容易引起自聚焦和折射率的无规起伏现象,因此是不利的。图5(b)和(c)为在相同条件下采用如图4(a)所示虚共心腔( $R_1/R_2=8$ )获得的输出近场图,可明显看出,在整个光束截面

## 五、结 论

设计并实验研究了用于钹玻璃激光器的几种虚共心型介稳腔系统,并与同样激光器条件下的几种其他常用腔型(稳定球面腔、平行平面腔、非稳腔)作了比较,发现虚共心型介稳腔具有如下几方面特点:

(1) 输出光束发射角小,其平面发散角约比稳定球面腔低一个数量级,比平面腔低几倍,比非稳腔略低或相当。

(2) 输出光束峰值亮度高,约比稳定球面腔高二个数量级,比平面腔高约一个数量级,比非稳腔略高或相当。

(3) 输出光束截面内光强分布连续而均匀,绝大部分截面区域内不存在光强的空间调制和无规起伏。光强分布均匀的原因,一方面是由于腔内波型为球面波,对工作物质热形变比较不敏感,另一方面则是因为腔内不存在小尺寸“硬”边光阑(非稳腔中则存在)的衍射效应的影响。

综上所述,虚共心型介稳腔具有高定向、高亮度和场图高均匀性等优点,因此有较大的推广价值,可应用于各种尺寸、各种增益水平的各类(包括气体、固体、液体)激光器系统中。

在本实验条件下,考虑到工作物质折射率修正量后的虚共心状态腔长调整精度要求约为 $\pm 2$ 厘米左右,腔镜面角度调整精度要求与平行平面腔基本相同。

## 参 考 资 料

- [1] 赫光生,“介稳腔的波型限制特性”,上海光机所内部报告。

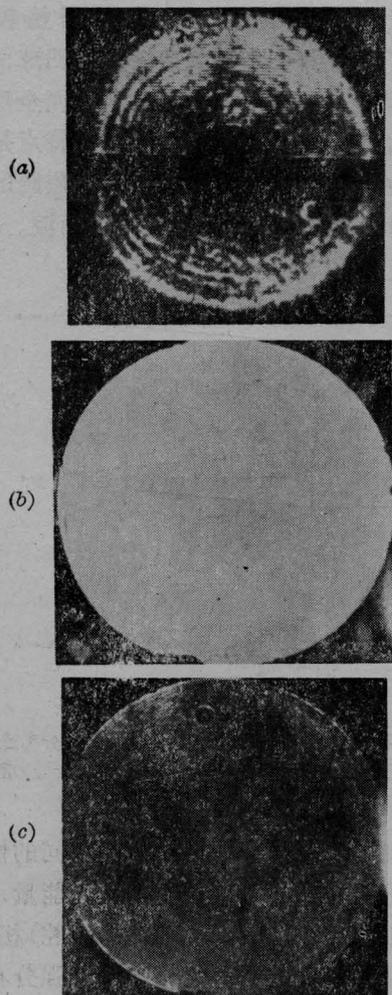


图5 输出近场图

(a) 非稳腔(经重衰减后入射); (b) 虚共心腔(经轻衰减后入射); (c) 虚共心腔(经重衰减后入射)

内光强分布是十分均匀的。

与图5对应的两种腔型,输出激光的能量与发散角均基本相同。

为使真正虚共心腔的输出光束直接转换为平面波,可进一步采用如图4(c)所示装置,输出镜为凸凹型正透镜,其凹面镀反射膜,凸面镀增透膜,透镜焦点与凹面镜球心以及凸全反射镜球心三点相重合。