

光纤陀螺系统用的半导体光源的进展

廖光炳

(重庆光电研究所)

摘要: 评述了光纤陀螺系统用的半导体光源的进展情况。同时, 讨论了光纤陀螺系统对光源的要求以及达到这些要求的方法。

The progress of semiconductor light sources used in optical fiber gyroscope systems

Liao Xianbing

(Chongqing Institute of Optoelectronics)

Abstract, Progress of semiconductor light sources used in optical fiber gyroscope systems is described. Requirements for light sources of optical fiber gyroscope systems and methods of meeting these requirements are discussed.

一、光纤陀螺对光源的要求

光纤陀螺是本世纪70年代中后期出现的一种新型光学陀螺, 它是一种被动型角速率传感器。这种光纤陀螺具有耐震动、耐冲击、高灵敏度、小体积及低成本等优点, 在航空、航海、宇航及空中运载器等领域有着广阔前景, 特别是在军事领域中有着与其它陀螺竞争的优势。然而光纤陀螺的发展受到光纤中产生的噪声的妨碍, 现有能实用水平的光纤陀螺的灵敏度比期望的 $10^{-3}^{\circ}/h$ 灵敏度还差一段距离。尽管已报导过用1.56km的低损耗光纤和功率为2mW的 $0.6330\mu m$ 的He-Ne激光器获得 $0.0078^{\circ}/h$ 的最小可探测角速度, 但是, 这是在散粒噪声极限下的理论计算结果。实际上, 由于光纤中光的偏振状况、两路光的光程差、光纤中的瑞利后向散射、光纤的法拉第效应和克尔效应以及光源的输出波动都会产生噪声干扰。实验研究表明, 光纤陀螺中的噪声的主要根源, 主要是由于光纤中光的瑞利后向散射的瞬时波动所造成^[1~2], 这是因为光在光纤中传播时, 因为光纤结构的不均匀引起瑞利后向散射, 当光源具有良好的相干性时, 会使瑞利散射光与信号光产生干涉, 引起输出的漂移, 造成所谓的瑞利噪声。为减少这种瑞利噪声, 一般采用弱相干光源或非相干光源作为光纤陀螺系统的光源。早期的光纤陀螺所用的光源是相干性极好的 6330 \AA He-Ne激光器, 后期研究的光纤陀螺

系统多采用短相干长度的半导体弱相干或非相干光源，这不仅大大地减少了光纤陀螺的体积和复杂程度，而且还大大地提高系统的寿命和可靠性。一个光源的相干性可用下式表示：

$$L_{c.o.h} = \lambda^2 / \Delta\lambda$$

式中， $L_{c.o.h}$ 是光源的相干长度， λ 是光源的波长， $\Delta\lambda$ 是光源的光谱线宽。以6330 Å He-Ne单模稳频激光器和常规8500 Å AlGaAs双异质结面发光二极管（DH-LED）为例，说明两种光源的相干长度。前者的 $\Delta\lambda$ 为 10^{-7} Å量级，后者的典型 $\Delta\lambda$ 为300 Å，将 λ 和 $\Delta\lambda$ 代入公式计算，分别求得He-Ne光源的 $L_{c.o.h} = 4 \times 10^{10}$ μm，AlGaAs DH-LED的 $L_{c.o.h} = 24$ μm，两种光源的相干长度相差9个数量级之多。从相干长度对瑞利噪声的影响就可知，He-Ne激光器不适于作为光纤陀螺系统光源。就半导体光源而论，并非任意非相干半导体光源都能适用于光纤陀螺系统，都知道，光纤陀螺的光传输媒质是单模光纤，要获得光纤中的高功率传输，除光纤具有低的损耗外，还必须具备光源和单模光纤之间的高耦合效率。然而常规的正面0.85 μm AlGaAs DH-LED大的光发散角（约120°），与多模光纤之间的耦合效率也不过百分之几，能进入单模光纤中的光功率至多不过几个微瓦，这样小的光功率根本不能使用。如果采用边发光二极管（SLED），情况会好一些，但能进入单模光纤中的光功率也是有限的。最理想的光纤陀螺光源是半导体超辐射二极管（SRD），这种SRD具有类似于半导体激光二极管（LD）的构形和工作原理，所不同的只是采用一些特殊手段将腔激射抑制住。这种SRD可提供完全适宜于光纤陀螺所需要的高输出功率、低的发散角和短的相干长度。图1示出使用96m单模光纤和SRD及He-Ne光源所测得的瑞利后向散射信号的扫描波动曲线。从图1看出，在2.5Hz频率下，光纤中SRD的瑞利后向散射比He-Ne低10~15dB，同时也可看到用SRD光源，在单模光纤中的瑞利散射噪声被减少到探测器噪声电平以下。

二、光纤陀螺用SRD的现状

都知道，要获得高的输出光功率，需要很高的光增益，LD就具备这种条件，但LD是一种相干性好的光源，长的相干长度满足不了光纤陀螺系统的要求。所以能满足光纤陀螺需要的光源只能建立在LD构形基础上，关键问题如何抑制LD的激射。从已研究的结果表明，抑制激射的方法有下面几种：

- (a) 在LD的腔内设置光的吸收器^[8~4]；
- (b) 光输出面用抗反射(AR)涂层^[5~12]；
- (c) 端面成角度条形^[13]等。研究较为成熟的办法是采用腔内吸收器和正面AR涂层抑制激射。表1列出已发表的可用于光纤陀螺的SRD的性能。

从表1可以看出，SRD正朝着高输出功率、低发散角和短相干长度发展。从激射抑制手段已从单一吸收器或单一AR涂层过渡到二者的组合，LD的构形已从简单的DH结构向量子阱、隐埋异质结(BH)和多发射器阵列发展。除0.8 μm SRD外，已出现1.3 μm SRD。

三、SRD有关问题的讨论

1. 输出端面的模态反射率R

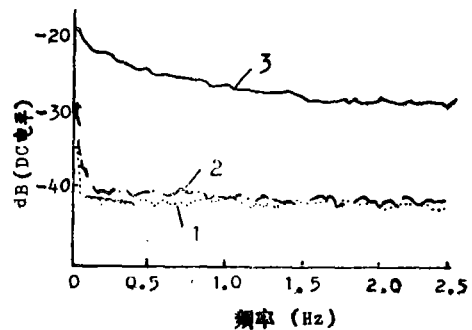


图1 SRD和He-Ne光源在单模光纤中的瑞利散射信号扫描波动曲线
1—探测器噪声 2—SRD 3—单模He-Ne光纤长度=96m

图2、3、4分别示出常规DHLD和SRD的示意端面构形、光谱分布和光输出-电流曲线。从图2可以看出，LD在端面进行AR涂复后，光谱呈现出大量模式光谱宽度增大，且光谱宽度随电流增加而减少。从图3可见，LD的L-I曲线有明显的转折点（即阈值），而SRD没有明显的L-I转折点。由于端面反射率减低，对同一输出光功率工作的SRD要比LD付出更高的绝对电流。

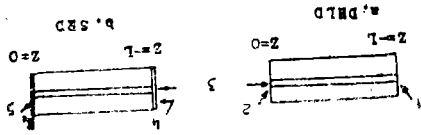


图2 DHLD和SRD 端面构形

1— R_2 解理面反射镜 2— R_1 解理面反射镜 3—有源区 4— R_2 反射镜(解理面或高R反射镜) 5—AR涂层

实现SRD工作的关键是在正端面上的AR膜。可用的AR膜有 Al_2O_3 、 Si_3N_4 、 SiO 、 SiO_2 、 ZrO_2 以及铅硅玻璃膜等，这些膜都具有可行的淀积条件，而且通过仔细控制淀积条件能容易地控制端面的模态反射率 R 。从理论上讲，要实现真正没有振荡的有效超辐射增益，要求正端面的模态反射率 R 应小于 $10^{-2}\%$ 〔7〕。实验也证明了这一点，在用 ZrO_2 膜作AR膜的 $AlGaAs$ SRD中，当端面的 $R < 0.01\%$ 时，实现了抑制高达3倍初始阈值的脉冲电流的激射作用，尽管器件的后端面用高反射率涂层〔7〕。

2. 吸收器抑制激射和AR涂层抑制激射的比较

图5示出带有非泵浦区吸收器的 $AlGaAs$ SRD结构示意图。未泵浦区实质上是个光的吸收器，它吸收反向波达到抑制激射的目的。这种吸收的结果导致器件的单通增益。这种单

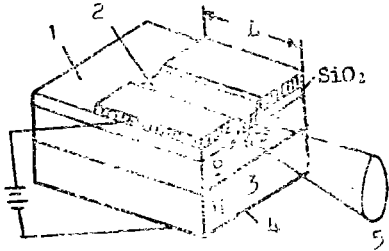


图5 带有吸收区的SRD

1—未泵浦区 2—条形金属接触 3—解理面 4—Sn-Ni接触 5—非相干输出

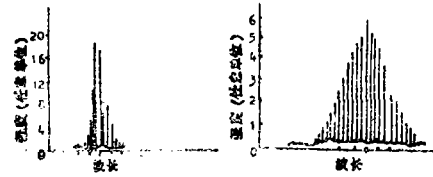


图3 DHLD和SRD的光谱分布

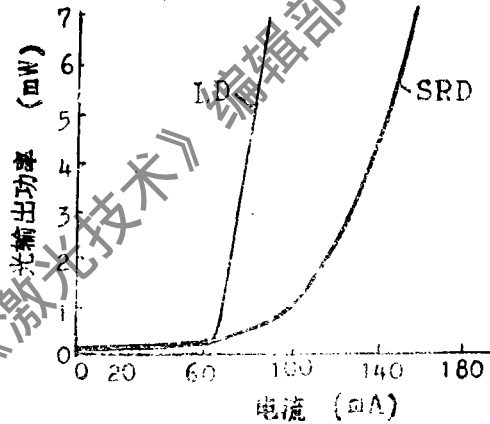


图4 DHLD和SRD的L-I曲线

通增益比例于 $(e^{\beta L} - 1) / \beta$ (β 是取决于泵浦电流的增益系数， L 是条长度)，这种结构有利于低阶模式，呈现出较窄的光谱宽度 ($< 100 \text{ \AA}$) 和较高的光纤耦合效率。从制作工艺复杂程度看，这种带有吸收器的SRD要比制作高质量AR涂层SRD更简单，但不可取的是它呈现出较长的 $L_{g,th}$ ，这是光纤陀螺所不需要的。尽管AR涂层SRD在制作工艺上要复杂些，但它对抑制激射是可取的。

吸收器SRD和AR SRD的远场图案和温度特性基本是一样的。到目前为止,最理想的SRD结构是N.S.K.Kmong等人^[14]提出的窗口隐埋异质结AlGaAs SRD,这种SRD的结构如图6所示。这种SRD采用了BH结构来提供优异的电流限制,使之在低达50mA驱动电流下能获得高达14mW的超辐射光功率,并提供稳定的单横模工作。此外,为了有效防止灾变损伤,在靠近正输出端面形成一个由未掺杂的AlGaAs层构成的透明窗口,之后再在端面上镀以AR涂层使有源区的反馈减至最低,在后端面上设置未泵浦的吸收区。用这种AR涂层和吸收器的共同作用来实现有效的激射抑制。这种结构的SRD不仅有低于45 μm 的相干长度,而且还具有小的束发散($20\times 40^\circ$)和稳定的横模。

3.光源波长对光纤陀螺性能的影响

从相干长度公式可见,要获得较短的 L_{coh} ,除要求有较大的 $\Delta\lambda$ 外,还希望波长尽量短些。目前已研究的AlGaAs SRD和InGaAsP SRD的激射波长分别为0.8~0.85 μm 和1.3 μm 。在相同 $\Delta\lambda$ 前提下,采用AlGaAs SRD更为有利。但是1.3 μm SRD较之AlGaAs SRD有更长的寿命和更低的光纤传输损耗。

从L-I曲线与温度的依赖性看,一致的结论是AlGaAs SRD较之InGaAsP SRD具有更加稳定的L-I温度依赖性,因为在温度 T 时,恒定光输出所需的电流可写成 $I(T)\sim I_0\exp(T/T_2)$,而AlGaAs SRD的 T_2 (约120K)比InGaAsP SRD的 T_2 要大。综上所述,一致的结论是在光纤陀螺中采用AlGaAs SRD更为有利。

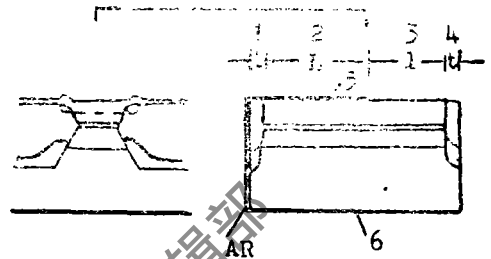


图6 窗口BH AlGaAs SRD结构示意图
1、4—窗口 2—泵浦区 3—吸收器 5、6—电极 ($L=250\mu\text{m}$, $l=200\mu\text{m}$, $t=5\mu\text{m}$)

四、结束语

光纤陀螺系统对光源的要求主要有三点,即短的相干长度、高的输出功率和低的束发散角。采用半导体SRD是可满足光纤陀螺的要求的。这种SRD是建立在激光器构形基础上,采用腔内吸收器或AR涂层和二者的结合达到对激射的抑制作用。通过BH结构和有效的激射抑制的SRD,是完全可满足光纤陀螺的要求的。

参 考 文 献

- [1] Opt.Lett., 1980, Vol.5, No.11, P.488.
- [2] Opt.Lett., 1981, Vol.6, No.2, P.64.
- [3] IEEE J.Q.E., 1973, Vol.QE-9, No.8, P.820.
- [4] A.P.L., 1982, Vol.47, No.7, P.587.
- [5] IEEE J.Q.E., 1983, Vol.19, No.4, P.496.
- [6] IEEE J.Q.E., 1983, Vol.19, No.1, P.78.
- [7] IEEE J.Q.E., 1983, Vol.19, No.4, P.493.
- [8] Appl.Opt., 1984, Vol.23, No.1, P.161.
- [9] A.P.L., 1985, Vol.47, No.5, P.450.

- (10) Electron.Lett., 1985, Vol.21, No.9, P.840.
 (11) A.P.L., 1985, Vol.47, No.3, P.195.
 (12) J.Lightwave Technology, 1986, Vol.4, No.9, P.1373.
 (13) 光纤通信会议, 日本, 1987年。
 (14) A.P.L., 1987, Vol.51, No.23, P.1879.

作者简介: 廖先炳, 男, 1940出生。高级工程师。现从事半导体激光器研究工作。

收稿日期: 1988年9月22日。

· 简 讯 ·

风冷重复频率激光测距机问世

西南技术物理研究所研制出了采用风冷的重复频率激光测距机, 该机可以克服水冷带来的许多缺点, 它可以取代采用水冷方式的重复频率激光测距机, 其操作简单, 性能稳定可靠和维修方便, 具有自检显示功能, 激光器无污染, 还具有计算机接口与火控系统联网等功能, 属国内首先推出的重复频率激光测距机的最佳产品。

主要性能指标如下:

在能见度大于15km时, 对目标反射率为0.2的 2×2 (m^2) 的目标

测程: 200~10000m

测距精度: $\leq \pm 5m$

重复频率: 1~10pps, 可由计算机同步束散角: 约2mrad

激光脉冲宽度: 约10ns

激光调Q方式: 被动式

激光器寿命: $> 10^6$ 次

激光器冷却: 强迫风冷

工作方式: 一般情况, 以10pps重复频率工作30s, 休息30s, 10个循环。应急情况, 以10pps重复频率工作30s, 休息5s,

3个循环

与计算机接口: 可采用二进制并行接口方式将距离数字量送火控计算机

各种检测指示: 发射指示, 回波指示, 回波监听, 复位指示, 多目标指示, 充电指示

体积: 主机450mm \times 180mm \times 230mm
 电器箱300 (长) \times 400 (宽) \times 250 (高) (mm^3)

重量: 主机15kg
 电器箱19.5kg

(邓崇俊 供稿)