

江苏北测新能源研究有限公司  
AS32A401、AS32I401B 型 MCU  
单粒子效应脉冲激光

试验报告

编写：\_\_\_\_\_

校对：\_\_\_\_\_

审核：\_\_\_\_\_

标审：\_\_\_\_\_

批准：\_\_\_\_\_

中国科学院国家空间科学中心

---

## 目录

1	试验目的 .....	1
2	参考文档 .....	1
3	试验安排 .....	1
4	试验条件 .....	1
4.1	试验地点 .....	1
4.2	实验室环境 .....	1
4.3	试验装置 .....	2
4.4	试验要求 .....	2
5	试验样品 .....	3
5.1	简介 .....	3
5.2	预处理 .....	3
5.3	样品尺寸 .....	3
6	试验电路 .....	4
7	试验方法 .....	4
7.1	扫描方法 .....	4
7.2	激光注量 .....	5
7.3	激光能量 .....	5
7.4	单粒子效应判定及处理方法 .....	5
8	单粒子效应试验步骤 .....	6
9	试验数据记录 .....	6
10	试验结果 .....	6
附录	芯片单粒子效应脉冲激光试验数据记录表 .....	7

## 1 试验目的

根据“江苏北测新能源研究有限公司多款器件单粒子效应激光试验”合同，利用皮秒脉冲激光单粒子效应试验装置，采用激光正面辐照试验方法，拟利用 LET (Linear Energy Transfer, 线性能量传输) 范围值为 5、15、37、75、100MeV·cm<sup>2</sup>·mg<sup>-1</sup> 的等效激光能量对芯片进行辐照，评估芯片抗单粒子效应能力。

## 2 参考文档

- (1) GB/T 43967-2024 空间环境 宇航用半导体器件单粒子效应脉冲激光试验方法
- (2) GJB 10761-2022 脉冲激光单粒子效应试验方法
- (3) QJ10005A-2018 宇航用半导体重离子单粒子效应试验指南
- (4) Q/NSSC 101-2018 半导体器件单粒子效应脉冲激光试验方法
- (5) GJB2712-1996 测量设备的质量保证要求剂量确认体系
- (6) NSSC 《器件单粒子效应脉冲激光预试验技术规范》
- (7) NSSC 《器件单粒子效应脉冲激光预试验质量保证大纲》

### 试验安排

试验各项任务日期安排及负责人如表 1 所示。

表 1 试验安排

序号	任务	时间	负责人
1	试验分工	2024.06.07	上官士鹏
2	试验测试	2024.06.12	王天文、林槟
3	数据统计和处理	2024.06.16	上官士鹏
4	试验报告编写	2024.06.20	林槟

## 3 试验条件

### 3.1 试验地点

试验在位于中关村 B481 的脉冲激光单粒子效应实验室进行。

### 3.2 实验室环境

- (1) 温度：24℃

(2) 湿度：42%RH

### 3.3 试验装置

(1) 试验设备

试验用到的主要仪器设备如表 2 所示，其中皮秒脉冲激光单粒子效应装置由皮秒脉冲激光器、光路调节和聚焦设备、三维移动台、CCD 摄像机和控制计算机等仪器设备组成。所有仪器设备均在检定或计量有效期内。

表 2 试验仪器设备

序号	设备名称	型号	用途
1	皮秒脉冲激光单粒子效应装置	非标	1
2	直流电源	E3631A	2
3	电控平移台	KST(GS)-100	3

(2) 试验装置原理框图

试验装置原理框图如图 1 所示。焊接试验样品的试验电路板固定于三维移动台上，三维移动台的位置和移动方式由控制计算机编程控制；脉冲激光器产生的激光经过相应光路调节和物镜聚焦后辐照试验样品；试验样品表面和激光光斑可由 CCD 相机成像在控制计算机显示；试验样品由直流电源供电并实时监测配套电路输出变化。

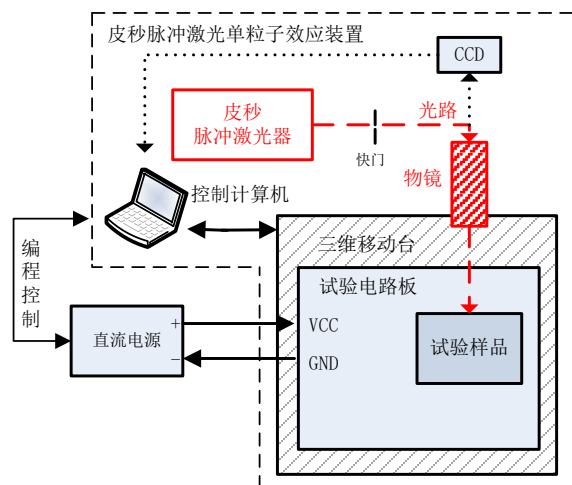


图 1 试验装置原理框图

### 3.4 试验要求

a. 试验电路板的固定接口应与试验台匹配，以方便固定电路板。

- b. 利用示波器和电流探头实时测试电路的电流变化。
- c. 试验板和数据采集板由测试方提供，试验前需完成实验系统的调试以验证芯片是否正常工作；对脉冲激光辐照试验数据要进行分析处理以形成试验报告。
- d. 为保护顾客人身及财产安全，试验过程中需严格按照脉冲激光单粒子效应实验室相关规定及试验操作规范做好防护，试验件在试验结束后由测试方收回或协商处理。

## 4 试验样品

### 4.1 简介

被测芯片编号及型号如表 3。

表 3-1 芯片信息

芯片工艺	/	芯片类型	MCU
芯片型号	AS32A401	芯片大小/mm×mm	5000*5100
VDD/V	5V	IDD/mA	179mA
衬底厚度/ $\mu\text{m}$	/	封装	LQFP144
芯片编号			

表 3-2 芯片信息

芯片工艺	/	芯片类型	MCU
芯片型号	AS32I401B	芯片大小/mm×mm	5000*5100
VDD/V	5V	IDD/mA	179mA
衬底厚度/ $\mu\text{m}$	/	封装	LQFP144
芯片编号			

### 4.2 预处理

在激光试验前，芯片样品进行开封装处理，使样品正面金属管芯表面完全暴露。

### 4.3 样品尺寸

采用移动观测法测量样品尺寸，即通过 CCD 成像观察到激光光斑正好辐照到样品左右或

上下边缘的三维移动台位置差，确定样品的长  $a$  和宽  $b$ 。具体尺寸参见试验数据表格中尺寸。

## 5 试验电路

试验电路由测试方提供，实物如图 2。

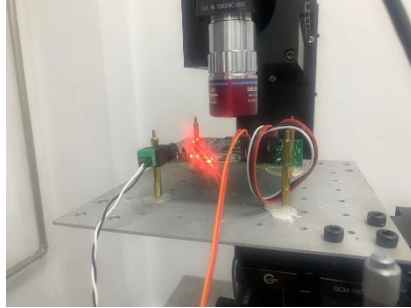


图 2 测试实物图

## 6 试验方法

### 6.1 扫描方法

试验前将试验电路板固定于三维移动台上，一般使样片的长  $a$  对应 CCD 成像的 Y 轴，宽  $b$  对应 CCD 成像的 X 轴，样品 CCD 成像的左下角作为坐标轴原点，即扫描起点。试验时为使激光覆盖扫描试验样品，设定三维移动台按如下顺序作周期移动，共移动  $b/10$  个周期。

- (1) 沿-Y 轴移动距离  $(a+50)$   $\mu\text{m}$ ;
- (2) 沿-X 轴移动  $5\mu\text{m}$  (X 轴步长);
- (3) 沿+Y 轴移动距离  $(a+50)$   $\mu\text{m}$ ;
- (4) 沿-X 轴移动  $5\mu\text{m}$ 。

激光相对三维移动台作反方向运动，相对扫描方式如图 3 所示。

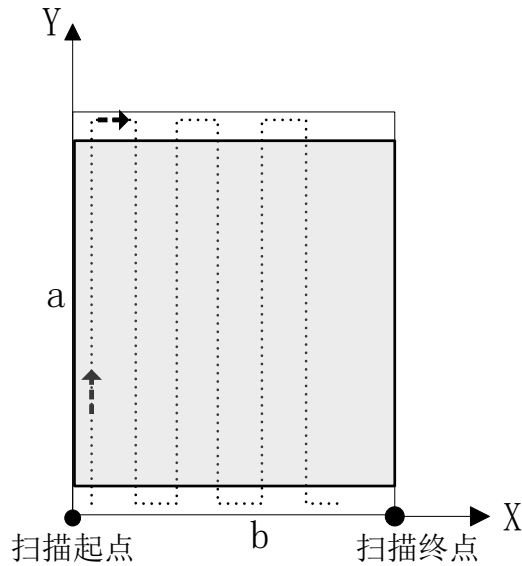


图 3 激光相对扫描方式示意图

## 6.2 激光注量

激光注量若定为  $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ ，即单个激光的 X 轴和 Y 轴步长都为  $3 \mu\text{m}$ ，其中 X 轴步长为直接设定。三维移动台沿 Y 轴是匀速移动，Y 轴步长由激光频率和三维移动台移动速度决定，设定激光频率为  $1000 \text{Hz}$ ，三维移动台移动速度为  $10000 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，则 Y 轴步长满足  $3 \mu\text{m}$  要求。其他注量与步长按此算法推算。光注量相关参数如表 4 所示。

表 4 激光注量相关参数表

激光频率/Hz	三维移动台		激光注量/ $\text{cm}^{-2}$
	移动速度/ $\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	X 轴步长/ $\mu\text{m}$	
1000	5000	5	$4 \times 10^6$
1000	3000	3	$1 \times 10^7$

## 6.3 激光能量

试验采用正面辐照方式。根据激光能量与重离子 LET 值对应关系计算得到扫描初始激光能量设定为  $420 \text{pJ}$ （对应 LET 值为  $(5 \pm 1.25) \text{MeV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mg}^{-1}$ ），最高采用的能量为  $5600 \text{pJ}$ （对应 LET 值为  $(100 \pm 25) \text{MeV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mg}^{-1}$ ）。如采用激光有效能量为对应 LET 值  $= 5 \text{MeV} \cdot \text{cm}^2 / \text{mg}$  时芯片不发生锁定，则增大激光能量（也即增大对应的 LET 值）。

## 6.4 单粒子效应判定及处理方法

当试验样品工作状态出现异常（超过正常芯片工作电流的 1.5 倍），认为发生单粒子锁定效应（SEL）。发生单粒子效应时，试验人员手动给测试电路断电，同时关闭激光快门，停止三维移动台的扫描程序。

## 7 单粒子效应试验步骤

以其中一款器件为例说明试验步骤，其他芯片试验步骤仿照此过程进行。

- (1) 打开皮秒脉冲激光器，设定激光脉冲频率为 1000Hz，激光器稳定运行；
- (2) 将激光聚焦到器件正面，测得器件长  $a$  宽  $b$ ，通过移动三维移动台使激光光斑定位于试验器件显微成像的右下角，并作为扫描原点；
- (3) 试验器件加电，记录工作电压；
- (4) 设定初始激光能量为 420pJ（对应 LET 值为  $(5\pm 1.25) \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mg}^{-1}$ ），设定三维移动台按照 7.2 中所述周期移动，使激光以  $4\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$  注量覆盖扫描试验器件，如果出现未出现单粒子效应，则按照初始设定能量继续增大能量并扫描器件，直至出现单粒子效应；
- (5) 拆除电路板，更换测试芯片，重复（2）-（5）试验过程；
- (6) 关闭激光器，试验结束。

## 8 试验数据记录

试验数据记录见附录。

## 9 试验结果

按照试验大纲要求的试验步骤，对芯片进行了脉冲激光单粒子效应试验。

- AS32A401 型 MCU 在 5V 的工作条件下，利用激光能量为 420pJ（对应 LET 值为  $(5\pm 1.25) \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mg}^{-1}$ ）开始进行全芯片扫描，未出现单粒子效应，且在能量提升至 5600pJ（对应 LET 值为  $(100\pm 25) \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mg}^{-1}$ ）时，未监测到芯片发生了单粒子效应。
- AS32I401B 型 MCU 在 5V 的工作条件下，利用激光能量为 280pJ（对应 LET 值为  $(5\pm 1.25) \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mg}^{-1}$ ）开始进行全芯片扫描，监测到芯片发生了单粒子翻转(SEU)现象。

本次试验由 1 个工作日完成。从 2024 年 06 月 12 日 9 时 00 分开始，2024 年 06 月 12 日 20 时 00 分结束。

本次试验人员承诺：本次试验任务由林檎负责完成，并对所完成试验的质量负责。



## 附录 芯片单粒子效应脉冲激光试验数据记录表

## 试验条件

试验地点：中关村 B481	
试验日期：2024.06.12	试验人员：林槟
温度：24°C	湿度：42%RH
开机时间：09:00	关机时间：20:00

## 参数记录

日期	20240612	单位	江苏北测
温度	24	湿度	42
芯片工艺	/	芯片类型	MCU
/等级		封装	LQFP144
芯片型号	AS32A401	芯片大小 $\mu\text{m}\times\mu\text{m}$	5000*5100
VDD/V	5V	IDD/mA	179mA
衬底厚度/ $\mu\text{m}$	-	衬底掺杂 $/\text{cm}^{-3}$	-
重离子数据 ( $\text{MeV}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mg}^{-1}$ 或粒子种类)		激光注量 $/\text{cm}^{-2}$	4E6
辐照方式	正面	激光能量比	1:1
备注			

芯片编号：		样品尺寸/ $\mu\text{m}\times\mu\text{m}$ ：5000*5100		激光注量/ $\text{cm}^{-2}$ ：4E6	
试验轮次	入射激光能量 $E_0$ (pJ)	能量等效 LET 值 ( $\text{MeV}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mg}^{-1}$ )	有无单粒子效应 (SEL-SEU-SET- SEB-SEFI)	试验电路 电流 (mA)	备注
#1	420	5	无	179mA	无
	1256	15	无	179mA	无
	3106	37	无	179mA	无
	4192	50	无	179mA	无
	2075	37	无	179mA	无
	4206	75	无	179mA	无
	5600	100	无	179mA	无

日期	20240612	单位	江苏北测
温度	24	湿度	42
芯片工艺	/	芯片类型	MCU
/等级		封装	LQFP144
芯片型号	AS32I401B	芯片大小 $\mu\text{m}\times\mu\text{m}$	5000*5100
VDD/V	5V	IDD/mA	179mA
衬底厚度/ $\mu\text{m}$	-	衬底掺杂 $/\text{cm}^3$	-
重离子数据 ( $\text{MeV}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mg}^{-1}$ 或粒子种类)		激光注量 $/\text{cm}^2$	4E6
辐照方式	正面	激光能量比	1:1
备注			

芯片编号:		样品尺寸/ $\mu\text{m}\times\mu\text{m}$ : 5000*5100		激光注量/ $\text{cm}^2$ : 4E6	
试验轮次	入射激光能量 $E_0$ (pJ)	能量等效 LET 值 ( $\text{MeV}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mg}^{-1}$ )	有无单粒子效应 (SEL-SEU-SET- SEB-SEFI)	试验电路 电流 (mA)	备注
#2 (主要 工作区 域)	280	5	无	179mA	
	840	15	无	179mA	
	2075	37	无	179mA	
	4206	75	SEU(串口死机)	179mA	Y,1645(SEU)
#3(SRA M1)	280	5		179mA	
	840	15		179mA	
	2075	37		179mA	
	4206	75	SEL	179mA	
#4 (IO)	425	5	SEU	179mA	X,30 Y,3900 (SEU 寄存器错误, 断电后不能恢复) 寄存器 4f000008 出错

#4 (IO)	425	5	SEU	179mA	X,30 Y,3900 (SEU 寄存器错误, 断电后不能恢复) 寄存器 4f000008 出错
#5 (IO 监测其他 寄存器)	1265	15	无	179mA	无
	3158	37	无	179mA	无
	6400	75	无	179mA	无