铜/溴化铜、铅激光光脉冲的形状 和瞬时发散度

汪永江 夏铁君 (浙江大学物理系)

提 要

本文报道了一种简单的测量光脉冲强度的时空分布方法。用此方法得到 Cu/CuBr 和 Pb 激光的具有 **立体**感的光脉冲形状,它包括了光脉冲结构的一些细节,以及光脉冲的瞬时发散度。

一、引言

金属蒸气激光器¹¹是目前一个较活跃的研究领域。由于自限跃迁过程,金属蒸气激光 器输出脉冲激光,即输出一个个以光速运动的光脉冲。这种光脉冲,持续时间虽然很短, 约为 10 ns 量级,但它有一定的形状,也即光的强度在光脉冲持续时间内,在空间上有一定 的分布。这一分布决定着激光的瞬时发散度,而瞬时发散度的时间平均值即为用一般方法 测量得到的脉冲激光发散度。光脉冲的瞬时发散度既反映了光脉冲强度的时空变化,又间 接地反映激光介质反转情况的时空分布与腔耦合后的有关信息。因此,研究脉冲激光器的 瞬时发散度是颇有意义的。测定发散度有几种方法^{13,81},但是,这些方法不能给出瞬时发散 度。Hargrove^{[41}等用条纹相机拍摄了不稳腔铜激光器输出光脉冲的时间-光束直径分布, 从而估计出瞬时发散度的变化。Buzhinskiǐ等¹⁵¹用取样示波器基于选通方法测量了横向放 电铜激光器输出的,包括 5106 Å 和 5782 Å 两种波长在内的复色光脉冲瞬时发散度的演变。 本文将描述一种简单的测量光脉冲强度时空分布的方法,并求出瞬时发散度。测量的对象 是 Cu/CuBr 激光器发出的铜激光光束(5106 Å 和 5782 Å)和铅激光器发出的铅激光光束(7229 Å)。

二、实验和结果

Cu/CuBr 激光器和 Pb 激光器的放电管由石英玻璃制成,其结构类似于文献[6],其中 电极作了改进,以带有散热片的钼简,代替原来的铈钨和钨杆,使卤化亚铜激光器的放电趋 于稳定。放电管内径 1.8 cm,电极间距 46.5 cm,置于保温器内,有缓冲气体氛徐徐流过放 电区。谐振腔由一块凹面镜和一块平面镜组成。Cu/CuBr 激光腔凹面镜曲率半径 3.69 m, 镀以高反射率介质膜,对 5106Å~5782Å 谱线的反射率为 99%。Pb 激光腔的全反射镜曲率 半径 5 m,对 7229Å 谱线的反射率为 99% 左右。两者腔的输出镜片均为不镀膜的平面镜。 激光器采用脉冲电路,电容器谐振充电,并直接对放电管放电。储能电容器为 1000 pF 的高

收稿日期: 1984年8月31日; 收到修改稿日期: 1984年10月17日

频瓷介质电容器。以充氢的 ZQM1 1000/10 闸流管作为高速放电开关。



光脉冲的测量装置如图1所 示。 激光器1发出的光脉冲, 通 过衰减片2和滤光片3, 到达魚 距为1m的平行光管4。在平行 光管的焦平面上, 用一负载电阻 50 Ω, 信号上升沿指标 0.2 ns, 接 收面直径 0.2 mm 的硅雪崩光二 极管作为接收元件, 雪崩光二极

Fig. 1 Schematic diagram of the light pulse detection setup

管(AEG-Telefunken Model S171P)装在一台有纵向和横向游标的微调移动架 5 上, 6 为其 电源。照射于接收面积上的光能量被光二极管转变为电信号。用 COS 6100 型 100 MHz 示波 器 9 显示。另一信号上升沿指标亦为 0.2 ns 的 S-1 平面光二极管 7(8 为其电源)接收光脉冲 的能量,作为示波器的触发信号。这样,示波器得以显示光脉冲的相对强度与时间的关系。当 雪崩光二极管沿焦平面上光斑径向每移动一定距离, 譬如 0.2 mm, 拍摄示波器上显示的光



图 2 Cu/CuBr 激光(510.6nm)光脉冲强度的时空分布 Fig. 2 The space and time distribution of the light pulse intensity of Cu/CuBr laser with wavelength 510.6 nm, 0.1 V/div, 10 ns/div; Ne pressure 1.3×10⁴ Pa, flow 0.5 mg·sec⁻¹, reservior temperature 480°C, DC voltage 4kV, DC current 0.16 A, repetation rate 17 kHz 脉冲波形一次。这样沿着光斑径向逐点拍摄,即得光脉冲强度的时空分布,或者说,知道了 光脉冲的形状。

为了核实示波器上显示的光脉冲信号的真实性,尤其是光脉冲后沿形状的真实性,曾改 变硅雪崩光二极管与示波器间电缆的长度,发现信号的出现时刻有了变化,变化量与电缆中 信号传递速度为光速的 2/3 倍相符,但其波形不变。另外,用 EGSG 积分平均器拖动 X-Y 记录仪,代替示波器,观察由硅雪崩二极管接收的光脉冲信号,结果与示波器上观察到的一 致。这表明,用示波器显示的光脉冲信号,在一定程度上反映了光脉冲的客观实际。

图 2(a)和(b)与图 3(a)和(b)各表示 Cu/CuBr 激光器的 5106 Å 与 5782 Å 两种激光在 焦平面上光脉冲强度 I、脉冲持续时间 t 和硅雪崩二极管相对于光束中心位置 r 的关系。图 中曲线根据从示波器上光脉冲波形照片画出。与 Buzhinskiǐ 等的工作^{G3}比较,他们的实验是 在时间 t 一定的情况下,测量光强 I 与 r 的关系。本工作则是在 r 一定的情况下,测量光强 I 与 t 的关系。由图 2(a)可见,当 r 逐渐增加,光强度并非单调地减小,如峰 A 下降,峰 B 和 C 先升后降,它们此起彼伏。图 2(b)与图 3(b)分别与图 2(a)与图 3(a)相对应,这些曲线 是不同时刻光束的光强 I 随 r 的分布,图中取示波器上所示最强光强的 0.1 倍作为背景,在 扣除此背景后才决定光斑的大小,其误差约为 ±6%。在图 2(b)中,可以见到在光脉冲持续 时间 t 的后期,光强的时空分布曲线上存在凹陷。光强凹陷在图 2(a)中难于察觉,但是在 图 2(b)中清晰可见。同样,尖峰此起彼伏现象在图 2(a)中表达得较图 2(b)清楚,所以光脉 冲的这两种表示方法是相辅相成的。从图 2(b)和图 3(b)可求得瞬时发散度 Q 随时间 t 的演 变,见图 4。瞬时发散度 θ 是根据熟知的公式 θ=d/f 求得,式中 d 为半强度点间的距离,即 光斑的大小, f 为平行光管透镜的焦距。当计算有凹陷的 I-r 曲线所对应的 Q 时,取凹陷



图 3 Cu/CuBr 激光(波长 578.2 nm)光脉冲强度的时空分布

Fig. 3 The space and time distribution of the light pulse intensity of Cu/CuBr laser with wavelength 578.2 nm, 0.5 V/div, 10 ns/div; Ne pressure $3.3 \times 10^3 \text{ Pa}$, No flow, reservior temperature 540°C, DC voltage 4.2 kV, DC current 0.17 A, repetation rate 16 kHz

报



图 4 铜的光脉冲的瞬时发散度 θ 与光脉冲持续时间 t 的关系 Fig. 4 The relation between the transient divergence and t of the Cu/CuBr laser pulse. W is the FWHM of the light pulse at the r=0 axis. (a) 510.6 nm, data from fig. 2(b), (b) 578.2 nm, data from fig. 3(b)

外倒的半强度点间的距离作为 d。Cu/CuBr 激光器输出的两种波长激光束的 瞬时 发散度 θ 均随时间 t 增加。图 2 的实验条件: 氖气压强 100 Torr,流量 0.5 mg·sec⁻¹, CuBr 容器 温度 480°C, 直流电压 4 kV, 电流 0.16 A, 重复率 17 kHz。图 3 的 实验条件: 氖气压强 25 Torr, CuBr 容器温度 540°C, 氖气不流动, 直流电压 4.2 kV, 电流 0.17 A, 重复频率 16 kHz。



图 5 铅激光(722.9 nm)光脉冲强度的时空分布

Fig. 5 The space and time distribution of the light pulse intensity of Pb laser with wavelength 722.9 nm, 0.3 V/div, 5 ns/div; Ne pressure 9.3 × 10⁸ Pa, Flow 0.8 mg·sec⁻¹, reservior temperature 1040°C, DC voltage 4 kV, DC current 0.2 A, repetation rate 20 kHz

对铅激光器输出的 7229 Å 激光束,也进行了类似的测量。其光脉冲强度 I 的时空分 布如图 5(a) 和 (b) 所示。 光脉冲的瞬时发散度 θ 与脉冲持续时间 t 的关系,如图 6 所示。 图 5 的实验条件: 氖气压强 70 Torr, Pb 容器温度 1040℃, θ ml

流量 0.8 mg·sec⁻¹, 直流电压 4 kV, 电流 0.2 A, 重复频率 20 kHz。

三、结论和讨论

通过实验可以得出以下的结论:

1. Cu/CuBr(5106 Å 和 5782 Å)和 Pb(7229 Å)激光强度的时空分布可以反映具有立体感的光脉冲形状和光脉冲结构的一些细节,如光强的凹陷和光强尖峰的此起彼伏现象。

2. Cu/CuBr(5106 Å 和 5782 Å)和 Pb(7229 Å)激光的 瞬时发散度随光脉冲的持续时间的延长均有所增加。

1. 上述简单的实验方法可用于探测一般脉冲激光器发出的光脉冲的主体形状。

硅雪崩光二极管光敏面直径仅0.2mm,激光束经衰减后



图 6 铅激光(722.9nm)光脉 冲的瞬时发散度 θ 与脉冲持续 时间 t 的关系

Fig. 6 The relation between the transient divergence θ and t of the Pb laser pulse. W is the FWHM of the light pulse at the r=0 axis

直接照射,避免了衍射效应对测量的影响。而在采用通常的光束通过小孔光阑,照射到大面积硅光电池上时,光阑的大小对测量会产生影响。若光阑上的小孔过大,会减小测量的空间 分辨率,若光阑上的小孔过小,则引起衍射,因此,具有小光敏面的硅雪崩光二极管是较合适 的探测元件。

金属蒸气激光器以脉冲方式工作,各能级的粒子数,以及腔内光子数的变化很剧烈。本 文的测量结果也反映出,不论是 Cu/CuBr 激光(5106 Å 和 5782 Å),还是 Pb 激光(7229 Å), 其腔内粒子数在时间上和空间上均有较复杂的变化。图 2(a)所示的 *I-r-t* 曲线上尖峰的此 起彼伏现象,与这种变化有关。

Cu/CuBr 蒸气激光器腔长 1.3 m, 光子在腔内往返振荡一次约需时间 9 ns, 而光脉冲宽度(FWHM)约 20~30 ns, 这样, 在一个光脉冲内, 走在前面的光子和走在后面的光子, 其振荡次数相差只有 3~4 次, 因此, 这是振荡次数很少的一类激光器, 不象 He-Ne 激光器等连续波激光器那样, 有足够的时间, 通过非常多次的振荡, 而达到少数横模的自治, 从而减小发散度和提高光束的质量。

另外,由于 Cu/CuBr 和 Pb 激光器是一种振荡次数很少的激光器,它们输出的光脉冲强度的时空变化,比其它激光器更近于直接反映工作物质内增益的时空变化,所以,在解释 光脉冲强度的时空分布规律之前,需要进一步从实验探测增益的时空分布。在这方面, Kazuo Kuroda 等已做过一些工作^{tri}。

本文承蒙陈哲人博士审阅,并提出宝贵意见,作者表示感谢。

参考文献

[1] Robert E. Grove; Laser Focus, 1982, 18, No. 7, 45.

- [2] E. P. Vysokosov, et al.; Izmer. Tekh., 1973, No. 5, 32.
- [3] V. P. Andronov, et al.; Prib. Tekh. Eksp., 1978, No. 6, 130.
- [4] R. S. Hargrove, et al.; IFEE Quantum Electronics, 1979, GE-15, No. 11, 1228.
- [5] O. I. Buzhinskiĭ, et al.; Sov. J. Quantum Electronics, 1980, 10, No. 12, 1548.

[7] Kazuo Kuroda, et al.; J. Appl. Phys., 1983, 54, No. 4, 1670.

The profiles and transient divergences of Cu/CuBr and Pb lasers

WANG YONGJIANG AND XIA TIEJUN

(Department of Physics, Zhejiang University)

(Received 31 August 1984; revised 18 June 1984)

Abstract

A simple method for measuring the time and space distribution of the light pulse intensity is reported. The steric sensing profiles for Cu/CuBr and Pb lasers, which include some detailed struture of the light pulses, and the transient divergences of the light pulses have been obtained by using this method.

^[6] 汪永江等; 《激光》, 1981, 8, No. 11, 22.