

半导体激光器的最新进展及其应用现状

王 德, 李学千

(长春光学精密机械学院, 吉林 长春 130022)

摘要: 简述了半导体激光器的现状, 详细介绍了半导体激光器在激光雷达、激光测距、激光引信、激光制导跟踪、激光瞄准和告警、激光模拟、激光通信和光纤通信、光纤陀螺以及国民经济等各个领域中的应用。

关键词: 半导体激光器; 军事应用

中图分类号: TN248.4 文献标识码: A

1 引 言

自1962年世界上第一台半导体激光器发明问世以来, 半导体激光器发生了巨大的变化, 极大地推动了其他科学技术的发展, 被认为是二十世纪人类最伟大的发明之一, 近十几年来, 半导体激光器的发展更为迅速, 已成为世界上发展最快的一门激光技术。半导体激光器从最初的低温(77K)下运转发展到室温下连续工作, 由小功率型向高功率型转变, 输出功率由几mW提高到kW级(阵列器件)。激光器的结构从同质结发展成单异质结、双异质结、量子阱(单、多量子阱)等270余种形式。制作方法从扩散法发展到液相外延(LPE)、气相外延(VPE)、分子束外延(MBE)、金属有机化合物气相淀积(MOCVD)、化学束外延(CBE)以及它们的各种结合型等多种工艺。

半导体激光器的应用覆盖了整个光电子学领域, 已成为当今光电子科学的核心技术。由于半导体激光器的体积小、结构简单、输入能量低、寿命较长、易于调制及价格低廉等优点, 使得它目前在军事领域中应用非常广泛, 它作为一种很有潜力的光源, 已受到各国军方的高度重视。以美国为例, 美国国防部、宇航局、各军兵种以及国家实验室等20多个部门都在为武器装备研制高功率半导体激光器, 使得美国在这一领域处于世界领先地位^[1-2]。

近年来, 高功率半导体激光器阵列器件也得到了飞速的发展, 已推出产品有连续输出功率

5W、10W、15W、20W和30W的激光器阵列。脉冲工作的激光器, 峰值输出功率50W、120W、1500W、和4800W的阵列也已经商品化。一个4.5cm×9cm二维阵列, 其峰值输出功率为350kW的二维阵列问世。

美国是半导体激光器泵浦技术开发应用较早、进展最快的国家。日本、英国和德国的西门子公司早在1988—1989年就提供了高功率半导体激光器系列产品用作泵浦光源, 目前国外用半导体激光器叠层阵列泵浦Nd:YAG激光器, 输出功率达到1000W, 预示着工业和国防应用的半导体激光泵浦技术将产生巨大变革。

利用半导体激光器泵浦Nd:YAG(0.946 μ m), Nd:YAG(1.06 μ m), Nd:YVO₄(1.3 μ m), Nd:YAG(1.3 μ m), Nd:BEL(LaBe₂O₃)(1.07 μ m), Ho:YAG(2.1 μ m), Er:YLF(2.3 μ m), Nd:玻璃(1.06 μ m)和Er:玻璃(1.3 μ m, 1.5 μ m), 近年来都有许多报道, 有些已经商品化^[2]。

2 半导体激光雷达

早在70年代, 半导体激光雷达采用合作目标探测, 就已用于舰船入港时避障和防撞, 空间会合和高速或超高速干道上车辆的测距。例如美国国际电话公司在1967年就研制出了第一代用于飞船交会制导的GaAs扫描激光雷达, 1977年研制出了第二代, 作用距离90km, 这种飞船载雷达机动性好, 总重量为18kg。半导体激光雷达已用于

卫星对接系统,该雷达系统由几个子系统组成,一部分安装在第一卫星上,另一部分安装在第二个卫星上。此外,在1977年之前美国就开发出了一种便携式 GaAs 激光雷达,它用 GaAs 激光器照明目标^[3]。

进入80年代以后,非合作目标探测的半导体激光雷达发展起来并用于航天飞机回收卫星时的精确定位等。在海湾战争中,半导体激光雷达曾用于直升机在甲板上的起降控制和防止直升机夜间飞行中与沙丘碰撞。研制这种半导体激光雷达有美国 Laser Technology Inc. 和 Laser Atlanta 等公司。此外,美国的休斯公司、Schwartz 公司、Sparta 公司、洛雷尔系统公司以及法国的汤姆逊公司等,在80年代末至90年代初还分别研制出半导体激光成像雷达,用于战场侦察、低空飞行器下视和防撞以及主动激光制导等^[4]。

半导体激光雷达已成功用于常规兵器。美国桑迪亚国家实验室受到高功率半导体激光器发展的推动,研制了一种125mW 半导体激光的测距、成像激光雷达。它能够以4次/s的速度更新图像,相当清晰地分辨装甲车的类型和人、车之间距离,可用为常规兵器自动目标识别和瞄准修正系统的组成部分,也可作为机器人的视觉系统以及自主飞行器的控制系统。

新型半导体激光雷达除了具备上述半导体激光雷达的优点外,还具备以下特性:(1)与被动探测(红外系统)相结合;(2)多种成像功能,包括强度成像、距离成像和速度成像;(3)具有先进的实时图像处理功能,包括各种成像的综合、图像跟踪和目标的自动识别等。

非扫描成像半导体激光雷达能同时进行被动强度成像(即不用激光照射时的成像)和主动强度成像(即主动照明时的成像),还可进行强度成像和速度成像。而且由于焦平面阵列器件的采用使各种成像的速率都非常高。这就为先进的实时图像处理提供了先决条件,这也是扫描半导体激光雷达所达不到的^[5-9]。

3 半导体激光测距

二极管激光测距仪开发较早,小于1km 测量距离的商用测距仪已达到实用水平,用于测距报警系统、航海浮标测距、集装箱检查等。GaAs 激光测距仪以数千次/s的脉冲重复频率工作,在距离几公里内精度可达几厘米。80年代,美国科顿

公司的 M931 型半导体激光测距夜视仪,将单目夜视装置和 GaAs 半导体激光器集为一体,测程超过1km,重量1.3kg。美国国际激光系统公司 GR500 型激光测距机,采用 GaAs 激光器,重复频率为2kHz,脉宽40ns,发散角5~50mrad,测程3230m,重量10kg。美国轻型反坦克武器激光测距机采用 GaAs 激光器,输出功率40W,脉宽70ns,发射角10mrad,重复频率5.7kHz,测距大于500m。

随着半导体激光泵浦固体激光器的发展,美国麦道公司已将它引入军事市场,1990年初开始在 F/A-18 战斗机上进行试验,1991年春季投入生产。用气冷的激光二极管泵浦 Nd:YAG,输出波长为1.064 μ m 或532nm,脉冲能量达200mJ,工作温度-35℃~+60℃,该装置的重量为4.5kg~5.7kg^[10-11]。

4 半导体激光引信

根据功能分类,近炸引信可分为光学引信和磁引信以及其它引信(复合引信与指令引信)。光学引信又包括红外引信(被动式)和激光引信(主动式)。激光引信是通过辐射的激光光束(近红外线),探测物质反射回来的光而工作的一种引信^[12-13]。

70年代美国就出现了2.75in 的火箭弹用激光引信、“猎鹰”导弹和“小榭树”导弹用激光引信、AIM-9L“响尾蛇”导弹用 DSU-15/B 型激光引信。1977年英国研制了一种带有 GaAs 激光二极管的对空导弹近炸引信。1980年以来,美国 AGM-88A 型高速反雷达导弹、美国和瑞士联合研制的 ADATS 防空一反坦克导弹、美国 M16A 步枪发射的枪榴弹,以及瑞典 RDS-70 导弹、法国“马特拉”导弹都采用了半导体激光引信^[1]。

目前,美国麦道公司还开发了一种通过光纤把激光二极管的激光能量与武器连为一体的利用激光能量触发武器起爆的装置。这种微型激光起爆混合组件把二只激光二极管装在2×1×0.25in³的混合电路管壳内,重量仅22g。选用的激光二极管为窄光束大功率器件,额定功率5W,脉宽10ns,光纤直径125 μ m,典型武器起爆要求功率最小为250mW,典型设计额定为400mW,例行试验寿命大于200万个脉冲^[10]。

5 半导体激光制导跟踪

美国雷西昂系统公司代表美国陆军航空与导

弹司令部,正在研制射程为 15km 的增强型光纤制导导弹。1996 年 9 月,在 F-16 战斗机上进行的试验期间,为远程光纤制导导弹设计的光纤释放系统成功地在 40km 距离上进行了操作^[13]。

激光制导的另一种方法是驾束制导,又称激光波束制导,它是由制导站的激光发射系统按一定规律向空间发射经编码调制的激光束,并将光束中心线对准目标。激光驾束制导有其广泛的应用前景,可用于地-空、空-空、地-地导弹等多种类型的导弹制导。

瑞典 RBS-70 地-空导弹是世界上第一个激光驾束制导武器系统,1967 年开始研制,1975 年投入生产,1976 年装备部队。该弹采用 GaAs 激光器,导弹射程 5km(即半导体激光器作用距离),射高 3km,激光器与导弹射程完全匹配。改进后的第二代武器系统,射程可增加到 6.5km,射高 4.5km,增加了红外夜视装置,可在 10km 处发现目标。美军从 1981 年开始研制利用半导体激光器制导的导弹,已用于 TOW 反坦克导弹、FOG-M 导弹^[1]。

6 半导体激光瞄准和告警

瞄准具有两类。一类以发射红外激光的 GaAs 激光器为基础,士兵须佩戴夜视镜才能看到目标上的激光光斑,以解决夜间士兵的瞄准射击问题。另一类激光瞄准具是以发射红色激光和可见光的半导体激光器为基础。美国激光装置公司在 80 年代推出的 FA-4 型激光瞄准具,重量仅 99g,长 11.4cm,该瞄准具可装在手枪上。在海湾战争中,美国部队已将激光瞄准具和激光告警同时用于直升飞机的驾驶上。另外,美国已将供地面使用的激光二极管瞄准具装在直升机机枪上,并配有夜视眼镜,以提高这些武器的效能^[1]。

在半导体二极管阵列型激光告警系统中,借鉴雷达对抗信号分选原理,采用微处理器,能够实现多激光威胁源的信号处理^[14-15]。

7 半导体激光武器模拟

激光模拟主要是以半导体激光为基础发展起来的新型军训、演习技术。通过调节激光射束、周期和范围以达到模拟任何武器特征的目的。

用对眼睛安全的激光器作为战术训练系统的基础,最初叫做激光交战系统(LES)。该系统研制始于 1973 年秋,至 1975 年其可行性得到了证实。次年引进微处理机技术,于是 LES 发展成为多功能激光交战系统(MILES)。同年,赛罗克斯光电系统公司接受了全套 MILES 工程的研制合同,向陆军提供 8 万多套装备,用于地面作战模拟。此外该公司还研制了空对地作战系统以及 MILES 空防样机。

现在全世界有美、英、瑞(典)三国出售 MILES II/SAWE 系统。北约国家、以色列、阿根廷、俄罗斯、中国都在开发。该系统将是 LD 和 PD 的巨大市场^[1,10]。

8 军用光纤陀螺

光纤陀螺技术是军用光纤领域中用途最广,对目标监视和测量方面不可缺少的技术手段。光纤陀螺仪由于其精度高、质量轻、可靠性优于机械陀螺和激光陀螺,在军用民用光纤通信、光纤制导导弹、制导鱼雷、发射遥控飞行器和布雷等方面不可缺少,其中声响用于反潜武器,旋转用于改善战术导弹和飞机的惯性导航系统,以加强地面或空中发射的巡航导弹及空-地、地-空导弹的性能。表 1 列出国外部分典型光纤陀螺的主要技术性能比较。

目前,美国、日本和德国等已有 20 多个实验室专门从事光纤陀螺的研究工作,第一代光纤陀螺仪早已投入生产,少数产品已投入实战演习和装备部队。表 2 列出了光纤陀螺仪在各类系统中的性能、主要用途及 1990 年/1994 年用于各类系统所占比例^[16-17]。

Table 1 Comparison of the main characteristics of optical fiber gyroes in foreign countries

state and department	light source and wavelength(μm)	fiber length (m)	wire ring diameter (cm)	drift rate ($^{\circ}$)/h	short term resolution(rad/s)
U. S. A Stafford University	GaAs Semiconductor Lasers ($\lambda= 0.83$)	580	14	0.1	1.1×10^{-7}
U. S. A. Naval Institute	Superluminescent diodes($\lambda= 0.82$)	430	32	0.005	5.3×10^{-7}
U. S. A. Massachusetts University of Technology	He- Ne lasers	200	19	1	9.5×10^{-7}
Japan, NIT Corp.	InGaAsP laser diodes	580	60	1.5	9.7×10^{-6}
Japan, Tokyo University	Single mode GaAlAs laser diodes	2000	31.8	5	2.4×10^{-5}
G. B. London University	He- Ne laser	130	20	10	4.8×10^{-4}
Gemany Telefunken Corp.	Superluminescent diodes ($\lambda= 0.82$)	800	40	5	4.8×10^{-6}

Table 2 Main characteristics, uses and occupying ratio in various systems

Main uses	drift rate ($^{\circ}$)/h	occupying ratio used in various systems (1990- 1994year)
Short range missile system, tactical missile,	10- 100	84% - 64%
Small naval vessel and antisubmarine weapon		
Low characteristics: short range/ medium range	1- 10	13% - 20%
Missile, general plane		
Middling characteristics: short- range missile,	0. 1- 1	3% - 11%
Military plane		
High characteristics: big- warship, submarine, Strategic missile, plane, satellite, spaceship	< 0. 1	0% - 5%

9 半导体激光器在国民经济中的应用

9.1 在产业和技术方面的应用

1) 光纤通信 半导体激光器是光纤通信系统的唯一实用化光源, 光纤通信已成为当代通信技术的主流。2) 光盘存取 半导体激光已经用于光盘存储器, 其最大优点是存储的声音、文字和图像信息量很大。采用蓝、绿激光能够大大提高光盘的存储密度。3) 光谱分析 远红外可调谐半导体激光器已经用于环境气体分析, 监测大气污染、汽车尾气等。在工业上可用来监测气相淀积的工艺

过程^[17]。4) 光信息处理 半导体激光器已经用于光信息处理系统。表面发射半导体激光器二维阵列是光并行处理系统的理想光源, 将用于光计算机和光神经网络。5) 激光微细加工 借助于Q开关半导体激光器产生的高能量超短光脉冲, 可对集成电路进行切割、打孔等。6) 激光报警器 半导体激光报警器的用途甚广, 包括防盗报警、水位报警、车距报警等等。7) 激光打印机 高功率半导体激光器已经用于激光打印机。采用蓝、绿激光能够大大提高打印速度和分辨率。8) 激光条码扫描器 半导体激光条码扫描器已经广泛用于商品的销售, 以及图书和档案的管理。9) 泵浦固体激光器 这是高功率半导体激光器的一个重要应用, 采用它来取代原来的氙灯, 可以构成全固态激光系统。10) 高清晰度激光电视 不久的将来, 没有阴极射线管的半导体激光电视机可以投放市场, 它利用红、蓝、绿三色激光, 估计其耗电量比现有电视机低20%。

9.2 在医疗和生命科学研究方面的应用

1) 激光手术治疗 半导体激光已经用于软组织切除, 组织接合、凝固和汽化。普通外科、整形外科、皮肤科、泌尿科、妇产科等, 均广泛地采用了这项技术。2) 激光动力学治疗 将对肿瘤有亲合性的光敏物质有选择地聚集于癌组织内, 通过半导体激光照射, 使癌组织产生活性氧, 旨在使其坏死而对健康组织毫无损害。3) 生命科学研究 使用半导体激光的“光镊”, 可以捕捉活细胞或染色体并移至任意位置, 已经用于促进细胞合成, 细胞相互作用等研究, 还可以作为法医取证的诊断技术。

10 结 束 语

经过近 20 年来的开发, 我国高功率半导体激光器的研制和生产技术已有了一些基础和实力, 但与国际迅猛发展的势头相比, 我们还有一定的差距。要开发实用化的高功率半导体激光器, 赶

上国际先进水平, 仍需要作出很大的努力, 主要有以下三个方面:

- 1) 在高功率激光二极管器件的研制上要有更大的突破
- 2) 提高工艺水平及降低半导体激光器件的成本
- 3) 增加投资力度更有效地为国防现代化服务

参考文献:

- [1] 李学千, 张兴德. 高功率半导体激光器的进展及其在军事上的应用[J]. 光学精密机械, 1993, (2): 1- 51.
- [2] 李学千. 半导体激光器的最新进展及其应用[J]. 长春光学精密机械学院学报, 1997, 20(4): 56- 63.
- [3] 蒋涛. 半导体激光器在军事工程上的应用[J]. 半导体光电, 1985, (4): 51- 56.
- [4] 詹玉书, 安敏英. 非扫描成像半导体激光雷达[J]. 激光与红外, 1985, (5): 15- 17.
- [5] Krohn W, Matthews W. Multispectral diode based imaging laser radar[A], Laser Radar VII[C]. Proc. SPIE, 1992, 1633: 294- 298.
- [6] Gustavson R L, Davis T E. Diode laser radar for low cost weapon guidance[A], Laser Radar VIII[C]. Proc. SPIE, 1992, 1633: 21- 32.
- [7] Sackos J, Bradley B, et al. The emerging versatility of a scannerless range imager[C]. Proc. SPIE, 1996, 2748: 47- 60.
- [8] McClure J D. Diode laser radar: application and technology[C]. Proc. SPIE, 1990, 1219: 446- 456.
- [9] Keller J. Will lidar be the DOD's next quantum leap[J]. Military & Aerospace Electronics, 1993, March 15: 25- 27.
- [10] 付有余. 激光测距与跟踪系统低噪声电子设计方法[J]. 光学精密工程, 2000, 8(3): 250- 253.
- [11] 何兴仁. 大功率半导体激光器及其在军事上的应用[J]. 半导体情报, 1995, 32(3): 26- 33.
- [12] 杨玉勤. 引信的种类及未来发展[J]. 兵器快报(弹药引信类), 1997, (3): 10- 12.
- [13] 陈金浩. 光学引信[J]. 制导与引信, 1997, (4): 45- 51.
- [14] 尤海平. 军用光纤技术[J]. 兵器快报(光电技术类), 1998, (8): 50- 57.
- [15] 张景旭. 激光威胁源告警定向技术研究[J]. 光学精密工程, 2000, 8(4): 365- 368.
- [16] 傅伟. 先进的激光告警技术[J]. 激光与红外, 1995, (2): 18- 20.
- [17] 谭显裕. 军用光纤陀螺的发展、关键技术和应用前景[J]. 现代防御技术, 1998, 16: (4) 55- 61.
- [18] 牟琼. 光纤陀螺的研究状况与发展趋势[J]. 半导体光电, 1994, 15(2): 112- 116.
- [10] 吉玉玲, 王卫乡, 咏涛. 以二极管激光监测器相淀积[J]. 激光与光电子学进展, 1997, (5): 26.

New progress in semiconductor lasers and their applications

WANG De, LI Xue qian

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022, China)

Abstract: Semiconductor lasers have become the most rapidly advanced laser technology in the last ten years. The paper introduces the present status of the semiconductor lasers, and also describes the applications of the semiconductor lasers in various fields, including laser radar, laser range finding, laser fuse, laser guidance and tracking, laser acquiring and warning, laser simulation, laser and optical fiber communication, optical fiber gyroes, and in the fields of the national economy.

Key words: semiconductor lasers; military applications

作者简介: 王 德(1954), 男, 河北省人, 工程师, 1978年毕业于长春光学精密机械学院军用光学设计与制造专业, 现从事科技情报研究工作。