

**摘要**

本研究的目的是为了明确重离子辐射对基于 Arm® Cortex®-R 的 TMS570LC4357-SEP 微控制器的单粒子门锁 (SEL) 性能的影响。研究中使用了 LET_{eff} 为 48MeV-cm²/mg 的重离子对器件进行辐照，辐照通量为 1 x 10⁷ 个离子/cm²。结果表明，在 125°C 且 LET_{eff} 最高为 48MeV-cm²/mg 的情况下，TMS570LC4357-SEP 不会出现单粒子门锁。

内容

1 引言.....	2
2 SEE 机制.....	2
3 测试器件信息.....	4
4 辐照设施和设置.....	5
5 SEL 结果.....	5
6 总结.....	5
参考文献.....	5

插图清单

图 2-1. TMS570LC4357-SEP 的功能方框图.....	3
图 3-1. TMS570LC4357-SEP 引脚排列图.....	4
图 5-1. 所有三个电源、 ⁴⁷ Ag、0° 角度且 LET _{eff} = 48MeV 时的 TMS570LC4357-SEP SEL 图.....	5

表格清单

表 1-1. 概览信息(1).....	2
表 3-1. TMS570LC4357-SEP SEL 电压偏置表.....	4
表 5-1. TMS570LC4357-SEP SEL 条件.....	5

商标

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere. 所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

TMS570LC4357-SEP 是一款基于 Arm Cortex-R 的高性能微控制器，具有片上诊断特性，具体包括：两个 CPU 采用锁步运行；针对 CPU、N2HET 协处理器以及片上 SRAM 的内置自检 (BIST) 逻辑；L1 高速缓存、L2 闪存和 SRAM 存储器具有 ECC 保护。该器件还为外设存储器提供了 ECC 或奇偶校验保护，外设 I/O 上具有环回功能。

该器件集成了两个 ARM Cortex-R5F 浮点 CPU，该 CPU 采用锁步运行，并提供了高效的 1.66DMIPS/MHz 速率，运行频率高达 300MHz，从而提供高达 498 DMIPS 的计算能力。该器件支持大端字节序 [BE32] 格式。

TMS570LC4357-SEP 器件具有集成的安全特性和各种通信和控制外设，非常适合用于具有安全关键要求的高性能实时控制应用。

表 1-1. 概览信息(1)

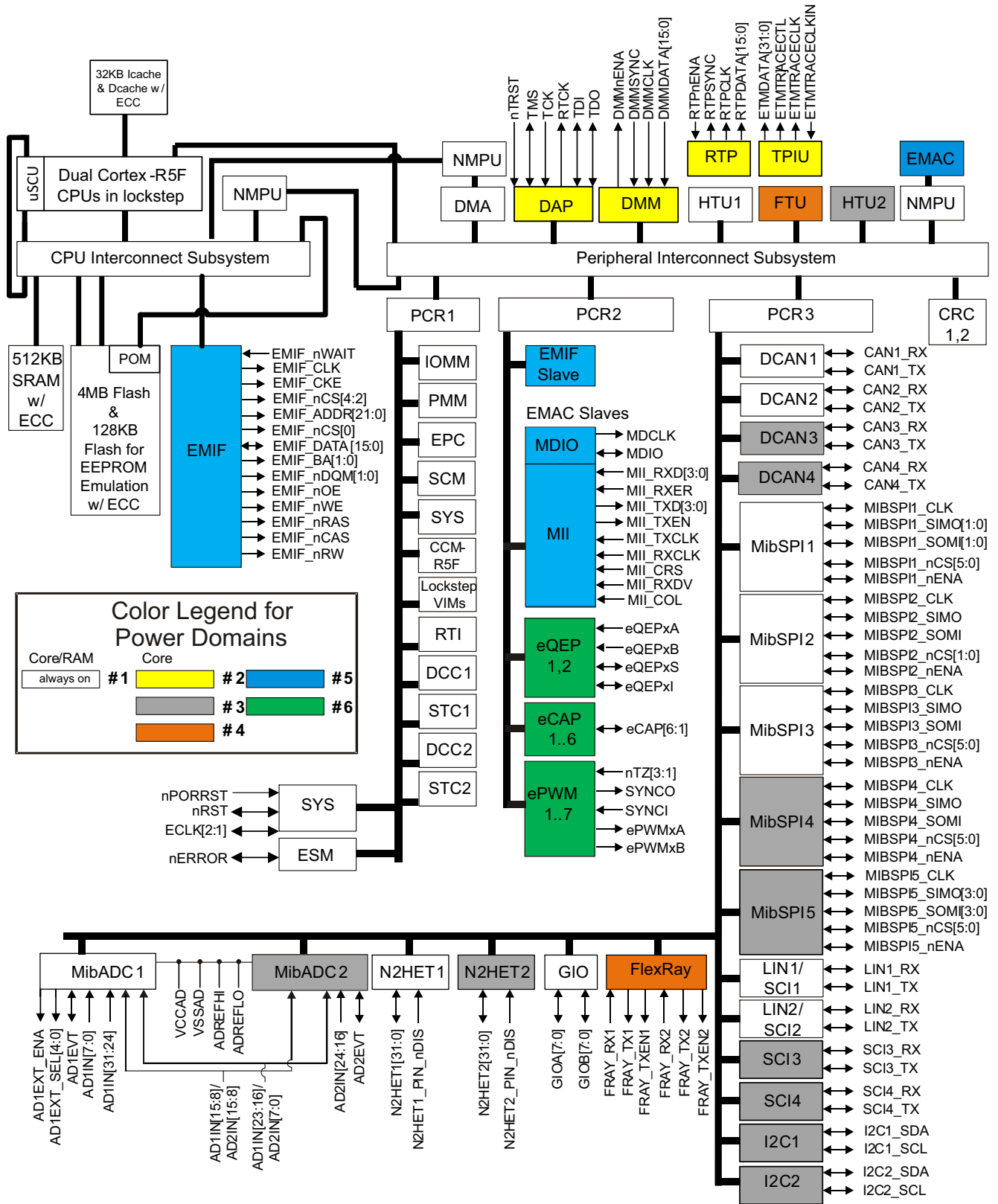
说明	器件信息
TI 器件型号	TMS570LC4357-SEP
器件功能	基于 Arm Cortex-R 的微控制器
封装	337 GWT (nFBGA)
技术	12F021.M7C
曝光设施	德克萨斯 A&M 大学加速器研究所辐射效应设施
每次运行的重离子通量	$1 \times 10^6 - 1 \times 10^7$ 个离子/cm ²
辐照温度	125°C (用于 SEL 测试)

- TI 可以提供技术、应用或设计建议、质量表征和可靠性数据或服务，前提是这些项目不得扩展或以其他方式影响 TI 在德州仪器 (TI) 公司半导体产品标准销售条款和条件中规定的保证，并且 TI 提供此类项目也不产生任何义务或责任。

2 SEE 机制

TMS570LC4357-SEP 关注的主要单粒子效应 (SEE) 事件是破坏性单粒子门锁 (SEL)。从风险和影响的角度来看，SEL 的发生可能是极具破坏性的 SEE 事件，也是航天应用非常关心的问题。12F021 (CMOS) 工艺用于 TMS570LC4357-SEP。CMOS 电路引入了 SEL 易感性。如果由高能离子通道引起的过量电流注入足够高，从而触发形成寄生交叉耦合 PNP 和 NPN 双极结构 (在 p-sub 和 n 阱以及 N+ 和 P+ 触点之间形成)，则会发生 SEL。由单粒子启动的寄生双极结构在电源和接地之间创建了一条高导通路径 (产生的稳态电流通常比正常工作电流高几个数量级)，该路径持续存在 (被锁存)，直到电源断开或器件被高电流状态破坏为止。用于 SEL 缓解的工艺修改被证明是足够的，这是因为在通量为 1×10^7 个离子/cm²、芯片温度为 125°C 且 LET_{eff} 高达 48 MeV-cm²/mg 的情况下，TMS570LC4357-SEP 未出现任何 SEL。

执行此研究是为了评估偏置电压 VCCAD = 5.25V、VCCIO = 3.6V 且 VCC(core) = 1.32V 电源电压时的 SEL 影响。研究中使用了 LET_{EFF} 为 48MeV-cm²/mg 的重离子 (⁴⁷Ag) 对器件进行辐照。在 125°C 下暴露时，离子注量率为 10⁵ 个离子/s-cm²，通量为 10⁷ 个离子/cm²。



Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated

图 2-1. TMS570LC4357-SEP 的功能方框图

3 测试器件信息

TMS570LC4357-SEP 采用 337 引脚 (GWT) BGA 端子栅格阵列封装。图 3-1 显示了该封装的 I/O 信号和电源定义，表 3-1 显示了 SEL 重离子测试期间的电源偏置。

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	T	U	V	W																														
19	VSS	VSS	TMS	N2HET1 [10]	MIBSP15 NCS[0]	MIBSP1 SIMO[0]	MIBSP1 NENA	MIBSP15 CLK	MIBSP15 SIMO[0]	N2HET1 [28]	DMM DATA[0]	DCAN3RX	AD1EVT	AD1IN[15] / AD2IN[15]	AD1IN[22] / AD2IN[06]	AD1IN [06]	AD1IN[11] / AD2IN[11]	AD2IN[24]	VSSAD	19																													
18	VSS	TCK	TDO	nTRST	N2HET1 [08]	MIBSP1 CLK	MIBSP1 SOMI[0]	MIBSP15 NENA	MIBSP15 SOMI[0]	N2HET1 [0]	DMM DATA[1]	DCAN3TX	AD1IN[24]	AD1IN[08] / AD2IN[08]	AD1IN[14] / AD2IN[14]	AD1IN[13] / AD2IN[13]	AD1IN [04]	AD1IN [02]	AD2IN[24]	18																													
17	TDI	nRST	EMIF_ADDR[21]	EMIF_nWE	MIBSP15 SOMI[1]	DMM CLK	MIBSP15 SIMO[3]	MIBSP15 SIMO[2]	N2HET1 [31]	EMIF_nCS[3]	EMIF_nCS[2]	EMIF_nCS[4]	EMIF_nCS[0]	AD1IN[25]	AD1IN [05]	AD1IN [03]	AD1IN[10] / AD2IN[10]	AD1IN [01]	AD1IN[09] / AD2IN[09]	17																													
16	RTCK	FRAY_TXEN1	EMIF_ADDR[20]	EMIF_BA[1]	MIBSP15 SIMO[1]	DMM nENA	MIBSP15 SOMI[3]	MIBSP15 SOMI[2]	DMM_SYNC	N2HET2 [08]	N2HET2 [09]	N2HET2 [10]	N2HET2 [11]	AD1IN[26]	AD1IN[23] / AD2IN[07]	AD1IN[12] / AD2IN[12]	AD1IN[19] / AD2IN[03]	ADREFLO	VSSAD	16																													
15	FRAYRX1	FRAYTX1	EMIF_ADDR[19]	EMIF_ADDR[18]	ETM DATA[06]	ETM DATA[05]	ETM DATA[04]	ETM DATA[03]	ETM DATA[02]	ETM DATA[16] / EMIF_DATA[0]	ETM DATA[17] / EMIF_DATA[1]	ETM DATA[18] / EMIF_DATA[2]	ETM DATA[19] / EMIF_DATA[3]	AD1IN[27]	AD1IN[28]	AD1IN[21] / AD2IN[05]	AD1IN[20] / AD2IN[04]	ADREFHI	VCCAD	15																													
14	N2HET1 [26]	nERROR	EMIF_ADDR[17]	EMIF_ADDR[16]	ETM DATA[07]	VCCIO	VCCIO	VCCIO	VCC	VCC	VCCIO	VCCIO	VCCIO	VCCIO	AD1IN[29]	AD1IN[30]	AD1IN[18] / AD2IN[02]	AD1IN [07]	AD1IN [0]	14																													
13	N2HET1 [17]	N2HET1 [19]	EMIF_ADDR[15]	N2HET2 [04]	ETM DATA[12] / EMIF_BA[0]	VCCIO	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> </table>						VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VCCIO	ETM DATA[01]	AD1IN[31]	AD1IN[17] / AD2IN[01]	AD1IN[16] / AD2IN[0]	AD2IN[16]	13
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VCC	VSS	VSS	VSS	VCC																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
12	ECLK	N2HET1 [04]	EMIF_ADDR[14]	N2HET2 [05]	ETM DATA[13] / EMIF_nOE	VCCIO	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> </table>						VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VCCIO	ETM DATA[0]	MIBSP15 NCS[3]	AD2IN[19]	AD2IN[18]	AD2IN[17]	12
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VCC	VSS	VSS	VSS	VCC																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
11	N2HET1 [14]	N2HET1 [30]	EMIF_ADDR[13]	N2HET2 [06]	ETM DATA[14] / EMIF_nDQM[1]	VCCIO	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> </table>						VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VCCPLL	ETM TRACE CTL	AD2IN[20]	AD2IN[21]	AD2IN[22]	AD2IN[23]	11
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VCC	VSS	VSS	VSS	VCC																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
10	DCAN1TX	DCAN1RX	EMIF_ADDR[12]	ePWM1B	ETM DATA[15] / EMIF_nDQM[0]	VCC	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> </table>						VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VCC	ETM TRACE CLKOUT	AD2EVT	MIBSP1 NCS[4]	MIBSP15 NCS[0]	GIOB[3]	10
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VCC	VSS	VSS	VSS	VCC																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
9	N2HET1 [27]	FRAY_TXEN2	EMIF_ADDR[11]	ePWM1A	ETM DATA[08] / EMIF_ADDR[5]	VCC	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> </table>						VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VCCIO	ETM TRACE CLKIN	MDCLK	MIBSP1 NCS[5]	MIBSP15 CLK	MIBSP15 NENA	10
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VCC	VSS	VSS	VSS	VCC																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
8	FRAYRX2	FRAYTX2	EMIF_ADDR[10]	N2HET2[1]	ETM DATA[09] / EMIF_ADDR[4]	VCCP	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> </table>						VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VCCIO	ETM DATA[31] / EMIF_DATA[15]	N2HET2 [23]	MIL_TXD [0]	MIBSP15 SOMI	MIBSP15 SIMO	8
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VCC	VSS	VSS	VSS	VCC																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
7	LIN1RX	LIN1TX	EMIF_ADDR[9]	N2HET2 [2]	ETM DATA[10] / EMIF_ADDR[3]	VCCIO	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> <tr> <td>VSS</td> <td>VSS</td> <td>VCC</td> <td>VSS</td> <td>VSS</td> </tr> </table>						VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VSS	VCC	VSS	VSS	VCCIO	ETM DATA[30] / EMIF_DATA[14]	N2HET2 [22]	MIL_TX_CLK	N2HET1 [09]	nPORRST	7
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VCC	VSS	VSS	VSS	VCC																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VSS	VSS	VSS																																													
VSS	VSS	VCC	VSS	VSS																																													
6	GIOA[4]	MIBSP15 NCS[1]	EMIF_ADDR[8]	N2HET2 [0]	ETM DATA[11] / EMIF_ADDR[2]	VCCIO	VCCIO	VCCIO	VCCIO	VCC	VCC	VCCIO	VCCIO	VCCIO	VCCIO	ETM DATA[29] / EMIF_DATA[13]	N2HET2 [21]	MIL_RX_DV	N2HET1 [05]	MIBSP15 NCS[2]	6																												
5	GIOA[0]	GIOA[5]	EMIF_ADDR[7]	EMIF_ADDR[1]	ETM DATA[20] / EMIF_DATA[4]	ETM DATA[21] / EMIF_DATA[5]	ETM DATA[22] / EMIF_DATA[6]	FLTP2	FLTP1	ETM DATA[23] / EMIF_DATA[7]	ETM DATA[24] / EMIF_DATA[8]	ETM DATA[25] / EMIF_DATA[9]	ETM DATA[26] / EMIF_DATA[10]	ETM DATA[27] / EMIF_DATA[11]	ETM DATA[28] / EMIF_DATA[12]	N2HET2 [20]	MIL_RX_ER	MIBSP15 NCS[1]	N2HET1 [02]	5																													
4	N2HET1 [16]	N2HET1 [12]	EMIF_ADDR[6]	EMIF_ADDR[0]	MIL_TXEN	MDIO	MIL_TXD [3]	N2HET1 [21]	N2HET1 [23]	N2HET2 [15]	N2HET2 [16]	N2HET2 [17]	N2HET2 [18]	N2HET2 [19]	EMIF_nCAS	MIL_RXCLK	MIL_RXD [0]	MIL_CRS	MIL_COL	4																													
3	N2HET1 [29]	N2HET1 [22]	MIBSP15 NCS[3]	N2HET2 [12]	N2HET1 [11]	MIBSP15 NCS[1]	MIBSP15 NCS[2]	GIOA[6]	MIBSP15 NCS[3]	EMIF_CLK	EMIF_CKE	N2HET1 [25]	N2HET2 [7]	EMIF_nWAIT	EMIF_nRAS	MIL_RXD [1]	MIL_RXD [2]	MIL_RXD [3]	N2HET1 [06]	3																													
2	VSS	MIBSP15 NCS[2]	GIOA[1]	N2HET2 [13]	N2HET2 [3]	GIOB[2]	GIOB[5]	DCAN2TX	GIOB[6]	GIOB[1]	KELVIN_GND	GIOB[0]	N2HET1 [13]	N2HET1 [20]	MIBSP15 NCS[0]	MIL_TXD [2]	TEST	N2HET1 [1]	VSS	2																													
1	VSS	VSS	GIOA[2]	N2HET2 [14]	GIOA[3]	GIOB[7]	GIOB[4]	DCAN2RX	N2HET1 [18]	OSCIN	OSCOUT	GIOA[7]	N2HET1 [15]	N2HET1 [24]	MIL_TXD [1]	N2HET1 [7]	NHET1 [03]	VSS	VSS	1																													

图 3-1. TMS570LC4357-SEP 引脚排列图

表 3-1. TMS570LC4357-SEP SEL 电压偏置表

电源	偏置
VCCAD	5.25V
VCCIO	3.6V
VCC(core)	1.32V
VSS	GND

4 辐照设施和设置

用于本产品 SEE 研究的重离子种类由 TAMU 加速器辐射效应设施 [3] 使用超导加速器先进的电子回旋共振 (ECR) 离子源提供和交付。离子束在空气站的 1 英寸直径圆形截面积上以高均匀性传送。通过磁去聚焦实现均匀性。射束强度可在覆盖多个数量级的较大范围内进行调节。在大多数研究中，使用 10^4 和 10^5 离子/s-cm² 之间的注量率提供 10^6 到 10^7 离子/cm² 之间的重离子通量。这些实验中使用了银 (⁴⁷Ag) 离子。所有测试的离子束均匀性均在 91% 至 98% 的范围内。

5 SEL 结果

在 SEL 表征期间，使用强制热空气对器件进行加热，从而将 IC 温度保持在 125°C 温度。通过 K 型热电偶监测了温度，该热电偶连接在尽可能靠近 IC 的位置。用于 SEL 测试的物类是银 (⁴⁷Ag) 离子，在 LET_{EFF} = 48MeV-cm²/mg 时，入射角为 0°。该离子真空中的动能为 1.634GeV (15MeV/amu 线)。两次照射行程使用了大约 10^5 个离子/s-cm² 的注量率和大约 10^7 个离子/cm² 的通量。电源电压以表 3-1 中所述的建议最大电压设置从外部提供。实现该通量的照射持续时间大约为 {2} 分钟。

表 5-1. TMS570LC4357-SEP SEL 条件

照射行程	距离 (mm)	温度 (°C)	离子	角度	注量率 (离子/cm ² /mg)	通量 (离子/cm ²)	LET _{eff} (MeV.cm ² /mg)
{2}	40	125	⁴⁷ Ag	0°	1.00E+05	1.00E+07	48

图 5-1 所示为电源电流随时间变化的曲线图。可以看到，未在照射行程中观察到 SEL 事件。

$$\{\sigma_{\text{SEL}} \leq 3.67\} \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ for LET}_{\text{EFF}} = 48 \text{ MeV-cm}^2/\text{mg and } T = 125^\circ\text{C} \quad (1)$$

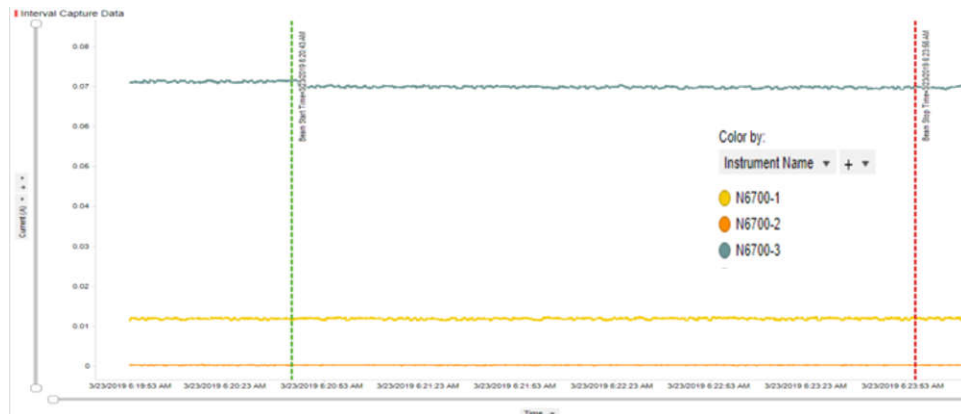


图 5-1. 所有三个电源、⁴⁷Ag、0° 角度且 LET_{eff} = 48MeV 时的 TMS570LC4357-SEP SEL 图

电源	偏置
VCCAD	5.25V
VCCIO	3.6V
VCC(core)	1.32V

照射前后未检测到与闩锁事件一致的电流显著增加。

6 总结

本文研究了基于 Arm Cortex-R 的抗辐射 TMS570LC4357-SEP 微控制器的辐射效应。在 LET_{eff} = 48 MeV-cm²/mg 且 T = 125°C 时，该器件未出现闩锁。

参考文献

1. M. Shoga 和 D. Binder, “Theory of Single Event Latchup in Complementary Metal-Oxide Semiconductor Integrated Circuits”, *IEEE Trans. Nulc. Sci.*, 33 卷, 1986 年 12 月, 1714-1717 页。

2. G. Bruguier 和 J.M.Palau , “Single particle-induced latchup” , *IEEE Trans.Nucl.Sci.* , 43(2) 卷 , 1996 年 3 月 , 522-532 页。
3. TAMU 辐射效应设施网站。 <http://cyclotron.tamu.edu/ref/>
4. “The Stopping and Range of Ions in Matter” (SRIM) 软件仿真工具网站。 www.srim.org/index.htm#SRIMMENU。
5. D.Kececioglu , “Reliability and Life Testing Handbook” , 1 卷 , PTR Prentice Hall , New Jersey , 1993 年 , 186-193 页。
6. ISDE CRÈME-MC 网站。 <https://creme.isde.vanderbilt.edu/CREME-MC>
7. A. J. Tylka、J. H. Adams、P. R. Boberg 等 , “CREME96: A Revision of the Cosmic Ray Effects on Micro-Electronics Code” , *IEEE Trans.Nucl.Sci.* , 44(6) 卷 , 1997 年 12 月 , 2150-2160 页。
8. A. J. Tylka, W. F. Dietrich, and P. R. Boberg, “Probability distributions of high-energy solar-heavy-ion fluxes from IMP-8: 1973-1996” , *IEEE Trans.Nucl.Sci.* , 44(6) 卷 , 1997 年 12 月 , 2140-2149 页。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司