

文章编号:1000-6931(2001)03-0279-04

HF-13 串列加速器上卫星器件空间辐射效应模拟研究简况

李志常,李嫩媛,姜华,刘建成

(中国原子能科学研究院核物理研究所,北京 102413)

摘要:简要叙述了卫星器件及样机的空间辐射效应的实验模拟研究的起源,以及在 HF-13 串列加速器上已进行的有关研究工作和方法。分析了现有设备的局限性,简述了串列加速器国家实验室升级工程要点。

关键词:空间辐射效应;单粒子效应;抗辐射加固;串列加速器

中图分类号: TL99 **文献标识码:** A

空间技术发展及应用的实践证明:飞行器在空间工作将受到不同能量和不同剂量的多种射线(主要是高能重离子和高能质子)的照射。1962年,Wallmark 首先预言了单粒子效应的存在,1975年,Binder 等^[1]提出,卫星运行中的异常现象有可能是单粒子效应(SEE)引起的,由此开辟了空间辐射效应及抗辐射加固研究的新领域。

在空间辐射效应研究中,空间飞行实验研究的作用极为重要^[2,3]。被研究的器件或样机须在空中进行飞行实验,存在实验周期长、费用高、实验数据少及实验条件难以重复等重大困难。实验室模拟实验以它特有的方便、快捷、经济及实验条件可控等优点而迅速发展起来。Newberry 小组、Stassinopouios 小组、欧空局、美国宇航电子器件公司(SEE Space Electronics Inc)以及美国的 Berkely、Brookhaven、Los Alamos 实验室和 Dubna(前苏联)实验室以及法国、英国、日本等国,不仅进行了多种器件的辐射效应的空间飞行试验,还进行了大量的实验室模拟实验。在国内,空间飞行试验随着我国卫星发射业已开始,许多研究小组也早已开始用放射源(如镅源、源等)进行实验室模拟实验。中国原子能科学研究院核物理研究所与有关研究所于1992年首次利用加速器提供的多种重离子进行卫星器件的重离子辐照效应研究。目前,国内其它一些研究所及高等院校,也在进行或正在着手进行这方面的工作。

1 重离子辐照效应研究

中国原子能科学研究院串列加速器国家实验室的 HF-13 串列加速器是进行空间辐射效应

收稿日期:2000-04-27;修回日期:2000-07-10

作者简介:李志常(1940—),男,湖北武汉人,研究员,核物理专业

模拟实验研究的强有力设备。加速器上常用的离子包括质子及 C、O、F、P、Cl、Fe、Cu、Br 和 I 等重离子。

图 1 示出了加速器上常用的重离子种类、金靶上 30 弹散粒子能量 E 、相应的 LET 值以及它们在 Si 中的射程 R 。根据重离子引起的卫星器件的辐照效应的要求,已发展了一套常规辐照研究方法(适用于不同型号和尺寸的器件),以及一套特殊的辐照方法——Q3D 磁谱仪焦点辐照方法。利用这些方法,完成了一些大规模及超大规模和某些中小规模集成电路等多种器件的单粒子效应研究、某些器件的总剂量-重离子辐照协和效应研究以及大体积电子系统和飞行试验样机整机性能的实验模拟研究^[4~9]。

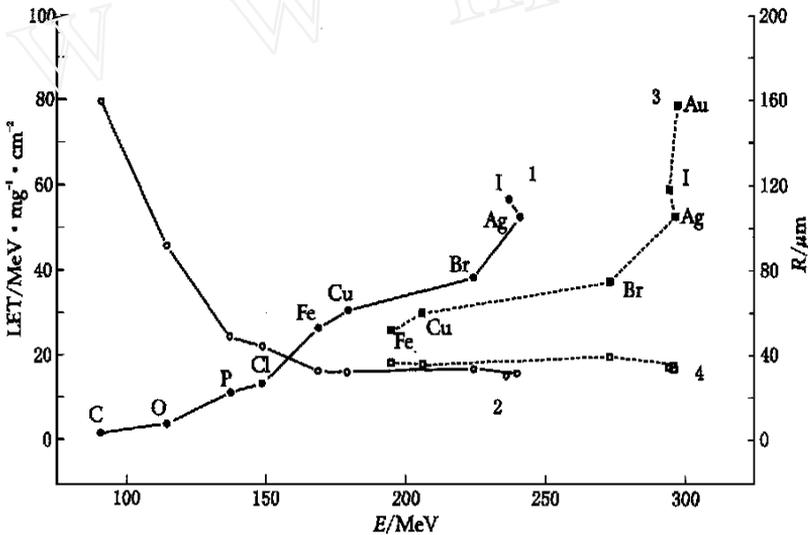


图 1 HF-13 及 HF-13 + 4 级 LINAC 加速的离子
在 Au 上 30 弹散的能量 E 、LET 和射程 R

Fig. 1 E , LET and R of ions accelerated by HF-13 and HF-13 + LINAC

- 1——HF-13 加速的离子的 LET 曲线; 2——曲线 1 相应离子的射程;
3——HF-13 + 4 级 LINAC 的 LET 曲线; 4——曲线 3 相应离子的射程

“八五”及“九五”期间,利用 HF-13 串列加速器、30 MeV 质子回旋加速器和 4.44×10^{15} Bq 钴源等,以及上述辐射研究方法和设备,进行了多种卫星器件及样机和多种内容的实验室模拟研究,均取得了满意的结果,并有许多实验结果已被用到非常重要的卫星发射工程中。在 HF-13 串列加速器上进行的辐射效应实验研究内容列于表 1。

2 未来重离子辐射效应模拟试验研究

单粒子效应包括重离子引起的高能质子引起的两大类型。世界各卫星大国对此研究非常重视,有的实验室建造了专门的设备或终端来开展这方面的研究。近十年来,在中国原子能科学研究院 HF-13 串列加速器和 30 MeV 质子回旋加速器上,进行了大量的重离子及质子的单粒子效应研究。但加速器的性能与日益发展的空间辐射效应模拟研究的要求相比,显现出以下不足: 1) 质子能量不够高,较为合适的能量应为 100 ~ 150 MeV; 2) 重离子的 LET 值对某

些器件显得太小,高端至少应达到 $80 \text{ MeV} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 或更高,并且还应该具有足够的能量,使得粒子可穿过器件的灵敏层。

表 1 在 HF-13 串列加速器上进行的卫星器件及样机的辐射效应研究

Table 1 The studies of irradiation effects of satellite devices with HF13 tandem accelerator

| 时间 | 辐射源或辐射离子 | 实验内容 |
|-------------|----------------|--|
| 1992 ~ 1993 | C、O、P、Cl、Fe、Br | 80C31 微控制器单粒子效应 ^[4] |
| 1993. 11 | C、O、P、Cl、Fe、Br | 80C86、82C54、82C84、HM65162 单粒子效应 ^[5] |
| 1995. 02 | C、O、Cl、Br | 总剂量对 80C31 和 HM65162 单粒子效应的影响 ^[6] |
| 1995. 10 | Cu、Br、I | 54LS 系列 TTL 电路及 54HC 系列 CMOS 电路总剂量-重离子协和效应 |
| 1998. 02 | C、O、Cl、Cu、Br | 80386EX 星载机整机抗重离子辐射性能验证 ^[7] |
| 1997 ~ 1998 | 质子 | 质子强辐射保护器样机性能研究 ^[8] |
| 1998. 11 | F、Cl、Br | 重离子引起的静态存储器多位翻转 ^[9] |
| 1998. 11 | O、S、Cu、Br | 快闪存储器 (Flash Memory) 固态盘重离子辐射效应 |

针对这些不足,串列加速器国家实验室计划在未来几年将实施加速器的升级工程,逐步实现上述目标。作为 HF-13 的前加速,建造 1 台能量为 100 MeV 的强流质子回旋加速器,作为后加速,建造 1 台十七级超导谐振腔重离子直线加速器。这 3 台加速器既可单独运行,也可联合运行。这样,不仅基本满足质子辐照效应研究的要求,而且重离子辐射效应的研究范围和能力亦有明显的扩大和加强。最大的 LET 值(如 Pb 离子)可提高到 $85 \text{ MeV} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。更重要的是,这些离子在 Si 中有足够的射程,可穿过器件的灵敏体积,这对特别重的离子引起的单粒子效应的研究是非常重要的。

在实施升级工程之前,采用离子的高剥离电荷态,并用 Q3D 磁谱仪在 0 直接照射样器,以提高被加速离子能量,不失为一有希望的途径,它有望达到近似升级工程的效果。此方法的验证实验正在准备之中。

参考文献:

- [1] Binder D. Satellite Anomalies From Galactic Cosmic Rays[J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1975, NS22(6): 2 675 ~ 2 681.
- [2] 朱文明. 卫星辐射环境与加固技术飞行验证监测[A]. 卫星抗辐射加固技术学术交流文集[C]. 北京:中国空间技术研究院, 1995. 1 ~ 10.
- [3] 杨兆铭. 单粒子效应对航天器的威胁及空间飞行试验评论[A]. 卫星抗辐射加固技术学术交流文集[C]. 北京:中国空间技术研究院, 1995. 199 ~ 216.
- [4] 唐 民. 同步轨道气象卫星用 80C31 微控制器单粒子效应敏感度评估[A]. 卫星抗辐射加固技术学术交流文集[C]. 北京:中国空间技术研究院, 1995. 277 ~ 283.
- [5] 孟庆茹. DFH3 星用集成电路单粒子效应敏感度评估[A]. 卫星抗辐射加固技术学术交流文集[C]. 北京:中国空间技术研究院, 1995. 284 ~ 289.
- [6] 孟庆茹. 总剂量对 80C31 和 HM65162 的单粒子效应的影响[A]. 卫星抗辐射加固技术学术交流文集[C]. 北京:中国空间技术研究院, 1995. 46 ~ 54.
- [7] 华更新. 386EX 芯片单粒子效应试验[A]. 第四届卫星抗辐射加固技术学术交流文集[C]. 兰州:中国空间技术研究院, 1999. 160 ~ 166.
- [8] 敬 辉. 强辐射保护器原理样机质子辐照实验及空间应用研究[A]. 第四届卫星抗辐射加固技术学术

交流文集[C]. 兰州:中国空间技术研究院,1999. 389~403.

- [9] 张庆祥. 星用大容量静态存储器多位翻转实验研究[A]. 第四届卫星抗辐射加固技术学术交流文集[C]. 兰州:中国空间技术研究院,1999. 209~215.

Outline of the Simulation Investigation of Space Radiation Effects in the Spacecraft Devices With HF-13 Tandem Accelerator

LI Zhichang, LI Shuyuan, JIANG Hua, LIU Jiancheng

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-10, Beijing 102413, China)

Abstract: The development and the importance of the simulation investigation of the space radiation effects are described for the devices and models used in spacecraft. Main aspects of the investigation and its related methods performed at HF-13 tandem accelerator are presented. The important achievements for this investigation are summarized. It also describes the further developments of the accelerators in the tandem accelerator laboratory.

Key words: space radiation effect; single event effect; radioresistance reinforcement; tandem accelerator

非均相系结构与动力学

Structure and Dynamics of Heterogeneous Systems

编者: Peter Entel 和 Dietrich E. Wolf. 2000 年世界科学出版社出版。

本书是会议文集。《非均相系结构与动力学》国际会议于 1999 年 2 月 24~26 日在德国的杜伊斯堡召开, 来自物理学、化学、工程学与计算机科学领域的科学家出席了大会。

会议主题包括络合物结团与层生长的微观理论和实验以及二维系统中磁畴壁的阻塞和反阻塞动力学等内容。

全书分 4 部分: 1) 络合环境中的原子与分子; 2) 表面的非磁性与磁性结团; 3) 表面薄膜的结构与动力学; 4) 非均匀相磁结构的力学与动力学。

摘自中国原子能科学研究院《科技信息》