



2021年辐射探测微电子学术年会

辐射探测微电子在其他领域中的应用

邓智

清华大学工程物理系

2021/11/26



大纲

- 概述
- 辐射探测ASIC进展及应用 @ 清华
- 其他应用：室温长波红外探测
- 小结

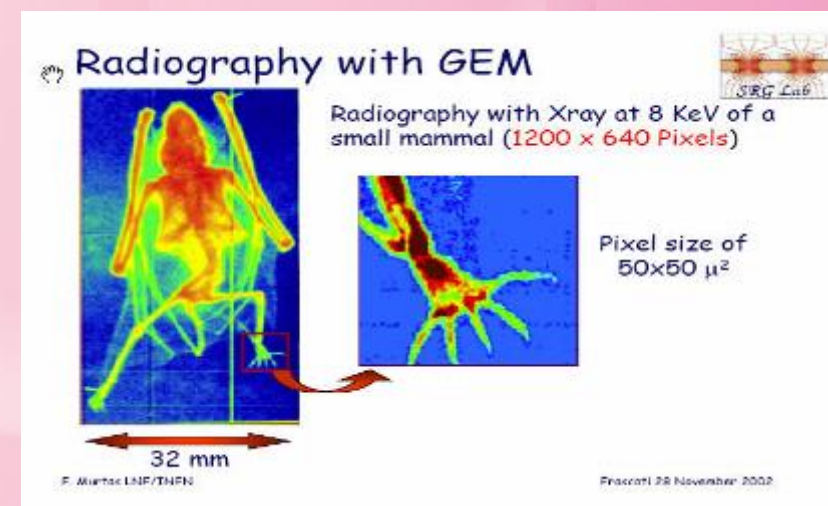


01

Introduction 概述

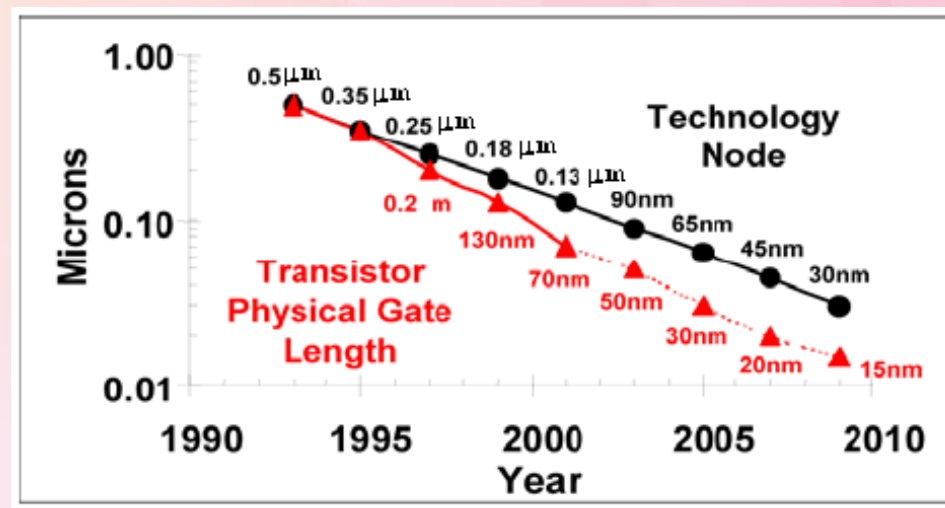
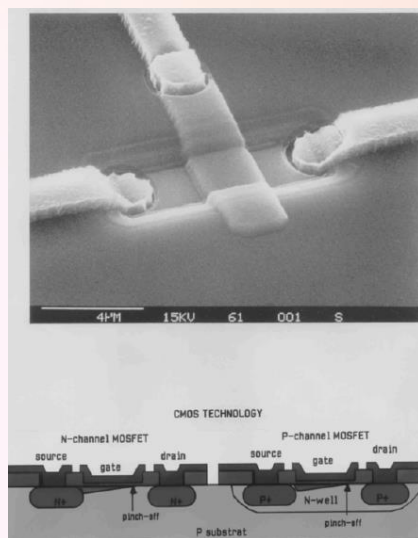
概述

- 在辐射探测及其应用领域中，对空间分辨和计数率要求越来越高，探测器单元（像素）的尺寸也越来越小，对**高密度**、**高集成度**读出电子学技术提出了需求
 - 带电粒子：顶点探测器 $\sim 1\mu m$, 10^7 cps/mm^2
 - X射线：CT成像 $\sim 100\mu m$, 10^9 cps/mm^2
- 专用集成芯片：ASIC (Application Specific Integrated Circuits)



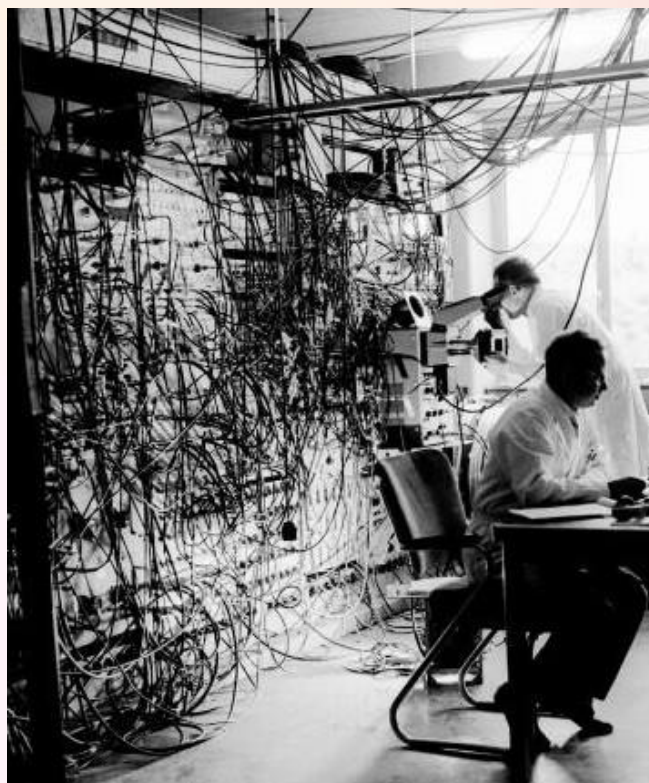
• CMOS集成电路的发展

- 晶体管特征尺寸按摩尔定律不断减小，逐渐走向极限
- 通用→专用，逐步降低成本和门槛，为不同应用领域实现高密度、定制化的读出芯片提供可能

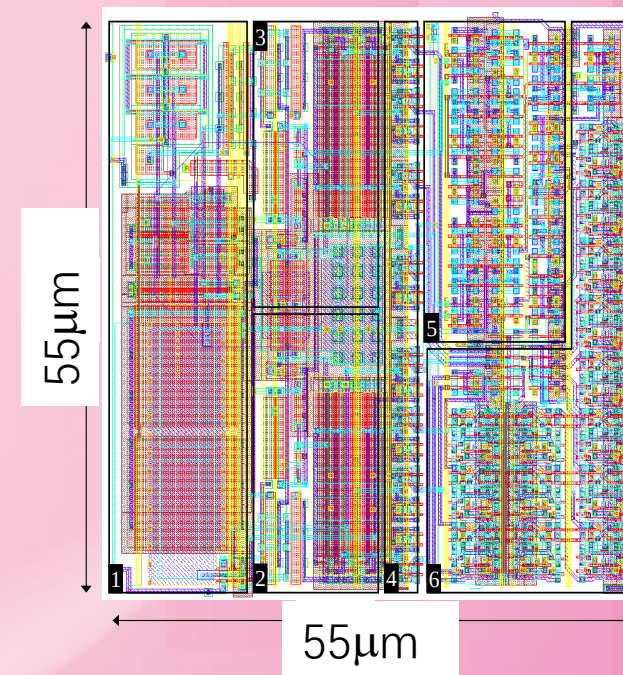
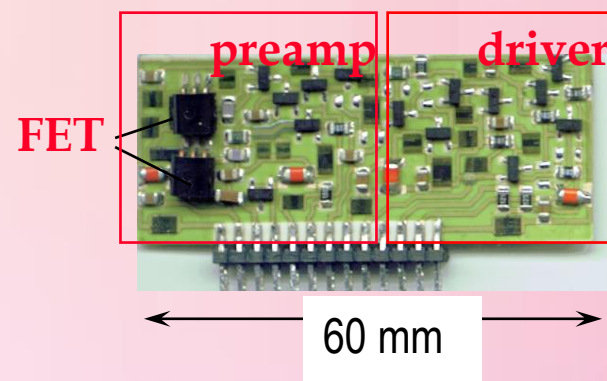
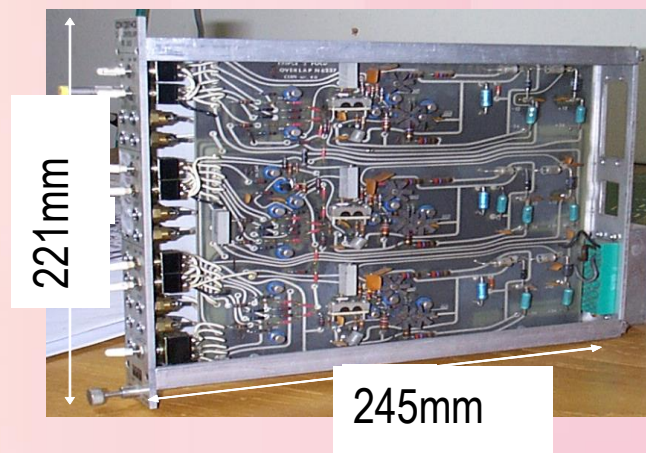


Intel Pentium 4 (2000)
42M transistors, 1.5GHz

• 不同尺度的核电子学



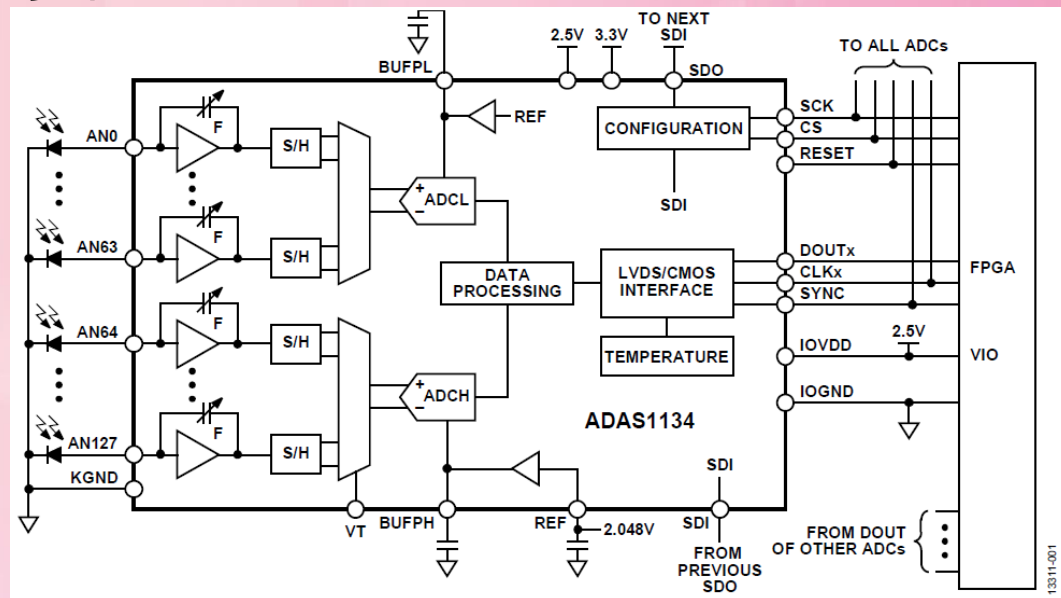
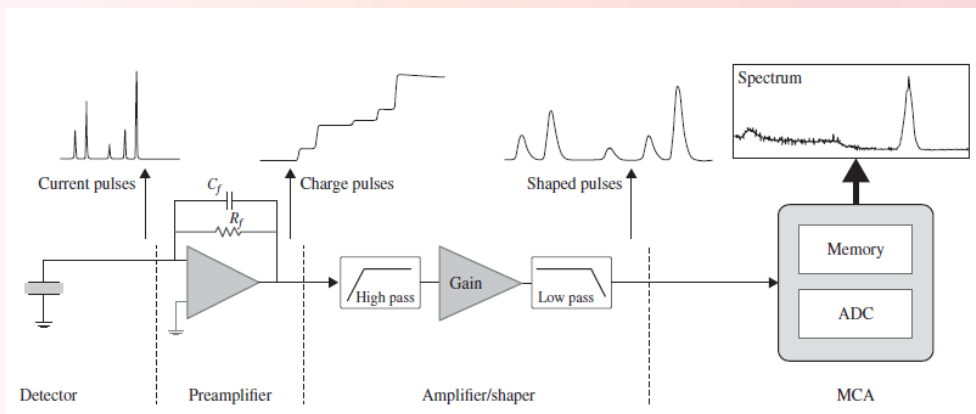
~1m



Medipix ASIC

辐射探测信号处理模式

- 单粒子探测模式
 - 单个粒子的能量、到达时间和位置等物理量的测量
- 积分模式
 - 一段时间内的粒子产生的信号积分求和

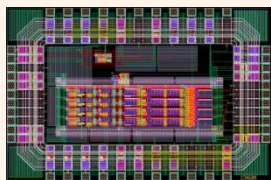




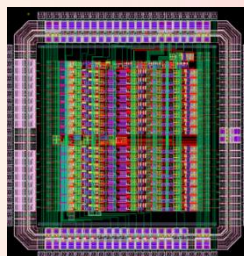
02 | ASIC Development and Applications @ Tsinghua

辐射探测ASIC进展及应用 @ 清华

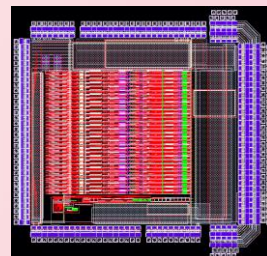
气体探测器读出ASIC



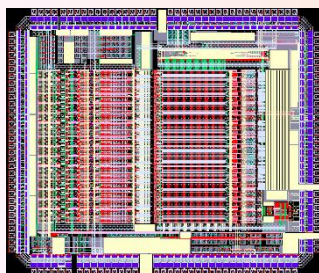
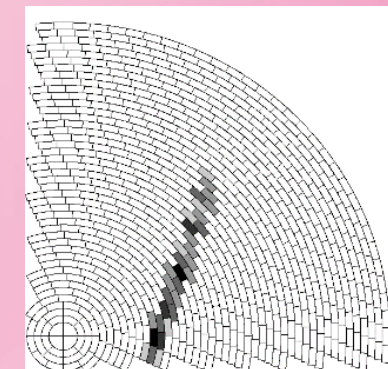
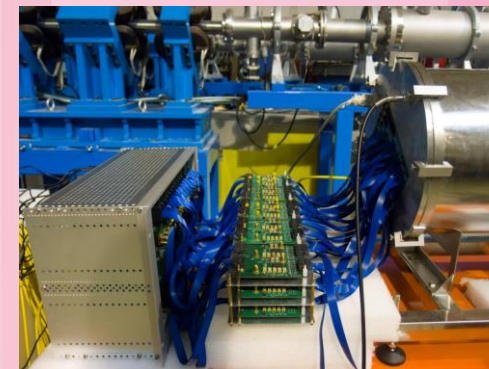
CASA: 4ch CSA+Shaper



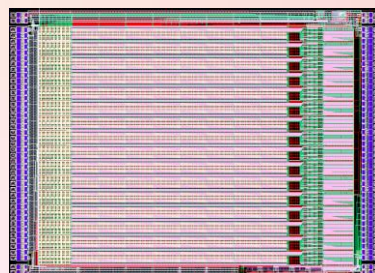
CASAGEM: 16ch CSA+Shaper



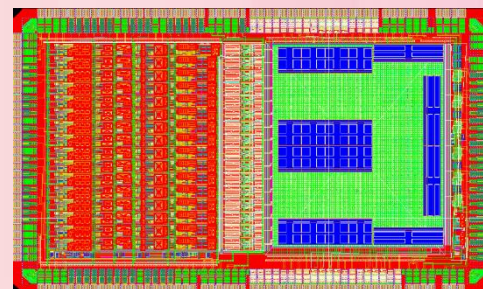
CASA32: 32ch CSA+Shaper



CASCA: 32ch CSA+Shaper+SCA



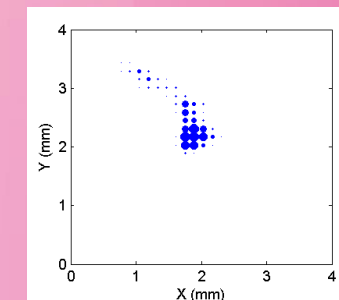
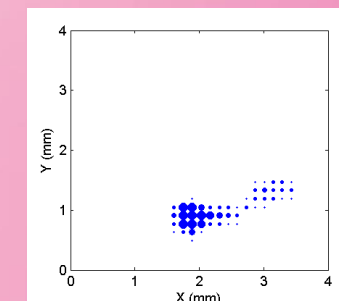
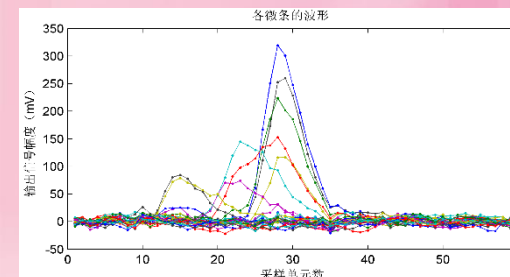
GERO: 16ch SCA



WASA: 16ch AFE+ADC+DSP



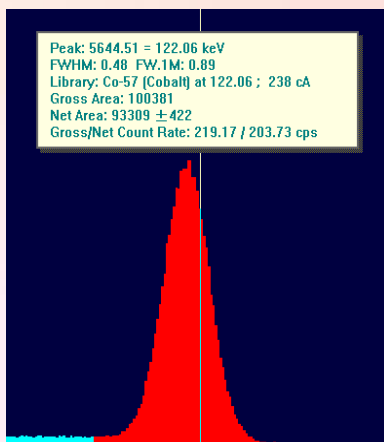
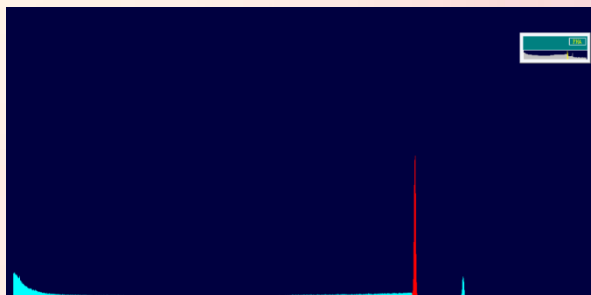
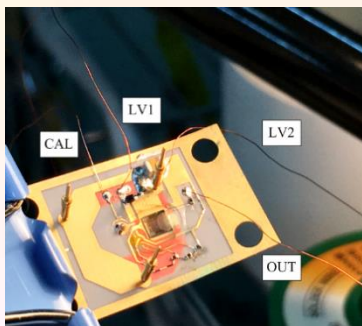
11月26日下午Session 2 刘伟的报告





半导体探测器读出ASIC

低温低噪声低本底高纯锗前放



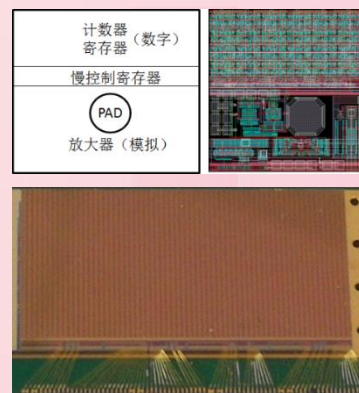
FWHM=480eV
@122keV

11月26日下午Session 2 郝嘉俊的报告

11月27日下午Session 5 王学知的报告



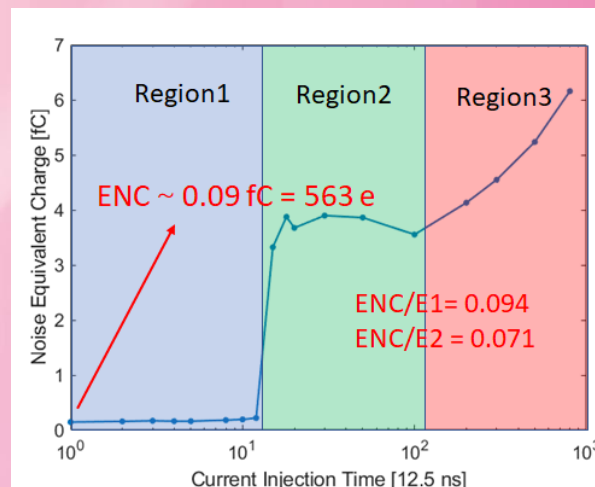
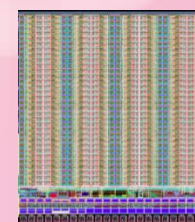
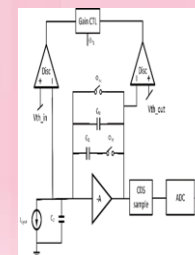
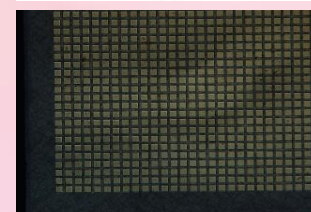
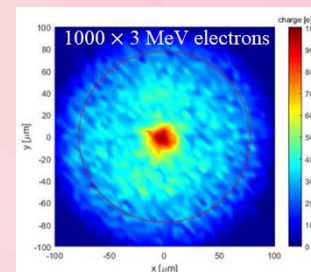
光子计数多能谱探测器



超快电镜成像



11月27日下午Session 5 魏桐的报告





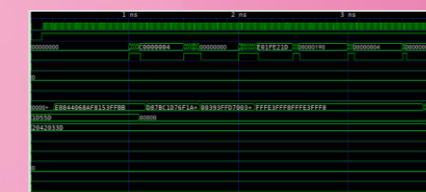
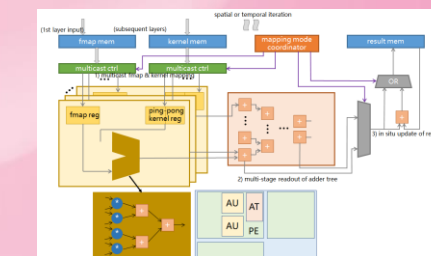
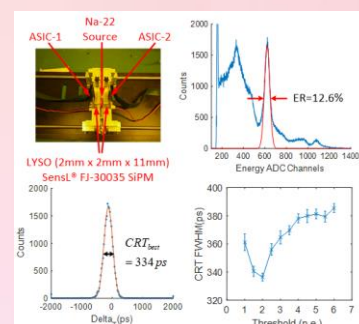
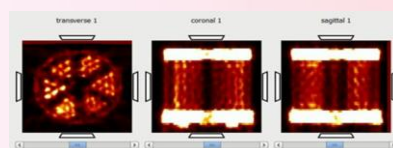
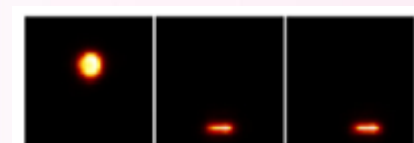
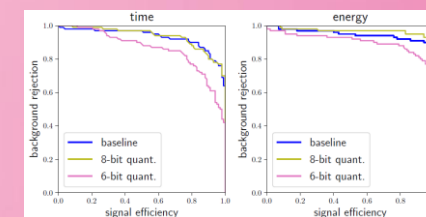
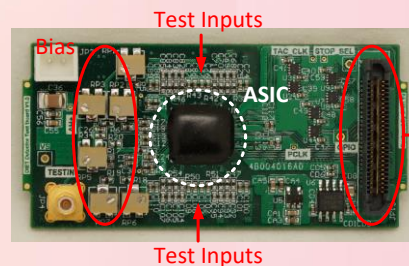
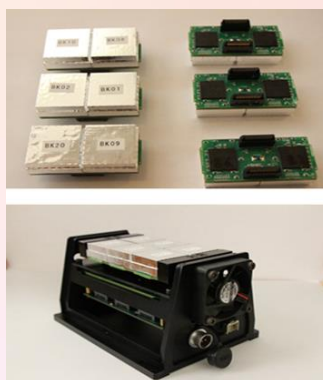
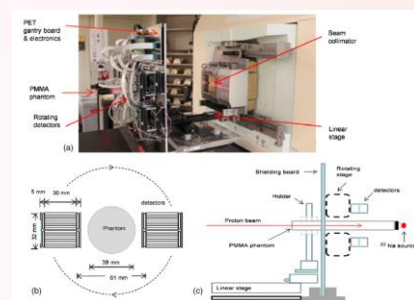
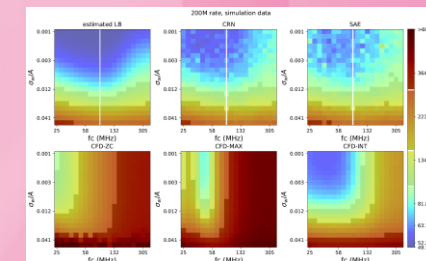
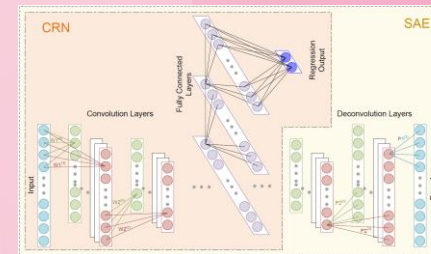
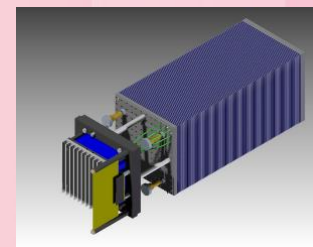
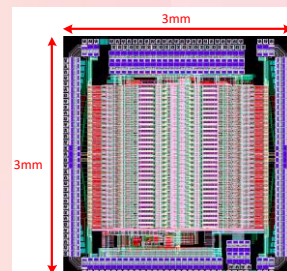
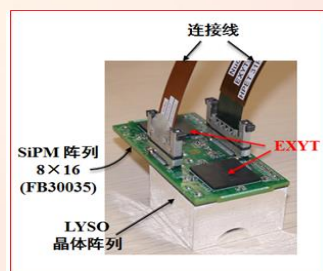
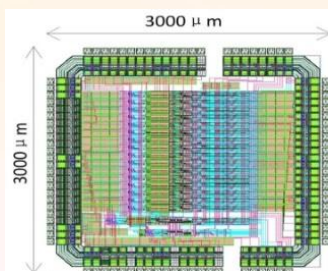
闪烁体探测器读出ASIC

PET/TOF-PET SiPM探测器读出

11月27日下午Session 6 艾鹏程的报告



NICA-ECAL探测器读出

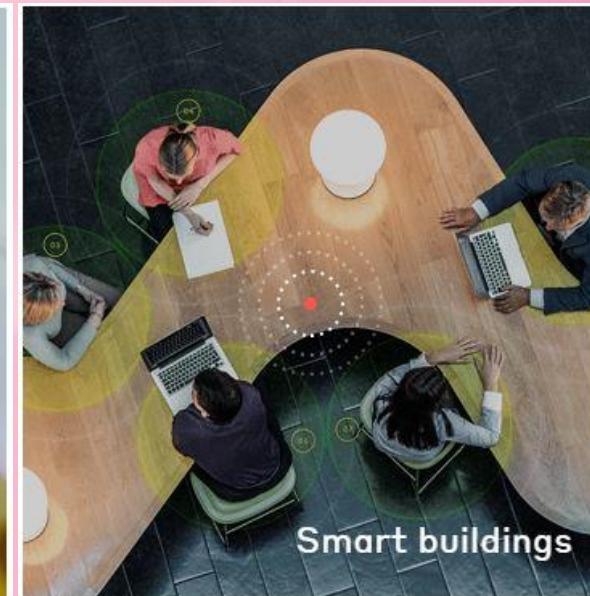
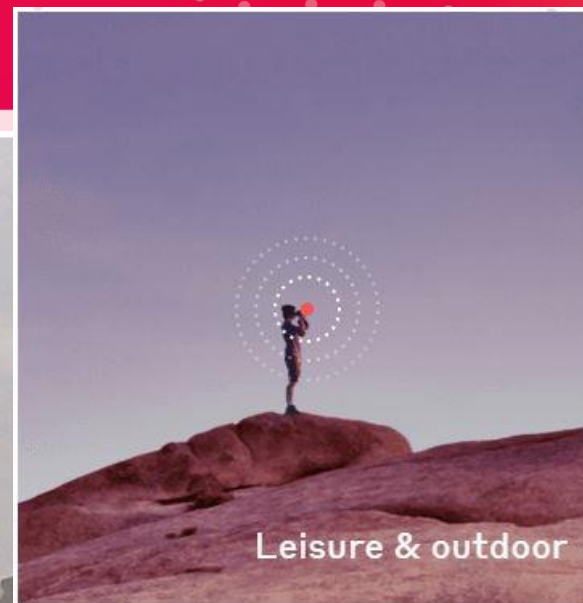
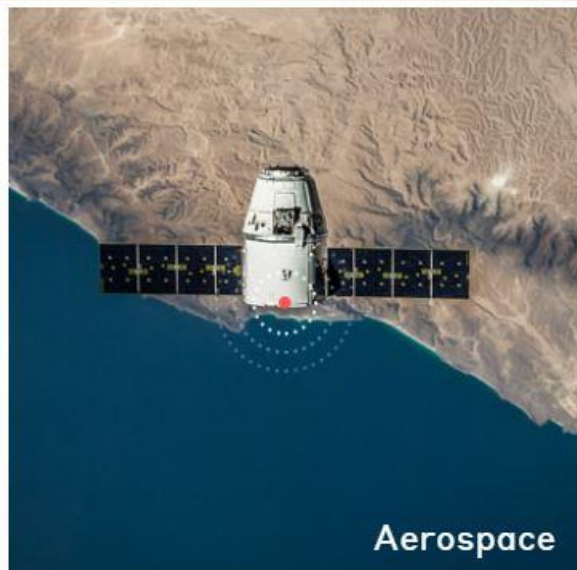




03 | Other Applications: Uncooled LWIR Sensor 其他应用：室温长波红外探测



红外成像应用



红外成像探测器（非制冷型）

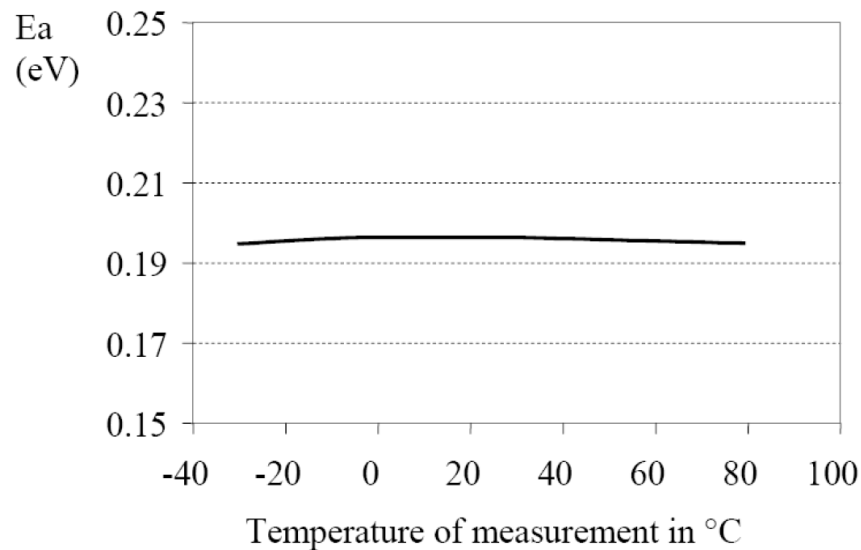
➤ 探测器材料：非晶硅

➤ 探测原理：

- $R = R_0 e^{\frac{E_a}{kT}}$
- 非晶硅被红外辐射加热，引起电阻变化
- 若电阻加恒定偏压，则电流会发生变化
- 电流在电容上积分，引起电容两端电压变化
- 通过测量电压值反推出入射红外光的强度

➤ 热辐射加热功率：~nW

➤ 整体温度响应非线性，局部近似线性



读出电路结构

- 像元：非晶硅，接收红外辐射
- 盲元：非晶硅，不接收红外辐射
- CTIA积分盲元与像元电流之差
- 温度响应曲线

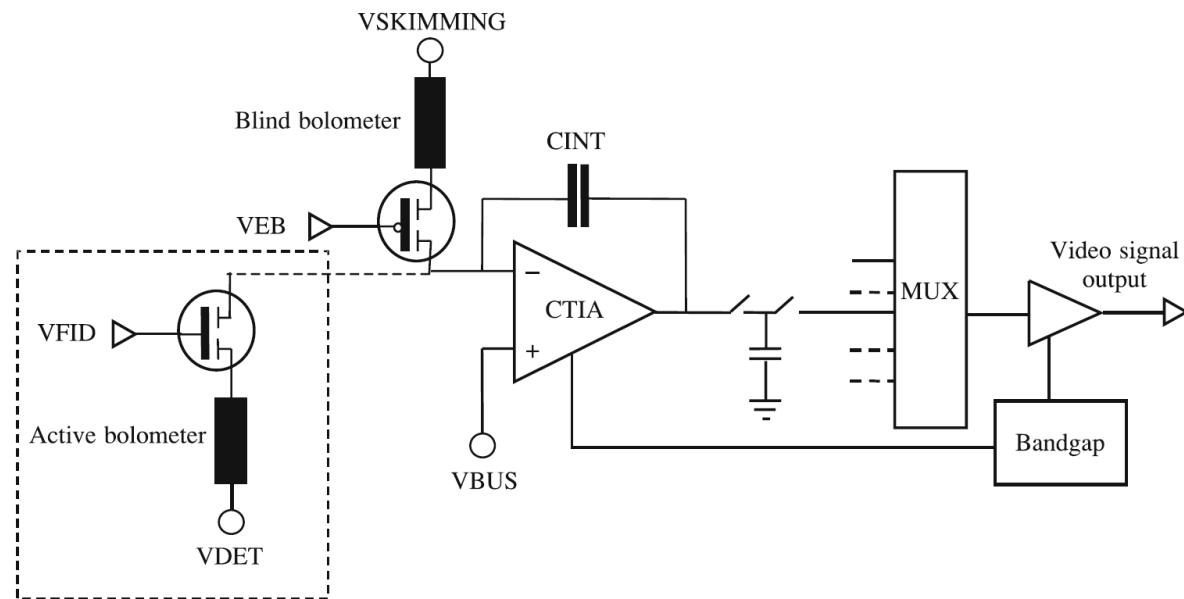


Fig. 2. Synoptic of the pixel readout architecture.

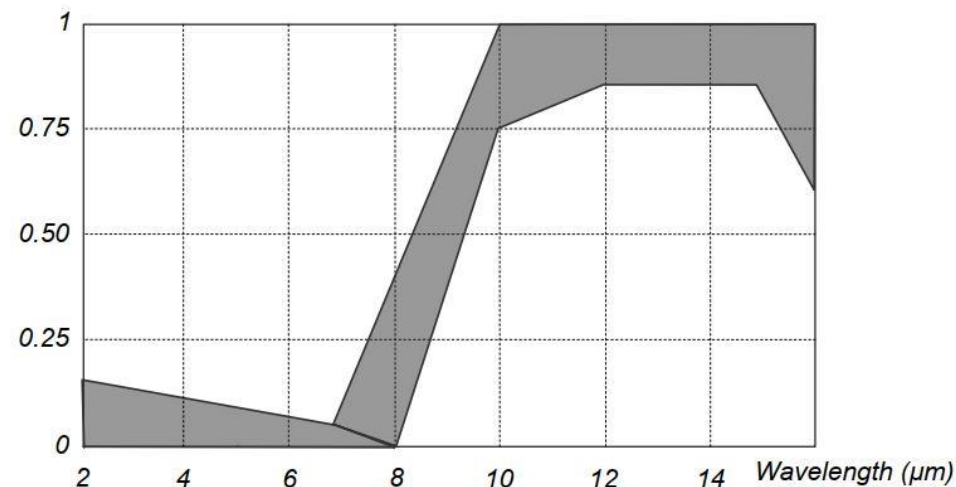
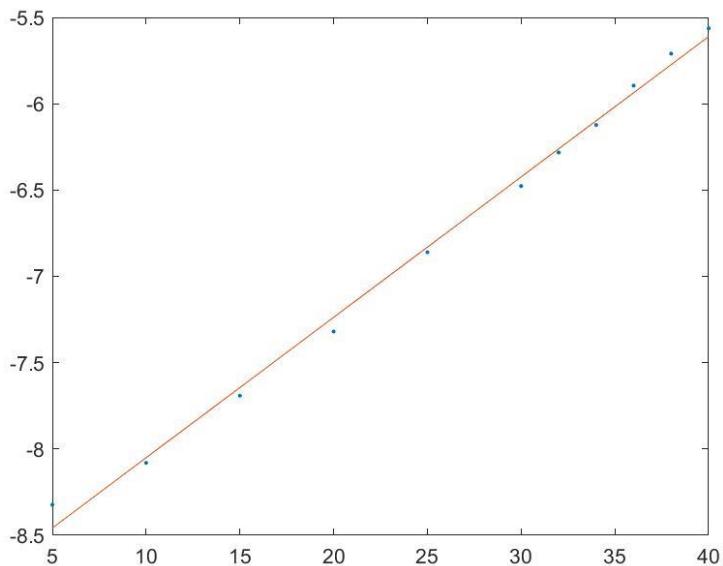


Figure 3.2 – Spectral response of the sensor

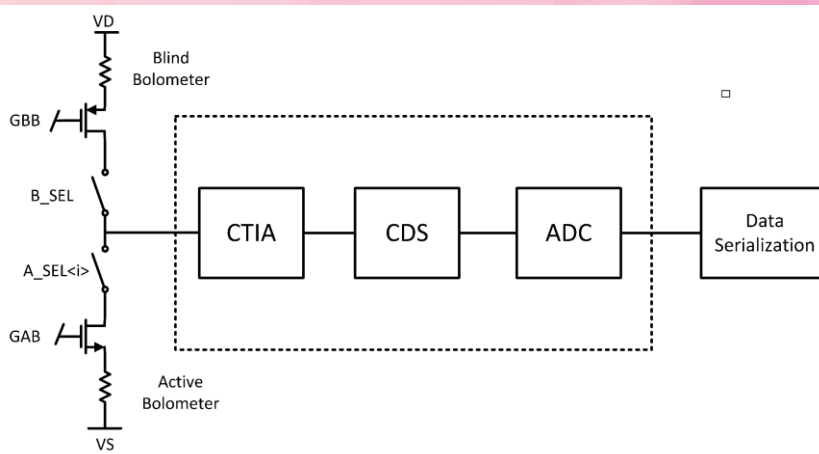
芯片整体结构

- 384x288阵列
- 17 μm x17 μm 像元
- 0.18 μm 集成电路工艺
- 列级CTIA+ADC: 20bit
- 全局+列级微调DAC
 - 全局: 10 bit
 - 微调: 6 bit

像元 (384x288)

盲元 (384x1)

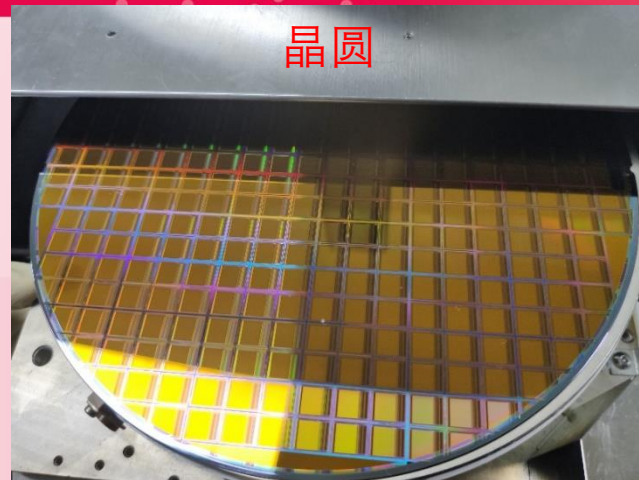
读出电路



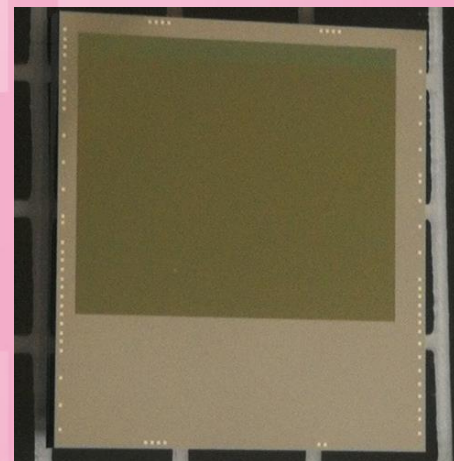


芯片测试进度

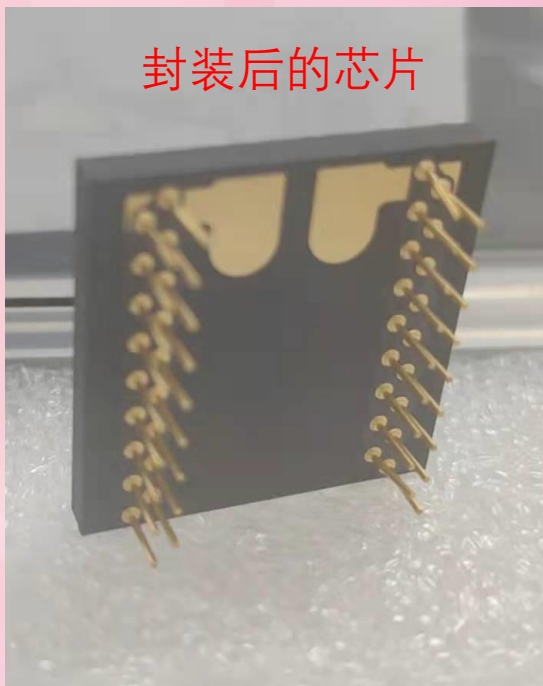
时间	进度
2020年8月	第一版芯片投片
2020年12月	收到未加工探测器的晶圆
2020年1月	初步晶圆测试，验证芯片功能
2021年3月	收到已加工探测器的晶圆以及切割好的裸片，进行板级测试以及晶圆测试
2021年4月	芯片板级测试，评估性能
2021年6月	成像系统设计和搭建
2021年7月	芯片成像测试与评估



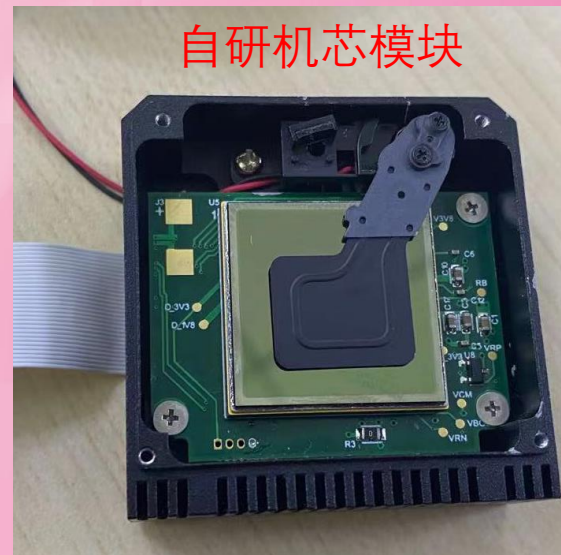
晶圆



芯片及探测器



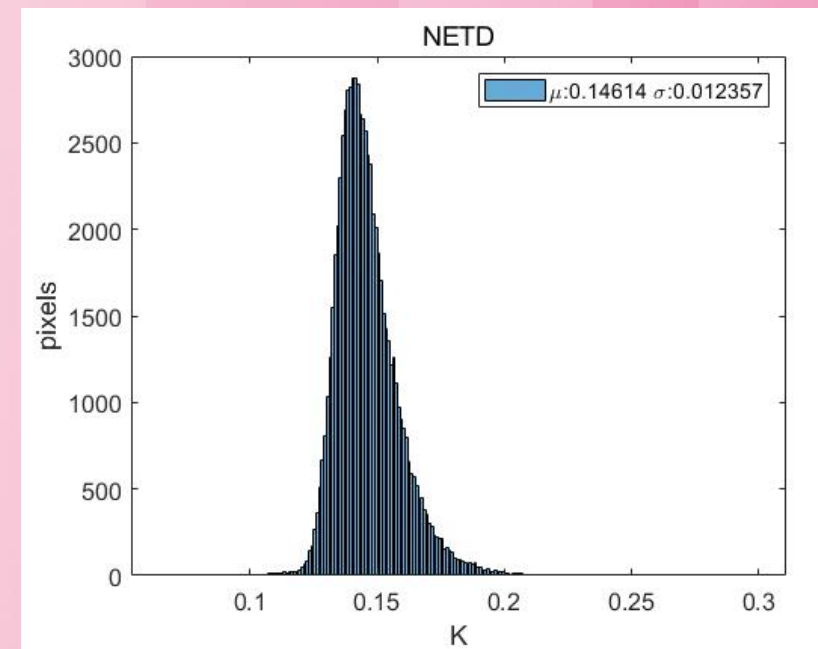
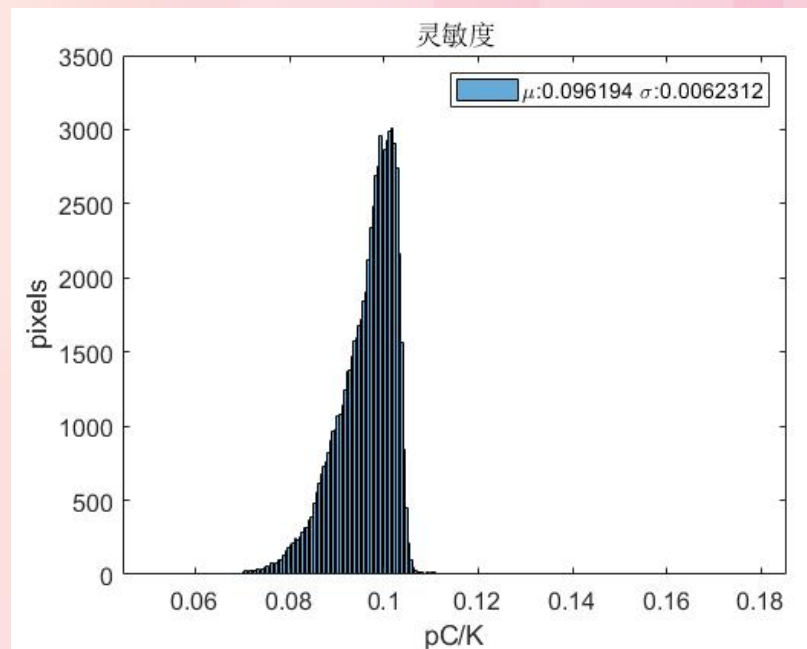
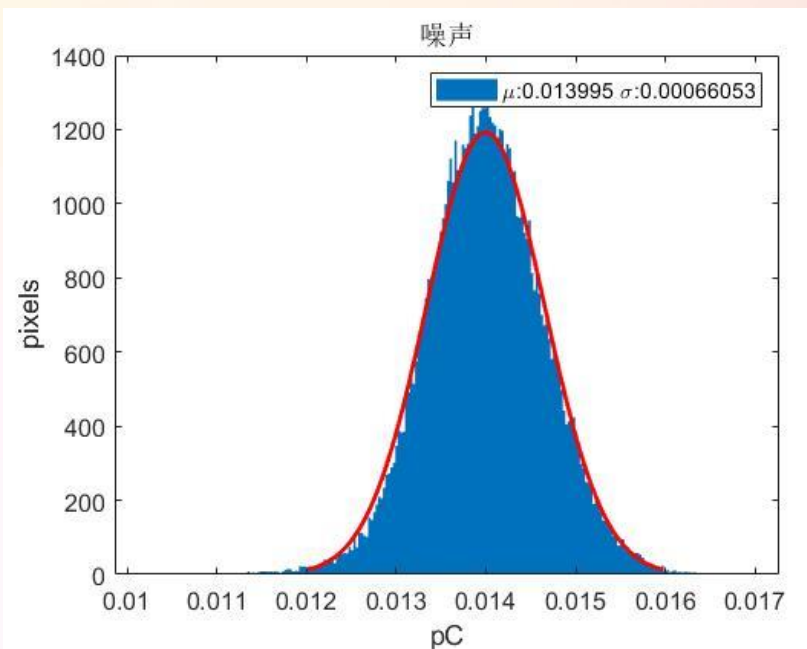
封装后的芯片



自研机芯模块



芯片板级测试结果





与国外同类型芯片对比

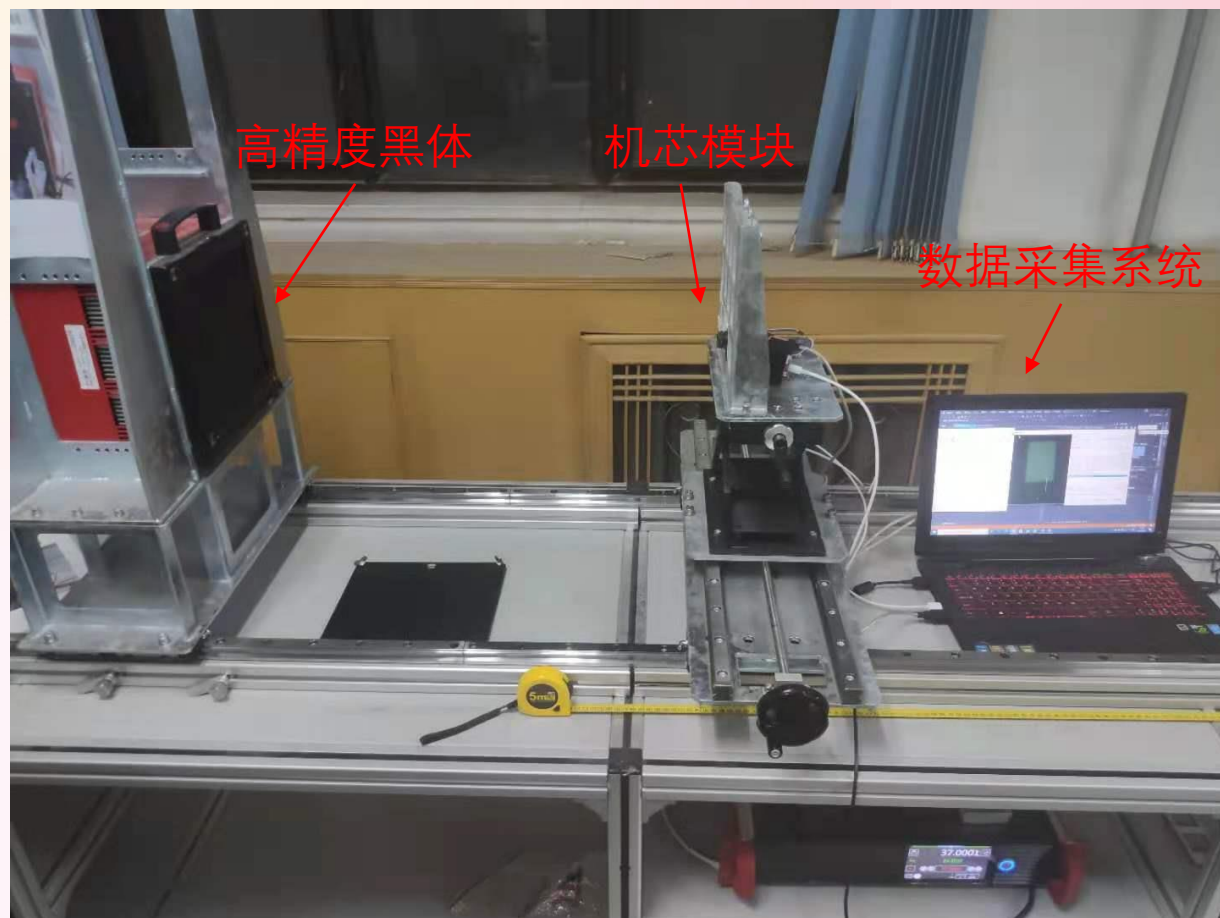
	自研QVGA芯片	Ulis PICO384 Gen2	DB384-17C-A
像素阵列	384x288	384x288	384x288
功耗	102mW (静态) 120mW (动态)	<80mW (模拟模式) <220mW (数字模式)	<100mW (模拟)
NETD	146.14mK (f/1.17,300K,60Hz) 等效106.76mK (f/1) 平均值	<60mK (f/1,300K,50Hz) 平均值	<50mK (f/1,300K,30Hz) 平均值
TEC	无	无	无
灵敏度	96fC/K	~12mV/K	10mV/K
积分电容	0.5pF/1pF	1.3~6.3pF	
分辨率	6+14 bit	14 bit	模拟输出
像元尺寸	17um	17um	17um
生产厂家		法国ulis	韩国i3
可操作率	95%~99%	>99.8%	>99%
探测器材料	非晶硅	非晶硅	非晶硅



与国内同类型芯片对比

	自研QVGA芯片	GST417M	GWIR 02 04 22AB	RTD3172CR
像素阵列	384x288	400x300	384x288	384x288
功耗	102mW (静态) 120mW (动态)	<250mW (不含TEC)	<250mW (不含TEC)	<80mW (?)
NETD	145.23mK (f/1.17,300K,60Hz) 等效106.76mK (f/1) 平均值	<55mK (f/1,300K,50Hz) 平均值	<50mK (f/1,300K,50Hz) 平均值	<40mK (f/1,300K,50Hz) 平均值
TEC	无	有	有	无
灵敏度	97 fC/K	10~20 mV/K	15 mV/K	
积分电容	0.5pF/1pF	1.5~12 pF		
分辨率	6+14bit	14bit	模拟输出	14bit
像元尺寸	17um	17um	17um	17um
生产厂家		武汉高芯科技	北方广微科技	艾睿光电
可操作率	95%~99%	>99%	>99.7%	>99.5%
探测器材料	非晶硅	VO _x	VO _x	VO _x

芯片成像测试系统

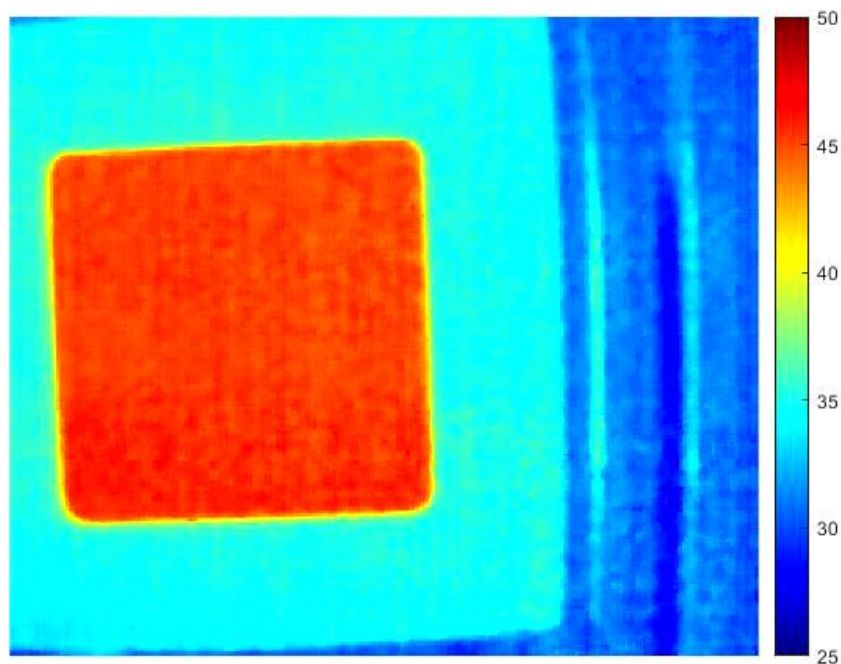


黑体测试平台

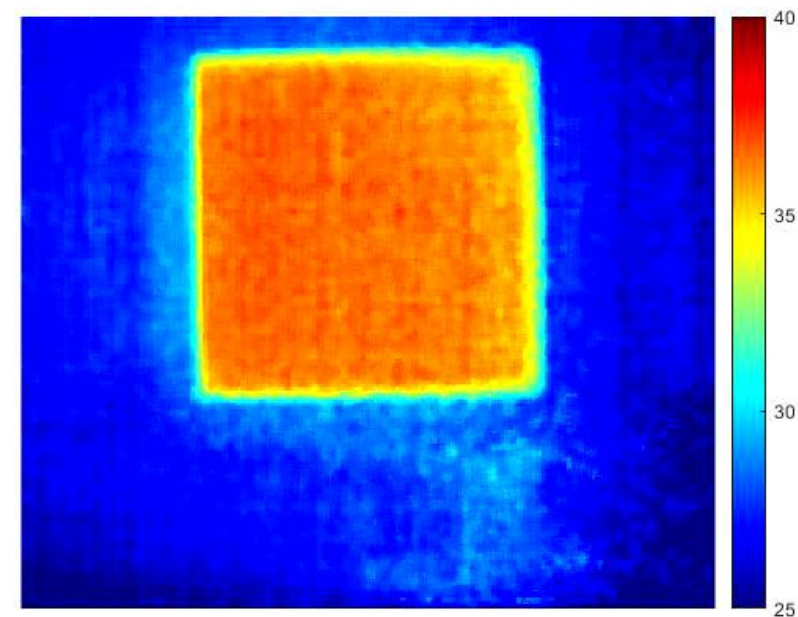




芯片成像效果演示



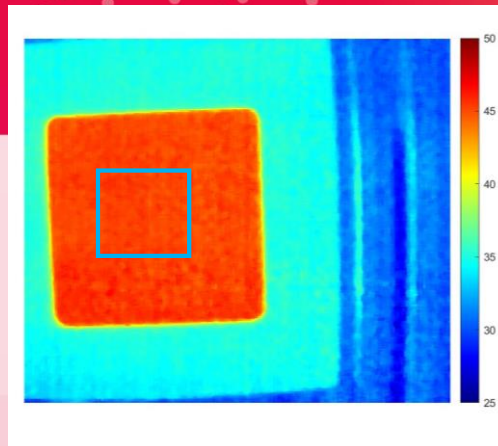
静态图像



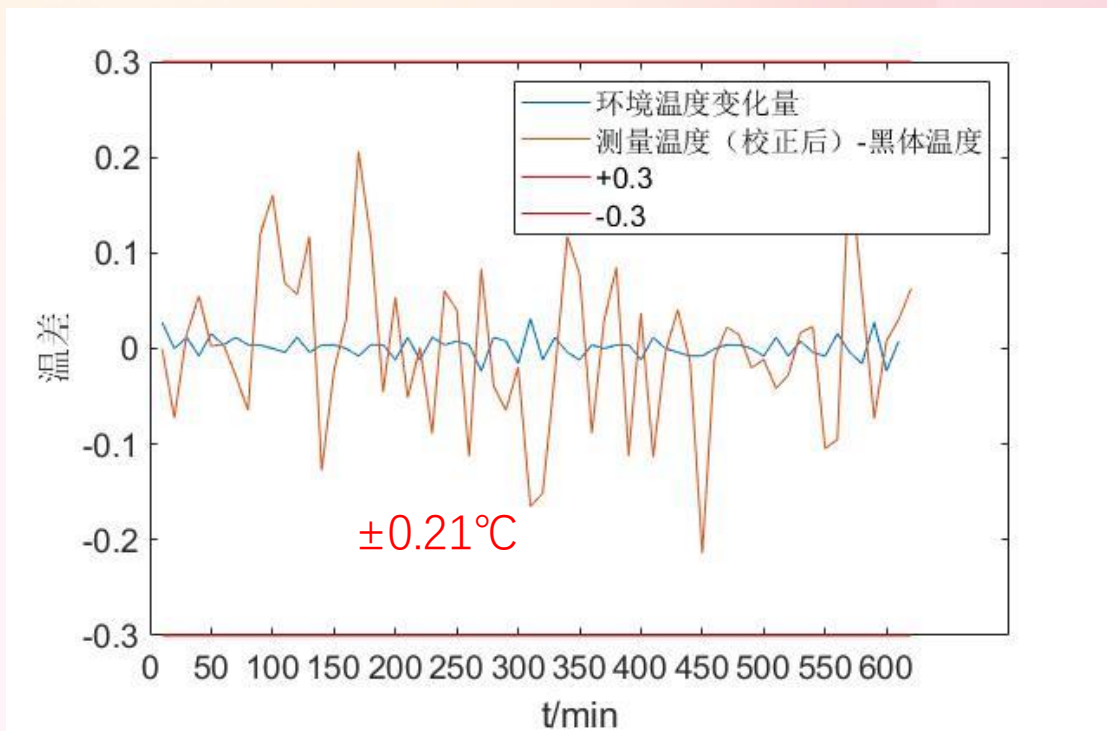
动态图像



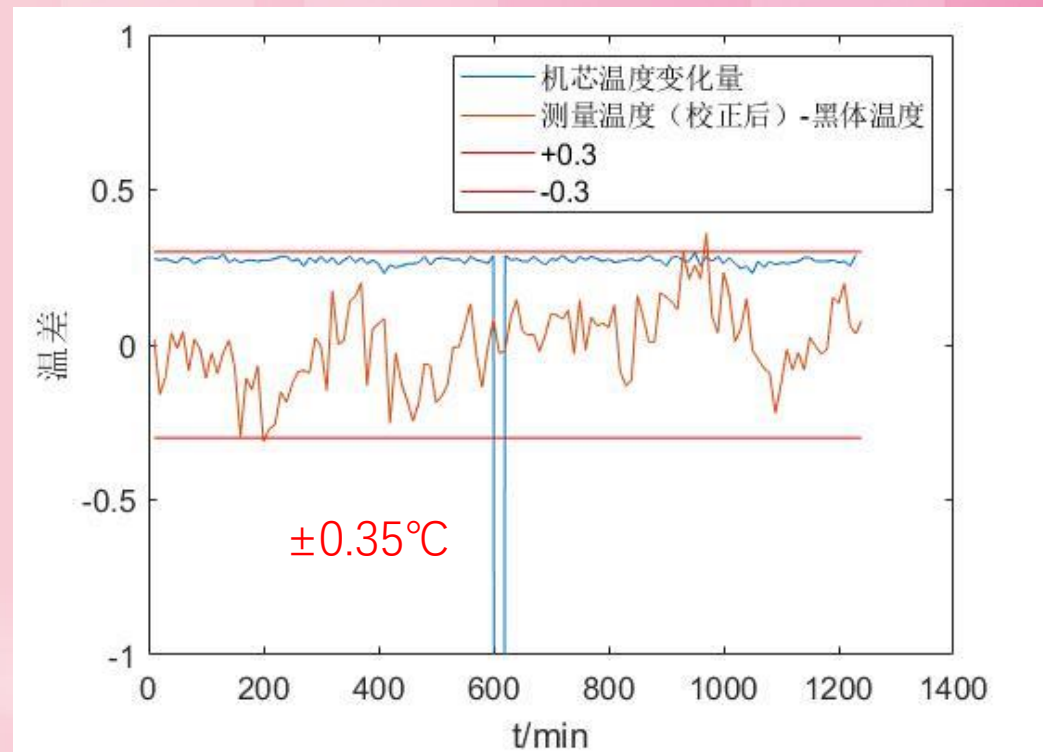
芯片测温性能



黑体中心区域平均温度



恒定环境温度下的测量温度曲线



非恒定环境温度下的测量温度曲线



小结

- 辐射探测微电子已经成为粒子探测与应用系统中必不可少的核心器件
 - 单粒子探测模式：带电粒子径迹探测、高纯锗谱仪、核医学、量能器
 - 积分模式：X射线和电镜成像，前者也向计数的方向发展
- 和光学传感器读出很有多交叉、共同的地方
 - 自新冠疫情以来，开展了一些红外热成像探测的尝试
- 无论是针对哪个领域中的应用，ASIC的研发需要和应用需求、探测器（传感器）以及电子学系统紧密结合



谢谢聆听