

## 碲锌镉探测器低噪声前端读出 芯片及数据采集系统设计

	MARERERE BARRER	ITATELE CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONTRACTOR CONT
(7)		
1000		
800000000000000		

第十六届全国核电子学与核探测技术学术年会

罗杰

清华大学工程物理系



**Laboratory of Nuclear Electronics** 



绵阳



## 主要内容





# ◆CASACZT16前端芯片电路设计 ◆CASACZT16芯片测试及噪声分析



## CdZnTe探测器







### CdZnTe

- 新型的室温半导体探测器 工作原理

射线与物质相互作用产生电子空穴对, 在外加 产生的 电场的作用下电荷被收集并产生感应电荷, 电荷与射线能量成正比,信号被放大和滤波, 并进 行后处理获取能量信息。

### CdZnTe探测器的优点

- 探测效率高
- 能量分辨率好
- 室温工作
- 计数率高

峰保持

位置分辨好

### - 可以将X或y光子直接转换为电子空穴对







## CASACZT16原理框图



 $V_{out} = NQ \frac{\tau/C}{(1 + s\tau)^5} \qquad \tau = \lambda RC$ 两级放大的电荷灵敏前放,4阶半高斯成形电路,漏电流补偿电路, 输出驱动放大器,漏电流产生单元 电荷增益: 64~256, 通道增益: 100mV/fC~400mV/fC, 外部可调 ・ 达峰时间:1us~4us,外部可调 **王核电子学研究室** Laboratory of Nuclear Electronics

### CASACZT16单通道电路图

### 甄别器,



## 两级电荷灵敏前放







两级放大的电荷灵敏前放[1]

• 输入PMOS管针对5pF输入电容进行噪声优化: 尺寸为800um/0.35um,电 流为400uA, 跨导为7.1mS, 仿真ENC贡献为30e





## 成形电路



 $I_{out} = I_{in} \frac{1 + sRC}{1 + sRC(1 + \lambda)}$  $V_{out} = I_{in} \times \lambda R \frac{1 + sRC}{1 + sRC(1 + \lambda)}$ 



4阶半高斯成形电路[2]



## 漏电流补偿电路



漏电流补偿电路原理图[3]









## 主要性能

表 1 CASA	CZT16 的基本性能措
工艺	Chartered 0.35µn
增益	100,200,300,40
达峰时间	1, 1.3, 2,
ENC	116e@4µ
积分非线性	0.39%
动态范围	360keV
功耗	7.3mW/通



### 旨标

### n CMOS 00mV/fC

### 4µs

S

### 道



芯片版图











## 功能测试



### 测试电路板

Те	<b>k</b> 运行					<u> </u>			
						<b>Ū</b>			
1							$\sim$		
							in y∕s ∖n n s		
	n n								
	·· ·								
						·+·			
							· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
						±		N 1	
						·····	·····		
	. : . :					± /			
	· ·								
3						····			
	·· ·					·•·			
	······								
4									
	n n								
	10.0mVΩ <sup>B</sup>	W	3	200mV	/ ∿⊮ <b>(</b> 4)	1.00 V B	2		
	4 均方根	值 1.37 V	半均值 1.37	最小值 1.37	最大值 1.38	标准差 1.25m			
	4 Amplitude	3.24 V	3.24	3.24	3.24	0.00	(4.00ue	) (250M) 次24小	(1) - 1 - 11 0 mV
	3 Amplitude 3 均方根	1.09 V 324mV	1.08 324m	1.06 322m	1.09 325m	5.15m 464u	.000µs	10k点	
	2 Amplitude	16.0mV	16.0m	16.0m	20.0m	375µ			
	<ul> <li>① 上井时间</li> <li>④ 下降时间</li> </ul>	17.98hs 18.33hs	17.49n 17.95n	16.87n 17.27n	18.08n 18.64n	328.4p 420.5p			29 2月 2012 12:26:38

												1
	··· ·											1.
											1 -	1
	 											. \
										· · ·	- 17	1
											11	
											1 :	
										<b> </b> -		
	 į							·····				
2								Converse of		<u> </u>		
										/		
	·											
5												
57												
57												
37	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·											
57												
57												
37			· · ·									
5			· ·			2 2(	00mV	- ^, B <sub>W</sub>	3	  200m		
37			· ·			2 2(	00mV	· √∿®⊌ ·均值	·····································	 200m 小值	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · ·
3		· · ·	· · ·	· · ·	· · 值 22	2 20 .0mV	00mV ₽ 24	/ <b>∿</b> ⊌ ·均值 ↓.0m	3 3 3 1 1	200m 小值 .2m	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	、、、 大值 .7m
3		· 均力 Am	···· ···· ····	ude	· ( ( ( ( ) ( ) ( ) ( ) ) ( ) ) ( )	2 20 .0mV 0mV	00mV	/ ∿⊌ ·均值 ↓.0m ↓.0m	<mark>3</mark> 3 日 10	200m 小值 .2m 0m	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	、 、 、 大値 .7m 0m
3		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	···· ···· ···· ···· ···· ···· ···· ···· ···· ···· ···· ····	ude	· 值 22 12 1.0 29	2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 200	DOmV	<sup>/</sup> へ⊪ 小均值 ↓.0m ↓9m 03 08m	3 3 3 10 10 1. 29	200m 小值 .2m 0m 01	IV ∿® 25 14 30	· · · · / 大值 .7m 0m )4
3		均 小 Am Am Am	····· ····· ····· ····· ····· ····· ····· ····· ····· ····· ····· ····· ·····	ude	· 值 22 12 1. 29 1.	2 20 .0mV 0mV 02 V 9mV 14 V	DOmV	/ ^↓⊌ 小均值 ↓.0m ↓.0m ↓.0m ↓.0m ↓.0m ↓.0m ↓.0m ↓.0m	3 3 3 10 10 1. 29 1.	200m 小值 .2m 0m 01 5m 11	IV ∿® 14 1.0 30 1.1	、 、 、 、 加 ) 4 1m 8
3		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	テレート ケレート ケレート ケレート ケレート レート レート レート レート レート レート レート	ude ude ude	( 住 22 12 1. 29 1. 5.	2000 2000 2000 2000 200 200 200 200 200	DOmV 平 24 1 1. 29 1.	<sup>▲</sup> 小剛 均値 1.0m 19m 03 08m 14 信号(	3 3 10 10 10 10 10	200m 小值 .2m 0m 01 5m 11	IV ∿® 是 25 14 1.0 30 1.1	、 、 、 、 加 ) 4 1m 18

大增益时输出波形尾部畸变

标准差 1.21m 12.0m 6.48m 1.17m 12.1m





已被触发

3 J 468mV

43月2012 13:19:37

4.00μs **∏→▼5.72000μs** 

### 芯片输入端的寄生电感效应



250M次/秒 10k 点

## 线性测试



不同成形时间下的输出波形



10



## 日の別に







## **殿声斜率测试**



### 不同达峰时间仿真得到的噪声电容斜率

### 仿真ENC: 44e+10e/pF@1us达峰时间 69e+4.7e/pF@4us达峰时间

### 12

### 实测ENC: 71e+26e/pF@1us达峰时间 85e+20e/pF@4us达峰时间

### 不同达峰时间实测的噪声电容斜率



输入电容 /pF

## 噪声斜率测试



噪声电容斜率随成形时间变化的拟合值









13

### ENC随成形时间变化的拟合值

(nV²/Hz)	b (μV²)	
5.15	0.95	
24.4	21.2	
	Tsinghua	University

## PDD数据采集系统









## 总结及后续工作展望

基本功能。 标, 满足应用需求。 和20e/pF, 实测结果比仿真结果偏大。



▶ 设计了一款用于碲锌镉探测器信号读出的低噪声前端芯片, 实现了前放、成形、漏电流补偿、甄别以及输出驱动放大等。

▶ 初步测试结果表明芯片各项功能均正常, 基本达到了设计指

▶ 6pF输入电容时测得的最小ENC为120e,测试通道测得的最小 ENC为70e, 1us和4us达峰时间测得的噪声斜率分别为26e/pF

▶ 采用了PDD数据采集板搭建了一个32通道的数据采集系统, 目前正在准备多通道的像素CdZnTe探测器,后续工作将使用 该32通道数采系统对探测器进行性能评估和能谱测量。



参考文献

[1] G. De Geronimo et al, "A CMOS detector leakage current self-adaptable continuous reset system: Theoretical analysis", NIMA, 1999, 421:322-333. [2] C. Fiorini et al, "Integrated RC cell for time-invariant shaping amplifiers", *IEEE TNS*, 2004, 51:1953-1960. [3] G. De Geronimo et al, "A CMOS baseline holder (BLH) for readout ASICs". IEEE TNS, 2000, 47: 818-822. [4] G. De Geronimo et al, "Analog peak detector and derandomizer for highrate spectroscopy", IEEE TNS, 2002, 49: 1769-1773.













## 俞出噪声功率谱分析



第5通道(C<sub>in</sub>≈ 6pF)输出噪声功率谱



测试通道(C<sub>in</sub>≈ 1pF)输出噪声功率谱



## 输出噪声功率谱分析



第5通道(C<sub>in</sub>≈ 6pF)输出噪声功率谱



### 测试通道(C<sub>in</sub>≈ 1pF)输出噪声功率谱

