

文章编号: 1001-3806(2005)06-0652-02

## 激光处理 GaN 薄膜的研究

陶华锋, 杨忠孝\*, 宁永功, 屠晶景, 徐洪艳

(电子科技大学 微电子与固体电子学院, 成都 610054)

摘要: 通过激光损伤实验, 报道了 GaN 薄膜 10.6 μm CO<sub>2</sub> 激光的损伤阈值是 64 J/cm<sup>2</sup>; 为了改善 GaN 薄膜质量, 对其进行了 10.6 μm CO<sub>2</sub> 激光辐照处理, 结果表明, 处理后 GaN 薄膜的缺陷密度明显降低。并对机理进行了分析。

关键词: GaN 薄膜; 损伤阈值; 激光处理; 缺陷密度

中图分类号: O484 文献标识码: A

### The research of laser treatment of GaN thin film

TAO Hua-feng, YANG Zhong-xiao, NING Yong-gong, TU Jing-jing, XU Hong-yan

(School of Microelectronics and Solid-State Electronics, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054, China)

**Abstract** Through laser damage experiment, the damage threshold of GaN thin film at 10.6 μm is reported, i.e. 64 J/cm<sup>2</sup>. To improve the quality of GaN thin film, laser treating experiment is investigated by 10.6 μm CO<sub>2</sub> laser. The results show that the defect density is decreased great after treatment. Finally, treating mechanism is analyzed.

**Key words** GaN thin film; damage threshold; laser treatment; defect density

### 引 言

GaN 是一种新型的宽禁带半导体蓝色发光与激光材料<sup>[1]</sup>, 因具有高温化学稳定性好 (熔点约为 1700°C)<sup>[2]</sup>、热导系数大、击穿电压高等特点, 在短波光电子器件以及高温大功率微波器件方面有着广泛的应用前景<sup>[3-5]</sup>。目前制备 GaN 薄膜最常用的衬底材料是蓝宝石, 但同 GaN 存在较大的晶格失配和热失配, 易造成高缺陷密度, 难获得高质量 GaN 薄膜。

激光处理技术正在不断扩大其应用范围——激光表面相变硬化、包裹、溶化和合金化之类的表面处理工艺已用来改善材料的表面性能。但利用此技术来处理 GaN 薄膜, 国内相关的报道还比较少。作者首先进行 GaN 薄膜损伤阈值实验, 在此基础上对 GaN 薄膜进行激光辐照处理, 成功降低了缺陷密度, 改善了 GaN 薄膜质量。

### 1 实 验

实验装置示意图如图 1 所示, 实验采用波长 10.6 μm CO<sub>2</sub> 激光器, 光斑形状圆形, 光斑直径 0.440 cm, 通过控制板上的电流微调调节电流大小从

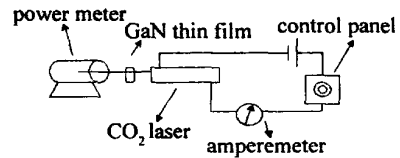


Fig 1 Schematic of experimental setup

而实现激光器输出功率的连续变化, 大小由激光功率计读出<sup>[6]</sup>。实验所用 GaN 薄膜样品是在蓝宝石衬底上, 采用常压 MOVPE 法生长<sup>[7]</sup>, 膜厚 1.2 μm。取上述 GaN 薄膜样品先后进行两轮激光辐照做损伤阈值实验。损伤阈值定义为一个确定的能量密度, 当作用于薄膜上的激光能量超过这一数值时, 薄膜将发生可以观测到的损伤——裂纹<sup>[8,9]</sup>。第 1 轮保持辐照功率不变只改变辐照时间, 第 2 轮保持辐照时间不变只改变辐照功率, 每轮辐照各进行 3 次; 对 GaN 薄膜激光辐照同时利用 500× 光学显微镜观察其形貌变化, 当观察到样品表面有裂纹出现时停止实验。另取样品进行 5 次激光辐照做激光处理实验, 实验数据见表 1, 并利用扫描电镜观察其形貌变化, 为保证每次处理前后、观测

Table 1 Experimental data of laser treatment

laser power/W	power density/(W·cm <sup>-2</sup> )	time/s	total energy/(J·cm <sup>-2</sup> )
0.25	0.09	120	10.62
0.79	0.28	90	25.16
0.79	0.28	120	33.55
1.41	0.50	60	29.94
2.17	0.77	60	46.07

作者简介: 陶华锋 (1979-), 男, 硕士研究生, 从事电子材料和光电子器件技术研究。

\* 通讯联系人。E-mail: yzx\_tx@163.com

收稿日期: 2004-08-20 收到修改稿日期: 2004-11-17

前后是样品的同一区域,用导电胶在样品上事先加以标识。

## 2 结果与讨论

### 2.1 GaN 薄膜激光损伤

由表 2 表 3 可得两种不同辐照条件下 GaN 薄膜承受的最大能量分别是  $67.09 \text{ J}/\text{cm}^2$  和  $61.36 \text{ J}/\text{cm}^2$ ; 其损伤形貌分别对应图 2b 和图 2a。取两种不同条件下最大能量的平均值做 GaN 薄膜的损伤阈值: 约  $64 \text{ J}/\text{cm}^2$ 。

Table 2 Damage threshold of GaN thin film with laser power fixed

laser power/W	power		time/s	total energy/( $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$ )
	density/( $\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ )			
0.79	0.28		60	16.77
0.79	0.28		120	33.55
0.79	0.28		240	67.09

Table 3 Damage threshold of GaN thin film with time fixed

laser power/W	power		time/s	total energy/( $\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$ )
	density/( $\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ )			
1.41	0.50		60	29.94
2.17	0.77		60	46.07
2.89	1.02		60	61.36

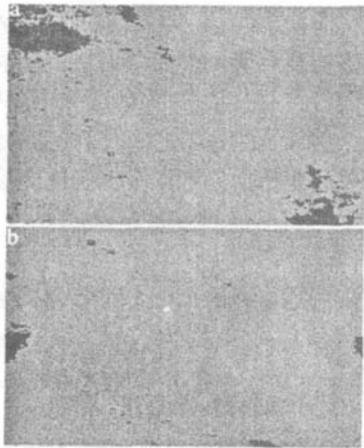


Fig 2 Damage morphology of GaN thin film

激光辐照 GaN 薄膜时,薄膜表面或一定深度内吸收光能而转化的热量以热传导形式向内部扩散,引起材料内部的非均匀温度场<sup>[10-12]</sup>。在激光加热引起的非均匀温度场和形变约束作用下,薄膜中产生热应力。应力很小时,它为薄膜的弹性所吸收;当应力超过薄膜的强度极限时,薄膜屈服而出现组织破坏,产生裂纹甚至断裂。另一方面薄膜材料总是依附于衬底材料存在的,而 GaN 薄膜与蓝宝石衬底存在较大的热失配,所以在激光辐照后的温度变化过程中,因两者热膨胀系数的差别将有不同的热收缩倾向。由于薄膜与衬底在界面处相互制约,因而薄膜与衬底不同的热收缩倾向将导致薄膜与衬底产生不同的应变,从而导致薄膜开裂破坏<sup>[13]</sup>。

### 2.2 GaN 薄膜激光处理

当以低于损伤阈值的激光能量进行辐照处理时,具体数据如表 1 所示。GaN 对  $10.6 \mu\text{m}$  的红外光几乎透明,所以蓝宝石衬底最先得到加热升温,随着激光辐照时间的延长和辐照功率的提高,衬底热量传递给 GaN 薄膜, GaN 薄膜吸收热量并逐渐增加,一方面使得薄膜中挥发性杂质(如空气、水汽、灰尘等)通过扩散经过薄膜表面释放出去,从而起到表面净化的作用。另一方面薄膜中存在非平衡缺陷,这些缺陷有自行消失的倾向。但是,要发生消失,需要外界给以活化能<sup>[14]</sup>。因此对 GaN 薄膜进行激光辐照时,非平衡缺陷大量消失。随着激光辐照的增强,薄膜就会处于较高的温度,因而原子振动能增大,移动能力加强,可使复杂的损伤缺陷分解为点缺陷或其它形式的简单缺陷,例如分解为空位、间隙原子等,这些结构简单的缺陷,在热处理温度下能以较高的迁移速度移动,当它们相互靠近时,就可能结合而使缺陷消失<sup>[15,16]</sup>。

同时薄膜自身存在大量的微观缺陷,这些微观缺陷具有比薄膜本征吸收大得多的吸收率,在薄膜和激光相互作用过程中,该微缺陷的吸收将占主导地位,在薄膜内部形成局部高温<sup>[17]</sup>,当激光束移开时,热传导可使薄膜自身快速退火,这一过程相当于对 GaN 薄膜进行了一次“激光加热退火”,消除自身的残余应力,使得薄膜结构缺陷得以修复,表面结构趋于完整,变得均匀细腻<sup>[18]</sup>。图 3 即经 5 次激光辐照处理后 GaN 薄膜缺陷与处理前对比,可看出处理后缺陷密度明显降低。总之利用激光处理 GaN 薄膜的物理机制不能单纯的归为一种,而是几种物理机制共同作用的结果。

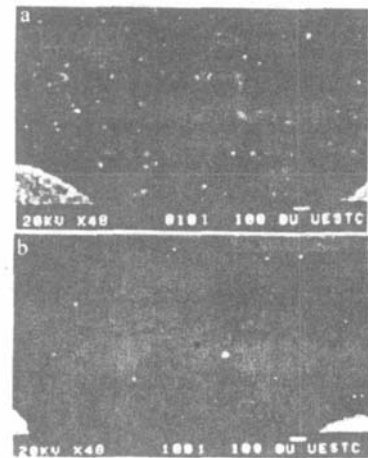


Fig 3 Defect density of GaN thin film with SEM  
a—before laser treatment b—after laser treatment

## 3 结论

- (1) 激光处理 GaN 薄膜方便、快捷,是有效的表面  
(下转第 656 页)

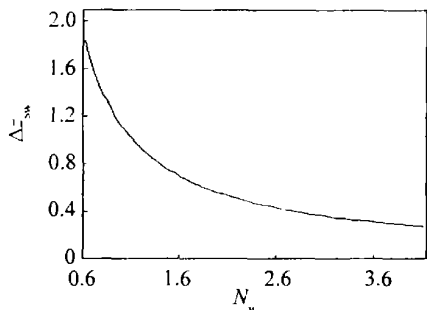


Fig 4  $\Delta z_{sw}$  versus  $N_w$ ,  $\beta = 2$

减小。图 5 为  $s/f = 1$  时, CsG 光束轴上光强最小值  $I_{min}$  与轴上光强最大值  $I_{max}$  之比  $I_{min}/I_{max}$  随着  $\beta$  的变化曲线。由图 5 可知, 当  $\beta \leq \beta_c = 1$  时,  $(I_{min}/I_{max}) = 1$ , 轴上光强分布无凹陷;  $\beta > \beta_c$  时,  $(I_{min}/I_{max}) < 1$ , 且随着  $\beta$  的增加, 轴上光强凹陷变深, 当  $\beta \geq 3.6$  时,  $(I_{min}/I_{max}) = 0$ ,

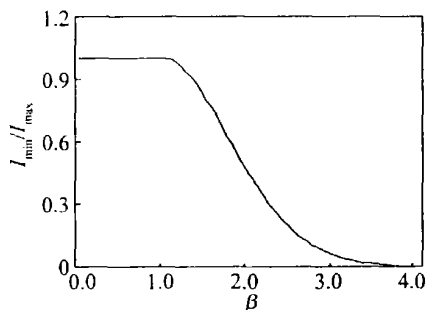


Fig 5  $I_{min}/I_{max}$  versus  $\beta$  at the turning point  $s/f = 1$ ,  $N_w = 2$

### 3 结论

研究表明, 在一定的条件下, 即光束参数  $\beta > 1$  时, 余弦高斯光束通过无光阑透镜系统后, 在转折点  $s/f = 1$  附近伴随着焦移反号会出现焦开关。随着  $\beta$  的增大, 相对跃迁量  $\Delta z_{sw}$  增大, 轴上光强凹陷变深,  $\beta > 3.6$  时,  $(I_{min}/I_{max}) = 0$  这时的焦开关比  $(I_{min}/I_{max}) \neq 0$  时更加明显。目前国内外都还没有关于焦开关实验的报道, 作者正在积极着手准备该实验。

### 参考文献

- [1] MARTNEZ M, CLEMENT V. Focal switch a new effect in low-Fresnel number systems [J]. Appl Opt 1996 35(1): 24~27.
- [2] LI Y J. Focal shift and focal switch in dual focus systems [J]. J O S A, 1997, A14(6): 1297~1304.
- [3] LÜ B D, PENG R W. Focal shift and focal switching in systems with the aperture and lens separated [J]. J Opt 2002, A4(6): 601~605.
- [4] CASPERSON L W, HALL D G, TOVAR A A. Sinusoidal Gaussian beams in complex optical systems [J]. J O S A, 1997, A14(12): 3341~3348.
- [5] TOVAR A A, CASPERSON L W. Production and propagation of Hermite sinusoidal Gaussian beams [J]. J O S A, 1998, A15(9): 2425~2432.
- [6] COLLINS S A. Lens system diffraction integral written terms of matrix optics [J]. J O S A, 1970 60(7): 1168~1177.

(上接第 653 页)

改性工具。(2)进行 GaN 薄膜损伤阈值分析, 能更有效地提高激光处理效果, 为制备高质量 GaN 薄膜提供最佳工艺参数。(3)激光处理后的 GaN 薄膜缺陷密度明显降低, 改善了薄膜质量。

### 参考文献

- [1] 许小亮, 施朝淑. GaN 中的缺陷与杂质 [J]. 物理学进展, 2001 21(1): 1~6.
- [2] 谢崇木. 光电子新材料 GaN 研究进展 [J]. 半导体情报, 1997 34(4): 1~2.
- [3] 杨利, 魏芹芹, 孙振翠. 氮化镓薄膜研究进展 [J]. 山东师范大学学报, 2003 18(4): 28~29.
- [4] 童杏林, 郑启光, 胡兵. 直流放电辅助脉冲激光沉积 Si 基 GaN 薄膜的结构特征 [J]. 半导体学报, 2004, 25(2): 1507~1508.
- [5] 薛松, 韩彦军, 罗毅. p 型 GaN 材料的表面物理性质 [J]. 半导体学报, 2003, 24(12): 1281~1283.
- [6] 夏小平, 王声波, 吴鸿兴. 激光技术及强激光与物质相互作用实验 [J]. 物理实验, 2003 23(2): 6~7.
- [7] 刘强, 林理彬, 甘荣兵. 光学膜层激光损伤阈值均匀性的实验研究 [J]. 强激光与粒子束, 2003, 15(11): 1061~1064.
- [8] 康俊勇, 黄启圣, 小川智哉. GaN 外延层中的缺陷研究 [J]. 物理学报, 1999 48(7): 1373.
- [9] 高志山, 陈进榜. 激光损伤光学表面的检测研究 [J]. 激光技术, 2000 24(3): 186~188.
- [10] 孙承伟, 陆启生, 范正修. 激光辐照效应 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002 201~276.
- [11] 唐伟忠. 薄膜材料制备原理、技术及应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998 105~143.
- [12] von 奥尔曼 M. 激光束与材料相互作用的物理原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1994 48~75.
- [13] 郭亚林, 梁国正, 丘哲明. 激光辐照下的材料破坏和防护研究进展 [J]. 材料保护, 2003 36(12): 8~10.
- [14] 曲喜新, 过壁君. 薄膜物理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1994 101~198.
- [15] 蒋成勇, 周国清, 徐军. 2 种不同激光对钛宝石辐照作用的研究 [J]. 硅酸盐学报, 2003, 31(11): 1054~1057.
- [16] 季凌飞, 蒋毅坚. 激光辐照改变功能材料物理性质 [J]. 激光杂志, 2002, 25(2): 1~3.
- [17] 李仲伢, 李成富, 程雷. KDP 晶体激光损伤的研究 [J]. 中国激光, 1996, 23(3): 279~282.
- [18] 李仲伢, 李成富, 龚辉. 激光处理对光学薄膜和激光玻璃损伤的影响 [J]. 光学学报, 1994, 14(3): 281~285.