

doi: 10.3788/gzxb20124107.0790

基于 LabVIEW 的外延片光致发光扫描系统

崔琳哲, 李书平, 康俊勇

(厦门大学 物理系, 福建 厦门 361005)

摘 要:概述了一套基于 LabVIEW 而搭建的半导体光致发光扫描系统. 充分考虑扫描过程中由于外延片荧光信号过于微弱、不均匀背景光噪音可能产生的光谱采集失真以及随后分析谱图所存在的物理参量读取误差等因素, 通过扣除背光源、隔离样品、高斯拟合等方式对测量过程进行优化. 同时依托 LabVIEW 自身强大的仪器控制能力, 如调用动态链接库与 ActiveX 控件实现了对光谱仪和平移台的通信与控制, 结合其良好的数据分析及显示能力, 实现了对外延片测量、读取、分析处理以及实时显示等过程的自动化整合, 准确高效地提取出样品空间分辨的光致发光特性如峰位、光强等. 最后初步分析了所用外延片的发光均匀性, 得出波长分布与生长温度分布基本一致, 肯定了保持生长腔内温度均匀一致的重要性. 该系统不仅界面友好、简单易操作、实时性强、智能化高且搭建简单易行, 极大地降低了成本, 方便研究人员进行快捷准确的测试.

关键词: LabVIEW; PL-Mapping; 实时分析显示; 高斯拟合

中图分类号: O472.3; TN911.73 **文献标识码:** A

文章编号: 1004-4213(2012)07-0790-4

0 引言

光致发光(Photoluminescence, PL)测量是在科研中普遍认可的表征半导体材料特性的重要手段之一, 为国内外研究第三代半导体材料的光学性质提供了充分详实的实验依据^[1-2]. 但是在一般的 PL 谱测量中, 只能反映出整个半导体外延片中单点的材料特性, 如通过峰位、半高宽、发光强度对比估算出半导体材料的带边峰峰位、质量好坏、内量子效率等, 而由于生长过程中腔内环境的差异, 外延片在不同位置的晶体质量会有较大的差异, 为了对外延片整体生长质量有更为宏观快捷的判定, 光致发光扫描(PL-Mapping)是一个最为合适的选择.

本文介绍了一套整合激光器、光纤光谱仪、X-Y 平移台等而搭建的 PL-Mapping 系统, 对整个外延片逐点进行自动的 PL 测量, 提取出谱图, 并实时处理分析, 实现峰位扫描, 强度扫描等功能. 在科研资源有限的情况下, 该系统利用现有设备(激光器、光纤光谱仪、X-Y 平移台等), 谨慎地处理测试过程中产生的误差, 采用高斯拟合更为科学地提取光谱信息, 搭建实时 Mapping 成像显示获取更为直观的扫描信息, 扫描过程全程可控, 扫描结束后自动将数据导入 Excel 中以便于后期处理, 方便准确地实现了

外延片 PL-Mapping 功能, 且界面友好易操作, 功能齐备, 对进一步生长出高质量的外延片有重要的指导意义.

1 测量系统硬件架构

本测量系统所用到的硬件有: 北京赛凡光电仪器有限公司生产的 7SC302 双轴运动控制器; 日本 Lambda physik 公司生产的波长为 248 nm 的 Compex. 205 准分子激光器; 荷兰 Avantes 公司推出的 AvaSpec-2048×14-USB2 光谱仪, 其采用高速 2 048×14 像元的薄型背照式 CCD 探测器, 探测光谱范围从紫外到近红外(200~1 100 nm). 硬件具体组成部分如图 1 所示, 计算机通过 RS232 总线和

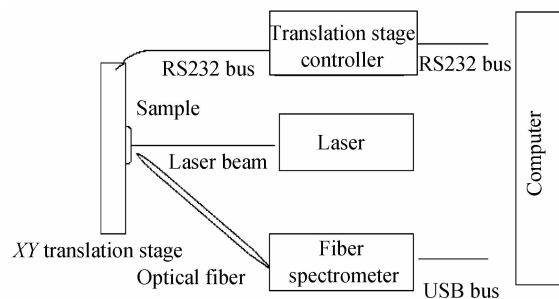


图 1 测试系统硬件架构
Fig. 1 The hardware architecture of test system

基金项目: 国家高技术研究发展计划(No. 2011AA03A111)和国家自然科学基金(No. 90921002)资助

第一作者: 崔琳哲(1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为 GaN 基材料表征及 LabVIEW 在物理方面的应用. Email: laocuidage@163.com

责任作者/导师(通讯作者): 李书平(1973-), 男, 教授, 主要研究方向为半导体光电子材料与器件的理论及实验研究.

Email: lsp@xmu.edu.cn

收稿日期: 2012-01-09; 修回日期: 2012-02-21

USB 总线分别实现对平移台控制器和光纤光谱仪的控制以及数据传输;248 nm 的激光器作为激发光源可以满足绝大多数外延片的 PL 测量需求;其余还包括光纤、透镜、衰减片等。

2 测量系统优化

2.1 光路调整

由于激光器自身激发的光斑直径过大,而平移台移动准确度可以达到微米级,因此扫描图像的分辨率很大程度上取决于光斑的大小.本文使用凸透镜来聚焦缩小激光光斑直径,同时为了避免由于聚焦引起微区光强度增大而造成样品损坏,再用衰减片将其调整至适当强度.调整后的光斑直径大约 1 mm 左右,已完全具备对样品质量进行精确评估的能力。

2.2 光谱波峰值与强度提取

在单点光谱的测量中,背光源的干扰是非常大的,尤其是在光致发光比较弱的情况下(这在低内量子效率,整体质量偏低或尺寸较小的外延片中是比较常见的).程序在激光开启之后,设置扣除背光源,以得到无噪音的光信号。

单点光谱测量实现后,需要控制平移台移动样品进行扫描.为了避免由于样品移动带来的周围背光环境的改变,将样品放置于四壁光滑的暗箱中,保证光噪音信号的空间均匀性,最大程度的减小外界对荧光信号的污染。

在分析仪器的测量中,有许多具有明确物理意义的二维谱图,如光谱图、色谱图等,这类谱图一般可以用高斯曲线予以描述^[3].已有大量研究证明利用高斯函数可以表达谱图中峰形、峰高和峰位等具有明确物理意义的参量,故用高斯函数系作为基本函数形式对光谱曲线进行拟合的方法是可行的^[4-6].由于样品质量的不均匀分布,在扫描过程中光谱波形、强度、峰位都会发生变化,为了从中提取出稳定可信的参量,因此本文采用高斯拟合提取光谱图的有效信息.具体算法为将数据拟和为通用形式的高斯曲线,其表达式为

$$f = a * \exp \left[\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (1)$$

式中, x 是输入序列 X , a 是幅值, μ 是中心, σ 是标准偏差.程序提取出观测点 (X, Y) 的最佳拟合 a 、 μ 和 σ .考虑到噪音,使用最小二乘法,依据式(2)最小化残差,得到指数模型的幅值、中心和标准偏差。

$$\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} w_i (f_i - y_i)^2 \quad (2)$$

式中, N 是 Y 的长度, w_i 是权重的第 i 个元素, f_i 是

最佳高斯拟合的第 i 个元素, y_i 是 Y 的第 i 个元素.通过如上拟合就得到了各点光谱的峰位、强度等信息,实时拟合的光谱图如图 2 所示,光滑曲线为拟合曲线。

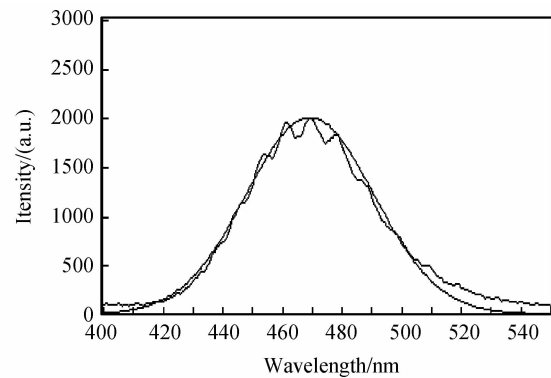


图 2 高斯拟合结果演示

Fig. 2 The results from Gaussian fitting

2.3 实时 Mapping 显示

为了得到更为直观的测试结果显示,同时更好地对扫描过程进行实时控制,搭建了实时扫描显示图像置于界面.如图 3,在扫描过程中每测一个点 (x, y) ,筛选掉噪音,实时对光谱进行拟合分析,提取出峰位、振幅等.然后同步在界面上的相关图示中,其中的颜色深浅表现出相关峰位、振幅等的大小,对于超出样品的部分则自动归为最小值即黑色,从而达到模拟成像的目的.测试过程全程可控,根据需要可随时终止实验。

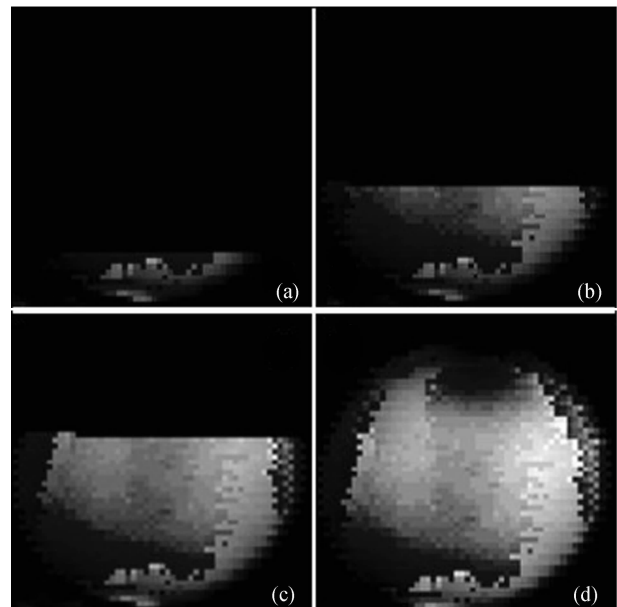


图 3 蓝光 LED 外延片 PL-Mapping 成像演示(波峰)

Fig. 3 The illustration of the blue LED epitaxial wafer PL-Mapping imaging(peak position)

通过对蓝光 LED 的峰位扫描成像(图 3(d)),可以看出,样品的波长在中心处大部分区域(约样品总面积的 50%)波动范围较小,但与其他部位波长

差异较大,这是由于实验所用外延片生长加热方式为采用三段钨丝分别加热石墨盘的内、中及外部(即A、B、C区),造成样品生长过程中温度的空间分布不均匀,虽然采用了诸如基座旋转,优化电阻丝分布等方法来降低温度梯度,但还是很难实现完全一致的温区,温度的均匀性直接影响着外延片生长的均匀性^[7-8],而表现出外延片的波长局部均匀,但整体差异较大的情况.对于中心部分的均匀性较好,这是因为该部分恰好处于B加热区内,温度梯度较小,从而波长差异较小,这与样品实际放置情况相符.

3 软件设计方案

LabVIEW 作为编程工具,不仅具备常规函数功能,还提供丰富实用的数据采集、分析和处理功能.同时,高度集成了各种 GPIB、RS232、RS485 标准设备及数据采集卡的驱动功能,通过 NI 提供的众多流行仪器的源码及驱动程序,可轻而易举地与外部设备进行通讯和控制^[9].它使得编写程序的过程与工程师们的思维习惯相符合^[10].在测试、测量和自动化领域有着广泛的应用,作为一个有效的科研工具也日渐成熟^[11-12],正是基于此,本系统选择了使用 LabVIEW 来搭建软件平台.

测量程序充分利用了 LabVIEW 强大的外部程序接口能力,对光谱仪,利用动态链接库(Dynamic Link Library, DLL),实现 LabVIEW 对光谱仪的底层调用,即达到控制与数据传输的目的;对 X-Y 平移台,利用 ActiveX 控件,获得其属性和方法,实现对 X-Y 平移台的操作.测试程序主要分为测量初始化,参量设置,逐点扫描,数据存储等部分.

在测量初始化的过程中,主要实现对光谱仪和平移台的顺利调用,包括串口号的输入,以及通信顺畅的检测等.如图 4 所示,若初始化成功,指示灯亮.

在参量设置页,如图 4 所示,光谱仪参量设置部分,需依次设置积分时间,光谱显示平均数,背景扣除等,以达到大小适当,光滑,无噪音的 PL 谱线.在平移台参量设置部分,需要设置空间 X 轴和 Y 轴扫描步长和步数即扫描面积与成像准确度.另外可通过 X, Y 轴输入手动移动样品,设置扫描起始位置.同时也可以人工随机检测样品,获得样品任意一点的 PL 谱线及拟合结果.

由于材料可能会存在多个峰,如图 4 中紫外 LED 外延片 PL 谱所示,本程序在光谱图上设置了两个游标,操作者可以手动拖动游标,截取两游标之间的部分来选定所要进行 Mapping 扫描的峰,扫描页也会同时锁定该峰进行成像.

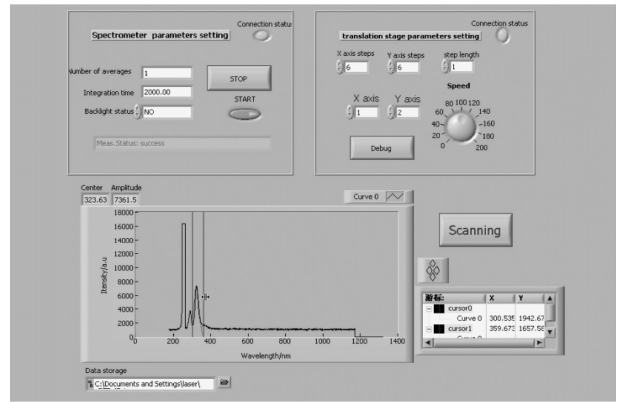


图 4 参量设置页面

Fig. 4 The interface of settings page

在扫描页,扫描过程自动完成,无须设置,操作者可以通过实时监控 PL 谱线,以及 Mapping 过程对样品实空间和谱空间分布有更为直观的了解.界面如图 5.

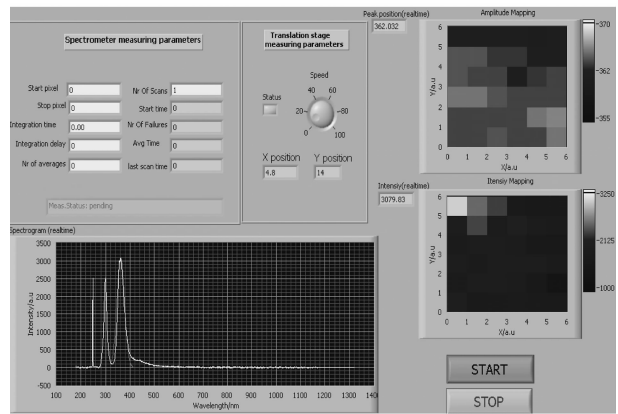


图 5 扫描页面

Fig. 5 The interface of scanning page

在数据处理页,本程序运用 LabVIEW 提供的高速数据流(Technical Document Management System, TDMS)技术显示测试数据结果,如图 6.操作者可以方便地通过输入位置调用出光谱图数据以及图像显示.同时为了方便后期处理,数据被导入到 Excel 中储存在指定位置,满足普通用户的需要.

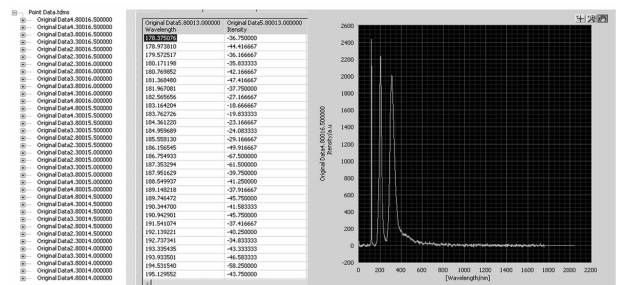


图 6 数据处理页

Fig. 6 Data processing page

4 结论

本文介绍了一套自主搭建的 PL-Mapping 系

统,利用 LabVIEW 独特的仪器控制能力,并结合其自身提供的丰富的数据处理和显示控件,以及文件 I/O 等,实现了对外延片进行自动 PL 扫描探测,信号实时分析处理和保存等功能,方便研究人员对生长外延片的光学特性进行初步了解。

参考文献

- [1] JAIN S C, WILLANDER M, NARAVAN J, *et al.* III-nitrides: growth, characterization, and properties[J]. *Journal of Applied Physics*, 2000, **87**(3): 986-988.
- [2] SCHWENZER B, HU J, MORSE D E. Correlated compositions, structures, and photoluminescence properties of gallium nitride nanoparticles[J]. *Advanced Materials*, 2011, **23**(20): 2278-2283.
- [3] LI Zhi, LI Qing-kai, ZHOU Zhi-heng, *et al.* Application of gauss curve fitting in single-channel sequential scanning ICP-AES[J]. *Journal of Jilin University (Information Science Edition)*, 2002, **20**(4): 9-10.
李冶,李庆凯,周志恒,等. 高斯拟合在单道扫描 ICP-AES 光谱仪中的应用[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2002, **20**(4): 9-10.
- [4] SUN Gui-ling, LIU Bo, LI Wei-xiang, *et al.* Computer realization of gauss peak separation algorithm in spectrogram curve [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis*, 2004, **37**(4): 115-116.
孙桂玲,刘波,李维祥,等. 谱图曲线中高斯峰的分离算法与计算机实现[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2004, **37**(4): 115-116.
- [5] LI Jian-dong, WU Min, DING Jian-hua. Using gauss fit to study the rats serum fluorescence spectrum of liver fibrosis [J]. *Laser Journal*, 2004, **25**(5): 95-96.
李建东,吴敏,丁建华. 高斯拟合法研究肝病变白鼠血清荧光光谱[J]. 激光杂志, 2004, **25**(5): 95-96.
- [6] YI Bang-jie, LIU Ji-fang, DENG Zhong-fang. Optimized gaussian fitting algorithm for scattered light's spatial spectrum intensity distribution of wake bubbles based on theory of wavelets[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(8): 1520-1521.
- [7] ZHAN Shao-bin. Research on MOCVD heating system[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008: 17-19.
詹少彬. MOCVD 加热系统研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008: 17-19.
- [8] WANG Sheng. Gas delivery and heating control system design of MOCVD equipment[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008: 40-48.
王晟. MOCVD 设备气体运输与加热控制系统设计[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008: 40-48.
- [9] 刘君华, 贾惠芹, 丁晖, 等. 虚拟仪器图形化编程语言 LabVIEW 教程[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001: 1-4.
- [10] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW 8.20 程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 1-4.
- [11] ZENG Lu-ming, LIU Guo-dong, REN Zhong, *et al.* Design of high-resolution photoacoustic imaging system based on LabVIEW station[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(7): 1437-1440.
曾吕明, 刘国栋, 任重, 等. 基于 LabVIEW 平台的高准确度光声成像系统设计[J]. 光子学报, 2008, **37**(7): 1437-1440.
- [12] ZHOU Wu-lin, HUANG Chun-hui. Continuous variable phase detection system based on LabVIEW [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(5): 786-788.
周武林, 黄春晖. 基于 LabVIEW 的连续变量相位检测系统[J]. 光子学报, 2011, **40**(5): 786-788.

PL-Mapping of the Epitaxial Wafer System Based on LabVIEW

CUI Lin-zhe, LI Shu-ping, KANG Jun-yong

(Department of Physics, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract: A set of semiconductors photoluminescence scanning (PL-Mapping) system using LabVIEW8 is summarized. In consideration of the spectra collected distortion originate from excessive weak fluorescent signal of epitaxial wafers, inhomogeneous background illumination noises and then the inaccurate physical parameters in spectra analysis and others, methods for optimizing system such as backlight deduction, sample isolation, Gaussian fitting are developed. The communication and control with the spectrometer and motorized is realized with the help of strong ability of instrument control such as calling DLL and ActiveX in LabVIEW. Owing to the same wonderful ability in data analysis and display, the process of measuring, read, analysis and real-time display is easily integrated into an interface, hence the optical property of sample on spatial discrimination is obtained effectively and efficiently. Finally luminance uniformity of epitaxial wafer is preliminary analyzed. Wavelengths agree with temperatures distribution, which affirm the importance of maintaining consistent temperature in growth chamber. It is a system friendly interfaced, easy to use, high real-time and built simply, which offers researcher accurate and rapid measurement.

Key words: LabVIEW; PL-Mapping; Real-time analysis and display; Gaussian fitting