

加速抗中子 SER 测试和陆生故障率的计算

作者: **Nayan Patel**

相关项目: 无

相关器件系列: **CY7Cxxxxx**

软件版本: **NA**

相关应用笔记: 无

请帮助我们改进! 发送反馈意见: [请点击此处](#)。

本应用笔记介绍了在证明赛普拉斯 SRAM 器件的资格期间需要使用的加速抗中子测试流程和各种测试条件。这些器件包括同步 SRAM、异步 SRAM、More Battery Life™ MoBL® SRAM 以及非易失性 SRAM (nvSRAM)，但不包含任何 SRAM 的软错误率 (SER) 数据。各同步 SRAM 器件的数据手册列出了会派生的加速抗中子故障率。有关其他产品系列的 SER 数据，请与赛普拉斯的[客户关心](#)联系。

简介

地球大气层接收来自外太空的各种原子、中子或辐射。术语**软失败**表示数字信息中的自发(和临时)改变，这种改变是由辐射影响引起的。在所有辐射类别中，高能宇宙射线中子对现代电子产品的损坏最严重。这些宇宙射线撞击地球大气层是由太阳(能量高达 1 GeV)或各等向的银河系的粒子(能量 > 108 GeV)引起的。这些粒子的通量取决于海拔高度和地理位置。这些高能的中子在半导体基板中爆发出能量，并成为软错误的最主要来源。

表 1 显示的是如何为各种 SRAM 器件系列获取软错误率 (SER) 数据。

表 1. 各种 SRAM 系列的 SER 数据

SRAM 产品	技术	在哪可以找到 SER 或 SEL 数据
同步 SRAM	90 nm、65 nm	数据手册
同步 SRAM	150 nm、300 nm、400 nm	创建技术支持案例
异步 SRAM 和其他 SRAM	所有节点	创建技术支持案例

SER 故障机制

图 1 和图 2 显示的是软错误对 SRAM 的影响。

图 1. 所有 CMOS SRAM 部分的横截面

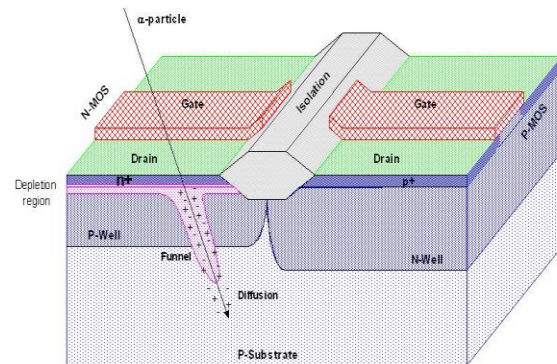
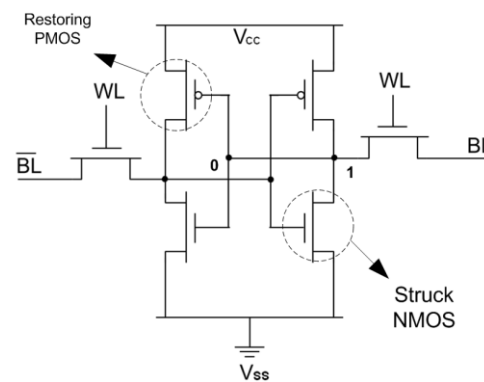


图 2. 粒子撞击对 6T SRAM 单元的影响



SRAM 如图 2 所示，入射粒子会在 SRAM 中直接（ α 粒子）或间接（导致电荷爆发的高能中子）生成电子空穴对。耗尽区中的电场会引起在交叉处收集电荷，从而影响碰撞 MOS（NMOS）的电流。恢复 MOS（PMOS）尝试平衡它，但其有限的电流驱动和通道电导会造成其漏极中的电压干扰。如果该瞬变电压脉冲超出了单元的电荷阈值，将翻转所存储的数据。

定义

SER 确定了器件故障的机率。它的单位通常为故障时间（FIT），表示在每 10^9 小时内发生一次故障。主要单粒子效应（SEE）及其定义如下：

- **物理单比特错误（PSBU）**：此故障类型表示单个粒子仅使存储器阵列的单存储器单元发生故障。
- **物理多比特错误（PMBU）**：此故障类型表示单个粒子使物理存储器阵列中的多位发生故障。相比之下，多单元错误（MCU）仅说明了事件而没有明确发生故障位的数量。此故障类型表示物理存储器阵列中的多位正在改变状态。根据粒子，这些位数量可从两位到几百位。
- **逻辑单比特错误（LSBU）**：表示单事件在数据字中引起的故障存储器位数量。LSBU 表示器件的真故障率（从应用级别的角度来看）。
- **逻辑多比特错误（LMBU）**：表示在一个数据字中，单事件使多位发生故障。SECCED ECC 算法无法纠正 LMBU 事件。
- **单事件锁定（SEL）**：SEL 是由单辐射粒子引起的电路锁定。不确定 SEL 是否会对器件造成永久性损害，但它要求器件进行断电上电，以恢复正常操作。

以下各节详细介绍了赛普拉斯进行的各种测试和分析，为了避免大气中子粒子对存储器引起的不利影响。

测试方法

赛普拉斯在其所有技术和架构上均执行了加速抗中子 SER 测量。进行这些测试时需要使用 iRoC 技术（法国）或 JD Instruments（美国），并且需要软错误测量领域的工业专家的帮助。中子测试则通过 Los Alamos（美国）、TRIUMF（加拿大）和 TSL（瑞典）的实验室中的有效校准中子射束设施实现。实际上，不是所有赛普拉斯存储器器件都被测试。一般情况下，如果存储器单元架构是相同的，将测试架构中密度最大的器件，并且架构中剩下的部分将采用 FIT 率。

赛普拉斯通过动态的方式进行加速抗中子 SER 测试时，使用的是最先进的测试算法。该算法识别并隔离了各种 SEE 现象，如 SER 或 SEL 事件，并记录发生故障的地址。图 3 和图 4 显示的是实验设置。

从不同组中选出六个单元被安装在 PCB 上，这些单元与中子射束设施的中子粒子被同步照射。在照射期间，将连续对存储器器件进行读和写操作。测试板被夹在各通量校准板之间，用以得到正确的屏蔽系数。通过使用一个薄膜击穿的计数器（TFBC）监控器和一个电离室可以测量中子的影响。TFBC 监视器被校准，以达到绝对测量。电离室根据 TFBC 监控器进行校准。通过计数电离室脉冲和采用的比例系数得到中子影响。这样，此中子影响可用于降低纽约市（NYC）的 FIT 率。有关加速中子测试的详细信息，请参考 JEDEC 标准 JESD89A（2006 年 10 月）。

图 3. 加速测试的典型实验设置

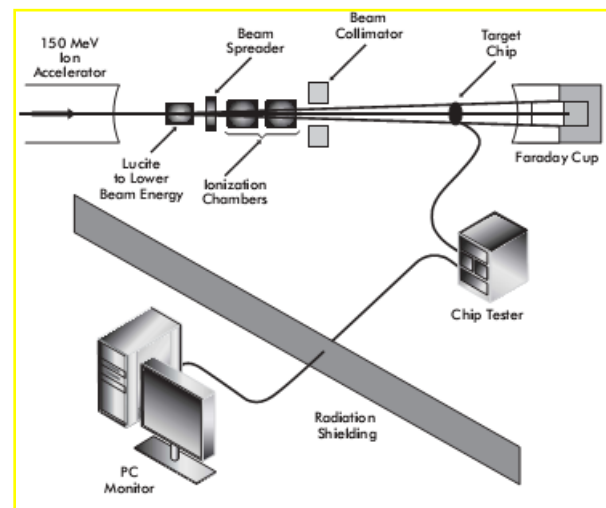


图 4. 演示测试板被夹在各校准板之间的照片



测试条件

正确选择各种测试条件（表 2），以便可以在所有操作条件下测试存储器器件。

表 2. 典型的中子测试条件的汇总

测试细节	示例
工具	TSL、TRIUMF、LANSCE
器件编号	CY7C1513AV18
封装类型	165 BGA
器件数量	6
电压范围	1.7 V、1.8 V、1.9 V
温度范围	25°C、85°C、125°C
格式	CHB、ALL0、ALL1
方向	0°
周期时间	50 ns

温度：与温度相关的 SER 灵敏度是非常重要的参数，因为故障率会随着温度的改变而不同。在中子测试过程中，至少采用了两个温度。一般情况下，这两个温度分别为室温（RT）和 85°C。JEDEC 建议使用 SEL 事件的高温进行测试器件。我们赛普拉斯根据数据手册中指定的同步 SRAM 的整个温度范围进行测试各种器件。该同步 SRAM 包括了室温的 SER FIT 率以及最大温度中的 SEL FIT 率。通过下面公式可以计算从室温（RT）到最大温度的温度范围内 LSBU 的故障率：

- 90 nm SRAM 技术：Sync、QDR®-II、QDR-II+

$$LSBU[T^{\circ}C] = LSBU[25^{\circ}C] + 1.03 \cdot (T - 25)$$

- 65 nm SRAM 技术：QDR-II、QDR-II+

$$LSBU[T^{\circ}C] = LSBU[25^{\circ}C] + 0.39 \cdot (T - 25)$$

上面的公式允许调整高运行温度时的 FIT 率。请注意上面温度都是环境温度。

模式：测试模式通常由现场检测器的限制控制。各种标准测试模式为：

- 棋盘
- 所有“0”
- 所有“1”
- 互补棋盘

电压：由于 SER/SEL 故障率会根据供电电压的不同而改变，因此赛普拉斯在器件数据手册中所指定的整个 V_{CC} 范围内都进行测试。几乎所有赛普拉斯的 SRAM 器件都能够内部调节，因此外部电压不会引起任何显著的故障率差异。

频率：所有测试都是在器件数据手册中所指定的最佳测试频率下进行的。由于实际测试频率受测试设置的限制，因此典型的测试频率为 10 到 30 MHz。

中子射束类型

可以使用两种射束来加速中子 SER 测试：准单能中子（QMN）射束和散裂（或全谱）射束。

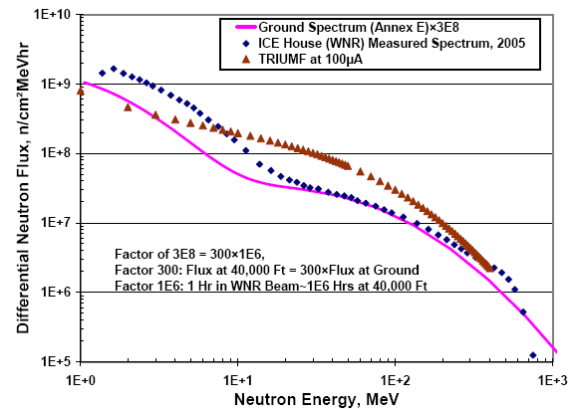
QMN 射束

QMN 射束包括许多具有特定的光谱能量的中子。单能束提供了积分能量的优点，为了与地面中子通量尽可能接近。但由于必须使用一些能量以覆盖整个光谱，因此测试过程会非常耗时。JESD89A（第 44 页）表明至少需要测量四个不同能量的四个数据点，来正确估计中子的故障率。瑞典乌普萨拉大学的 Svedberg 实验室（TSL）的单能中子射束通常运行能量分别为 20 MeV、50 MeV、100 MeV 和 180MeV。

散裂射束

散裂射束是一个单射束，其中各中子分布于中子光谱的所有能量上。运行能量分别为 20 MeV 和 250 MeV 的中子是主要关注的对象。赛普拉斯用来验证存储器器件的全谱中子射束来自于 Los Alamos 中子科学中心（LANSCE）、Vancouver（加拿大）的 TRIUMF 以及大气厚靶中子加速的电子元件和系统测试中子引起的单粒子效应（ANITA）（瑞典，Uppsala 中的 TSL）。与普通中子通量相比，来自 LANSCE 和 ANITA 的中子射束通量通常更大，并且得到的 FIT 率比 QMN FIT 率高 45%~70%。图 5 显示的是中子能谱与地面光谱的比较。

图 5. TRIUMF 和 LANSCE 光谱与地面光谱的比较



（源：JESD89A，第 39 页）

FIT 计算

一般情况下，SER 的测量单位为 FIT。一个 FIT 表示在每 10^9 个小时中发生一次故障。应该将器件的 SER 单位指定为 FITs/Mb 或 FIT/位，为了在不同密度上规格化它。另外，由于中子通量会根据位置和高度发生变化，因此 JESD89A 指定纽约的海平面是所有 SER FIT 率的参照点。赛普拉斯完全遵循 JESD89A 中提供的 FIT 率的计算流程。

置信区间

这种测量的公认的实践是将计算置信区间作为观察到的多个事件的功能而进行，以便实验者可以判断实验的结束时间。据 JESD89A，通过使用卡方统计（伽玛函数的一个特例）可以计算这些测试故障率的 95% 置信区间。JESD89A 说明了计算置信区间的详细流程。对于极低的故障参数，如同我们的 SEL 和 LMBU 测量，将采用一种特殊形式的卡方统计。95% 置信区间可通过下面的公式计算得出：

$$LMBU(95\%CL) = \chi^2(0.025, 2) / (2 * Mbit.hrs * 1e^{-9})$$

...其中 Mbit hrs 通过下面公式计算：

$$Mbit.hrs = \frac{TotalNeutronFluence}{NYCNeutronFlux} * Density$$

TotalNeutronFluence 表示中子的数量，在测试过程中（总通量），所有测试器件都将与这些中子接触。然后 FIT 率缩放到 NYC 的通量条件，该条件的假定值为 12 个中子/cm² hr。

您可以使用相同的公式计算 SEL 的 95% 置信区间。如果中子照射（通量）更高或使用更大的单位数量测试，则置信区间将递增。

实际上，指定在赛普拉斯数据手册中的 MAX FIT 率以及 LMBU 和 SEL 参数的抗中子软失效的 SER 报告都是通过采用前面提到的公式得到的理论限制。在加速中子测试期间，没有观察到任何实际 LMBU 或 SEL 事件。在整个过程中，器件通常与 2-3 E9 中子/cm² 接触，相当于中子在 NYC 暴露了一万多年。

总结

宇宙射线产生的高能中子是引起软错误的主要来源。赛普拉斯遵循了最先进的方法来正确测量和验证故障率。了解 SER 故障机制和特殊 SRAM 的软错误率会帮您使用更好的方式来设计您的系统。

关于作者

名称:	Nayan Patel
职务:	技术开发工程师
背景:	Nayan Patel 获得了印度科学研究所的 MSci 学位

文档修订记录

文档标题: 加速抗中子 SER 测试和陆生故障率的计算 —AN54908

文档编号: 001-92151

版本	ECN	原始变更	提交日期	变更说明
**	4346059	YLIU	04/14/2014	本文档版本号为 Rev**, 译自英文版 001-54908 Rev*B。

全球销售和设计支持

赛普拉斯公司拥有一个由办事处、解决方案中心、工厂代表和经销商组成的全球性网络。要找到距您最近的办事处，请访问[赛普拉斯所在地](#)。

产品

汽车	cypress.com/go/automotive
时钟与缓冲区	cypress.com/go/clocks
接口	cypress.com/go/interface
照明和电源控制	cypress.com/go/powerpsoc cypress.com/go/plc
存储器	cypress.com/go/memory
PSoC	cypress.com/go/psoc
触摸感应	cypress.com/go/touch
USB 控制器	cypress.com/go/usb
无线/射频	cypress.com/go/wireless

PSoC®解决方案

psoc.cypress.com/solutions
PSoC 1 | PSoC 3 | PSoC 4 | PSoC 5LP

赛普拉斯开发者社区

[社区](#) | [论坛](#) | [博客](#) | [视频](#) | [培训](#)

技术支持

cypress.com/go/support

MoBL、QDR 和 PSoC 是赛普拉斯半导体公司的注册商标，More Battery Life 是赛普拉斯半导体公司的商标。此处引用的所有其他商标或注册商标归其各自所有者所有。

	赛普拉斯半导体公司 198 Champion Court San Jose, CA 95134-1709	电话 : 408-943-2600 传真 : 408-943-4730 网站 : www.cypress.com
---	--	---

©赛普拉斯半导体公司，2009–2014。此处所包含的信息可能会随时更改，恕不另行通知。除赛普拉斯产品内嵌的电路外，赛普拉斯半导体公司不对任何其他电路的使用承担任何责任。也不根据专利或其他权利以明示或暗示的方式授予任何许可。除非与赛普拉斯签订明确的书面协议，否则赛普拉斯产品不保证能够用于或适用于医疗、生命支持、救生、关键控制或安全应用领域。此外，对于合理预计会发生运行异常和故障并对用户造成严重伤害的生命支持系统，赛普拉斯将不批准将其产品用作此类系统的关键组件。若将赛普拉斯产品用于生命支持系统，则表示制造商将承担因此类使用而招致的所有风险，并确保赛普拉斯免于因此而受到任何指控。

该源代码（软件和/或固件）均归赛普拉斯半导体公司（赛普拉斯）所有，并受全球专利法规（美国和美国以外的专利法规）、美国版权法以及国际条约规定的保护和约束。赛普拉斯据此向获许可者授予适用于个人的、非独占性、不可转让的许可，用以复制、使用、修改、创建赛普拉斯源代码的派生作品、编译赛普拉斯源代码和派生作品，并且其目的只能是创建自定义软件和/或固件，以支持获许可者仅将其获得的产品依照适用协议规定的方式与赛普拉斯集成电路配合使用。除上述指定用途外，未经赛普拉斯的明确书面许可，不得对此类源代码进行任何复制、修改、转换、编译或演示。

免责声明：赛普拉斯不针对该材料提供任何类型的明示或暗示保证，包括（但不限于）针对特定用途的适销性和适用性的暗示保证。赛普拉斯保留在不另行通知的情况下对此处所述材料进行更改的权利。赛普拉斯不对此处所述之任何产品或电路的应用或使用承担任何责任。对于合理预计可能发生运转异常和故障，并对用户造成严重伤害的生命支持系统，赛普拉斯不授权将其产品用作此类系统的关键组件。若将赛普拉斯产品用于生命支持系统，则表示制造商将承担因此类使用而导致的所有风险，并确保赛普拉斯免于因此而受到任何指控。

产品使用受适用的赛普拉斯软件许可协议限制并完全按照此协议使用。