

空间三轴激光陀螺放电区微晶玻璃 Li⁺迁移规律研究

田爽辰¹, 李玉娇^{1*}, 钟钧宇², 李路且¹, 汪世林¹

(1. 北京自动化控制设备研究所, 北京 100074;

2. 空军装备部驻北京地区第二军事代表室, 北京 100074)

摘要: 空间三轴激光陀螺是一种将三个敏感环路正交集成于一块微晶玻璃基体上的空间激光陀螺, 在航空、航天、军事等领域得到了广泛应用。随着军用装备对高性能激光陀螺长期通电性能稳定性的要求不断提高, 提高激光陀螺长期通电性能稳定性、延长激光陀螺工作寿命已成为国内外激光陀螺专业领域研究人员共同关注的重要课题。国外多项专利提到了微晶玻璃中的 Li⁺在电场的作用下发生迁移并影响激光陀螺工作寿命, 但未见具体研究。文中对空间三轴激光陀螺开展了通电寿命试验, 并结合飞行时间二次离子质谱分析技术, 研究了放电区微晶玻璃 LAS (Li₂O-Al₂O₃-SiO₂) 表面的 Li⁺迁移现象, 结果表明: 微晶玻璃中 Li⁺在激光陀螺电场及谐振腔内等离子体的作用下向谐振腔方向迁移, 并脱离微晶玻璃进入谐振腔, 然后随等离子体流动, 最终沉积在阴极表面。该结果对提高激光陀螺长期通电性能稳定性、延长工作寿命等相关研究具有重要推进作用。

关键词: 离子迁移; 激光陀螺; 等离子体; 锂离子

中图分类号: V241.5 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA20220819

0 引言

激光陀螺是基于 Sagnac 原理的角速度传感器, 核心敏感单元是以微晶玻璃为骨架的环形氦氖激光器, 其利用激光谐振腔内沿顺、逆方向传播的两束行波之间的频差信息来获得激光陀螺相对惯性空间的转动角速度^[1]。激光陀螺作为光学陀螺的典型代表, 具有动态范围大、启动时间短、标度因数稳等突出特点^[2], 是当今精确制导武器实现中远程高精度自主导航的主流惯性传感器之一, 在战车、导弹、飞机等武器装备上得到了广泛应用^[3-4]。近年来, 基于一体化集成和元件共用思想的空间三轴激光陀螺发展迅猛, 相同光学敏感尺寸下, 在精度、体积、质量、功耗等方面的综合优势日益凸显, 成为当前各类武器装备惯导系统的重要选择之一。

随着军事需求的演变, 新一代武器装备对更长时间保精度热待机的需求日益迫切, 要求进一步提高激

光陀螺的长期通电性能稳定性。国外 Litton、Honeywell、Thales 等公司提到激光陀螺微晶玻璃 (主要成分为 SiO₂、Al₂O₃、Li₂O) 中的 Li⁺在激光陀螺电场作用下发生迁移, 导致激光陀螺工作寿命缩短^[5-14], 但未见详细实验报道。

为了研究激光陀螺微晶玻璃中的 Li⁺迁移规律, 文中开展了空间三轴激光陀螺通电寿命加速研究, 并结合飞行时间二次离子质谱分析技术 (time-of-flight secondary ion mass spectrometry, TOF-SIMS), 通过对比放电区和非放电区微晶玻璃的元素深度分布测试的结果, 得到了 Si⁺、Al⁺、Li⁺等主要元素强度随深度的分布曲线, 研究结果表明: 放电区微晶玻璃表面存在 Li⁺迁移现象, 结合放电区和非放电区反射镜, 和阴极内外表面多个区域 Li⁺的深度分布测试结果, 发现 Li⁺通过迁移进入谐振腔, 并在随等离子体流动的过程中沉积在阴极内表面。最后, 采用 COMSOL Multiphysics

收稿日期: 2022-11-10; 修订日期: 2023-01-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (62103059)

作者简介: 田爽辰, 女, 硕士生, 主要从事激光陀螺方面的研究。

导师简介: 汪世林, 男, 研究员, 硕士, 主要从事惯性技术方面的研究。

通讯作者: 李玉娇, 女, 工程师, 博士, 主要从事激光陀螺方面的研究。

软件仿真了激光陀螺工作时的电场分布,进一步分析了电场作用下放电区微晶玻璃表面 Li^+ 迁移的机理。研究结果对进一步提高激光陀螺长期通电性能稳定性、延长工作寿命等相关研究具有重要指导意义。

1 实验及结果分析

1.1 实验

空间三轴激光陀螺在一个微晶玻璃上集成三个测量轴,结合反射镜、抖动系统、电源电路系统等共用技术,整体结构体积小、质量轻、抗振性能优异,符合武器装备的高精度、小型化发展趋势。如图 1 所示为空间三轴激光陀螺光路示意图及实物图。

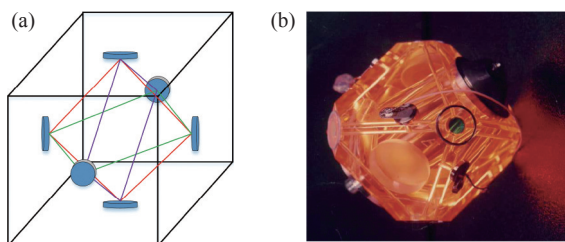


图 1 空间三轴激光陀螺。(a) 光路示意图;(b) 实物图

Fig.1 Space triaxial laser gyroscope. (a) Schematic diagram of light path; (b) Physical map

为研究空间三轴激光陀螺微晶玻璃中的 Li^+ 迁移现象和规律,揭示 Li^+ 迁移对陀螺的长期稳定性和工作寿命的影响,文中开展了激光陀螺通电寿命加速试验^[15-16],监测以激光陀螺光功率为主要表征的参数随通电时间的变化规律。图 2 为试验样本在寿命结束前 50 天内三个通道的光功率变化曲线,可见此期间功率快速下降至初始值的 50% 以下,认为陀螺的工作寿命结束。图 3 为该试验样本寿命结束前后的 Allan 方差图,Allan 方差能够对各种误差源统计特性进行细致的表征,可见该陀螺寿命结束后各通道的误差显著增大。

通过对陀螺的各零部件状态对比分析,确认陀螺屏蔽外壳、抖动结构、稳频结构、工作氦氖气体等关键参数在试验前后的性能均无明显变化,但光学谐振腔内局部区域微晶玻璃表面的颜色发生了明显变化。如图 4(a) 中红色虚线框所示,虚线框内的光反射特征和虚线框外的部分显著不同,前者的颜色看起来更“发白”。经化学清洗处理前后对比,确认其并非是

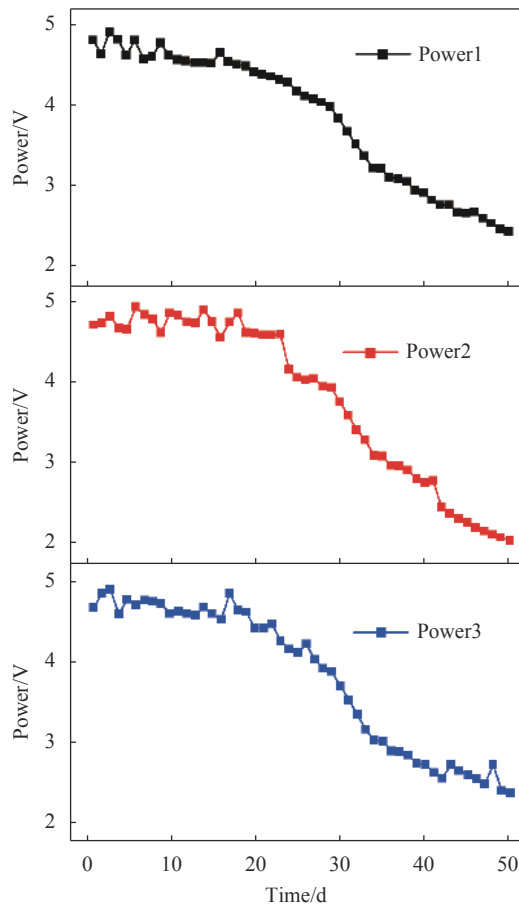
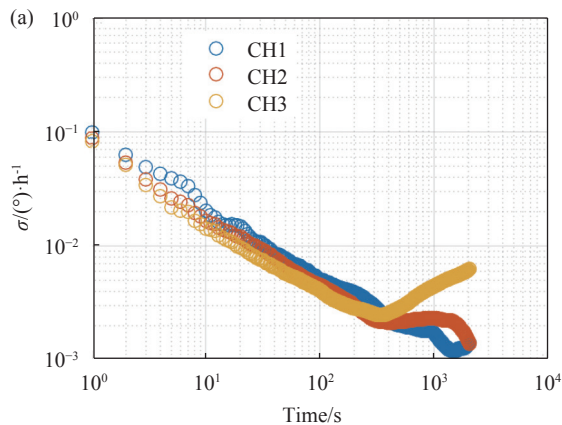


图 2 试验激光陀螺通电寿命结束前 50 天内三通道的光功率曲线

Fig.2 Power curves of three channels of experimental laser gyroscope in 50 days before the end of life

沉积的污染物。图 4(b) 给出了虚线框内微晶玻璃表面特征改变的区域在陀螺中的位置示意图,虚线框内的微晶玻璃表面处于陀螺谐振腔内放电区,陀螺工作时,该区域直接暴露于氦氖放电等离子体环境下,这是该区域与光胶区及光胶外侧区域的主要差别。



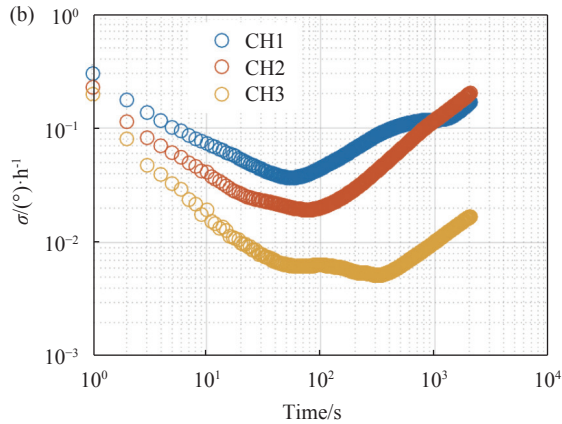


图 3 试验陀螺 (a) 正常工作和 (b) 寿命结束后的 Allan 方差图
Fig.3 Allan variance diagram of experimental laser gyroscope (a) in normal operation and (b) after the end of life

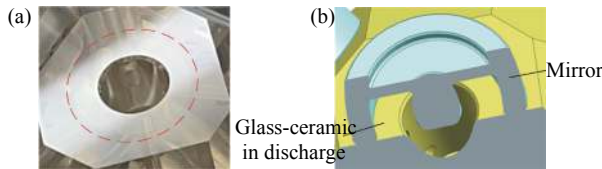


图 4 放电区微晶玻璃 (a) 实物图和 (b) 局部示意图
Fig.4 (a) Physical map and (b) partial schematic diagram of glass-ceramic in discharge region

1.2 实验结果与分析

TOF-SIMS 分析技术是一种表面分析方法,能够测试所有元素及其同位素,对各元素具有较高的检测灵敏度,利用脉冲化的聚焦一次离子源轰击测试样品表面,在样品表面溅射出二次离子,并将这些初速几乎为零的二次离子加速到一定的能量,飞行一段距离后到达探测器,然后根据飞行时间反推出二次离子的质荷比即可得到有关固体表面的成分信息。在该过程中同时结合溅射离子束剥蚀材料表面,测试一层后将该层材料剥蚀掉,再进行下一层测试,进而实现元素组成的深度分析^[17]。文中采用 TOF-SIMS 分析技术 (TOF.SIMS 5-100, ION-TOF GmbH) 测试了试验陀螺放电区和非放电区的微晶玻璃表层的元素组成及深度分布,测试面积均为 $100 \times 100 \mu\text{m}^2$,放电区微晶玻璃样品测试图如图 5(a) 所示,图 5(b) 为微晶玻璃所选测试区域,从上至下依次为放电区外部、边界及内部。

图 6 为不同区域内微晶玻璃中主要组成元素 Si^+ 、 Al^+ 和 Li^+ 强度随溅射深度的分布曲线,溅射深度是溅射离子束剥蚀材料所用时间与剥蚀速度的乘积 (测试

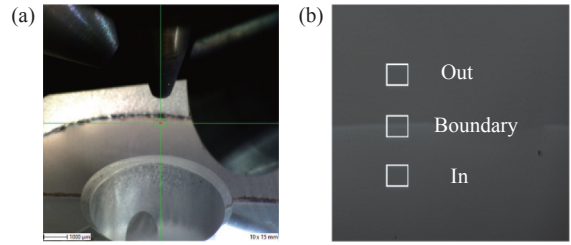


图 5 (a) 微晶玻璃测试图; (b) 所选测试区域示意图
Fig.5 (a) Image of test of glass-ceramic; (b) Schematic diagram of selected test area

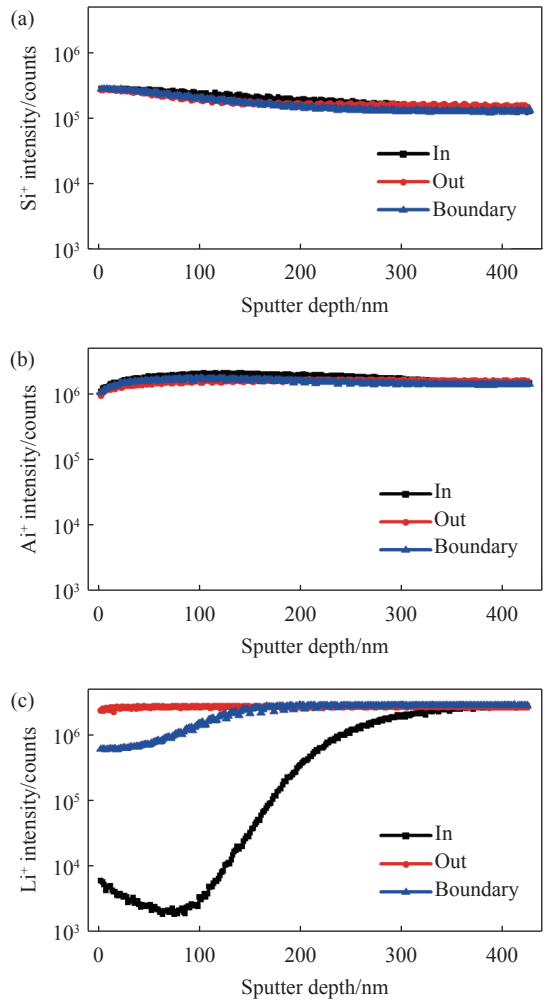


图 6 不同区域 Si^+ 、 Al^+ 和 Li^+ 强度随溅射深度的分布曲线
Fig.6 Intensity curves with sputtering depth of Si^+ , Al^+ and Li^+ in different area

时的剥蚀速度为 1.06 nm/s), 曲线上各点表示自表面向下某一深度处的离子强度。三个区域内微晶玻璃中 Si^+ 和 Al^+ 元素分布随深度均没有明显变化,非放电区微晶玻璃上 Li^+ 强度也始终保持稳定,但是放电区微晶玻璃上的 Li^+ 强度由表层向下先减小,后缓慢上

升趋于稳定,稳定后的强度比表面强度高约两个量级,边界处的 Li⁺分布也呈现相似的规律(由于扫描面积中放电区和非放电区各占一半,因此开始时 Li⁺强度介于放电区和非放电区之间,然后强度回升并趋于稳定)。

图 7(a1)~(a3)为放电区微晶玻璃边界区域在 10 nm 深度处的 Si⁺、Al⁺和 Li⁺强度分布的成像图,通过对比图中颜色的深浅可以明确离子强度分布的差异。如图 7(a1)~(a3)所示,在上半部分和下半部分两

个区域中 Si⁺和 Al⁺离子的强度相当,而上半部分(非放电区微晶玻璃)的 Li⁺强度明显比下半部分(放电区微晶玻璃)的 Li⁺强度高。由于 SiO₂为微晶玻璃最主要的组成成分,且在 0~400 nm 深度范围内 Si⁺强度保持稳定,通过比较放电区内、外以及边界上的 Li⁺和 Si⁺强度的比值(Li⁺/Si⁺)可以反映该区域的 Li⁺的相对浓度,如图 7(b)所示,此处放电区内微晶玻璃(即“放电区”)较非放电区微晶玻璃的 Li⁺浓度要小得多。

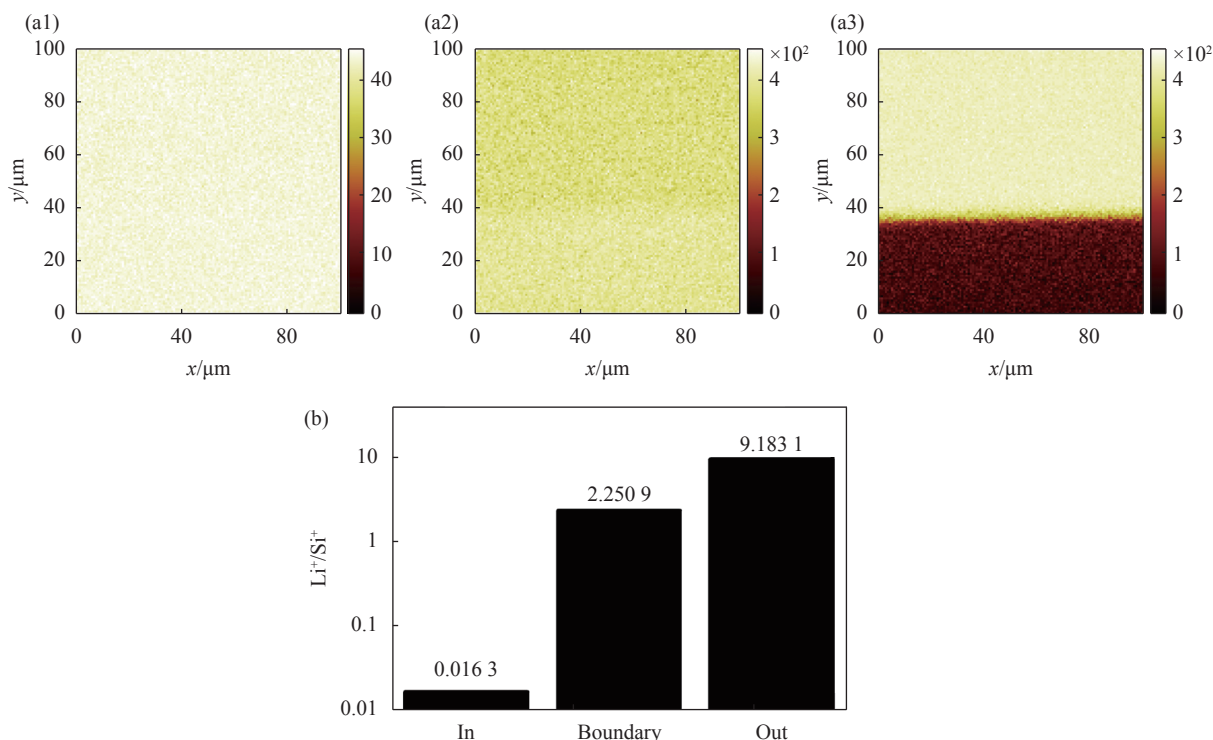
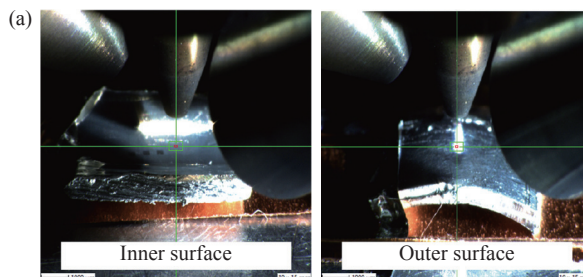


图 7 (a) 放电区微晶玻璃边界测试区域 10 nm 深度处 Si⁺、Al⁺和 Li⁺的强度成像图; (b) 不同区域的 Li⁺/Si⁺ 比值

Fig.7 (a) Imaging chart of Si⁺, Al⁺ and Li⁺ on the boundary of the glass-ceramic in discharge region at 10 nm depth; (b) Li⁺/Si⁺ ratio of different area

Li⁺进入谐振腔后,将随放电等离子体中的正离子向阴极流动,可能沉积在阴极。因此,在阴极内表面沿放电方向选择了间距相同的三个区域(区域 1、区域 2、区域 3),并在阴极外表面选择了一个测试区域作为对照,采用 TOF-SIMS 技术测试了各区域的 Li⁺强度随溅射深度的分布曲线,图 8(a)是阴极内、外表面测试图,测试面积均为 100×100 μm²,其中阴极内表面与谐振腔内等离子体接触,而外表面处于外部大气环境下。图 8(b)是阴极内、外表面 Li⁺强度随溅射深度的分布曲线,数据表明:内表面 Li⁺的强度比外表面高一两个数量级,因此,放电区微晶玻璃表面 Li⁺进

入谐振腔后,在阴极内表面沉积。图 8(c)为内表面三个区域的测试结果对比图,可见每个区域中 Li⁺强度相差不多,且随溅射深度的分布规律基本相同,故认为 Li⁺在阴极内表面基本呈均匀分布。



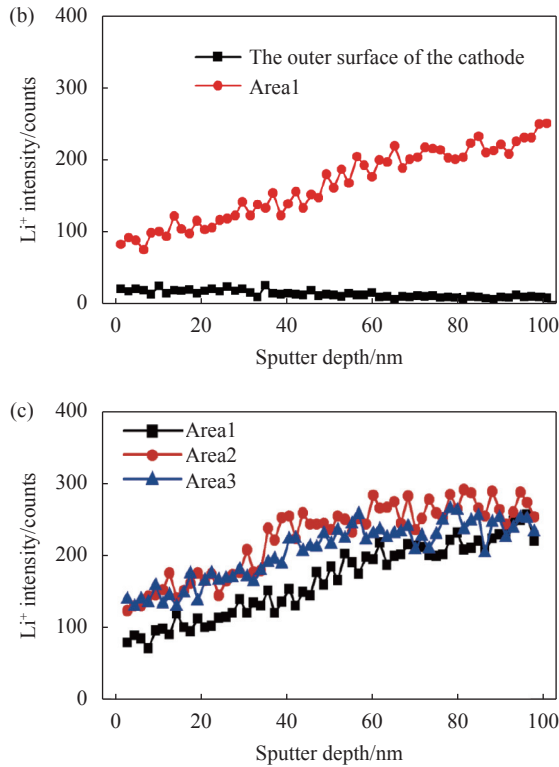


图 8 (a) 阴极内外表面测试区域图; (b) 阴极内外表面和 (c) 阴极内表面三个区域中的 Li⁺强度随溅射深度的分布曲线

Fig.8 (a) Diagram of test area of inner and outer surface of the cathode; (b) Intensity curves of Li⁺ with sputtering depth on Area1 and the outer surface of cathode and (c) in three areas on the inner surface of cathode

Li⁺随放电等离子体中的正离子向阴极流动的过程中会经过放电区反射镜, Li⁺可能会沉积在反射镜表面甚至进入反射镜膜层中, 因此对放电区反射镜与非放电区反射镜膜层表面进行 TOF-SIMS 测试。如图 9

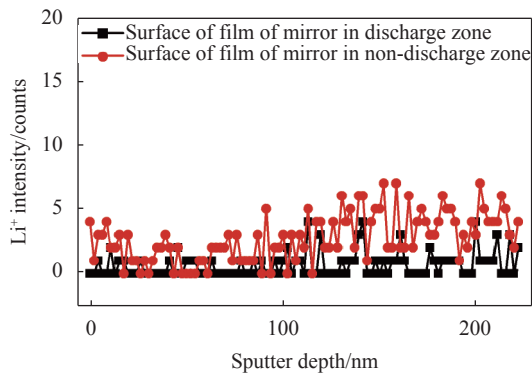


图 9 放电区与非放电区反射镜膜层表面的 Li⁺强度随溅射深度的分布曲线

Fig.9 Intensity curves of Li⁺ with sputtering depth on the surface of film of mirror in discharge and non-discharge area

所示, 两条曲线的分布规律基本一致, 非放电区反射镜膜层表面存在的少量 Li⁺是源于镀膜过程中引入的杂质, 而放电区反射镜表面 Li⁺强度与非放电区反射镜上 Li⁺强度相当, 且不同溅射深度下 Li⁺的强度分布相差不大, 因此认为放电区反射镜膜层没有明显的 Li⁺沉积和 Li⁺进入膜层的现象。

经多样本重复试验验证, 确认放电区微晶玻璃 Li⁺迁移现象普遍存在于激光陀螺谐振腔内。

1.3 机理探讨

激光陀螺的核心元件是氦氖激光器, 其采用高压直流电源激励使气体产生辉光放电, 并利用抖动结构减小锁区, 因此陀螺处在激励电源和抖动电源等多个复杂电场下。文中采用 COMSOL Multiphysics 软件仿真了激光陀螺工作状态下的电场分布, 由于空间三轴激光陀螺是三个单轴陀螺的集成化体现, 从单个轴向分析, 其基本配置与单轴陀螺完全相同, 故此处只对单轴激光陀螺进行建模仿真, 根据激光陀螺的实际工作情况将两个阳极电势设定为 -450 V, 阴极电势设定为 -900 V, 抖动机构通过胶水与陀螺块体粘接在一起, 将粘接面的电势设定为 0 V。图 10 为激光陀螺电场分布图及其局部放大图 (黑色虚线圈内为放电区微晶玻璃)。图中箭头方向代表电场方向, 电场分布图中箭头粗细和长度与电场强度成正比, 但是, 由于反射镜和放电区微晶玻璃处的电场强度很小, 为了清晰地体现放电区微晶玻璃表面的电场方向, 局部放大图中箭头粗细和长度是归一化的, 与电场强度大小无关, 主要用于显示电场方向, 可见此处电场方向指向微晶玻璃外侧。因此, 微晶玻璃中的 Li₂O 在这样的电场中解离成 Li⁺和 O²⁻[9], 由于碱金属元素活性大, Li⁺在电场作用下将向微晶玻璃外迁移, 最终脱离微晶玻璃进入放电区谐振腔, 迁移速率与微晶玻璃电导率有关。该区域因迁移导致表面 Li⁺浓度降低, 折射率发生变化, 因此显现出跟周边区域不同的光反射特征。进一步地, 由于反射镜处的电场强度较小, 使 Li⁺向反射镜移动的电场力也很小。而且, 腔内等离子体的流动路径遵循最短路径原则, 由于陀螺中加工有储气孔, 所以大部分等离子体不会直接接触反射镜, Li⁺也随等离子体主要向阴极移动, 并沉积在阴极内表面, 因此未在反射镜上检测到明显的 Li⁺沉积现象。

离子迁移可以用固体材料中缺陷的布朗运动来

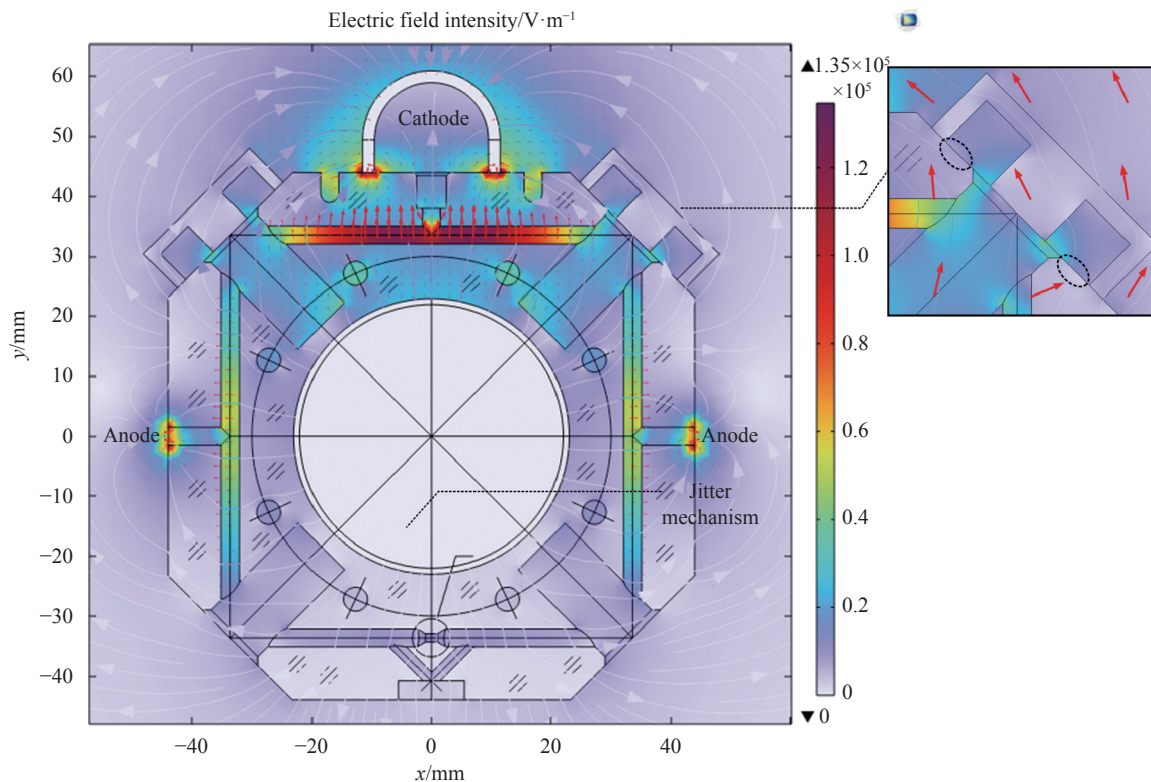


图 10 激光陀螺工作状态下的电场分布图及其局部放大图

Fig.10 Electric field distribution of laser gyroscope and its local magnification

解释,显然,微晶玻璃内存在很多固有缺陷,例如,离子逃离原来格点而留下带有电荷的空位缺陷,以及逃离原来格点的离子迁移到临近空位较大的格点间隙而形成的带电荷的间隙离子缺陷等。 Li^+ 就是一种间隙离子缺陷。在没有外电场的情况下, Li^+ 做无规则的布朗运动;但在有外加定向电场的情况下,外电场会促使产生更多 Li^+ ,同时对带电荷的 Li^+ 产生作用力,使布朗运动发生偏向产生定向移动现象,整个过程受温度、电场和固体的自身势场的共同影响^[18]。

Li^+ 迁移现象对陀螺性能影响主要体现在以下两方面,(1) Li_2O 是微晶玻璃保持低膨胀系数进而保证谐振腔工作过程中尺寸稳定性的关键材料,如果局部的 Li 元素浓度降低,会降低块体的温变尺寸稳定性^[6];(2) Li^+ 在阴极沉积会改变阴极表面质量,降低阴极工作寿命。

为抑制激光陀螺微晶玻璃中 Li^+ 迁移对陀螺性能的影响,提升激光陀螺通电性能稳定性,研究思路是改变微晶玻璃表面电场分布并降低局部分布梯度。可通过在具有较大电势差的零件之间加入高阻抗材料,使电势在高阻抗材料中大幅下降,减弱陀螺微晶

玻璃内的电场强度和梯度,有效降低微晶玻璃 Li^+ 的迁移速率。

以往对激光陀螺中 Li^+ 迁移现象的研究均只有定性的分析,而无定量研究及准确的观测,文中对微晶玻璃内 Li^+ 迁移规律的研究,对进一步提升激光陀螺的长期稳定性,提高装备性能具有重要意义。

2 结 论

文中开展了空间三轴激光陀螺通电寿命加速试验,采用 TOF-SIMS 分析技术测试了放电区微晶玻璃、反射镜和阴极内外表面的 Li^+ 随溅射深度的分布曲线,研究了空间三轴激光陀螺 Li^+ 的迁移规律,采用 COMSOL Multiphysics 软件对激光陀螺工作状态下的电场进行了建模和仿真分析,探讨了放电区微晶玻璃表面 Li^+ 在玻璃和谐振腔内的迁移机理。研究表明:微晶玻璃中 Li^+ 在激光陀螺电场及谐振腔内等离子体的作用下向谐振腔方向迁移,并脱离微晶玻璃进入谐振腔,然后随等离子体流动,最终沉积在阴极表面,该现象可能降低陀螺微晶玻璃块体的温变尺寸稳定性,降低阴极工作寿命进而降低激光陀螺的长期通电性

能稳定性。基于其变化规律,提出了抑制 Li^+ 迁移的主要技术方向,后续将进一步研究 Li^+ 迁移的抑制方法,提升激光陀螺长期通电性能稳定性和寿命。

参考文献:

- [1] Jiang Fuhao, Wang Shilin. Current situation and prospect of space triaxial ring laser gyro [J]. *Navigation and Control*, 2020(4): 197-207. (in Chinese)
- [2] Jiang Yanan. Ring Laser Gyroscope[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995. (in Chinese)
- [3] Wang Zichao, Fan Huiying, Xie Yuanping, et al. System-level calibration method for complex error coefficients of strapdown inertial navigation system [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2022, 51(7): 20210499. (in Chinese)
- [4] Zhao Hongchang, Wang Zhiguo. Influence of thermal transfer on temperature drift compensation in nonplanar four-frequency differential laser gyros [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2019, 48(9): 0905005. (in Chinese)
- [5] Baker S M, Johnson D E, Clark M. Ring laser gyroscope with ion migration field reducer shield: US, US10330477B2[P]. 2019-06-25.
- [6] Vonbieren K. Ion-suppressed ring laser gyro frames: US, US5098189A[P]. 1992-03-24.
- [7] Canfield J M, Volk. C H, Assendrup J D, et al. Ionic conduction barrier for ring laser gyroscope bodies: US, US5432604A[P]. 1995-07-11.
- [8] Mary A, Morbieu B. Frame element of a laser gyroscope comprising a substrate comprising mobile ions and an electrode: US, US8994951B2[P]. 2015-03-31.
- [9] Ford C M, Youngner D W, Zook J D. Cathode seal including migration resistant dielectric material: US, US6025914A[P]. 2000-02-15.
- [10] Baker S M, Johnson D E. Systems and methods for ring laser gyroscope with electrically isolated dither motor: US, US9551578 B1[P]. 2017-01-24.
- [11] Morris R C. Ring laser gyroscope with ion flux trap electrode: US, US5856995A[P]. 1999-01-05.
- [12] Barnes D A, Rock P O, Beckwith T A, et al. Method for anodically bonding an electrode to a ring laser gyro black: US, US6072580A[P]. 2000-06-06.
- [13] Ecklund S P, Callaghan T J. Current control biasing to protect electrode seals: US, US6714580B2[P]. 2004-03-30.
- [14] Seiber B A. Arrangements for increasing sputter life in gas discharge tubes: US, US7058111B2[P]. 2006-06-06.
- [15] 中华人民共和国国家标准GB 2689.1—1981. 恒定应力寿命试验和加速寿命试验方法总则[S]. 北京: 中国标准出版社, 1981.
- [16] Bian Ting. Study on accelerated life test of ring He-Ne laser[D]. Xidian: Xidian University, 2010. (in Chinese)
- [17] Li Zhanping. Time-of-flight secondary ion mass spectrometry [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2020, 39(6): 1173-1190. (in Chinese)
- [18] Zhu Jiayi. Thermal-induced compositional ion migration behavior in glass and its influence on properties[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020. (in Chinese)

Study on Li ion migration of glass-ceramic in discharge area of space triaxial laser gyroscope

Tian Shuangchen¹, Li Yujiao^{1*}, Zhong Junyu², Li Luqie¹, Wang Shilin¹

(1. Beijing Institute of Automatic Control Equipment, Beijing 100074, China;

2. The 2nd Beijing Military Representative Office of Airforce Equipment Department, Beijing 100074, China)

Abstract:

Objective Space triaxial laser gyro is a kind of space laser gyro which integrates three sensitive loops orthogonally on a glass-ceramic substrate. It has been widely used in aviation, aerospace, military and other fields. With the increasing requirement of military equipment for the long-term power-on stability of performance of high-precision laser gyro, improving the long-term power-on stability of performance of laser gyro and extending its working life have become an important topic for researchers in the field of laser gyro both at home and abroad. Foreign companies such as Litton, Honeywell, Thales, etc. had mentioned that Li^+ on the glass-ceramic substrate

migrated under the action of electric field, and in turn, it reduced the working life of laser gyro, but no specific research has been made. In order to improve the long-term power-on stability of performance of laser gyro and prolong its working life, Li^+ migration on the surface of LAS ($\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) glass-ceramic in the discharge area was researched.

Methods The accelerated power-on life test of space triaxial laser gyro was carried out, the intensity curves with the sputtering depth of Li^+ in the glass-ceramic in the discharge and non-discharge area, mirrors, and the inner and outer surfaces of cathode of this laser gyro was tested with the time-of-flight secondary ion mass spectrometry (TOF-SIMS) analysis, the law of Li^+ migration in the glass-ceramic and the resonator of space triaxial laser gyro was clarified. Meanwhile, the electric field of the laser gyro in the working state was modeled and simulated by COMSOL Multiphysics. Furthermore, the migration mechanism of Li^+ in the glass-ceramic and the resonator was discussed.

Results and Discussions The color of the glass-ceramic surface in the discharge area of the test gyro was changed significantly (Fig.4). The intensity curves of major elements with the sputtering depth in the glass-ceramic in the discharge and non-discharge area, mirrors, and the inner and outer surfaces of the cathode was tested by means of TOF-SIMS. It was found that Li^+ on the surface of the glass-ceramic in the discharge area had migrated into the resonator (Fig.6-7), and deposited on the inner surface of the cathode uniformly (Fig.8). Meanwhile, no significant Li^+ deposition on the mirror which located in the discharge area, or even entered into the film (Fig.9). COMSOL Multiphysics was used to simulate the electric field distribution of the laser gyro under the working condition. The Li^+ migration mechanism in the glass-ceramic was discussed combined with the simulation results. It showed that Li^+ migrated to the surface of glass-ceramic and entered into the resonator under the action of electric field, which decreased the Li^+ concentration and changed the refractive index of glass-ceramic. So it showed different light reflection characteristics from the surrounding area. Furthermore, since the electric field intensity in the mirror in the discharge area is relatively small, the flow path of the plasma in the resonator follows the principle of the shortest path, most of the plasma will not directly touch the mirror, Li^+ mainly moves to the cathode with the plasma and deposits on the inner surface of the cathode, therefore no obvious Li^+ was detected on the mirror.

Conclusions Li^+ migrated into resonator under the action of the electric field and plasma of glass-ceramic in the discharge area of space triaxial laser gyroscope, and then flowed with the plasma, finally deposited on the inner surface of the cathode. This phenomenon may reduce the temperature-varying dimensional stability of glass-ceramic and the working life of cathode, and then decreased the long-term power-on performance stability of the laser gyro. Some measures and suggestions are proposed to suppress Li^+ migration based on its migration law, the specific suppression methods of Li^+ migration will be further studied.

Key words: ion migration; laser gyroscope; plasma; Li ion

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (62103059)