

集成光学与光纤陀螺

林敬与

(北京航空航天大学 100083)

物理学的两大分支——电子学与光学近十年来发生了越来越密切的关联。有人用“正在迅速融合”来形容之。一方面是这两个学科随着科学技术的发展而飞跃发展；另一方面，由于它们之间在理论上有着深远的联系，应用上又是相似相通、相辅相成。因而在近二三十年形成了一个新的学科——光电子学，其更高发展的形式就是光子学。我们现在介绍的集成光学就是这个领域中的一个分支。在光子学领域，受集成电路的启发，也在进行元部件集成化的努力。这就是集成光学的研究内容。

集成光学作为一个学科，其形成过程可追溯到本世纪60年代。当时激光器的发明，使人类得到了一种优良的光源。它使古老的光学在诸多方面得到了新的活力。到了60年代末，结合微波、激光、半导体、薄膜光学和集成电路的理论和技術，形成了集成光学的雏形。当时有许多名称，如：“集成光路”、“集成光学信息处理器”等。1969年美国贝尔实验室S.E.米勒首次采用“集成光学”(Integrated Optics)这一术语。从那时到现在，特别是经过80年代的迅速发展，集成光学器件已进入实用阶段。近年来，集成光学器件的商品化程度取得了长足的进展。如 LiNbO_3 （铌酸锂）光波导调制器已应用于光纤通讯、有线电视、光纤陀螺等方面； GaAs （砷化镓）激光器与 LiNbO_3 光波导倍频器构成的倍频光源，已作为商用PS荧光寿命测量系统的备选部件；微型透镜及其面阵已得到广泛应用。今天不断有各种无源、有源的集成光学器件以及光电集成器件研制出来。目前光子器件的集成度已达到相当的规模。例如，在不到 1cm^2 的 GaAs 衬底上，已集成了100多万个电泵浦垂直腔面发射微型激光器，器件密度约达 2×10^6 个/ cm^2 ，在一个半导体衬底上实现了激光器与驱动电路的集成，构成多种光发射机及多路

复用光发射机；构成了多种集成化光接收机及其点阵。据报道：英国、德国、法国、荷兰、美国、日本的许多家公司正联手进行通讯统一化的集成技术的研究，并在外场对大规模实施的单位用光纤与家庭用光纤的电话无源光学网(TPON)、宽带无源光学网(BPON)区域分布的系统进行了实验和评估。由于使用集成光学器件可以进行外调制，因而可获得高的光学输出功率和低的激光噪声，大批的外调制的有线电视系统正在欧洲安装。德国邮电部已组织一个大的项目“TELECOM 2000”，旨在建立一个世界最先进的集成服务网络。在光纤通信系统中，高速数字通信的许多方面也都采用集成光学器件。正如有的专家断言：“无论光纤通信系统、光计算机，还是其他的光信息处理系统、光传感系统等，如果采用离散的大块光学元件，则光学系统在稳定性、可靠性、体积、重量、功耗、成本等方面，都不能满足实际的需求。因此光学元件必须象电子元件一样，走小型化和集成化的道路。集成光路是发展的必由之路。”鉴于集成光学的重要性，它已成为发达国家优先发展的领域。美国国防部早已把集成光学技术列为22项关键技术之一，仅在1992年就投资2500万美元。事实上，在光子学方面的花费日本和原苏联远远超过美国。1992年有一个统计：美国投资约10亿美元，而日本为之3倍，原苏联为之4~10倍。专家估计在21世纪，集成光学将形成产业规模，成为21世纪三大产业之一的光电子工程的重要组成部分。

有人称“光纤陀螺是光技术的中坚”。本文也就光纤陀螺及集成光学的应用作些介绍。

光纤陀螺(Fiber Optic Gyro)是一种新型的定向导航仪表，它无机械转动部分、重量轻、体积小、低功耗、快速接通和高度可靠，其替代旧的机电陀螺和前一代的激光陀螺，将是一种趋势。自

从其 1976 年问世以来,近 20 年的发展,已成为从汽车自动驾驶,到高性能惯导,乃至航天设备平台长期稳定化系统中的重要部件.图 1 给出光纤陀螺的应用范围与性能要求.

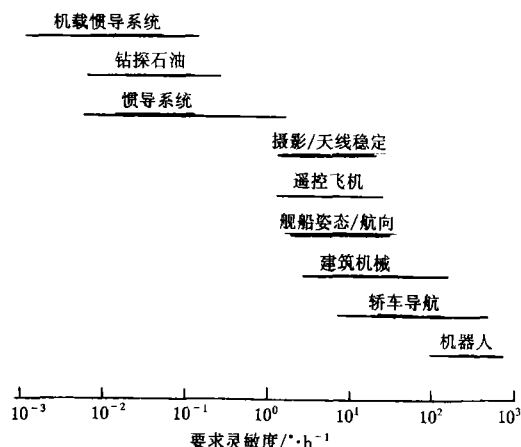


图1 应用范围与要求灵敏度

光纤陀螺在航空航天方面的应用,更是具有其独特的优势.特别是航天方面,光纤陀螺可以用于大型航天构件(例如,大型展开式反射器,陆地移动卫星服务航天器和空间站等)的定向与姿势控制,以及航天器的导航与控制等方面.考虑到航天器的发射费用(10 万美元/千克),以及电源成本(8 万美元/瓦)那么,功耗低、重量轻的光纤陀螺比起机电陀螺就优越得多了.同在一个芯片上集成的元件保证了各元件间的相对轴向与角度的重合性,最大限度地减少偏振交叉耦合及连带的非互易性,这将提高器件的性能;而集成在一块基片上的光学元件要比固定散装的分立的光学元件,不仅省了费用而且可靠.随着加工技术的发展和产业化的进程,集成光学器件的生产成本要比散装系统的成本低得多.除外,与激光陀螺相比,它没有机械运动的部分,这可大幅度地提高陀螺的可靠性和耐久性.因而,光纤陀螺在航空航天方面的应用是非常有发展前途的.

下面介绍一下光纤陀螺的原理.

光纤陀螺是根据萨格纳克(Sagnac)效应设计的.干涉型光纤陀螺(IFOG)的基本原理如图 2 所示.

两束光波经同一注入点进入光纤环,沿相反方向绕闭环光路传播.若环相对于惯性空间不

动,则两束光回到注入点时,没有光程差.而若光纤环相对于惯性空间有转动,那末,两束沿相反方向传播的光波,到达注入点时,出现光程差 Δ

$$\Delta = \frac{RL\Omega}{c}$$

R 为光纤环的半径;

L 为光纤总长度;

c 为光速;

Ω 为光纤环相对于惯性空间的角速度.

这就是萨格纳克效应. Δ 称萨格纳克光程差.相应的两束光波的位相差是 $\Delta\Phi$

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi RL\Omega}{\lambda c}$$

例如: $\Omega = 1^\circ / \text{小时}$, $L = 200$ 米, $R = 0.10$ 米时,将有光程差 $\Delta = 3.2 \times 10^{-12}$ 米,对于波长 $\lambda = 1$ 微米的光波,位相差 $\Delta\Phi = 2.0 \times 10^{-5}$ 弧度(据报道,一个实验用的光纤陀螺的光纤环的直径是 17.15 厘米,光纤总长是 884 米),当然要测出如此小的 $\Delta\Phi$ 也是相当艰难的任务.现在的光纤陀螺的测量的线性动态范围达 $0.01^\circ / \text{小时} \sim 300^\circ / \text{小时}$,分辨率为 $0.01^\circ / \text{小时}$.这么精良的性能及可靠性,不能不说是受益于集成光学成果.

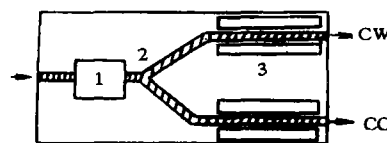


图 3 三元芯片的布局

1. 起偏器(POL) 2. Y耦合器(BS) 3. 相位调制器(ϕM)
(其中打阴影的是Ti:LiNbO₃波导)

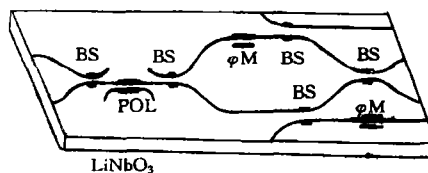


图 4 闭环、相位零化光纤陀螺用的集成光学器件简图



空间科学与应用研究

林宝军 曲卫振

从 1957 年第一颗人造卫星上天至今,已有 40 年了. 航天技术的飞速发展给人类进步和文明带来了巨大的影响,已在军事应用、通讯、遥感、科学研究、空间探测等方面得到了广泛的应用. 本文简要介绍一下空间科学与应用技术研究方面的课题及进展情况.

一、空间天文学

利用外层空间的高真空和低湍流等特殊物理条件进行天文学的观测和研究,是空间科学研究的重要内容之一,它不仅能使宇宙中被观测天体数成数量级的增加,而且开拓了全波段的天文观测,使得在地面无法观测的天体现象和天体变化过程能在空间被观测到. 空间天文学的一系列重大发现,大大地丰富了人类的宇宙知识.

迄今已发射用于研究天文学目的的航天器 300 多,耗资 1000 多亿美元. 有紫外、红外、微波、X 射线、 γ 线、天体测量、太阳观测等天文卫星. 观测波段几乎包括整个电磁波谱. 其中最著名的哈勃空间望远镜,口径 2.4 米,分辨率 0.1

角秒,耗资 30 亿美元,可以观测到比地面观测暗 40 倍的天体,使宇宙中被观测的天体数增加了 2 个数量级. 各种航天器已在各种波段上对太阳耀斑、宇宙背景、膨胀源、X 射线源、黑洞、 γ 射线源、宇宙 γ 射线暴、超新星、红外星云、原星系盘、多星系、月球、行星、彗星等,进行了规模空前的研究,取得了令人叹为观止的一系列新发现.

二、空间环境探测

空间环境探测卫星约占人造卫星的十分之一. 它们是空间环境和空间物理数据的主要来源. 初期,空间环境探测是以了解空间结构和状态的平均参数为主. 发现了内外辐射带、磁层、太阳风等重要现象,对各空间层次的特性有了基本了解,编制了大量的模式供航天部门使用. 随后,以研究各层的动力过程和物理机制为主,对重要空间环境参数扰动特性有了一定的了解,推动了空间物理研究.

宇宙空间为人类探索自然提供了一个全新的场所,反过来,特殊宇宙空间环境对航天器及

光纤陀螺中的集成光学器件,目前比较成功的是无源集成光学器件. 它以 LiNbO_3 晶片为衬底,在上面集成有相位调制器、耦合器、起偏器等光学元件. 图 3 给出其简图,这些有的已经商品化. 美国利顿公司生产的 LN-200 系列光纤陀螺早已投产,其中应用了中带宽的集成光学相位调制器;日本、法国、英国、德国都有应用集成光学的光纤陀螺产品. 在日产、丰田轿车的导航系统中已用上了光纤陀螺;美国航空航天局和喷气推进实验室还专门为建立惯性基准装置,提出对光纤陀螺的要求,并由美国电话电报公司贝尔实验室研制其中的集成光学器件. 图 4 给出其简图. 该器件就是将相位调制器、分光器 / 定向耦合器、起

偏器集成于一片 LiNbO_3 芯片上. 光纤陀螺用的集成光学器件进一步发展方向是有源集成光学器件,要将激光器、检测器等有源元件也集成化,统一构造于一个芯片之中. 再进而研制和开发的是光电多种功能元件集成于一体的光电子集成器件. 实现全集成化、全数字化的光纤陀螺.

由于对光纤陀螺的需求,促使了集成光学的发展,集成光学的发展也不断地提高了光纤陀螺的性能,并使之得到更广泛的应用.

作为一项关键技术,我国集成光学的研究与相关的产品制造正处于初级阶段. 相信随着我国科学技术事业的发展,集成光学也必将进一步得以发展.