

文章编号 1004-924X(2014)04-0856-07

## 基于 Cortex-M3 的快速发光二极管 光电参数测量系统

汪黎栋\*, 茅振华, 倪 魏

(浙江省计量科学研究院, 浙江 杭州 310013)

**摘要:**针对发光二极管(LED)分选设备对光电参数测量系统的需求,研制了一种基于 Cortex-M3(以下简称 M3)的快速 LED 光电参数(包括光参数和电参数两部分)测量系统。该系统分为光参数检测模块(自制光谱仪)、电参数测量模块及显示模块等 3 部分。光参数检测模块采用 M3 作为主处理器,对测量获得的光谱数据进行计算,进而得出实测的 LED 光参数,并将光参数传递给同样以 M3 为主处理器的电参数测量模块。利用该系统架构,有效提高了 LED 参数测量的速度和性能。最后,在脱离 LED 分选机械控制的前提下,利用研制的 LED 光电参数测量系统进行了 LED 的实际快速测量。结果显示:电参数测量周期小于 31 ms,光参数测量周期可小至 10 ms,色坐标一致性误差小于 0.002 5%。

**关键词:**Cortex-M3;发光二极管;光参数测量;电参数测量;色坐标

**中图分类号:**TN312.8 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20142204.0856

## Photoelectric parameter measurement system based on Cortex-M3 for LEDs

WANG Li-dong\*, MAO Zhen-hua, NI Wei

(Metrology Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310013, China)

\* Corresponding author, E-mail: mongyia@hotmail.com

**Abstract:** According to the demands of Light Emitting Diode(LED) separation equipment for the photoelectric parameter measurement system, this paper describes a self-designed fast LED photoelectric parameter measurement system based on Cortex-M3 (hereinafter referred to as M3). The system consists of an optical parameter detection module (homemade spectrometer), an electrical test module and a display module. The optical parametric module uses the M3 as the main processor to acquire the spectral data and then gets the actual chromatic parameters to pass to the same M3-based processor module of electrical parameters. It greatly improves the LED parameter measuring speed and performance. Finally, without control of LED sorting mechanisms, the designed LED photoelectric parameter measurement system was realized experimentally, in which the electrical testing period is less than 31 ms, optical testing period can be as small as 10 ms, and the deviation in consistency of chromaticity coordinate is less than 0.002 5%.

**Key words:** Cortex-M3; Light Emitting Diode(LED); optical parameter measurement; electric parameter measurement; chromaticity coordinate

收稿日期:2013-09-11;修订日期:2013-10-24.

基金项目:浙江省质量技术监督局支持项目(No. 20120304)

## 1 引言

当发光二极管(LED)作为阵列和显示屏的显示器件时,如果LED不经过测试与分选,其光电参数存在的差异会使显示器件的波长和亮度存在着较大的离散型和不均匀性。随着LED产能及性能要求的继续扩大,对现有LED分选设备的分选速度及价格的挑战也越来越大。目前,高性能LED光电参数快速测试设备主要由国外及台湾垄断,虽然国内也有数家LED分选设备生产厂商,但普遍存在分选速度与回bin率低等问题<sup>[1]</sup>。其主要原因是缺乏核心技术,且需要外购核心部件(如光纤光谱仪),而且外购部件很难与系统紧密配合,不仅降低了速度,而且无法发挥出其高效率。因此在LED光电参数测量过程中,进一步提升测量速度和压低成本就显得非常重要。

LED光电参数测量系统是LED分选设备的核心,直接决定了LED分选的速度和准确度<sup>[2-4]</sup>。本文自行设计了一种基于Cortex-M3(以下简称M3)的快速LED光电参数测量系统。该系统的两个模块都采用M3作为主处理器,利用M3丰富的资源和较高的运行速度,大大提高了系统性能及测量速度。

## 2 结构和原理

本系统由电性参数测量模块、光强测量模块、光纤光谱仪、测控模块和人机界面显示组成,总体结构如图1所示。系统以图中间的M3为控制核心,控制电参数测量模块进行LED正向电压和反向漏电流的检测。在LED点亮的过程中,利用光纤光谱仪与光度探头分别进行LED光谱数据及光强数据的采集,然后传送至M3。M3将LED的光电参数在人机界面或PC机上显示。

### 2.1 电性参数测量模块

电性参数测量模块包含正向电压测量和反向漏电流测量两部分,用于实现LED电参数的测量,系统框图如图2所示。该模块的核心同样也是一颗M3芯片,该芯片直接通过MOSFET芯片进行桥式电路设计。将LED连接在桥式电路的两端,利用M3芯片控制LED分别加载在正向电压测量模块和反向漏电流模块上。M3芯片同

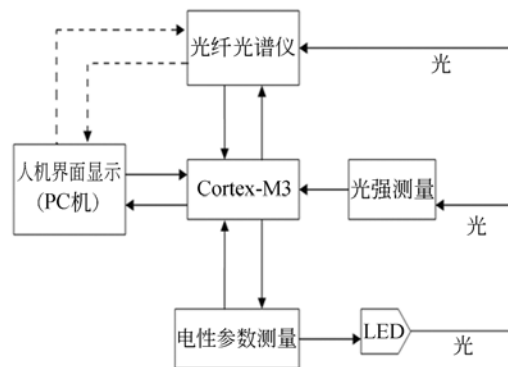


图1 LED光电参数系统总体结构框图

Fig.1 Framework of overall LED photoelectric parameter measurement system

时控制一块两路输出的DA芯片,一路控制恒流源的电流大小,另外一路控制反向漏电压。正向电压和反向漏电流测量后得到的信号加上光度探头获得的模拟信号一起输入到AD模块中,最后输入到M3芯片中。模块中的恒流源除了能够确保LED在光强测量模块和光纤光谱仪模块中的正常发光之外,还能为正向电压的测量提供正向恒定电流。为了让LED的参数测试系统适应不同的应用场合及测量不同类型的LED,恒流源和恒压源均为程控可调。

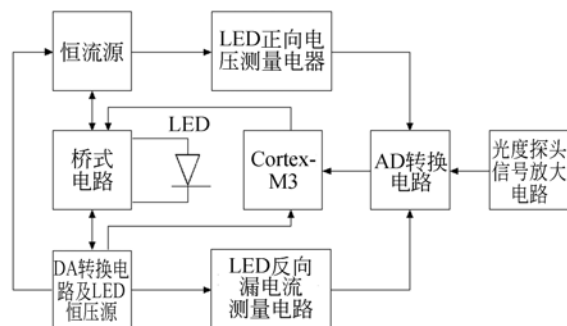


图2 电参数测量系统框图

Fig.2 Framework of electrical parameter measuring part

恒流源的电路如图3所示。由M3控制的DA值输入运放同相端,电阻R402,R403和滑动变阻器R401只在调试中使用。实际测量时,将由DA值决定同相端的电压。由虚短原理,运放LT1492反相输入端电压等于同相输入端电压,即反相输入端电压由DA值控制,电压通过电阻R400,R405,R406后产生稳定电流,经过达林顿管TIP122流入LED当中构成恒流驱动。只需

改变 R406 处的电阻值即可实现电流量程的改变。本系统拥有 35~350 mA 的恒流源,量程为 0~40 mA、300~2 000 mA。

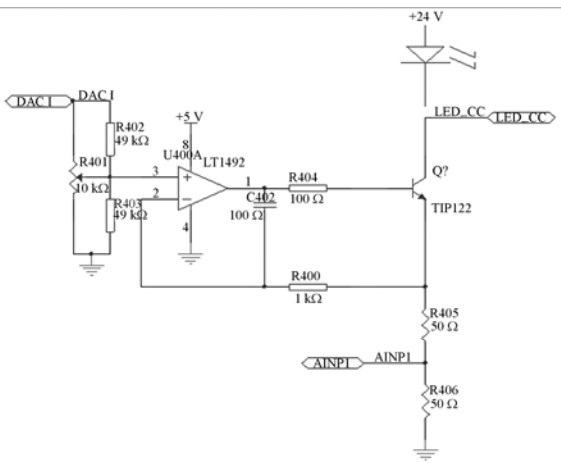


图 3 LED 恒流驱动电路

Fig. 3 Constant current drive circuit for LED

图 4 为数模转换及用于 LED 反向漏电流测试的恒压源电路。M3 产生的数字信号控制双通道数模转换芯片 DAC8552,为了保证 DA 转换后的精度,由低压差电压基准芯片 REF195 提供参考电压值。得到相应的模拟信号后,从 DAC8552 的输出端  $V_a$  输出,再通过高精度运放 OP27 跟随模拟信号,控制恒流源电路中输入端电压值的大小。 $V_b$  输出的模拟电压经过运放 OPA452 放大后,为 LED 提供恒定反向电压。

工业上分选 LED 时,采用的是自动化操作,无法辨别 LED 进入系统之后的极性,因此需设计电路来保证灵活切换恒流源和恒压源的接入极性。图 5 为一个桥式电路,通过采用微控制器控制 4 个光耦合器,实现 H 桥中电流走向的改变,例如,LED 的极性为左正右负,为使得 LED 正常发光,则控制光耦合器 K3、K13 的导通,K11、K12 断开;反之,LED 的极性为左负右正,则光耦合器 K11、K12 导通,K3、K13 断开。在 LED 的参数测试过程中,LED 恒流源除了有驱动发光二极管正常工作以便测得其光色度学参数的作用之外,还为 LED 正向电压的测量提供驱动。图 6 为 LED 两端电压的测试电路,LED 两端的电压由大带宽的自稳零运放 AD8638 进行跟随后,分别输入到全差分运放 OPA1632 中实现共模信号的消除。差分运放 OPA1632 输出端输出的电压值经 AD 转换后即可得到 LED 两端的电压值。

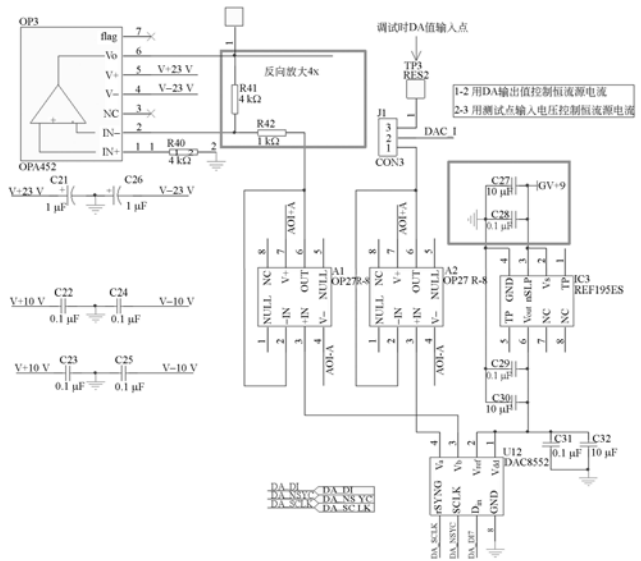


图 4 DA 转换电路及 LED 恒压源

Fig. 4 Conversion circuit of DA and constant voltage source for LED

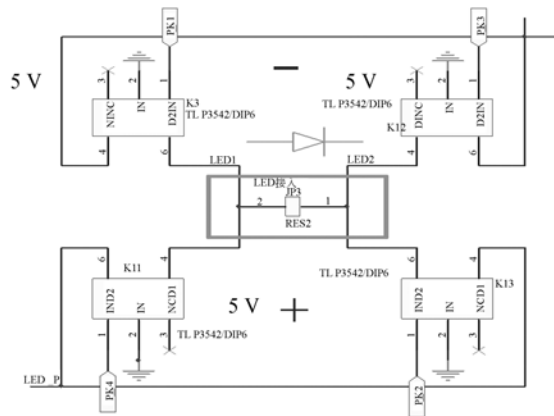


图 5 桥式电路设计

Fig. 5 Design of bridge circuit

图 7 所示为 LED 反向电流的测量电路, FastFET 运放 AD8033 构成电压比较器,其输出端与场效应管 NDS0610 的栅极相连,控制 NDS0610 的通断。电流流过场效应管 NDS0610 后,输入轨到轨运放 OPA452 的反相输入端。根据运放虚断原理,电流实际没有进入运放,而是全部通过电阻 R36,从而电流值转换为电压值测量;再由虚短原理,电阻 R36 的“1”端电势为 0,通过自稳零、轨到轨运放 AD8638 跟随 R36 的“2”端电压后,输出经 AD 转换即可得到 LED 的反向漏电流。在测量 LED 电流时,需要先判断 LED 的极性。电路导通后,如果测得的电流大,则表明电

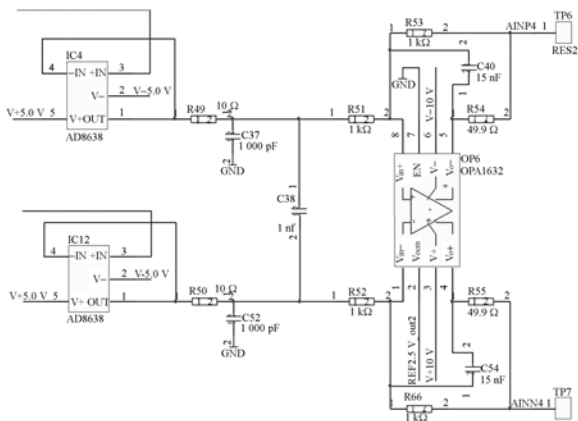


图 6 LED 正向电压测量电路

Fig. 6 Measurement circuit of forward voltage for LED

压正向加在 LED 的两端,为避免 LED 拉低电路电压,需控制 AD8033 断开场效应管 NDS0610,使用电阻 R32 进行分压,测得结果为正向电流值。如果测得的电流小,则表明电压反向加在 LED 两端,此时要导通 NDS0610,测得结果即为反向漏电流值。

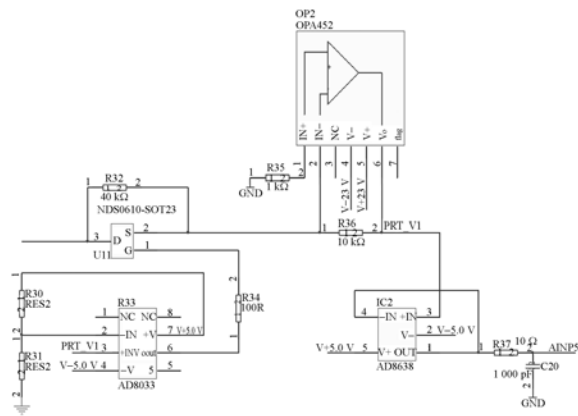


图 7 LED 反向漏电流测量电路

Fig. 7 Measurement circuit of reverse leakage current for LED

正向电压和反向漏电流都是模拟信号,因此需要通过数模转换电路测得其数值。本系统的电性参数测量模块采用 TI 公司推出的 24 位 A/D 转换器 ADS1256,具体电路如图 8 所示。

### 2.2 光强测量模块

光度探测器的信号放大电路如图 9 所示,其中电阻  $R_5$  为可变电阻,以适应不同 LED 的要求。

### 2.3 光谱测量模块

根据 LED 的相对光谱功率分布,可以计算出

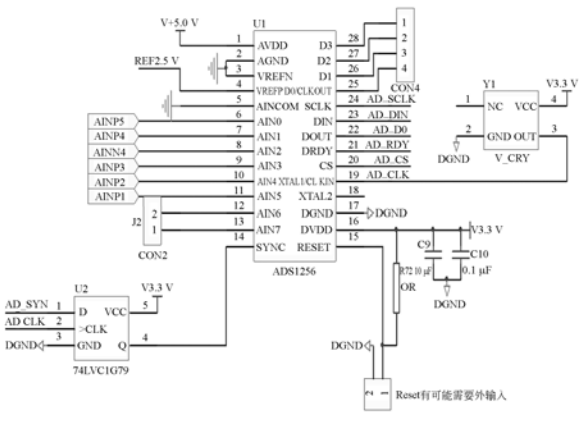


图 8 AD 转换电路

Fig. 8 Conversion circuit of AD

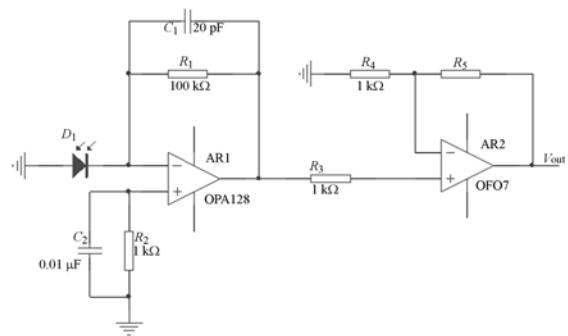


图 9 光度探头信号放大电路

Fig. 9 Amplification circuit of photometric probe signal

色品坐标、色温、主波长、色纯度等相关参数<sup>[5-6]</sup>。在快速参数测试系统中,该模块通过 USB 接口仅传输色度学参数数值,以避免由光谱分布数据的直接传输带来的大量时间损耗。

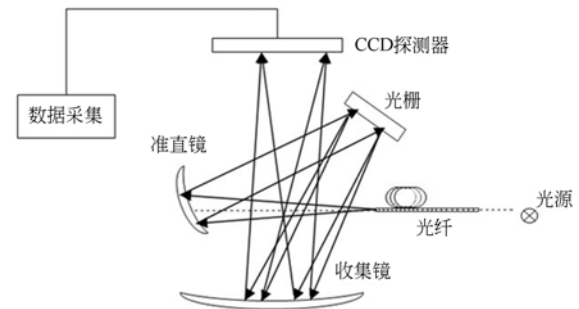


图 10 CCD 光谱仪结构示意图

Fig. 10 Schematic diagram of CCD spectrometer

自行研制的微型光纤光谱仪结构如图 10 所示<sup>[7]</sup>,待测光经光纤、光纤耦合器导入光纤光谱仪。光束经狭缝限束、凹面准直镜准直后反射到衍射光栅表面上,光栅通过色散将待测光按波长

在空间分离开来,并投射到凹面收集镜的表面上,收集镜将不同色散光谱聚焦反射入 CCD 探测器,转换成相应的电信号输出。各光学元件均固定在采用 LY12 铝材制成的铝发黑盒内,在减少杂散光反射的同时,还能精密控制元件之间的位置,从而保证收集镜反射光的焦平面落在 CCD 的入射窗口上。

在实际测试过程中,为了满足 LED 参数测量系统快速测量和便携性的要求,光谱仪在测得相对光谱功率分布之后,需计算相关色度学参数,再将数据传输给测控模块直接显示在人机界面上。这将需传输给测控模块的数据从两千多个降为几个,减少了光谱仪向外传输数据所耗费的时间。具体电路结构如图 11 所示,CCD 将待测光转化为相应的模拟电信号,经 16 位 AD 转换为数字信号传递给 M3(采用 NXP 公司生产的 LPC1768 芯片),得到相对光谱功率分布。M3 根据相对光谱功率分布计算出色品坐标、色温、主波长、色纯度等参数,再通过 USB 2.0 接口(采用 Cypress 半导体公司的 USB 控制芯片 CY7C68013A)传递给测控模块,与 LED 的正向电压和反向漏电流数值一起显示在人机界面上。

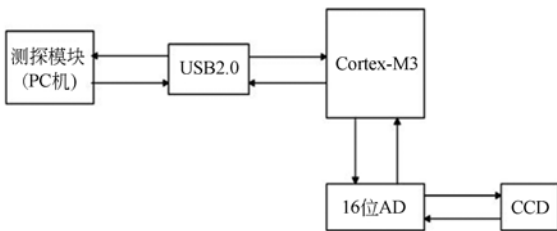


图 11 CCD 光谱仪电路结构框图

Fig. 11 Block circuit diagram of CCD spectrometer

### 3 程序设计

#### 3.1 人机界面程序设计

将 UCOS-II 嵌入式操作系统与 UCGUI 嵌入式图形支持系统结合灌入到 Cortex-M3 芯片中,配合液晶触摸屏,实现了触摸式人机界面的开发。人机界面由测控模块直接控制,负责显示 M3 获得的 LED 各主要参数,减少测控模块与 PC 机通讯所耗费的时间,满足系统快速检测的要求。

图 12 为 LED 的测量参数显示界面(彩图见期刊电子版)。与相对光谱功率分布显示界面类

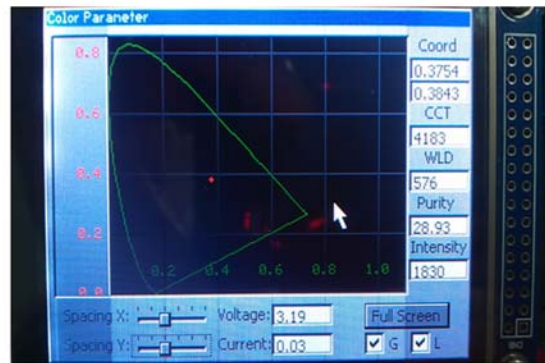


图 12 LED 主要测量参数显示界面

Fig. 12 Display interface for parameter measurement of LED

似,中间为曲线显示区域,区域中有马蹄形色品图,可供待测光衡量其色品坐标,区域中的红点即为待测光的色品坐标点。在界面的右方,从上到下依次显示了  $x, y$  色品坐标,色温,主波长,色纯度和光强。“Voltage”和“Current”显示框显示正向电压和反向漏电流的数值。界面上其他控件用于控制曲线显示区域的显示效果,如“Full Screen”控制全屏与否;“G”和“L”分别控制网格和左边界的有无;“Spacing X”和“Spacing Y”控制网格间距。

#### 3.2 测控程序设计

测控模块获得 LED 的正向电压、反向漏电流和光强参数,缓冲处理后,与光谱仪计算得到的 LED 色度学参数一同显示在人机界面上。软件流程如图 13 所示,系统上电时先进行初始化,包

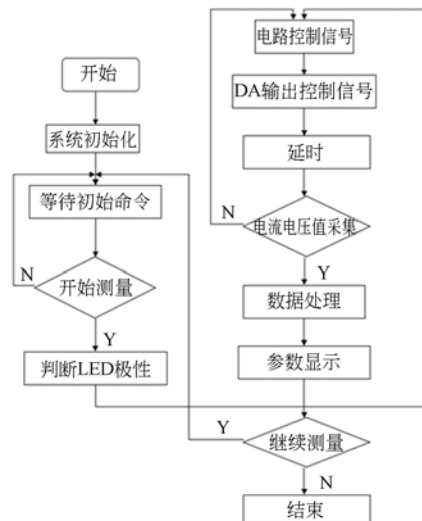


图 13 测控程序流程图

Fig. 13 Flowchart of measurement and control program

括系统时间设置、光耦合器开关初始化、AD/DA 驱动初始化和 USB 驱动芯片初始化。随后循环等待测量命令,开始测量时,首先判断 LED 接入系统的极性,然后控制光耦合器的通断。接入恒流源对 LED 进行正向驱动,延时等待参数稳定后,通过 AD 测量 LED 正向电压和光强测量电路中产生的电压。接着判断正向电压和反向漏电流的测量是否完毕,如果不是,则重新控制光耦合器接入反向电压电路,采集反向漏电流。最后进行数据缓冲处理,并将 LED 的正向电压值、反向漏电流值、光强大小和色度学参数一起显示在 LCD 人机界面上。

### 4 测试结果

应用本系统测量了宁波升谱光电半导体有限公司提供的 3528 型和 5050 型 LED,从每种型号相同批次的货品中随机抽得 10 个样品,测得其色品坐标,统计结果分别如图 14、图 15 所示。

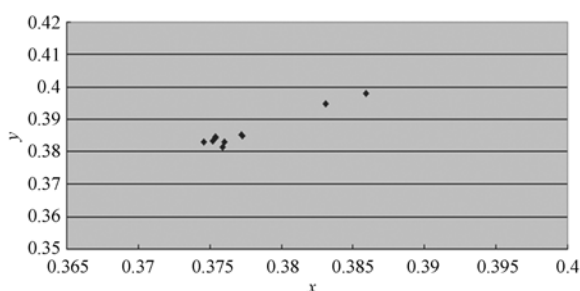


图 14 3528 型 LED 样品的色品坐标点分布

Fig. 14 Chromaticity coordinate distribution of 3528 LED

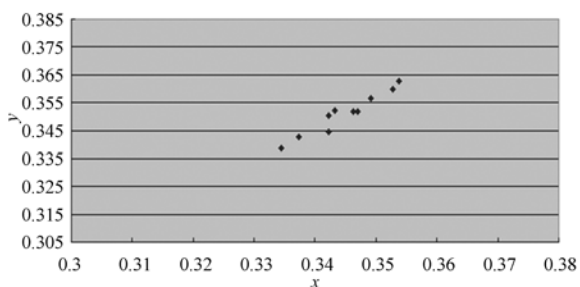


图 15 5050 型 LED 样品的色品坐标点分布

Fig. 15 Chromaticity coordinate distribution of 5050 LED

从图 14、图 15 可以看出,即使是同一种型号同一批次,LED 的色品坐标也会有差别。系统除测

量色品坐标之外,还测量了 LED 的其他主要参数。

表 1、表 2 分别为 3528 型 LED、5050 型 LED 的参数测量结果,其中正向电压在 25 mA 的恒定电流下测得,反向漏电流在 20 V 的反向电压下测得。从表 1 可以看出,3528 型 LED 样品的主波长、色温和色纯度相差不大,其他参数的数值都有不同程度的变化,而反向漏电流几乎可以忽略。从表 2 可以看出,较之 3528 型,5050 型 LED 样品的主要参数的变化范围更大。由此说明,所选的两批货品中,5050 型 LED 的一致性较差。

表 1 3528 型 LED 参数测量结果

Tab. 1 Measurement results of 3528 LED

编号	主波长 /nm	色温 /K	色纯度 /100%	光强 /mcd	正向电 压/V	反向漏 电流/ $\mu$ A
1	576	4 183	28.93	1 830	3.19	0.03
2	576	4 140	30.17	1 720	3.12	0.02
3	577	4 155	29.28	1 727	3.12	0.03
4	576	4 184	28.80	1 725	3.12	0
5	576	4 160	29.35	1 761	3.15	0.02
6	576	4 134	30.24	1 722	3.12	0.03
7	576	4 185	28.93	1 748	3.14	0
8	576	4 037	34.23	1 718	3.11	0.02
9	576	4 197	28.38	1 735	3.13	0.03
10	575	3 988	36.15	1 728	3.12	0.02

表 2 5050 型 LED 参数测量结果

Tab. 2 Measurement results of 5050 LED

编号	主波长 /nm	色温 /K	色纯度 /100%	光强 /mcd	正向电 压/V	反向漏 电流/ $\mu$ A
1	574	4 737	14.02	5730	2.91	0.02
2	575	4 942	9.42	5 680	2.87	0.03
3	571	5 116	8.03	5 850	2.98	0.03
4	563	5 420	1.59	5 793	2.93	0
5	571	5 083	8.94	5 700	2.89	0.01
6	574	4 872	10.93	5 791	2.93	0.03
7	574	4 971	8.87	5 821	2.95	0.01
8	574	4 763	13.33	5 825	2.95	0.02
9	575	5 109	6.12	5 807	2.94	0.01
10	568	5 300	3.70	5 793	2.93	0.01

由测试结果可以看出,即使是同一型号同一批次的 LED,其参数数值的变化也可能较大,由此验证了 LED 参数检测的必要性和本系统的研究价值。但是,测试的 LED 样品是供实验室研究使用的,可能与商品化产品的性能有所差别。在

测量过程中,还计算了系统的测试速度,对同一芯片做 1 000 次测量,累计测量时间后除以测量次数,得到平均测量时间。计算得到电性检测周期小于 31 ms,光学检测周期不超过 10 ms,色坐标一致性误差小于 0.002 5%。

## 5 结 论

本文采用自行设计的微型光纤光谱仪作为

LED 快速分选的光参数测量模块,获得了较好的光参数一致性指标。同时,研制了一种新型的 LED 电参数测量系统,将该系统与光参数测量系统结合实现了 LED 光电参数的快速分选。在脱离 LED 分选机械控制的前提下,利用研制的 LED 光电参数测量模块进行了实际测试。测试结果显示,电性检测周期小于 31 ms,光学检测周期可小至 10 ms,色坐标一致性误差小于 0.002 5%。

### 参考文献:

- [1] 丁鹏飞,潘建根,沈海平,等. 大功率 LED 全自动分选机的设计[J]. 照明工程学报,2008,19(1):65-68. DING P F, PAN J G, SHEN H P, *et al.*. Design of automatic sorting machine of high power LED[J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2008, 19(1):65-68. (in Chinese)
- [2] 秦岚,吕云日,邓维礼. LED 多参数检测系统的设计与控制[J]. 测控技术与仪器仪表,2008(7):79-81. QIN L, LÜ Y R, DENG W L. Design and control of multi-factors measurement system for LED [J]. *Measurement Control Technology and Instruments*, 2008(7):79-81. (in Chinese)
- [3] 周圣军,郭顺生,缪来虎. 表面贴装 LED 光电参数测试分选系统的研制[J]. 仪表技术与传感器,2008(8):107-109. ZHOU SH J, GUO SH SH, MIAO L H. Design of testing and sorting system for surface mount technology LED optoelectronic parameter [J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2008(8):107-109. (in Chinese)
- [4] 温浩礼,易波. LED 光电参数测量系统的设计[J]. 电子测量技术,2008,31(1):108-111. WEN H L, YI B. Design of optical and electrical measurement system for LED [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2008, 31(1):108-111. (in Chinese)
- [5] 鲍超. 发光二极管测试技术与标准[J]. 物理,2003,32(5):319-324. BAO CH. The measurement and calibration of light emitting diodes [J]. *Physics*, 2003, 32(5):319-324. (in Chinese)
- [6] 林卫国,郭顺生,杨明忠. 基于查表法的 LED 色度学参数测试方法研究[J]. 武汉理工大学学报,2011,33(12):93-96. LIN W G, GUO SH SH, YANG M ZH. Study on LED colorimetric parameters measurement based looking-up table method [J]. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2011, 33(12):93-96. (in Chinese)
- [7] 唐玉国,宋楠,巴音贺希格,等. 中阶梯光栅光谱仪的光学设计[J]. 光学精密工程,2010,18(9):1989-1994. TANG Y G, SONG N, BAYANHESHIG, *et al.*. Optical design of cross-dispersed echelle spectrograph [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(9):1989-1994. (in Chinese)

### 作者简介:



汪黎栋(1979—),男,浙江诸暨人,硕士,工程师,2003年于浙江大学获得学士学位,2010年于同济大学获得硕士学位,主要从事光电精密测量技术、纳米计量技术等方面的研究。E-mail: mongyia@hotmail.com