

距离选通式半导体激光夜视系统

辛德胜 张剑家 王 玲 张萌萌* 张佳莹

(长春理工大学高功率半导体激光国家重点实验室, 吉林 长春 130022)

摘要 距离选通式半导体激光夜视系统是采用高功率脉冲半导体激光器作为夜视系统的照明光源、以微光管作为接收传感器的主动成像夜视系统。介绍了半导体激光夜视系统中所采用的高质量脉冲半导体激光光源技术及距离选通技术。其中光束准直整形技术和改善光场均匀性技术是脉冲半导体激光夜视系统的关键技术。距离选通式激光夜视系统消除了脉冲激光带来的后向散射及杂散光的干扰,提高了接收信噪比,可获取清晰的夜视图像。实验证明采用距离选通式半导体激光夜视系统可在很差的气象条件下工作,并可获得清晰图像,作用距离达 5 km。该系统不仅用于军事领域也可用于边防、公安、搜救、监控等其他领域。

关键词 激光技术; 距离选通; 半导体激光; 夜视; 光束整形

中图分类号 TN248.4 **文献标识码** A

Semiconductor Laser in Range-Gated Night Vision System

Xin Desheng Zhang Jianjia Wang Ling Zhang Mengmeng Zhang Jiaying

(National Key Laboratory on High Power Semiconductor Lasers, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract Range-gated night vision system with semiconductor pulse laser is an active image-forming system, which takes high power semiconductor laser and shimmer tube as lighting source and receiving sensor, respectively. Night vision system of semiconductor laser introduced in this paper adopts high quality semiconductor laser lighting source technology and range-gated technology, whose key technology is the semiconductor laser beam shaping and proportion technique. The system can eliminate the impact of back scattering light and stray light brought by the pulse laser and increase signal-to-noise ratio. It can obtain plain night vision figures. Experiments prove that the range-gated night vision system can obtain plain night vision figures in bad weather condition. Its function distance can reach to 5 km. Not only can the night vision system of semiconductor laser be used in military field, but also in frontier defense, public security, searching rescue, monitor field, etc.

Key words laser technology; range-gated technology; semiconductor laser; night vision system; beam shaping

1 引 言

近年来,夜视技术得到迅速发展,它广泛应用于军事及民用领域。夜视系统可分为被动夜视和主动夜视系统两大类。微光夜视及热成像夜视系统为被动夜视系统。微光夜视系统无法在零照度下工作,其探测距离与夜空的亮度有关。而热成像无法分辨无温差的目标,也无法分辨目标的细节,且价格昂贵。脉冲半导体激光夜视系统为主动成像系统,采用半导体激光器作为照明光源,它具有可在零照度

下工作、获取的夜视图像清晰、观察距离远等特点。该系统的关键技术是高功率脉冲半导体激光光束的准直整形匀化技术。光束水平发散角为 10° 左右,垂直发散角为 40° 左右,是一个典型的像散光束。若想获得高亮度的激光,必须靠近发光区对激光束进行准直整形。窄小的有源区又造成光斑均匀性很差,因此采用光束匀化技术来大幅度改善其光束质量以达到夜视照明光源要求。大气的散射光使半导体激光夜视系统的成像质量下降。这种大气散射在

基金项目: 科工委基础科研项目(A3620060123-1)资助课题。

作者简介: 辛德胜(1954—),男,吉林人,教授,主要从事光电技术及半导体激光应用技术等方面的研究。

E-mail: xindesheng@163.com

通信联系人。E-mail: alpha_2007@126.com

不良天气情况下尤为严重,它降低了夜视系统的成像质量,采用距离选通技术是解决这一问题的有效途径。

2 系统原理

脉冲激光夜视系统由激光发射及图像接收两部分组成。发射部分由脉冲激光器、微透镜、光纤及发射光学镜头构成,利用光纤输出激光便于结构设计。接收部分由同步延时器、选通控制电路、微光管、监视器及接收光学镜头组成。半导体激光夜视系统框图如图 1 所示。

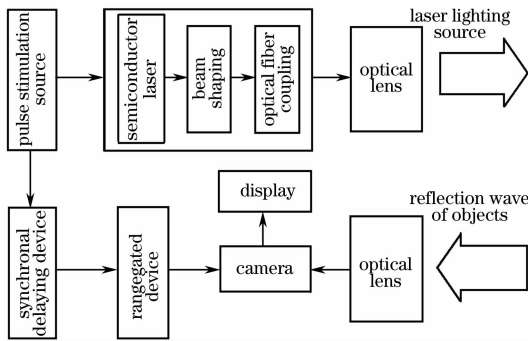


图 1 半导体激光夜视系统结构框图

Fig. 1 Structure block diagram of night vision system with semiconductor laser

距离选通技术是利用脉冲激光器和选通微光管来实现的,通过选通脉冲来控制微光管的开启工作时刻及关闭工作时刻。激光脉冲发射的同时,启动延时电路,此时,微光管选通门关闭,从而挡住了来自大气中悬浮颗粒的后向散射光;当目标反射光到达微光管时,选通门开启,使目标成像。通常选通门开启维持的时间应略宽于激光脉冲宽度。当目标距离不确定时(即不能确定延迟时间时),可通过调节延时时间,来捕获目标。

3 技术研究

3.1 半导体激光光束整形与匀化

目前,大功率半导体激光器普遍采用的是量子阱结构,其特殊的波导结构决定了其输出光束极不对称、发散角大且存在像散。这样的光束,无法用普通的光学系统得到高亮度激光输出。大功率半导体激光器辐射光斑如图 2 所示。由图 2 可见,大功率半导体激光器的输出光束可以近似为椭圆高斯光束,输出光束在平行和垂直 PN 结平面两个方向上的差异很大,在快轴方向上的发散角为 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$,慢轴方向上的发散角为 $6^{\circ}\sim 12^{\circ}$ [1]。为压缩两轴发散

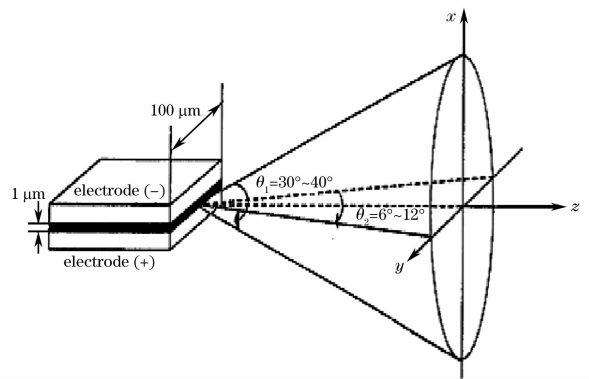


图 2 典型的大功率脉冲半导体激光器辐射光斑示意图
Fig. 2 Radiation facula diagrammatic sketch of typical high power semiconductor laser

角,设计了非球面微透镜,使两轴发散角压到 1° 左右。为使光束远场光斑均匀,设计了双面形相异的非球面微透镜来对光束进行整形和匀化,然后耦合进光纤中。这种方法有效提高了能量转换率,并且实现了任意波前变换和同轴[2]。

文中采用光刻胶热熔成型的方法来制作非球面的微透镜,首先是将有一定厚度的光刻胶在具有适当孔径的圆形图案的掩模的遮蔽下,进行紫外曝光,经过显影后在基底上形成相对应的孤立的岛状圆柱形胶体;再进行热处理,加热光刻胶至熔融态温度,此时熔融的光刻胶由于表面张力的作用,形成了以图案孔径为边界的光滑的球面,从而就得到微透镜的表面结构。

要获得一定孔径的热熔型微透镜,主要是控制微透镜凸起的球冠矢高,这与初始涂抹光刻胶的胶层厚度、紫外曝光时间、显影参量及热熔的温度、时间有密切的关系,只有对这些工艺参量进行最优化处理,才能得到高质量的微透镜。热熔光刻胶法制作折射型微透镜,关键工艺在于控制各级烘烤温度。面形转移技术是微透镜成型技术的关键,文中采用反应离子刻蚀技术实现“面形转移”。

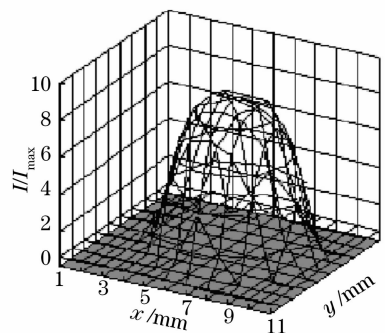


图 3 典型光纤输出光能量分布图

Fig. 3 Typical output light energy profile of fiber

实际中可针对不同需求对微透镜的参量进行设计,从而制作出所需要的非球面微透镜^[3]。

此外,对光纤端面进行抛磨及镀减反膜处理可进一步提高耦合效率。经上述光学处理之后的光能量分布如图3所示。

3.2 脉冲半导体激光功率的选择

夜视接收系统的性能很大程度上取决于照射光源的亮度,通常光源的亮度取决于激光器的功率。

假定照射光束具有均匀的强度分布,亮度或功率密度为 I ,在距离为 L ,输出功率为 P 和发射角为 θ 时,有关系式

$$I = \frac{P}{\theta_x \theta_y L^2}, \quad (1)$$

式中 θ_x 为光束水平轴发散角, θ_y 为光束垂直轴发散角。而景物的照度 I_s 可表示为

$$I_s = \frac{PT_\alpha}{\theta_x \theta_y L^2}, \quad (2)$$

式中 $T_\alpha = \exp(-\alpha L)$ 为大气传输函数, α 为在发光波长处的大气消光系数。景物反射照度分布 I_r 在其视场内的重叠程度决定了微光管入瞳的光强 I_i 。

$$I_r = I_s RC_s KT_\alpha T_0, \quad (3)$$

式中 R 为景物反射照度分布, C_s 为景物对比度, K 为辐射对激励比, T_0 为镜头透过率,则

$$I_i = \frac{I_r A}{f^2}, \quad (4)$$

式中 A 为镜头的入瞳面积, f 为镜头的焦距。可导出关系式

$$I_i = \frac{\pi I_s RC_s KT_\alpha T_0}{4F}, \quad (5)$$

式中 F 为镜头 F 数,可以得到

$$P = \frac{4I_i F \theta_x \theta_y L^2}{\pi RC_s KT_\alpha T_0}. \quad (6)$$

激光器发射功率取决于微光管的入瞳光强、景物反射率、景物对比度及目标漫反射物性、发散角、距离^[4]。此外,接收系统的灵敏度对脉冲半导体激光器的输出功率也有一定的影响。

3.3 脉冲半导体激光波长的选择

脉冲半导体激光器作为夜视光源,它的波长选择有两个原则,其一是根据接收器件的光谱响应特性来确定;其二是根据夜天光下景物的反射光谱分布。夜天光下的景物的反射光谱分布如图4所示^[4]。

图中曲线表示了自然界生长的绿色植物(绿色草本)和人造物体(粗糙混凝土和暗绿色涂层)在可见光和近红外辐射光谱区内反射比的变化。其中绿色草本的反射系数在波长 $0.6 \mu\text{m}$ 以外迅速增长,

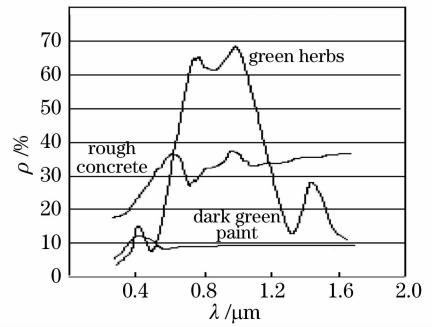


图4 某些常用材料的反射系数

Fig. 4 Reflectance of common materials

在 $0.8 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 之间达到最大值,之后又迅速减小,在 $1.6 \mu\text{m}$ 附近有一小峰值,在所示的整个波长范围内大体上保持不变。粗糙混凝土也具有相似的性质,其反射系数除在 $0.7 \mu\text{m}$ 和 $1.0 \mu\text{m}$ 附近有微小峰值外,在整个波长范围内分布也较为平坦^[5]。

根据图4的曲线并考虑到接收器件的光谱响应特性,选择半导体激光器的发射波长为 850 nm 。

3.4 半导体激光脉冲激励源

半导体激光器由功率放大级产生的电流脉冲以电调制方式工作。脉冲激励源由电流直流供电系统、脉冲信号源、推动源及电流功率放大级组成。其中设计了抑制浪涌电流电路,消除开关尖刺电路及激光器保护电路^[5]。并采取了防止静电积累及屏蔽电磁辐射的措施。充分保证了半导体激光器工作的可靠性及寿命。脉冲电源的工作频率为 2 kHz ,脉冲宽度为 200 ns 。

4 实验研究

在实验中采用的脉冲激光器的峰值功率为 130 W ,激光波长为 850 nm ,脉冲的脉宽为 200 ns ,重复频率为 2 kHz ,选通脉冲脉宽为 240 ns 。利用距离选通式脉冲半导体激光夜视系统在“全黑”的夜里对各种景物进行了多次观测实验,获得了很好的实

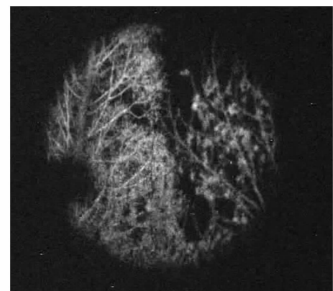


图5 500 m的夜视图像

Fig. 5 Night vision image in the distance 500 m

验结果,图 5 和图 6 分别给出了雾天 500 m 处的大树和 3500 m 处塔吊的夜视图像。夜视图像表明,该夜视系统采用微透镜光束整形、匀化技术和距离选通方式使其具有高清晰的夜视功能,能够在低照度下获取清晰的夜视图像,实现了设计的指标。



图 6 3500 m 的夜视图像

Fig. 6 Night vision image in the distance 3500 m

5 结 论

距离选通式脉冲半导体激光夜视系统的关键技术是微透镜光束整形和匀化技术,该技术为激光光束成为均匀的照明光源提供了技术保障。实验证明选通式半导体激光夜视系统能够有效地克服后向散

射的影响,使夜视图像的质量得到提高。该系统不仅用于军事领域也可用于边防、公安、搜救、监控等其他领域。

参 考 文 献

- 1 Jiang Jianping. Semiconductor Laser [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2000. 88~90
江剑平. 半导体激光器 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000. 88~90
- 2 Song Hongwei, Li Shaoxia, Yu Gang. Intensity distribution design for laser-induced thermal loading based on numerical simulation[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(6): 842~845
宋宏伟, 李少霞, 虞 钢. 基于数值模拟的激光热负荷光强分布设计[J]. *中国激光*, 2006, **33**(6): 842~845
- 3 Lin Yong, Hu Jiasheng, Wu Kenan. Algorithm for the design of diffractive optical elements for laser beam shaping [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(9): 1682~1686
林 勇, 胡家升, 吴克难. 一种用于光束整形的衍射光学元件设计算法[J]. *光学学报*, 2007, **27**(9): 1682~1686
- 4 Li Wei, Chang Benkang. A study on the characteristics of reflection spectrum of field of view under night-sky radiation[J]. *Acta Armamentarii*, 2000, **21**(2): 177~179
李 蔚, 常本康. 夜天光下景物反射光谱特性的研究[J]. *兵工学报*, 2000, **21**(2): 177~179
- 5 Xin Desheng, Shen Xianguo. Microcomputer in Application of Photoelectronic Technology [M]. Beijing: The Publishing House of Ordinance Industry, 1993. 139~152
辛德胜, 申铨国. 微机在光电技术中的应用 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1993. 139~152