

学校编码: 10384  
学号: 19820071152315

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_  
UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

高性能 AlN/GaN DBR 的制备与特性研究

Growth and Property of High-performance AlN / GaN DBR

吴超敏

指导教师姓名: 张保平教授

专 业 名 称: 凝聚态物理

论文提交日期: 2010 年 5 月

论文答辩时间: 2010 年 5 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2010 年 5 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。

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。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘要

由于与传统边发射激光器相比，垂直腔面发射激光器（VCSEL）具有发散角小、阈值电流低、功耗低、与光纤耦合效率高、自发辐射因子高、易于实现高密度二维面阵的集成和更高功率输出等诸多优点，故自1977年该概念被提出后，就迅速受到研究人员的关注，并取得一系列进展。1998年后，由于在高密度光学信息存储、激光医疗、通信、高功率光显示等领域广阔的应用前景，GaN系列的VCSEL研究成为主流。而高反射率氮化物分布布拉格反射镜（DBR）作为实现GaN基VCSEL的关键技术之一，得到了广泛的研究。目前，外延生长的高反射率DBR，如GaN/AlGaN DBR，已经在GaN基VCSEL中扮演了重要角色。由于与GaN/AlGaN DBR相比，AlN/GaN DBR结构具有较大的折射率差，所需的周期数相对较少等特点，目前已引起了格外的关注并有实验报道。然而，由于AlN和GaN在晶体结构和热膨胀系数上的差异，生长高反射率和高质量AlN/GaN DBR仍是一个尚待深入研究的课题。本论文主要以制备高性能AlN/GaN DBR为研究对象。在理论模拟的基础上，设计并制备了高反射率且表面平整的AlN/GaN DBR。具体研究内容和相应结果如下：

1、理论模拟了周期对数、DBR层层厚波动、GaN缓冲层厚度变化对AlN/GaN DBR结构反射特性的影响，为后续的AlN/GaN DBR结构的设计和生长提供理论上的参考和依据。

2、联合使用较薄的GaN缓冲层，低温AlN插入层和AlN层掺入In三种措施，利用金属有机物化学气相沉积（MOCVD）方法生长了AlN/GaN DBR，所制样品在蓝光波段达到99.4%的高反射率，且表面较为平整。

3、详细研究了GaN缓冲层厚度对AlN/GaN DBR性能的影响，为今后进一步生长高性能的DBR提供依据。

**关键词：**金属有机物化学气相沉积，分布布拉格反射镜，高反射率，氮化物

## Abstract

Compared with the traditional edge-emitting lasers, vertical cavity surface emitting laser (VCSEL) are expected to exhibit several advantages including a small divergence angle, low threshold current, low power consumption, high fiber coupling efficiency, high spontaneous emission factor, easy to realize high-density two-dimensional array integration, higher power output and so on. Therefore, since the concept has been proposed in 1977, researchers have paid much attention on it and have made a series of progress. After 1998, due to the promising potential for high-density optical data storage, laser medicine, communications, high-resolution laser displays and other fields, the research of GaN-based VCSEL have been put into the mainstream. And the highly reflective nitride distributed Bragg reflector (DBR), which as one of the key factors in realizing GaN-based VCSEL, has been extensively studied. At present, high-reflectivity DBR, such as GaN/AlGaN DBR, has played an important role in GaN-based VCSEL. Compared with the GaN/AlGaN DBR, the AlN/GaN DBR has a larger refractive index difference and requires relatively less pairs to achieve high reflectivity, has attracted extra attention and some experiments has been reported. However, due to the difference between AlN and GaN in the crystal structure and thermal expansion coefficient, the growth of high-performance AlN/GaN DBR is still need continue to study deeply. In this paper, we focus on the preparation of high-performance AlN/GaN DBR. In the base of theoretical simulation of the reflection spectrum, we design and prepare high-reflectivity and flat-surface AlN/GaN DBRs. The main research contents and corresponding results are as follows:

1. Based on geometrical optics theory, the influence of cycle number, DBR layer thickness fluctuations, GaN buffer layer thickness on AlN/GaN DBR reflectance characteristics are studied. The results provide a theoretical reference for the subsequent AlN/GaN DBR structure's design and growth.
2. AlN/GaN DBR structure are grown on GaN/sapphire templates by MOCVD. By controlling the thickness of GaN buffer layer, inserting LT-AlN layer and doping Indium during the growth of the  $\lambda/4$  AlN layers, the surface morphology of sample is improved. The peak reflectivity of DBR attains to 99.4% in blue regions.
3. Study in detail the impact of thickness of GaN buffer layer on properties of AlN/GaN DBR, providing the basis for further improvement of high-performance DBR.

Key words: MOCVD, DBRs, high-reflectivity, nitride

# 目录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 GaN 基 VCSEL 及 DBR 的发展现状.....	1
1.2 本论文的研究内容和结构安排.....	3
参考文献.....	5
<b>第二章 材料生长技术和材料表征方法</b> .....	8
2.1 材料的 MOCVD 外延生长.....	8
2.2 材料的表面表征 (SEM、TEM 和 AFM) .....	13
2.3 材料的结构和组分表征(XRD 和 XPS).....	17
2.4 材料的光学特性表征 (Spectrophotometer) .....	21
参考文献.....	23
<b>第三章 AlN/GaN DBR 的制备与分析</b> .....	24
3.1 DBR 反射特性与周期数、DBR 层厚偏差以及 GaN 缓冲层厚度偏差的关系.....	24
3.1.1 模拟模型和原理.....	24
3.1.2 反射谱的模拟.....	26
3.2 AlN/GaN DBR 的 MOCVD 外延生长.....	32
3.3 AlN/GaN DBR 的表面与结构表征.....	33
3.4 AlN/GaN DBR 的光学特性研究.....	38
3.5 不同 LT-AlN 层厚度的 AlN/GaN DBR 的生长和特性研究.....	41
3.6 本章小结.....	45
参考文献.....	46
<b>第四章 GaN 缓冲层厚度对 DBR 性质的影响</b> .....	49
4.1 不同 GaN 缓冲层厚度的 AlN/GaN DBR 的 MOCVD 外延生长.....	49
4.2 AlN/GaN DBR 表面、结构与光学特性表征.....	50
4.3 GaN 缓冲层厚度对 AlN/GaN DBR 结构和性能影响分析.....	54
4.4 本章小结.....	56
参考文献.....	57

第五章 结论与展望.....	58
硕士期间发表的论文目录.....	60
致谢.....	61

厦门大学博硕士论文摘要库

## Contents

<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Current development of GaN based VCSEL and DBR.....	1
1.2 Main work and structure frame of this thesis.....	3
References.....	5
<b>Chapter 2 Growth technique and characterization method.....</b>	<b>8</b>
2.1 The Growth technique of MOCVD .....	8
2.2 Surface characterization (SEM, TEM& AFM) .....	13
2.3 Structural and compositional characterization (XRD & XPS) ...	17
2.4 Optical characterization (Spectrophotometer) .....	21
References.....	23
<b>Chapter 3 Preparation and study of AlN/GaN DBR.....</b>	<b>24</b>
3.1 Dependence of reflection characteristics of AlInGaN/GaN DBR on period number, thickness deviation of DBR layers and thickness deviation of GaN buffer layer.....	24
3.1.1 Simulation model and theory.....	24
3.1.2 Simulation of reflective spectra.....	26
3.2 Preparation of AlN/GaN DBR.....	32
3.3 Surface and structural characterization of AlN/GaN DBR.....	33
3.4 Optical property of AlN/GaN DBR.....	38
3.5 Growth and Property of AlN/GaN DBR with different LT-AlN interlayer thickness.....	41
3.6 Summary.....	45
References.....	46
<b>Chapter 4 Impact of thickness of GaN buffer layer on properties of AlN/GaN DBR.....</b>	<b>49</b>
4.1 Growth of AlN/GaN DBR with different GaN buffer layer	

thickness.....	49
4.2 Surface, structural characterization and Optical property of AlN/GaN DBR.....	50
4.3 Impact of thickness of GaN buffer layer on structure and properties of AlN/GaN DBR.....	54
4.4 Summary.....	56
References.....	57
Chapter 5 Conclusions and prospects.....	58
Publications during master degree study.....	60
Acknowledgements.....	61

厦门大学博硕士学位论文摘要

## 第一章 绪论

### 1.1 GaN 基 VCSEL 及 DBR 的发展现状

所谓面发射激光器，是指从垂直于衬底面射出激光的半导体激光器。垂直腔面发射激光器（VCSEL）是其中最具有发展前途和实用价值的一种，其结构如图 1 所示。和传统的边发射激光器相比<sup>[1,2]</sup>，其光束沿着垂直于衬底的方向出射。

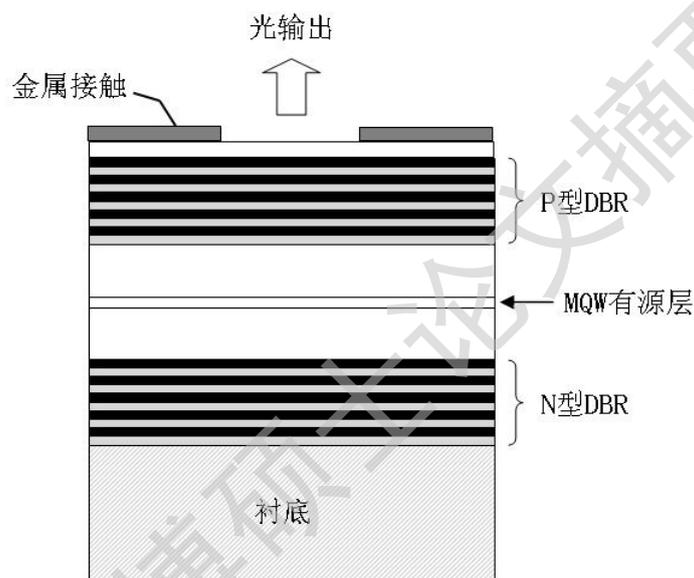


图 1 VCSEL 结构示意图

与边发射激光器相比，垂直腔面发射激光器在原理上有以下优点：

- (1) 由于有源层的体积可以很小，所以能得到很小的阈值电流，其值可达到  $1 \mu\text{A}$  左右。
- (2) 可以实现  $(I - I_{th}) / I_{th} > 100$  ( $I$  为工作电流， $I_{th}$  为阈值电流)。
- (3) 波长及阈值电流对温度变化不太敏感。
- (4) 动态单模性比较好。
- (5) 可期待得到较大的弛豫振荡频率，因此调制带宽较宽。
- (6) 可期待得到较长的器件寿命。
- (7) 电光转换效率可大于 50%。
- (8) 可从与衬底垂直方向发出细的圆形光束。

- (9) 容易与光纤结合。
- (10) 可大批量生产。
- (11) 可以一次性完成早期试验，这与制作工艺相配合可使器件的价格大幅度下降。
- (12) 焊接与封装较容易，模块与组件的价格比较便宜。
- (13) 可以做出密集排列的二维激光阵列。
- (14) 可以应用到层叠式光集成电路上。
- (15) LSI 结合起来使用时采用纵向的光耦合，可调性好。

1977年，日本东京工业大学的Iga等人首先提出面发射激光器概念，并着手研究，于次年3月发表了最初的研究结果。1979年他们使用液相外延技术（LPE）实现了InGaAs/InP材料的VCSEL在液氮温度77K下脉冲激射，阈值电流900mA<sup>[3]</sup>；1984年实现AlGaAs/GaAs 材料的VCSEL室温下的脉冲激射<sup>[4]</sup>。到了20世纪90年代，许多研究机构开始研究各种其他形状的面发射激光器，面发射激光器的研究已经扩展到了世界范围<sup>[5-24]</sup>。面发射激光器从被提出到现在已经有30多年了，迄今为止的研究开发，使面发射激光器的很多性能已经凌驾于其他半导体激光器之上。长波长方面的研究已趋于成熟，GaAs等系列的VCSELs已实现了商品化。1998年后，由于在高密度光学信息存储、激光医疗、激光显示、近距离大容量光纤通信网，水下目标探测和通信等民用和军用领域广阔的应用前景，GaN系列的VCSEL研究成了主流。虽然经过多年努力，GaN基VCSEL的研究已经取得一系列的进展<sup>[25-28]</sup>，但到2007年仍然停留在光泵激射阶段。电泵浦GaN基VCSEL由于受分布布喇格反射镜（DBR）的性能与电流注入效率两大因素的限制，制造存在很大困难，多年来一直没有重大突破。直到2008年初，我国台湾交通大学的等人才成功研制出世界上首台电注入蓝光GaN基VCSEL，在液氮温度77K下实现在463nm处连续激射<sup>[29]</sup>。随后，日本的日亚化学公司的氮化物研究小组报道了室温下连续激射的发光波长为414nm的电注入GaN基VCSEL<sup>[30]</sup>。这是我们目前所知仅有的两例电注入GaN基VCSEL激射的报道。显然，国际上GaN基VCSELs的器件设计和制作还有很大的研究空间。

VCSEL主要结构分为两部分：中心是有源区，有源区上下侧为两个DBR形成谐振腔。其中高反射率的DBR是降低面发射激光器的阈值电流及阈值电流密度的关

键要素之一，因此得到了广泛研究。目前，用于GaN基VCSEL的DBR主要有介质材料和氮化物材料两种。与介质膜DBR (MgO/SiO<sub>2</sub> 等) 相比，氮化物DBR最大的优点是可以在MOCVD或分子束外延 (MBE) 设备中原位外延生长，一次生长可完成从有源层到反射镜的制作，并可大幅简化制作工艺。不过相对而言，氮化物DBR的两种半导体材料之间的折射率差较小，要获得满足激射条件的高反射率氮化物DBR结构，需要较多的周期数 (25~60 周期)。目前，已研究过AlInN/GaN<sup>[31-34]</sup>，AlInN/AlGaIn<sup>[35]</sup>，AlN/GaN<sup>[36]</sup>，AlGaIn/GaN<sup>[37-41]</sup>，AlGaIn/AlN<sup>[42]</sup>和AlGaIn/AlGaIn<sup>[43]</sup>等多周期组合结构。一方面，由于当AlInN中In组分为 0.18 时<sup>[44]</sup>，可得到晶格匹配的AlInN/GaN DBR结构，其被寄予厚望可用于GaN基VCSEL中。然而，生长高质量的AlInN由于可能存在的相分离曾显得比较困难；且由于AlN和InN理想生长条件的差异引起AlInN实际生长条件选择的问题。2005 年以来，瑞士的Carlin等人对AlInN/GaN DBR的研究不断深入，获得了很好的结果<sup>[44]</sup>。

另一方面，AlN/GaN DBR由于具有折射率差较大，所需周期数相对较少等优势，引起很多的关注并已有相关的实验报道<sup>[45-49]</sup>。然而，由于AlN 和 GaN的a-轴晶格常数分别为 0.3112 nm和 0.3189 nm，热膨胀系数分别为  $4.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  和  $5.59 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，所以，它们之间存在有较大的晶格失配 (~2.4%) 和热膨胀系数 (~25%) 的差异。因此，当DBR的周期数增加时会产生许多的位错和裂纹，严重影响反射率和阻带宽度。由此可见，生长高反射率和质量AlN/GaN DBR仍然比较困难。然而，鉴于AlN/GaN DBR的应用前景，其生长特性的研究是十分重要的。

### 1.2 本论文的研究内容和结构安排

本论文着重研究两个内容：一是尝试高反射率的 AlN/GaN DBR，以期可将其应用于 VCSEL 的研究。二是研究 GaN 缓冲层厚度对 AlN/GaN DBR 结构和性质的影响，以期找到生长良好性能的 DBR 的较为简便的方法。具体内容安排如下：

第一章是绪论，主要是对论文研究背景，目的和内容的介绍。

第二章是介绍了金属有机物化学气相沉积 (MOCVD) 系统和原理，并对本文中应用到的测试手段做了简要的介绍。

第三章首先理论模拟了 AlN/GaN DBR 的反射谱，研究了 DBR 结构对反射谱的

影响。然后详细介绍了 AlN/GaN DBR 的 MOCVD 生长及其测试结果。

第四章主要研究 GaN 缓冲层厚度对 AlN/GaN DBR 结构和性质的影响。

第五章是结论和展望，简要给出了本文的主要研究结果，并且提出了研究中仍存在的问题。

厦门大学博硕士论文摘要库

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

厦门大学博硕士学位论文摘要库