

多阳极光电倍增管读出ASIC设计

肖腾飞

2012年8月16日

核探测与核电子学国家重点实验室

中国科学院高能物理研究所

xiaotf@ihep.ac.cn

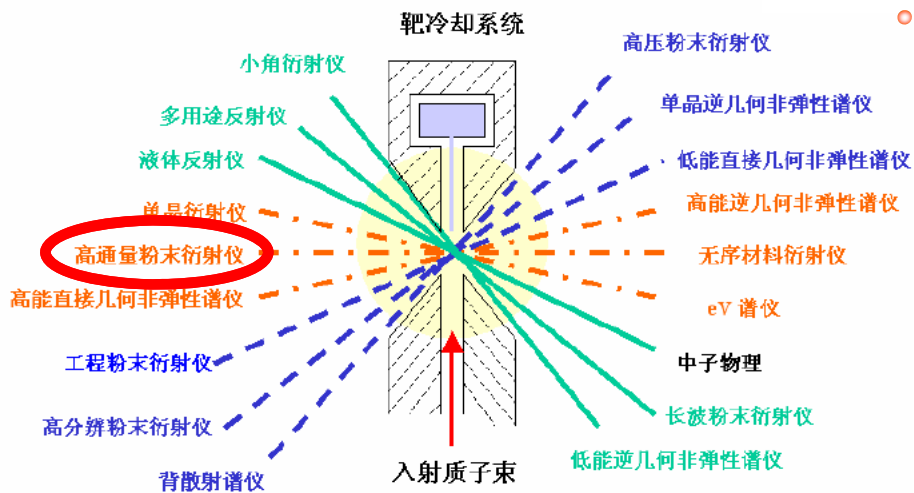
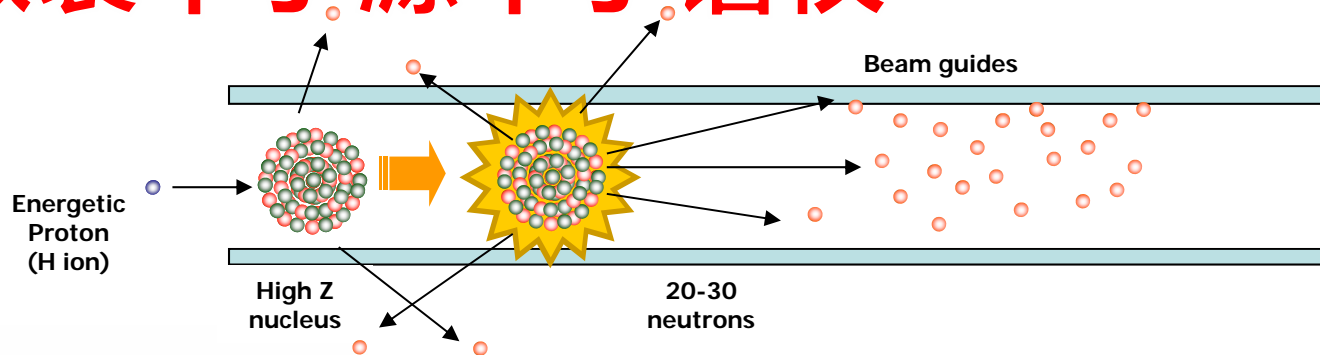


报告内容

- 探测器介绍
 - 中子谱仪
 - 探测器结构与原理
 - 信号特征
- 读出ASIC设计
 - MAPMTROC (第一版)
 - MAPMTROC2 (第二版)
- 小结

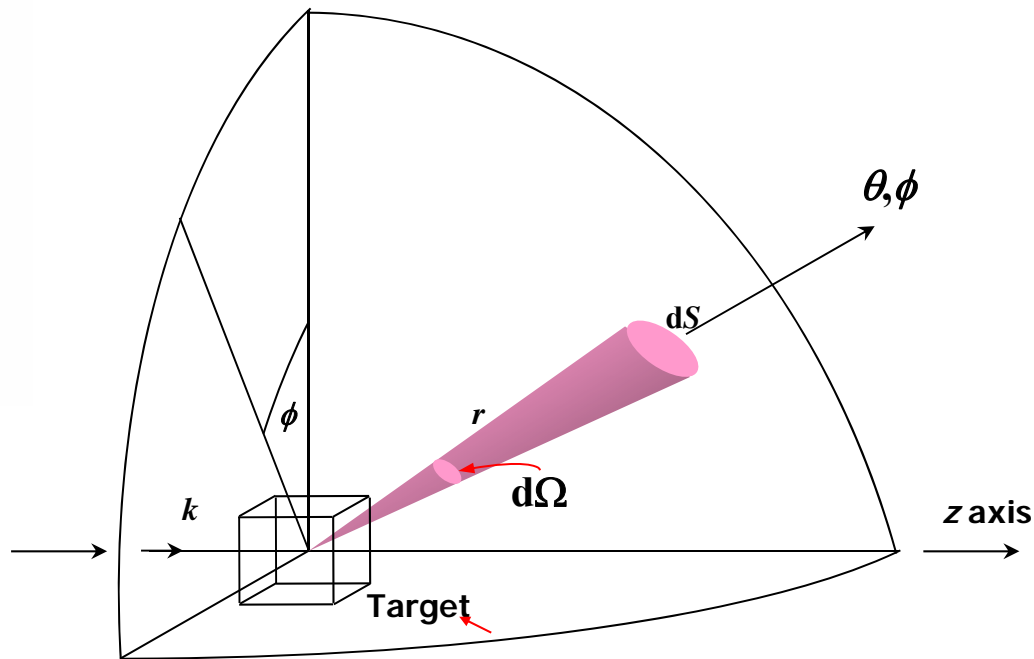
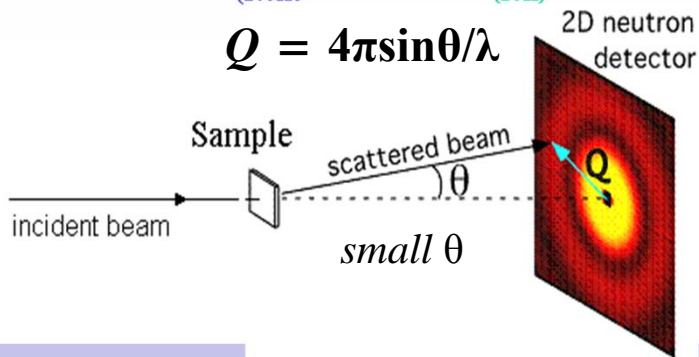


散裂中子源中子谱仪



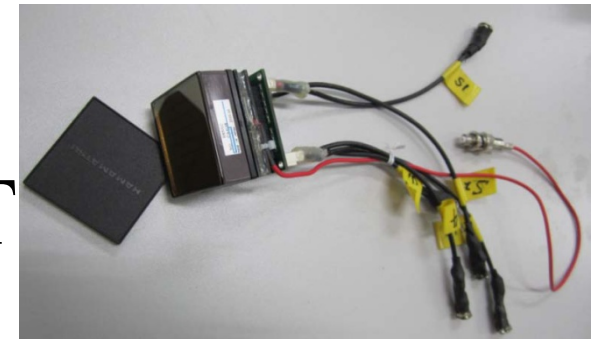
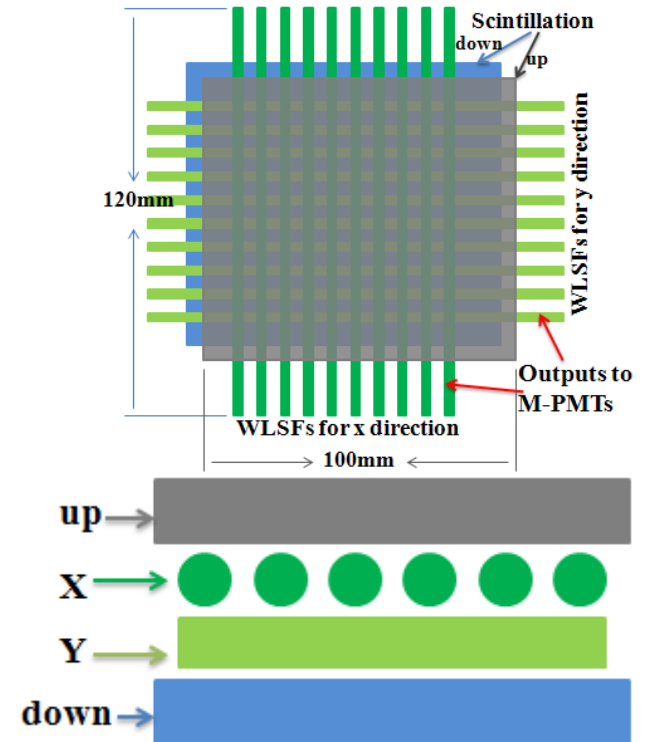
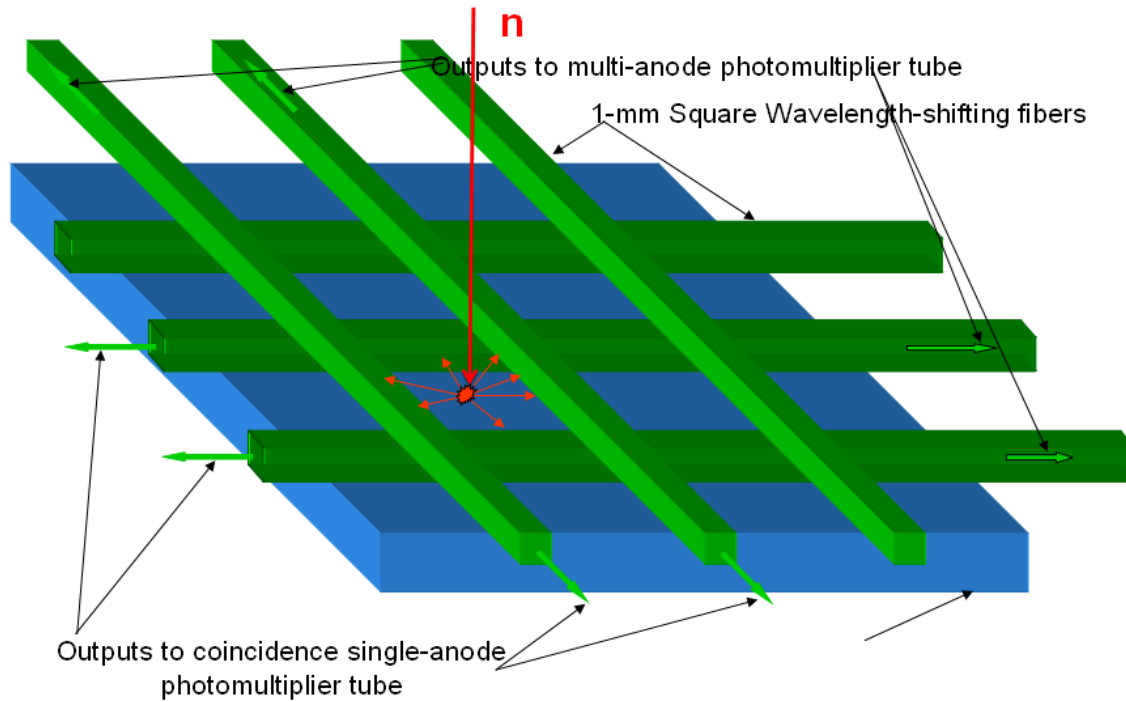
慢化器: — 液态甲烷 (100K) — 液氢 (20K) — 水 (300K)

$$Q = 4\pi \sin\theta / \lambda$$





位置灵敏型闪烁体探测器





探测原理

■ 中子与沉积能量



- 热中子入射到 ${}^6\text{Li}/\text{ZnS}(\text{Ag})$ 闪烁体，与闪烁体内 ${}^6\text{Li}$ 发生核反应， ${}^3_1\text{H}$ 和 α 在闪烁体内沉积能量并发光。
- 通过探测到沉积能量，达到探测到中子的目的。
- 核反应截面和闪烁体厚度，导致沉积能量的涨落，H8500输出2~20pC。

■ γ 能量

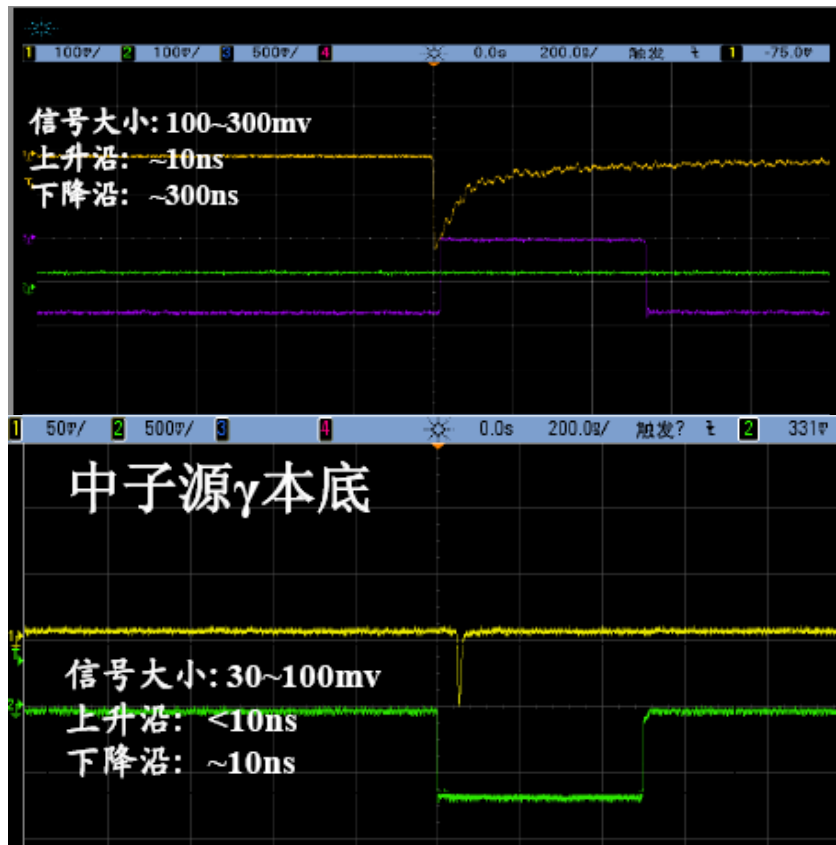
- 谱仪本底 γ 能量 $< 800\text{eV}$ ，输出 $< 1\text{pC}$ 。
- 实验室 ${}^{252}\text{Cf}$ 中子源的本底 γ 能量高，设高阈值测量H8500输出2~3pC。

— 需要控制中子源 给出时间和位置信息



信号特征

闪烁屏+PMT信号



闪烁屏+波移光纤+PMT信号





信号特征

■ ZnS闪烁体发光机制

- 带电粒子发光衰减慢，前沿10ns，后沿约300ns
- γ 光子衰减快，前后沿均10ns
- 第一版仿真输入

■ 波移光纤

- 吸收重发射几率，传输几率，光子数衰减到5%

■ 闪烁体+光纤+H8500输出

- 单光子信号叠加，中子产生光信号前50ns密集后2us较为稀疏，2us之后仍有单光子信号
- γ 信号前后沿 $< 10\text{ns}$
- 第二版仿真输入



读出ASIC设计

■ MAPMTROC (第一版)

- 读出方案
- 电路设计
- 版图设计
- 仿真测试

■ MAPMTROC2 (第二版)

- 读出方案
- 电路设计
- 版图设计
- 仿真测试



MAPMTROC

■ 读出方案

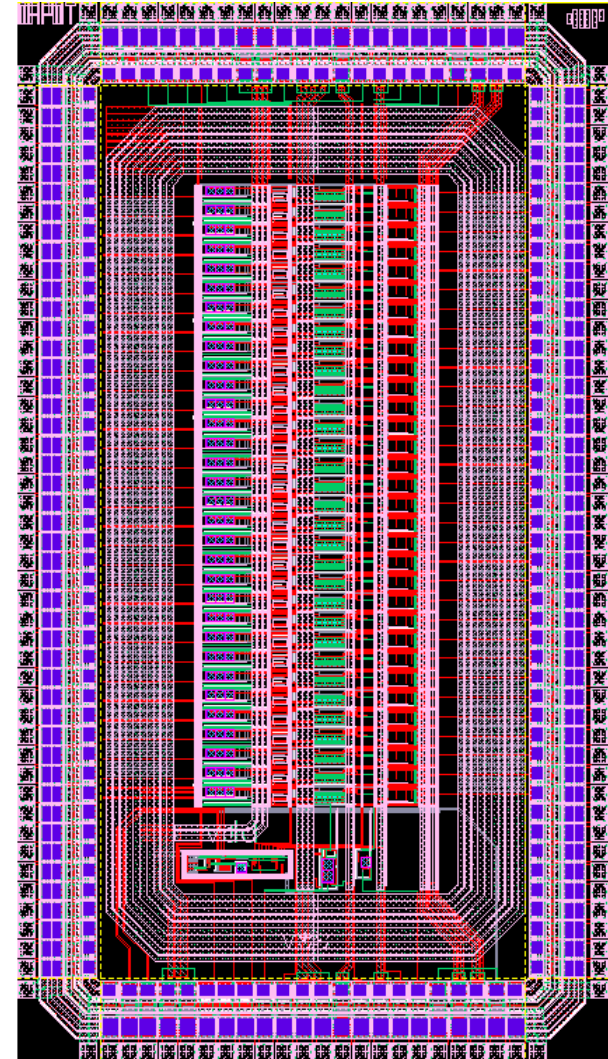
- 数字化读出
- 片内集成32通道，独立高速响应
- 甄别中子，剔除 γ
- 片外计时和计数
- 低输入阻抗
- 脉冲分辨1us
- 输入动态范围1-20pC



MAPMTROC

■ 版图设计

- 芯片集成了32个通道，版图面积为 $2792\mu\text{m} \times 4979\mu\text{m}$ 。设计采用Chartered 0.35 μm CMOS工艺，采用3.3V单电源供电。
- 已于2011年10月参加MPW，2012年7月着手测试。

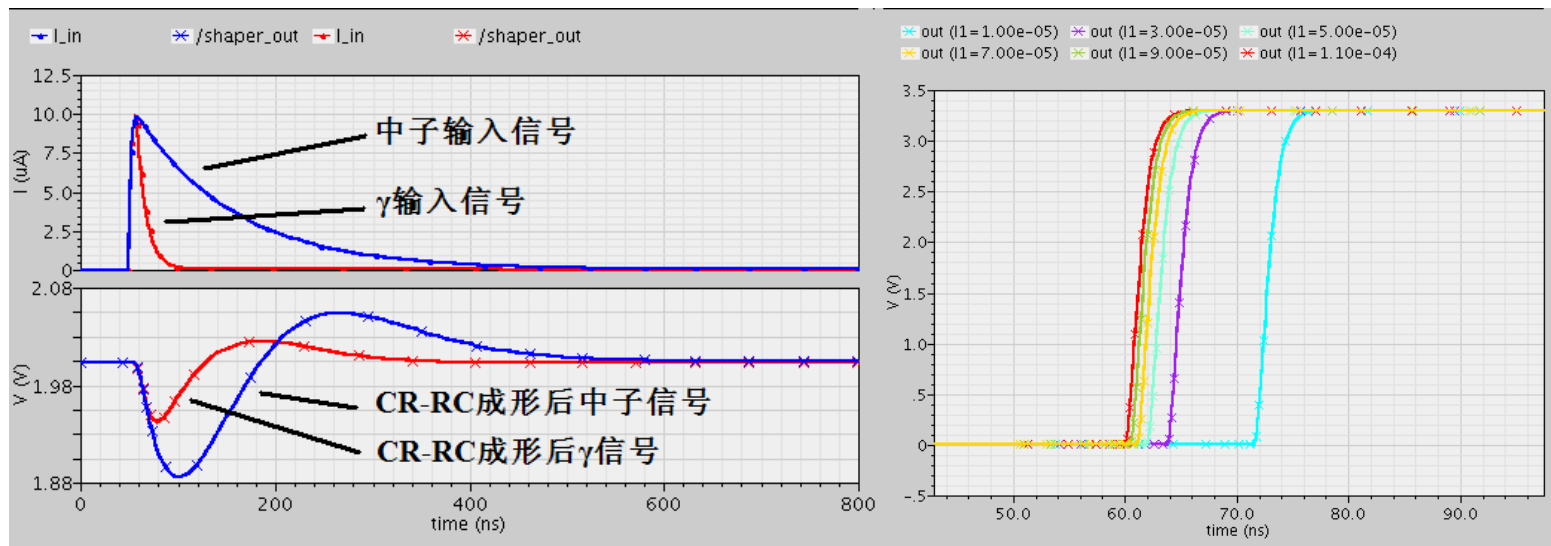




MAPMTROC

■ 仿真测试

- 仿真信号采用闪烁屏+PMT测得波形和幅度
- 最小幅度中子信号和最大幅度的 γ 信号





MAPMTROC2

■ 读出方案

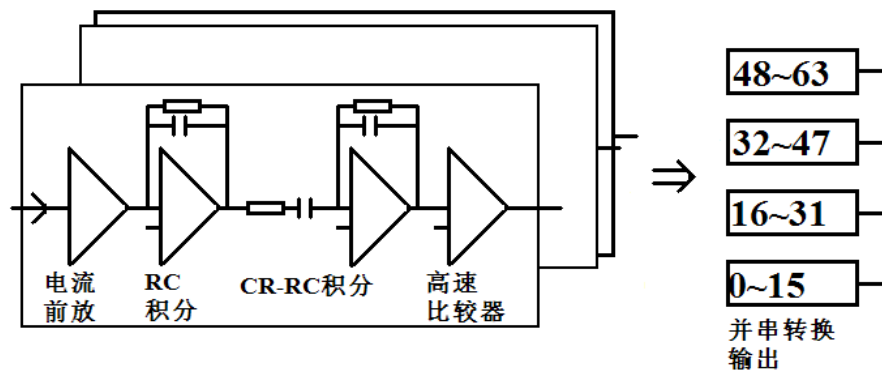
- 数字化读出
- 片内模拟部分集成64通道，独立高速响应
- 甄别中子，剔除 γ
- 数字部分记录信号前沿，并串转换输出
- 低输入阻抗
- 脉冲分辨1us
- 输入动态范围1-20pC



MAPMTROC2

■ 电路设计

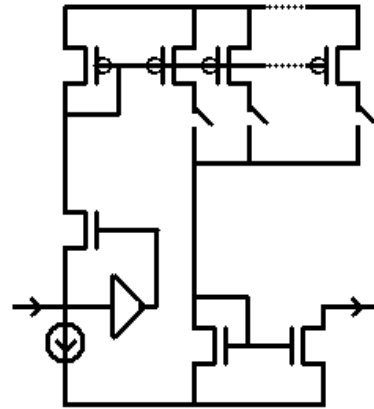
- 电流前放，通道增益一致性6bit可调
- 低输入阻抗，低功耗
- RC积分，200ns
- CR-RC积分，200ns
- 高速比较器，预放大加锁存
- 64通道分成4组并串转换，同时记录和转换





MAPMTROC2

■ 电路设计



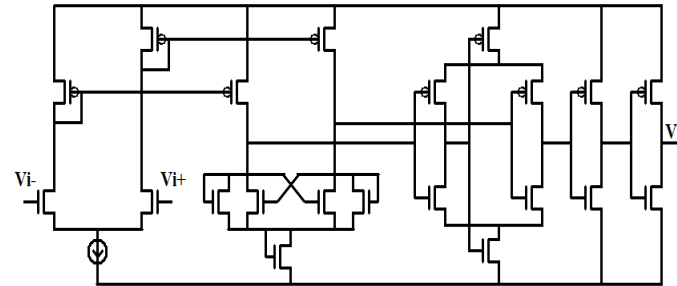
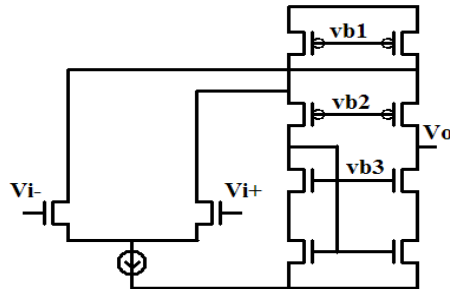
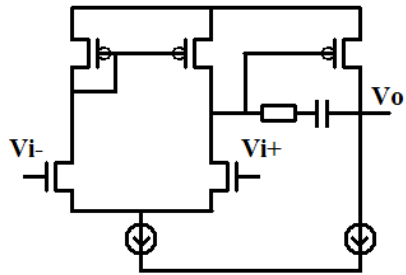
电流前放

$$Z_{in} = \frac{1}{g_m(1+A)}$$

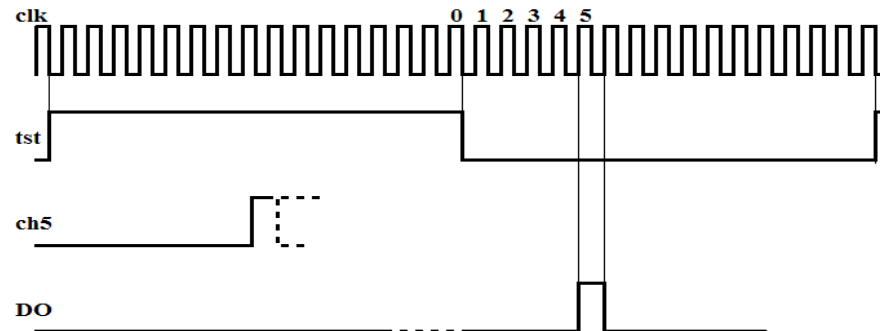
RC积分放大器

CR-RC积分放大器

高速比较器



数字逻辑

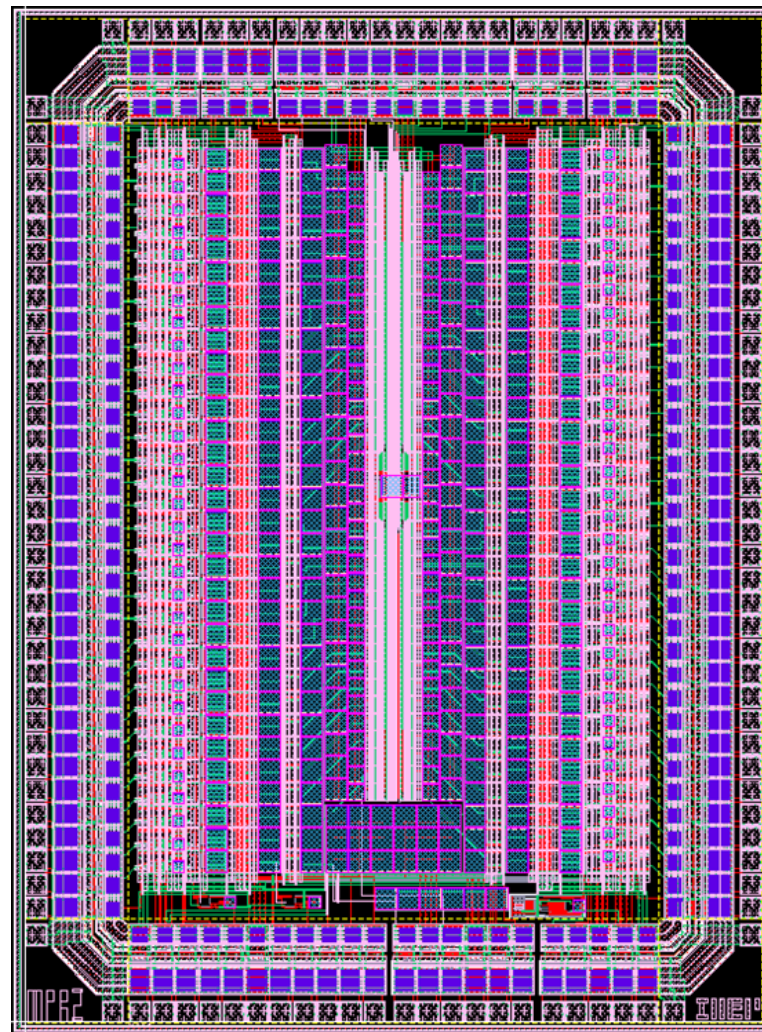




MAPMTROC2

■ 版图设计

- 芯片包含模拟部分和数字部分以及I/O PAD，其中模拟部分集成了64个通道，版图面积为 $2868\mu\text{m} \times 3885\mu\text{m}$ 。设计采用Chartered 0.35 μm CMOS工艺，采用3.3V单电源供电。
- 已于2012年7月参加MPW, 预计2013年2月开始测试。

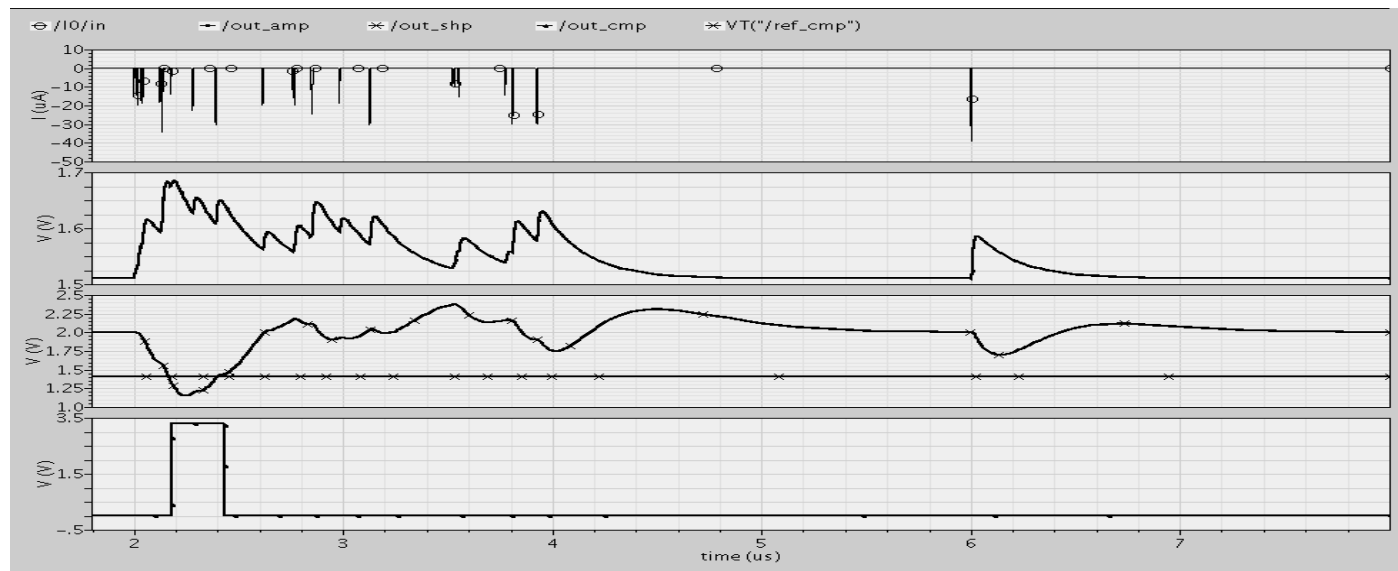




MAPMTROC2

■ 仿真测试

- 仿真信号采用闪烁屏+波移光纤+PMT测得波形和幅度
- 较小幅度中子信号和较大幅度的 γ 信号
- 数字仿真逻辑吻合





小结

- 从物理需求出发，根据探测器结构和信号特征，设计ASIC芯片。实验室对中子和 γ 信号采样得到波形数据，作为仿真输入。仿真结果显示能够有效区分中子和 γ ，并且给出时间和位置信息，实现设计目标。



谢谢！

