

绿光半导体激光器单管合束及光纤耦合技术研究

赵霞焱

(山东华光光子股份有限公司, 山东 济南 250101)

摘要: 近年来, 随着我国经济的高速发展和科技的进步, 光电器件与材料相关领域的研发不断取得新进展, 性能得到明显强化, 在各大领域得到广泛应用。为进一步提高半导体激光功率, 可以采用激光器单管合束及光纤耦合技术。基于此, 分析研究绿光半导体激光器单管合束及光纤耦合技术, 对提高仪器总功率以及将其应用于更多领域有重要的现实意义。

关键词: 绿光半导体激光器; 单管合束; 光纤耦合

中图分类号: TN248

文献标识码: A

文章编号: 1674-1064 (2022) 04-225-03

DOI: 10.12310/j.issn.1674-1064.2022.04.076

利用合束技术可以使多个半导体激光器在光纤中进行耦合, 由此形成半导体激光器的光学器件, 保证激光的输出功率, 提高激光束的质量。目前, 国内外已广泛使用多种红外波段的半导体激光器, 广泛用于彩色显示、激光印刷、高密度光盘存储等领域, 但目前对于可见光波段激光耦合模块尤其是绿光波段的研究还很少, 因此, 对绿光高功率半导体激光器光纤耦合模块进行深入研究, 是当前光电器件与材料相关领域研发重点之一。

1 半导体激光器光纤耦合模块研究

半导体激光器技术已经相对成熟, 由于其具有光束不均匀性、单元功率低等特点, 在一定程度上限制其应用领域。为保证半导体激光器的功率输出, 需要对激光器进行多层叠加, 这会一定程度上限制光束质量。随着半导体耦合技术的不断发展和进步, 通过使用半导体激光器进行合束, 可以有效提升光束的质量, 实现激光远距离柔性传输。

最早的光纤是20世纪50年代研制出来的, 后来被人们逐渐推广使用^[1]。在20世纪70年代, 就有国外公司利用化学气相沉积法得到了损耗较低的光纤, 随着半导体激光器的迅速发展和光纤耦合技术的发展, 人们对不同类型的半导体激光器进行了大量的研究, 并取得了大量的成果。

2 半导体激光器的工作原理

2.1 工作原理

半导体激光器的工作原理和其他激光器一样, 都是借助半导体中的电子跃迁而产生的光子受激, 这是激光辐射的基础原理。

在实际应用中, 激光器利用半导体作为电流源, 将电流注入到材料中, 会引起电子的跃迁, 并在半导体中形成两个晶体的天然解理表面, 即法布里-共振腔。光子受到激光辐

射作用后, 会在腔体中产生振动, 最后达到临界点, 从而达到激光输出的目的。为了适应各种应用的需要, 半导体激光器的种类繁多, 其中最基础的是双异质激光器和量子阱激光器。与此同时, 在基础结构应用基础上选择性能更佳的激光器, 可以满足更高层次的应用需求。

半导体激光器结构如图1所示。

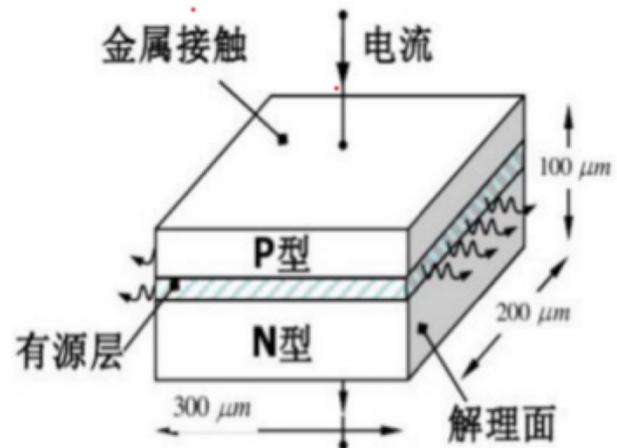


图1 半导体激光器结构

2.2 表面发射激光器的种类及结构

表面发射半导体激光器有很多种, 其中最常用的就是垂直腔面发射激光。分布式布拉格反射器主要由交替高折射率介质材料与低折射率介质材料两种材料交替组成的周期结构, 它是由多个在 DBR之间的有源区构成的。通过在反射层上增加 DBR光反馈, 可以使基板的输出部分从顶面直接输出。

表面发射激光器价格相对便宜, 集成化程度高, 电流阈值低, 圆形输出光斑容易耦合, 在通信领域中的应用相对较多。与边发射激光器相比, 表面发射激光器由于采用了圆对称结构, 导致横向模式不够稳定, 极低的光子单程会在一定程度上限制输出功率, 这些都在一定程度上影响了该技术的发展。

表面发射激光器结构如图2所示。

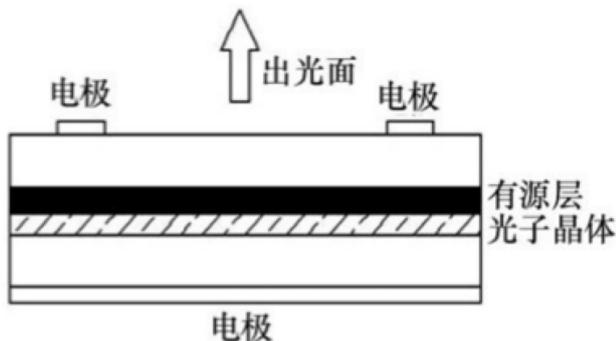


图2 表面发射激光器结构

2.3 半导体激光束的光束特性

半导体光场的分布特征主要有近场和远场两种。在光束出射面距离比较近的情况下，其呈现出波长数量级的光束特性，被称为近场分布特性。电磁波传播到远处之后的场（分布）则被称为远场分布特性。

目前所用的大功率半导体激光器均为量子阱。半导体激光器的源层结构很细，可以在一定程度上改善光束模式，并将阈值电流密度降低到合理的区间范围。由于半导体源层本身的性质，其最直观的特征是：光束在慢轴方向上有变化，快轴具有更大的发射角，通常集中在 32° ，慢轴的发射角相对较小，通常集中在 8° ，直接导致光束光斑呈现为椭圆形状。

在实际应用中，半导体激光器的远场分布特点是其主要的实现方式。一般来说，由于快轴方向的光束质量与衍射极限相近，所以在理论上，它的模型是以高斯光束为标准的。慢轴方向的发射角小且光束大，理论模型也定义为高斯光束，在描述光场分布方面一般解释为厄米—高斯光束模式^[2]。

3 半导体激光器非相干合束技术

目前，半导体激光器的合束技术方法有两种：相干合束和非相干合束。半导体激光器利用光束准直技术和聚焦耦合技术，使多个光束单元的耦合成为可能。

在相干合束技术的应用中，采用了相位控制方法，使激光阵列各发光元件产生同一波长的光束，从而达到相干合束。相干合束技术比较烦琐，对环境温度较为敏感，在各种大功率激光器应用推广难度相对较大。一般来说，非相干合束是采用空间合束、波长合束、偏振合束三种方式，在大功率激光器合束中都会使用这些技术，可以用合束方法提高光束的功率而使光束质量保持不变。与相干的合束比较，非相干合束的参数设置相对较低，操作更加简单，应用范围非常广泛。

在光谱合束技术和相干合束中，使用了激光阵列合束技术。在实际使用中，许多半导体激光器都是利用光束的远场特性来完成的。该方法的理论模型是以基膜高斯光束为基础，在快轴方向上的光束质量与衍射极限相符合。在慢轴上，它的人射角很小，但是它的光束很大，所以它的理论模型是定义为高斯光束。

一般来说，半导体激光束的光场分布可以利用厄米—高斯光束模型来描述。因为半导体激光器的波导结构较为复杂，其快慢轴除了光点尺寸和发散角度不同外，还出现了较为严重的像散现象。由于像散的影响，在远场下，半导体激光光束的快慢轴束腰分布不一致，使快慢轴的光束同心度很难得到保证。在实际的光学设计中，可以采用单透镜，使快慢轴束腰位置一致。所以，在进行光学系统设计时，应采用多个镜头的组合来减小光像差，以提高耦合效率和输出功率。

半导体激光器光束远场特性如图3所示。

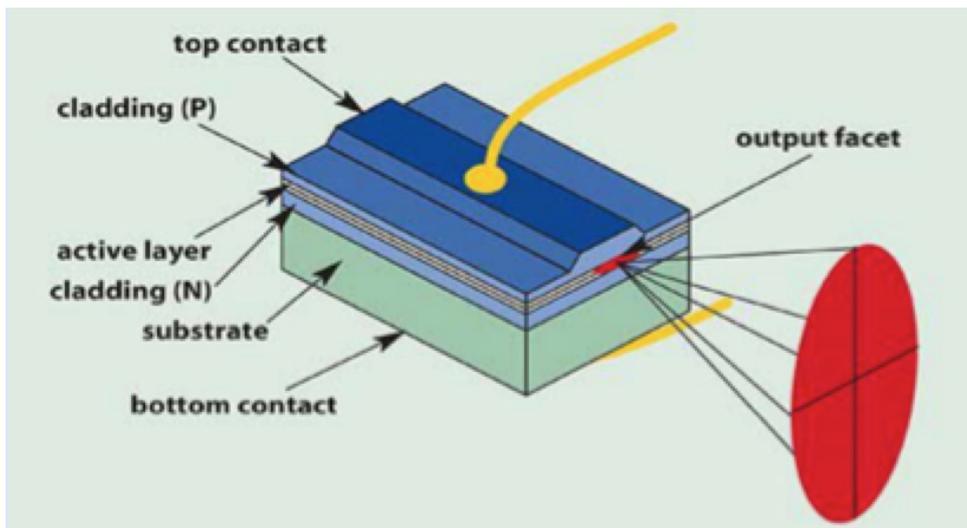


图3 半导体激光器光束远场特性

4 光纤耦合理论

4.1 光纤耦合器

光纤耦合器是在光纤之间能灵活拆卸（活动）的器件，它将光纤两端紧紧地贴合在一起，以最大程度地将发出的光能与接收纤维相连，并接入光纤链路，由此减少了对系统的影响。波导光纤耦合器通常采用Y形分支结构，其输出的光信号可以用Y形支路进行等分。由于耦合器支路的开角越大，漏入薄层的光就越多，过剩损耗也就越大，因此，波导耦合器的开角通常在 30° 以下，长度也不能过短。

4.2 光导纤维

光导纤维也叫光纤，它是一种以玻璃和塑料为材料的纤维，传输主要依靠内部的全反射原理。光导纤维的核心是一种高折射率的玻璃，它的表面是一层薄的、低折射率的玻璃或塑料。

根据光纤折射率变化，可以分为渐变光纤和突变光纤。根据传输模式的不同，可以分为单模光纤和多模光纤。单模光纤和多模光纤的光纤传播模式差别较大，单模光纤的光芯直径比多模光纤要小，因此在光纤激光器中得到了广泛的应用。由于高功率半导体激光器的光束品质较差，因此在光斑较大时，通常采用多模式光纤。

4.3 光纤的芯径和数值孔径

在光纤耦合试验中，光纤芯径和数值孔径一直是研究的重点。为了使光纤能达到耦合输出，光束通过聚焦后的最小光斑应当比光纤的中心直径要小。不同的数值孔径光纤，其可接受的光束角度也不尽相同，要保证光束耦合进入光纤的入射角比光纤的接收角要小，可以有效地实现光束耦合的输出。

4.4 几何光学耦合理论与波动光学耦合理论

从本质上讲，几何光学耦合是一种典型的光学理论。为了达到光束耦合的目的，必须使光束的反射角达到完全反射的相关要求，而光纤的芯径必须比光斑的最大直径大。光斑的发散角度要小于光纤的最大接收角度，为使光斑和光纤的参量相匹配，光斑的参量乘积BPP要小于光纤的参量乘积。

波光耦合论是研究光束传输的模式匹配问题，一般应用于单模光纤的传输。波光耦合和几何光耦合均有其自身的特性，若将波动光学传输理论应用于单模光纤，从理论上来看会具有较高的计算难度，所以一般是采用光学理论展开研究。在光纤耦合实验中，为提高耦合输出效率，必须尽可能

地使激光光束与光纤模场保持一致^[3]。

5 绿光单管半导体激光器光纤耦合模块光机设计

随着半导体激光器技术的发展，单管激光器的功率不断提高，采用光纤耦合技术来提高激光器的输出功率已成为目前普遍采用的技术手段。

为了光纤耦合输出达到高功率标准，必须保证半导体激光器的数目合理，使其输出光纤的直径不断增大，直至数倍，但这样可能会降低半导体激光输出光束质量。为了使半导体激光器的光耦合效率得到一定的改善，可以采用直接使用绿光单管作为光源，采用Zemax的光学软件直接设计实现了绿光半导体激光光纤耦合模块。利用Solidworks的机械设计软件，根据已有的技术条件，对光纤耦合组件进行结构设计。

绿光单管的光纤耦合半导体激光器模块光机设计采用Zemax光学设计软件，光源直接用了40个输出功率为1瓦的绿光TO单管，以快慢轴准直、光束分隔重排、空间合束、偏振合束以及光纤耦合技术为技术基础，调整为200微米的光束耦合进入直径、0.22孔径的光纤，理论模拟具备36.5瓦的输出功率，提高耦合效率到98%。利用Zemax光学设计软件实现了对光纤耦合组件的跟踪，获得了聚焦点的光斑。

6 结语

随着我国经济的快速发展和科学技术的飞速进步，在光电器件及材料方面的研究工作也在不断地取得新的发展。为了解决传统激光技术在实际应用中所遇到的问题，需要加大绿光半导体激光器的单管合束和光纤耦合技术研究，以提高其整体功率，推动技术发展并广泛应用于更多领域。

参考文献

- [1] 刘力宁,高欣,张晓磊,等.高亮度大功率半导体激光器光纤耦合模块[J].发光学报,2018(2):196-201.
- [2] 张金胜,刘晓莉,崔锦江,等.高峰值功率808nm垂直腔面发射激光器阵列[J].发光学报,2014(9):1098-1103.
- [3] 胡黎明,朱洪波,王立军.高亮度半导体激光器泵浦光纤耦合模块[J].红外与激光工程,2013(2):361-365.