

基于CMOS工艺的SiPM/APD 阵列探测器件研究

中科院高能所
实验物理中心
赵梅

2018.4

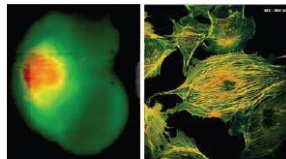
研究背景

► SiPM/SPAD应用

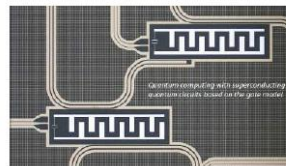
- PMT的一个替代器件（对磁场不敏感，造价低，低电压）
- time-of-flight (ToF) positron emission tomography (PET)（正电子发射断层扫描系统）
- 时间分辨的 γ 、X射线成像
- 分子成像，molecular imaging
- 荧光相关光谱学，fluorescence correlation spectroscopy
- time-of-flight 3D vision



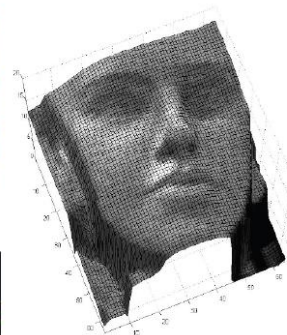
High-energy physics experiments



Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy (FLIM) and super-resolution microscopy (STED, STORM, GSDIM, PALM, etc.)

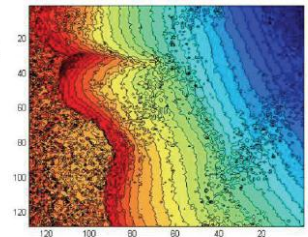


Electronics for Quantum Computing

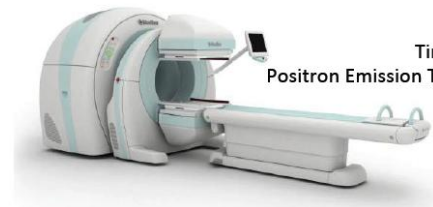


3D Vision

Near Infrared Imaging (NIRI)



Time-resolved Raman Spectroscopy



Time-of-Flight Positron Emission Tomography (TOF PET)

研究背景

▶ APD---SiPM---SPAD区别与联系

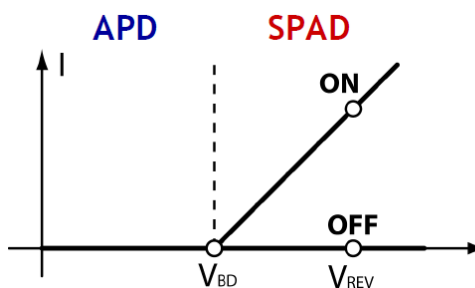
▶ APD: avalanche photodiode 雪崩光电二极管

▶ SiPM: Silicon photomultiplier 硅光电倍增管

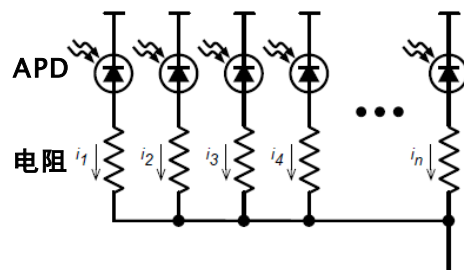
工作在盖革模式的多个光电二极管并联构成

▶ SPAD: single photon avalanche diode 单光子雪崩二极管

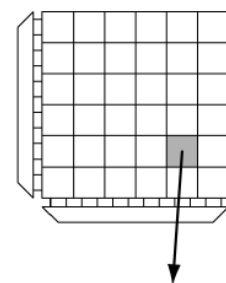
工作在盖革模式的单个光电二极管单独信号处理后输出



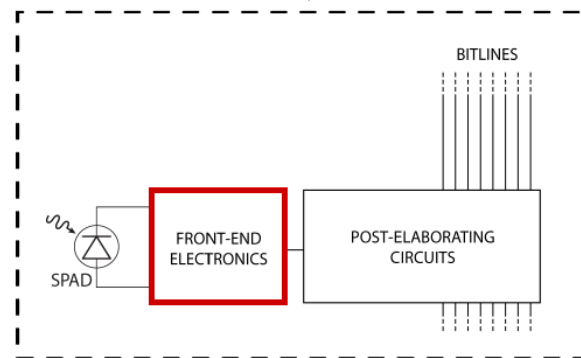
雪崩光电二极管



SiPM



SPAD阵列



研究内容

- ▶ 单个APD

器件性能仿真、器件设计、流片制备、性能测定

- ▶ 阵列SiPM

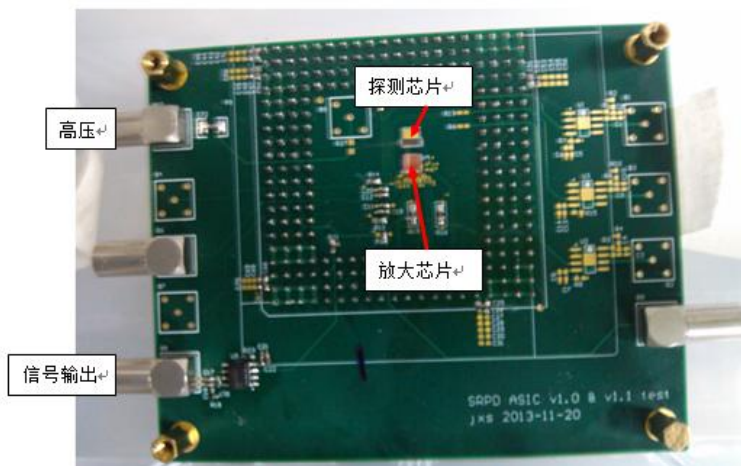
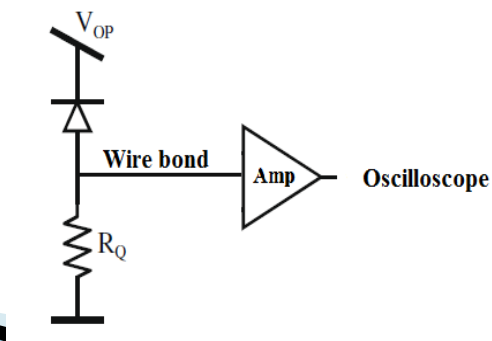
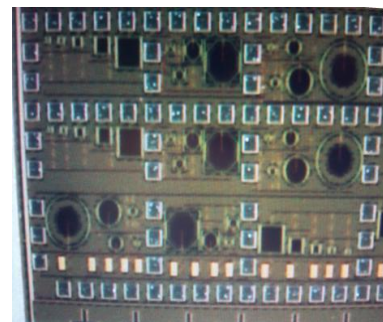
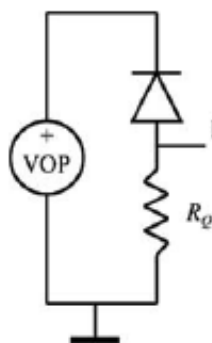
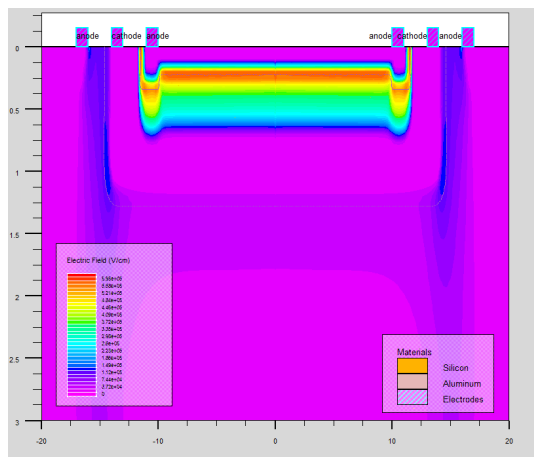
采用多个 APD与电阻串联方式制备SiPM器件，初步性能测试

- ▶ SPAD器件

单像素数字输出的SPAD阵列芯片设计流片

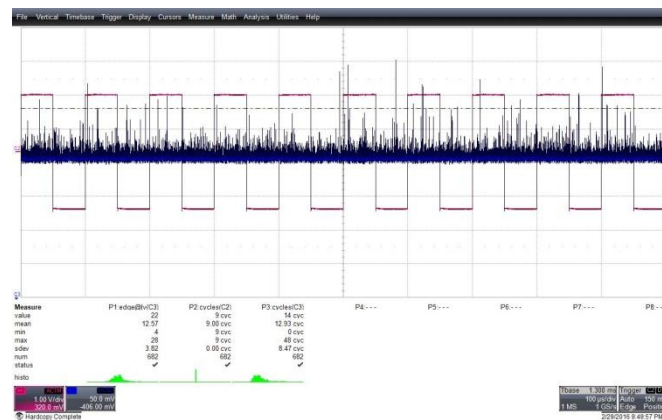
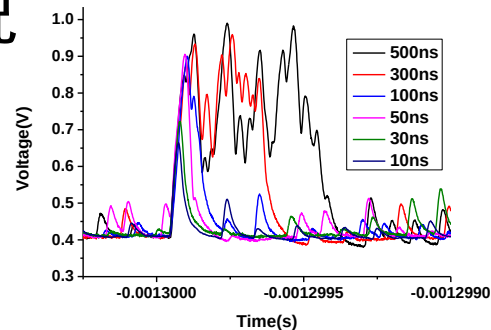
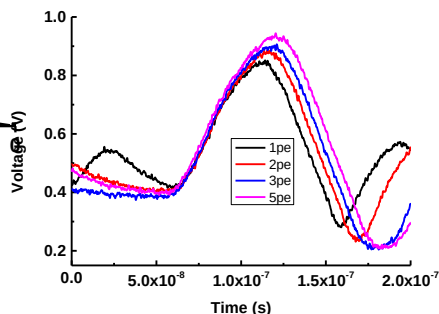
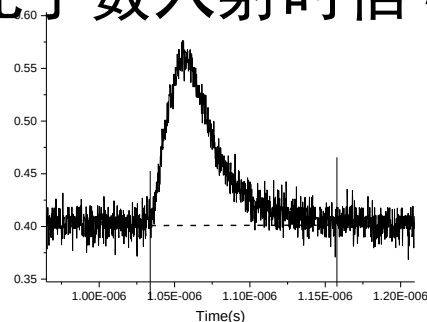
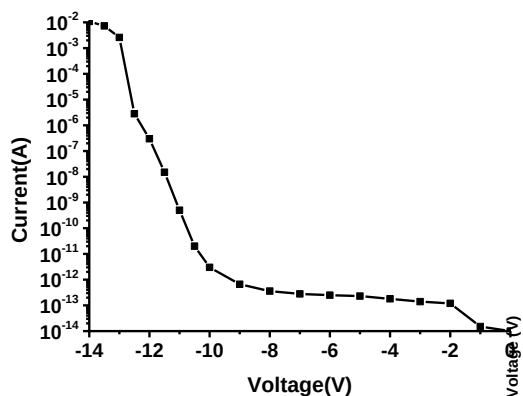
研究进展

- ▶ 单个APD器件性能仿真、制备与测试
- ▶ 工艺：0.18 μm 高压CMOS工艺，可流片非特定



研究进展

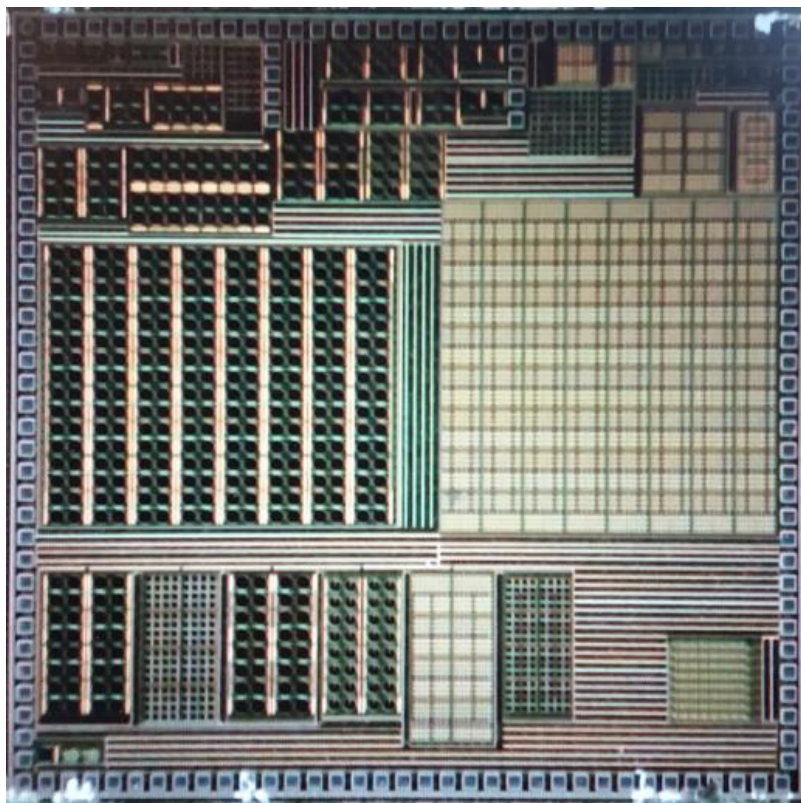
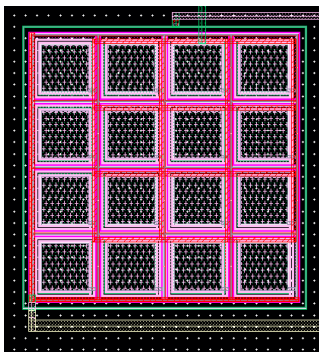
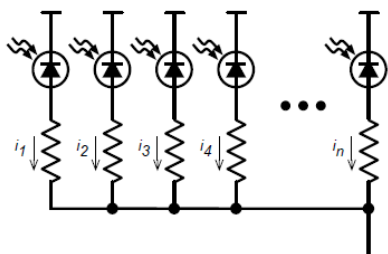
- ▶ 单个APD测试结果，工作在击穿和非击穿两种状态
- ▶ 反向电流-电压情况
- ▶ 单光子，不同光子数入射时信号情况



击穿电压约11V; 可测的单光电子信号; 采用被动淬灭电路, 其死时间约为125ns; 暗计数为 $6.5/\mu\text{m}^2$

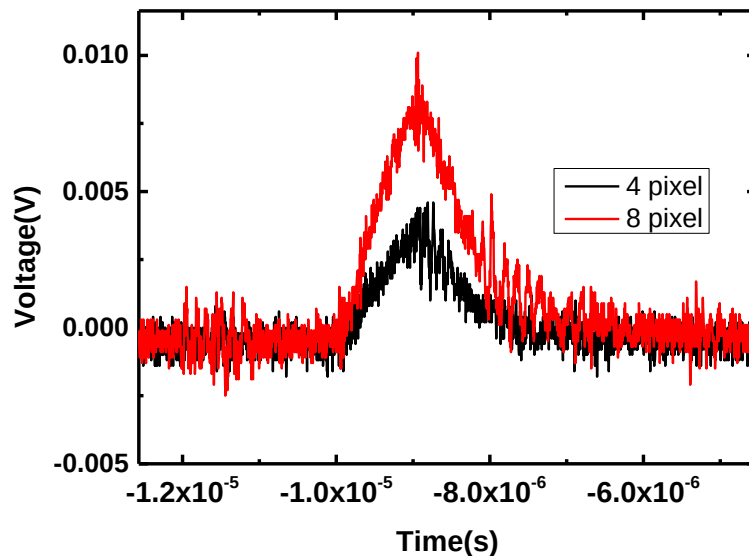
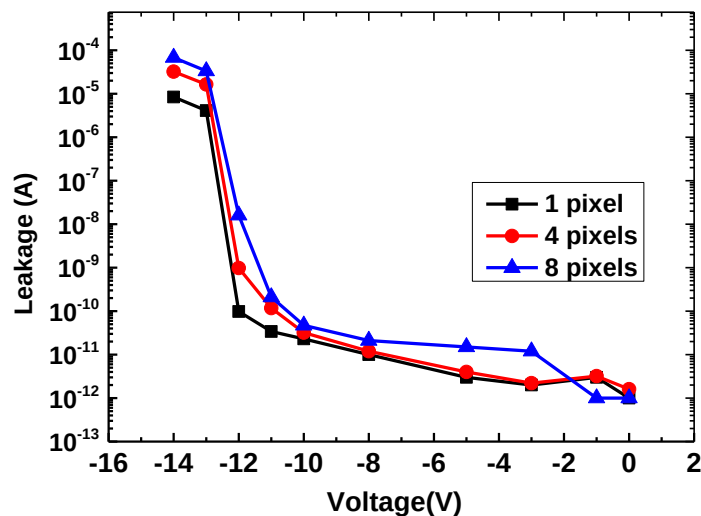
研究进展

- ▶ SiPM器件--APD阵列设计
- ▶ 2、4、8、16、32、64、128等



研究进展

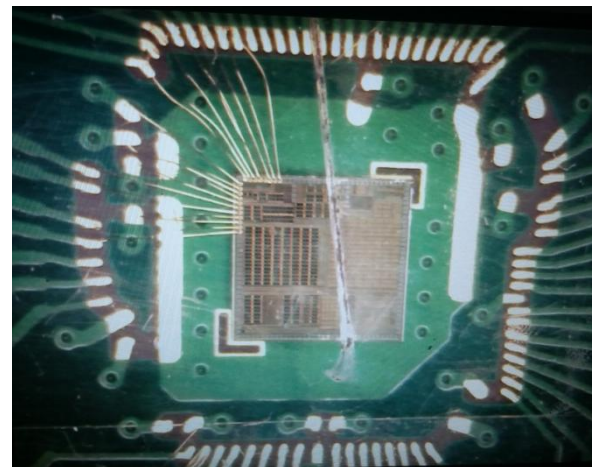
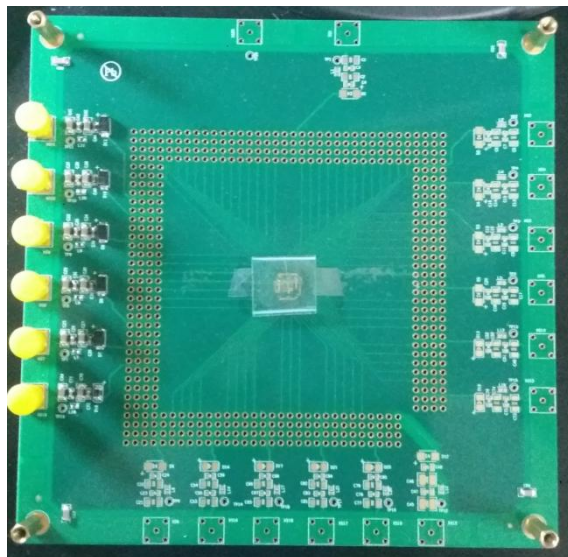
- ▶ 阵列测试情况
- ▶ 击穿情况，裸片测试信号情况



- ▶ 像素增多的情况下，击穿电压减小较少，但暗计数增多，所以多像素的测试存在问题。

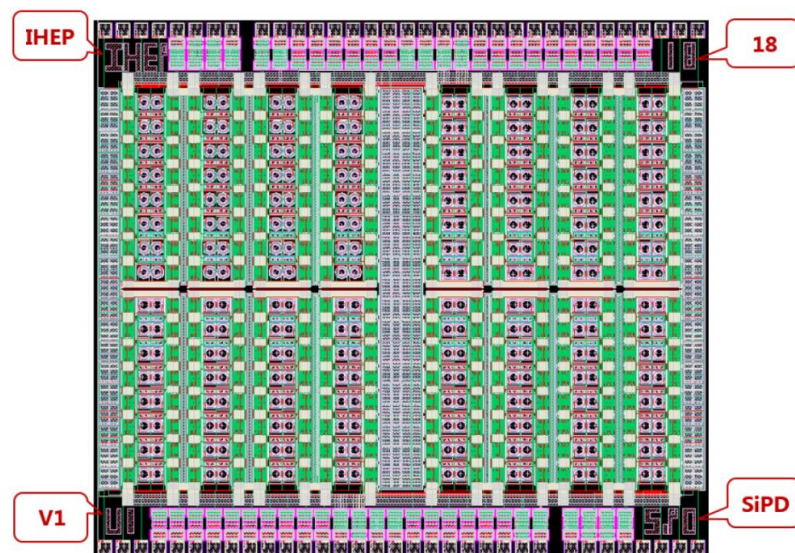
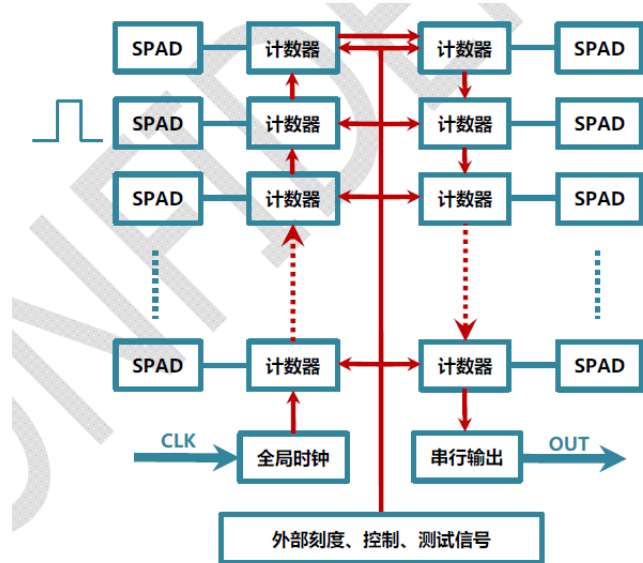
研究进展

- ▶ 设计测试电路PCB板，引线键合、与放大器连接测试
电压放大器，目前放大倍数50倍，在连接50 Ω 电阻情况下，未能测到合适的信号。
可能原因，放大倍数不够、信号强度不高、输出噪声较多等。
- ▶ 下一步与电荷灵敏放大器连接，进行信号测量。



研究进展

- ▶ 再版芯片设计
- ▶ SPAD, 单像素数字输出的SiPM



数字输出的APD像素阵列：单像素包括APD、淬灭电路、比较器、计数器、数字输出
电子学读出的功能主要包括计数、存储以及串行输出等功能。将SPAD 的输出信号经过甄别、计数输出，
供进后端电子学进一步处理。

时钟频率40MHz(25ns)，帧刷新频率1KHz(1ms)

总结

- ▶ 单一APD性能可以
击穿电压约11V; 可测的单光电子信号; 采用被动淬灭电路, 其死时间约为125ns; 暗计数为 $6.5/\mu\text{m}^2$
- ▶ SiPM阵列
1、2、4、8等像素测试结果符合设计, 但多像素测试结果不理想, 有待进一步进行测试, 分析原因并优化
- ▶ 单像素数字化SPAD阵列
已完成流片, 相关性能有待进一步测试

谢谢！