文章编号: 1001-5078(2006)09-0868-03

高 Al组分 AlGaN及其光导器件

陈 亮,许金通,白 云,陈 俊,龚海梅
(传感技术国家重点实验室,中国科学院上海技术物理所,上海 200083)

摘 要:在蓝宝石(0001)衬底上采用金属有机化学气相淀积(MOCVD)方法生长了掺 Si的 n型 $Al_{0.45}Ga_{0.55}N$外延层,透射光谱表明材料对 280nm以前紫外光显著吸收;双晶摇摆曲线表明材料存在大量缺陷。用此材料制作了光电导探测器,结合材料讨论了持续光电导效应的产生机理。

关键词: AlGaN;紫外光;持续光电导性
中图分类号: TN36; TN23 **文献标识码**: A

AlGaN with High Al Fraction and Its Photoconductive Detector

CHEN Liang, XU Jin-tong, BAI Yun, CHEN Jun, GONG Hai-mei
(State key Laboratories of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: The Si doped n-$Al_{0.45}Ga_{0.55}N$ epilayers have been grown on sapphire (0001) substrate by metal organic chemical vapor deposition. The transmittance measurement indicates that the materials absorb ultraviolet radiation above 280nm notablely and the rocking curve of the AlGaN epitaxial material shows that there are abundant dislocations. Photoconductive detectors are fabricated on the material and the mechanism of photoconductor in AlGaN is discussed.

Key words: AlGaN; ultraviolet; PPC

1 引 言

作为第三代半导体材料的 GaN属直接带隙半导体,具有禁带宽度大、电子饱和速度高、介电常数小等优点。优越的物理化学稳定性,使其可以在苛刻的条件下工作,适合制备多种器件[1]。特别是其三元合金 AlGaN,随 Al组分的变化禁带宽度在 3.4~6.2eV之间连续变化,对应波长范围为 200~365nm,是制作紫外探测器的理想材料之一。AlGaN基紫外探测器能有效地探测、跟踪释放大量紫外线的目标,可用于空载、舰载、地面探测预警系统,还可用于空间紫外通信、臭氧层监测等领域。由于 GaN及其合金的优越性质及其在紫外探测器应用的广泛前景,使 AlGaN基宽禁带半导体紫外探测器成为研究热点之一[2-4]。

制备高质量的 GaN基体单晶材料和薄膜单晶材料是研究开发 III族氮化物基发光器件、电子器件以及保证器件性能和可靠性的前提条件。高质量的 GaN基片是很难得到的,只能采用结构近似的材料作衬底,选择衬底应尽量使用同一种的材料,高 Al组分 AlGaN的制备尤其困难。

根据基本工作方式的不同,可以将半导体光探测器分为光电导探测器(无结器件)和光生伏特探测器(结型器件)。光电导探测器内部的光电子增益较高,在同样的紫外光照射下,它比光生伏特探测器有大得多的响应电流,是一种有发展前途的探测器。研究 GaN的紫外光电导特性不但是研制紫外光电导探测器的基础,还可从中获得材料能带结

作者简介:陈亮,男,博士研究生,微电子与固体电子学专业,目前主要从事 AlGaN紫外探测器的研究。E-mail: chenliangqs@yahoo.com.cn
收稿日期: 2006-03-11

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

构的信息。目前 AlGaN光导器件高 Al组分还未见过报道,王峰祥研究过 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$光导器件[5]。

本文介绍了利用 MOCVD方法在蓝宝石(0001)衬底上生长 n型 $Al_{0.45}Ga_{0.55}N$外延层,通过双晶摇摆曲线和透射光谱对材料进行了测试,并以此为材料制作了 AlGaN紫外光电导探测器,测量了该探测器的 I-V特性和持续光电导(Persistent Photoconductivity-PPC),结合材料性能分析了探测器中存在的持续光电导效应的产生机理。

2 实 验

实验样品是基于 MOCVD方法生长在蓝宝石衬底(0001)上的 AlGaN薄膜,分别使用三甲基镓(TMGa)、三甲基铝(TMAl)和高纯氨气(NH_3)作为 Ga源、Al源和 N源,高纯 H_2作为载气。样品具体的制备过程是:首先在 550℃生长一个低温 AlN缓冲层(buffer),厚度约为 40nm,接着在 1150℃生长掺 Si的 n型 $Al_{0.45}Ga_{0.55}N$外延层,厚度约为 1μm,掺杂浓度为 $2.6\times10^{18}cm^{-3}$。探测器样品结构如图 1所示。

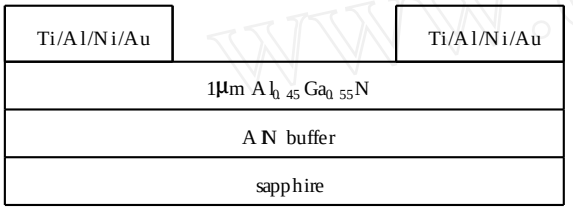

图 1 光导器件的结构图

Fig 1 structure of photoconductor device

器件工艺采用标准的 Ⅲ-Ⅴ族器件工艺流程,欧姆接触采用电子束蒸发 Ti/Al/Ni/Au,在 600℃快速退火 1min形成,用 Au加厚电极,采用刻蚀成型。器件显微镜照片如图 2所示。

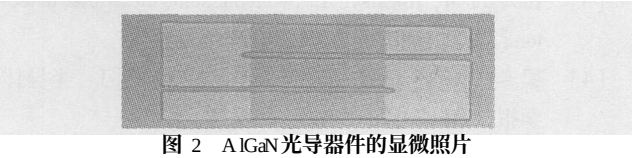

图 2 AlGaN光导器件的显微照片

Fig 2 micrograph of AlGaN photoconductor device

为了评价外延材料的质量和光学特性,采用 Philips公司生产的 X'pert-MRD高分辨 X衍射仪和紫外分光计测量了外延材料的双晶摇摆曲线与透射光谱,并用 Keithly 236测试仪测量了该紫外探测器的 I-V特性。持续光电导的测试流程如图 3所示。该测试系统使用的光源为 300W的氙灯,氙灯发出的光经过会聚均匀后通过 251nm滤光片,照射到光导器件光敏面。恒压 5V由 2400源表提供并同时测量器件电流,整个测试过程用基于 labview的程序来控制。

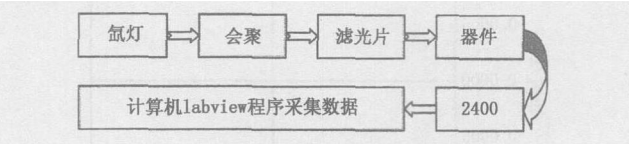

图 3 光电导的测试流程

Fig 3 flow chart of photoconductivity testing

3 结果和分析

图 4给出了 AlGaN外延材料的双晶摇摆曲线。该双晶摇摆曲线显示外延材料为单晶,单晶曲线并不平滑,毛刺多,并且单晶缝很宽,说明外延材料质量不高,这也印证了高 Al材料生长困难。经过 Gaussian拟合,得到 FWHM为 0.23585°。

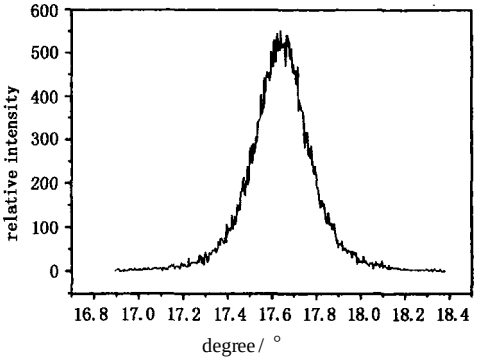

图 4 AlGaN材料外延层的双晶摇摆曲线

Fig 4 rocking curve of the AlGaN epitaxial material

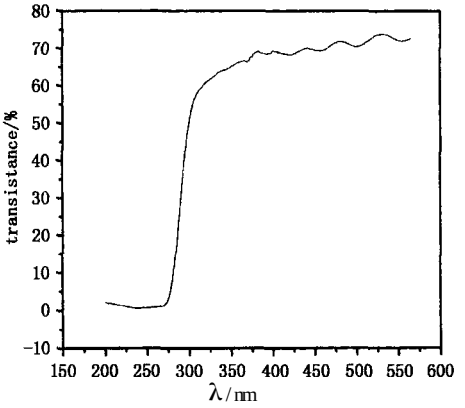

图 5 AlGaN外延材料的透射光谱

Fig 5 transmittance measurement of AlGaN epitaxial material

图 5为 AlGaN外延材料的紫外透射光谱,从图中可以看出,280nm是一个明显的分界线,280nm以前的紫外光几乎被全部吸收,280nm后的紫外光大部分透过。这表明:外延材料是 $Al_{0.45}Ga_{0.55}N$,该材料对 280nm以前的紫外光有很强的响应。

利用半导体参数分析仪测量了探测器样品的伏安特性,如图 6所示。伏安特性正反向均为线性,表明了制作的探测器电极具有良好的欧姆特性。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

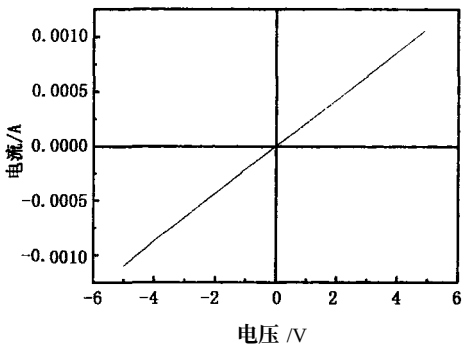

图 6 探测器的伏安特性

Fig 6 I-V curve of the ultraviolet detector

光电导是研究半导体材料中的深能级缺陷和能带结构的手段之一。PPC是用光诱导自由载流子浓度发生变化,当样品受光照射时,光电导增加,而停止光照时,光电导衰变要持续较长时间才能恢复到初始的暗电导值。AlGaN薄膜在光照下和撤去光照后,光电导表现出复杂的行为。图7为在室温下高Al组分AlGaN光电导的产生和衰变过程。为了保证实验结果的正确性,光照前样品在暗室存放足够长的时间。

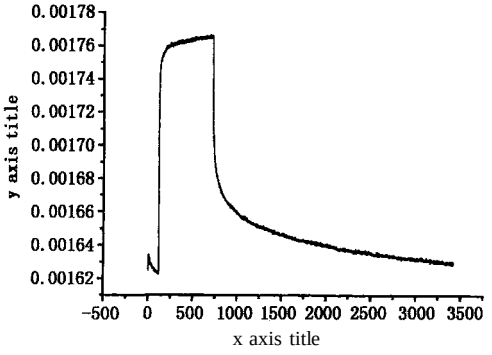

图 7 AlGaN薄膜光电导的产生和衰变过程

Fig 7 PPC spectra of AlGaN epilayer

当光从光学窗口照射样品时,光照引起的光生载流子增加,电导显著增加,然而,电导的变化(光照产生的光电导或附加电导)仅为平衡暗电导的1.5%～4%,并逐渐趋于饱和;撤去照射光源盖住光学窗口后,附加电导衰变持续较长时间,典型值约为10^{-4} s,光响应达2800A/W。

目前普遍认为,材料中的缺陷是导致GaN基紫外光电导探测器PPC效应的原因[6-8]。从材料的双晶摇摆曲线看,外延单晶材料本身存在相当多的缺陷,样品中因Si的并入导致AlGaN中的深能级缺陷增加。AlGaN基材料中存在均匀分布的点缺陷,如杂质和空位,在晶格不连续处也存在多种晶格缺陷,如位错和晶粒间界等。无光照平衡状态下,一部分缺陷会处于带电状态,如Ga空位;一部分缺陷会处于不带电的中性状态。紫外光照会使陷阱中的部分束缚电子被离化成为自由电子,降低了陷阱势垒高度,减小了空间电荷区宽度,从而增加了外延层的有效导电区,所以可以产生很高的电流增益。光照停止后,电子会重新被陷阱中心所俘获,由于势垒的阻挡作用,这个过程很慢,也正是PPC效应的起因。对于理想情况下无缺陷的AlGaN材料,紫外光照会离化晶格原子外层电子成为自由电子,同时产生等量的空穴,从而产生较大的光生电流,此种情况下并不会产生PPC效应。由于目前生长的AlGaN材料中存在很多的缺陷,陷阱中心能够俘获一种过剩载流子,正是其俘获过程对探测器的光电流衰变产生了重要影响,从而导致了PPC效应。

4 结 论

本文介绍了利用MOCVD方法在蓝宝石(0001)衬底上生长未掺杂$Al_{0.45}Ga_{0.55}N$外延层,双晶摇摆曲线表明材料为单晶,紫外透射光谱表明该外延材料对280nm以前的紫外光有很强的响应。以此为材料制作了具有显著紫外光响应的AlGaN光电导探测器,测量了探测器的I-V特性和持续光电导。还讨论了PPC效应产生的机理,认为材料中的缺陷是导致AlGaN紫外光电导探测器PPC效应的原因。

参考文献:

[1] Shur M S, Gaska R, Bykhovski A. GaN-based electronic device[J]. Solid State Electron., 1999, 43(8): 1451.

[2] Walker D, Saxler A, Kung P, et al. Visible blind GaN p-i-n photodiodes[J]. Appl Phys Lett, 1998, 72(25): 3303.

[3] Razeghi M, Rogalski A. Semiconductor ultraviolet detectors[J]. J. Appl Phys, 1996, 79(10): 7433.

[4] 梁春广,张冀. GaN-第三代半导体的曙光[J]. 半导体学报, 1999, 20(2): 89.

[5] 王峰祥,郝跃. AlGaN紫外光电导探测器的研究[J]. 现代电子技术. 2004, 173(6): 1-2.

[6] S Cai, G Parish, J M Dell. Contribution of hole trap to persistent photoconductivity in n-type GaN[J]. J. Appl Phys, 2004, 96: 1019.

[7] Michèle T Hirsch, J A Wolk, W Walukiewicz. Persistent photoconductivity in n-type GaN[J]. Appl Phys Lett, 1997, 71: 1098.

[8] A Castaldini, A Cavallini, L Polenta. Yellow and green bands in GaN by resolved spectral photoconductivity[J]. Appl Phys Lett, 2005, 87: 122105.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net