

文章编号: 1672-8785(2007)09-0025-04

光纤通信中偏振光消光比测量方法的研究

赵素英, 王绪峦, 张宁伟, 刘霖, 叶玉堂

(电子科技大学光电信息学院, 四川成都 610054)

摘要: 本文对比了光纤通信系统中偏振光消光比特性参数的两种测量方法: 旋转偏振器测量法和庞加莱球测量法。旋转偏振器法是通过用高速旋转的起偏器获取所需光功率来实现消光比的直接测量的; 庞加莱球法则是根据偏振光的斯托克斯分量间接计算消光比的。前者的物理特性及原理直观, 易于操作, 但测量不稳定, 且对传输波长有一定依赖性; 后者物理特性相对抽象, 系统相对复杂, 但稳定性较高。

关键词: 偏振光; 消光比; 庞加莱球

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A

Polarization Extinction Ratio Measurement in Optical Communication Systems

ZHAO Su-ying, WANG Xu-luan, ZHANG Ning-wei, LIU Ling, YE Yu-tang

(School of Opto-electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Two methods for measuring the Polarization Extinction Ratio (PER) of polarized light in optical communication systems — Rotating Polarizer Method (RPM) and Poincare Sphere Method (PSM) are compared with each other. The RPM method directly measures the polarization extinction ratio by using a high-speed rotating polarizer to detect the required light power and the PSM method indirectly calculates the polarization extinction ratio according to the Stokes parameters of the polarized light. The former method is intuitionistic and easy to operate, but is not stable and has dependence on the wavelength. The latter method is relatively abstracted and complicated, but is more stable.

Key words: polarized light, polarization extinction ratio, poincare sphere

1 引言

光纤通信系统中的各种光学元器件(如放大器、滤波器、连接器等)对光信号的影响限制了光纤通信的传输速度(如脉冲展宽, 信号失真等)。其中一些由光学器件的偏振效应所导致, 即元器件对传输信号偏振态的影响。现在, 这种现象已受到了越来越多的人的重视。

在光纤通信领域内, 有一系列用来表征元器件偏振效应的参数, 如偏振度(DOP)、偏振损耗(PDL)、偏振增益(PDG)、偏振模式色散

(PMD)等。本文对偏振消光比(PER)特性及其测量方法进行了描述。消光比是用来表征偏振光耦合到各种元器件时的耦合质量的。在光纤通信系统中, 偏振光一般通过保偏光纤及连接器实现信号在元器件间的传输。所以, 大多数情况下, 消光比用来描述偏振光输入保偏光纤时的耦合质量。在耦合过程中, 少量的偏振光强不可避免地会出现在非入射轴向上, 这称为偏振交叉对话效应, 消光比就是用来对其进行量化的。消光比特性参数的测量方法有两种: 一是

收稿日期: 2007-03-27

作者简介: 赵素英(1982—), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 研究方向为光学工程。

常用的旋转偏振器法,即在偏振器旋转的同时,探测并记录偏振分量;二是庞加莱球法,该方法是通过分析描述偏振特性的斯托克斯参数推出消光比的。

2 平面光波的斯托克斯表征法及保偏光纤的消光比

2.1 平面光波及斯托克斯数学表征法

在光纤通信系统中,单色平面光波可通过电场矢量 \bar{E} 表征为两个垂直的偏振分量 E_x 、 E_y [1]:

$$\bar{E} = iE_x + iE_y \quad (1)$$

$$E_x(z, t) = E_{0x} \cos(\omega t - kz + \phi_x) \quad (2)$$

$$E_y(z, t) = E_{0y} \cos(\omega t - kz + \phi_y) \quad (3)$$

平面光波的偏振状态由两个分量的光强 E_{0x}^2 、 E_{0y}^2 及相位 ϕ_x 、 ϕ_y 间的相关性所决定,将式 (1) 和式 (2) 中的变量 t 消去,经运算可以得到平面光波偏振状态的表征式:

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - \frac{2E_x E_y \cos \phi}{E_{0x} E_{0y}} = \sin^2 \phi \quad (4)$$

式中, $I_0 \propto E_{0x}^2 + E_{0y}^2$ 为光波总能量, $\phi = \phi_y - \phi_x$ 为两个垂直分量间的相位差。

根据式 (4) 的物理意义,平面光波的偏振状态常被称为偏振椭圆 (SOP)。SOP 有很多描述方法,其中最直观的方法就是式 (2) 和式 (3),此方法的物理轨迹分布在一个复平面内。

另一种方法是斯托克斯参数 [2],由 4 个实数组成:

$$\begin{cases} S_0 = E_x^2 + E_y^2 = I_x + I_y = I_0 \\ S_1 = E_x^2 - E_y^2 = I_x - I_y \\ S_2 = 2E_x E_y \cos \phi = I_{45^\circ} - I_{-45^\circ} \\ S_3 = 2E_x E_y \sin \phi = I_{RCP} - I_{LCP} \end{cases} \quad (5)$$

式中, S_0 为光波强度, S_1 为两个垂直线偏振分量的光强差, S_2 为在 $+45^\circ$ 和 -45° 方向上线偏振分量的光强差, S_3 为左旋和右旋圆偏振分量的光强差。此方法证明,通过测量光强便可确定平面光波的偏振状态。

对于完全偏振光, $S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$, 通常将 S_0^2 归一化为 1, 即 $S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 = 1$ 。将 (S_1, S_2, S_3) 定为单位球的三个坐标轴,这个单位球称为庞加莱球 [3]。对于一束由光强度确定的完全偏振光,当其被耦合到各向异性介质中进行传输时,其偏振态会随 E_x 、 E_y 分量的强度及相位差发生连续性变化,在球面上形成一条封闭曲线。

球面上任意一点都表示一种偏振状态,赤道上的任意点代表不同振动方向的线偏振光,赤道上半部分的点代表右旋椭圆偏振光,下半部分代表左旋椭圆偏振光,南、北极点则分别代表左、右旋圆偏振光,如图 1 所示。

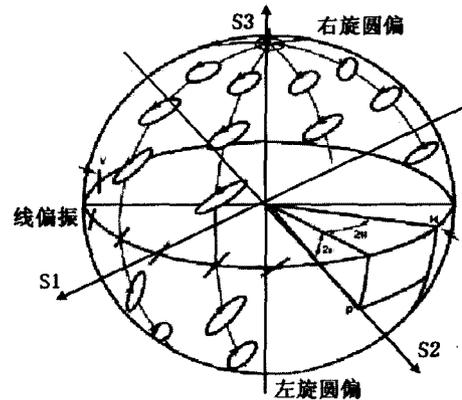


图 1 用庞加莱球表征偏振状态

2.2 保偏光纤及其消光比

普通的单模光纤,因本身固有的或外部环境引入的应力,存在随机分布的双折射现象。偏振光在单模光纤中传输时,由于相互垂直的两个偏振分量所对应的折射方向及折射率在传输方向上不稳定,传输光的瞬时偏振态会发生随机变化,其偏振特性无法确定。

保偏光纤是一种特殊加工的具有线性双折射特性的单模光纤,如图 2 所示。

理论上,线偏振光沿慢(快)轴入射到保偏光纤内,偏振状态在传输过程中不会发生改变。光束在耦合时会发生模式交叉,有少量光强出现在非入射光轴上。偏振消光比可用来量化其耦合质量,消光比越大,耦合质量就越好。消光

比定义为沿传输轴方向的光强与转化到其他传输轴方向的光强之比, 即:

$$PER(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{pass-axis}}{P_{crossed-axis}} \right) \quad (6)$$

$$= 10 \log_{10} \left(\frac{P_{slow}}{P_{fast}} \right) = -10 \log(\tan^2 \theta)$$

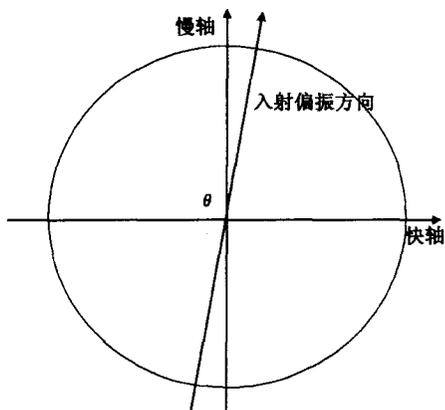


图 2 保偏光纤的线性双折射特性

3 两种消光比测量方法的原理及比较

3.1 旋转偏振器测量方法的原理

图 3 为旋转偏振器测量方法的原理图^[4], 线偏振光被耦合到保偏光纤的慢(快)轴, 聚焦的输出光通过高速旋转的线性起偏器。起偏器旋转 180°, 其起偏方向分别与慢、快轴重合一次, 探测器便可周期性地获取两个偏振分量:

$$P_{max} = P_{slow} \text{ 和 } P_{min} = P_{fast} .$$

此时, 耦合消光比可由下式得出:

$$PER(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{slow}}{P_{fast}} \right) \quad (7)$$

$$= 10 \log \left(\frac{P_{max}}{P_{min}} \right)$$

3.2 庞加莱球测量方法的原理

当线偏振光耦合到保偏光纤的慢(快)轴时, 耦合端面处会有少量光强出现在垂直的快(慢)轴上。保偏光纤的线性双折射性能使耦合后的快/慢轴向的光强分量 E_x 、 E_y 在传输过程中保持不变。相位差 ϕ 由传输光程差决定, 呈周期性变化^[5]。

由于 E_x 、 E_y 比较稳定, $S_1^2 = E_x^2 - E_y^2 = const$ 。由式(5)可得 $S_2^2 + S_3^2 = 1 - S_1^2 = const$ 。出射偏振光映射在庞加莱球上便是一条封闭圆形曲线。

根据式(6), 我们可得到消光比的另一种计算方式:

$$PER(dB) = -10 \log(\tan^2 \theta) = -10 \log \left(\frac{\sin^2 \alpha/2}{\cos^2 \alpha/2} \right) \quad (8)$$

$$= -10 \log \left(\frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha} \right) = -10 \log \frac{1 - \sqrt{1 - R^2}}{1 + \sqrt{1 - R^2}}$$

此时, 消光比的测量转化为庞加莱球上圆形曲线半径的测量。由于输出光为全偏振光, 其光强即球体半径 S_0 可归一化为 1, 再测量封闭圆半径的相对值, 便可得到消光比。

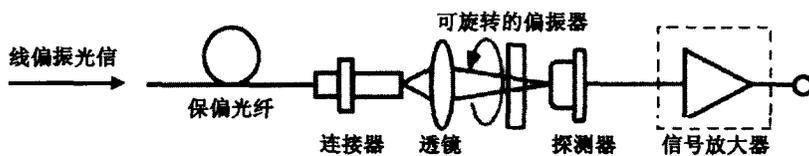


图 3 旋转偏振器测量方法原理图

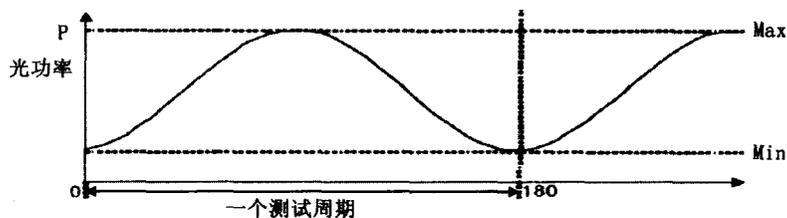


图 4 旋转偏振器法探测到的周期号

为了在庞加莱球上形成这一曲线,需获取若干不同偏振态的出射光。可通过改变光纤长度或外部环境来改变相位差,使出射光的偏振态发生连续性的周期变化。外部环境的变化可通过机械压力、温度或传输波长的变化来实现^[6]。这种方法的测试原理如图 6 所示。

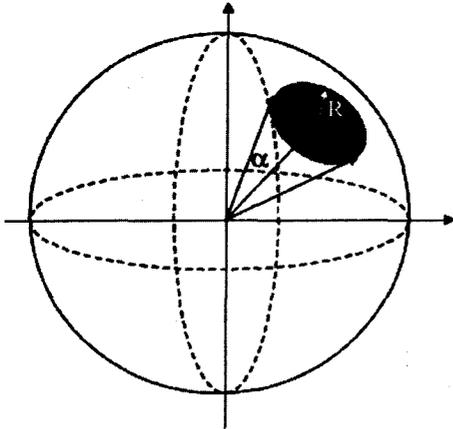


图 5 庞加莱球上形成的封闭圆形曲线

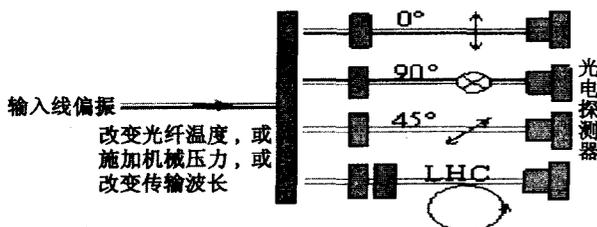


图 6 庞加莱球测量方法的光路原理图

将输出偏振光均分为四等份,使它们分别通过不同的滤光片,然后由光电探测器得到四个斯托克斯参数的光强数值。通过外部环境的变化获取多个输出偏振态映射点,便可形成一个封闭圆。

3.3 两种测量方法的对比

从测试系统及操作性来看,旋转偏振器测量法更简易,但其具有一些不可避免的缺陷。

首先,测量速率受起偏器机械旋转的限制,实际测量设备的响应时间一般为 1kHz。

其次,旋转偏振器法对传输的偏振光的波长有很强的依赖性,如图 7 所示。

庞加莱球法测试速率较高,并且不受波长影响。因为此方法要求的出射光偏振态的改变,不仅可通过对光纤施加张力或加热来实现,同时还可通过改变传输波长来改变偏振相位差。

实验证明,改变波长与施力或加热的测量结果一致,如图 8 所示。因此,我们可以通过一个可调激光器来提供精确的波长变化,以实现全自动化测试。

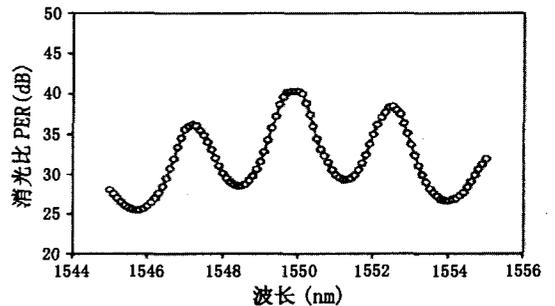


图 7 旋转偏振器法中消光比随波长的变化曲线

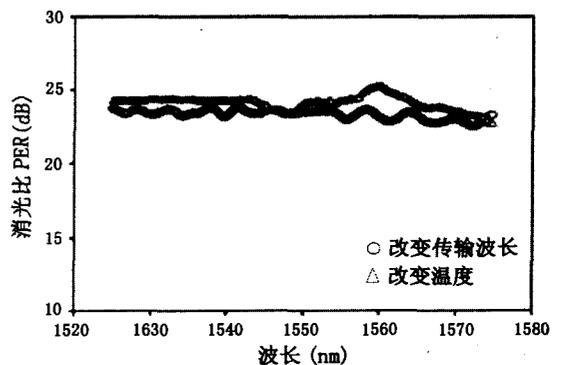


图 8 改变温度及波长的消光比曲线的比较

4 结论

偏振光的消光比特性可用来衡量偏振光入射到各种光纤通信元器件的耦合质量。测试消光比的方法有两种:旋转偏振器法和庞加莱球法。旋转偏振器法是一种直接测量方法,它通过机械旋转的偏振器分别探测输出偏振光的两个偏振分量的光强,其比值就是所求的消光比。庞加莱球法是一种间接测量方法,它是根据一种表征偏振光偏振态的数学方法—斯托克斯参数换算出所求的消光比的。这种方法要求输出偏振光的偏振态产生周期性变化,这可以通过施加压力,改变温度或改变传输波长来实现。两种方法比较而言,前者响应时间会受到机械旋转的限制,而且对传输过程中的外部环境的要求很高,对传输波长有很强的依赖性。后者虽然系统

(下转第 46 页)

6 用分子束外延法生长的 HgCdTe 外延层的表征

分子束外延生长技术可用各种原位分析技术来进行监测,例如反射高能电子衍射 (RHEED) 技术、分光镜椭圆测量 (SE) 技术以及反射分光测量 (RA 和 RDS) 技术。这些原位分析技术能够实时提供某些重要的生长参数,例如衬底温度、合金组份、生长速率和外延层的厚度等。

美国伊利诺斯大学芝加哥分校的 Riber 分子束外延系统配有 RHEED 和 SE 等多种原位分析技术。这样,在生长过程中以及在多次生长之间就可获得重复而稳定的通量。Riber 分子束外延

系统的生长室中还配备一个装有阀门的 Hg 池,它能在生长过程中提供稳定的 Hg 通量,可用于生长高质量的 HgCdTe 外延层。因此, Riber 分子束外延系统是生长高质量 HgCdTe 的理想系统。

7 结论

本文所介绍的结果表明,对于用于各种系统的长波红外 / 甚长波红外和中波红外 / 长波红外多色 HgCdTe 材料和器件来说,显然需要健全的模型和模拟。建模工作对于模拟和进一步提高多色焦平面列阵的性能至关重要。

(顾聚兴 编译自 SPIE Vol. 5564)

(上接第 28 页)

原理相对复杂,但测试的整体稳定性较高,通过引入可调激光器可实现全自动测试。在实际的工业测量中,人们可以根据实际需要及要求进行选择。

参考文献

- [1] 石顺祥,张海兴,刘劲松. 物理光学与应用光学 [M]. 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [2] HUARD S. Polarization of Light [M]. 1997, John Wiley & Sons.
- [3] Richard Stevens. Polarization Extinction Ratio -

Measurement Requirements for Optical Communication Systems [R]. National Physical Laboratory, 2002, ISSN 1467-3932: 3-4.

- [4] PEM-320 [EB/OL]. Santec Euroe Ltd, Oxford OX4 4GA. <http://www.santec.com>
- [5] YUZHONG DAI. Relation between external stresses and the degradation of extinction ratio of polarization maintaining fibers [C]. Proc. 16th National Fiber Optics Engineers Conf. Denver, Aug 2000. 1: 480-487.
- [6] Agilent 8509A/B Lightwave Polarization Analyzer User's Guide [EB/OL]. Agilent Technologies, U.S., 08509-90016, 2001. <http://www.home.agilent.com>

(上接第 41 页)

JD1: JNB P3.2,\$; 电机正传,增加音量

CLR P1.2

SETB P1.0

Y5: LCALL DELAY ; 延时 0.55ms

JB P3.2, MAIN ; 一旦没有信号时,则跳到主程序处等待接收信号

SJMP JD1

7 结论

基于以上设计思想可以在多种单片机上实现遥控器的解码。读者可自行尝试应用中断方法实现遥控器的信号解码。本文所介绍的方法在电子管功放中得到了较好的控制,其红外遥控器的接收发送原理及信号识别和解码程序,可以方便的移植以其他系统,其方法简洁灵活,

但其方法具有一般性,对于具体的应用,可自行变通。

参考文献

- [1] 胡汉才. 单片机原理及其接口技术 (第二版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 陈金花. 红外光纤零色散波长的测量和计算 [J]. 红外, 2003, (9): 23-25.