

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: 19820131152980

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

InN 与 InGaN 薄膜材料的光学特性研究

The research on optical properties of InN and InGaN films

叶 春 芽

指导教师姓名: 李书平 教授

专 业 名 称: 凝聚态物理

论文提交日期: 2016 年 4 月

论文答辩时间: 2016 年 月

学位授予日期: 2016 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2016 年 4 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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

随着人类社会进入信息化社会，信息量飞速增长。为适应生活的需求以及时代的要求，以半导体为代表的材料和器件迅速发展，遍及人类生活的各个领域。InN 与 InGaN 材料因其带隙随 In 组分  $x$  变化从 0.7 到 3.4 eV 连续可调，其对应的吸收光谱的波长从紫外部分 (365 nm) 可以一直延伸到近红外部分 (1770 nm)，几乎完整地覆盖了整个太阳光谱，这为设计新型太阳能电池、超高亮度发光二极管 (LED) 以及全彩显示提供了极大的可能，所以 InN 与 InGaN 材料近年来逐渐成为研究的热点。由于薄膜的光学常数 (如折射率、吸收系数、色散关系等) 是描述固体的独立光学常数，是确定和描述其他物理量的基础，并且高性能的光电子器件的设计与制造需要掌握材料的光学特性，其中薄膜材料的折射率在波导、探测器和光子器件等器件的实际应用中是必不可少的参量。因此，得到  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  材料的色散关系对  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  基器件的设计会起到至关重要的作用。但是目前高质量的 InN 与 InGaN 材料生长还面临许多困难，InN 与 InGaN 材料的特性相对于其他三族氮化物还知之甚少。在样品制备与实验测试之前，本文先利用第一性原理计算，对 InN 材料的色散关系进行了模拟，这为之后的椭圆模拟计算提供了基础。同时本文使用 MOCVD 设备在蓝宝石上生长了 GaN 厚层，并在此基础上用脉冲法在 GaN 外延层上分别生长了 InN 与 InGaN 薄膜。随后采用扫描电子显微镜、X 射线衍射仪、分光光度计以及椭圆偏振光谱仪对样品进行了结构、晶体质量与光学特性的研究。在分析椭圆偏振光谱信息时，采用椭圆偏振光谱仪配套的 Delta Psi2 软件进行拟合，通过不断更新初值，利用最小二乘法逐渐逼近材料的真实色散关系。相关椭圆拟合得到的样品薄膜厚度与扫描电子显微镜、及样品监控曲线估算的厚度结果一致，表明模拟结果是可靠的。最终得到 InN 与 InGaN 薄膜的带隙  $E_g$  及色散公式，得到了 InN 与 InGaN 材料在可见、近红外波段的色散关系曲线，相应研究成果对 InN 与 InGaN 薄膜的应用开发具有指导意义。

**关键字：** InN InGaN 色散关系

厦门大学博硕士学位论文摘要库



**Abstract**

With the society entered the the information-oriented society, the amount of information the rapid growth. In order to meet the daily needs and requirements of the times, as the representative of semiconductor materials and devices rapid development throughout all areas of human life. Because of the band gap of the InN and InGaN material changes with In component continuously, which can adjust from 0.7 to 3.4 eV, and the corresponding wavelength can extend from ultraviolet part of the absorption spectrum (365 nm) to the near-infrared part (1770 nm),that fully covered nearly the entire solar spectrum. This character provides a great deal of may to design new type of solar cell, high brightness light-emitting diode (LED) and full color display. So  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -based devices gradually become a hot topic in recent years. Because of the optical constants of thin film (such as refractive index, absorption coefficient and dispersion relation, etc.) is an independent optical constants to describe solid material, and is the basis to describe other physical quantities, and designing the high performance optoelectronic devices needs to master the optical properties of materials. Whereby, the refractive index of thin film materials is a necessary parameter applied in practical devices such as the waveguide, detector and photonic devices. So obtaining the dispersion relations of the  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  has played a crucial role in devices designing. As a kind of powerful weapon in researching the character of thin film, the spectroscopic ellipsometry is a convenient way of measuring and the characteristics the sample with no damage and high measuring precision. At present the quality of the InN and InGaN material growth still faces many difficulties, InN and the characteristics of InGaN material relative to other three hierarchies nitrides still poorly understood. Before sample preparation and test, this paper first use of first principles calculations, the dispersion relation of InN material is simulated, which provides the basis of the elliptic partial simulation. In this work, an undoped 3- $\mu\text{m}$ -thick GaN epilayer was grown on a one-side polished surface of sapphire substrate by metal organic vapor phase epitaxy. Then InN or InGaN film was grown on GaN template by MOCVD. The quality and optical properties of the InN and InGaN films was characterized by Scanning electron microscope, X-ray diffraction, spectrophotometer and spectroscopic ellipsometry. Fitting the measuring SE data by DeltaPsi2 software, The refractive index and the extinction coefficient of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  materials were acquired. The relevant research results has a guiding significance for the appliacation and development of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ -based devices.

**Keywords:** InN InGaN Dispersion ralations

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 目录

第一章 绪论.....	1
1.1 引言.....	1
1.2 InN 及 InGaN 材料的发展和应用.....	2
1.3 制约 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基器件发展的技术难题.....	5
1.4 论文框架.....	7
参考文献.....	8
第二章 实验设备与模拟方法介绍.....	10
2.1 生长及测试设备.....	10
2.2 Delta Psi2 软件.....	20
2.3 本章小结.....	21
参考文献.....	22
第三章 InN 材料第一性原理计算.....	23
3.1 第一性原理.....	23
3.2 第一性原理计算模型构建.....	24
3.3 第一性原理计算结果.....	25
3.4 本章小结.....	26
参考文献.....	27
第四章 对 InN 薄膜的材料特性研究.....	28
4.1 InN 样品制备.....	28
4.2 SEM、XRD、吸收光谱测试结果.....	29
4.3 椭偏光谱测试与拟合.....	30
4.4 本章小结.....	36
参考文献.....	37
第五章 对 InGaN 薄膜的材料特性研究.....	38
5.1 InGaN 样品制备.....	38
5.2 SEM、XRD、吸收光谱测试结果.....	39
5.3 椭偏光谱测试与拟合.....	42

5.4 本章小结.....	46
总结和展望.....	47
附录 硕士期间发表论文情况.....	48
致谢语.....	49

厦门大学博硕士论文摘要库

---

## Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
1.1 Foreword.....	1
1.2 The development and application of the InN and InGaN materials.....	2
1.3 The technical problems which restrict the development of the $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ based devices...5	
1.4 Thesis framework.....	7
References.....	8
<b>Chapter 2 Experimental equipment and the simulation method</b> .....	10
2.1 Growth and test equipment.....	10
2.2 Brief introduction of Delta Psi2 .....	20
2.3 Chapter conclusion.....	21
References.....	22
<b>Chapter 3 First principles calculation of InN material</b> .....	23
3.1 Brief introduction of first principles calculation.....	23
3.2 Model building.....	24
3.3 Results discussion.....	25
3.4 Chapter conclusion.....	26
References.....	27
<b>Chapter 4 The research on InN material</b> .....	28
4.1 Sample preparation.....	28
4.2 Test results of SEM,XRD,absorption spectrum .....	29
4.3 Testing and fitting results of spectroscopic ellipsometry .....	30
4.4 Chapter conclusion.....	36
References.....	37
<b>Chapter 5 The research on InGaN material</b> .....	38
5.1 Sample preparation.....	38
5.2 Test results of SEM,XRD,absorption spectrum.....	39
5.3 Testing and fitting results of spectroscopic ellipsometry.....	42
5.4 Chapter conclusion.....	46
<b>Conclusion</b> .....	47
<b>Publications and Awardings</b> .....	48

**Acknowledgements.....49**

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 第一章 绪论

### 1.1 引言

随着人类社会进入信息化社会,信息量飞速增长。为适应生活的需求以及时代的要求,以半导体为代表的材料和器件迅速发展,遍及人类生活的各个领域。为提高信息存储量、减小功耗、方便携带等要求,半导体材料和器件的结构尺度日益减小,已从微米向纳米尺度过渡。其中光电器件的发展尤为引人注目。光子由于响应时间快,加上电中性、传输时所受干扰小,作为信息载体具有十分显著的优势<sup>[1]</sup>。

目前主要的半导体光电材料有以 Si 基材料为代表第一代半导体;以 GaAs 和 InP 基材料为代表第二代半导体;以及以 GaN 基新型宽带隙材料为代表的第三代半导体。GaN 基半导体材料相关的光电器件广泛用于信息、照明、交通、能源、医疗、军事等领域<sup>[1]</sup>。目前 GaN 基蓝光 LED 已经实现商业化大规模生产,AlN 基紫外 LED 可用于各种消毒、短距离的通信、蓝光 DVD 和高清 DVD 的刻录以及水与空气净化等保健和环保领域。InN 是一种新型的三族氮化物材料,这种材料的引人注目之处在于它的优良的电子输运性能和窄的能带,有望应用于制造新型高频太拉赫兹通信的光电子器件、新型太阳能电池、超高亮度发光二极管(LED)以及全彩显示器件等<sup>[1]</sup>。目前常见的半导体器件大部分为薄膜结构,相对于体材料,薄膜材料的性质研究已经成为材料研究的重点。

随着薄膜技术的发展,薄膜在人们生活中的各个领域有着越来越多的应用。不论是半导体薄膜、光学薄膜、磁性薄膜、铁电薄膜还是超导薄膜等,都是各个领域不可缺少的重要组成部分<sup>[2]</sup>。在发光半导体器件领域,作为发光有源层,InN 及 InGaN 薄膜的制备与性质研究对其实际生产与应用具有重要的指导意义。在集成电路领域,二氧化硅薄钝化膜作为硅基片上的绝缘层和保护层其制备与性质研究是一个重要的课题。对于新兴的拓扑绝缘体材料,其超薄膜的光学性质作为其特性的重要组成部分,也值得人们深入研究。超薄铁膜是巨磁阻效应的必备材料,而巨磁阻效应又是自旋电子器件研究中重要的一部分,因此,超薄铁膜的光学性质便成了值得人们研究的课题<sup>[2]</sup>。并且由于纳米效应的存在,使薄膜具有不同于块体材料的独特性质,因此薄膜性质的研究也变得越来越重要。由于薄膜的光学常数(如折射率、吸收系数、色散关系等)是描述固体的独立光学常数,是确定和描述其它物理量的基础<sup>[3]</sup>,故作为薄膜性质的重要部分,光学性质的研究在薄膜研究领域是十分重要的。其中薄膜材料的折射率在波导、探测器和光子器件等器件的实际应用中是必不可少的参量。但由于纳米尺度薄膜其极小的厚度、纳米效应的存在以及色散关系复杂,使得对其厚度和光学性质的研究变得困难。在此背景之下,椭圆偏振测量术由于其极高的测量精度、便捷的测量方式和对样品无破坏的特点,自从

90年代中期其实现了自动化测量与测量数据的自动化分析以来,一直作为一种研究薄膜的有力武器,在薄膜光学性质的研究中有着广泛的应用并且收到了很好的效果<sup>[2]</sup>。

## 1.2 InN 及 InGaN 材料的发展和应用

20世纪90年代以来,由于蓝宝石衬底的使用、缓冲层技术的发展和P型掺杂技术的突破<sup>[4]</sup>,三族氮化物半导体材料的生长和器件应用研究成为近10年来的热点课题之一。目前,GaN和AlN的生长和应用已经取得长足的发展。但作为三族氮化物家族中重要的成员之一的InN的发展却相对缓慢。这是因为InN具有较低的解离温度(约600℃),要求低温生长,而作为氮源的NH<sub>3</sub>具有较高的分解温度(约1000℃),这是InN生长的一对天然矛盾<sup>[13]</sup>。其次缺少与InN晶格较为匹配的衬底材料,这就使得较难得到高质量的InN晶体薄膜。难以得到高质量的InN晶体导致InN晶体的特性表征较为落后,人们对InN晶体特性知之甚少。

### 1.2.1 InN 的结构特性<sup>[5-7]</sup>

氮化铟(InN)是一种新型的III-V族直接带隙窄禁带化合物半导体材料,III族氮化物半导体存在着三种晶体结构形态:纤锌矿(Wurtzite,空间群为 $P6_3mc$ ,  $C_{6v}^4$ ),闪锌矿(Zincblende,空间群为 $F\bar{4}3m$ ,  $T_d^2$ )和岩盐矿结构(Rock salt, NaCl),如图1.1所示。在常温常压下的稳定相是六方纤锌矿结构,亚稳态为闪锌矿结构,而岩盐矿结构可以由纤锌矿结构通经过高压相变得到,所以一般情况下不常见。

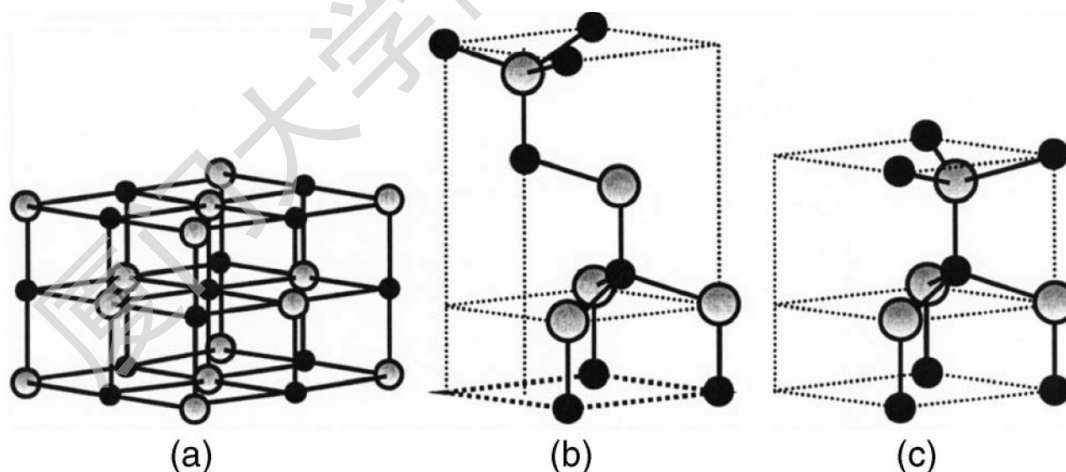


图 1.1 InN 基半导体的结构 (a) 立方岩盐矿结构; (b) 立方闪锌矿结构; (c) 六角纤锌矿结构。

纤锌矿结构是由两种类型原子各自组成的六方排列双原子层堆积组成,它只有两种类型的六方原子层,因此具有六角对称性。其原子结合性质除了具有共价性以外还有离子性,但



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.