

# 以多个LED灯珠作为线光源的双棱镜干涉

王 玥, 刘成森\*, 方 岩, 薛太萍

辽宁师范大学物理与电子技术学院, 辽宁 大连  
Email: \*978317499@qq.com

收稿日期: 2021年3月16日; 录用日期: 2021年4月21日; 发布日期: 2021年4月28日

---

## 摘 要

在双棱镜干涉实验中使用多个LED灯珠组成的线光源作为光源代替钠光灯, 获得了质量优良的干涉条纹, 实现了双光束干涉。对双棱镜干涉实验系统进行改进, 获得的系统更加简单; 电池驱动的LED光源脱离了钠光灯使用市电的约束, 使设备紧凑便携; LED光源相对于钠光灯的高相干性, 使得干涉仪调整非常容易, 大大提高了实验效率。利用改进后的双棱镜干涉仪测量了光源的光波长, 获得了满意的实验结果。

## 关键词

双棱镜干涉, LED光源, 比值法, 波长

---

# Biprism Interference with Multiple LED Beads as Line Light Source

Yue Wang, Chengsen Liu\*, Yan Fang, Taiping Xue

School of Physics and Electronic Technology, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning  
Email: \*978317499@qq.com

Received: Mar. 16<sup>th</sup>, 2021; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2021; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

In the biprism interference experiment, the multiple LED lamp beads is used as the line light source instead of the sodium lamp, and the interference fringes with good quality are obtained, and the double beam interference is realized. With the improvement of the biprism interference experimental system, the obtained system is more simple; the battery-driven LED light source is

---

\*通讯作者。

free from the restriction of the sodium lamp, which makes the equipment compact and portable; The high coherence of the LED light source compared with the sodium lamp makes it very easy to adjust the interferometer and greatly improves the experimental efficiency. The optical wavelength of the light source is measured by the improved biprism interferometer, and satisfactory experimental results are obtained.

## Keywords

Biprism Interference, LED Light Source, Ratio Method, Wavelength

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

光学双棱镜干涉作为大学物理实验里的经典实验，最早采用钠灯光源经过会聚透镜聚光将单色光会聚在狭缝处[1]，以狭缝光源的形式实现光输出。但由于钠灯光源作为气体光源的不稳定性导致其抗电压波动性能较差，且钠灯光源发出的光需要经过透镜会聚到狭缝处，使得实验仪器间距离较远，导致光衰明显，最终造成条纹明暗亮度不均。

于是后面开始出现了以半导体激光器为代表的利用固体激光器代替钠灯光源的方案[2]。激光具有极高的相干性，在双棱镜干涉仪中很容易调节出现干涉条纹，但极高的相干性会导致激光散斑出现，降低干涉条纹信噪比，从而限制干涉仪的应用范围。

综合以往研究的光源出现的缺陷，通过实验对比，找到了更加优质的光源——LED 线性光源。作为固体光源可以实现更稳定的光强输出，环氧树脂封装耐震动等特点解决了钠灯发光不稳定的问题；相比于钠灯不含有汞、钠等物质，更加环保。且由于体积小，可以采用优于激光器的低压直流驱动，能够跟狭缝紧紧贴合，省去了钠灯以及激光器在狭缝和光源之间的会聚调节和共轴调节的过程。在此基础上，LED 的亮度更易操控，启动时间短且更加节能等都为其贴上了更为优质的标签。

## 2. 双棱镜测光波波长实验原理

双棱镜干涉实验是将由光源发出的单色光通过双棱镜的折射分为两束光，相当于两束由虚光源发出的相干光，经过双棱镜折射在重叠的区域中发生干涉，进而通过对干涉条纹的分析测算光波波长。

建立一个以 LED 作为光源的双棱镜干涉系统，得到了条纹品质更好的干涉图样，引入波长已知的激光作为对比光源，利用比值法测算了 LED 的光波波长。

实验采用了波长为 694 nm 的固体激光器，六个直径为 5 mm，发光强度 200~500 mcd 的草帽 LED 灯珠，组成一个线性光源，相当于无数多个点光源在该线性方向上的延伸。六个 LED 灯珠的优点：透过狭缝的光相当于无数多的点光源构成的线光源，该线光源上的每一个点经过干涉都会形成彼此重合的干涉条纹，这些干涉条纹又相互叠加，因此使条纹亮度得到提高，能够有效的弥补单个 LED 光源相较于激光的亮度缺陷。

将这一线性光源与狭缝紧紧贴合，有效省去会聚调节和共轴调节的过程。实验装置简图如图 1 所示。

与之相对应的实验原理图如图 2 所示，其中  $S_1$ 、 $S_2$  为  $S$  经过双棱镜折射后两虚光源所在的位置[3]。

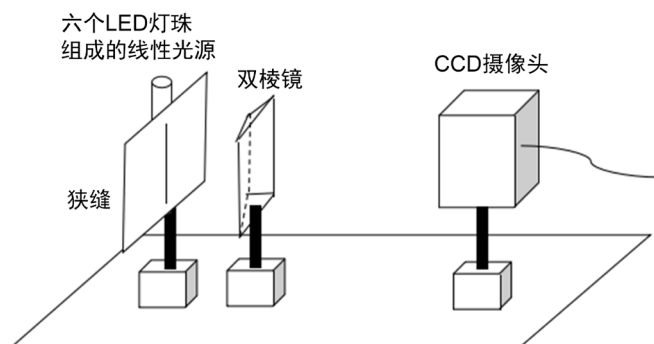


Figure 1. Experimental sketch

图 1. 实验装置简图

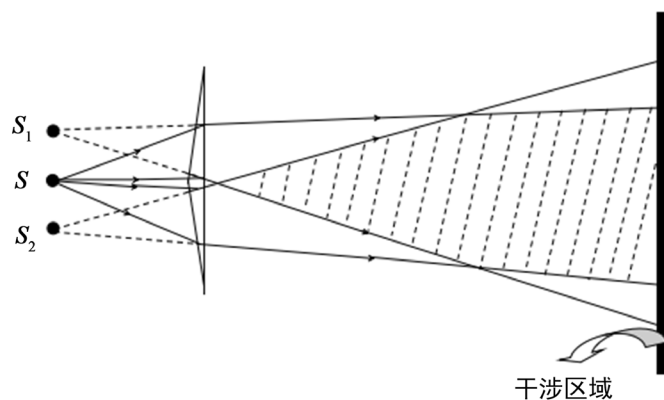


Figure 2. Schematic diagram of experimental

图 2. 实验原理图

经过 CCD 接收屏得到的干涉图样如图 3 所示，其中图 3(a)为已知波长的激光干涉条纹图样，图 3(b)为 LED 光源的干涉条纹图样。

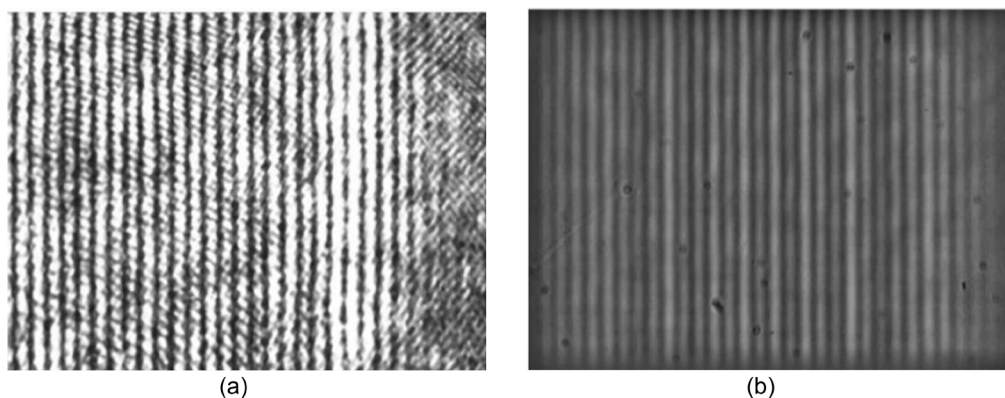


Figure 3. Interference pattern of different light sources. (a) Laser interferometric fringe pattern; (b) LED light interference pattern

图 3. 不同光源的干涉图样。(a) 激光干涉条纹图样；(b) LED 光源干涉图样

对比两种光源的干涉图样，可以看到激光干涉图样亮度高但边界线不够清晰；LED 光源干涉图样亮度适中，条纹边界平滑对比度理想。其主要原因是激光通过棱镜表面的衍射单元发生干涉形成颗粒状的衍射图样，即出现了激光散斑。然棱镜表面相对于光波长尺度往往都是粗糙的，因此这种固有噪声难以

消除, 从而导致激光干涉条纹品质降低。LED 光源相较之下有更为灵活的亮度区间, 不会有散斑出现, 使得条纹对比度更好, 有效的提高了干涉条纹的信噪比。

如图 4 所示, 光源  $S$  经过双棱镜折射后分为两束光, 可看作由虚光源  $S_1$ 、 $S_2$  发出的两束光经过双棱镜后相干重叠进而产生干涉条纹。

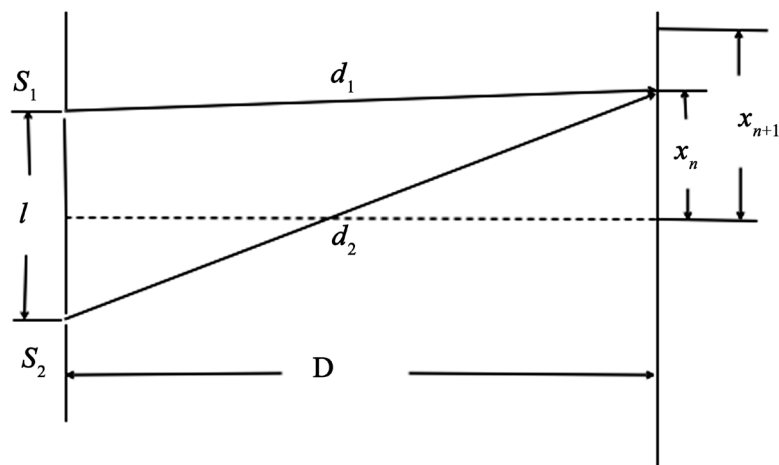


Figure 4. Biprism interference light path diagram

图 4. 双棱镜干涉光路图

依照光的干涉理论[4]可知光波波长表达式:

$$\lambda = \frac{l}{D} \Delta x \quad (1)$$

其中  $\Delta x$  为相邻条纹间距,  $l$  为虚光源间距,  $D$  为虚光源到光屏的垂直距离。

### 3. 实验数据及结果

由图 3 的干涉图样可以看到, 我们分别获取了已知波长的激光光源和 LED 光源的干涉图样, 为了避免测虚光源间距产生的误差, 实验采用比值法测算 LED 光波波长[5]。由(1)式可得:

$$\lambda = \frac{l}{D} \Delta x \quad (2)$$

$$\lambda' = \frac{l'}{D'} \Delta x' \quad (3)$$

其中  $\lambda, l, D, \Delta x$  为未知波长的 LED 光源相关参数,  $\lambda', l', D', \Delta x'$  为已知波长的激光光源的相关参数。

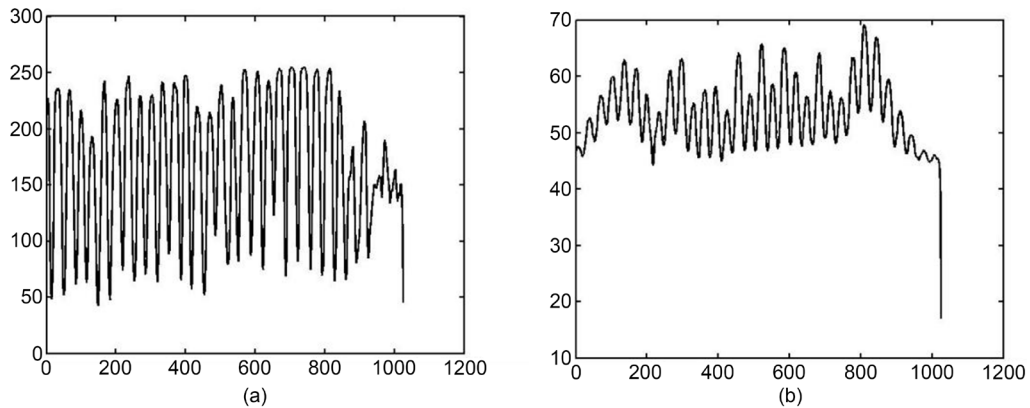
(2)除以(3)得:

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{l}{l'} \cdot \frac{D'}{D} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta x'}$$

在测量 LED 发出的光波波长时, 光路没有发生变化, 所以有  $l = l'$ ,  $D = D'$ , 则

$$\lambda = \frac{\Delta x}{\Delta x'} \lambda' \quad (4)$$

利用 matlab 计算机程序对 CCD 获得的干涉图像进行计算[6], 得到垂直于条纹方向的光强分布如图 5 所示, 其中图 5(a)为激光干涉条纹光强分布图, 图 5(b)为 LED 光源干涉条纹光强分布图。



**Figure 5.** Intensity distribution of fringes in interference system. (a) Light intensity distribution of laser interference fringes; (b) Light intensity distribution of interference fringes of LED light source

**图 5.** 干涉系统条纹光强分布。(a) 激光干涉条纹光强分布；(b) LED 光源干涉条纹光强分布

图 5 得到了干涉条纹间距的数据以像素为单位如表 1 所示。

**Table 1.** Interference fringe spacing table

**表 1.** 干涉条纹间距表

实验次数	1	2	3	4	5
$(x'_0, y'_0)$	(166, 242.90)	(166, 242.30)	(166, 242.00)	(166, 242.00)	(166, 242.00)
$(x'_{20}, y'_{20})$	(814, 253.80)	(814, 253.70)	(814, 253.80)	(814, 253.70)	(814, 253.80)
$\Delta x'$			32.40		
$(x_0, y_0)$	(264, 61.00)	(264, 61.10)	(280, 49.80)	(280, 49.63)	(246, 47.49)
$(x_{14}, y_{14})$	(684, 64.17)	(684, 64.63)	(700, 48.85)	(700, 48.85)	(666, 48.73)
$\Delta x$			30.00		

由表中可得  $\Delta x'$ ， $\Delta x$  且激光波长  $\lambda' = 694 \text{ nm}$  可求得 LED 光源的波长  $\lambda$  为  $643 \text{ nm}$ ；

实验所用的红色 LED 光源波长分布在  $615\sim 650 \text{ nm}$  之间，峰值波长为  $635 \text{ nm}$  [7]，则可以计算相对误差

$$\delta = \frac{\bar{\lambda} - \lambda_0}{\lambda_0} \approx 1.26\%$$

除此之外，考虑到双棱镜色散，取像素点后的计算误差等，实际误差值会略高于这个结果，由此我们可以看到波长测算过程在误差范围内取得较为理想的效果。

综上，建立一个以 LED 作为光源的双棱镜干涉系统，该系统可以获得质量优异的干涉条纹，同时系统紧凑便携、易于调节且效率更高。

#### 4. 结束语

LED 光源波段更易操控，输出更加稳定，效率高，且更为便携等诸多优点使得 LED 得到了迅速发展。其发光面积小、发光波长分布范围窄、光源相干性能好，适合作为干涉仪的照明光源可获得高质量的干涉条纹。这一相干系统可应用于干涉条纹投影到物体表面进行三维面型测量以及其他测量。

---

## 参考文献

- [1] 姚雪, 万梓萌, 李培宇, 张家伟, 陈学文. “双棱镜测钠黄光波长”实验的理论分析与仿真模拟[J]. 大学物理实验, 2019, 32(5): 69-73.
- [2] 车蕾平, 梁厚蕴, 吴文会, 熊畅. 激光双棱镜干涉实验的改进方法[J]. 大学物理, 2014, 33(6): 51-54.
- [3] 周宏丽, 周亚星, 李成龙. 双棱镜干涉实验中虚光源位置的精确解[J]. 延安大学学报(自然科学版), 2016, 35(4): 39-41.
- [4] 姚启钧. 光学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1981.
- [5] 梁雄, 赖国忠. 双棱镜干涉实验之比值法[J]. 龙岩学院学报, 2018, 36(2): 114-118.
- [6] 余小英, 李凡生. 基于 Matlab 的双棱镜干涉图像处理研究[J]. 物理实验, 2010, 30(5): 28-31.
- [7] 何欣, 曹冠英, 张竞辉, 邹念育. 电流对小功率红光 LED 色度学特性的影响[J]. 真空, 2012, 49(2): 101-104.