

一种激光像亮度增强的显微高速摄影系统

肖祖初 张桂燕 宋秀冬 陈国彬 林福成

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

首次在显微高速摄影中成功地引入溴化亚铜蒸汽激光器作为像亮度增强器, 动态分辨率接近物镜的衍射分辨极限, 并对布朗运动, 浮游生物的动态情况进行观察、记录。

关键词: 显微高速摄影、像亮度增强器, 动态分辨率。

一、引 言

显微高速摄影是高速摄影应用中最富有挑战性的领域之一, 并且对许多科学技术具有实际应用价值。通常, 当高速摄影的放大倍数提高时, 景深、曝光量、工作距离以及需要曝光的时间限制都会减少。因而就影响到人们用高倍物镜来观察与记录快速事件的能力。对于在不透明载体表面上的微观变化过程, 一般要求照明光源亮度较大, 而强光照射又会损坏物体样品。本文介绍一种激光像亮度增强显微高速摄影系统能很好地解决这个问题。

二、原 理

具有高亮度、高重复率、窄脉冲激光宽度等优点的铜蒸汽激光器是理想的高速摄影频闪光源, 通常需要激光输出在 10 W 以上。又由于这种器件的高增益, 气体激活介质的光学均匀性、足够大的增益区域直径等因素, 已被成功地被用作为光学投影系统的像亮度增强器^[1,2]。作者结合这两种技术的特长, 制成一套激光像亮度增强的高速显微摄影系统, 它既具有铜蒸汽激光作为频闪光源时的优越性, 又具有该器件作为像亮度增强器时的特性, 解决了传统高速显微摄影中的一些问题。

三、实 验

激光像亮度增强的显微高速摄影系统装置如图 1 所示, 整个系统设置在紧固的水泥台上, 采用小型溴化亚铜蒸汽激光器作为像亮度增强器, 该激光放电管电极间距 550 mm、管

长 870 mm、管内径 22 mm、加上平面腔镜时激光的平均输出功率约 1 W、重复率 20 kHz 工作时，放电管输出的放大自发辐射光束通过物镜照明物体样品，由样品散射回来的光再在激光放电管中受到增益放大，起到像亮度增强作用。激活介质工作在近饱和情况下，所以像光束功率几乎与物体反射率无关，功率增益仅与电源输入功率有关，一般放电管的增益倍数约 10^2 倍，若物体反射率降低时增益会自动提高。高速相机是由光阑、快门、全反镜、转镜、底片、同步装置组成，如图 1 虚线所示。在转镜的转动下，使底片上形成一系列高速摄影的照片。这台转镜高速相机设在暗箱中，暗箱的自重足以克服转镜马达引起的振动，动态分辨率几乎不受振动因素的影响，照片幅是由器件的重复脉冲实现的。

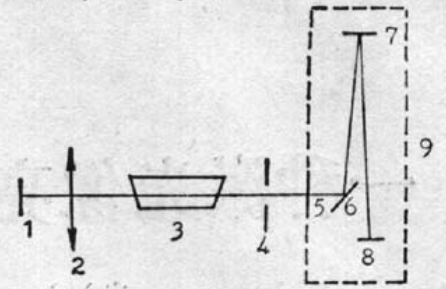


Fig. 1 High speed photography experiment set-up

1—object, 2—objective,
3—discharge tube, 4—diaphragm,
5—shutter, 6—mirror,
7—rotation mirror, 8—film,
9—box

当透镜 2 是 0.25 数值孔径的显微物镜时， $0.5 \mu\text{m}$ 条纹间距的分辨率板作为物体时，进行高速显微摄影后，成像非常清晰，对比度令人满意，图 2 就是该分辨率板的显微高速照片。

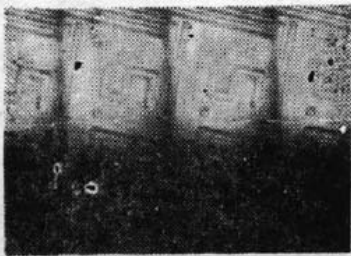


Fig. 2 The picture of the resolving power plane



Fig. 3 The picture of the Brown movement

用稀释后的墨汁作为样品，拍摄其中微粒的布朗运动，图 3 就是其中一颗微粒运动的照片。线放大至少一千倍，粒子在经过 8 幅照片的时间里，像从离开照片边缘处 3 mm 移到 4 mm 处，以器件的脉冲间隔 $50 \mu\text{s}$ 计。微粒像的横向速度约 2.5 m/s。如该显微高速摄影系统的线放大为 10^3 倍，微粒的线速度约 2.5 mm/s。

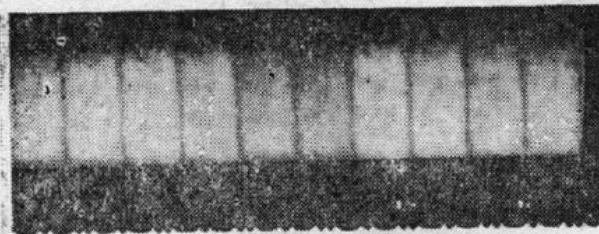


Fig. 4 The picture of the living plankton

图 4 所示是一种红色浮游生物经高速显微摄影的照片。该生物直径约 1 mm，照片上仅显示了其肢体的一部分，放大约 50 倍。由于二次曝光间隔仅 $50 \mu\text{s}$ ，尽管该生物是活蹦乱跳的，但几张照片中几乎观察不到有什么动作。

实验采用的底片全是国产 21 Din 黑白胶卷，曝光量仍绰绰有余，必需引进中性衰减片后方能获得合适的曝光。

四、分 析

由于 CuBr 蒸汽激光器的脉冲宽度仅 20 ns 左右，曝光几乎是瞬时的，以图 2 照片来计算，两幅画面在 $50 \mu\text{s}$ 中移动 15.8 mm，所以在单个激光脉冲内仅移动 $6.32 \mu\text{m}$ ，而 $5 \mu\text{m}$

间隔的条纹成像后为 1.8mm 间隔, 一般来说像移是很小的。该激光像亮度增强的瞬时特性, 使得由物体运动产生的像模糊也减到极小值。下述公式说明了这个关系

$$tmv = b$$

式中 t 为曝光时间, m 为线放大倍数, v 为物体运动速度, b 为像模糊的距离。在传统的高速显微摄影中, 当线放大倍数提高时, 要获得足够曝光量的物体照明光功率也相应地增加, 大约与 $(m+1)^2$ 成正比*, 如同时考虑到要缩短曝光时间来限制像移产生的模糊时, 照明光功率应与 $m(m+1)^2$ 成正比, 这不是轻易能实现的。而以溴化亚铜蒸汽激光器作为高速显微摄影的像亮度增强器能很好地解决这个问题, 仅以少量的放大自发辐射光束照明物体, 却得到了高效放大倍数, 高空间和高时间分辨的照片。

由于这套光学系统存在一定的像差, 以及其它光学元件进一步衍射影响系统的分辨率; 而激光增益介质对分辨率影响很少**。那么, 该有源高速显微摄影系统的分辨率应接近物镜的衍射极限, 对应 0.25 数值孔径的物镜的衍射分辨极限应是 $1.24 \mu\text{m}$ 。图 2 照片的明锐程度已充分说明了这点。

五、结 论

与传统的高速显微摄影相比, 利用激光像亮度增强器后确实有许多无法取代的优点。以致于能在一些特殊的运用中得到发挥, 如在微循环诊断学中, 常借以观察人体红细胞在微循环中的变化来判断人体的健康状况, 这时如能对其进行高速显微摄影, 则有利于记录会诊等诊断工作。而有源高速显微摄影系统具有照明光弱, 不引起肌体的太大反应, 而集高放大倍数、高空间和时间分辨率于一身, 所以应是最合适的记录仪器。

参 考 文 献

- [1] K. I. Iemskov et al.; *Soviet J. Quant. Electron.*, 1976, **6**, No. 1 (Jan), 17~22.
 [2] K. I. Iemskov et al.; *Soviet J. Quant. Electron.*, 1986, **16**, No. 10 (Oct), 1 80~1384.

* 这里已假设光学系统的瞳孔放大率为 1。

** 当然这是指在调整得较好情况下, 杂散光已限制在最小值, 信号光足以压制一切噪声背景等。

A high speed photomicrography system with CuBr vapor laser as image intensifier

XIAO ZURENG, ZHANG GUIYAN, SONG XIUDONG, CHENG GUOBIN AND LIN FUCHEN
(*Shanghai Institute of Optics & Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800*)

(Received 29 January 1991; revised 27 March 1991)

Abstract

A CuBr vapor laser has been used as a image intensifier for the first time in high speed photomicrography. The resolving power of this optical system is close to the diffraction limitation of the objective. The Brown movement and the living plankton movement have been recorded.

Key words: high speed photomicrography, image brightness amplifier, motion resolving power.