

# 用光栅干涉测定视觉锐度的新技术

徐德衍 伍树东

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

王永令

(上海第二医学院附属第三人民医院)

## 提 要

本文概述了用全息位相光栅干涉法将原眼科用的裂缝灯稍做改进便能测定人眼视觉锐度的新技术。

## 一、引 言

用特定的光栅法,可以把疏密和方向变化的干涉条纹不受人眼折射系统内聚焦缺陷或其它缺陷影响而直接进入视网膜上,观察者是否能看清这些条纹,仅仅取决于视网膜和神经系统的功能。因而,应用干涉条纹方法可把视网膜和神经细胞与影响视觉分辨率的其它诸因素相区别,医生应用它便能够查明白内障患者手术之后能否改善视力或改善的程度。

这方面的工作国外曾有过介绍<sup>[1,2]</sup>。本文叙述了在原眼科常用的裂缝灯上稍加改进并仍用原白光光源便可完成这一任务的原理和技术。

## 二、原 理

如图1所示,光栅  $G$  被会聚球面波照明,球面波中心被调整在水晶体上。由于光栅的衍射,使得在水晶体上产生多个等效的点光源,它们的眼底上相干涉,产生条纹。由于这些点光源是在水晶体上,故水晶体的离焦、缺陷、混浊等对干涉条纹影响不大。设  $l$  为球面波中心与光栅平面的距离,  $L$  为观察平面与光栅平面的距离。光栅的振幅透过函数可表示为傅叶里级数

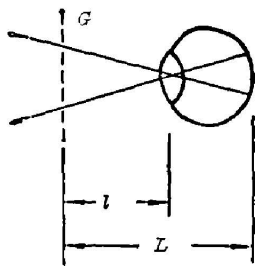


图1 光栅干涉测定视觉锐度的原理示意图

Fig. 1 Principle of measuring visual acuity with a grating

$$g(x_1) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \exp\left(i2\pi \frac{n}{d} x_1\right), \quad (1)$$

其中  $d$  为光栅常数。它的傅里叶变换为

$$G(f_x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \delta\left(f_x - \frac{n}{d}\right). \quad (2)$$

而会聚球面波的场,可写为  $\exp\left(-ik \frac{x_1^2}{2l}\right)$ , 其中  $k = 2\pi/\lambda$ 。(这一

问题可作为一维问题处理)。若平面 $(x_2y_2)$ 位于菲涅尔衍射区,则传播距离为 $L$ 的点扩散函数为 $\exp\left(i\frac{k}{2L}x^2\right)$ 。所以在观察平面上的场可写为

$$\begin{aligned} W(x_2) &= \int g(x_1) \exp\left(-ik\frac{x_1^2}{2l}\right) \exp\left[-ik\frac{(x_2-x_1)^2}{2L}\right] dx_1 \\ &= \exp\left(i\frac{2\pi}{L\lambda}x_2^2\right) \int g(x_1) \exp\left[-i\frac{\pi}{\lambda}\left(\frac{1}{l}-\frac{1}{L}\right)x_1^2\right] \exp\left(-i\frac{2\pi}{\lambda L}x_1x_2\right) dx_1. \end{aligned}$$

上式积分号内可看成是函数 $g(x_1)$ 和 $\exp\left[-i\frac{\pi}{\lambda}\left(\frac{1}{l}-\frac{1}{L}\right)x_1^2\right]$ 乘积的傅里叶变换,即

$$W(x_2) = \exp\left(i\frac{\pi}{\lambda L}x_2^2\right) G\left(\frac{x_2}{\lambda L}\right) * E\left(\frac{x_2}{\lambda L}\right), \quad (3)$$

其中

$$G\left(\frac{x_2}{\lambda L}\right) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \delta\left(\frac{x_2}{\lambda L} - \frac{n}{d}\right) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \lambda L \delta\left(x_2 - n \frac{\lambda L}{d}\right), \quad (4a)$$

$$E\left(\frac{x_2}{\lambda L}\right) = \exp\left[i\frac{\lambda}{\frac{1}{l}-\frac{1}{L}}\left(\frac{x_2}{\lambda L}\right)^2\right] = \exp\left[i\frac{\pi l}{\lambda L} \frac{1}{L-l} x_2\right], \quad (4b)$$

式中已忽略了常数因子。把(4a)、(4b)代入(3)式,最后得

$$W(x_2) = \exp\left(i\frac{\pi}{\lambda(L-l)}x_2^2\right) \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \exp\left[-i2\pi\frac{nlx_2}{(L-l)d}\right] \exp\left[i\pi n^2 \frac{\lambda L}{d^2(L-l)}\right]. \quad (5)$$

上式中求和式外的位相因子对观察的场强 $|W(x_2)|^2$ 没有影响;求和式内仍是 $x_2$ 的周期函数,但周期为

$$d' = d \frac{L-l}{l}. \quad (6)$$

由此可知,在观察平面上仍可得到一个周期性场分布,这正是我们所需要的干涉条纹结构。很有意义而又特别方便的一点是,若保持 $(L-l)$ 不变,而改变 $l$ 值,即改变光栅与眼睛的距离,则可任意改变干涉条纹结构的周期,从而可以作不同视觉分辨检查。按几何光学近似地理解,(6)式正是光栅的几何投影周期。

当然,由于(5)式中最后位相因子的存在,观察平面上的场分布与原光栅场分布不同。但对于理想正弦光栅,即对于只包含有 $\pm 1$ 级项的理想正弦光栅而言,这时(5)式中最后一个位相因子没有影响,即平面 $(x_2y_2)$ 上的场分布仍为理想的正弦分布。实验证明,使用 $\pm 1$ 级衍射能量占主要(一般大于或至少等于0级衍射能量)的位相型正弦光栅,其它高级级对衍射场干涉条纹周期结构的对比度影响不大。

应该指出的另外一点是,公式(5)求和式内仅仅最后一指数项因子与波长 $\lambda$ 有关,故平面 $(x_2y_2)$ 场的周期性并不由于用多色光源而改变。换句话说,对光源没有时间相干性的要求,使该装置可用白光做光源。

对光源空间相干性的要求也很低,若光源尺寸为 $b$ ,只要满足条件

$$b < \frac{\lambda}{d} l \quad (7)$$

即可。由于要说明的问题可作为一维问题处理,因此,缝宽为 $b$ 的狭缝光源只要满足(7)式即可。

### 三、实验装置及其优点

实际测定装置是在原眼科用的裂隙灯仪器的适当位置处加上附件改装而成的，从而扩大了原仪器的使用功能。其中关键元件是全息位相光栅，除了要求由它形成的  $\pm 1$  级两个相干的、等强度的发散球面波进而形成直的干涉条纹外，应该尽量降低其它一些级次所形成的干涉条纹，使之忽略不计。

由(6)式可知， $l$  变化即干涉条纹的频率变化，这类似于“视力表”上“E”字大小的变化。例如，若  $L-l=18\text{ mm}$ ， $l$  从  $5\text{ mm}$  改变到  $50\text{ mm}$  时，当所用光栅为  $10\text{ L/mm}$ ，则眼底上干涉条纹将从大约  $3\text{ L/mm}$  改变到  $33\text{ L/mm}$ 。干涉条纹方向随着光栅线条方向的改变而改变，即二者始终平行，这类似于“视力表”上“E”字方向的改变。上述两种要求在机构上都是很容易实现的。图 2(a)、(b) 分别表示干涉条纹频率和方向改变的情况。

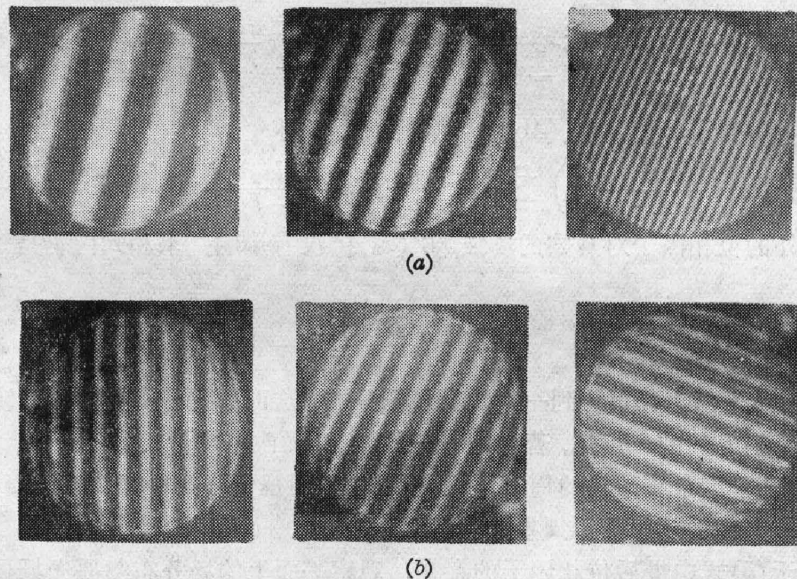


图 2 全息位相光栅形成的干涉条纹

Fig. 2 Fringe patterns formed by the holographic phase grating

关于条纹间隔与视觉锐度的关系，在  $l$  值已确定的情况下通过干涉条纹频率换算成角值后是很容易给出的。

这项技术在原眼科裂隙灯仪器上稍加改进即可实现，结构简单，操作方便，毋需激光光源即可完成国外介绍的视功能检测。这在经济性、安全性、灵活性、可靠性等方面无疑都是有益的。

该项技术正在医院眼科临床试用中。

### 参 考 文 献

- [1] D. G. Gree; *Science*, 1970, **168**, No. 3936 (Jun), 1240.
- [2] T. W. Swith *et al.*; *Archives Ophthalmology*, 1979, **97**, No. 4, 752.

## Measuring visual acuity with holographic grating

XU DEYAN AND WU SHUDONG

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

WANG YONGLING

*(Shanghai Second Medical Institute with Third Hospital)*

(Received 21 September 1982)

### Abstract

A method of measuring visual acuity with holographic grating is described. The measurement may be performed with a slightly modified conventional ophthalmoscope.