



中华人民共和国国家军用标准

FL 6100

GJB/Z 226—2024

半导体器件抗核辐射总剂量效应试验指南

Test guide for anti-nuclear-radiation total-dose effect
for semiconductor devices

2025—01—07 发布

2025—03—01 实施



中央军委装备发展部 颁布

前 言

本指导性技术文件附录 A、附录 B 和附录 C 是资料性附录。
本指导性技术文件由中央军委装备发展部综合计划局提出。
本指导性技术文件起草单位：工业和信息化部电子第四研究院。
本指导性技术文件主要起草人：安 琪、周 俊、尹 航、黄东巍。

半导体器件抗核辐射总剂量效应试验指南

1 范围

本指导性技术文件规定了采用钴 60 (^{60}Co) γ 射线源对半导体器件进行抗核辐射总剂量效应试验的试验要求和程序以及相关注意事项等内容。核辐射总剂量效应同空间辐射总剂量效应在辐射试验剂量范围、剂量率、试验程序、偏置条件等方面均存在差异。本指导性技术文件对半导体器件抗核辐射总剂量效应试验的各类要素、流程及注意事项进行细化、解释和阐述,为半导体器件开展抗核辐射总剂量效应试验提供指导和参考。

本指导性技术文件适用于半导体器件抗核辐射总剂量效应试验。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本指导性技术文件的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包含勘误的内容)或修订版本都不适用于本指导性技术文件,但提倡使用本指导性技术文件的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本指导性技术文件。

GB/T 16640 辐射加工剂量测量系统的选择和校准导则

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GJB 548B—2005 微电子器件试验方法和程序

GJB 2712 测量设备的质量保证要求计量确认体系

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本指导性技术文件。

3.1 电离辐射效应 **ionizing-radiation effects**

总剂量效应 **total-dose effects**

由辐射诱生电荷引起的器件电参数的变化。

3.2 在线测试 **in-flux tests**

辐射过程中对器件进行的电测试。

3.3 原位测试 **in-situ tests**

停止辐射后,器件仍处于辐射位置上的电测试。

3.4 移位测试 **remote tests**

将器件从辐射位置移开后进行的电测试。

4 试验要求

4.1 辐射模拟源

利用人工核试验产生的辐射环境具有真实性和综合性的优点,但试验条件限制因素较多(关于核辐射环境总剂量效应特点分析参见附录 A)。辐射模拟源是对单一辐射效应的模拟。 ^{60}Co 辐射源一般可用于模拟累积总剂量对半导体器件产生的电离辐射损伤。

国内建有两类不同结构的 ^{60}Co 辐射源,一类为试验用点源,该类源一般由多根间距近、比度高的 ^{60}Co 棒构成一尺寸较小的圆柱状源盒。点源的最大优点是辐射室内场分布均匀,剂量率准确,各辐射位置的剂量重复性好,便于精确控制辐射剂量。另一类为工业用板源,该类源一般采用多根间距相对较远的 ^{60}Co 棒构成尺寸较大的长方形板状源盒,其装源量较多,体积较大。板源的优点是自动化程度高,

货物辐射加工处理量大，射线能量利用率高；缺点是无固定辐射试验台，且源棒间距大，辐射场均匀性较差，因此对小尺寸被辐射物品较为敏感，重复性不如点源。核辐射总剂量推荐模拟试验源信息参见附录 B。

被试器件所处辐射场的均匀性应符合 GJB 548B—2005 方法 1019 中 2.1 的规定。根据被试器件的尺寸和体积，需选择合适的辐射位置，以保证器件所处辐射场的均匀性。

4.2 辐射环境测量系统

4.2.1 剂量测量系统

电离室、热释光剂量计(TLD)、硫酸亚铁(FeSO_4)，或其他的测试系统，测量不确定度小于 5%。关于不同类型测量系统的特点和用途、剂量和剂量率测量范围、选择和校准原则参见 GB/T 16640。

4.2.2 剂量测量

辐射场剂量测量应符合 GJB 548B—2005 方法 1019 中 3.3 的规定。

4.2.3 铅铝(Pb/Al)容器

所使用的 Pb/Al 容器应符合 GJB 548B—2005 方法 1019 中 3.4 的规定。

4.3 试验样品

试验样品应符合 GJB 548B—2005 方法 1019 中 3.1 的规定。

4.4 器件摆放

试验器件的有效吸收剂量随器件相对于辐射束的取向而异，为此，安装器件插座时，应保证试验器件的芯片表面垂直于入射束。

4.5 剂量率选择

应在辐射试验大纲中规定辐射剂量率。除另有规定外，剂量率选择和偏差范围应符合 GJB 548B—2005 方法 1019 中 3.6.1 的规定。对于辐射总剂量水平较低，辐射时间可能无法满足电测试要求或出现升降源导致剂量水平误差较大的情况，可适当降低辐射剂量率，但一般不低于 $0.05\text{Gy}(\text{Si})/\text{s}$ 。

4.6 辐射偏置条件

辐射过程中，被试器件应保持辐射试验大纲规定的偏置和负载条件。偏置条件一般可分为以下几类：

- a) 静态偏置；
- b) 动态偏置；
- c) 器件所有引出端短接；
- d) 按实际工作状态，或用户规定的状态。

应结合器件材料、结构、功能、制造工艺和辐射效应机理的分析，并通过相关的表征试验获得使器件辐射退化最严重的偏置条件，即最劣偏置条件；当无法确定最劣偏置条件时，则应尽可能选择较多的试验状态组合，或按实际工作状态(或用户规定的状态)进行辐射试验。附录 C 提供了一些具体器件类型推荐的辐射偏置条件和测试参数。

在重负载条件下，应采取适当的散热措施，使器件结温上升小，以防辐射效应退火。器件辐射效应的一些物理过程是与温度密切相关的。通常，温度会影响这些物理过程的快慢，升温使过程加速，降温则减慢过程。由于界面陷阱增长和俘获空穴(氧化物正电荷)退火的时间尺度取决于温度，因此需要在辐射时对温度加以控制。导致被辐射器件温度升高的主要原因包括射线本身能量沉积、器件加电工作和辐射损伤漏电等。当进行较高剂量率辐射时，有时会导致器件升温，加速退火效应，因此需要采取主动冷却等散热措施，以保持样品在允许温度范围之内。同样，被辐射器件的工作电流不能太大，或采取适当的散热措施，以防结温升高过大而造成影响。

4.7 效应测试系统

4.7.1 概述

辐射效应测试系统由电测试仪器、试验线路板、测试电缆和测试驱动板(需要时)构成，其示意图见图 1。

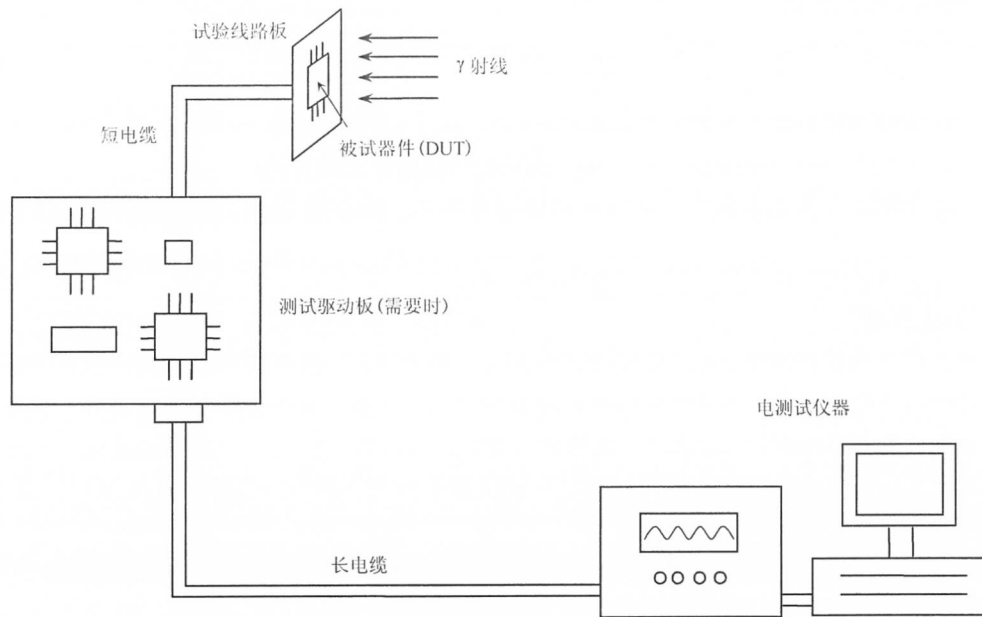


图 1 效应测试系统构成示意图

4.7.2 电测试仪器

电测试仪器应符合 GJB 548B—2005 方法 1019 中 2.3 的规定，并按 GJB 2712 要求进行定期计量和校准。

4.7.3 试验线路板

设计开发试验线路板前，建议预先获取试验现场的测试设备、线缆及接口、允许安放尺寸等详细信息，以便设计合适的试验线路板。试验线路具体要求如下：

- a) 应选择对辐射不敏感的器件插座用于试验线路板，器件插座是由不影响辐射场均匀性的材料制成。试验线路板上除被试器件外的其他元器件要选用对辐射不敏感的器件，或对其进行充分的屏蔽；
- b) 除非有特别声明，试验线路板上器件所有输入端及可能影响到器件辐射响应的端口都不得电悬空；
- c) 试验线路板的几何设计及元器件的布局应保证待测器件接受到均匀的辐射；
- d) 整个系统的设计要减少漏电流、防止振荡、电磁干扰和电应力损伤；
- e) 若器件要进行高温辐射，试验线路板应能承受试验所需的高温，试验线路板在试验前和试验后都要进行物理性能和电性能的测量；
- f) 不插装器件时，将所有噪声和干扰源处于工作状态，并施加最大偏置，引出端漏电流不应超过辐射前器件规范极限值的 10%。

4.7.4 测试电缆

测试电缆应符合 GJB 548B—2005 方法 1019 中 2.5 的规定。需要时，应对电缆进行屏蔽设计。

4.8 电测试

4.8.1 概述

用试验大纲规定的效应测试系统，对辐射前后的器件进行电参数和功能测试。在试验大纲中应规定辐射前后对所有的辐射敏感参数进行测试。

在电测试时，先进行测量系统检查，测试数据和被试样品的测试数据一起保存；辐射前、后的电测试应在同一测试系统上进行，且测试项目的顺序和测试条件应保持不变。

4.8.2 测试注意事项

电测试时主要应注意以下事项：

- a) 规定需进行的电参数和功能测试；
- b) 自动测试使结温上升能减至最小；
- c) 手工测试周期尽可能短，测试顺序采用功耗逐渐增加的方式；
- d) 应在同一个测试系统上进行辐射前后的电测试，器件的每一个电测试系列保持相同的测试顺序；
- e) 合适时采用脉冲测试，防止加热及退火效应。

4.8.3 测试方式

电测试可采用在线测试、原位测试或移位测试。原则上，在线测试和原位测试对象为敏感参数，移位测试对象为主要电参数。若采用在线测试或原位测试，在整个系统处于试验位置后，应检查系统的连接、漏电和噪声电平是否符合要求。若采用移位测试，将器件从辐射源移至异地测试以及返回原位再做辐射的过程中，器件各引出端应短接，测试环境温度不应高于辐射环境温度 10℃ 以上。辐射后器件电测试时间要求按 4.8.4 规定进行。

在线测试可避免辐射后时变效应导致的变化。但是，辐射过程中器件处于静态偏置，如果电测试需要动态偏置的时间占辐射总周期的比例较大，这种测试会引入误差。移位测试一般可进行更全面的电测试，但是当发生严重的辐射后时变效应时，可能导致错误的测试结果。

4.8.4 辐射后测试时间

对于移位测试，应记录辐射后至开始测试时的间隔时间。由于辐射感生陷阱电荷的时间相关效应，要求从停止辐射到电测试之间的时间间隔尽可能短。辐射后测量时间应符合以下规定：

- a) 辐射完毕到开始电测试的时间间隔不应超过 1h；
- b) 前一次辐射结束后到后一次辐射开始之间的时间间隔不应超过 2h。

如果需要延长辐射后至开始测试的时间间隔，可以选择将器件保存在干冰中，保存过程中器件各引出端应短接，并且在干冰中保持的温度和时间、以及器件恢复到室温的时间等均应满足有关要求。

4.9 温度

除非另有规定，辐射环境温度应为 $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

4.10 防护

试验人员在辐射源的操作应按 GB 18871 的规定进行。对于暴露于辐射环境的试验设备，应进行充分的屏蔽，避免辐射损伤。可根据设备的防护需求具体计算所需的屏蔽层厚度。

4.11 合格判据

合格判据应满足器件详细规范或者其他技术文件的要求。

5 试验程序

5.1 概述

核辐射总剂量效应试验程序见图 2。

5.2 试验大纲(或试验方案)制定

在分析已有的相关辐射数据基础上，应制定辐射试验大纲，并经用户确认。试验大纲至少应包括以下内容：

- a) 试验目的；
- b) 器件类型、名称、型号、封装形式、制造商、样品提供单位、样品数；
- c) 辐射源的名称；
- d) 辐射总剂量和剂量率；
- e) 剂量率(总剂量)测量不确定度要求；

- f) 偏置和负载条件；
- g) 辐射环境温度；
- h) 辐射期间进行电测试的次数；
- i) 电测试项目和测试条件；
- j) 辐射前后电参数或功能合格判据；
- k) 电测试方式：在线测试、原位测试或移位测试；
- l) 电测试设备名称。

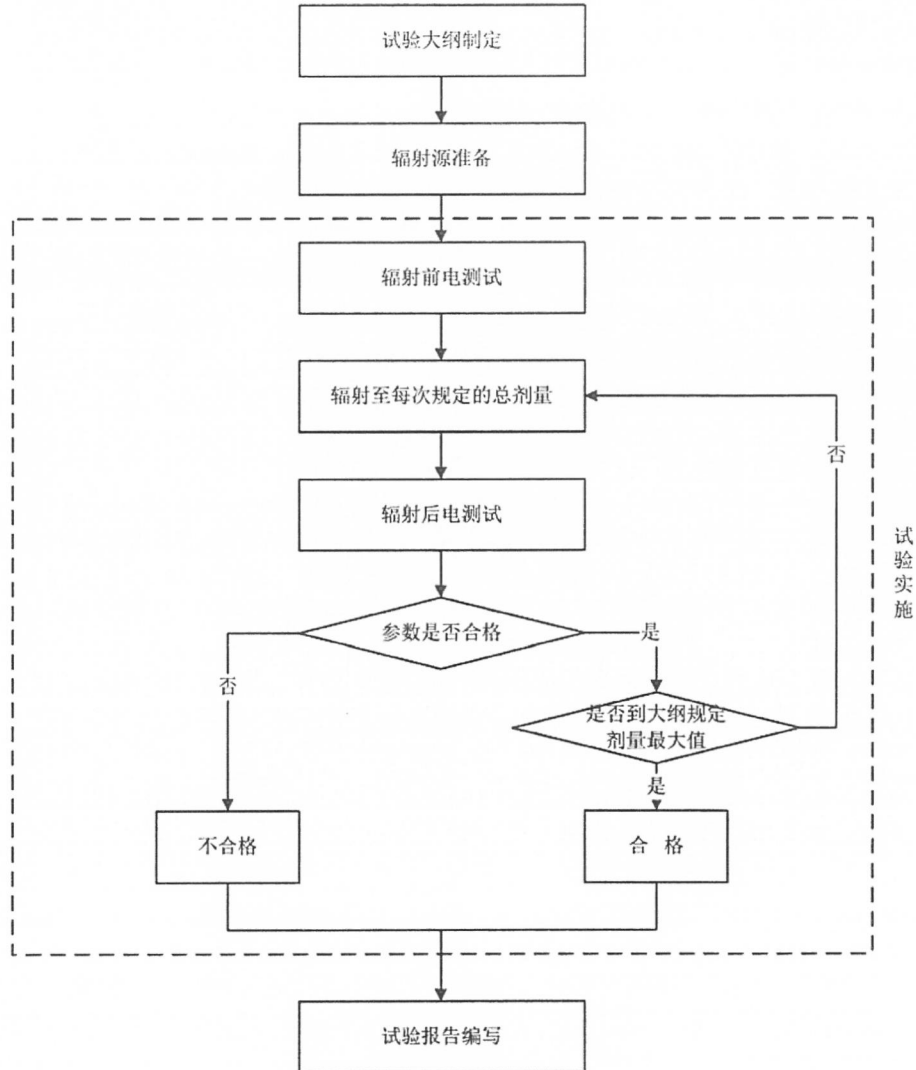


图2 核辐射总剂量效应试验程序

5.3 辐射源准备

调整辐射源的状态，进行剂量测量，使辐射场剂量率和均匀性满足试验要求。

5.4 试验实施

5.4.1 辐射前电测试

应按照辐射试验大纲规定测试项目和测试条件，在辐射前对试验样品进行电测试。当规定了参数变化量(Δ)极限值时，应记录辐射前数据。

5.4.2 辐射到大纲规定的剂量

应辐射至试验大纲规定的最高剂量。需要时，应在试验大纲中规定对同一组器件进行分步辐射，并在每次辐射后进行电测试。

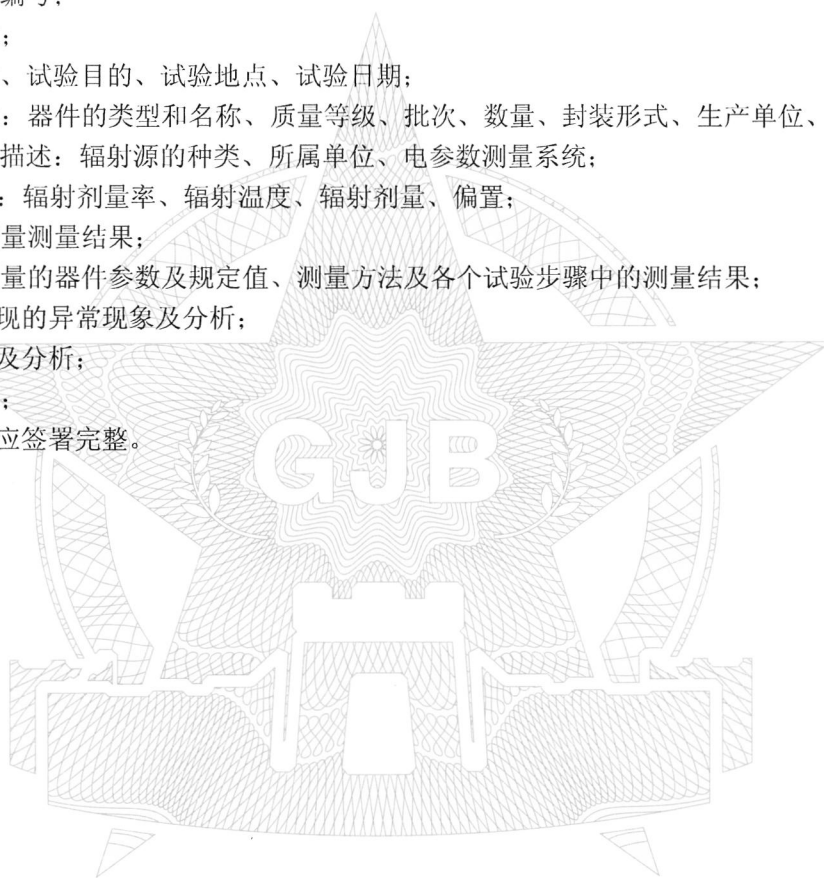
5.4.3 辐射后电测试

按照辐射试验大纲规定测试项目和测试条件及判据，在辐射后对试验样品进行电测试。应记录每个器件在每次辐射后的全部要求的数据。

5.5 试验报告编写

试验报告至少应包括以下内容：

- a) 试验报告编号；
- b) 试验单位；
- c) 试验名称、试验目的、试验地点、试验日期；
- d) 器件描述：器件的类型和名称、质量等级、批次、数量、封装形式、生产单位、器件编号；
- e) 试验设备描述：辐射源的种类、所属单位、电参数测量系统；
- f) 辐射条件：辐射剂量率、辐射温度、辐射剂量、偏置；
- g) 辐射场剂量测量结果；
- h) 试验中测量的器件参数及规定值、测量方法及各个试验步骤中的测量结果；
- i) 试验中出现的异常现象及分析；
- j) 试验数据及分析；
- k) 试验结论；
- l) 试验报告应签署完整。



附录 A

(资料性附录)

核辐射环境总剂量效应特点分析

A.1 核辐射环境与空间辐射环境的总剂量效应及试验原理差异

由于核辐射总剂量是由瞬态 X 射线、 γ 射线脉冲产生的累积剂量，因此在辐射剂量率上要远远高于一般的空间辐射环境，但由于辐射时间短，在剂量水平上略低于空间辐射环境。

电离辐射是通过绝缘层时产生电子—空穴对，在外加电场下漂移俘获形成辐射感生氧化物陷阱电荷和辐射感生界面陷阱电荷，从而导致器件阈值电压变化和性能退化的。研究表明，器件的总剂量失效水平与辐射剂量率密切相关。一般情况下，当剂量率较高时，性能退化主要为氧化物陷阱电荷增长贡献；当剂量率较低时，性能退化主要为界面陷阱电荷增长贡献。

目前国内外有关总剂量效应试验方法标准中建议的辐射剂量率范围为 $(0.5\sim 3.0)\text{Gy}(\text{Si})/\text{s}$ ，同空间低剂量率或核辐射高剂量率环境中实际遇到的典型剂量率情况均相差若干个数量级。为保证地面模拟试验评估的真实性和经济性，对于空间应用器件，在试验方法中引入了加速退火老化技术，目的是基于实验室常规剂量率条件下，通过对氧化物陷阱电荷的加速退火，使得在较低剂量率下可能增长积累的界面陷阱电荷得到充分显示，以准确评估该器件在低剂量率环境下与界面陷阱电荷有关的剂量失效水平。而对于核环境应用器件，由于其性能退化因素主要为氧化物陷阱电荷，因此试验过程中无需进行加速退火步骤。

A.2 稳态模拟试验对瞬态核辐射环境的辐射损伤评估等效性分析

核辐射产生的瞬态 γ 射线，其剂量率水平很高，接近甚至超过 $10^{10}\text{Gy}(\text{Si})/\text{s}$ 。与此同时还有一部分高能 X 射线可以穿透系统屏蔽层。而实验室主要采用 $^{60}\text{Co}\gamma$ 源作为总剂量模拟源，属于稳态辐射源，其剂量率较低，一般在 $(10^{-2}\sim 10^2)\text{Gy}(\text{Si})/\text{s}$ 。二者在剂量率水平和射线种类上均存在较大差异，需要考虑稳态模拟试验同瞬态核辐射环境在辐射损伤评估方面的等效性。

研究表明，在同样的总剂量水平下，瞬态脉冲辐射对半导体器件造成的损伤程度远小于 ^{60}Co 源稳态辐射¹⁾。其原因可能有以下几方面：

- 脉冲剂量率辐射时，氧化物内产生的空穴—电子对在瞬间达到饱和，到达界面的空穴电荷不与累积剂量水平成正比，从而产生较小的阈值电压漂移，使得敏感电参数变化幅度较小；
- 低辐射剂量率下，空穴有较长的漂移时间，可以在 SiO_2 中和 Si/SiO_2 界面产生相对多的辐射感生氧化物陷阱电荷及辐射感生界面陷阱电荷。而高剂量率辐射下，由于辐射时间短，产生的空穴—电子对的密度比低剂量率下多，其复合几率就高，且正负电荷漂移形成的空间电场阻碍了空穴向界面的传输，因此俘获产生的辐射感生氧化物陷阱电荷及辐射感生界面陷阱电荷就相对要少；
- 脉冲剂量率辐射时，对器件损伤还存在一个快速退火过程，使得脉冲辐射瞬间在 Si/SiO_2 界面累积的正电荷可以离开界面而很快进入 Si 区，或者与来自 Si 中的电子复合变成中性。该过程进一步降低了辐射感生电荷对器件参数退化的影响。

1) 参见文献“朱小锋，周开明，赵洪超. MOS 器件脉冲与稳态电离总剂量效应异同性研究[C]. 全国信息与电子工程第五届学术年会暨四川省电子学会曙光分会第十六届学术年会论文集. 中国电子学会，四川省电子学会，2012：62—66.”

然而，由于存在剂量增强效应，对同一辐射剂量，X 射线对器件的损伤会比 γ 射线严重得多。当 X 射线射入不同原子序数 Z 的材料界面时，在靠近界面的低 Z 材料区将由于高 Z 材料区二次电子的影响而产生剂量增强。一般在各类半导体器件中，都会存在不同原子序数材料的界面，因此当器件暴露在 X 射线辐射环境中，将因剂量增强效应导致器件性能发生退化。

综上所述，当采用稳态 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线源模拟瞬态核辐射环境总剂量时，由于上述两种效应存在相互抵消作用，通过对器件所承受的累积总剂量水平作相应修正，基于目前的试验方法标准是可以有效评估瞬态核辐射产生的总剂量损伤效应的。



附录 B
(资料性附录)
核辐射总剂量模拟试验源

B.1 ^{60}Co 点源

B.1.1 4000 居里源

B.1.1.1 辐射源布局

辐射源平台布局示意图见图 B.1。整套装置由 γ 辐射室、铅罐屏蔽体、控制台、液压提升系统、悬挂输送机构、剂量监测系统、通风和报警系统等组成。该源规格为 $\phi 20\text{mm} \times 30\text{mm}$ 棒状源，源棒可以沿图 B.1 中所示的上下箭头方向上下移动。源不在工作状态时，它位于铅屏蔽体下方的水井中，此时源室中的本底与天然本底相当。当钴源处于辐射状态时，源棒被提升到图 B.1 所示的位置， γ 射线在光阑的约束下形成束状出射。沿 γ 射线出射方向安装着与 γ 射线束平行的轨道，轨道上安装试验台，试验台面可前后上下调节。试验台载重能力为 2 吨，可以满足试验系统的屏蔽要求。试验台前后移动距离从 1m~6m，样品距源的距离可以从距源 5cm~6m 范围内调节。该源射线能量比较单一，低能散射部分比较少，铅铝屏蔽不常用。

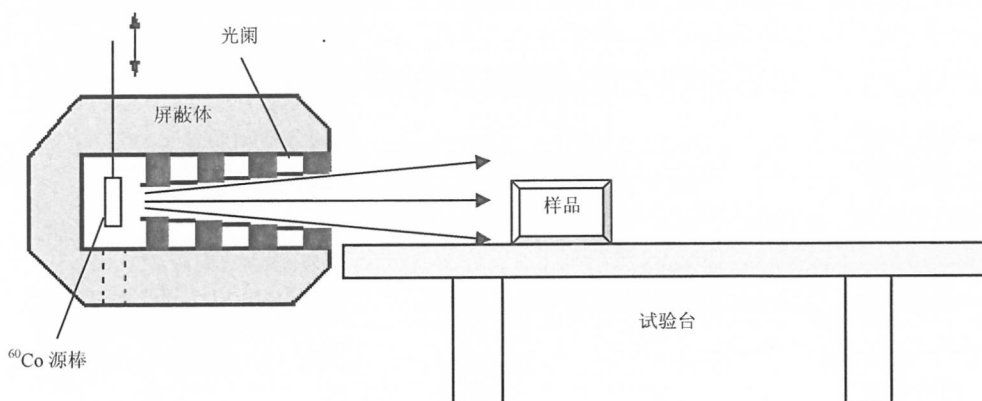


图 B.1 4000 居里源平台布局示意图

B.1.1.2 平台参数

平台参数如下：

- a) 剂量率：(0.0001~0.05) Gy (Si)/s；
- b) 辐射面积：
 - 1) 0.0001Gy (Si)/s 下满足均匀性要求的辐射面积为 1m×1m；
 - 2) 0.05Gy (Si)/s 下满足均匀性要求的辐射面积为 $\Phi 16\text{cm}$ 。
- c) 铅铝容器：不需要，低能散射小于 3%。

B.1.1.3 测试设备

配备大规模数字集成电路测试系统、模拟集成电路测试系统、半导体参数测试系统、数模混合集成电路测试系统、大功率器件测试系统、光电器件辐射效应参数测试系统，以及示波器、电源、信号发生器、万用表等，可满足一般测试需要。

B.1.2 12 万居里源

B.1.2.1 辐射源布局

辐射源平台布局示意图见图 B.2。该源采用了 12 根 1 万居里的源棒，源棒环状排列，形成底面半

径约 7.8cm，高度约 46cm 的柱状辐射源。柱状或棒状的辐射源形成的辐射场的剂量具有对称的分布，便于进行辐射实验。辐射室也设计为半径为 300cm 的圆形辐射室，形成的辐射场等剂量线成为同心圆，同时圆形辐射室还可减少室壁产生的低能散射成份。

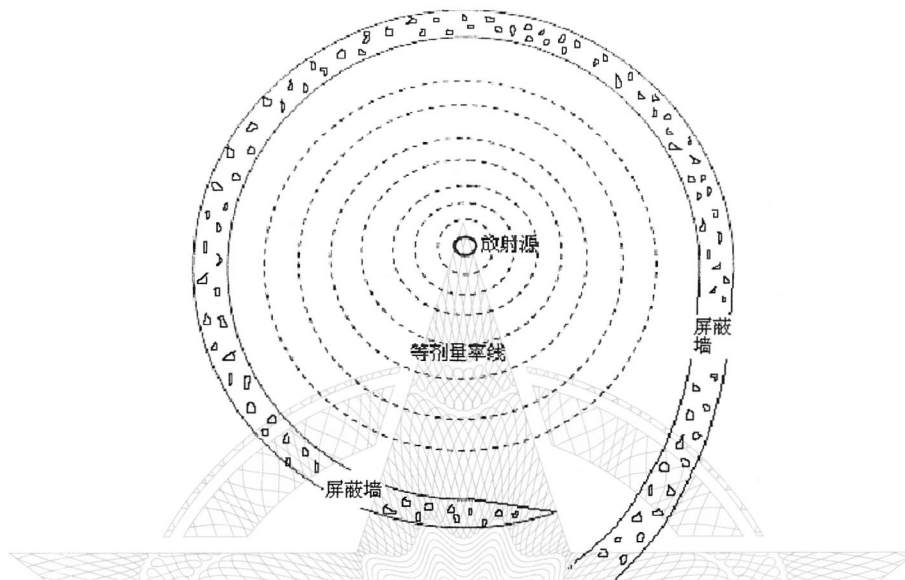


图 B.2 12 万居里源平台布局示意图

B.1.2.2 平台参数

平台参数如下：

- a) 辐射室半径：300cm；
- b) 辐射位置：距源 5cm~290cm 的范围内选择；
- c) 剂量率范围：(0.008~4.0) Gy (Si)/s；
- d) 不均匀度：小于 5%。

B.1.2.3 测试设备

配备中小规模电路测试系统、大规模电路总剂量辐射效应测试系统、模拟电路测试系统、光电器件辐射损伤测试系统、光电成像器件辐射抗辐射性能检测系统、空间太阳能电池电参数测量系统、高速 ADC 辐射效应测试系统、高速 DAC 辐射效应测试系统、辐射损伤退火和加速试验系统等，可基本满足大部分测试和损伤机理分析需要。

B.2 $^{60}\text{Co}\gamma$ 板源

B.2.1 45 万居里源

B.2.1.1 辐射源布局

辐射平台布局示意图见图 B.3。辐射装置是采用工业钴源棒，将多根源棒排列为单板源，单根源棒的放射性强度在 5000 居里~14000 居里。放射源排布方式为单板源排布方式，三层六个单元，可装载 180 根放射源棒，尺寸为 2400mm×1800mm，设计装源量 50 万居里，现装源量为 45 万居里，源板两侧为试验样品的辐射区域，辐射装置中辐射源架的升降系统采用液压升降装置，源架提升后定位重复性好定位准确，辐射时间可准确控制。

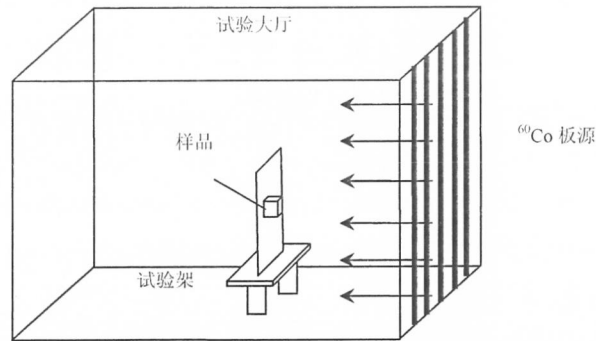


图 B.3 45 万居里源平台布局示意图

B.2.1.2 平台参数

平台参数如下：

- a) 剂量率范围为 $(0.1 \sim 2.0) \text{ Gy (Si) / s}$ ，满足均匀性要求的辐射面积为 $1200\text{mm} \times 800\text{mm}$ ；
- b) 剂量率范围为 $(2.0 \sim 5.0) \text{ Gy (Si) / s}$ ，满足均匀性要求的辐射面积为 $100\text{mm} \times 60\text{mm}$ ；
- c) 剂量率范围为 $(0.058 \sim 0.5) \text{ Gy (Si) / s}$ ，满足均匀性要求的辐射面积为 $300\text{mm} \times 400\text{mm}$ （使用铅铝容器）。

B.2.1.3 测试设备

配备数字集成电路测试系统、数模混合集成电路测试系统、模拟集成电路测试系统、DC/DC 模块测试系统、半导体分立器件特性分析仪、半导体分立器件测试系统，以及数字示波器、静电计、皮安表、万用表等，可满足一般测试需要。

B.2.2 10 万居里源

B.2.2.1 辐射源布局

该源是源棒排列成 $(1 \times 1) \text{ m}^2$ 单板（栅状）面源，整套装置由 γ 辐照室、不锈钢源井、控制台、液压提升系统、悬挂输送机构、剂量监测系统、通风和报警系统等组成，采用了多重联锁、光电报警、自动踏板降源等技术，保证了安全运行。根据需要将源棒临时组排，既可集中组排作为强源使用，也可单独提升单根源棒，准直后作为点源使用。

B.2.2.2 平台参数

平台参数如下：

- a) 剂量率： $(0.05 \sim 1.0) \text{ Gy (Si) / s}$ ；
- b) 辐射面积：
 - 1) 0.05 Gy (Si) / s 下满足均匀性要求的辐射面积为 $70\text{cm} \times 70\text{cm}$ ；
 - 2) 1.0 Gy (Si) / s 下满足均匀性要求的辐射面积为 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 。
- c) 铅铝容器：需要。

B.2.2.3 测试设备

配备大规模数字集成电路测试系统、模拟集成电路测试系统、半导体参数测试系统、数模混合集成电路测试系统、大功率器件测试系统、光电器件辐射效应参数测试系统，以及示波器、电源、信号发生器、万用表等，可满足一般测试需要。

附录 C

(资料性附录)

部分器件类型推荐的总剂量辐射偏置条件和测试参数

C.1 红外焦平面探测器

偏置条件:

- a) 红外探测器不加电状态;
- b) 红外探测器部分加电状态,对制冷电路、焦平面芯片等选择性加电;
- c) 红外探测器全部加电状态,按照工作状态设定偏置、工作点温度、积分时间、图像帧频等。

测试参数(在线):芯片工作温度、信号输出波形、稳定功耗。

测试参数(移位):芯片工作温度、信号输出波形、稳定功耗、工作电流、降温时间、平均峰值探测率、响应非均匀性、有效像元率、噪声等效温差、响应非线性度、动态范围。

C.2 DC/DC 变换器

偏置条件:

- a) 器件不加电状态;
- b) 器件加电,工作在轻载、满载或半载状态。

测试参数(在线):输出电压、输入电流。

测试参数(移位):输出电压、输出电流、输入电压、输入电流、电压调整率、电流调整率、输出纹波电压、效率。

C.3 数字信号处理器(DSP)

偏置条件:

- a) 器件不加电状态;
- b) 器件加电,I/O口不同偏置(高偏、低偏、三态)状态;
- c) 器件加电,内部运行程序状态。

测试参数(在线):电源电流、功能输出、通用I/O输出电平。

测试参数(移位):各路供电电压、电流、通用I/O输出电平、功能测试(模拟实际使用)、内部存储器功能测试、内部资源(DPS核、定时器等)功能测试、外设资源(EMIF等接口功能)功能测试、指令系统(传输指令、运算指令、逻辑指令等)测试。

C.4 功率放大器

偏置条件:

- a) 器件不加电状态;
- b) 器件加电,工作在饱和或线性状态;
- c) 器件加电,选取不同的占空比。

测试参数(在线):电源电压、电源电流、频率范围、小信号增益、饱和输出功率、效率。

测试参数(移位):电源电压、电源电流、频率范围、小信号增益、饱和输出功率、效率。

C.5 高压换流器

偏置条件:额定工作电压。

测试参数(在线):电源电流、输出高压、输出高压充电时间、电压调整率。

测试参数(移位): 全部电参数。

C.6 反熔丝型现场可编程门阵列(FPGA)

偏置条件: 额定工作电压, 资源覆盖率 90%以上。

测试参数(在线): 电源电流、输出高电平/低电平电压、输出功能信号。

测试参数(移位): 全部电参数。

C.7 直接数字频率合成器(DDS)

偏置条件: 额定工作电压, 最大时钟频率。

测试参数(在线): 电源电流, 输出信号幅度、频谱。

测试参数(移位): 电源电流, 输出信号幅度、频谱、杂散。

C.8 SRAM 型现场可编程门阵列(FPGA)

偏置条件: 配置为寄存器链和非门链, 供电电压为范围上限。

测试参数(在线): 配置存储器、块存储器的数据位翻转、功耗电流、功能测试。

测试参数(移位): 静态电流、动态电流等电流参数, 输出高/低电平、输入高/低电平等直流参数, 功能测试。

C.9 快闪存储器(Flash)

偏置条件: 静态加电, 供电电压为范围上限。

测试参数(在线): 电源电流、读出、编程、擦除功能测试、操作时间、数据位翻转测试。

测试参数(移位): 静态电流、动态电流等电流参数, 输出高/低电平、输入高/低电平等直流参数, 片选访问时间、指令锁存到读使能延时等交流参数, 功能测试。

C.10 垂直双扩散 MOSFET (VDMOSFET)

偏置条件:

a) 导通状态: 栅极电压施加最高工作电压 60%, 源极、漏极接地;

b) 截止状态: 漏极电压施加源漏击穿电压 80%, 栅极、源极接地。

测试参数(在线): 源漏击穿电压、阈值电压、漏极漏电流、栅极漏电流、开态导通电阻、正向导通电压。

测试参数(移位): 源漏击穿电压、阈值电压、漏极漏电流、栅极漏电流、开态导通电阻、正向导通电压。

中华人民共和国
国家军用标准
半导体器件抗核辐射总剂量效应试验指南
GJB/Z 226—2024

*

国家军用标准出版发行部出版
(北京东外京顺路7号)
国家军用标准出版发行部印刷车间印刷
国家军用标准出版发行部发行
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1¼ 字数 34 千字
2025年2月第1版 2025年2月第1次印刷

*

军标出字第 16533 号