

文章编号: 0258-7025(2009)06-1388-04

显微光功率计

张刚平 黄耀熊 李胜利

(暨南大学生物医学工程研究所, 广东 广州 510632)

摘要 报道了由硅光电池组成的适于在显微镜等微焦系统上进行光功率测量的光电型功率计, 具有光谱响应范围广、线性好、灵敏度高、稳定性好、速度快、使用方便等特点。其微型光探头适于放置在不同显微载物台的样品玻片及样品池上, 包括置于溶液中模拟样品所处的环境与位置, 对投射到显微镜玻片样品上的实际光功率进行测定, 并具有换挡功能, 可准确测定不同波长不同水平(0.1~50 mW)的光功率。

关键词 光学器件; 光功率; 显微激光功率计; 硅光电池; 微焦系统

中图分类号 TN247 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093606.1388

Micro-Power Meter

Zhang Gangping Huang Yaoxiong Li Shengli

(*Institute of Biomedical Engineering, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510632, China*)

Abstract We report a micro-laser power meter, which is made of silicon photoelectric cell for measuring the laser power from micro-focus systems. The power meter has the characteristics of wide spectrum response, excellent linearity, high sensitivity, good stability, fast speed, and convenience for using. The micro-laser power meter, can be placed on the platforms in different kinds of microscope, even in the solutions of culturing biological samples, to measure the laser power projecting on samples for simulating the real environment and position of the samples. It is also suitable for the measurement of different wavelengths and different power levels (from 1~50 mW) of light.

Key words optical devices; laser power; micro-power meter; silicon photoelectric cell; micro-focus system

1 引 言

显微镜等微焦微距系统对激光进行光学测定与操控的技术从生物医学到微纳器件研发等工农应用中有着广泛的使用。在显微镜中激光等光源通常被聚焦到微米大小光斑尺度, 用于对有关样品的特性进行检测(如激光共焦显微镜、激光拉曼散射显微镜等), 或是对样品进行有关微束照射操控处理(如激光镊、激光剪等)。无论是哪一种应用, 都必须对投射到样品上的光功率进行在位测量, 才能准确测定作用到样品的功率密度水平, 以便精确确定对样品的有关作用或实施对样品的精确控制和处理。但是这样的测定并不容易实施。目前常用的笔形微功率计不但难以在显微镜载物台上固定, 难以使微束光在正入射情况下对

准功率计的接收器, 更不能实施对投射到悬浮在溶液中样品上的光功率测量。所以有人通过测定放置在玻片上模拟样品的水银微球被光照后产生的热量间接估计其照射功率^[1]。也有通过热量计来间接估计激光功率的^[2]。很明显, 这些方法无论是测量的准确性还是使用的实用性都相当有限。为此, 需要发展出一种既能方便准确地测定显微镜等微焦系统的光功率, 还能模拟对悬浮在培养液中的样品作在位测定的功率计。本文报道了可实现此功能的一种采用硅光电池作为光电转换器的光电型显微光功率计。与其他昂贵光电型功率计相比, 具有结构简单、成本低、体积小、使用方便, 并适于对不同波长光功率的测定。

收稿日期: 2008-06-24; **收到修改稿日期**: 2008-12-10

作者简介: 张刚平(1976—), 男, 硕士研究生, 主要从事生物医学方面的研究。E-mail: ghi789@tom.com

导师简介: 黄耀熊(1960—), 男, 教授, 主要从事生物医学物理、激光生物医学等方面的研究。

E-mail: tyxhuang@jnu.edu.cn (通信作者)

2 硅光电池的原理

光电池的工作原理是基于光生伏特效应,种类繁多。目前应用较多的是硅光电池和硒光电池。与其他半导体光电池相比,硅光电池具有转换效率最高、结构简单等特点^[3,4],其核心部分是一个大面积的PN结。它的PN结面积要比二极管的PN结大得多,所以受到光照时产生的电动势和电流也大得多。硅光电池在不同的光照度下,光生电动势和光电流是不相同的。硅光电池的光电特性如图1所示。其中曲线1是负载电阻无穷大时的开路电压特性曲线,曲线2是负载电阻相对于光电池内阻很小时的短路电流特性曲线。开路电压与光照度的关系是非线性的,而短路电流在很大范围内与光照度成线性关系。负载电阻越小,这种线性关系越好,而且线性范围越宽。因此检测连续变化的光照度时,应当尽量减小负载电阻,使光电池在接近短路的状态下工作,也就是把光电池作为电流源来使用。在光信号断续变化的场合,也可以把光电池作为电压源使用。本文是把硅光电池作为电流源来使用的^[5]。

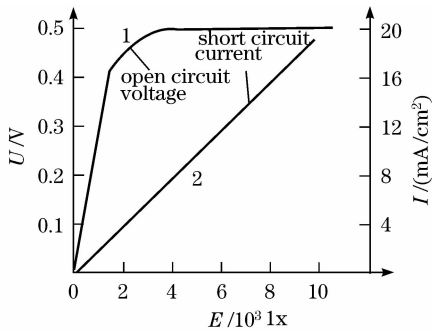


图1 硅光电池特征曲线

Fig. 1 Characteristic curves of silicon photoelectric cell

3 光功率计的工作原理

所建立的系统工作原理如图2所示。系统由I/V转换放大,A/D转换,微控制器(MCU),液晶显示驱动等电路组成。被测激光照射在光电池上并被转换为电流信号,I/V转换电路将电流转换成电压并通过A/D电路转换为数字电压信号,MCU将接收的数字信号进行处理并送入液晶显示电路在液晶屏上显示^[5]。

在一定照度下光电池的短路电流与入射光的强度为线性关系^[4~6],即

$$I_{sc} = SL, \quad (1)$$

式中,S为光电灵敏度(单位为 $\mu\text{A/lx}$ 或 mA/mW);L为入射光强(单位为 lx 或 mW)。

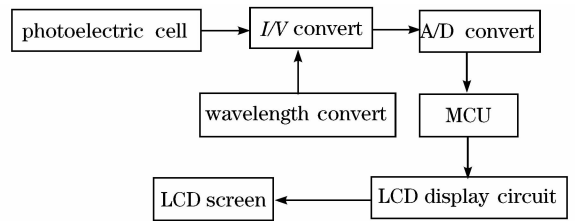


图2 系统原理

Fig. 2 Working principle of the system

当光电池的负载趋于零时其短路电流越接近 I_{sc} ,其电路原理图如图3。K为高输入阻抗的运算放大器, R_f 为反馈电阻,D为硅光电池,硅光电池的负极接放大器的正输入端并接地,正极接放大器的负输入端。由 $V_- = V_+ = 0$,所以光电池两端电压为零即负载短路。其输出电流I即是短路电流 I_{sc} ,从而保证了输出电流I与入射光强有良好的线性关系。而电路的输出电压 V_0 为

$$V_0 = I_{sc} R_f = SLR_f. \quad (2)$$

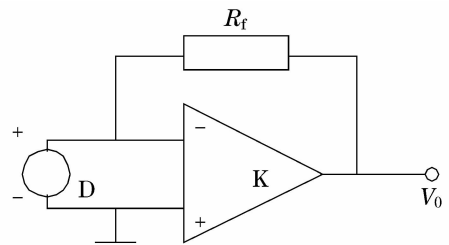


图3 I/V转换电路

Fig. 3 I/V converting circuit

(2)式说明了输出电压 V_0 与入射光功率L成正比,同时改变 R_f 可以测量不同波长的激光功率。图2中波长选择正是通过改变 R_f 的值来实现的。

从数值上讲,当 $SR_f = 1$ 时 $V_0 = L$ 。此时电压表测量的值即为激光功率,将伏特转换为瓦即为读出的功率值。由于S为光电灵敏度(即光强度的转换效率),且小于100%,故必定能找到一适合的 R_f 使得 $SR_f = 1$ 。

但事实上,当 $SR_f = 1$ 时 V_0 将非常小,此时电压的线性度也不好。理论上是 R_f 越大越好。实际测试中,选择的是大约1~2 k Ω 的电阻(对于 $\lambda = 514 \text{ nm}$),再将测得的电压值经过处理(放大X倍),使得处理后的电压值与实际的功率一一对应,如20 mW用2 V来表示。

4 测试结果

采用激光拉曼光谱仪的氩离子激光器作为光源($\lambda = 514 \text{ nm}$)。光电转换器为硅光电池。用于测试

聚焦在载玻片上的激光功率时,将光电探头固定于一板上。板的大小和载玻片相当,如图4所示,在测试中可取代载玻片或放置在载玻片上。该探测器既能适合倒立显微镜又可用于正立显微镜,可有效探测聚焦在玻片上的功率。

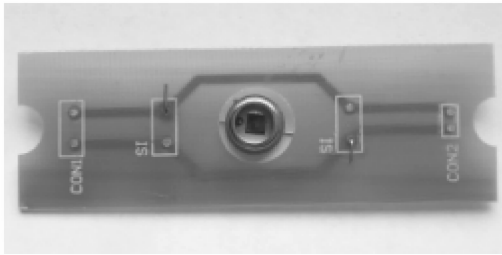


图4 光电探头
Fig. 4 Cell probe

图5所示为采用本显微功率计测定 $\lambda=514\text{ nm}$ 波长的激光输出功率的响应曲线。图中同时示出了LEP-1A热电功率计对同一激光的响应曲线作为标准功率测定值比较。图中的LPE-1A线为标准功率计响应曲线;LB-1为本显微功率计测试数据响应曲线1;LB-2为本显微功率计另一测试数据响应曲线2。

从图中可见,本功率计对输入功率的效应成线性变化,线性度好;响应曲线相对于LPE-1A的偏差很小,所测曲线基本与标准功率计重合。测量精度能够满足实际需要,偏差度小于5%。

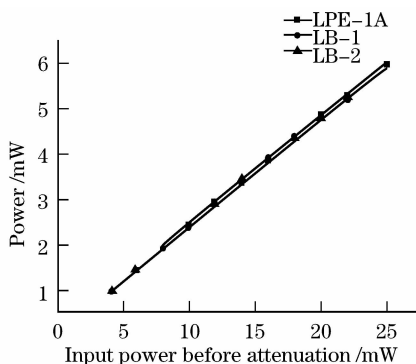


图5 显微功率计与热电功率计LPE-1A
对同一激光的响应曲线

Fig. 5 Responding curve of the micro-power meter and
LPE-1A to the same laser output

为了了解功率计工作的稳定性,进行了在激光器连续照射情况下,本功率计测定的不同输出激光功率是否随时间变化的实验。图6为本功率计对激光功率进行测定时的稳定性测试结果。对每一功率水平的测试时间持续7 h。

从各曲线可看出对各功率水平所测定的功率随时间变化很小,最大的相对变化率为3%,表明该功率计稳定性好,其稳定度适合于显微镜激光功率要求。

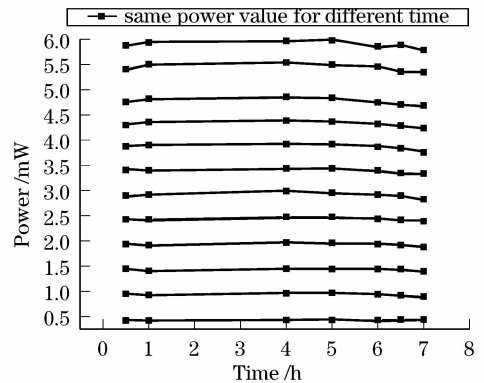


图6 不同激光功率的稳定性测试
Fig. 6 Stability in testing different power

除对514 nm的激光进行了实验外。还对633 nm波长的激光进行了类似的实验。其结果证明,功率计在测定633 nm波长激光功率时(如前所述,因波长不同,要换档测定),有类似于514 nm激光的测定结果。表明其对不同波长的激光均可实现精确而稳定的测定。

该激光功率计的最大特点是能测试投射到载玻片或培养皿上的激光功率。而且当放置在载玻片或培养皿上的样品是处于溶液中时,功率计的光电探测器也能部分浸入溶液中模拟样品所处位置进行测量。此功能相当重要,因为不但样品的纵向位置不同,高聚焦物镜所投射的激光功率会有较大的变化,而且激光在空气与玻璃交界面同溶液与玻璃交界面的反射及入射角范围都不一样。为此,实验安排了显微功率计在玻片载有不同生物医学常用溶液情况下所测定的不同输出功率,以及与仅为玻片时测定的功率相比较,其测试结果如表1所示。可见,空气界面会导致功率损失,可高达5%~8%。

5 结 论

本显微激光功率计是一种测试显微镜等微焦系统光功率的测试仪,可方便地放置在显微镜载物台上,模拟样品所处环境与位置进行光功率测定。具有精度高、线性好、速度快、稳定性高等优点。其测量功率范围为0.1~50 mW间,是一种简易好用的显微微焦系统光功率计。

表 1 光电池浸入液体与仅置于玻片上时激光功率的测试结果

Table 1 Testing results in immersed liquid

$\lambda=514 \text{ nm}$					
1		2		3	
Glass slide /mW	Glass slide+ 0.9% NaCl /mW	Glass slide /mW	Glass slide +1×PBS /mW	Glass slide /mW	Glass slide + water /mW
1.94	2.09	1.94	2.09	1.93	2.09
2.39	2.54	2.39	2.54	2.37	2.54
2.84	2.99	2.84	2.99	2.84	2.97
3.29	3.59	3.29	3.44	3.30	3.46
3.86	4.01	3.71	4.00	3.72	4.01
4.31	4.46	4.16	4.46	4.16	4.46
4.76	5.01	4.61	4.91	4.61	4.92

Note: Glass slide means the power detected in the case that the cell is placed on glass slide. Glass slide+solution means the power detected in the case that the cell is placed in solution.

参 考 文 献

- 1 N. B. Viana, O. N. Mesquita. In situ measurement of laser power at the focus of a high numerical aperture objective using a microbolometer[J], *Appl. Phys. Lett.*, 2002, **81**(10): 1765~1767
- 2 Bojan B. Radak, Branislav B. Radak. A simple relative laser power meter[J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1991, **62**(2): 318~320
- 3 Yi Hongjing, Zhuang Ling, Tan Huiming. The study of photoelectric power meter for measuring W-class laser[J]. *Laser and Infrared*, 2006, **36**(7): 590~592
伊红晶, 壮 凌, 檀慧明. 测量瓦级激光的光电型功率计的研制[J], *激光与红外*, 2006, **36**(7): 590~592
- 4 Wei Dongji, Dai Ensheng. The research of broad band numeral display for laser power meter [J]. *The Current Medicinal Apparatus and Application*, 1997, **9**(1): 10~13
魏冬季, 戴恩盛. 宽带数码显示激光功率计的研究[J], *现代医学仪器与应用*, 1997, **9**(1): 10~13
- 5 An Yuying. Photoelectron Technology[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry. 2002
安毓英. 光电子技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002
- 6 Lü Shihua, Yang Chengqing, Huang Gang. The theory of LP-1 laser power meter and the application on physics experiment[J]. *Physics Experiment*, 1989, **9**(5): 230~234
吕斯骅, 杨澄清, 黄 刚. LP-1 激光功率计原理及其在物理实验中的应用[J]. *物理实验*, 1989, **9**(5): 230~234