

# 用连续波 Ar<sup>+</sup> 激光器拍摄活体人眼 双曝光全息干涉图

丁建华 张志麟 林钧岫 H. Kasprzak\* G. von Bally\*\*

(大连理工大学应用物理研究所, 116024)

**摘要** 使用连续波 Ar<sup>+</sup> 激光器和热塑成像全息相机拍摄了活体人眼双曝光全息干涉图。将电子机械式光快门与自制的斩波盘配合使用, 获得 2×0.5 ms、间隔 5 ms 和 2×0.25 ms、间隔 2.5 ms 的双曝光条件。实验中人眼视网膜上的激光能量密度为 0.4 mJ/cm<sup>2</sup>。

**关键词** Ar<sup>+</sup> 激光, 双曝光, 全息干涉, 活体人眼

## Holographic interferograms of human eyes in vivo taken with continuous wave Ar<sup>+</sup> laser

*Ding Jianhua, Zhang Zhilin, Lin Junxiu*

(Institute of Applied Physics, Dalian University of Technology, Dalian 116024)

*H. Kasprzak*

(Institute of Physics, Technical University of Wroclaw, Wroclaw, Poland)

*G. von Bally*

(Laboratory of Biophysics, Institute of Experimental Audiology,  
University of Muenster, Muenster, Germany)

**Abstract** Using a continuous wave Ar<sup>+</sup> laser and a thermoplastic holographic camera, double-exposure holograms were taken of a human eyes in vivo. Exposure times, 2×0.25 ms, interval 2:2.5 ms and 2×0.5 ms, interval 5 ms were obtained by combining a shutter and a special light chopper. Light energy incident on the human retina was only 0.4 mJ/cm<sup>2</sup>.

**Key words** Ar<sup>+</sup> laser, double-exposure, holographic interferometry, human eye in Vivo

收稿日期: 1991年3月19日; 收到修改稿日期: 1991年5月9日。

\* 波兰弗罗茨瓦夫科技大学物理研究所;

\*\* 德国明斯特大学实验听力学研究所生物物理实验室。

## 实验装置和方法

实验原理如图 1 所示。光源为光谱物理公司的 M-165 型 Ar<sup>+</sup> 激光器,为获得稳定的单模输出,腔内装有温控 F-P 标准具,输出波长 514.5 nm,最大单模输出功率 800 mW。全息图和全息干涉图用热塑成像全息相机(HSB 1000 型)拍摄在 HF-85 型热塑成像胶片上,胶片的分辨率为 900 线/mm,感光灵敏度为 10 erg/cm<sup>2</sup>。Model-SD1000 多功能光快门可提供单次和多次曝光方式,该快门的最高速度(最短曝光时间)为 1 ms。为获得更短的曝光时间,设计、制作了专门的光斩波器(见图 2),当它们以 60 ms 和 30 ms 为周期旋转,并和 SD1000 光快门配合使用时,可获得  $t = 0.5 \text{ ms}$ ;  $0.25 \text{ ms}$  的单曝光或  $t = 2 \times 0.5 \text{ ms}$ ;  $2 \times 0.25 \text{ ms}$ , 间隔时间为 5 ms 和 2.5 ms 的双曝光。

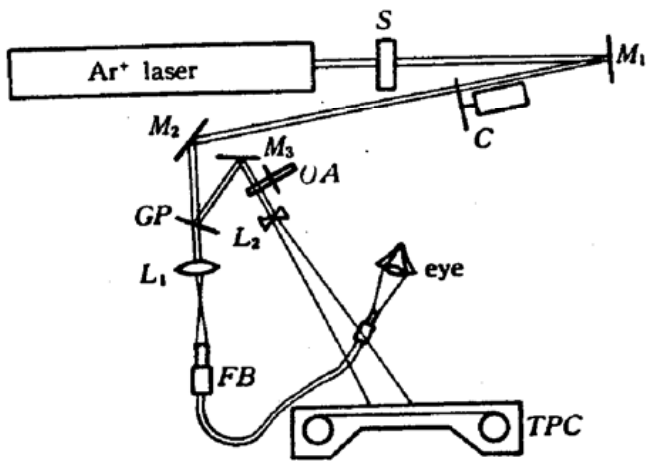


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental arrangement

*S* — Shutter; *C* — Chopper;  
*M*<sub>1,2,3</sub> — Mirror; *L*<sub>1,2</sub> — Lenses;  
*FB* — Fiber bundle; *GP* — Glass plate;  
*OA* — Variable optical attenuator;  
*TPC* — Thermoplastic holo camera

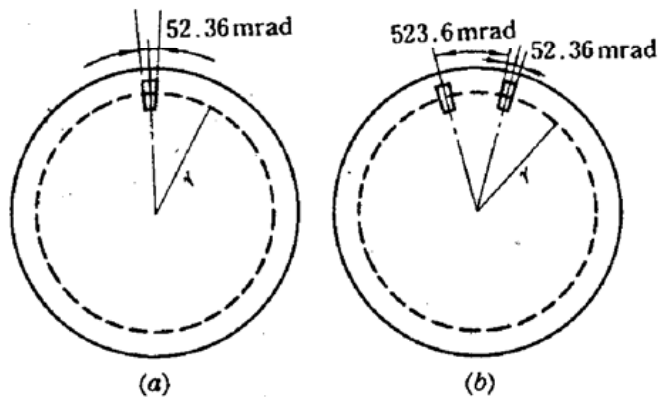


Fig. 2 Chopping disks

(a) for single exposure;  
 (b) for double exposure

实验中为获得均匀照明光,使用了医用内窥镜的照明用光纤束将激光扩束。被拍摄物体为活体人眼,被拍摄者将头部固定在一个专门框架上,并尽可能保持头部稳定。

## 实验结果与讨论

利用上述实验装置,成功地拍摄了活体人眼的全息图和全息干涉图(见图 3 和图 4)。全息干涉图的曝光参数为  $2 \times 0.25 \text{ ms}$ , 间隔时间 2.5 ms(图 4(a))和  $2 \times 0.5 \text{ ms}$ , 间隔时间 5 ms(图 4(b))。

眼睛是人体最敏感的器官,呼吸、心跳、光刺激等诸多因素都会对眼睛的形变产生影响,从而使形变变得很复杂。在图 4 所示的全息干涉图上可看到清晰的全息干涉条纹,条纹分布图样表明,在两次曝光之间,眼睛的形态改变不是简单的径向膨胀或收缩。虽然仅从这两张全息干涉图还难以找出眼睛变化的规律,但仍可看出健康人眼的干涉条纹基本上是平滑改变的,没有出现条纹折断或剧烈的扭曲。有实验表明,若角膜由于创伤留下疤痕,其双曝光全息干涉条纹会出现折断或扭曲<sup>[1]</sup>。角膜修补和移植是眼科的常见手术,对术后患者拍摄角膜全息干涉图,可对手术效果、角膜生长情况作出分析。

拍摄活体人眼全息图最为重要的是安全问题,通常安全标准是以落在人眼视网膜上的激

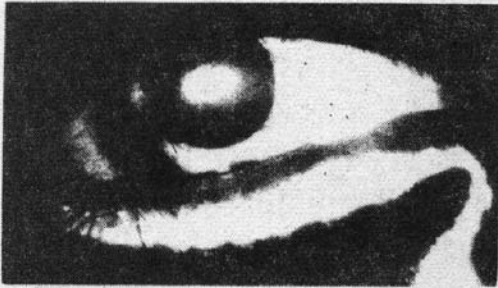


Fig. 3 In-vivo hologram of a human eye (exposure time 1ms)

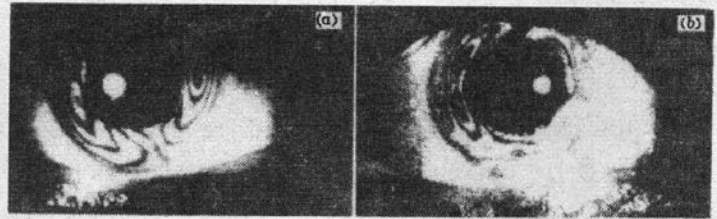


Fig. 4 Double-exposure holograms of the human eye In-vivo  
(a) Exposure time  $2 \times 0.25$  ms, interval 2.5 ms;  
(b) Exposure time  $2 \times 0.5$  ms, interval 5 ms

光能量密度来制定的。美国陆军和海军的标准是  $< 600 \text{ mJ/cm}^2$ <sup>[2]</sup>, 美国 HEW (卫生、教育、福利部) 标准则是  $< 10 \text{ mJ/cm}^2$ <sup>[3]</sup>。在本实验中, 激光输出功率为 100 mW, 测得眼球表面的激光功率密度为  $10 \text{ mW/cm}^2$ , 照明光纤束直径 3 mm, 距离眼睛 50 mm。用简化人眼模型<sup>[4]</sup> (见图 5), 求得视网膜上光斑直径为

$$D_r = \frac{\text{结点 } N \text{ 到视网膜距离}}{\text{光纤束到结点 } N \text{ 距离}} \times \text{光纤束直径} = \frac{17.2}{50 + (22.9 - 17.2)} \times 3 = 0.93 \text{ (mm)}$$

设瞳孔直径  $D_p = 6 \text{ mm}$ , 且眼球对光无吸收, 那么视网膜上的功率密度为

$$w = \frac{\text{眼球表面功率密度} \times \text{瞳孔截面积}}{\text{视网膜上光斑面积}} = \frac{10 \text{ mW/cm}^2 \times (D_p/2)^2 \pi}{(D_r/2)^2 \pi} = 416 \text{ mW/cm}^2$$

当曝光时间  $t = 2 \times 0.5 \text{ ms}$  时, 能量密度

$$\varepsilon = w \cdot t = 0.416 \text{ mJ/cm}^2$$

可见在本实验中, 落在视网膜上的激光能量密度远低于美国 HEW 标准  $10 \text{ mJ/cm}^2$ , 因此是安全的。

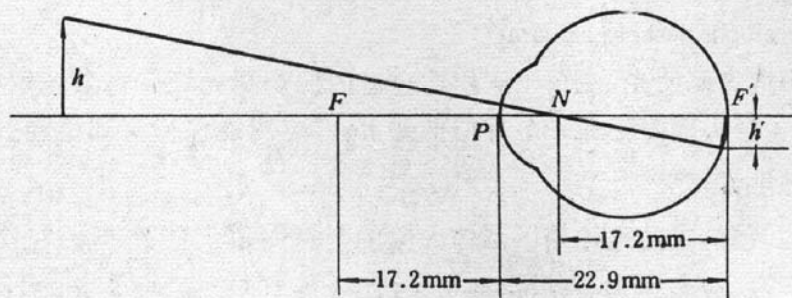


Fig. 5 Retinal image size constructed by means of a reduced human eye  
 $N$ —Nodal point;  $P$ —Principal point;  $F$ —Front focus;  $F'$ —Rear focus

### 参 考 文 献

- 1 J. L. Calkins et al., *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **21**, 322(1981)
- 2 Departments of the Army and the Navy, TB MED 279/ NAV MED P5052~35; Control of Hazards to Health from Laser Radiation. Washington, DC, pp. 1~9, 1969
- 3 J. L. Calkins, C. O. Leonard, *Invest. Ophthalmol.*, **9**, 458(1970)
- 4 M. Katz, *Clinical Ophthalmology*, **1**, Chap. 33, 1~52(1972)