

文章编号: 1007-4627(2006)02-0207-03

钨辐射损伤随辐照剂量变化的重离子辐照模拟研究*

郑永男, 左翼, 周冬梅, 袁大庆, 杜恩鹏, 段晓,
王朝晖, 刘猛, 李永, 朱升云
(中国原子能科学研究院, 北京 102413)

摘要: 采用重离子辐照模拟方法和正电子湮没寿命测量技术研究了钨辐射损伤随辐照剂量的变化。20, 60 和 90 dpa(每个原子的位移次数)辐照损伤水平的实验结果表明, 辐照在钨中产生单空位、双空位、位错和空位团等缺陷; 随辐照剂量的增大, 单空位、双空位和位错浓度增加, 空位团的尺度和浓度都随之增大。

关键词: 钨; 辐射损伤; 重离子辐照模拟; 正电子湮没寿命测量

中图分类号: O571 **文献标识码:** A

1 引言

在加速器驱动洁净能源系统中, 钨是一种重要的散裂中子源靶材料^[1]。钨靶在工作中受到高剂量的质子与中子照射, 产生辐射损伤, 位移损伤率高达 100—200 dpa/a。辐射损伤会导致材料性质变坏, 当达到一定累积辐照剂量时, 辐射损伤引起材料性能严重恶化, 导致加速器驱动洁净能源系统的故障或造成不堪设想事故。高剂量钨辐射损伤及其随辐照剂量的变化研究, 对加速器驱动洁净能源系统散裂中子源的设计、散裂靶使用寿命评估和保证系统的正常工作具有重要的意义。

目前质子与中子源的强度都太低, 不能在实验室中进行加速器驱动洁净能源系统中所遇到的高剂量的辐照效应研究, 所以发展了重离子辐照模拟方法进行高剂量辐照材料的辐照效应研究^[2-4]。

本工作采用重离子辐照模拟方法和正电子湮没寿命测量技术, 进行高剂量辐照的钨辐射损伤及其随辐照剂量的变化研究。

2 实验

2.1 样品和辐照

实验样品尺寸是 $\phi 15 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$, 纯度好于

99.9%。样品表面采用机械方法抛光成镜面光亮。

重离子辐照在中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器上进行。室温下采用 80 MeV 的 ^{19}F 离子辐照, 辐照时样品用水冷却。辐照损伤水平范围为 0—90 dpa, 辐照损伤率为 3.9 dpa/h。

2.2 正电子湮没寿命测量

采用正电子湮没寿命技术检测辐照产生的辐射损伤。正电子湮没寿命测量采用快-快符合正电子湮没寿命谱仪。谱仪的探测器由氟化钡闪烁体和 XP2020Q 光电倍增管组成。采用 ^{60}Co 测量了谱仪的时间分辨, 实验测得的谱仪时间分辨为 205 ps。实验测量中采用 ^{22}Na 正电子源, 源强为 $8 \times 10^5 \text{ Bq}$ 。测量时两块相同剂量辐照的样品和源形成“样品-源-样品”的三明治夹心结构。正电子湮没寿命测量在室温下进行, 每个寿命谱总计数为 10^6 。

实验测量的正电子湮没寿命谱用 LT 程序拟合^[5]。除去源成分后, 寿命谱可以用两个寿命很好地拟合。拟合参数为 $\tau_1, \tau_2, I_2 (I_1 + I_2 = 1)$, 拟合优度好于 1.3。

3 结果和讨论

80 MeV ^{19}F 离子在室温下辐照的钨样品的正电

收稿日期: 2005-11-20; 修改日期: 2006-01-12

* 基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(G1999022600)

作者简介: 郑永男(1978-), 男(朝鲜族), 吉林通化人, 助研, 从事核技术应用研究; E-mail: Zhengyn@iris.ciac.ac.cn

子湮没寿命 τ_1 和 τ_2 及其强度 I_1 和 I_2 随辐照剂量的变化如图 1 和图 2 所示。 τ_1 是自由正电子和单空位、双空位和位错缺陷捕获的正电子湮没寿命的权重平均值, τ_2 是空位团或空洞捕获正电子湮没寿命, 空位团或空洞的尺度越大, τ_2 越大。

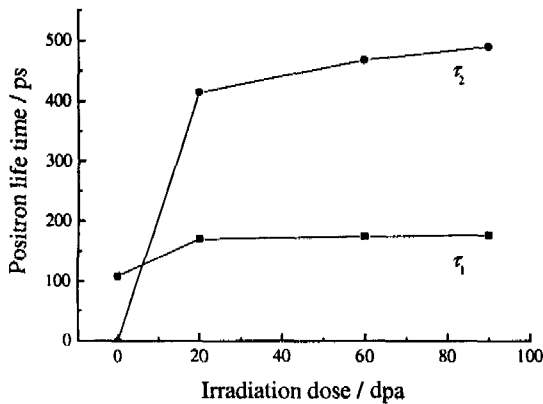


图 1 正电子湮没寿命 τ_1 和 τ_2 随辐照剂量的变化

在没有辐照的钨中, 拟合只得到正电子湮没寿命 τ_1 , 其值为 $\tau_1 = 109$ ps, 这是钨中自由正电子湮没寿命, 说明在钨样品中不存在缺陷。

由图可见, 正电子湮没寿命 τ_1 和 τ_2 以及相对强度 I_2 都随辐照剂量的增加而增大。辐照损伤水平达 20 dpa 后, $\tau_1 = 169.7$ ps, $\tau_2 = 413.8$ ps 和 $I_2 = 36.6\%$, 表明辐照在钨中产生单空位、双空位缺陷和位错缺陷, 同时还产生空位团。辐照损伤水平达 60 dpa 后, $\tau_1 = 174.3$ ps, $\tau_2 = 467.1$ ps 和 $I_2 =$

41.2%; 辐照损伤水平达 90 dpa 后, $\tau_1 = 176.1$ ps, $\tau_2 = 489$ ps 和 $I_2 = 46.4\%$ 。 τ_1 , τ_2 和 I_2 都随辐照剂量的增加而变大, 说明钨中产生的单空位、双空位和位错缺陷浓度随辐照剂量增加而增大(使权重平均值 τ_1 随辐照剂量增大而变大); 产生的空位团尺度和浓度都随辐照剂量的增加而增大。

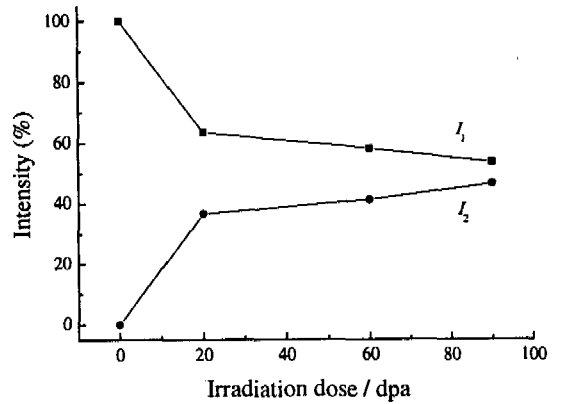


图 2 正电子湮没寿命 τ_1 和 τ_2 的相对强度随辐照剂量的变化

采用重离子辐照模拟方法在 0—90 dpa 辐照损伤水平范围研究了钨中产生的辐射损伤。实验结果表明, 室温下 80 MeV ^{19}F 离子辐照在钨中产生单空位缺陷、双空位缺陷、位错缺陷和空位团, 随着辐照剂量的增加, 单空位、双空位和位错缺陷浓度增加, 空位团的尺度和浓度都随之增大。

参 考 文 献:

[1] 赵志祥. 加速器驱动放射性洁净核能系统概念研究论文集. 北京: 原子能出版社, 2000, 53—219.

[2] Exel K, Humbach W, Keiser K, et al. Nuclear Physics Methods in Materials Research. In: Bethge K, Baumann H, et al. 1980, 478.

[3] Ahmat Polat, Fan Zhiguo, Luo Qi, et al. Nuclear Science and Technology, 2000, 11: 52—54.

[4] Zhu Shengyun, Zheng Yongnan, Polat Ahmat, et al. J Nuclear Materials, 2005, 343: 325.

[5] Kansy J. Nucl Instr and Meth, 1996, A374: 235.

Dose Dependence of Radiation Damage in W Studied by Heavy Ion Irradiation Simulation *

ZHENG Yong-nan, ZUO Yi, ZHOU Dong-mei, YUAN Da-qing, DU En-peng,
DUAN Xiao, WANG Zhao-hui, LIU Meng, LI Yong, ZHU Sheng-yun
(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

Abstract: Radiation damage in W has been studied as a function of irradiation dose by heavy ion simulation and positron annihilation lifetime measurement. The experimental results of 20, 60 and 90 dpa irradiations illustrate that the mono-and di-vacancies, dislocations and vacancy clusters are produced by the irradiation. The concentrations of the mono-and di-vacancies and dislocations and both the concentration and size of the vacancy clusters or voids all increase with the increasing of the irradiation dose.

Key words: tungsten; radiation damage; heavy ion irradiation simulation; positron annihilation lifetime measurement

* Foundation item: State Major Basic Research Development Program in China (G1999022600)