

# GaN 基蓝光半导体激光器的发展\*

陈良惠<sup>†</sup> 叶晓军 种明

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

**摘要** 文章介绍了下一代光存储用半导体激光器——GaN 蓝光激光器的发展状况. 对衬底材料的发展现状、外延片的生长技术以及激光器的制作工艺都作了论述. 阐明了 GaN 激光器的一些技术路线, 如 GaN 同质生长衬底的发展, 侧向外延生长技术的采用以及湿法腐蚀腔面等. 另外还介绍了 GaN 半导体激光器数字多功能光盘(DVD)的实用化进程.

**关键词** GaN, 蓝光激光器, 侧向外延生长, 光存储, 数字多功能光盘(DVD)

## Gallium nitride based blue laser diodes

CHEN Liang-Hui<sup>†</sup> YE Xiao-Jun CHONG Ming

(Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract** The development of GaN blue laser diodes, to be used in the next generation of optical storage systems is described. The substrates, epitaxial technology and processes involved in the manufacture of laser diode are discussed, with emphasis on the homoepitaxial substrate, epitaxial lateral overgrowth and wet etching. The practical realization of GaN optical recording systems is also described.

**Key words** GaN, blue laser diode, ELOG, optical storage, DVD

### 1 引言

GaN 系半导体材料是继硅与砷化镓之后的第三代半导体材料, GaN 基蓝、绿光发光二极管已技术成熟并投放市场, 在光显示上的应用已使颜色逼真的全色显示屏发出绚丽的光彩. 光存储与光通信是目前半导体激光器的最主要应用. 对光盘而言, 因为记录和再生的可能的容量与光源波长的 2 次方成反比, 因而要实现光存储的高密度化, 激光光源的短波化是很必要的. 为此, 更宽禁带的各种半导体材料的研究以及用这些材料进行更短波长半导体激光器的开发都取得很大的进展.

在光盘(compact disc, CD)中用了 GaAlAs 系红外光半导体激光器, 在数字多功能光盘(digital versatile disc, DVD)中用了 InGaAlP 系红光半导体激光器, 而下一代更高精度的 DVD 则采用更短波长的蓝光半导体激光器.

### 2 光存储用激光光源的发展

早期的光盘光源用的是氦氖气体激光器, 由于其体积大、工作电压高和能量转换效率低等缺点, 很快被具有全面优异特性的半导体激光器所取代.

1970 年, 前苏联的 Alferov 和美国的 Hayashi 等人成功地实现了 AlGaAs/GaAs 双异质结激光器的室温连续激射, 从此开辟了半导体激光器实用化的新时期. 其后, 为了提高器件性能, 发展了条型半导体激光器, 使注入电流受到限制而条型区形成增益区, 即激射模式稳定的增益波导结构. 但这种增益波导结构在结平行方向不具有光限制所需的折射率分布. 其后几年, 人们通过努力, 开发出在 P-N 结平

\* 国家科技部“八六三”计划材料领域光电子主题基金(批准号: 2002AA31116Z)资助项目

2003-01-03 收到初稿, 2003-02-12 修回

<sup>†</sup> 通讯联系人. E-mail: chenlh@red.semi.ac.cn

行方向具有折射率分布的半导体激光器结构,即所谓折射率波导结构,该结构后来成为光盘用半导体激光器的主流,沿用至今。

20世纪80年代,光盘用半导体激光器走向实用化,并形成工业化生产.1982年,780nm波段的AlGaAs/GaAs异质结激光器作为光源的CD播放机上市.几年后,低于800nm波段的半导体激光器成为国际激光产业统计的专项,在数量上成为半导体激光器产业的主导产品,年销售量达到1000万支以上,而且发展迅速,很快达到1亿支,甚至在红光激光器崛起的1998年,销售量竟达2亿支以上。

20世纪80年代初期开发的CD用的是AlGaAs材料系的780nm半导体激光器,当时比这更短的激光器尚未实用化.直到1985年Kobayashi等人开始实现InGaAlP材料系的670nm红光激光器的室温连续激射.1992年,Hiroshima等实现了630nm红光半导体激光器的开发.20世纪90年代开发的DVD系统用的就是这种激光器.应该指出,作为DVD用的红光半导体激光器,除要求优越的常规激光器参数外,还要求高的光束斑质量和低的噪声水平,为笔记本电脑DVD-ROM与车载DVD播放机用的半导体激光器,则对温度特性提出越来越高的要求,为此人们也开展了大量卓有成效的工作。

此后短波长的激光器研究得到进一步的发展,特别是1996年日本日亚化工(Nichia)的中村(Nakamura)等人用GaN系材料成功地研制出400nm波段的蓝紫光半导体激光器,成为超高密度光存储的最佳光源<sup>[1]</sup>.1999年,日亚宣布实现了商品化的GaN蓝光激光器,寿命达到10,000h.索尼和Cree等公司也相继实现了商品化的产品。

### 3 短波长半导体激光器的实现途径

如前所述,在DVD中,单面单层光盘可实现4.7G字节这么大的信息记录量,用的光源是波长650nm的AlGaInP红光半导体激光器.人们考虑要使具有再生高画质图像成为可能,则实现目前DVD的存储容量3倍以上的15GB是必要的.在实现高密度化的对策中,要在现有的DVD中最大限度地利用信号处理技术,提高物镜的数值孔径NA值,其留下的存储密度提高的余地并不大.因此,光源短波化是实现高精度DVD的关键.另一方面,由于光盘系统所用的光学元部件及光盘片材料的光学透过率等方面的限制,波长也不能太短.两方面综合考虑,光

源的波长要求在400—430nm附近。

实现短波长光盘的相干光源的途径有:(1)半导体激光器,(2)掺稀土光纤的能量上转换(up-conversion),(3)用非线性晶体的二次谐波法产生(SHG).其中上转换方式与用于光纤放大器中的掺稀土 $\text{Er}^{3+}$ 和 $\text{Pr}^{3+}$ 光纤进行波长转换一样,可是,如采用光纤,则小型化受到限制.另外,至今还未实现450nm以下的蓝光波段的室温上转换.二次谐波法,已被确定为可得到大功率输出的蓝光波段光源基本的技术路线之一.但是在非线性晶体之外,光源要求基波并且是大功率输出,因为相位匹配等的位置容差小,器件的结构就必然不会很简单.而就半导体激光器而言,首先要在开发相应波段的半导体材料的前提下,进一步实现小型化、低功耗、高可靠性和低价化是大有希望的.特别是低价化是民用产品的一项最重要参数.因此,与上转换和SHG这两种技术路线相比,作为高精度DVD所需的400—430nm波长的光源,GaN系半导体激光器是最有希望的。

## 4 GaN系半导体材料的生长

### 4.1 衬底选择

作为实现半导体激光器的前提条件,材料生长学以及相关技术的研究与开发极其重要.在目前的技术水平下,获得一定尺寸和厚度的实用化的GaN体单晶十分困难,并且价格昂贵.因此,寻找和选择最适合的GaN的衬底材料一直是国际研究的热点之一.如果没有合适的晶格匹配的衬底,就难于得到高质量的外延生长.为此,人们对各种各样衬底及在其上进行晶体生长的技术做了系统的研究和开发.至今为止,适于晶体生长的衬底主要有蓝宝石Sapphire( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),6H-SiC和GaN,此外还有Si,GaAs,GaP,InP,ZnO,MgO, $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , $\text{LiGaO}_2$ , $\text{NdGaO}_2$ , $\text{NdGaO}_3$ 等均可被考虑.表1给出了可用于GaN外延生长的衬底材料及其主要参数.已报道得到激射激光器的衬底材料有蓝宝石,SiC, $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ 和GaN衬底.另外,采用剥离(lift-off)技术,将蓝宝石衬底上生长的外延片键合到其他衬底,如Cu,Si上,也成功地实现了室温连续激射。

用于生长GaN的衬底是最吸引人的衬底.目前采用的其他衬底材料均有不如人意之处,如蓝宝石衬底失配度高且不易解理,后者已经成为后工序的一大障碍;SiC衬底材料价格非常昂贵;以 $\text{LiGaO}_2$ , $\text{LiAlO}_2$ 等材料作衬底生长GaN的技术尚不成熟;此

外,这些衬底与 GaN 外延层之间存在显著的晶格失配和热失配,给生长带来了很大的困难,并严重影响外延层的光学性质和电学性质.而在 GaN 衬底上生长 GaN 及其合金,就能实现同质外延,不存在上述问题,较易获得高质量的外延层.

表1 用于 GaN 外延生长衬底材料的主要参数

衬底材料	晶格对称性	晶格常数 /Å	失配度 /%	热导系数 /(W/cm·K)	热膨胀系数/K
纤锌矿结构 GaN	六方	$a = 3.185$		1.3	$5.59 \times 10^{-6}$
		$c = 5.185$			$3.17 \times 10^{-6}$
纤锌矿结构 AlN	六方	$a = 3.112$	2.29	2.0	$4.20 \times 10^{-6}$
		$c = 4.982$			$5.30 \times 10^{-6}$
6H-SiC	六方	$a = 3.080$	3.4	4.9	$4.20 \times 10^{-6}$
		$c = 15.12$			$4.68 \times 10^{-6}$
蓝宝石	六方	$a = 4.758$	13.8	0.5	$7.50 \times 10^{-6}$
		$c = 12.99$			$8.50 \times 10^{-6}$
ZnO	六方	$a = 3.252$	-2.1		$2.90 \times 10^{-6}$
		$c = 5.213$			$4.75 \times 10^{-6}$
Si	立方	$a = 5.430$	15.6	1.5	$3.59 \times 10^{-6}$
GaAs	立方	$a = 5.653$		0.5	$6.00 \times 10^{-6}$
3C-SiC	立方	$a = 4.36$		4.9	
MgO	立方	$a = 4.216$			$10.5 \times 10^{-6}$
LiGaO <sub>2</sub>	斜方晶系	$a = 5.402$			$6 \times 10^{-6}$
		$b = 6.372$			$9 \times 10^{-6}$
		$c = 5.007$			$7 \times 10^{-6}$
MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	立方	$a = 8.083$	9.5		$7.45 \times 10^{-6}$
GaP	立方	$a = 5.451$			$4.65 \times 10^{-6}$

2000年2月,Sumitomo Electric Industries(SEI)最早宣布做出了2in(1in $\approx$ 2.5cm)GaN体材料.2002年2月,Kyama公司也做出了2in的GaN单晶衬底,衬底厚500 $\mu$ m,可用面积大于90%,腐蚀坑密度(etch pit density,EPD) $\sim 10^8$ cm<sup>-2</sup>.Kyama公司的衬底制造技术中采用了一种新型的沉积源,沉积速度比目前所有其他的沉积方法快10倍以上,目前该项技术正在申请专利.Kyama公司预计在2002年第三季度开始销售样片.2002年6月,SEI宣布做出了新一代的GaN衬底样品,采用DEEP(dislocation elimination by epitaxial growth)技术,使材料的位错密度降到 $10^4$ — $10^5$ cm<sup>-2</sup>之间.SEI已在这种衬底上成功地进行了实验,并且开始出售样片.目前国际上许多公司,如索尼和三菱等纷纷加入GaN衬底的研制行列,相信在不久的将来,可以看到价格低和质量高的GaN单晶衬底.

在Kyama和SEI两家公司的GaN衬底上制作的激光器的性能如何,并没有见到报道.但是已经有类似的制作在GaN衬底上的激光器的报道.波兰一个实验室报道了在高压N<sub>2</sub>、高温条件下,氮化物溶液长出的GaN单晶上生长的GaN激光器.衬底材料的位错密度小于 $10^3$ cm<sup>-2</sup>.整个器件没有看到由于晶格失配引入的缺陷.激光器腔面采用解理获得,工艺没有经过任何优化就获得了室温下的脉冲激射.

蓝宝石作为GaN系材料晶体生长衬底,已被广泛而有效地使用.不过它与GaN失配度达14%,在蓝宝石上生长的GaN结晶薄膜上有 $10^{10}$ cm<sup>-2</sup>量级的位错存在.而在以往被实用化的其他材料系的器件中,从未有过这么高的位错密度.但已有报道GaN系LED有很高的可靠性,其中关键的因素之一是GaN中位错的攀移速度比其他材料系要小.

在蓝宝石衬底上生长的GaN,通常难于形成解理端面,为了形成激光器的谐振腔,多采用干法刻蚀.不过人们从未放弃通过解理形成谐振腔的努力.

有报道采用蓝宝石A面(1120)、C面(0001)为衬底,用解理技术获得腔面也实现了激射.

SiC衬底和AlGaIn材料系的失配较小,例如6H-SiC与AlN的晶格失配为1%,对GaN的失配度为3.5%.此外,SiC衬底容易解理,本身是导电的,可以形成垂直电极结构,因此它被作为GaN系材料晶体生长的衬底进行了研究.

从解理的难易来考虑,MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>衬底也被考虑.因为,立方晶体的MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>衬底与六方晶体GaN的晶格失配度为9%,比蓝宝石失配度小.用这种衬底的光泵激射与电注入脉冲激射都有过报道.

从解理和导电角度考虑,GaAs衬底的立方晶体GaN生长也在进行之中.近年来,Si衬底上生长GaN的工作也受到极大的重视并取得进展.不过,目前试验工作还仅限于LED中,短期内不敢奢望用GaAs或Si作为衬底的激光器的突破.

#### 4.2 生长技术

生长整个器件的材料结构时,在考虑谐振腔的构造上,除通过平行端面形成F-P腔外,还可考虑垂直腔形成面发光型和分部反馈型等,目前也有了激射的报道.

在GaN系激光器中,有一个重要的技术,就是与780nm和650nm激光器相类似,采用了量子阱技术,通常用单量子阱和多量子阱.另外,在InGaIn/GaN系量子阱中,作为发光机构,存在束缚激子参与

的可能性。

另外,为实现半导体激光器的受激发射,在有源区之外,有必要采用带隙更宽的半导体材料,制备出限制层(cladding layer)用于限制来自有源区的光与载流子。例如,在日亚化学公司1998年研制出的大功率长寿命InGaN MQW结构LD中就采用了调制掺杂应变层超晶格(MD-SLS)技术制备限制层<sup>[2]</sup>。

此外,日亚公司的中村在材料生长上通过关键技术的突破取得重大进展。中村作出的重大贡献还有:

(1) 双流生长技术(two flows):与常规的包括Ga源、作为N源的 $\text{NH}_3$ 、掺杂剂以及携带气体在内的全部气流都从顶端平流而下的状态不同,双流生长的特点在于其气流分为两路,主气流包括 $\text{H}_2 + \text{NH}_3 + \text{TMGa}$ ,而支气流包括 $\text{H}_2 + \text{N}_2$ ,如图1所示。

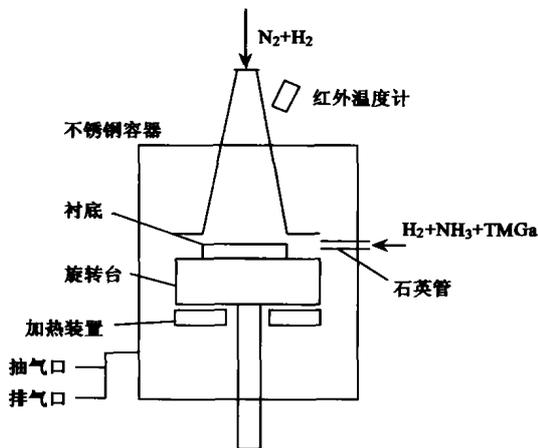


图1 双流反应室示意图

(2) 外延侧向过生长(ELOG):这是在蓝宝石衬底上生长低位错外延层而导致蓝光LD取得重大突破的关键技术。其技术要点是在蓝宝石衬底上形成局部 $\text{SiO}_2$ 薄膜,通过MOCVD外延生长,在无掩膜的垂直生长区,位错密度为 $10^8-10^9 \text{cm}^{-2}$ ,而在掩膜上的横向生长区却是低位错的,一般认为,ELOG的平均位错密度为 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 。图2给了外延侧向过生长GaN层的示意图。

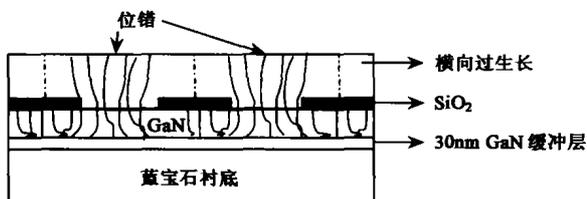


图2 侧向过生长GaN层的示意图

## 5 GaN基半导体激光器的制备

对蓝宝石衬底的GaN系发光器件而言,与目前GaAs或InP基的红外和红光发光器件相比,其不同之处不仅在于后者的位错密度低,还在于前者的衬底不仅是不导电的绝缘材料,而且还与生长层晶格不相匹配,难于通过解理形成类镜面的谐振腔。早期曾采用磨、抛的方法使其形成镜面;近期多采用干法刻蚀,但也有人尝试采用湿法刻蚀技术获得腔面。

湿法刻蚀对腔面的损伤小,成本低,一直是人们追求的方法。目前最有效的湿法腐蚀方法是光化学辅助湿法腐蚀(PEC)。1999年,Stocker报道了二步湿法刻蚀获得GaN激光器表面的方法,先用PEC方法刻蚀,然后用湿法结晶刻蚀。这种方法可以获得GaN {1010}的光滑表面,表面粗糙度小于5nm。2002年,德国不莱梅大学的研究小组报道的二步法刻蚀是先采用RIE刻蚀图形,然后用湿法结晶刻蚀获得光滑的腔面,见图3。

另外,如前所述,采用C面的蓝宝石为衬底,由解理形成谐振腔的InGaN多量子阱激光器也实现了激射。随着GaN衬底的采用,解理技术将被更普遍地用于腔面的形成。

蓝光半导体激光器由于其广泛的应用前景和巨大的市场潜力,成为世界光电子领域的研究热点,正处于迅速发展的上升期。尽管早期报道的GaN蓝光激光器的阈值电流密度和工作电压都较高,但目前已取得重大进展,许多公司已经做出了商品化的产品。图4和图5给出了日亚早期蓝光激光器的电流-功率关系,电流-电压关系以及光输出的远场图。在实用化方面,必须实现低阈值和高可靠性,在光存储应用中,改善束斑质量和控制噪音特性都是重要的课题。

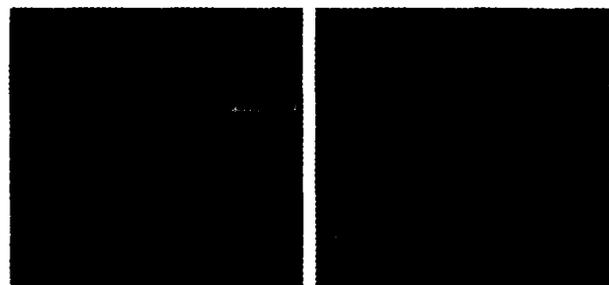


图3 不同方法刻蚀的GaN端面形貌  
(a) RIE刻蚀的端面; (b) 湿法腐蚀后的端面

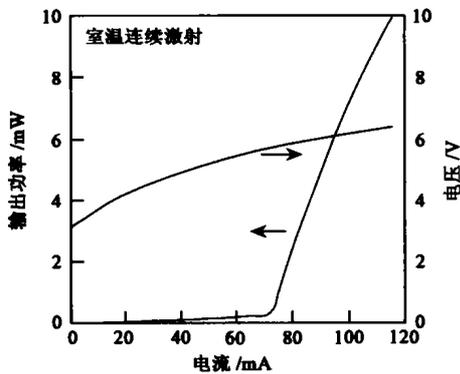


图4 InGaN MQW LDs 在室温下连续工作的典型 L-I 和 V-I 特性

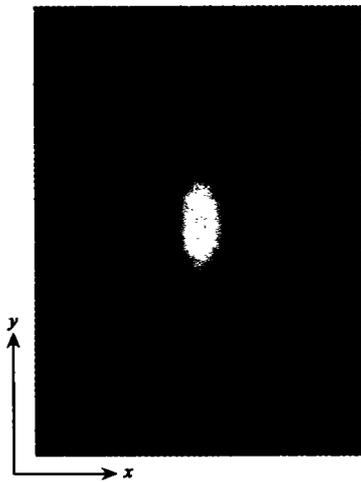


图5 室温连续工作下,输出 5mw 的 InGaN MQW LDs (GaN 衬底)的远场图

## 6 GaN 基半导体激光器的发展

在 1997 年日本德岛举行的 GaN 国际会议上,日亚宣布室温连续激射的 GaN 蓝光激光器工作寿命已突破 10,000h. 此后,世界各大公司和实力雄厚的大学与研究单位都投入研究,相继取得重大突破,实现了电注入的受激发射. 表 2 给出了世界上研制出蓝光激光器的公司和研究单位(统计截止日期为 2002 年 6 月).

### 6.1 日亚公司的蓝光激光器的发展

2001 年以前, GaN 基蓝光激光器的发展史,可以说就是日亚公司的 Nakamura 的个人成就史. 1996 年初, Nakamura 率先研制成功电脉冲激射 InGaN/GaN 多量子阱激光器. 1996 年年底, Nakamura 等人报道了 InGaN 多量子阱的室温连续激射激光器,寿命达到 30h. 1997 年底,他们采用 SiO<sub>2</sub> 掩埋和侧向

表 2 研制成功 GaN 基蓝光激光器的单位

公 司		大学/研究单位	
日 本	韩 国	欧 洲	美 国
日亚 安捷伦 富士 三菱 NEC 松下 索尼 东芝 Toyoda Gosei 三洋 先锋 夏普	三星 LG	不莱梅大学	UC Santa Barbara
	美国	亚洲	布朗大学
	Cree Nitres 施乐	台湾工研院 Meijo University	North Carolina State University
	欧洲		西北大学
	Osram opto semiconductors		Oklahoma State University

外延过生长技术制作 InGaN/GaN 激光器,其室温下预期工作寿命达到 10,000 h. 1999 年 2 月,日亚公司获得了实用化的样品. 10 月, Nakamura 在日本宣布, GaN 激光器实现商品化,其特性为:输出功率为 5 mW,发射波长 400 nm,工作电流 40 mA,工作电压 5V,寿命在室温下已达到 10,000h,成为 GaN 发展的一个里程碑.

2001 年,日亚公司在蓝宝石衬底上采用 ELOG 技术生长 15 $\mu$ m 的 GaN 后,采用 HVPE 技术生长了 200 $\mu$ m 的 GaN,然后把衬底和一部分 GaN 外延片除去,获得 150 $\mu$ m 左右的 GaN 的衬底. 在这个衬底上采用 ELOG 技术,制作出的激光器在大功率 30mW 的输出下,寿命达到 15,000h,激光器的特性见图 6. 在 GaN 的衬底上采用 ELOG 技术获得的激光器的输出功率最大可达 150mW.

### 6.2 世界上其他机构的新进展

近几年,世界上日亚以外的许多其他单位,在蓝光激光器的研制方面也取得了很大的进展. 除了采用 ELOG 技术获得室温激射激光器外,许多公司还将一些独特的技术应用到 GaN 激光器的研究中.

索尼公司在 2001 年宣布,获得了 60 $^{\circ}$ C 下,输出功率为 30mW,寿命为 15,000h 的 InGaN 多量子阱激光器. 最近他们又研制出一种降低 p 型材料侧光吸收的新结构,在 AlGaIn 电流阻挡层和 InGaIn 多量子阱层之间加入一层不掺杂的 AlGaIn 层,大大降低了内损耗,提高了电光转换效率,使激光器的温度特性、噪声特性和远场特性都有很大的改善.

Cree 公司一直致力于在 6H-SiC 衬底上生长 GaN 激光器. 他们在 1997 年就已实现室温连续激射,但寿命极短,小于 1min. 但在 2002 年 2 月, Cree 公司宣布在 SiC 衬底上获得室温下工作寿命超过 10,000h 的激光器,其波长为 405nm,输出功率为

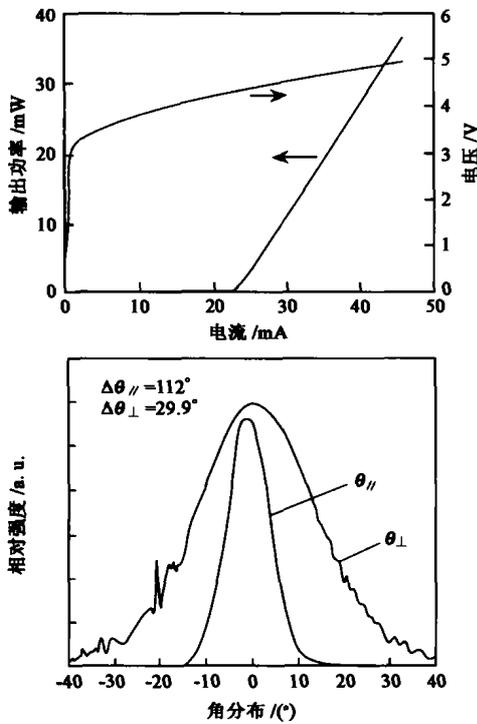


图6 室温连续激射的激光器(在 GaN 的衬底上采用 ELOG 技术)  
(a)  $L-I$  和  $V-I$  曲线; (b) 远场图

3mW.

NEC 公司推出了一种 RiS (ridge by selective re-growth, 选择再生长脊形) 结构的蓝光激光器, 利用这种技术可以精确控制激光器的脊形结构, 获得单模工作模式, 优化远场特性<sup>[3]</sup>.

Xerox 公司利用键合技术, 将蓝宝石衬底上的 GaN 外延片, 倒键合到其他衬底 (如 InP, Si 或 Cu 等) 上面, 然后将蓝宝石衬底用激光束加热的方法移去. 采用这种方法能够实现垂直电极的结构, 并且容易获得解理的腔面. Xerox 公司用这种方法, 成功地实现了键合到 Cu 衬底上的激光器的高温连续激射.

此外, 夏普公司采用离子注入手段也获得室温连续激射的激光器. 而 UCSB 的研究小组则利用键合技术制作出 GaN 的垂直腔面发射激光器.

就从世界范围而言, 日亚公司一支独秀的时期已经过去, 特别是光存储产业的巨头已经介入蓝光激光器的生产, 这预示着蓝光激光器将大规模地被应用, 以 GaN 基 LD 为光源的 HD-DVD 产业的时代的脚步声已隐约可闻了.

## 7 我国蓝光发光器件的发展

我国蓝光波段的发光材料的研究历史已久, 如

中国科学院长春物理研究所对 ZnSSe 材料的研究已有数十年的历史. 他们不但研制出蓝光 LED, 而且也成功地研制出蓝光的半导体激光器, 只是限于材料的固有特性, 与国际同行一样, 尚未做成实用化的产品. 我国 GaN 系材料虽然起步较晚, 但有志于并真正投身该领域的科学工作者和团队多而强, 据不完全统计: 中国科学院半导体研究所、北京大学、中国电子科技集团第十三研究所、南京大学、南昌大学、清华大学和中国科学院物理研究所等国内具有顶尖学术地位和实力的单位都投入了该工作. 他们不但在常规六方相 GaN 材料生长上取得重大进展, 而且在立方相 GaN 材料的生长上取得国际领先的创新性成果, 成为世界第一个实现立方相 GaN 电注入发光的团组. 尽管目前我国 GaN 系材料生长可以做成一定发光亮度的蓝光甚至绿光 LED, 也有不少公司致力于蓝光或绿光 LED 的批量生产, 但与国外商品先进水平相比, 不但发光亮度尚有差距, 而且生产规模还小. 要实现受激发射, 不但要在提高外延材料光学质量和降低内损耗上狠下功夫, 在包括欧姆接触、干法刻蚀以及高质量的解理和划片在内的关键技术上狠下功夫, 而且还要为提供高质量的衬底材料付出特别的努力.

令人高兴的是, 2002 年 2 月, 我们台湾的同仁也已实现了 GaN 蓝光激光器的室温脉冲激射.

## 8 国际光存储技术的最新进展

目前, 以 GaN 蓝光半导体激光器为光源的 DVD 光学头的研发工作也在积极开展之中. 图 7 是光存储系统的示意图. 据报道, 松下公司在实现室温连续激射 GaN 蓝光激光器基础上, 并与数值孔径为 0.5 的非球面物镜配合, 做出了波长为 400nm、光束质量好的实际光学系统, 估计面记录密度可达到现行 DVD 的 2.6 倍. 而索尼公司使用发射波长为 400nm 的 GaN 半导体激光器作为光源, 结合数值孔径为 0.85 的物镜, 研制出的光学头, 其存储密度可达 18Gbit. 用蓝光激光器为光源的 DVD-RAM 的研制工作也在进行中. 2000 年底, 世界上的 DVD 光头生产大户 ROHM 和 CREE 公司达成协议, 共同开发 GaN 基蓝光激光器. 2002 年 2 月, 日立、三星、松下、先锋、飞利浦、汤姆逊、LG、夏普和索尼九家公司一起发布了蓝光 DVD 技术规范, 见表 3. 而东芝和 NEC 公司已另订蓝光 DVD 标准, 他们预计将在 2005 年提供 50-Gbyte DVD-ROM 和 20-Gbyte

物理学和高新技术

DVD - RAM. 当然, 两种标准如果不能迅速达成协议, 统一规格, 消费者又将面临无所适从的困惑. 不过, 尽管存在的困难多, 蓝光 DVD 的实用化已经指日可待. Strategies Unlimited 估计, 五年内, 光存储用蓝光激光器市场将增长到 20 亿美元, 占有 DVD 市场的一定份额.

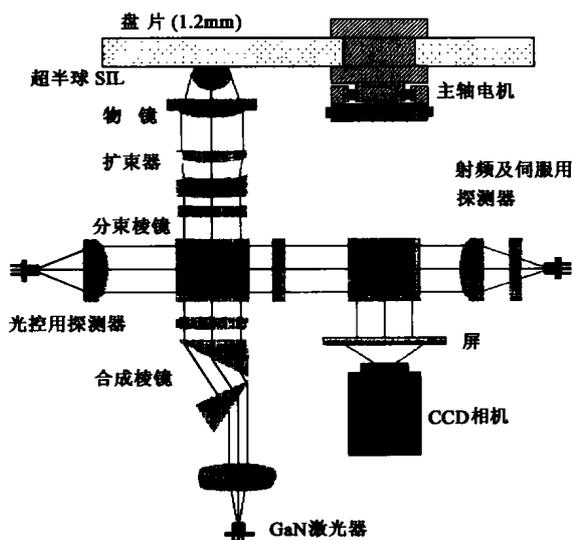


图7 GaN LD 在光存储中的应用

表3 日立等九家公司发布的蓝光 DVD 技术规范

主要规范	
存储容量	23.3GB/25GB/27GB
激光波长	405nm (蓝紫外激光器)
透镜数值孔径 (NA)	0.85
数据传输速率	36Mbps
盘片直径	120mm
盘片厚度	1.2mm (透光保护层厚度 0.1mm)
记录模式	相位变化记录
寻道模式	凹槽记录
寻道定位精度	0.32μm
最短凹陷长度	0.160/0.149/0.138μm
记录相位密度	16.8/18.0/19.5Gbit/inch <sup>2</sup>
视频记录模式	MPEG2 video
音频记录模式	AC3, MPEG1, Layer2, 等等
音频和视频多路技术模式	MPEG2 传输流
光驱尺寸	Approximately 129 × 131 × 7mm

参考文献

[ 1 ] Nakamura S, Senoh M, Nagahama S *et al.* Jpn. J. Appl. Phys., 1996, 35; L74  
 [ 2 ] Nakamura S, Senoh M, Nagahama S *et al.* Appl. Phys. Lett., 1998, 78; 211  
 [ 3 ] Kuramoto M, Kimura A, Sasaoka C *et al.* Jpn. J. Appl. Phys., 2001, 40; L925

· 书评和书讯 ·

科学出版社物理类图书精品推荐

书名	作(译)者	定价	出版日期	发行号
拉曼布里渊散射原理及应用	程光煦	¥48.00	2000年12月	0-1301
应用力学对偶体系	钟万勰	¥42.00	2002年3月	0-1542
先进光学制造技术	杨力	¥48.00	2001年9月	0-1343
光学信息论	陶纯堪	¥42.00	1999年3月	0-1039
材料科学中的介电谱技术	倪尔瑚	¥30.00	1999年9月	0-1080
广义相对论和引力场理论	胡宁	¥15.00	1999年3月	0-1157
激光的衍射及热作用计算	李俊昌	¥34.00	2002年3月	0-1553
高激发原子	詹明生	¥35.00	2003年2月	0-1683
微米纳米尺度传热学	刘静	¥23.00	2002年3月	0-1289
浮区对流-晶体生长模型化研究	胡文瑞	¥80.00	2003年2月	0-1673
半导体光谱和光学性质	沈学础	¥88.00	2003年4月	0-0507

欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书. 凡购书者均免邮费并可享受优惠, 请按以下方式和我们联系, 同时欢迎访问科学出版社网址: <http://www.sciencep.com>

电话: 010-64017957 64033515 电子邮件: [dpyan@cspg.net](mailto:dpyan@cspg.net) 或 [mlhukai@yahoo.com.cn](mailto:mlhukai@yahoo.com.cn)

通讯地址: 北京东黄城根北街16号科学出版社 邮政编码: 100717 联系人: 鄢德平 胡凯