

·光电系统与amp;设计·

半导体激光器在光孤子通信中的应用

尹庆林¹, 王 玲¹, 徐大伟²

(1. 东北电子技术研究所, 辽宁 锦州 121000; 2. 海军驻锦州地区军事代表室, 辽宁 锦州 121000)

摘要:分析了光纤通信中光源的特性. 从光的相干性开始, 对发光二极管(LED)和半导体激光器(LD)的原理、结构、性能和耦合效率进行对比, 得出半导体激光器的特点, 发现半导体激光器更适合于大容量、长距离传输的光通信系统. 半导体激光器在新一代光纤通信系统——光孤子通信系统中, 无论是作为光孤子光源还是 EDFA 的泵浦源, 都发挥着重要的作用. 未来半导体激光器将发挥着更重要的作用.

关键词:光纤通信; 光源; LED; 半导体激光器; 谐振腔; 光孤子; DFB 半导体激光器; EDFA

中图分类号: TN248; O572. 31

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)02-0018-03

Application of Laser Diode in Optical Soliton Communications

YIN Qing-lin¹, WANG Ling¹, XU Da-wei²

(1 Northeast Research Institute of Electronics Technology, Jinzhou 121000, China;

2 Navy Representative Bureau in Jinzhou, Jinzhou 121000, China)

Abstract: The characteristics of the light source in fiber optic communications were analyzed. According to the coherence of light, the principle, structure, performance and coupling efficiency of the light-emitting diode (LED) and laser diode(LD) were compared, so that the characteristics of laser diode were obtained, and that laser diode was found to adapt to the fiber optic communications with large capability and long-distance transmission. In the new-generation optical soliton communications system, whether as a light source of optical soliton or a pumping source of EDFA, laser diode exerts very important function. The Laser diode exerts more important effect in future.

Key words: fiber optic communications; light source; light-emitting diode (LED); laser diodes (LD); optical soliton; EDFA

光纤通信具有容量大、损耗低、抗电磁干扰能力强、尺寸小、质量轻、节约有色金属等优点, 是现代通信中的主要手段之一. 光源是把电信号变换到光信号的器件, 在光纤通信中占有重要的地位^[1].

1 半导体激光器及发光二极管特性分析

1.1 光的相干性

脉冲展宽会降低光纤通信系统的带宽和数据容

量, 由材料色散引起的脉冲展宽可通过使用相干性更好的光源来降低. 光源的线宽越窄, 其相干性就越好, 理想的相干光源是单色的, 线宽为 0. 而实际的光源在一个特定的波长范围发光, YAG 激光器和氦氖激光器虽然线宽很小, 但是由于光纤通信中对小尺寸和小功率的要求, 使得发光二极管(LED)和半导体激光器(LD)成为最常用的光源. 几种典型光源的线宽为: (1) 发光二极管(LED): 20~100 nm; (2) 半导体激光器(LD): 1~5 nm; (3) Nd: YAG 激光

收稿日期: 2010-02-11

作者简介: 尹庆林(1981-), 男, 辽宁锦州人, 助理工程师, 研究方向为通信技术; 王玲(1983-), 女, 辽宁大连人, 助理工程师, 研究方向为通信技术; 徐大伟(1969-), 男, 辽宁鞍山人, 高工, 从事电子工程技术研究.

器:0.1 nm;(4)氦氖激光器:0.002 nm.

LED是自发辐射复合发光,是处于高能级的粒子在没有外来光子的影响下,自发跃迁到低能级而发出一个光子,发出光子的频率、振动方向、传播方向以及相位都不相同,所以发出的光是荧光,是不相干的.而半导体激光器是受激辐射复合而发光,是处于高能级的粒子在外来光子的影响下,跃迁到低能级,辐射出一个和外来光子特性完全相同的光子,因此产生的是相干光.

在一般情况下自发辐射的概率比受激辐射的概率大得多,这样产生的都是非相干光,因此要产生相干光必须提高受激辐射的概率,可以使用光学谐振腔.半导体激光器具有光学谐振腔,使产生的光子在腔内振荡放大,而LED没有谐振腔.

谐振腔是光波在其中来回反射从而提供光能反馈的空腔,通常由2块与工作介质轴线垂直的平面或凹球面反射镜构成.谐振腔的作用是选择频率一定,方向一致的光做最优先的放大.为了产生稳定的驻波场,谐振腔的长度必须是半波长的整数倍^[2].

1.2 阈值特性

LED没有阈值特性,只需要输入很小的电流就能发光,LED发射的光功率与正向的驱动电流呈线性关系.

与LED不同,半导体激光器产生受激辐射之前,输入功率必须超过一定的阈值.在阈值电流以下,随驱动电流的增加输出光功率也非常缓慢的增加.超过阈值电流,电压增加一点就会使电流到达预定的工作点.对于大多数激光器,阈值电流在5~250 mA之间.为了避免半导体变得过热,半导体激光器的阈值电流必须很小,对于连续工作和高峰值功率工作时更要特别注意,工作电流一般在阈值电流以上20~40 mA.

可以通过增加晶体的掺杂浓度,或者增大谐振腔的反射率来降低阈值,阈值还和半导体材料结型有关,异质结阈值电流比同质结低得多,双异质结比单异质结低得多.现在已用双异质结制成在室温下能连续输出几十毫瓦的半导体激光器.

1.3 与光纤的耦合特性

一般,光源亮度的角分布可表示为

$$B(\theta) = B_0(\cos\theta)^m, \theta < \theta_{\max} \quad (1)$$

式中, θ_{\max} 是离开光发射法线的最大角,由光源的几

何形状决定.如图1为一个 $m=1$ (典型LED)和另一个 $m=20$ (典型半导体激光器)在极坐标系中的辐射特性.

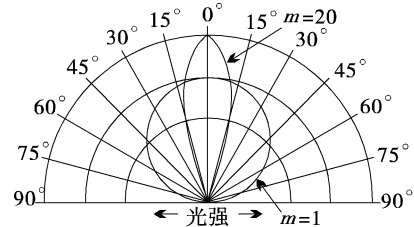


图1 LED和半导体激光器发光特性的极坐标分布

耦合到光纤中的光能依赖于光纤的数值孔径(NA),光纤仅能接收被光纤的数值孔径和芯径所限定的光锥内的那些光线.数值孔径是光纤能接收光辐射角度范围的参数,同时它也是表征光纤和光源、光检测器及其他光纤耦合时的耦合效率的重要参数^[3].

图2所显示的是发散特性不同光源的耦合损耗随光纤的数值孔径变化的情况,由图2可知,在使用相同自聚焦透镜和光纤(数值孔径 >0.25)的情况下,半导体激光器($m=20$)的耦合损耗要比LED($m=1$)的小很多(约10 dB).

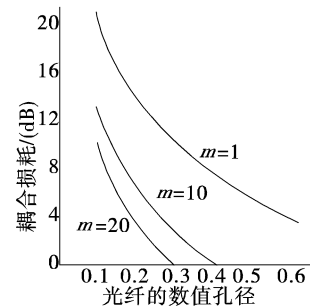


图2 不同 m 值下,光纤的耦合损耗随光纤的数值孔径变化的曲线

另外,半导体激光器比LED的响应速度快得多,辐射范围也远小于LED,使得更容易与光纤耦合.通过以上主要区别的对比,发现半导体激光器虽然有阈值特性,但是相比LED,具有更窄的输出频谱、更好的耦合效率,另外,还有更好的调制速率和响应时间等,因此,半导体激光器适用于长距离、大容量的传输系统^[4].在新一代光纤通信系统——光孤子通信系统中,半导体激光器发挥着关键的作用.

2 半导体激光器在光孤子通信中的作用

在光纤通信中,限制传输距离和传输容量的主

要原因是损耗和色散,损耗使光信号在传输时能量不断减弱,目前,在 1 550 nm 波长处,光纤损耗已达到 0.18 dB/km,已接近理论极限值 0.1 dB/km,因此,光纤损耗方面已无太大潜力可控^[5].光的色散

使光脉冲在传输中逐渐展宽,所以色散便是线性光纤通信系统继续提高的主要阻力.在光孤子通信系统中,这一难题得到了解决.光孤子通信系统的组成如图 3 所示.

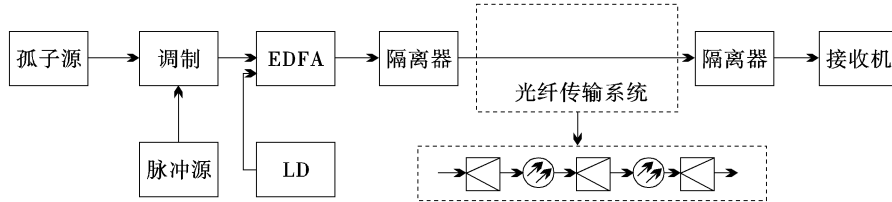


图 3 光孤子通信系统的组成

光孤子(soliton)是能在光纤中传播的长时间保持形态、幅度和速度不变的光脉冲.利用光孤子这一特性可以实现超长距离、超大容量的光通信^[6].光孤子理论的出现,对于现代通信技术的发展起到了重要的作用.因为现代通信技术的发展一直朝着 2 个方向努力,一是大容量传输,二是长距离传输.光孤子是理想的光脉冲,因为它很窄,这样,就可使邻近光脉冲间隔很小而不至于发生脉冲重叠,产生干扰.实现超高速光孤子通信的关键是光孤子源和光传输中的能量补偿.

2.1 光孤子源

光孤子源是实现超高速光孤子通信的基础,根据理论分析,只有当输出的光脉冲是严格的双曲正割形,且振幅满足一定条件时,光孤子才能在光纤中稳定传输^[7].为了能直接产生具有双曲正割形式的基阶光孤子、保持光孤子有效传播而不产生畸变,产生光孤子源的激光器必须有足够的光功率,且谱线宽度要尽可能的窄,波长是可调的,最好在光纤的低损耗窗口,1 550 nm 左右的波长损耗最小.

光孤子的产生方法有多种,如早期的色心激光器、调制不稳定激光器、光纤 Raman(拉曼)孤子激光器与受激参量孤子激光器及多级压缩孤子激光器等.

半导体激光器具有体积小、重复频率高,输出光脉冲是高斯形的,且功率较小,但经光纤放大器(典型的掺铒光纤放大器)放大后,可获得足以形成光孤子传输的峰值功率.理论和实验均已证明光孤子传输对波形要求并不严格.高斯光脉冲在色散光纤中传输时,由于非线性自相位调制与色散效应共同作用,光脉冲中心部分可逐渐演化为双曲正割形.因此现在的光孤子通信试验系统大多采用 DFB 半导体

激光器或锁模半导体激光器作光孤子源.

DFB 半导体激光器具有光栅结构,所以有很多独特的性质.DFB 半导体激光器比一般的半导体激光器有更好的温度特性(好 3~5 倍)、更窄的线宽特性(典型值 0.1~0.2 nm)和更好的线性响应,并且输出中心波长在 1 550 nm 附近,因而它是目前光孤子传输系统中重要的光源.简单的对 DFB 半导体激光器的调谐,可以通过改变温度和电流.DFB 半导体激光器温度与波长漂移的关系为 0.1 nm/°C,电流与波长偏移的关系为 0.01 nm/mA.

锁模半导体激光器产生的脉冲波形较好且频率啁啾成分较低,但结构复杂,稳定性差,集成锁模半导体激光器是一种较好的孤子源产生方案.

目前,英国和德国的物理学家联合研制了一种通过外部激光脉冲开关的半导体激光器,这种半导体激光器称为“空穴孤子激光器”,它是基于垂直腔面发射二极管激光器(VCSEL)建立的.目前,该器件可发射波长为 980 nm 的近红外激光,要实现光通信需要的运转波长要大于 1.2 μm,从原理上来说没有任何障碍.他们正致力于器件的微型化,将整个器件集成在单个芯片上^[8].

2.2 传输中的能量补偿

理想的孤子可无失真地远距离传输,但实际上光纤中是存在光损耗的,这些损耗虽然不改变孤子形状,但却降低了孤子的脉冲幅度,导致脉冲最终失去孤子的特性.因此补偿这些损耗成为光孤子传输的关键技术之一.

掺铒光纤放大器(EDFA)是一种高效率的光放大器,具有高增益、宽带宽(超过 30 nm)、低噪声以及放大的波长范围正好是在光纤的最低损耗窗口等

(下转第 24 页)

如表 4 所示的支撑模型在自重载荷下的镜面变形值.从表 4 中可以看出,3 点支撑时无法满足设计要求,这并不与上面根据(hall)经验公式计算的最小支撑点数矛盾,因为此经验公式是用于有均匀厚度或几乎是均匀厚度的反射镜,而文中研究的反射镜镜面是球面,边缘和中心厚度差为 12.5 mm.

支撑点数在 9 点或大于 9 点时可以满足初始镜面面型精度要求.当支撑点数由 9 点变为 18 点时, PV 值及 RMS 值有明显的改善;当支撑点数由 18 点增加到 24 点时 RMS 值有小幅的增加, PV 值下降幅度变小;而当支撑点数继续增加至 27 点时 PV 值变小, RMS 值却出现增大.分析造成这一结果的主要原因是当支撑点数不断增加时,由于孔过于密集而导致了模型质量的减小和整体刚度的下降.

在支撑点选取时主要考虑以下几点:(1)支撑点越多,加工成本就越大,工艺性也越复杂,故不选用 27 点支撑;(2)支撑点过多会带来反射镜刚度的下

降,例如 24 点支撑时镜面 PV 值低于 18 点支撑;(3)文中只给出了自重作用下的镜面变形而实际应用时条件要复杂得多.故该设计最终确定选取了 18 点支撑,既充分满足了镜面变形和刚度的要求,工艺性也较好.

参考文献

- [1] 陈永聪.基于有限元法的大口径平行光管主反射镜支撑技术研究[D].中国优秀学位论文全文数据库,2007:3-7.
- [2] 廖知春.平行光管反射镜的支撑结构[J].航天返回与遥感,2003,24(1):19-23.
- [3] YODER P. Opto-Mechanical System Design[M]. Cooperate Marcel Dekker Inc,1993:505-506.
- [4] 博弈创作室. APDL 参数化有限元分析技术及其应用实例[M].北京:中国水利水电出版社,2004:149-154.

(上接第 20 页)

优点.通过 EDFA 给孤子补充能量,孤子即自动整形.为解决传输线路中光纤损耗引起的光孤子减弱问题,可以增加若干个 EDFA,以补偿光脉冲能量损失,从而可进行全光中继,不再需要像常规光纤通信系统那样在中继站进行光—电—光的转换,可以实现全光传输.

如图 3 所示,在 EDFA 中,可以采用 LD 作为泵浦源.EDFA 利用 LD 泵浦石英光纤中掺铒离子(E^{3+})的受激辐射来实现对 1 550 nm 波段光信号的放大.它有很宽的频带,一般在 1 530~1 565 nm.EDFA 的泵浦源有 2 种,即 980 nm 和 1 480 nm.980 nm 泵浦源可以保持较低的噪声系数,1 480 nm 的泵浦源具有更高的泵浦效率,可以获得较大的输出功率^[9].

3 结 束 语

光孤子通信是一种充满活力的先进的通信方案,它的超长距离传输、超高码速率的通信潜力,是同轴电缆通信和线性光纤通信无法比拟的,由此决定了它必将成为未来高速率、长距离通信的主体^[10].半导体激光器和 EDFA 在光孤子通信试验系统中的成功应用,拉开了光孤子通信走向实用化的

序幕.半导体激光器无论是作为光源,还是作为 EDFA 的泵浦源,在光孤子通信中都发挥着关键的作用.可以预见,未来半导体激光器将发挥着越来越重要的作用.

参考文献

- [1] 汪杰君.光纤通信系统中光发射机的设计[J].广西通信技术,2007(3):47-50.
- [2] Joseph C Palais,光纤通信[M].5 版.北京:电子工业出版社,2006:63.
- [3] 赵小兰.光斑光强渐变测量通信光纤数值孔径[J].红外与激光工程,2006(S2):132-134.
- [4] 张卫钢.通信原理与通信技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003:278.
- [5] 何淑贞.国内外通信的发展趋势[J].卫星电视与宽带多媒体,2007(2):32.
- [6] 郭妮.浅谈光纤通信发展的三个方向[J].科技信息(科学教研),2008(7):226.
- [7] 桂厚义.光孤子通信及其展望[J].网络通信,2005(3):18-20.
- [8] 江兴.新型孤子半导体激光器[J].半导体信息,2008(3):36.
- [9] 王志斌,李志全.光孤子传输演化的分步傅里叶法研究[J].应用光学,2007(1):82-85.
- [10] 代红英,汪仲清.光纤孤立子与光孤子通信[J].重庆邮电学院学报,2004(6):77-80.