

溴化亚铜蒸气激光亮度放大器 在高速摄影中的应用

肖祖初 张桂燕 宋秀冬 陈国彬 林福成

(中国科学院上海光机所, 201800)

摘要: 成功地把溴化亚铜蒸气激光器作为像亮度增强器应用到高速摄影中。

关键词: 像亮度增强, 铜蒸气激光器, 高速摄影

CuBr vapor laser used as a brightness amplifier in high speed photography

Xiao Zuchu, Zhang Guiyan, Song Xiudong, Chen Guobin, Lin Fucheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: The CuBr vapor laser was used for the first time as a brightness amplifier in high speed photography. Each pictures was exposed for 30 ns and at intervals of 50 μ s.

Key words: brightness amplification, CVL, high speed photography

引 言

高速摄影在军事、工业等方面有着广泛的应用,特别是对于自身不发光的高速运动物体进行高速摄影时,照明光源是重要的技术问题。通常的方法是使用高亮度、高重复频率的频闪光源。本文将铜蒸气激光器(OVL)作为一种增益介质,置于高速相机的光路中。用激光放电管的超辐射照明物体,同时放大由物体散射回来的光,起到像增强作用^[1~3]。如果更改一下光路,也可用来做显微高速摄影^[4,5]。

图1中,放大介质的长度为 L ,单位长度向 z (或 $-z$)方向的自发辐射功率为 p 。考虑在 $z=0$ 处的总辐射功率为

$$\int_0^L p \exp(gz) dz = (p/g) [\exp(gL) - 1] \\ \sim (p/g) \exp(gL)$$

上式中 g 是功率放大系数。因为沿 z 各处的自发辐射是不相干的,所以在 $z=0$ 处是功率相加而不是振幅相加。后一个近似是因为高增益介质中单程增益

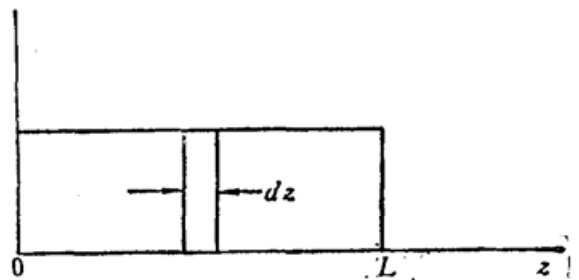


Fig. 1 The principle of evaluating ASE

远大于 1。

假定 ASE 辐照物体后返回放电管的部份为 r , 经放大后像的功率为 $(rp/g)\exp(2gL)$ 。因为在无物体时放电管仍有自发辐射, 故像的反差为

$$\text{像功率/自发辐射功率} = r \exp(gL) \quad (1)$$

若把铜蒸气激光器当作照明光源, 激光器输出功率为无腔自发辐射的 K 倍, 像功率为自发辐射的 rK 倍。当 $\exp(gL) > K$ 时, 同一根 CuBr 放电管用作亮度放大器比用作照明的激光器有更亮的像。对于 CuBr 蒸气激光器来说, 2 W 激光输出的管子通常有 100 mW 的 ASE, $K \sim 20$, 单程功率增益一般大于 30, 所以用作像亮度放大器更为有利。此外, 物体的照明功率小了 20 倍, 这对某些不能受强光辐照的样品是非常重要的。

实 验

实验布局如图 2 所示。溴化亚铜蒸气激光器的放电管的电极间距是 550 mm, 管内装有溴化亚铜与 15 Torr 的氖气, 限制放电沟道的细环处直径约 22 mm。用 20 kHz 的脉冲电源放电激发。转镜的转速是 10 Hz, 与转镜同步转动的圆盘上有个小孔, 当小孔与灯泡及光电二极管三者一线时, 就产生一个脉冲信号, 对该信号进行恰当的延迟放大, 触发继电器, 由继电器带动快门。快门的作用主要是保证底片上只有一次曝光。利用触发信号, 可以使快门与事件同步。

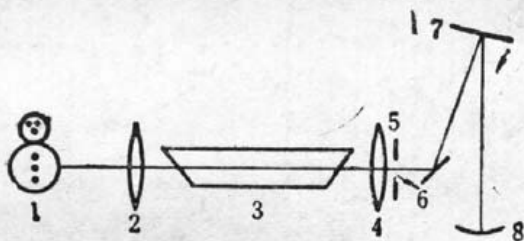


Fig. 2 The experimental set-up of CuBr vapor laser as a brightness amplifier in high speed photography

1—object; 2, 4—lens; 3—CVL; 5—shutter;
6—mirror; 7—rotatory mirror; 8—film

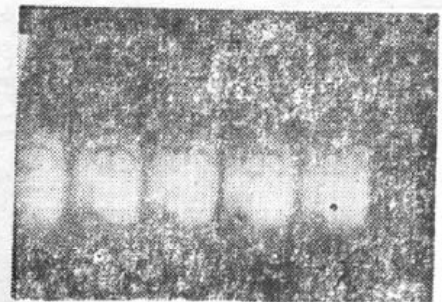


Fig. 3 Pictures of the letter

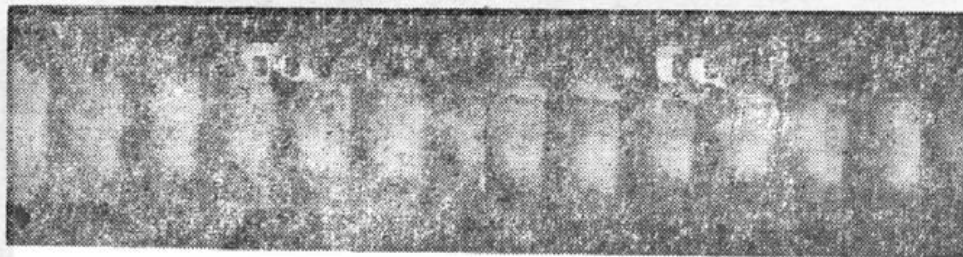


Fig. 4 Pictures of a high speed chopper

首先, 我们用该装置对一个静态的印刷字 e 作了高速摄影, 该字的直径 > 2 mm。照片表明放大约 5 倍。透镜 2 的焦距为 120 mm。物距大约为 130 mm。溴化亚铜放电管输出带有图像信息的光功率约 10 mW, 使用 21 DIN 的照相底片, 图 3 是所拍得的照片。除 e 字较清晰外, T 字也可分辨出。在对这个静态字的高速摄影中, 我们发现底片很容易过度曝光, 这说明, 利用亮度放大器, 只需要很低的激光功率。

图4是一个光调制盘的叶轮在飞速转动时的照片,叶轮的叶宽5 mm。从照片上可看出,经过八幅画面,才越过这5 mm。激光的脉冲间隔是 $50\ \mu\text{s}$,所以共花费 $400\ \mu\text{s}$ 。由此可计算出该叶轮边缘上某点的线速度是 $12.5\ \text{m/s}$ 。照片也是用21 DIN的底片。

分 析

OVL作为高速摄影的像亮度增强器时,如以脉宽30 ns计算,则当被摄物体离开激光放电管端点距离大于4.5 m时,失去像亮度增强作用。但当此距离大到15 km时,由于物体反射回来的光正好赶上下一个放电脉冲。像亮度增强作用又重现,以此类推,增强效应与距离之间呈周期性关系。在我们的实验中,使用的是小型溴化亚铜器件,增益不高,当物距变大时,物镜收集到的散射光变少,像的对比度下降,物距大于1半吋,成像就几乎分辨不出了。所以在实验中物距一般在0.5 m以内。

实验所拍的照片反差均不大。主要是由于一些元件表面反射的杂散光在增益介质中的寄生振荡引起的。如透镜4的作用是把像缩小,以便在底片上有个合适的尺寸,拿去它的话,则像的对比度有明显提高,所以光路中所有的反射面部应涂增透膜。另外应改用高DIN底片。我们从前面的(1)式中可以看出,反差与 $r \exp(gl)$ 成正比。实验中应增加由物体散射进放电管的光或提高激活介质的增益。

参 考 文 献

- 1 K. Zemskov *et al.*, *SPIE*, **1041**, 78 (1989)
- 2 D. N. Astadjov *et al.*, *SPIE*, **1041**, 74 (1989)
- 3 T. Shimura *et al.*, *SPIE*, **1041**, 67 (1989)
- 4 K. L. Zemskov *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, **13**, 180 (1983)
- 5 K. L. Zemskov *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, **13**, 1480 (1989)