文章编号：1006－544X（2009）03－0386－04

基于 BDJ 单色波长探测器的研究

谢印忠[1,2]，陆绮荣[3]，张保洲[4]

（1. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院，上海 200093；2. 临沂师范学院，山东 临沂 276005；
3. 桂林理工大学 信息科学与工程学院，广西 桂林 541004；4. 北京师范大学 天文系，北京 100875）

摘 要：分析了掩埋双 p-n 结（BDJ）的两个结对光的灵敏度随波长的变化，设计了一种新型便携式单色光波长及其功率测量仪器。该仪器以掩埋双 p-n 结为波长功率传感器，单片机为处理核心，LED 数码管即时显示结果。实现了对单色光波长和功率的准确、快捷、方便的测量。仪器设计定标完成后对汞灯的4条原子谱线分光后进行测量，精度较高，偏差在2 nm 范围内。对仪器的硬件、软件及设计思路给出了系统的说明，提出了新的应用展望。

关键词：光学测量；单色光；掩埋双 p-n 结；单片机

中图分类号：TP752.2 **文献标志码**：A

0 引 言

光是一种特殊的电磁波，对它的探测主要分两类：光强度（振幅、功率）的测量和颜色（波长）的测量[1]。国内外对掩埋双 p-n 结波长传感器作过一些研究，如：德国卡塞尔大学测量研究所对其基本工作原理和测量精度等的研究[2]；法国格勒诺布尔第二大学电子实验室从微电子角度验证了其工作原理，并研究了温度的影响[3]；国内武汉大学物理科学与技术学院对其复色光辨别能力进行了研究并对系统进行了设计[4]。但目前基于该项研究的成品仪器系统并未见到，太平洋传感器股份有限公司推出的 WS－7.65PCBA 探头电路板[5]，其对不同波长输出不同的模拟电参量，使用时尚需加入采集和转换电路，并对数据进行处理。北京师范大学低能核物理研究所的弱光波长光电探测器及其阵列的研究获得国家“863”项目计划资助，本文所研究的单色波长功率计为该项目的部分内容。

单色波长的测定通常都是使用单色仪来完成，但其系统、结构十分复杂，普通光功率计也需要先作波长标定之后才能准确测量，否则会有较大误差。本研究利用掩埋双 p-n 结波长传感器[6－9]（buried double p-n junction sensor，BDJ）和单片机的有机结合完成了光波波长的准确测量，在此基础上将单色光功率测量加以拓展，设计制成了单色波长功率计，其体积小、精度高、成本低、速度快、使用方便，可以广泛应用于单色光测量的各个领域。

1 仪器的工作原理和设计

1.1 掩埋双 p-n 结波长传感器

掩埋双 p-n 结波长传感器是一种体积小、工艺简单的色敏器件（图1），它包含2个不同深度位置的 p-n 结，这种器件的层叠式结构使得以硅材料作为滤光片时，光在硅晶体的透射深度与波长有强烈的依赖关系，p-n 结的杂质掺杂浓度不同也使光谱响应出现差异，以太平洋公司生产的 Wavelength Sensor WS－7.56 为例，两个 p-n 结对入射光谱的响应曲线见图2（图中纵坐标是光辐射功率为1 W 时照射在探测面上产生的电流）。入射光功率和波长不同时，p-n结测出的光电流也不相同。但入射

收稿日期：2008－12－19

基金项目：国家“863”计划资助项目（2002AA313120）

作者简介：谢印忠（1970—），男，博士研究生，讲师，光学工程专业，E-mail：xieyinzhong@lytu.edu.cn。

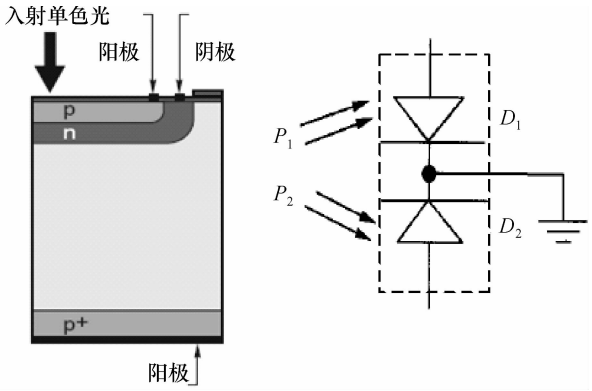


图 1　掩埋双 p-n 结波长传感器（BDJ）的结构和原理

Fig. 1　Structure and principle of BDJ

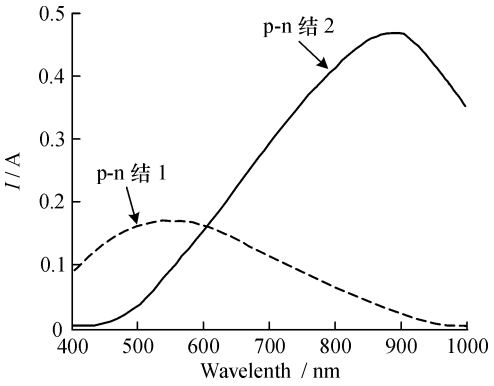


图 2　BDJ 两 p-n 结光电流光谱响应曲线

Fig. 2　Responding curve of the two p-n junction

波长 λ 一定时，光电流与光功率成正比，这就是普通光电二极管用作光功率计的原理，所以 BDJ 波长传感器的任何一个结的光电流都可以用来测量光功率；同时对于 BDJ 波长传感器，上下两个 p-n 结的光电流比值与入射光功率无关，只与其光谱响应度有关（图 3）[5]。在一定条件下，以单色光入射，得出光电流比值与波长 λ 的关系曲线，当未知波长的单色光入射时，通过定标曲线即可推知其波长。

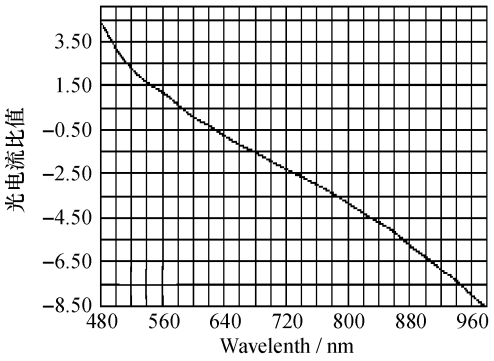


图 3　BDJ 两 p-n 结光电流比值与波长的关系曲线

Fig. 3　Relation curve for photo current ratio with wave length

由于 BDJ 波长传感器的层叠式结构，p-n 结吸收到的光，其通量占总入射光的比例系数与光的入射角度有关，并且两个 p-n 结因掩埋深度不同，吸收率随入射光角度的不同，其变化率也不同。设计中要求光线按固定角度入射，为了设计、定标方便，在传感器前加入光纤，调整使光线垂直入射到传感器的入射面，这样设计同时有利于测量时光路的调整。

1.2　传感器输出信号的放大与读出

由于入射单色光的功率变化范围很大，波长传感器的输出电流信号变化范围也相应较大（电流一般在 10^{-10} ~ 10^{-5} A），除要求放大倍数外还要求能分几个量程测量以增大解析度，在自动转换量程时还要考虑基点的调零。实际设计中，采取两级放大[10]的形式解决上述问题，流压转换采用斩波稳零集成运放 ICL7650，以抑制信号采集和换档时的零漂，二级放大采用高精度集成运放 OP－07。

量程的转换由多路转换开关 CD4051 在单片机的控制下完成，实现小信号采用高放大倍数，大信号采用小放大倍数，自动地选择合适的增益或衰减，切换不同的量程，使放大电路最终输出的信号适合测量中所用 A/D（模拟/数字）转换器的需要。这样设计电路可以使探测器输出的信号被低噪音的放大 1 ~ 1 000 倍，输出的电压被控制在 A/D 转换器适当的工作范围之内。

选用了逐次逼近型 12 位 A/D 转换器 AD574，其非线性误差为 ± 1/2 LSB（最低有效位），若转换范围为 ±5 V，非线性误差约为 0.245 mV，转换速度为 35 μs。

1.3　信号的处理和测量结果输出

经 AD574 转换出的数字信号送入单片机 89c52，处理结果送 LED 数码管显示，分两组输出，分别由芯片 MC14499 控制，显示单色光的功率和波长。在设计开始前主要考虑对该系列的机型较为熟悉，虽然其工作频率较低，运算能力相对新近流行的处理器不是很强，但系统中运算对速度和数据要求并不高，且国内仿真机主要针对 51 系列，其价格低、性能比较完善，针对 51 系列的 C51 编译器研制最为成熟，应用广泛（对于便携式波长探测器，设计中处理器采用低功耗 16 位单片机 MSP430），测试仪的软件系统采用 C51 语

言来编写。

1.4 软件设计

两 p-n 结输出电流的比值虽然随波长增加是单调的（图 3），但也不是简单的线性关系，实验中测试了很多组并进行总结，很难找到与测量结构拟合好的算术运算式，因此使用查表的形式。在程序中设计 1 个表格，对特定的探测器，将对应 400 ~ 760 nm 波长的比值每隔 5 nm 设为单位存储（这一过程也就是仪器定标），测量时单片机采集的数据经运算得两 p-n 结电流比值，查表找到在哪个 5 nm 范围内，之后使用内插法计算出具体的波长值。

得到波长后，取出第 1 个 p-n 结的电流值，对应该波长的光谱响应值计算出该入射光的入射功率。整体程序流程见图 4。

1.5 系统的总体设计

综上所述，整个单色波长功率计的结构如图 5。

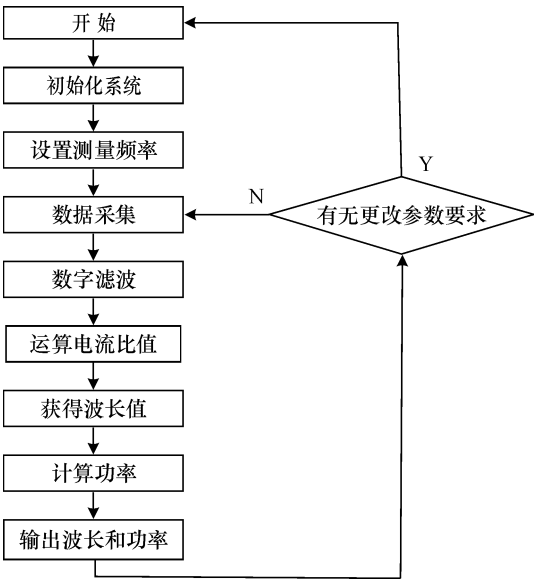


图 4 测量程序流程图

Fig. 4 Flow chart of program

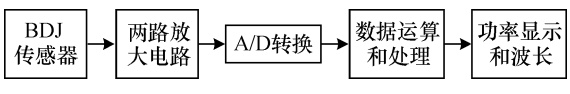


图 5 单色波长功率计总体结构

Fig. 5 Frame of the meter for wave length and power homochromy light

2 结果和展望

样机完成定标后在北京市应用光学重点实验室内对汞灯的 4 条原子谱线分光后进行测试（表 1），偏差在 2 nm 内。取 p-n 结 1 的输出电流进行光谱光效处理后得到入射单色光的入射功率。

表 1 汞灯的原子谱线测量结果比较

Table 1 Comparison between measurement and spectrum wave length of mercury nm

	标准波长	测量结果	偏差
1	404.7	405.9	1.2
2	435.8	436.7	0.9
3	546.1	546.0	0.1
4	577.0	587.6	0.6

利用掩埋双 p-n 结（BDJ）波长传感器研制的波长探测器，具有精度高、体积小、结构简单、响应速度快等特点，是目前便携式单波长测量仪器的最理想结构。与北京师范大学低能所联合研制的掩埋双 p-n 结光电探测元件波长仪已通过国家 863 计划（2002AA313120）的验收。

北京师范大学光电仪器厂、北京市应用光学重点实验室已经开始了对高速可调超窄带滤光片的研究，随着研究的深入，相信不久的将来，以该仪器结构为核心，与高速可调超窄带滤光片组成新的系统，应用领域可以拓展到复色光的多波长及分光谱功率测量，将有更广阔的应用前景。

参考文献：

[1] 郝允祥，陈遐举，张保洲. 光度学［M］. 北京：北京师范大学出版社，1988.

[2] Sedjil M，Lu G N，Michard G，et al. A colorimetric method with the use of BDJ detector for seawater pH measurement［J］. Analytica Chimica Acta，1998，377：179 – 184.

[3] Lu G N. A dual-wavelength method using the BDJ detector and its application to iron concentration measurement［J］. Meas Sci Technol，1999，10：312 – 315.

[4] Han D J，Batignani G，Guerra A D，et al. High-gain bipolar detector on float-zone silicon［J］. Nucl. Instr. and Meth. A.，2003，512：572 – 577.

[5] 田晓娜，张秀蓉，韩德俊，等. 高纯区熔单晶硅高增益光晶体管的研究［J］. 光子学报，2004，33（7）：838 – 841.

[6] Braash J C，Holzapfel W，Neusehaefer-Rube S. Wavelength

determination of semiconductor lasers: precise but inexpensive [J]. Optical Engineering, 1995, 34 (5), 1417 – 1420.

[7] Lu G N, Chouikha M B, Sedjil M, et al. Investigation of a buried double p-n junction structure implemented in CMOS technology for wavelength-sensitive detection [J]. Int. J. Electronics, 1997, 83 (3): 307 – 316.

[8] Chen B R, Wang S. The identification of color difference of polychromatic light by silicon color sensor with double PN junction [J]. Sensors and Actuators: Physics, 2003, 109 (1): 72 – 75.

[9] Pacific Silicon Sensor Incorporated. Wavelength sensor WS – 7.56 data sheet [DB/OL]. [2009 – 04 – 23]. http://www.pacific-sensor.com/pdf/ws756PCBA2.pdf.

[10] 王术军，张保洲. LED 在线分拣系统的研制 [J]. 半导体光电，2004，25 (2)：108 – 111.

Measure Development for Monochromatic Light Based on BDJ

XIE Yin-zhong[1,2], LU Qi-rong[3], ZHANG Bao-zhou[4]

(1. *School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai* 200093, *China*; 2. *Linyi Normal University, Linyi* 276005, *China*; 3. *Guilin University of Technology, Guilin* 541004, *China*; 4. *Department of Astronomy, Beijing Normal University, Beijing* 100875, *China*)

Abstract: A kind of instrument to measure wave length and irradiance of monochromatic light is designed. Based on buried double p-n Junction sensors, the principium has different spectrals responsively for each p-n junction. The output circuit from each junction is differently irradiated by the same monochromatic light, but the ratio of two circuits is invariable. The ratio changes with the monochromatic light wave length. Data is processed by single-chip computer, with output by LED digital display. The portable instrument can provide quick, accurate and convenient measurement. It is used in the measurement for mercury lamp wavelength, with errors within 2 nm. Holistic design, hardware and software are presented in the paper.

Key words: optical measurement; monochromatic light; Buried Double p-n Junction (BDJ); single-chip computer