

学校编码: 10384
学号: 19820101152837

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 LabVIEW 的外延片光致发光扫描系统

PL-Mapping of Epitaxial Wafers System Based on
LabVIEW

崔琳哲

指导教师姓名: 李书平 教授

专业名称: 微电子学与固体电子学

论文提交日期: 2013年5月

论文答辩时间: 2013年 月

学位授予日期: 2013年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人：_____

2013 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为()课题(组)的研究成果，获得()课题(组)经费或实验室的资助，在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

对于半导体材料而言，光致发光(Photoluminescence, PL)是一种有力又无破坏性的技术，在半导体工业及研究领域得到广泛应用，为国内外研究第三代半导体材料的光学性质提供了重要的实验依据。通过分析光致发光谱可以得知各种半导体材料的带隙、掺杂杂质种类，可以估算化合物半导体材料的组成成分，也可以研究一般物理或电学测量方法很难得到的异质结的内层结构。根据不同测试需求，光致发光谱也演化成为多种手段，如发射谱、激发谱和瞬态谱等。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。然而由于生长过程中反应腔内环境的差异，外延片在不同位置的晶体质量会有一定的差异，在发光二极管已经产业化生产的今天，需要对外延片整体生长质量有更为快捷的宏观判定，并进一步探究原因以改进生长工艺，在这方面，光致发光扫描技术(PL-Mapping)将起到重要作用。

LabVIEW 图像化编程语言的出现，极大的减轻了工程师和科学家们在编程工作中面临的考验，编程者可以像搭积木一样搭建自己的程序界面，而程序本身的内容也是靠一个个图标与连线构成，方便记忆。这使得编程者无需记忆复杂的语法知识和函数原型，也无需花费一般文字编程那样冗长的学习时间。对于非软件类行业的研究人员，无论是快速搭建小型自动化测试测量系统，还是开发大型的分布式数据采集控制系统，LabVIEW 都是完全能够胜任的。目前，已在诸多相关科研论文与测试系统应用实例中得到了广泛的关注。

本文概述了一套基于 LabVIEW 平台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、不均匀背景光噪声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数读取误差等因素，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，准确高效的提取出样品空间分辨的光致发光特性如峰位、光强等。最后初步分析了文章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，为分析生长腔内温度的均匀性提供了可靠的研究数据。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，极大的降低了成本，方便研究人员进行快捷准确的测试。

关键词： LabVIEW；均匀性；光致发光

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

For the semiconductor material, the PL (photoluminescence) is a powerful but non-destructive technology, which has been widely used in the semiconductor industry and research areas, especially important for the research in the optical properties of the third generation semiconductor material. By analyzing the photoluminescence spectra, we can get the band gap of semiconductor materials, estimate the composition of the compound semiconductor materials, and learn the inner layer of the heterostructure which is very difficult to get through general physical or electrical measurements. According to different testing requirements, PL has evolved into a variety of means, such as emission spectra, excitation spectra and transient spectroscopy. But the general PL spectrum measurement which we usually use, reflect only the single point material properties in the entire semiconductor epitaxial film. Although we can get a basic message such as peak position, FWHM, and further the peak position of the band edge, internal quantum efficiency. However, due to the difference in the environment of the reaction chamber in the growth process of the light-emitting diode industrial production, there will be some differences in the crystal quality of the epitaxial wafers in different locations. Today in order to improve the industrial growth process, we need a more efficient macro-determine of epitaxial wafers quality, and further explore the reasons. The photoluminescence scanning technology (PL-Mapping) will play an important role in this regard.

LabVIEW, as a graphical programming language, in which programming can be like building blocks and the content of the program itself also depend on easily rememberable icons and lines. It greatly reduces the test faced by engineers and scientists in programming. Programmers neither need to remember complex grammar and function prototypes, nor spend lengthy learning time as normal text programming. Non-software industry researchers could quickly build a small automated measurement and test systems, or develop a large-scale distributed data acquisition and control system, which LabVIEW is fully capable of that. At present, many

research papers and test system application examples have been widespread concerned.

This article provides an overview of LabVIEW-based semiconductor structures photoluminescence scanning system using LabVIEW. 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 a interface, hence the optical property of sample on spatial discrimination is obtained effectively and efficiently. Finally Luminance Uniformity of epitaxial wafer in this paper is preliminary analysed. 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.

Keyword: LabVIEW, uniformity, photoluminescence.

目录

第一章 绪论	1
1.1 LabVIEW 简介	1
1.2 光电材料检测技术及 LabVIEW 应用	3
1.3 光致发光在光电材料测试中的应用	4
1.3.1 GaN 基半导体材料概况	4
1.3.2 光致发光原理与应用	6
1.4 论文框架	8
参考文献	10
第二章 材料生长、表征方法与编程基础	13
2.1 金属有机物气相外延设备	13
2.1.1 生长原理简介	13
2.1.2 系统设备构成	14
2.1.3 加热腔体	16
2.2 光致发光测试系统与样品	18
2.3 LabVIEW 控制基础	19
2.3.1 仪器控制	19
2.3.2 总线接口技术	20
2.4 本章小结	22
参考文献	24
第三章 光致发光扫描系统硬件架构	25
3.1 仪器介绍	25
3.2 光纤光谱仪控制的实现	26
3.2 平移台控制的实现	30
3.3 测量系统硬件架构	32
3.4 本章小结	33
参考文献	34

第四章 系统软件设计方案及结果分析.....	35
4.1 软件总体架构	35
4.2 数据的噪音处理部分	38
4.3 光谱波峰值与强度提取	39
4.4 实时 Mapping 显示.....	41
4.5 数据存储与显示	42
4.6 扫描结果分析	44
4.7 本章小结	45
参考文献	47
第五章 总结与展望	48
附录 硕士期间发表和完成的论文	49
致谢.....	50

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 LabVIEW	1
1.2 Photoelectric materials testing technolog and labVIEW	3
1.3 Photoluminescence in photoelectric material testing	4
1.3.1 GaN-based semiconductor material.....	4
1.3.2 Photoluminescence principles and applications	6
1.4 The framework of the thesis	8
References	10
Chapter 2 Material growth and programming basics	13
2.1 Mowpe equipment	13
2.1.1 The principle of growth.....	13
2.1.2 The system equipment.....	14
2.1.3 Heating chamber	16
2.2 The test system and smaple of photoluminescence	18
2.3 LabVIEW control basics	19
2.3.1 Instrument control.....	19
2.3.2 Bus and interface	20
2.4 Conclustions	22
References	24
Chapter 3 The hardware architecture of PL mapping system	25
3.1 Instrument description	25
3.2 The realizaion of fiber optic spectrometer controlled	26
3.2 The realizaion of translation stage controlled	30
3.3 The hardware architecture	32
3.4 Conclustions	33
References	34

Chapter 4 Software design and result analysis	35
4.1 Software architecture	35
4.2 Noise data processing	38
4.3 The extraction of spectral wave peak and intensity	39
4.4 Real-time mapping	41
4.5 Data storage and display	42
4.6 Analysis of scanning results	44
4.7 Conclutions	45
References	47
Chapter 5 Summary and prospect	48
Appendix	49
Acknowledgements	50

厦门大学博硕士学位论文摘要

第一章 绪论

1.1 LabVIEW简介

现如今各个领域的科学研究或技术测量,以及更为先进的工业自动化过程控制很大程度上依托于仪器的发展。传统的硬件化仪器历经模拟式测量仪器和数字式测量仪器两代的发展,更是种类繁多,功能各异。尤其是在数字式仪器中引入微处理器,使其具有数据存储、数据处理、图形显示、仪器自检等功能,从而部分取代人脑的工作,即产生通常所说的智能仪器后,仪器的革新速度更快,功能集成能力也越来越强,智能仪器已经成为现代仪器仪表的主流。但智能仪器的功能模块主要还是硬件以及固化在硬件中的软件,以使功能增强,准确度提升,运行速度加快,仍然未能改变传统仪器那种独立使用、手动操作、任务单一的测量模式,这显然满足不了人们对仪器测量功能越来越个性化、系统化的要求^[1]。

随着电子技术的飞速发展,在以计算机为平台的测控仪器中,软件的可编程性以及总线的数据传输能力使得软件和总线的作用日益突出,用软件逐步并部分地取代硬件已成为一种趋势。特别是近年来出现的数字信号处理器(DSP),它与微机软件相结合产生强大的计算和控制能力,使其取代了许多原来由硬件完成的功能,并能完成许多硬件不能胜任的工作。这标志着“软件即仪器”时代的到来,这种全新模式的软件化仪器被称为虚拟仪器^[2]。

经过数十年的发展,市场上出现的虚拟仪器开发系统有很多,如 Agilent VEE、DASYLab、CECTestPoint 等^[3]。这些软件虽各有特色,但都未能成为主流系统。LabVIEW (laboratory virtual instrument engineering workbench),作为美国国家仪器公司的代表性产品,也是目前应用最广、市场占有率最高的图形化编程软件,承担着越来越多的虚拟仪器任务。它与其他计算机语言(如 C、BASIC 等)有着显著区别:其他语言都是采用基于文本的语言产生代码,而 LabVIEW 使用的是图形化编辑语言 G 语言编写程序,产生的程序是框图的形式,搭建系统方便,简明易懂;同时像其他高级语言(如 VC、VB 等)一样,LabVIEW 也是一种带有扩展库函数的通用程序开发系统,其主要包括数据采集、GPIB

(General Purpose Interface Bus, 通用接口总线)和串口仪器控制数据分析、显示与存储等;更为难能可贵的是,LabVIEW 开发系统不但能够完成一般的数学运算、逻辑运算和输入输出功能,还带有专门用于数据采集和仪器控制的库函数和开发工具,和与之对应的专业的数学分析程序包,基本上可以满足任何复杂工程计算和分析的要求。使用 LabVIEW 编程时,不需要编写复杂的程序代码,取而代之的是连线般轻松的流程图,这为非专业编程工程师和科研人员提供了一个便捷、轻松的设计环境,设计者可以轻松的组建自己的测量系统和仪器面板,而无需在程序编写上花费过多精力,从而能够使工程师或科学家们更能专注于本专业所需考虑的事情。总得来说 LabVIEW 有如下优势和特点^[4]。

1. 提供丰富的图形控件,并采用图形化的编程方法,规避了令人烦恼的语法规则,减轻编程者的负担。

2. 软件开发周期短,只需通过交互式图形面板进行系统控制和结果显示,省去硬件面板的制作。

3. 兼容性好,LabVIEW 提供了 650 多种仪器的驱动程序,几乎能与任何接口的硬件轻松连接。

4. 提供大量与外部软件或代码连接的库函数,如 DLL(动态链接库)、DDE(共享库)等,使编程不必都从底层做起。

5. 内置的编译器可加快程序执行速度,支持条件断点与自定义探针,自动错误处理,修改方便。

6. 最为显著的特点就是在对应一个或几个硬件的情况下,可以通过改变软件来增强硬件的功能。

LabVIEW 自诞生以来,在研发设计、实验室构建、生产测控等方向取得了广泛的应用,编译的软件遍布电子、机械、半导体、科研、教育等诸多行业和领域。尤其是在测试测控领域,LabVIEW 已经作为一种新的工业标准出现;在教学领域,它已成为国际国内各理工科专业的必修或选修课。目前虚拟仪器在发达国家中的设计、生产、应用已经相当普及。在国内也有不少公司、科研院所采用 LabVIEW 系统进行研究。如上海航虹高科技公司的爱迪克自动控制原理教学实验系统和北京精仪达盛科技有限公司的自动控制原理实验系统等^[5]。在研究领域方面,自 1986 年第一篇关于 LabVIEW 的报道刊登出来后^[6],1991 年, Wieslaw

等人就利用 LabVIEW 搭建了一套关于荧光衰减测量的数据采集系统^[7]。此后基于 LabVIEW 的应用研究系统在各个领域都有数量可观的论文出现^[8-11]。

基于 LabVIEW 的虚拟仪器技术将沿着高性能、多功能、集成化和网络化的方向发展。首先，为了满足不同领域、不同客户的需要，LabVIEW 的性能将不断增强，实时性也越来越好。其次，目前虚拟仪器的硬件和软件都制定了开发的工业标准，使得资源的可重复利用率提高，功能易于扩展，生产、维护、开发的费用降低，这些都有利于 LabVIEW 的应用范围扩大。最后，随着网络技术的发展，虚拟仪器技术必将朝着网络化方向发展。

1.2 光电材料检测技术及LabVIEW应用

1959 年，外延生长首先用来制备硅单晶薄膜，很快应用到化合物半导体中，并成为不可或缺的手段^[12]。相较于之前的拉单晶生长技术外延生长有如下优点：可在低于衬底熔点的温度下生长半导体单晶薄膜；可以生长薄层、异质外延层和低维结构材料；可生长组分或杂质分布陡变或渐变的外延层；可在衬底指定区域进行选择性地外延生长。外延技术的发展使得半导体器件从杂质工程走向能带工程，它的应用和发展对于提高半导体材料的质量和器件的性能有着非常重要的意义。目前该技术已经发展出很多种类的生长方法，如液相外延、分子束外延、金属有机化合物气相外延（MOVPE）等。其中 MOVPE 在 GaN 基材料生长方面的成就尤为突出。从第一支 p-n 结 GaN 蓝光发光二极管诞生，到实现了 InGaN 异质结 LED 的产业化，再到研制成功 InGaN 量子阱激光器，GaN 基材料市场化应用的每一步都与 MOVPE 生长技术的成熟密不可分。因此工业中生产 GaN 基 LED 外延片大多使用该方法。如今，MOVPE 技术不仅成为制备化合物半导体异质结、超晶格、量子阱等低维结构的主要手段，而且还是生产化合物半导体、光电子、微电子器件的重要方法。用 MOVPE 生产半导体激光器、发光管、太阳能电池等都已形成产业，并继续发展中，成为现代外延技术的重要组成部分^[13]。本文所涉及到的样品均采用 MOVPE 生长。

在一般 LED 工业流程中，经过复杂的外延片生长过程后，为保证生产质量，生长完毕后需要进行一系列的检测，这在商品化生长外延片的公司中尤为重要。

基本流程为：将随意抽取每张外延片的九点做简单的光电测试，比如测量开启电压、光致发光等。如果电压偏差过大，或者波长偏差过大说明该样品为非良品，需在早期分拣出来；然后对其它良品的外延片进行蒸镀 P 极或 N 极，接下来再用激光切割外延片，根据不同的电压、波长、亮度进行全自动化分检，也就是形成 LED 晶片；最后还要进行目测，把有一点缺陷或者电极有磨损的分检出来。而在科研使用中，对样品的电学光学测试手段更为精密复杂，仅在光学方面就有电致发光、光致发光、阴极荧光测量等技术，其他测量方法诸如原子力显微镜（AFM）、隧道扫描电镜、透射电镜、X 射线衍射等测试技术更是举不胜数。LabVIEW 做为搭建测试系统的能手早已涉足光电材料测试领域。不用讨论每年数以万计的仪器本身配套有基于 LabVIEW 的软件平台。在科研领域每年就有诸多研究人员采用其自主开发系统，测试技术方面，仅 AFM 就分别开发出远程控制 AFM^[14]、高速 AFM^[15]等多种测量功能；更为进一步在光学测试方面，Jan Bok^[16]等人也利用 LabVIEW 开发出一套测量阴极荧光测试系统；在材料研究方面，Patel 等人利用该软件搭建了一套在 273-373 K 温度下测量 LED 结温特性测量系统^[17]。而国内光电材料领域对 LabVIEW 的研究似乎更为热情，从 06 年开始，每年都会有上千篇关于 LabVIEW 研究的论文出版。在光电测试方面，有发光二极管的光电测试系统^[18]；光电二维自动检测系统^[19]；光谱分析系统^[20]；微弱光电信号采集分析系统^[21]等等。充分证明，选用 LabVIEW 作为开发系统搭建测试平台是一个较为科学合理的选择。

1.3 光致发光在光电材料测试中的应用

1.3.1 GaN基半导体材料概况

在半导体研究的过程中，根据社会发展的需要，分别经历了以 Si、Ge 为代表的第一代半导体和以 GaAs、InP 为代表的第二代半导体材料的发展。但它们分别因为间接带隙和窄带隙等固有性质的局限，无法适应高温、大功率、短波长的器件应用需求。于是 III 族氮化物半导体，凭借着宽广的直接带隙（从 InN 的 0.7 eV 连续变化至 AlN 的 6.2 eV）、优良的化学稳定性、高的热导系数、以及较高的电子饱和速率等独特的性质^[22,23]，日益成为世人瞩目的焦点，并与 ZnO、

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库