

质子辐照对国产“一”字型保偏光纤损伤效应研究

张红晨[†] 刘海 乔文强 李兴冀 何世禹 V. V. Abraimof

(哈尔滨工业大学空间环境材料与评价技术实验室, 哈尔滨 150001)

(2011年6月6日收到; 2011年9月20日收到修改稿)

航天器在空间环境中运行时, 会受到质子的辐照, 光纤环作为航天器上光纤陀螺的重要组成部分受辐照影响最为严重. 为了研究国产“一”字型保偏光纤因质子辐照导致辐照诱导损耗的变化规律及其辐照损伤机理, 选择质子能量为 5 MeV 和 10 MeV, 光源波长为 1310 nm, 原位测量了光纤传输功率变化情况, 计算出辐照诱导损耗. 利用 SRIM 软件, 模拟能量分别为 5 MeV 和 10 MeV 质子辐照在光纤中的电离和位移损伤分布. 借助 X 射线光电子能谱仪分析辐照前后 O 1s 和 Si 2p 解析谱, 借助傅里叶变换红外光谱仪观察光纤辐照前后光谱变化情况研究发现, 在波长为 1310 nm 处, 光纤的辐照诱导损耗随着质子注量的增加而增长, 主要原因是由于光纤纤芯中 Si—OH 的浓度增加所导致. 而且能量为 5 MeV 质子辐照造成光纤的辐照诱导损耗比 10 MeV 严重, 这是因为 5 MeV 质子在光纤纤芯处造成的位移和电离损伤均比 10 MeV 严重, 即产生的 Si—OH 数量多.

关键词: “一”字型保偏光纤, 质子辐照诱导损耗, X 射线光电子能谱仪, 傅里叶变换红外光谱仪

PACS: 42.81.Cn, 42.81.Dp, 61.80.Jh

1 引言

由于保偏光纤能够保证光线偏振方向不变, 提高相干信噪比, 从而实现对物理量的高精度测量, 所以被广泛应用于光纤陀螺、光纤水听器、高速光纤通信以及激光器等领域^[1]. 目前的保偏光纤有多种类型, 其中“一”字型保偏光纤是一种新型保偏光纤^[2], 它是采用改进的化学汽相淀积工艺制造而成. “一”字型保偏光纤具有应力作用区小, 保偏性能良好, 环境温度适应性强, 耐弯曲性能和机械强度高优点, 作为光纤环被应用于光纤陀螺中. 光纤陀螺是一种基于 Sagnac 效应^[3]的全固态角速度测量仪. 与机电陀螺和激光陀螺相比, 光纤陀螺具有诸如体积小、质量轻、成本低和高可靠性等一系列优点, 可以作为一个敏感元件, 为载体提供准确的方位、水平、角速度和角位移等信号, 从而完成对航天器的姿态和运动轨迹控制, 在空间环境中具有良好的适用性^[4]. 对于应用在航天领域的高精度光纤陀螺而言, 由保偏光纤绕制的光纤环是决定其性能的关键组件. 航天器在运行过程中, 由于空

间环境中粒子的辐照, 使材料和器件的性能退化甚至失效, 影响航天器的可靠性及寿命^[5,6]. 质子是存在于空间环境中重要的带电粒子^[7], 对航天材料性能有重要影响, 所以研究质子对光纤的辐照诱导损伤很有必要. 辐照效应对于光纤性能影响的研究始于 20 世纪 70 年代中期^[8,9], 并成为光纤技术领域的研究重点, 实验结果表明, 光纤陀螺仪在辐射环境中, 受影响最大的是保偏光纤环的衰减^[10].

石英光纤的辐照损伤是一研究热点^[11-13], 受质子辐照导致 Si—OH 浓度增加^[14]、1240 nm 和 1390 nm 两个吸收峰增高, 造成 1310 nm 损耗增加^[15]. 并且 SiO₂ 受质子辐照导致断键, 产生非桥氧结构 (NBO)、Si—H 等缺陷^[6]. 质子辐照对光纤性能的影响研究也不少, Girard 等研究了光源波长为 980 nm 和 1550 nm 掺 Er, Al₂O₃, Ge, P 光纤的质子辐照诱导损耗变化规律, 从光谱吸收的角度讨论了损伤机理^[16]. Tchegotareva 等研究了掺 Ge 光纤的质子辐照前后紫外光敏特性变化情况, 从软件计算和微观图片的角度分析损伤机理^[17]. Seung 等研究质子注入引起光纤双折射变化, 诱导双折射达

[†] E-mail: zhanghongchen78@yahoo.com.cn

到传统双折射光纤的 3 至 10 倍^[18]. Hashim 等描述了 6 MeV 质子辐照掺 Ge 光纤的辐照诱导损耗变化规律^[11]. Kamala 等研究了康宁公司生产的光纤在 150°C—-150°C 范围内质子辐照的辐照诱导损耗变化规律, 选择工作波长为 850 nm, 1300 nm 和 1550 nm, 得出辐照诱导变化规律理论模型^[19].

另外, 也有其他一些对光纤的辐照研究的例子. Yaakob 等的研究表明, 电子辐照对掺 Ge 光纤比掺 Al 光纤响应明显, 而且能量为 6 MeV, 9 MeV 和 12 MeV, 剂量在 4 Gy 范围内, 掺 Ge 光纤和掺 Al 光纤的辐照响应均随剂量呈线性变化关系^[20]; Hashim 等研究了紫外光对纯 SiO₂ 光纤的辐照损伤^[21,22]; Paul 等研究了伽马射线对光纤的辐照诱导损耗规律^[23,24]; Dan 等研究了 H₂ 氛围下对光纤紫外和可见光范围内吸收影响^[25]; Fatma 等研究了 X 射线对掺 Ge 光纤的辐照诱导损耗规律和辐照损伤机理^[26,27]; Komeda 等做了中子辐照掺 B 光纤的研究工作^[28].

光纤的辐照诱导损耗与光纤的结构、成分以及生产工艺密切相关, 不同结构类型和不同生产厂家生产的光纤在辐照环境中其性能的退化规律是不同的^[29,30]. 而且对质子辐照前后缺陷的变化没有从微观的角度加以讨论, 也没有从化学反应的角度明确阐述辐照损伤机理. 近年来, 我国生产的“一”字型保偏光纤已经实现产业化, 从而促进了我国光纤陀螺技术的发展与应用. 本文以我国光纤陀螺使用的“一”字型保偏光纤为研究对象, 选择质子的能量为 5 MeV 和 10 MeV, 研究不同能量、相同能量不同注量质子辐照对其造成的辐照诱导损耗变化规律, 并且采用 XPS 和 FTIR 等手段分析了光纤材料辐照前后微观结构的变化情况, 并对质子辐照引起的光纤性能退化机理进行了讨论, 为“一”字型保偏光纤作为航天用光纤陀螺的光纤环提供理论支持和数据参考.

2 样品和试验

2.1 样品

在这项工作中, 试验样品选用的保偏光纤是江苏法尔胜公司研制的“一”字型保偏光纤, 这种光纤由纤芯(纯净 GeO₂, SiO₂)、应力区(掺 B 的 SiO₂)、包层(SiO₂)和涂覆层(聚丙烯酸甲酯, 其

化学式为 (C₅H₈O₂)_n) 四部分构成.

2.2 辐照和测试装置

辐照和测试装置如图 1 所示, 应用北京大学重离子研究所的 2×6 MV EN 串联静电加速器进行质子辐照实验, 质子能量为 5 MeV 和 10 MeV, 辐照的同时进行原位测量光功率变化, 光源波长为 1310 nm, 利用探测器测量光电压, 利用计算机采集电压值 V (mV), 探测器响应度为 R , 探测器零位电压值为 V_0 , 光功率转化公式为

$$P = \frac{V - V_0}{R \times 1000}. \quad (1)$$

利用公式 (1) 计算出的光功率 P , 进而计算出光纤的质子辐照诱导损耗.

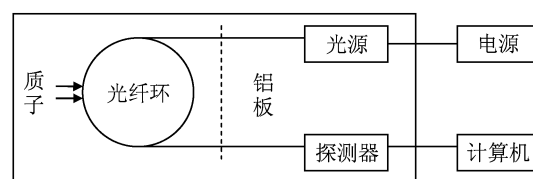


图 1 辐照和测试装置示意图

2.3 辐照损伤模拟软件和分析方法

应用 SRIM 2006 程序模拟质子在光纤中的损伤分布, 选择质子能量为 5 MeV 和 10 MeV, 入射角度为零度, 离子个数为 10^5 个. 在模拟计算中需要考虑材料的化学成分和密度. 光纤的结构包括涂覆层、纤芯(在光纤中心部位, 直径为 5 μm)、应力区和包层四部分, 除涂覆层以外的主要化学成分为 SiO₂, 但是掺杂比例较低, 与纯净的 SiO₂ 密度比较接近. 在这里, 我们将光纤结构简化改造成三层膜结构, 如图 2 所示. 1 层厚度为 40 μm , 密度是 1.22 g/cm³; 2 层厚度为 80 μm , 密度是 2.32 g/cm³; 3 层厚度为 40 μm , 密度是 1.22 g/cm³.

微观分析时, 把光纤涂覆层剥除, 分析基于部分主要化学成分 SiO₂ 的结构变化. X 射线光电能谱仪(XPS)分析采用美国 Perkin-Elmer 公司生产的型号为 PHI5700, X 射线源为 Al 的 K _{α} 线. 采用 BRUKER 公司生产的型号为 VECTOR22 的傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)测量光谱, 分辨率

为 2 cm^{-1} , 量程为 $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$.

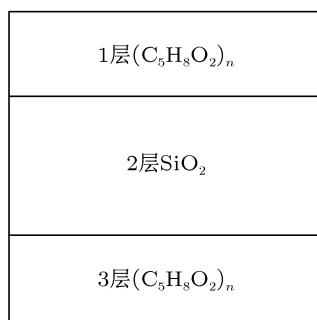


图2 改造后的光纤三层膜结构

3 结果与讨论

3.1 光纤辐照诱导损耗变化

图3所示为“一”字型光纤在能量为5 MeV和10 MeV的质子辐照条件下,光源波长为1310 nm的诱导损耗与质子注量的关系曲线.从图3中可以看出,对于两种不同能量的质子辐照,光纤辐照诱导损耗都随着质子注量的增加而增长.在初始阶段,质子辐照在光纤中产生的各种缺陷的浓度随质子注量的增加而急剧增大,在曲线上表现为辐照诱导损耗的急剧升高.随着质子注量的继续增加,缺陷的浓度增加变缓,在曲线上表现为在辐照试验的中后期光纤的诱导损耗变化趋缓.在辐照的过程中,不断地有质子注入光纤内部.

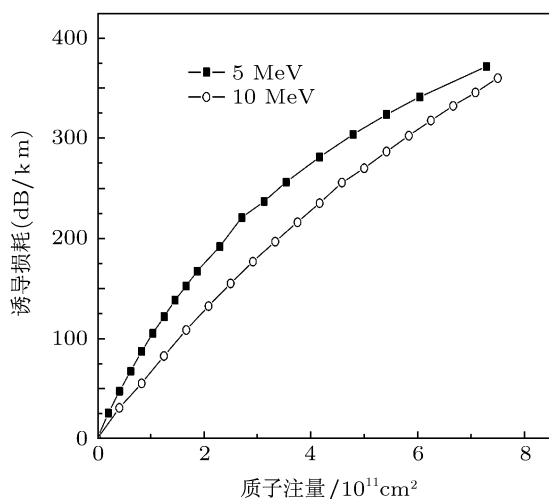


图3 质子注量与“一”字型光纤辐照诱导损耗关系曲线

虽然涂覆层在光纤的最外层,受到的辐照损伤最严重,会生成 CO , CH_3OH , C_2H_2 , H_2O ^[31], 还会产

生 H_2 ^[32], 但是这些气体自身能量比较小,到达光纤纤芯部位的量微乎其微,涂覆层的损伤对于光纤辐照诱导损耗影响可以忽略.因为光线是在光纤纤芯中传播,光纤纤芯的损伤直接影响辐照诱导损耗的变化,所以光纤纤芯部分的损伤是影响光纤辐照诱导损耗增大的关键因素.而光纤纤芯的主要化学成分是 SiO_2 , 所以,从 SiO_2 的结构变化入手讨论辐照诱导损伤.由于质子对 SiO_2 电离作用和质子的沉积,形成断键和新的杂质等缺陷.质子与材料相互作用将产生累积剂量效应,即电离能量损失和非电离能量损失.电离能损主要产生电子-空穴对,非电离能损造成晶格原子的位移,在材料中产生空位和新的杂质等缺陷,质子在材料发生相互作用过程中产生的这两种能量沉积都会导致材料性能下降.

同样由图3可以看出,在相同注量下,能量为5 MeV质子辐照对光纤诱导损耗的影响要比10 MeV质子辐照影响更加明显.这是因为不同能量的质子辐照,在光纤纤芯处造成的损伤是不同的.

3.2 SRIM 模拟计算

SRIM 程序是专为计算带电离子在材料中的电离和非电离能量沉积而编制的软件包,能够模拟正离子(包括质子)在介质中的输运及碰撞过程,其适用的能量范围为 $(10\text{ eV--}2\text{ GeV})/\text{amu}$.

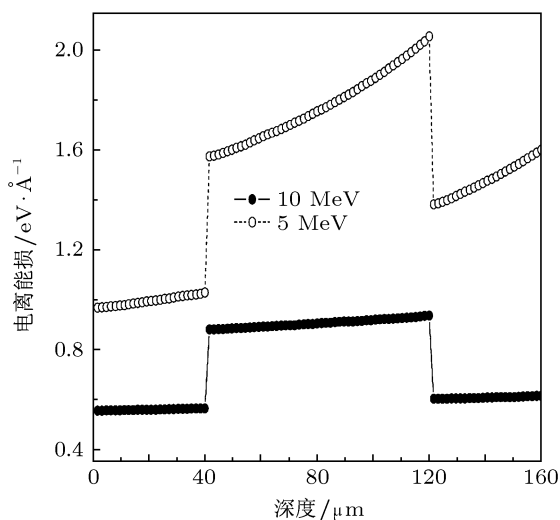


图4 不同能量质子在光纤中的电离能损随入射深度的分布

电离能损是辐照产生缺陷的重要源头,如图4所示,不同能量质子在光纤中的电离能损随入射深

度的分布有所不同, 5 MeV 质子辐照造成的电离能损要比 10 MeV 质子辐照造成的电离能损严重, 高出 1—2 倍.

除了电离能损以外, 非电离能损的影响也不能忽略. 如图 5 所示, 不同能量质子在光纤中的位移数目随入射深度的分布有所不同, 5 MeV 质子辐照造成的位移效应要比 10 MeV 质子辐照造成的位移效应严重 1—2 倍.

从电离损伤和位移损伤两个方面可以看出, 在相同注量情况下, 能量为 5 MeV 比能量为 10 MeV 的质子辐照在光纤纤芯处造成的损伤更加严重, 也就是说, 能量为 5 MeV 比能量为 10 MeV 的质子辐照在光纤纤芯处形成的缺陷数量大. 所以, 注量相同的情况下, 能量为 5 MeV 质子对光纤的辐照诱导损耗要比能量为 10 MeV 质子影响严重.

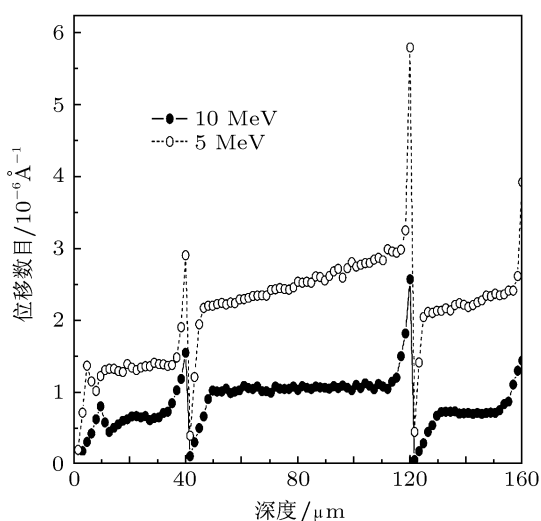


图 5 不同能量质子在光纤中的位移数目随入射深度的分布

3.3 XPS 谱分析

把光纤涂覆层剥除以后, 剩下部分的主要化学成分是 SiO_2 . 我们分别分析了 SiO_2 中 O 1s 和 Si 2p 的 XPS 解析谱. 辐照前光纤 XPS O 1s 谱解析如图 6 所示, 结合能为 531.6 eV. O 1s 的 XPS 解析谱中, 在 531.1 eV—532 eV 范围内的结合能, 代表 SiO_2 的桥氧结合情况 [33,34], 其结构形态是: $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$. 从图 7 辐照后光纤 XPS O 1s 谱解析可以看出, 质子辐照对于 O 的结合能有一定影响, 除了仍然有 SiO_2 的桥氧结合能 531.84 eV (531.1 eV—532 eV 范围内) 外, 又新出现了 530.3 eV 的 NBO 的结合能 [6], 它的结构形态是: $\equiv\text{Si}-\text{O}^-$, 还新出现了 533.14 eV 结合

能, 对应于 $\text{Si}-\text{OH}$ 结合能 [35,36].

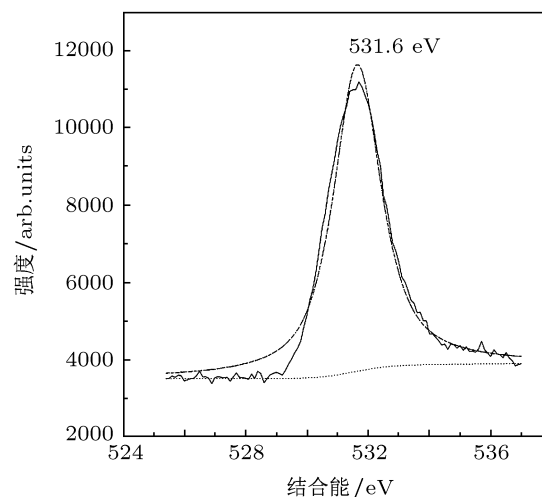


图 6 辐照前光纤 XPS O 1s 谱解析

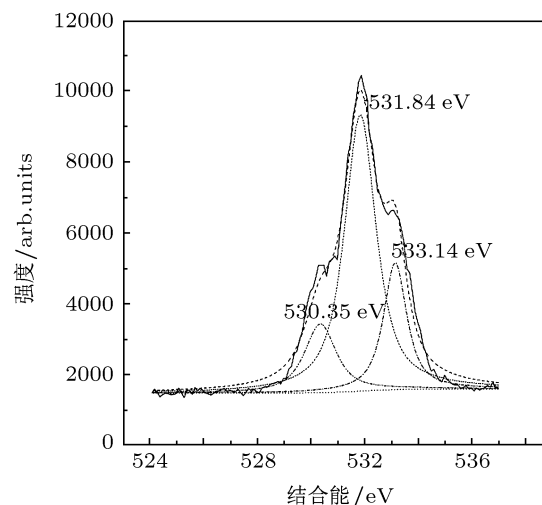


图 7 辐照后光纤 XPS O 1s 谱解析

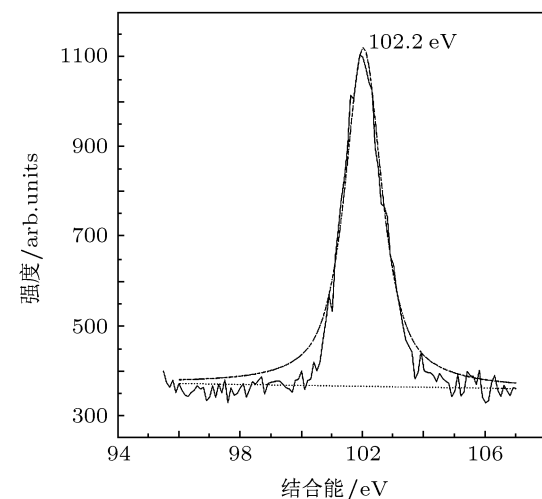


图 8 辐照前 XPS Si 2p 谱解析

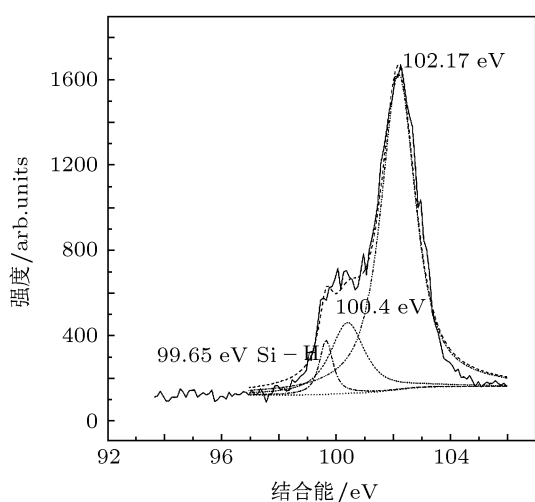


图9 辐照后 XPS Si 2p 谱解析

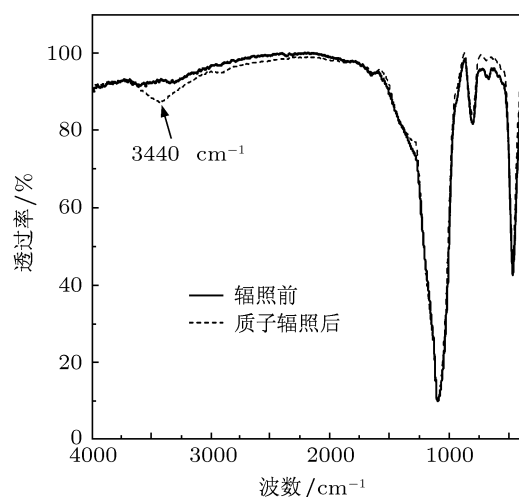


图10 质子辐照前后光纤 FTIR 光谱

从图 8 辐照前 XPS Si 2p 谱解析可以看出, 辐照前只有 102.2 eV 的结合能, 代表 SiO₂ 的桥氧结构, 对应的结构形态是 $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ ^[37]. 从图 9 辐照后 XPS Si 2p 谱解析可以看出, 辐照后新出现了 99.6 eV 的结合能, 对应于 Si—H 的结合能^[25]; 还出现了 100.4 eV 的结合能, 对应的结构为 Si—(OH)_x^[38].

从 XPS 的解谱分析中可以看出, 质子辐照以后, 光纤内部出现了 Si—OH 杂质, 或者说 Si—OH 杂质浓度显著增加.

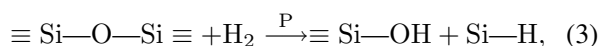
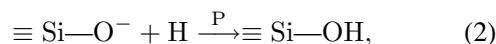
3.4 FTIR 光谱分析

图 10 是质子辐照前后光纤剥除涂覆层后红外吸收光谱. 从图 10 中可以看出, 辐照前

在 2000 cm⁻¹—4000 cm⁻¹ 波段没有吸收峰. 而由于质子辐照的影响, 辐照后在这个波段出现了 3440 cm⁻¹ 处吸收峰, 这个吸收峰是由于质子辐照光纤在 SiO₂ 中产生 Si—OH 杂质造成的吸收^[39,40]. 由此, 在 FTIR 光谱中的确证实了质子辐照光纤在 SiO₂ 中产生 Si—OH 杂质, 这个结论也验证了 XPS 的实验分析结果.

3.5 质子对光纤的辐照诱导损伤机理讨论

在质子辐照的作用下, 入射质子和 SiO₂ 点阵中的原子发生碰撞, 当点阵原子获得的能量大于 Si—O 键的键能时, 引起 $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ 结构中 Si—O 键的断裂, 从而形成形式为 $\equiv\text{Si}-\text{O}^-$ 的 NBO 结构. 另外, 由于辐照作用产生的电离效应在质子路径上能够诱导电子-空穴对的形成. 质子辐照过程中, 慢化的质子捕获电子形成氢原子, 而两个氢原子形成一个氢分子, 在 SiO₂ 中形成 Si—H 和 Si—OH 杂质缺陷, 反应过程如下所示^[41]:



从反应过程中可以看出, 质子辐照的确能够产生 Si—OH 杂质.

由于辐照作用产生的电离效应在质子路径上诱导电子-空穴对的形成, 在一定时间和一定区域内必定有负电荷区域, 而 NBO 为负电性, 负电荷区域对 NBO 有一定的保护作用, 所以 NBO 结构还会存在一些, 并不能够完全变成 OH 化合物的状态, 这也是辐照后能够利用 XPS 分析出 NBO 结构的原因.

在石英光纤中, Si—OH 键的基本谐振波长为 2.73 μm, 与 Si—O 键的谐振波长相互影响, 在光纤的传输频带内产生一系列的吸收峰, 影响较大的是在 1.39 μm, 1.24 μm 及 0.95 μm 波长^[42]. 质子辐照以后, 光纤中注入质子, Si—OH 的浓度增大导致 1.39 μm 和 1.24 μm 吸收增强, 并向两边延伸. 虽然纤芯部位有 GeO₂, 但是含量比较低, 辐照产生的缺陷浓度就更低了, 导致的光谱吸收可以忽略不计. 正是 Si—OH 造成的 1.39 μm 和 1.24 μm 这两个吸收峰以及其宽化, 尤其是 1.39 μm 的吸收峰作用效果更加明显, 导致“一”字型光纤辐照后在 1310 nm 波长处的辐照诱导损耗增大.

4 结论

1) 原位测试质子辐照“一”字型保偏光纤, 辐照诱导随质子注量的增加而升高, 在相同注量情况下, 能量为 5 MeV 质子辐照比能量为 10 MeV 质子辐照导致光纤的诱导损耗更大。

2) 改造了光纤结构模型, 应用 SRIM 软件模拟计算了能量为 5 MeV 和 10 MeV 的质子在光纤中电离和位移损伤分布情况, 证实了在相同注量情况

下, 5 MeV 比 10 MeV 质子辐照造成光纤的辐照诱导损耗严重。

3) 通过 XPS O 1s 和 Si 2p 谱分析发现, 辐照后出现了 NBO, Si—OH 和 Si—H 等杂质缺陷, FTIR 分析中也发现 Si—OH 缺陷的存在。

4) 讨论了质子辐照在光纤中形成杂质缺陷的机理, 分析了 Si—OH 缺陷浓度的增加是导致在 1310 nm 波长处的辐照诱导损耗升高的直接原因。

- [1] Klaus B, Hubert B, Martin G B, Philippe G, Peter G 2007 *IEEE Trans. Indust. Appl.* **43** 180
- [2] Li M C, Liu L H, Xiao T P, Xue J J, Liang L T, Wang H L, Xiong M 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 101101-1
- [3] Sagnac G 1913 *Comptes rendus de l'academie des Sciences* **95** 708
- [4] Ezekiel S, Arditty H J 1982 *Springer Series in Optical Sciences* **32** 2-26
- [5] Miyamaru H, Tanabe T, Iida T, Takahashi A 1996 *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* **116** 393
- [6] Wang Q Y, Geng H B, He S Y, Yang D Z, Zhang Z H, Qin X B, Li Z X 2009 *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* **267** 2489
- [7] Wu Y Y, Yue L, Hu J M, Lan M J, Xiao J D, Yang D Z, He S Y, Zhang Z W, Wang X C, Qian Y, Chen M B 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 098110 (in Chinese) [吴宜勇, 岳龙, 胡建民, 蓝慕杰, 肖景东, 杨德庄, 何世禹, 张忠卫, 王训春, 钱勇, 陈鸣波 2011 物理学报 **60** 098110]
- [8] Maurer R D, Schiel E J, Kronenberg S, Lux R A 1973 *Appl. Opt.* **12** 2024
- [9] Friebele E 1979 *J. Optical Engineering* **18** 552
- [10] Tortech B 2008 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **55** 2223
- [11] Hashim S, Bradley D A, Peng N, Ramli A T, Wagiran H 2010 *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* **619** 291
- [12] Alessi A, Girard S, Marcandella C, Agnello S, Cannas M, Boukenter A, Ouerdane Y 2011 *J. Non-Crystalline Solids* **357** 1966
- [13] Yaakob N H 2011 *Appl. Radiation and Isotopes* **69** 1189
- [14] Mahrenia A, Mohamada A B, Kadhuma A A H, Dauda W R W, Iyukeb S E 2009 *J. Membrane Science* **327** 32
- [15] Shah L H, Tsuchiya B, Nagata S, Shikama T 2011 *J. Nuclear Materials* **417** 822
- [16] Girard S, Tortech B, Régnier E, Van M, Gusarov A, Ouerdane Y, Baggio J, Paillet P, Ferle C V, Boukenter A, Meunier J P, Berghmans F, Schwank J R, Shaneyfelt M R, Felix J A, Blackmore E W, Thienpont H 2007 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **54** 2426
- [17] Tchebotareva A L, Brebner J L, Roorda S, Albert J 1999 *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* **148** 687
- [18] Seung J Y, Masahiro S, Yoshimichi O, Makoto F, Kouichi A, Eisuke Y, Satoshi O 2007 *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* **265** 490
- [19] Kamala S K, Lahti D G, Smith W D, Averett T M 1996 *SPIE. Photonics for Space Environments* **2811** 95
- [20] Yaakob N H, Wagiran H, Hossain I, Ramli A T, Bradley D A 2011 *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* **637** 185
- [21] Hashim S, Ali H 2011 *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* **637** 185
- [22] Fabrizio M, Francesco C, Marco Cannas 2011 *J. Non-Crystalline Solids* **357** 1985
- [23] Paul M C, Bohra D, Dhar A, Sen R, Bhatnagar P K, Dasgupta K 2009 *J. Non-Crystalline Solids* **355** 1496
- [24] Jiang H, Chen B X, Sui G R, Ji S 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 7782 (in Chinese) [姜辉, 陈抱雪, 傅长松, 隋国荣, 矾守 2010 物理学报 **59** 7782]
- [25] Dan S, Adelina S 2007 *Fusion Engineering and Design* **82** 1372
- [26] Fatma I, Nur A A L, David A B, Andrew N 2011 *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* **652** 834
- [27] Alessi A, Girard S, Marcandella C, Agnello S, Cannas M, Boukenter A, Ouerdane Y 2011 *Optics Express* **19** 11680
- [28] Komeda M, Kumada H, Ishikawa M, Nakamura T, Yamamoto K, Matsumura A 2009 *Appl. Radiation and Isotopes* **67** S254
- [29] Henschel H, Köhn O, Weinand U 2002 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **49** 1432
- [30] David L G 2004 *J. Non-Crystalline Solids* **349** 139
- [31] Abdulrahman M, Alhazmi, Paul M M 2009 *J. Am. Soc. Mass. Spectrom* **20** 6
- [32] Kudoh H, Kasai N, Sasuga T, Seguchi T 1996 *Radlat. Phys. Chem.* **48** 95
- [33] Lim T Y, Kim C Y, Kim B S 2004 *J. Sol-Gel Sci. Tech.* **31** 263
- [34] Cho S M, Kim Y T, Yoon D H 2003 *J. Korean Phys. Soc.* **42** S947
- [35] Lin Y J, Lee H Y, Hwang F T, Lee C T 2001 *J. Electron. Mater.* **30** 532
- [36] Lin Y J, Lin W X, Lee C T, Chang H C 2006 *Jpn. J. Appl. Phys.* **45** 2505
- [37] Lee S H, Jeong S, Moon J 2009 *Organic Electronics* **10** 982
- [38] Kim D I, Kim K H, Ahn H S 2010 *International J. Precision Engineering and Manufacturing* **11** 741
- [39] Innocenzi P, Falcaro P, Grosso D, Babonneau F 2003 *J. Phys. Chem. B* **107** 4711
- [40] Zhang G Q, Xua D P, Song G X, Xue Y F, Li L, Wang D Y, Su W H 2009 *J. Alloys and Compounds* **476** L4
- [41] Cannas M, Costa S, Boscaino R, Gelardi F M 2004 *J. Non-Cryst. Solids* **337** 9
- [42] Feng M, Li Y G, Li J F, Li J, Zhang X G, Lu K C, Wang H J 2005 *Chin. Phys. Lett.* **22** 1137

Study of the proton irradiation damage on “Capsule” type polarization-maintaining optical fibers made in China

Zhang Hong-Chen[†] Liu Hai Qiao Wen-Qiang Li Xing-Ji He Shi-Yu V.V.Abraimof

(Space Material and Environment Engineering Laboratory, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

(Received 6 June 2011; revised manuscript received 20 September 2011)

Abstract

A spacecraft running in the space environment would be irradiated by the proton, and the irradiation effects on the most important parts of the optical fiber gyroscope in the spacecraft -the optical fiber ring is the most. In order to investigate the irradiation damage induced by proton irradiation on the “Capsule” type polarization-maintaining optical fibers made in china, the variation of the transportation power at 1310 nm wavelength is measured by means of situ measurement for the 5 MeV and 10 MeV environments protons irradiation on the “Capsule” type polarization-maintaining optical fibers made in china. The irradiation induced loss is calculated by us. The Stopping and Range of Ions in Matter (SRIM) software was used to simulate the ionic and displacement damage of 5 MeV and 10 MeV energy protons irradiation on the optical fibers. The O 1s and Si 2p analytic spectrum of the before and after irradiation were obtained by means of X ray photoelectron spectroscopy (XPS). Using the Fourier transform infrared spectrometer (FTIR), we analyzed the before and after irradiation spectrum. The results show that at the 1310 nm wavelength, the radiation induced loss of the of optical fibers increase with the increasing of the protons fluence due to the increase of the Si—OH concentration in optical fiber core. The 5 MeV proton irradiation induced loss is worse than that of the 10 MeV mainly because the more worse displacement and the ionic damage induced by 5 MeV proton at the position of the optical fiber core than that of 10 MeV, i.e., the more amount of Si—OH generation.

Keywords: “Capsule” type polarization-maintaining optical fibers, proton irradiation induced loss, XPS, FTIR

PACS: 42.81.Cn, 42.81.Dp, 61.80.Jh

[†] E-mail: zhanghongchen78@yahoo.com.cn