

Online Non-Contact Fault Detection System for LED Chip During Packaging^{*}

WU Yu-fen, WEN Yu-mei^{*}, LI Ping, ZHANG Xin, LI Lian, YIN Fei

College of Optoelectronic Engineering, The Key Laboratory for Optoelectronic

Technology & Systems of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China

Abstract: According to the photovoltaic effect of p-n junction, an AC light source is used to irradiate a LED chip, and a corresponding current in the LED chip is induced. The LED chip and its electric connection with the frame during packaging process can be detected by measuring this current. The instrument system which is constructed based on the single chip processor implements the functions of system control, data acquisition and processing. The methods for improving detecting accuracy and efficiency have been taken. Experimental results show that the system can detect LED chips with red, yellow or green color correctly, and it takes only 10 ms for detecting a single chip.

Key words: LED chips; non-contact detection; short-circuit photocurrent; single chip processor

EEACC: 7210B; 0170J

LED 芯片封装在线非接触检测系统^{*}

毋玉芬, 文玉梅^{*}, 李平, 张鑫, 李恋, 尹飞

(重庆大学光电工程学院 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 根据 p-n 结的光生伏特效应, 采用交变光源照射待测 LED 芯片, 在封装的短路支架上激励出光生短路电流; 通过对该微弱电流信号的测量, 判断引脚式封装的 LED 芯片在压焊工艺中/后的功能状态及焊线质量, 实现 LED 芯片的非接触检测。构建了以单片机为控制核心的测试系统, 采取了提高系统检测准确性和检测效率的措施, 实现了系统控制、数据处理分析等功能。实验结果表明, 该系统能正确检测红光、黄光及绿光 LED 芯片, 系统检测效率高, 单个 LED 芯片的检测时间仅为 10ms, 适用于实际 LED 生产时引脚式封装工艺过程中的在线检测。

关键词: LED 芯片, 非接触检测, 短路光生电流, 单片机

中图分类号: TN312.8

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2008)06-1061-05

发光二极管(LED)以其体积小、耗电省、寿命长、绿色环保等特点,在指示灯、信号灯、显示屏、景观照明等领域得到广泛应用。由于封装过程中LED芯片的功能状态及压焊工艺后焊接引线的质量决定了LED产品质量,所以实现LED芯片的封装在线检测十分重要。目前,针对LED芯片的检测主要集中在封装前的圆片(晶片)检测阶段,分为接触式和非接触式两类。接触式检测方法主要包括四探针法^[1]、Van der Pauw^[2]法和OBIC(Optical Beam Induced Current)^[3-4]法。四探针法将探针直接接触LED晶片的两极并注入电流,通过获得样品的电压电流关系测量样品的功能及半导体材料的电阻率、迁移率、少子寿命等参数;与四探针法相比,

Van der Pauw方法可以用来测量更小的测试区域;OBIC法基于p-n结的光电效应,利用外加不同偏置电压时光激励p-n结产生的光生电流或光生电压的变化规律来检测半导体器件的功能及工作状态。以上接触式检测方法要求检测探针与被测样品直接物理接触,探针损耗大,且容易划伤或污损被测样品表面,不适用于大批量LED在线检测。激光SQUID法^[5-6]通过观察并测量光电流产生的磁场分布来实现p-n结的非接触检测,该方法不接触待测芯片且检测灵敏度高,但SQUID法需要在低的环境温度下进行芯片检测,因此对检测环境要求高,仪器系统复杂,检测成本高,且磁场的变化特征不易观察,故不适于快速检测。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60676031),重庆市科技攻关重大项目资助(CSTC,2005AA4006-B1)

收稿日期: 2007-10-13 **修改日期:** 2007-12-04

另外,在LED封装完成后,由电学方法和分拣机对LED成品进行功能及性能测试。通过施加电压点亮LED的方法对其成品进行功能测试,由分拣机对功能测试合格的LED进行发光强度、峰值波长、正向电压等性能参数测试及分选^[7]。除所述封装前的LED圆片(晶片)检测及封装后的成品测试外,目前还没有适合于对封装过程中的LED芯片及其焊接引线质量进行检测的方法。本文基于p-n结的光生伏特效应,通过测量光照射LED芯片时产生的短路光生电流,检测压焊工艺中/后LED芯片的功能状态以及芯片与引线支架的电气连接情况,即焊线质量,实现封装工艺过程芯片质量及LED半成品的非接触检测。

1 LED芯片非接触检测原理

1.1 p-n结光生伏特效应

当光强为 I ,光子能量 $h \geq E_g$ (p-n结禁带宽度)的光束垂直照射p-n结表面时,由本征吸收在结及其两边产生电子-空穴对。在势垒区,光激发产生的少数载流子在结电场的作用下,电子穿过p-n结进入n区,空穴进入p区,于是在p-n结两端形成了光生电动势,这就是p-n结的光生伏特效应。由于光照产生的电子和空穴分别向n区和p区运动,从而在p-n结内部形成自n区向p区的光生电流 I_L ^[8],如果将p-n结短路,就可得到短路电流 I_{sc} ,短路电流 $I_{sc} = I_L$ 。

设空穴的扩散长度 L_p 和电子的扩散长度 L_n 满足 $L_p, L_n \gg x_D, x_D$ 为势垒区的宽度,则势垒区对光生电流的贡献可以忽略,这时光生电流表示为^[8]

$$I_L = qA G(L_n + L_p) \quad (1)$$

式中, q 为电子电量, A 代表p-n结面积, G 为光激发电子-空穴对的产生率。由于光照引起的电子-空穴对的产生率为

$$G = I \quad (2)$$

式中, I 是量子产额,表示每吸收一个光子产生的电子-空穴对数, α 为材料的吸收系数, I 即入射光强(以光子数计)。因此,光强为 I 的光照射条件下,得到的短路电流为

$$I_{sc} = I_L = q A I (L_n + L_p) \quad (3)$$

由式(3)可知,光照条件下p-n结产生的短路电流 I_{sc} 随光照强度 I 的增强而增大,且 I_{sc} 随光照强度呈线性上升^[9]。LED是p-n器件,对常用GaP材料的绿光LED,以能量大于芯片p-n结禁带宽度的光激励芯片时,假设 α 为0.5,LED芯片的面积为0.1 mm × 0.1 mm,由式(3)可知,当激励光的强度为 3.4×10^{20} 个/ $m^2 \cdot s$ (以光子数计)时,产生的光生电

流强度约为 $1 \mu A$ 。

1.2 交变光源激励短路光生电流的测试原理

引脚式封装的LED在压焊工艺后,芯片的p电极和n电极通过金属焊线和引线架构成闭合回路,固定于引线架上的LED芯片通过压焊金丝(或铝丝,以下通称金属焊线)与引线支架形成的闭合回路如图1所示。

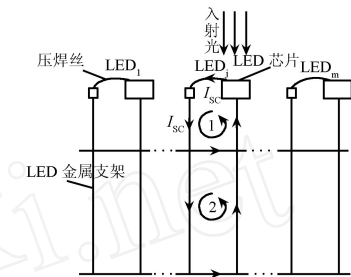


图1 引脚式封装的LED引线架回路

当能量大于芯片p-n结禁带宽度的光照射LED芯片时,检测LED芯片所在闭合回路的电流情况,可对待测LED芯片的功能及焊线质量进行判断。图1中,当光照射第 j 个LED芯片时,根据电路分析原理可知,回路1中的电流值占全部光生电流值的90%以上,且回路1中包含了光生电流产生源-待测LED芯片,因此忽略回路2的影响,将回路1作为待测电流的检测回路进行分析。

对LED芯片进行检测时,系统所用的激励光源是一种超高亮度的白光LED,激励光经透镜会聚后照射在芯片表面,会聚后的光强约为 4.8×10^{20} 个/ $m^2 \cdot s$,由前述分析可知,对于常用GaP材料的绿光LED芯片,产生的光生电流大小为 $1.41 \mu A$ 。由于短路光生电流微弱,且待测电流是闭合回路中的电流,故需要采用非侵入式的电流检测方法进行测量。本文采用交变的光源照射待测LED芯片,从而在LED闭合回路中激励出交变的待测电流,根据法拉第电磁感应定律,采用互感原理制成如图2所示的LED芯片检测用互感线圈,将待测微弱交变电流信号转换为互感线圈输出端的电压信号进行检测。

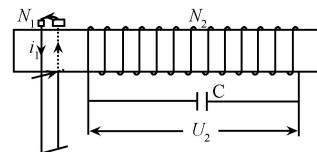


图2 互感线圈在LED芯片检测中的应用

图2所示LED芯片检测用互感线圈由二次绕组、铁芯、绕组间与铁芯的绝缘构成。为适应LED支架回路的形状和尺寸,互感线圈选用长方体直条型铁芯,实际检测时将铁芯插入待测回路(图1中回路1),以回路支架作为互感线圈的一次绕组。当光子能量 $h \geq E_g$,光强为 $I = I_0 [\sin(\omega t) + 1]$ 的交变

光照射第 j 路 LED 芯片时,回路 1 中将产生交变电流 i_1 ,且 $i_1 = I_{sc} = q A I_0 (L_n + L_p) [\sin(\omega t) + 1]$, $N_1 = 1$,二次绕组 N_2 远大于 1。交流载流回路 1 在互感线圈铁芯内产生交变主磁通,从而在次级线圈中产生感生电动势 U_2 ,如图 2 所示。

结合图 2 并由互感原理可知,若待测 LED 芯片功能及芯片与支架间的金属焊线良好,则施加交变的激励光照时,互感线圈输出端将得到与激励光同频率的交变电压信号 U_2 ,其振幅正比于入射光的振幅 I_0 ;若待测 LED 芯片失效或对应焊线损坏,则检测回路中无光生电流信号,正比于其变化率的感生电动势 U_2 为零。互感线圈输出的交变电压信号通过 LC 选频回路后由模拟电路进行滤波和放大处理,再经检波电路得到用于检测的直流电压信号,由单片机对该信号进行采集、分析、处理后,通过判断该电压信号值的有无,最终确定待测芯片的功能及焊线质量。

2 LED 芯片非接触测试系统

2.1 系统结构

根据上述检测原理,利用单片机为控制核心进行了测试系统搭建,系统由控制电路单元、激励光源(光学系统)单元、信号检测及调理电路 3 个部分组成,总体结构如图 3 所示。其中,控制电路单元包括:单片机 8051 内核、单片机数字外设 PCA、I/O 端口、模拟外设 ADC、PGA、数据分配器、模拟开关、译码器等;激励光源单元包括:激励光源、光会聚透镜系统;信号检测及调理电路由互感线圈、放大电路、滤波电路及检波回路构成。图 3 中用虚线框标示出了控制电路单元。

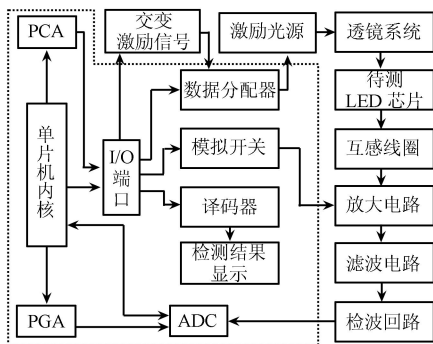


图 3 LED 芯片非接触测试系统框图

以单片机为核心的控制电路单元是整个测试系统的控制核心,该部分主要实现以下功能:产生激励光源的交变驱动信号;通过端口控制的数据分配器,实现激励光源的时序点亮;通过模拟开关,实现信号调理电路中与激励光源对应的放大电路的选通;对信号调理电路的输出信号进行可变增益的数

据采集;对采集到的信号数据进行分析处理;根据信号处理的结果,给出相应的结果显示。

2.2 提高系统检测准确性和效率的措施

2.2.1 判断芯片功能及焊线质量的电压基准

通过 1.2 节理论分析可知,可通过判断待测直流电压信号值的有无来检测芯片功能及焊线质量,但是,在实际 LED 芯片功能及焊线质量检测时,由于电路及磁芯耦合干扰的存在,检测信号中包含了电路噪声和磁芯耦合噪声,芯片失效或焊线断裂时的检测信号值并不为零,如图 4 中 500 ~ 1 000 ms 时段内对应的信号(在 500 ~ 1 000 ms 信号调理电路处于选通状态),因此不能直接通过电压有无来判断芯片状况。图 5 画出了芯片及焊线质量良好时的信号波形,对比图 4 和图 5 可以看出,芯片及焊线质量良好时的检测信号是有用信号(源于待测短路光生电流)和电路及磁芯耦合噪声的叠加,均值高于图 4 中的电路和磁芯耦合噪声均值,故实际检测时以电路及磁芯耦合噪声为基准,通过比较检测信号与该基准的差异,来判断待测芯片及焊线是否损坏。然而实际检测时,电路及磁芯耦合噪声值随检测环境的不同而变化,因此,需要准确确定当前检测条件下的噪声基准,从而保证系统检测的准确性。

为得到用于比较判断的噪声基准,对不点灯、不放芯片以及挡光三种条件下的检测信号进行了分析,这三种条件下均无激励光照射到待测芯片表面,由互感产生的感生电动势为零,检测信号中没有有用信号,主要由电路或磁芯耦合噪声组成。其中,三种条件分别为:不点灯,即放上待测芯片,同时选通第 j 路信号调理电路,但不点亮激励光源;不放芯片,即选通第 j 路信号调理电路,同时点亮激励光源,但不放待测芯片;挡光,即放上检测芯片,选通第 j 路信号调理电路,同时点亮激励光源,但将激励光源挡住,不照射到芯片上。图 6 给出了 GaP 绿光 LED 芯片在三种不同检测条件下的信号对比图。

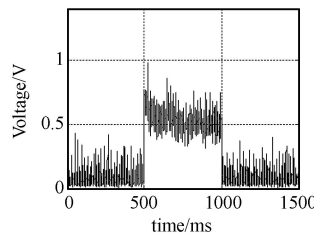


图 4 焊线断裂时的检测信号波形

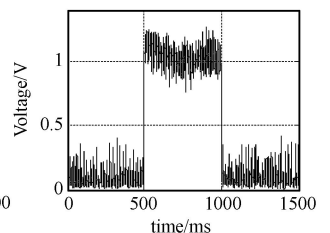


图 5 芯片及焊线质量良好时的检测信号波形

对比图 4 和图 6 可知,与不点灯及不放芯片时的信号相比,挡光时的检测信号(图 6(c))最接

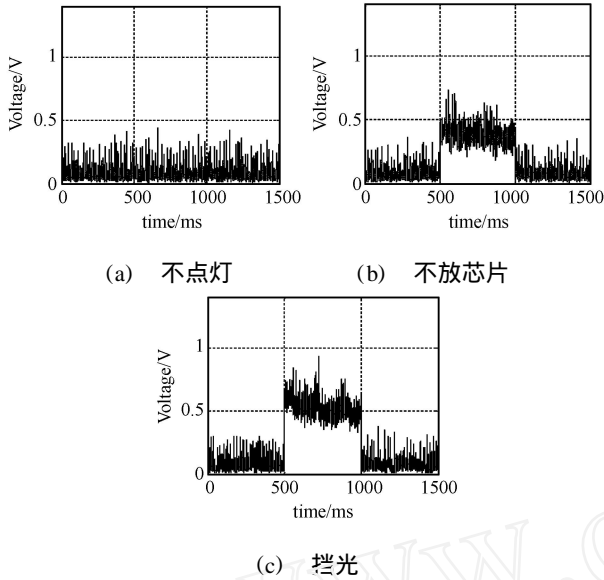


图6 不同检测条件下的基准信号

近焊线断裂时检测到的噪声信号,电压均值分别为 0.525 9 V 和 0.534 3 V。这是因为挡光时,信号调理电路和磁芯的工作状态均与焊线断裂时的实际检测条件相同,得到的检测信号真实的反映了电路及磁芯耦合噪声的干扰情况;而不点灯时,由于未对激励光源施加交变的驱动信号,因而磁芯耦合引起的噪声很小,检测信号主要由电路噪声组成;由于引脚式封装的 LED 支架中含多个 LED 回路,不放芯片时,得到的检测信号不能反映各回路之间的相互影响关系,其值低于芯片失效或焊线断裂时检测到的噪声值。因此,实际检测时将预采样得到的挡光信号作为判断基准,对芯片功能及焊线质量进行判断。

2.2.2 系统检测效率的提高

对 LED 芯片进行封装在线检测时,要求系统具有高的检测效率,以整排 20 个待测芯片的 LED 支架为例,若单个芯片的检测时间为 500 ms,整排的检测时间需要 10 s,该检测效率不能满足实际生产的需要,因此要在不降低系统检测准确性的基础上提高检测效率。受电路延迟及电路噪声的影响,实际的检测信号存在上升延迟时间,且信号中除直流成份外,还叠加有非直流干扰信号,当检测时间缩短时,这些因素对检测信号均值计算的影响将加重,造成检测结果的不准确。因此,在确定芯片的检测时间时,对检测信号的延迟时间及非直流成份特征进行分析,通过对检测信号进行剔除上升时间及粗大数据等处理,在提高系统检测效率的同时,保证系统的检测准确性。图 7 画出了图 5 和图 6(c) 中信号的上升延迟时间波形,其中,点线表示芯片功能及焊线良好时的检测信号,实线表示挡光基准信号。图 8 是检测信号中的非直流成份波形,图 9 给出了包

含突跳噪声的检测信号波形。

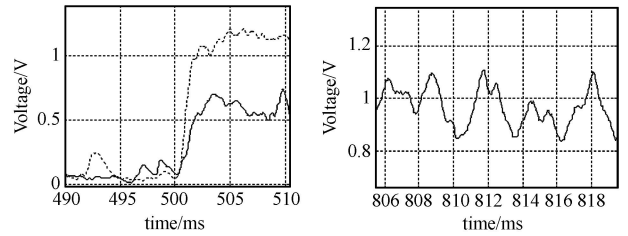


图7 检测信号的上升时间波形

图8 检测信号中的非直流成份波形

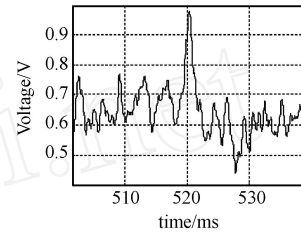


图9 检测信号中突跳噪声波形

由图 7 可以看出,电路延迟引起的检测信号上升时间约为 2 ms,在实际的信号采集及数据处理时,将 2 ms 上升时间内的数据剔除,2 ms 以后的采样值作为电压均值计算的有效数据。图 8 中,非直流成份中相邻波峰之间的时间间隔约在 3 ms 左右,若检测时间低于该值,则检测信号不能包含完整的非直流跳变周期,引起电压均值运算过大或过小,因此选择包含 2~3 个跳变周期的时间段作为实际单个芯片的检测时间,即 10 ms。另外,在非直流干扰中存在如图 9 所示的突跳信号,该类突跳信号幅度偏离信号均值大,将使信号均值计算出现较大误差,因此,需要对采样数据进行剔除粗大数据的操作。记芯片功能及焊线质量良好时的检测信号为有用信号,有用信号与挡光基准信号的比值为均值比,表 1 列出了 10 ms 和 500 ms 采样数据经粗大数据剔除后的均值、方差及均值比计算结果,其中信号均剔除了前 2 ms 上升时间对应的数据。

表1 0.5 s 时间内的检测信号和前 10 ms 检测信号的均值方差及均值比对比

采样时间		均值/V	方差	均值比
500 ms	有用信号	1.029 1	0.051 0	1.979 8
	基准信号	0.519 8	0.049 6	
前 10 ms	有用信号	1.096 5	0.042 9	1.9196
	基准信号	0.571 2	0.040 0	

由表 1 可知,对检测信号进行剔除上升时间和粗大数据处理后,取 10 ms 作为单个芯片的检测时间时,基准信号和有用信号的均值均与 500 ms 检测时间时的接近,但基准信号和有用信号的方差均减小,且前 10 ms 信号的均值比与 500 ms 内信号的均

值比相符,即选择 10 ms 作为检测时间时的效果与 500 ms 时的效果一致。

3 实验分析

按照图 3 的系统框架搭建了实验平台,对常用 GaP 绿光 LED 芯片进行了多次检测实验,检测时以基准电压的 1.5 倍为比较电平对芯片功能及焊线质量进行判断,针对上述提高系统检测准确性及检测效率的措施,分别进行了实验验证。由图 7 可知,当选择不点灯及不放芯片时的检测信号为基准电压时,比较电平值偏低,检测时易将次品 LED(失效或断线)误判为良品(芯片功能及焊线质量良好),表 2 列出了不同基准电压下系统的次品误判率(将次品 LED 误判为良品);表 3 给出了剔除上升时间及粗大数据前后,系统检测准确率的对比,其中,检测时间为 10ms;表 4 给出了不同检测时间对应的系统检测准确率对比。

表 2 不同判断基准时系统的误判率对比

基准电压	次品误判率/ %
不点灯	100.0
不放芯片	60.0
挡光	0.2

表 3 剔除上升时间及粗大数据前后系统准确率对比

剔除前后	准确率/ %
剔除前	75.0
剔除后	99.8

表 4 不同检测时间时系统检测准确率对比

检测时间/ ms	准确率/ %
3	80.0
10	99.8
500	100.0

从表 2~4 可以看出:与不点灯与不放芯片相比,选择挡光信号作为系统检测的基准电压时,系统的次品误判率仅为 0.2%;进行上升时间及粗大数据剔除后,系统的检测准确性得到改善,从剔除前的 75.0% 提高到 99.8%;对信号进行上升时间及粗大数据剔除后,10 ms 检测时间时的检测准确性与 500 ms 时基本一致,均高于 3ms 检测时的

检测准确性,可见,结合系统检测准确性与检测效率的要求,单个芯片 10 ms 的检测时间能够满足实际生产的需求。

4 结论

利用 p-n 结的光生伏特效应在单片机系统平台上搭建了引脚式封装的 LED 芯片非接触测试系统并进行了相应的检测实验,系统具有检测速度快、数据采集和处理一体化等特点,适合 LED 芯片检测的实际工程应用。结合引脚式封装 LED 特有的工艺流程,在不接触或污损芯片的前提下对 LED 芯片进行功能检测,并同时焊线质量进行在线诊断。对红光、黄光及绿光 LED 芯片进行了检测实验,实验结果验证了测试系统的检测可靠性。

参考文献:

- [1] Freeston IL. From Four Point Probe to Impedance Imaging [J]. Engineering Science and Education Journal, 1997, 6 (6): 245-254.
- [2] Morvic M. On the Measurement of High Resistance Semiconductors by the Van Der Pauw Method[C]// The Third Int. Euro Conf. Advanced Semiconductor Devices and Microsystems, 2000, 16-18: 327-330.
- [3] Seigo I, Hideo M. Failure Analysis of Wafer Using Backside OBIC Method[J]. Microelectronics and Reliability, 1998, 38 (6-8): 993-996.
- [4] Takeshita T, Sugo M, Sasaki T, et al. Failure Analysis of InGaAs/ GaAs Strained-Layer Quantum-Well Lasers Using a Digital OBIC Monitor [J]. IEEE Trans. Electron Devices, 2006, 53(2): 211-217.
- [5] Daibo M, Kamiwano, D. Examination of Relationship Between Resistivity and Photocurrent Induced Magnetic Field in Silicon Wafers Using Laser SQUID[J]. IEEE Trans. Applied Superconductivity, 2005, 15(2): 684-687.
- [6] Daibo M, et al, Non-Contact Evaluation of Semiconductors Using a Laser SQUID Microscope[J]. Physica C, 2002: 372-376, 263-266.
- [7] 王术军,张保洲.LED 在线分拣系统的研制,半导体光电, 2004, 25(2):108-111.
- [8] 顾祖毅,田立林,富力文. 半导体物理学. 电子工业出版社, 1995:311-312.
- [9] 刘恩科,等. 半导体物理学[M]. 西安交通大学出版社,1998: 282.



毋玉芬(1982-),2005 年毕业于重庆大学电子科学与技术系,获学士学位,现于重庆大学光电工程学院攻读硕士学位,研究方向为仪器科学与技术, youyuanff@yahoo.com.cn



文玉梅(1964-),1984 年毕业于北京航空航天大学电子工程系,获学士学位,1987 年航天部第一研究院研究生院毕业获硕士学位,1997 年重庆大学获博士学位。1988 年起在重庆大学光电工程学院工作至今,教授,博士生导师。1999 年至 2000 年英国牛津大学工程系高级访问研究员。主要研究方向为传感器技术,信号(图象)处理, ymw@cq.edu.cn