光纤陀螺中保偏光纤^{60}Co 辐照效应及光褪色特性

肖 文 张玉艳

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100083) (北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083)

刘德文

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100083)

摘 要: 从光纤陀螺空间应用的角度出发,利用^{60}Co 辐照源模拟空间辐照,对光纤陀螺中的主要部件保偏光纤环进行了不同剂量率的辐照实验,得到了保偏光纤的辐照效应. 并且利用大功率半导体激光器对保偏光纤环进行了光褪色实验. 实验证明,辐照条件下,保偏光纤损耗增加;剂量率越大,损耗增加越快;总剂量越大,损耗越大;采用大功率半导体激光器对保偏光纤环进行光褪色,可以减缓辐照环境下光纤的损耗增加量,而且激光器功率越大,光褪色效果越明显,可将其用到光纤陀螺中作为其空间应用的抗辐射加固措施.

关 键 词: 光纤陀螺; 空间应用; 保偏光纤; 光褪色; 辐射加固

中图分类号: TN 253

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)08-0966-03

^{60}Co radiation effects and photobleaching properties of polarization-maintaining fiber in fiber optic gyroscopes

Xiao Wen

(School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Zhang Yuyan

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Liu Dewen

(School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: For the space application of the interference fiber optic gyroscope (IFOGs), the experiments were made on the PM fiber coil by ^{60}Co radiation source at different dose rate. Radiation effects of it were got from the experiments. And photobleaching experiments were made on the polarization maintain (PM) fiber coil using laser diode (LD). Several conclusions were got form the experiments. First, loss of the PM fiber coil increased in radiation environment. And the bigger the dose rate, the quicker the loss increased. The more the total dose, the bigger the loss. Second, LD photobleaching can meliorate the increased loss of the fiber, and the larger the LD optical power, the better the photobleaching effect. It is concluded that photobleaching can be used in IFOGs as a radiation hardening operation when applied in space.

Key words: interference fiber optic gyroscope; space application; polarization maintain fiber; photobleaching; radiation hardening

收稿日期: 2005-09-26

基金项目: 航天科技基金资助项目

作者简介: 肖 文(1962-),男,陕西西安人,教授, xiaow@buaa.edu.cn.

光纤陀螺(IFOG)以其无转动部件、体积小、重量轻、瞬时启动等优点,受到越来越广泛的应用. 随着光纤陀螺技术的成熟,其精度达到惯性级要求,可应用于卫星、航天飞行器以及各种载荷的姿态控制. 光纤陀螺空间应用的一个关键问题是辐射,受空间辐射的影响会导致其性能下降. 目前干涉型光纤陀螺采用保偏光纤环,是受辐照影响比较严重的部件[1]. 石英光纤在辐照条件下的表现为损耗增加,是因为"色心",即石英光纤中的杂质离子在辐照条件下产生的吸收[2]. 保偏光纤由于应力的引入,在辐照条件下的表现较普通光纤会有所不同,但是消光比变化不明显[3]. 光褪色是光纤本身的一个特殊性质,光纤在辐照条件下引起的损耗,在停止辐照后,会随着时间的延长渐渐缓解. 本文通过实验研究,得到保偏光纤损耗变化规律,并证实了利用光褪色可以提高光纤的抗辐射能力,可将其用于光纤陀螺的抗辐照加固设计.

1　辐照实验及装置

保偏光纤环辐照试验装置如图 1 所示.

光源经过耦合器 3 dB 分光以后,一束光直接连接光功率计,作为参考通道;另一束通过跳线,连接到辐照环境的光纤环中,然后通过双通道光功率计、数据采集卡采集得到 2 束光纤的光功率输出值,在 LabVIEW 采集程序界面上,以曲线和数值的方式实时显示,并将数据自动保存. 采集界面如图 2 所示.

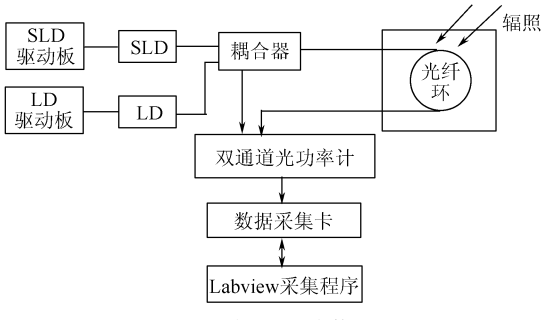


图 1　辐照试验装置

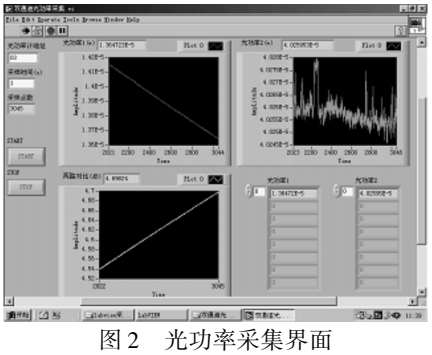


图 2　光功率采集界面

实验用光纤环为已绕好、应用于实际光纤陀螺的光纤环,光纤长度 500 m,工作波长 1 310 nm,为国产熊猫型保偏光纤.

2　辐照效应

2.1　实验现象

图 3 为辐照剂量率为 1×10^{-4} Gy/s,0.01 Gy/s,0.02 Gy/s 时保偏光纤环损耗随时间的变化曲线.

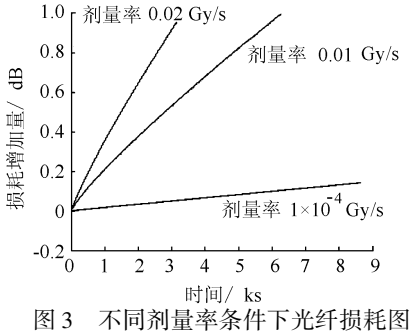


图 3　不同剂量率条件下光纤损耗图

从图 3 中可以看出,辐照条件下,光纤损耗增加. 而且剂量率越大,损耗增加越快. 设辐照增加量相对于时间变化的比例系数为 k,计算得 3 种剂量率条件下的 k 值如图 4 所示.

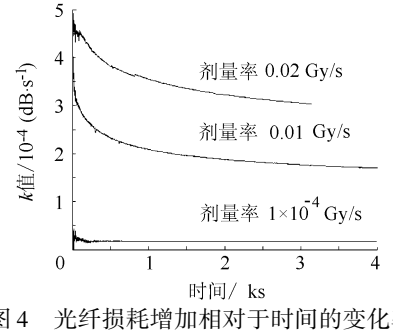


图 4　光纤损耗增加相对于时间的变化率 k 值

从图 4 中可见,剂量率大时,k 的值就大,即损耗增加得快. 在剂量率较低的1×10^{-4} Gy/s的情况下,k 开始有波动,后来为趋于定值,即稳定后损耗是线性增加的. 而 0.01 Gy/s 和0.02 Gy/s时,k 值由大变小,一段时间以后又趋于平缓的趋势. 原因是因为光纤在开始接受辐照时,处于亚稳定的状态[4],色心的形成和褪色导致的恢复都是动态变化的,需要一段时间才能稳定. 在剂量率小的时候,能很快达到稳定,但是在剂量率大的时候,则需要较长的时间.

2.2　理论分析

保偏光纤在辐照条件下的表现为损耗增加,增加的幅度比单模光纤明显,主要是由于产生应力作用的高浓度掺杂(硼、磷、铝等),使辐照下光

纤产生的色心吸收多,导致损耗变化更大. 石英光纤在辐照条件下的色心浓度模型可用微分式(1)表示:

$$\frac{dn}{dt} = -k_g n + k_a(n_0 - n) \qquad (1)$$

式中,n_0 和 $n(t)$ 分别是初始和瞬态色心浓度;k_g 和 k_a 分别是色心产生和褪色使其恢复的速率[4]. 等式右侧第 1 项描述了辐照环境下,光纤处于亚稳定状态过程中,色心浓度的下降情况;第 2 项描述了褪色导致的色心恢复. 在没有辐照的情况下,k_g 和 k_a 的值均为零. 色心产生速率 k_g 正比于辐照剂量率 R,关系为

$$k_g = cR \qquad (2)$$

式中 c 为常量,仅和光纤材料特征有关.

在辐照条件下,只要色心存在,就会产生吸收,导致光纤中光功率下降,光纤损耗增加. 为使光纤更好地在辐照环境下应用,就是要使$\frac{dn}{dt}$尽可能小. k_g 是和材料和剂量率有关的,在剂量率一定、光纤固定的情况下,k_g 的值是恒定的,所以式(1)中第 1 项是固定的. 可以利用第 2 项,通过改变 k_a 的值来降低色心浓度. 褪色有热退色和光褪色,本文采用的是现象较为明显的光褪色.

3 光褪色实验

光褪色是光纤本身存在的辐射恢复效应,即辐射引起的损耗在一定温度下随着时间的延长而渐渐消退. 光褪色效应的原理主要是辐射造成的晶格损伤由于"光"的作用,而使得损伤的晶格得到恢复[5]. 而且光功率越强,波长越短,光褪色效果越明显. 事实上,当辐照刚刚开始时,即辐射损耗开始形成的同时,光褪色效应也开始. 但是光褪色引起的恢复不足以弥补辐射产生的损耗,总体表现仍是损耗在增加.

在光纤陀螺中,光纤环内的光功率约为 20 μW. 实验中,采用波长为 1 300 nm 大功率半导体激光器(LD)向光纤环路中注入 0.3 mW 的光功率. 实验结果如图 5 所示. 比较图 1 和图 5 中辐照剂量率为 0.01 Gy/s 的曲线,可以看出,在同样的辐照环境中,有光褪色的比没有光褪色时的曲线上升缓慢,说明损耗增加变缓,光褪色产生作用. 停止辐照后,光褪色的效果是最明显的,损耗将近恢复到施加辐射之前的状态.

同时采用 0.3 mW,0.2 mW 和 0.1 mW 激光进行光褪色的比较实验,剂量率为 0.02 Gy/s. 光纤损耗变化和 k 值曲线分别如图 6、图 7. 从图中可

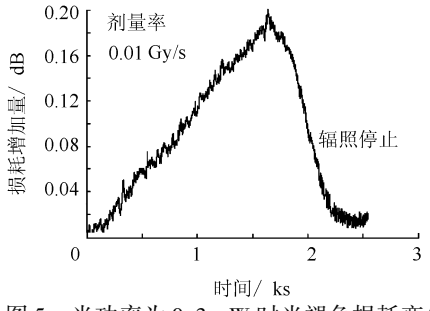


图 5 光功率为 0.3 mW 时光褪色损耗变化曲线

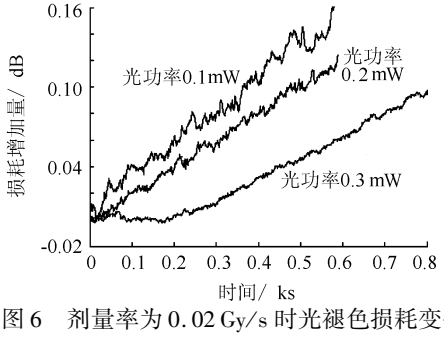


图 6 剂量率为 0.02 Gy/s 时光褪色损耗变化曲线

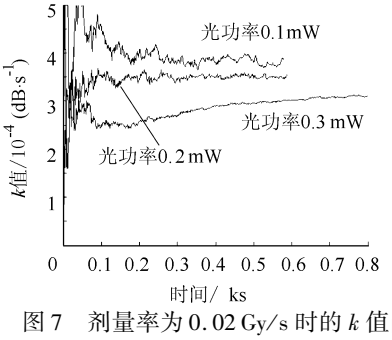


图 7 剂量率为 0.02 Gy/s 时的 k 值曲线

发现,0.3 mW 的光褪色效果最显著. 即光功率越大,光褪色的效果越明显,与前面提到的相符.

4 抗辐射加固讨论

光纤陀螺要在空间中应用,光纤环的抗辐射加固问题是很重要的. 采用通常的加固手段,即重金属屏蔽,虽然可以明显提高其抗辐照性能,但是陀螺质量会有所增加. 通过本次实验,在了解保偏光纤的辐照效应的基础上,证实了利用光褪色确实可以改善光纤的抗辐照性能. 可以将光褪色应用到光纤陀螺中作为加固措施.

做的关于保偏光纤环的辐照实验,总剂量超过 0.2 kGy/s,剂量率先后采用了 0.01 Gy/s 和 0.02 Gy/s,远远超过实际的空间辐射剂量率. 试验中只有小段时间分别利用了 0.3 mW,0.2 mW 和 0.1 mW LD 光褪色. 结果是光纤环总的损耗不多于 2.60 dB.

(下转第 997 页)