

# NvDEx实验进展与计划

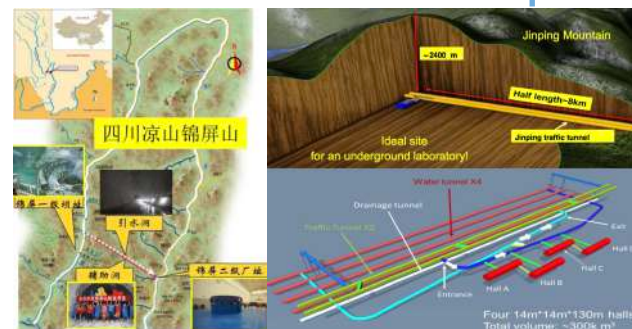
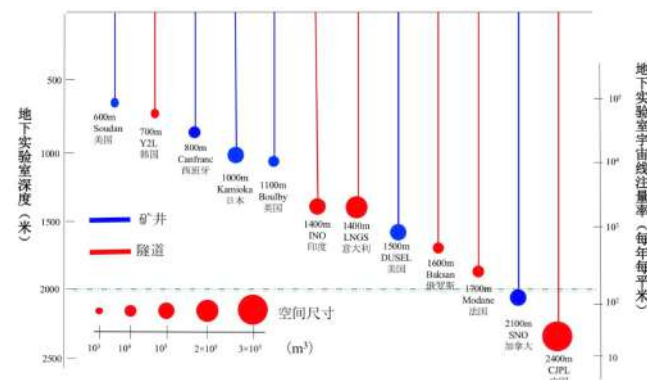
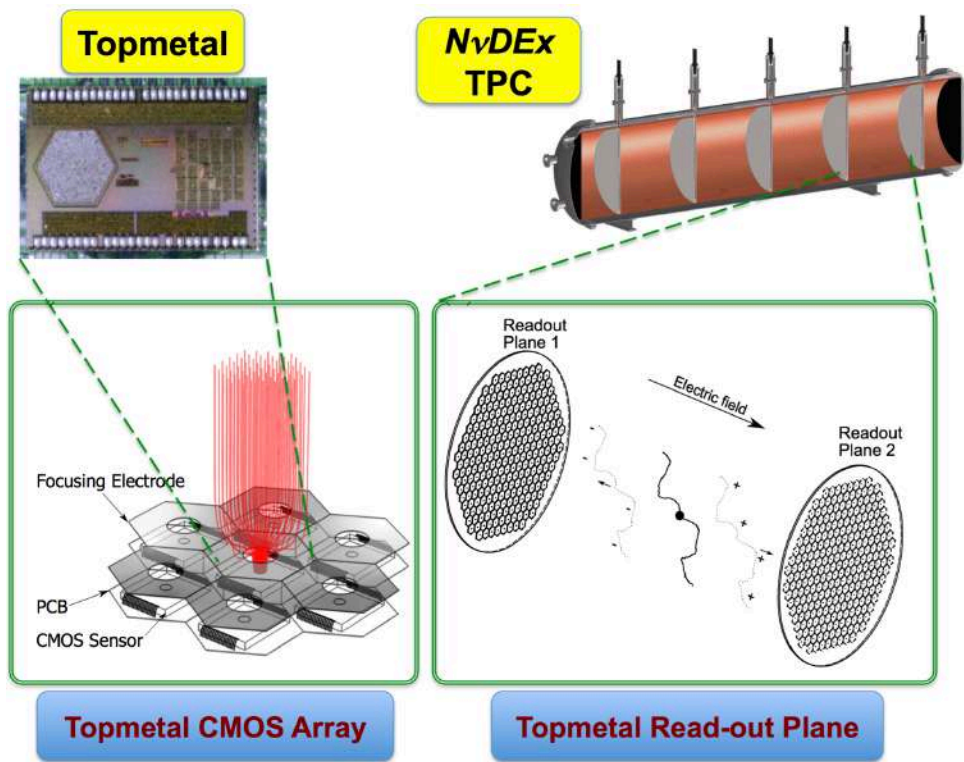
仇浩

中科院近代物理研究所

# 报告内容

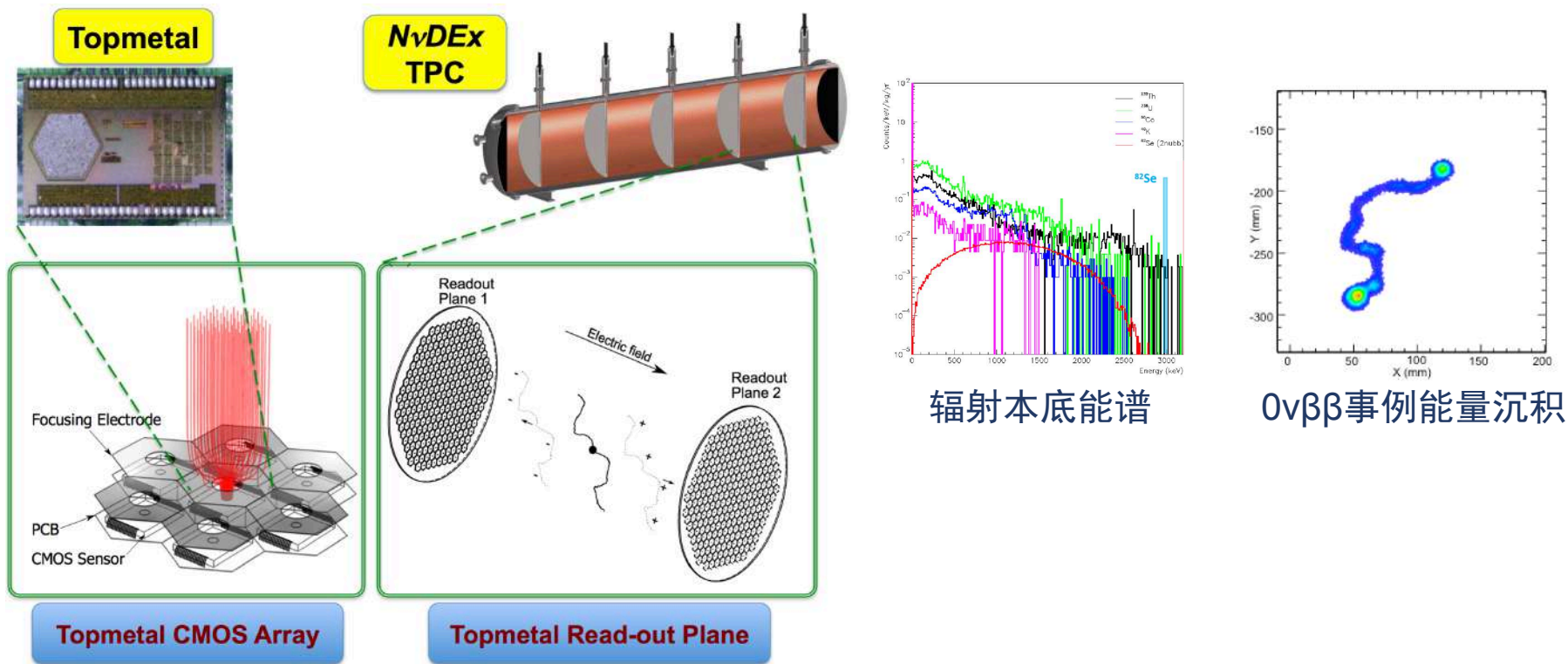
- NvDEX实验概念
- Topmetal-S芯片研制进展
  - 测试结果
  - 第一版芯片的问题与解决方案
- NvDEX-100地面样机进展
  - 高压气腔、铜屏蔽层、绝缘层
  - TPC场笼
  - 气体系统
  - 地面实验室
  - 模拟
  - 本底控制
- 未来计划

# NvDEX实验概念



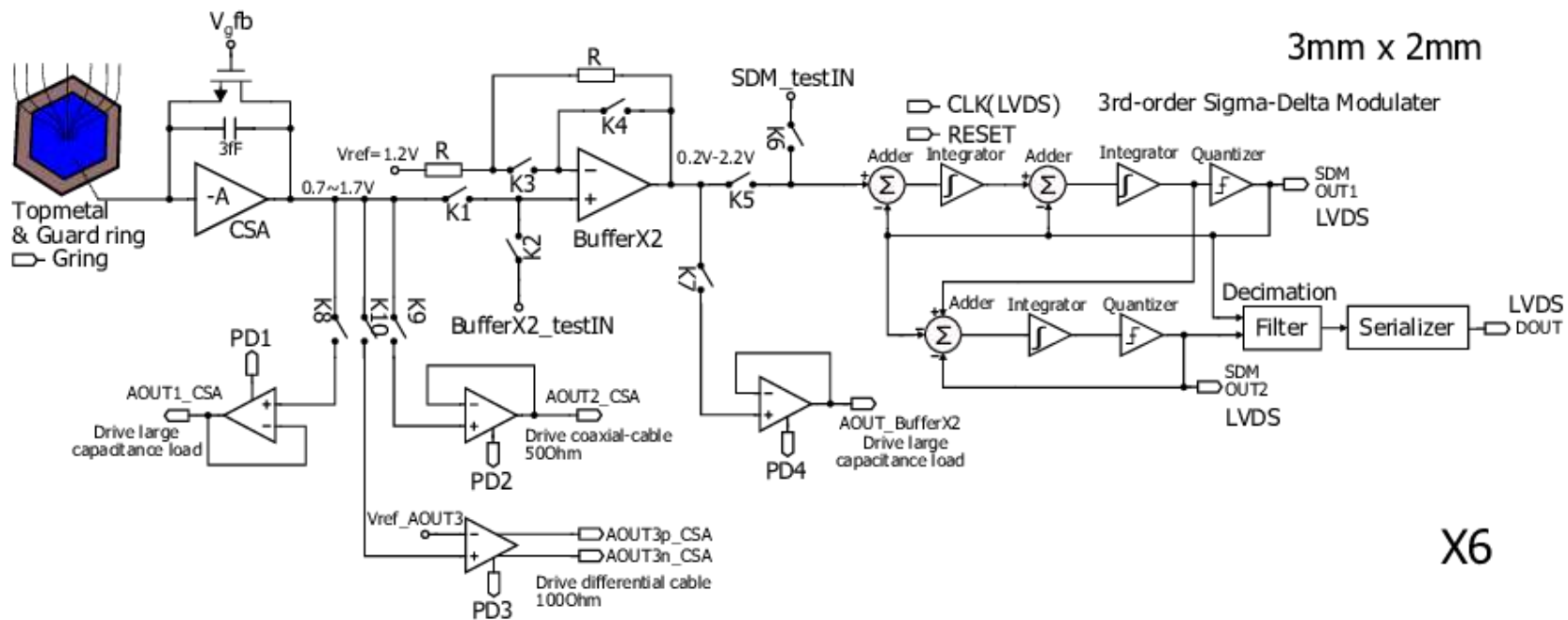
- 高压 $^{82}\text{SeF}_6$ 气体TPC，使用Topmetal CMOS芯片直接读出
  - CJPL世界最深的地下实验室

# N<sub>v</sub>DEX实验概念

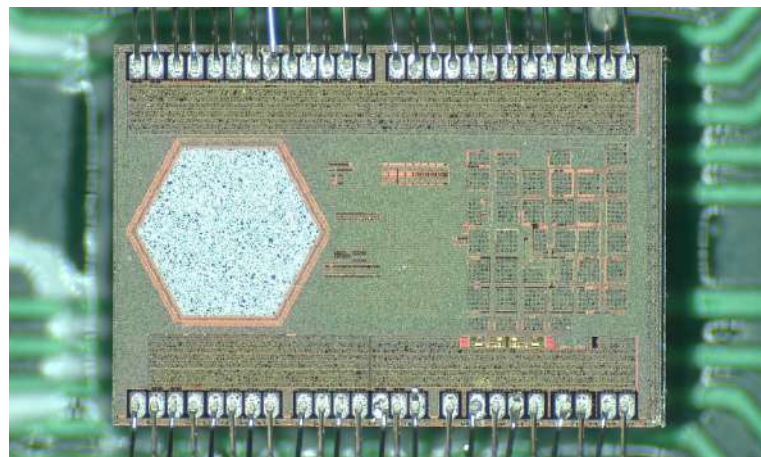


- 高压 $^{82}\text{SeF}_6$ 气体TPC，使用Topmetal CMOS芯片直接读出
  - CJPL世界最深的地下实验室
  - $^{82}\text{Se}$ 衰变Q值高(2.996 MeV)，高于绝大多数自然本底
  - TPC可使用事例几何特征鉴别信号本底
  - 无雪崩放大直接读出，能量分辨率更好( $\sim 1\%$  FWHM)

# Topmetal-S芯片 (Version 1)

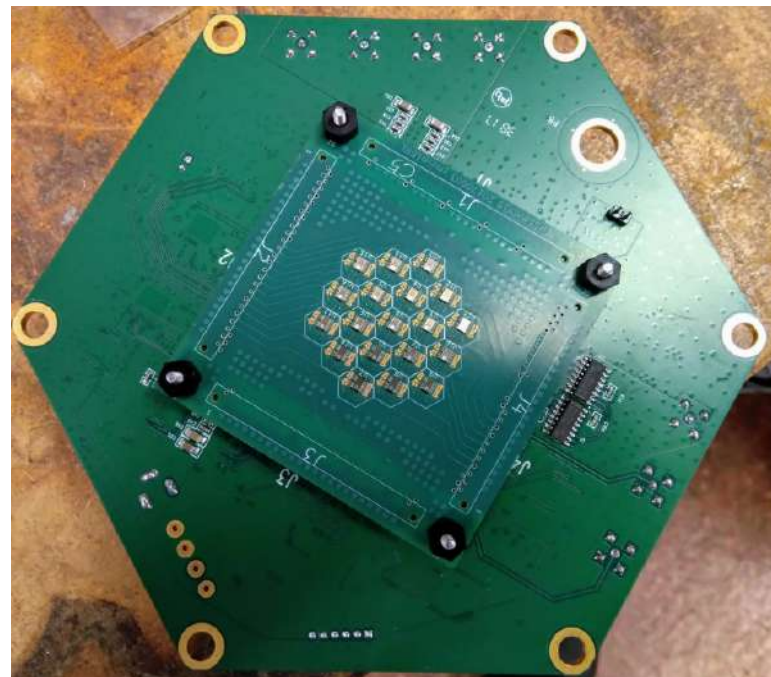
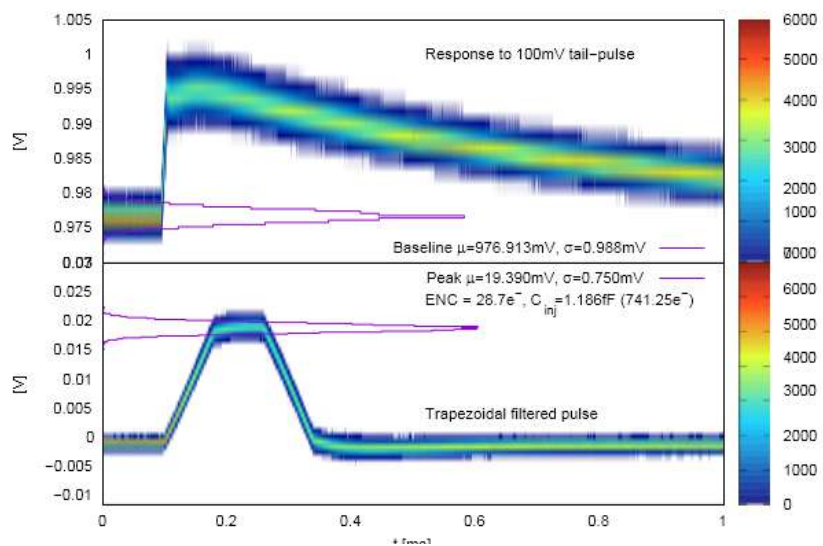


- Topmetal-S芯片可实现无放大离子漂移探测
- 预期电子学噪声达到 $30e^-$ ，是NvDEx实验实现1% FWHM能量分辨率的关键
- 2 mm × 3 mm



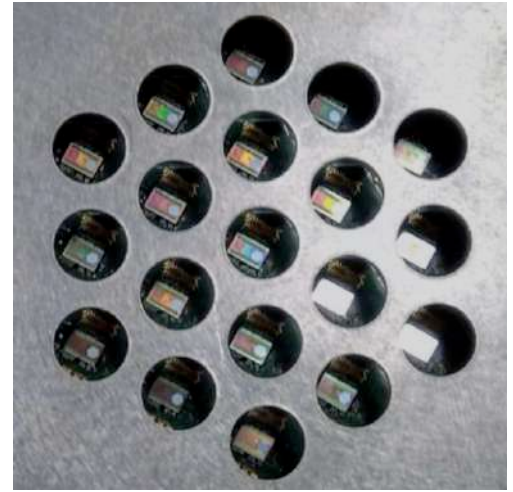
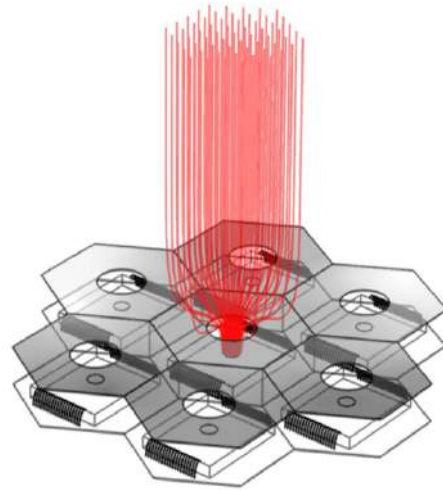
# Topmetal-S测试

< 30e<sup>-</sup> noise CSA



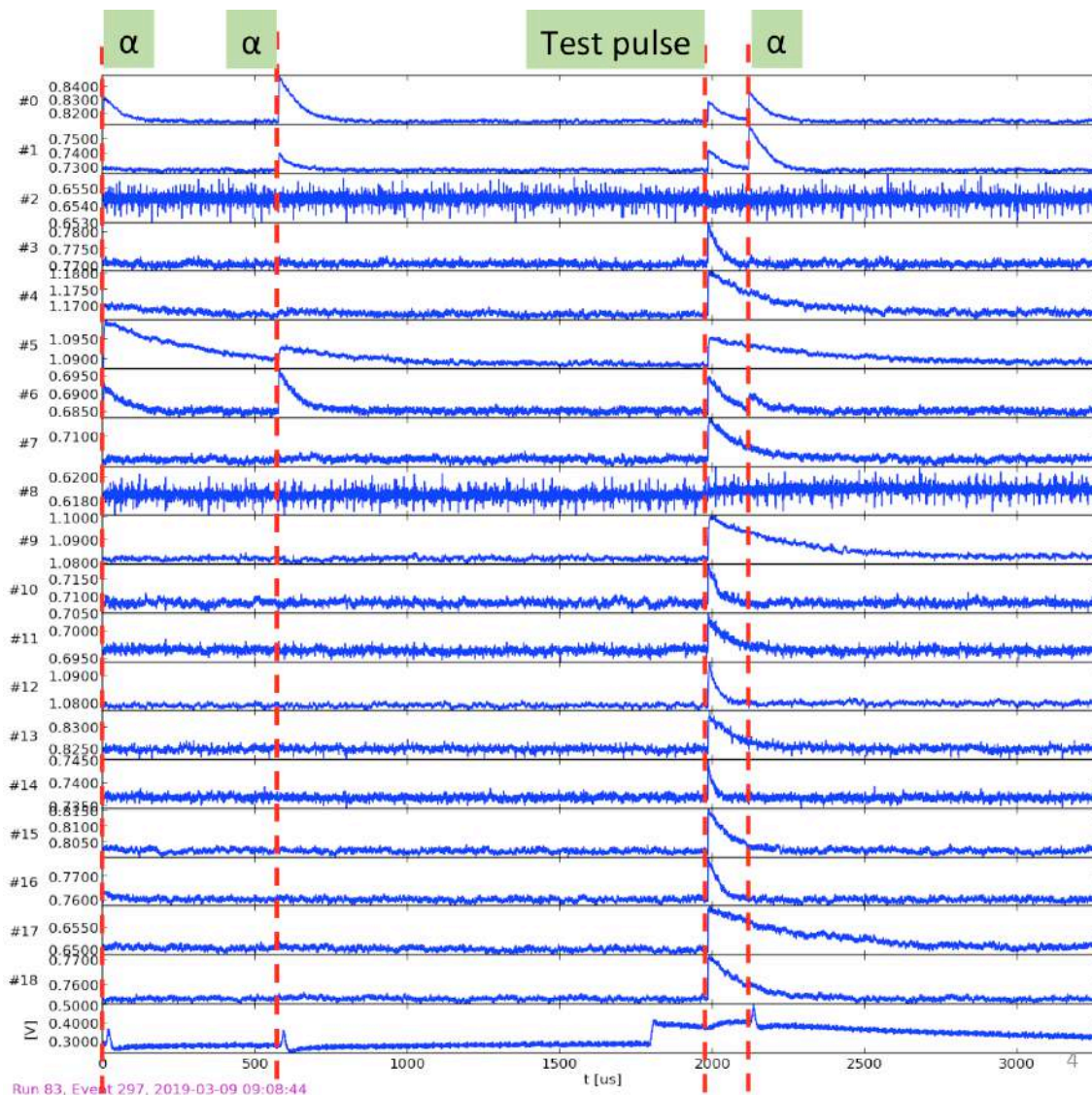
- 单芯片电学测试
  - 假设guard ring电容为设计值，噪声达到30e<sup>-</sup>要求
- 19个芯片组成阵列，进行能量分辨率测试

# LBNL测试系统



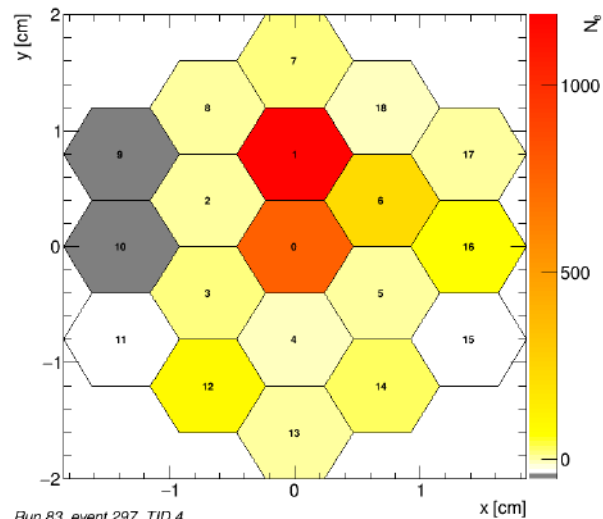
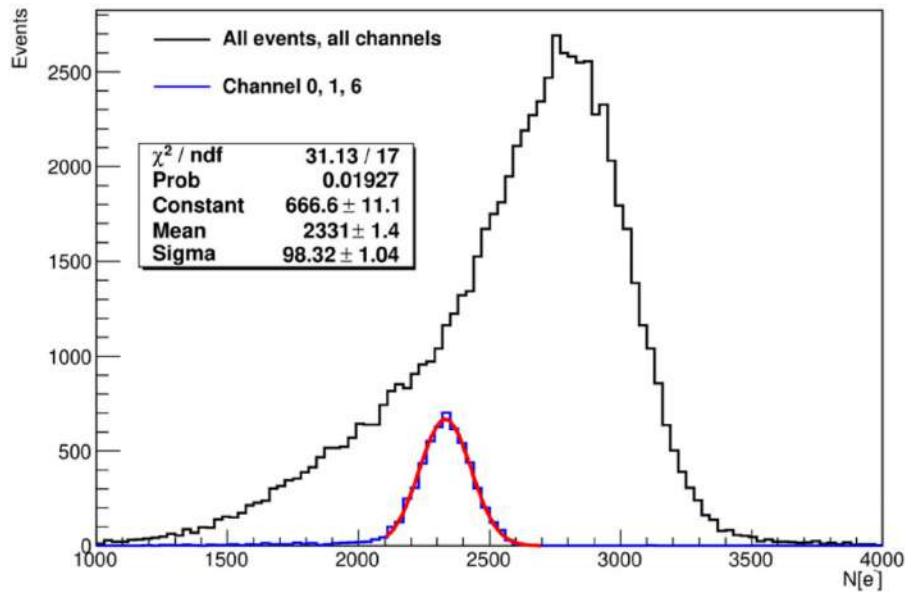
# LBNL测试-信号

- $^{241}\text{Am}$   $E_\alpha = 5.5$  MeV
- 明显的物理信号



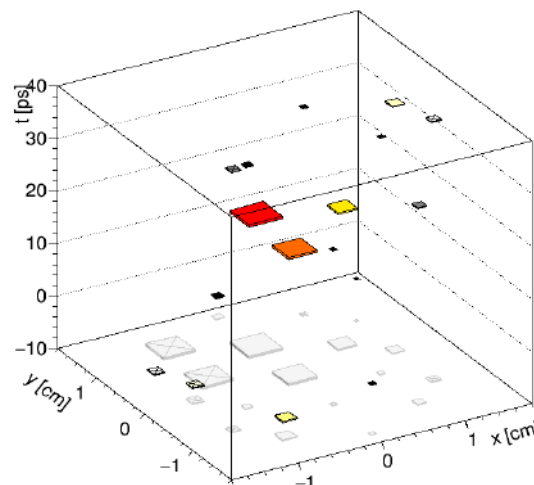


# LBNL测试-能谱



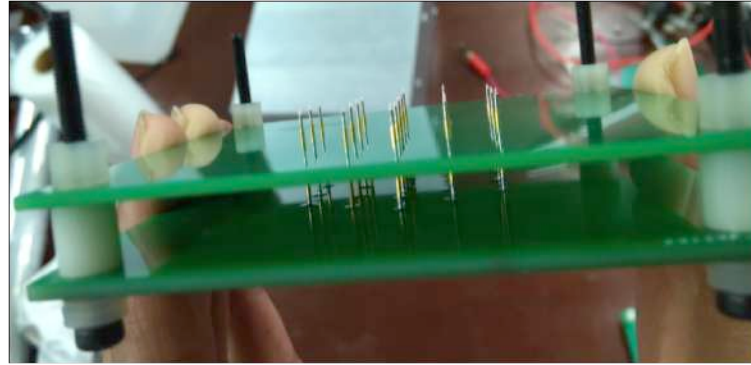
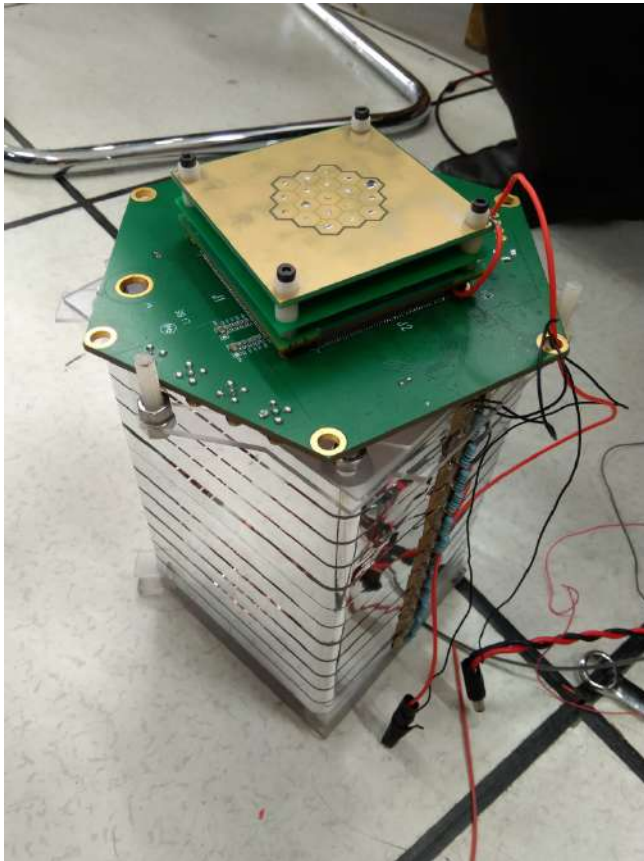
Run 83, event 297, TID 4

- ~1%预期电子数
  - 漂移电场低：电子与离子复合？
  - 电荷聚焦收集效率？

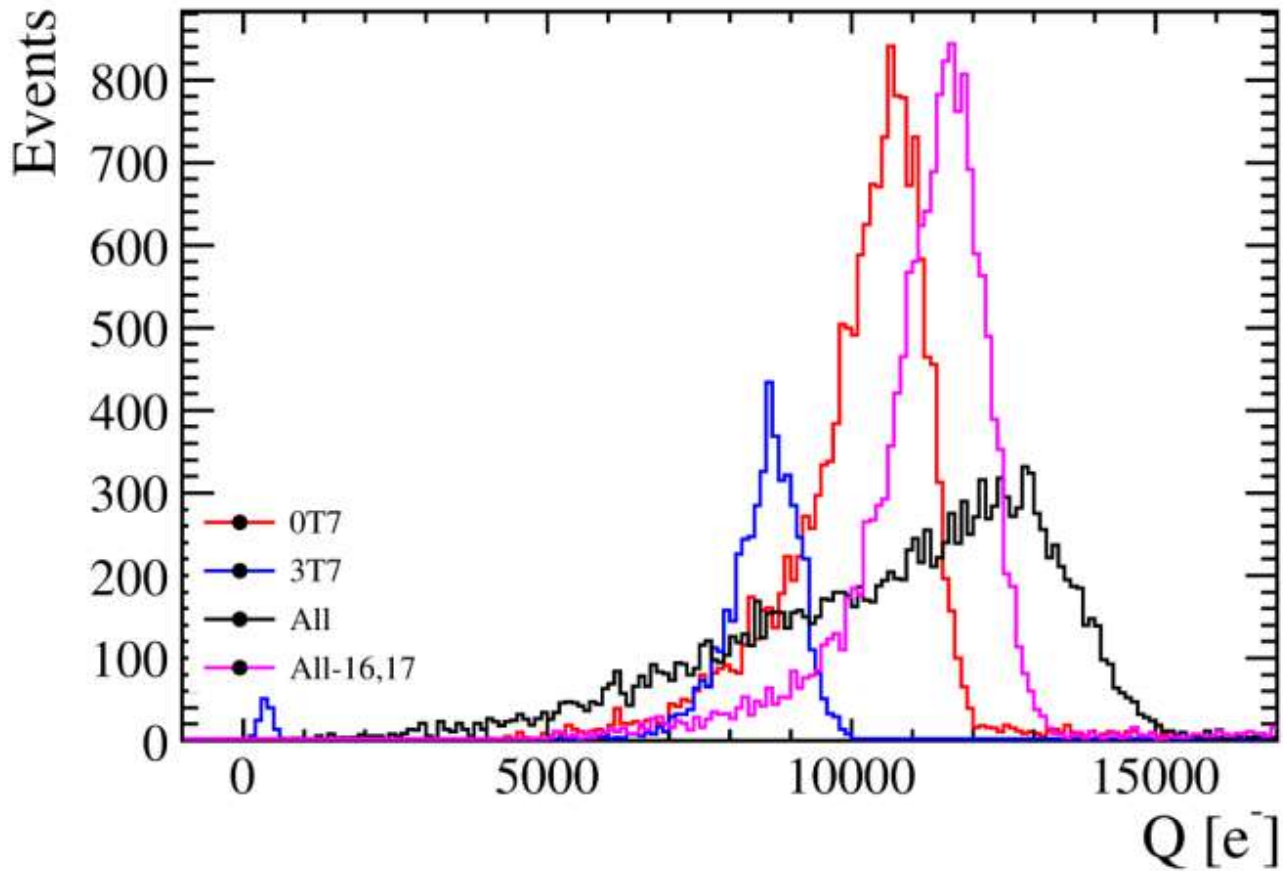


Run 83, event 297, TID 4

# 华中师大测试系统



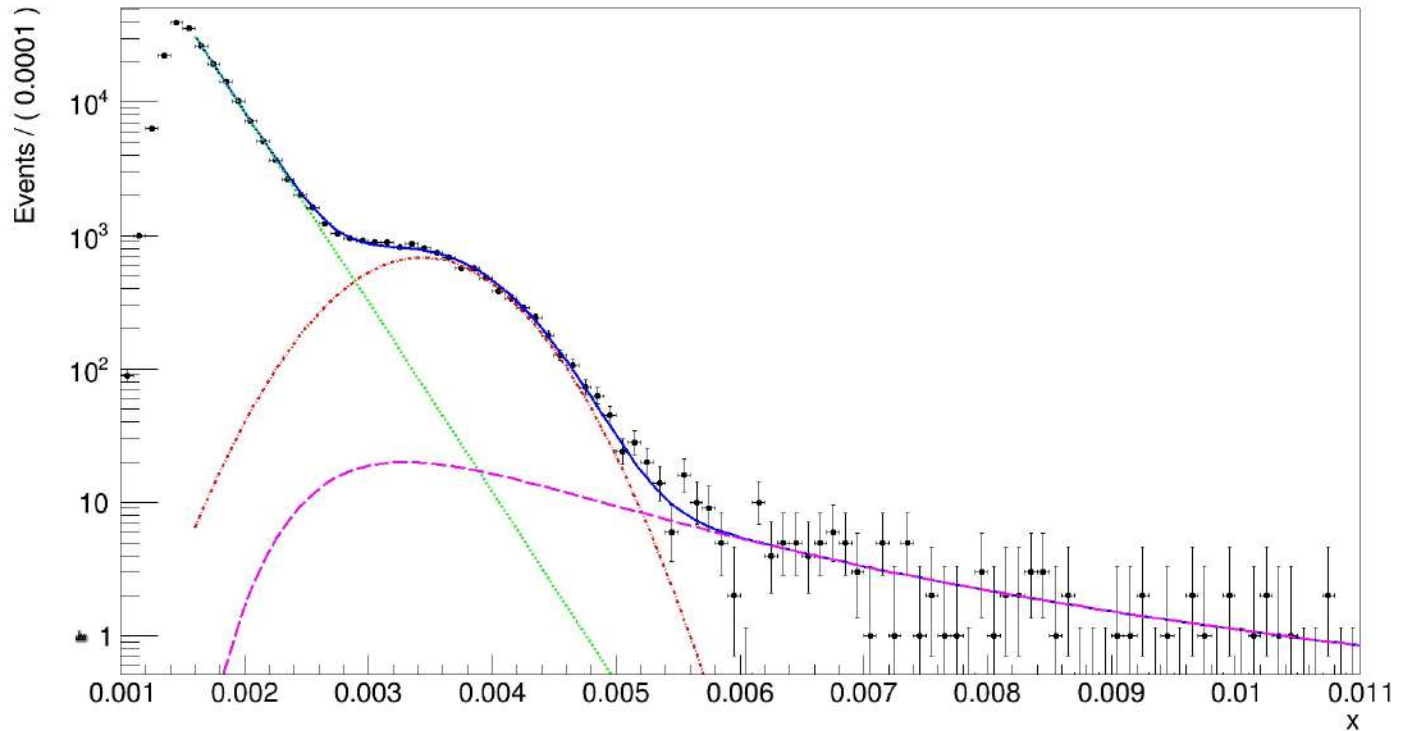
# 华中师大测试- $^{241}\text{Am}$ $\alpha$ 能谱



- $^{241}\text{Am}$   $E_{\alpha} = 5.5 \text{ MeV}$
- $\sim 5\%$ 预期电子数
- 为了理解测得的“低电子数”，进行了大量的测试工作：
  - 使用皮安表、外接CSA
  - 检验了HV、 $\alpha$ 源、气体、聚焦。。。

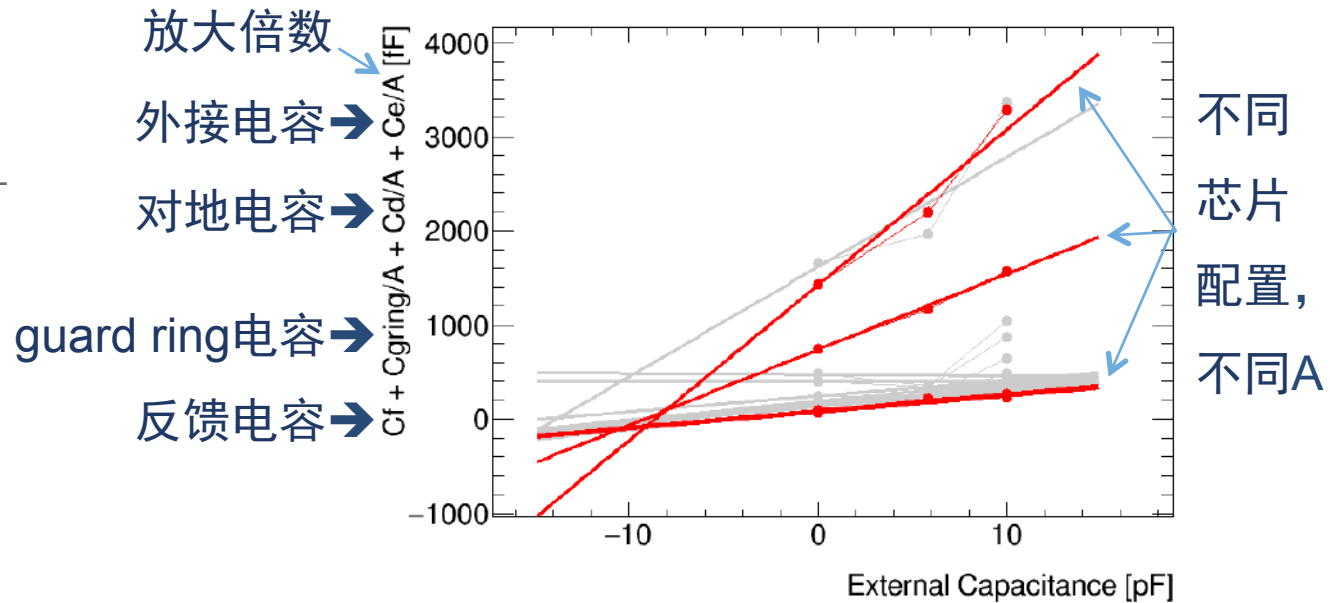
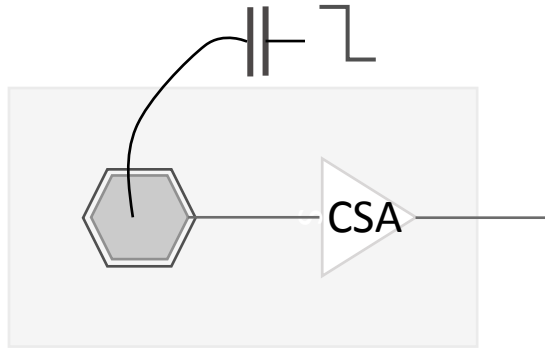
# 华中师大测试- $^{241}\text{Am}$ $\gamma$ 能谱

A RooPlot of "x"



- $^{241}\text{Am}$   $E_\gamma = 59.5$  keV
- 相对于 $\alpha$ 源的优势：电离区域小  $\rightarrow$  单个芯片，不用担心进入灵敏体积前的能损
- $\sim 5\%$ 预期电子数  $\rightarrow$  芯片读出本身的问题

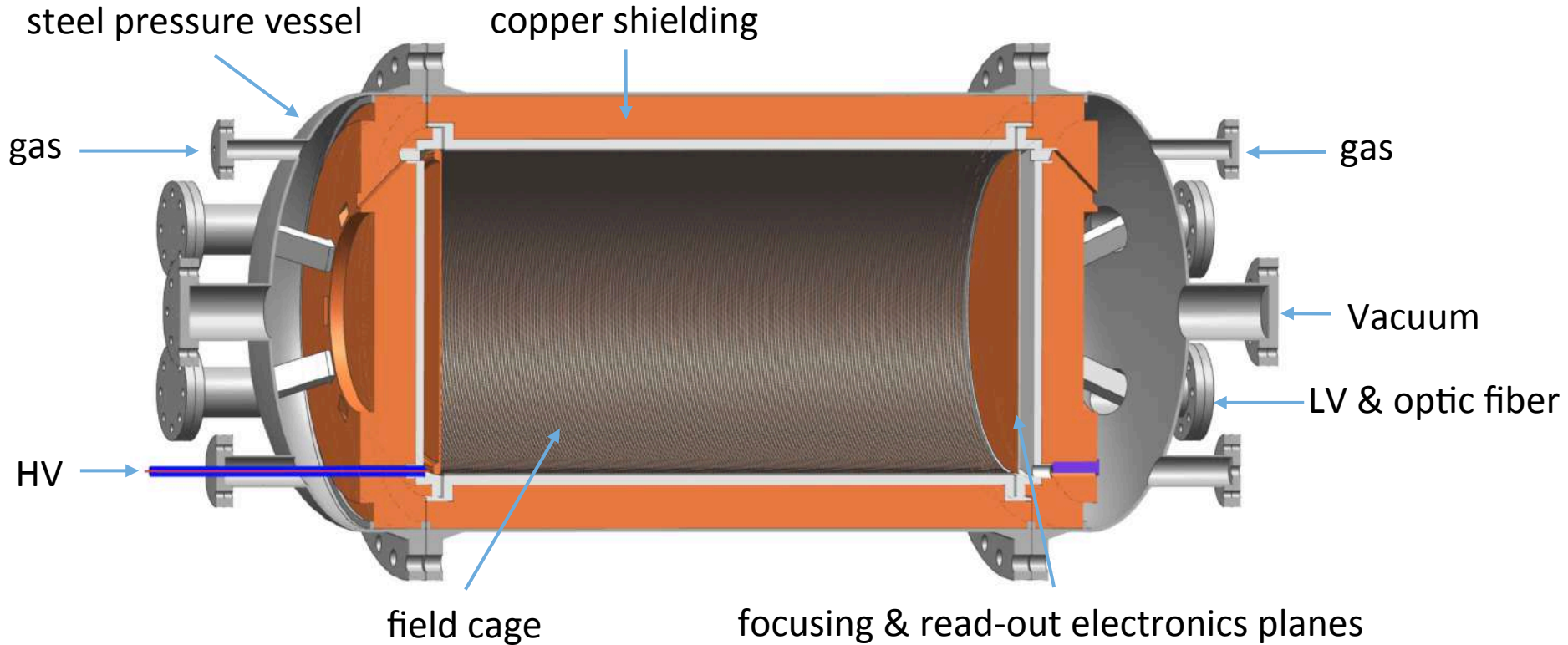
# 电学测量



- 进行了不同芯片配置（不同放大倍数A）、不同外接电容的测量
- 结果分析发现：无论怎样改变芯片配置，能正常工作时A始终不够大

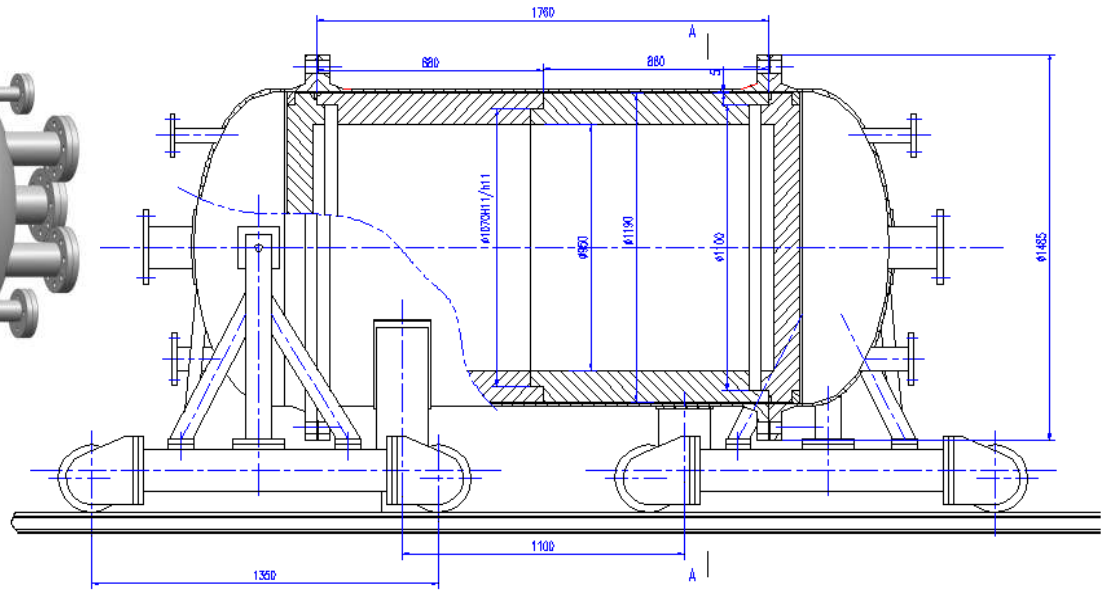
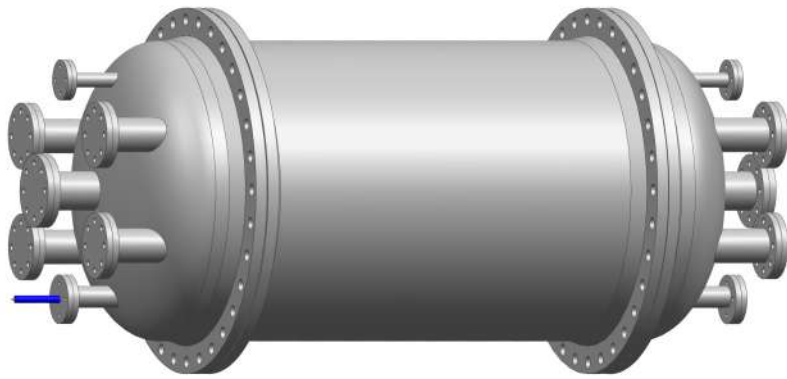


# N<sub>v</sub>DEx-100



- 灵敏体积含有~100kg 10 atm  $^{82}\text{SeF}_6$  气体
- 首先使用无毒的 $\text{SF}_6$ 气体研制地面样机
  - 摸索、验证高压气腔、铜屏蔽体、TPC场笼、气体系统制造工艺
  - 检验10 atm气压下长期运行气密性—— $\text{SeF}_6$ 有毒，环境含量要求<0.05 ppm
- 与读出平面联合测试：电子漂移（地面）、离子漂移（地下）

# 高压气腔



- (低本底) 316L不锈钢
- 桶部长度：176 cm， 内径：120 cm， 厚：1 cm
- 漏率不大于 $1 \times 10^{-10}$  mbar .L/s
- 完成设计，开始采购部件、加工

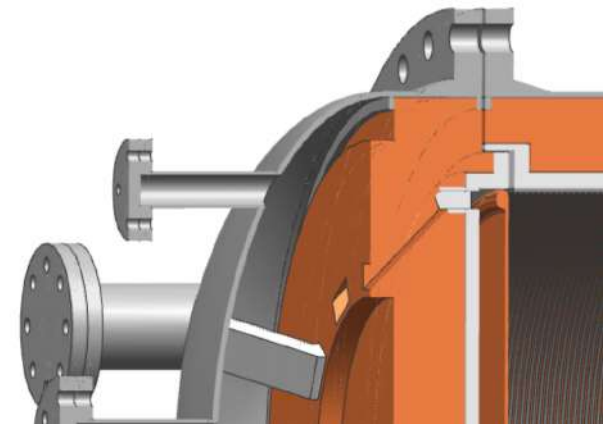
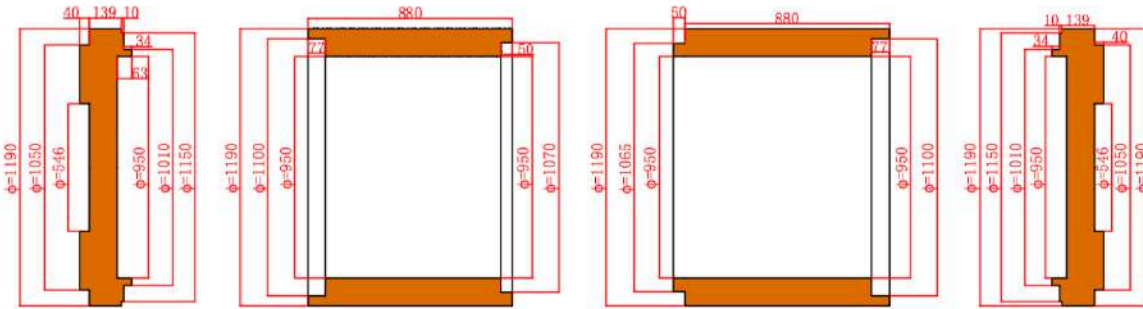
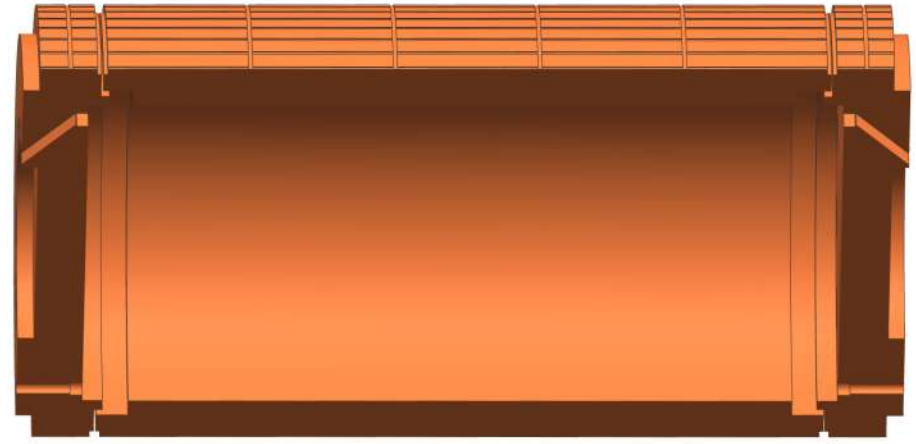
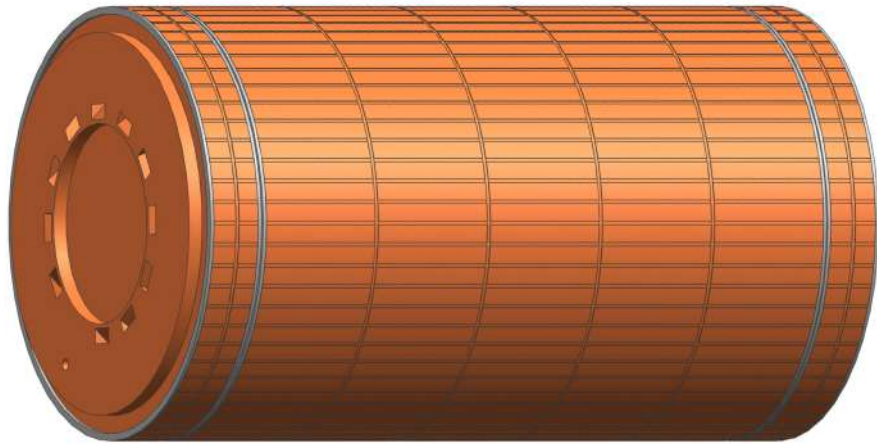


# 高压气腔



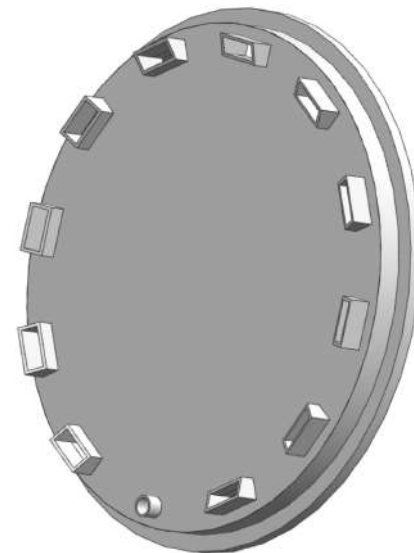
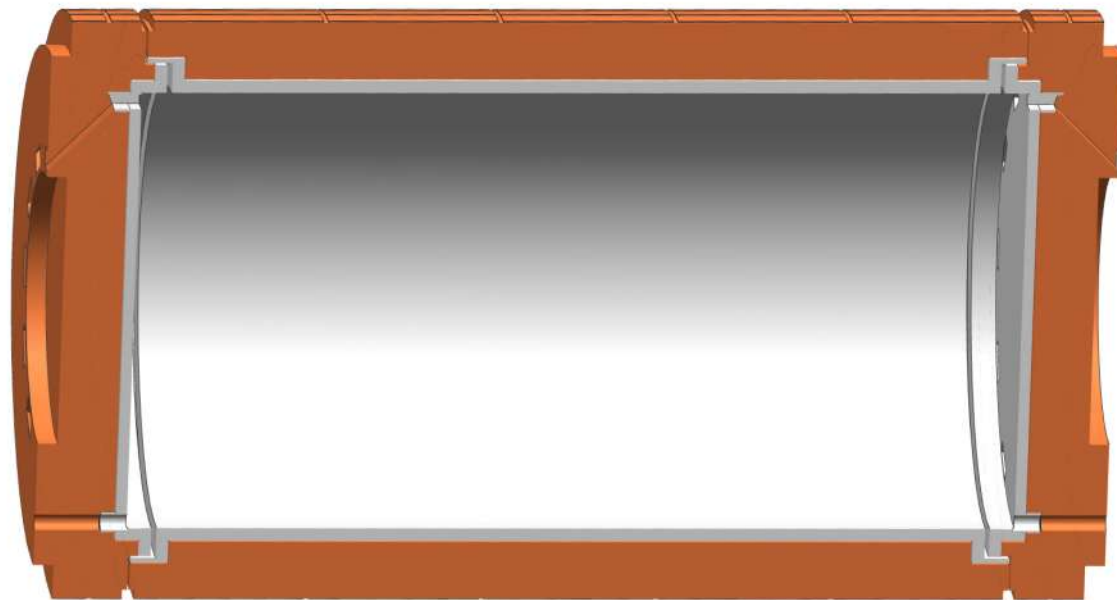
- (低本底) 316L不锈钢
- 桶部长度：176 cm， 内径：120 cm， 厚：1 cm
- 漏率不大于 $1 \times 10^{-10}$  mbar .L/s
- 完成设计，开始采购部件、加工

# 铜屏蔽体

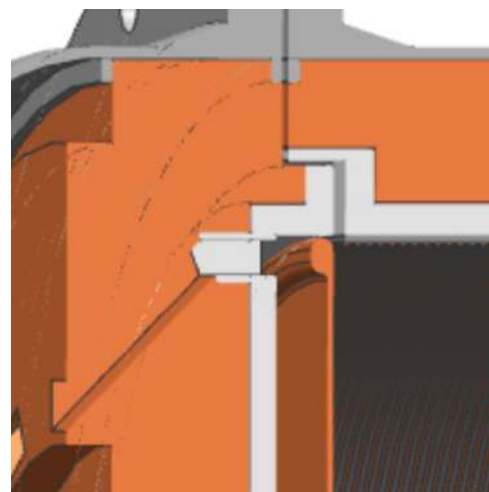


- (低成本) 无氧铜
- 厚12 cm
- 倾斜电缆、光纤、气体通道，避免外部粒子直射灵敏体积
- 完成设计，即将开始采购原料、加工

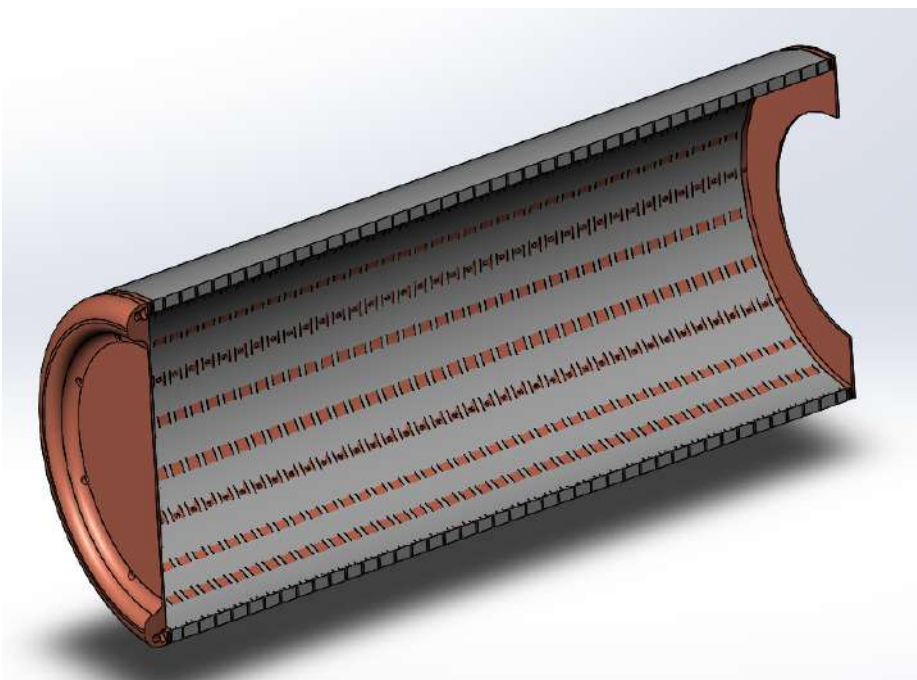
# 绝缘层



- 高密聚乙烯HDPE
- 厚2.5cm
- 为满足绝缘要求，高压极板、场笼到铜屏蔽体的任何间隙距离不小于5cm



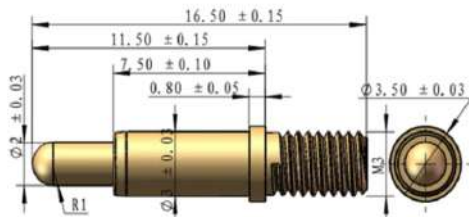
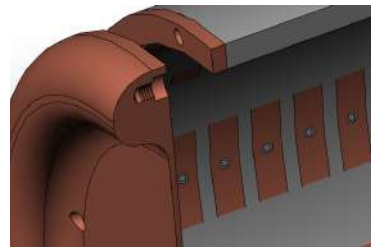
# TPC场笼



- 首先研制一个小样机，检验设计的可靠性、合理性
- 内径260mm，长620mm
- HDPE 作为支撑
- 电极：FPC(宽度22cm) 铜纯度好于99.9% 或 0.1mm铜带（TU1）
- 铜螺钉连接电阻串，HDPE螺钉固定

# TPC场笼-电连接件

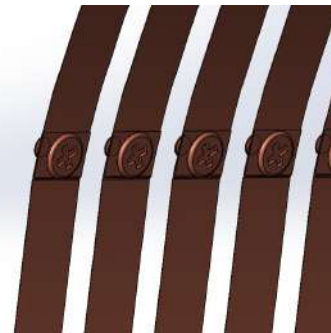
高压顶板与场笼弹性连接件  
材质可定制



PZ2881 3.5\*15.5  
黄铜镀金 电流1A  
行程3mm  
弹力2.5mm=50gf

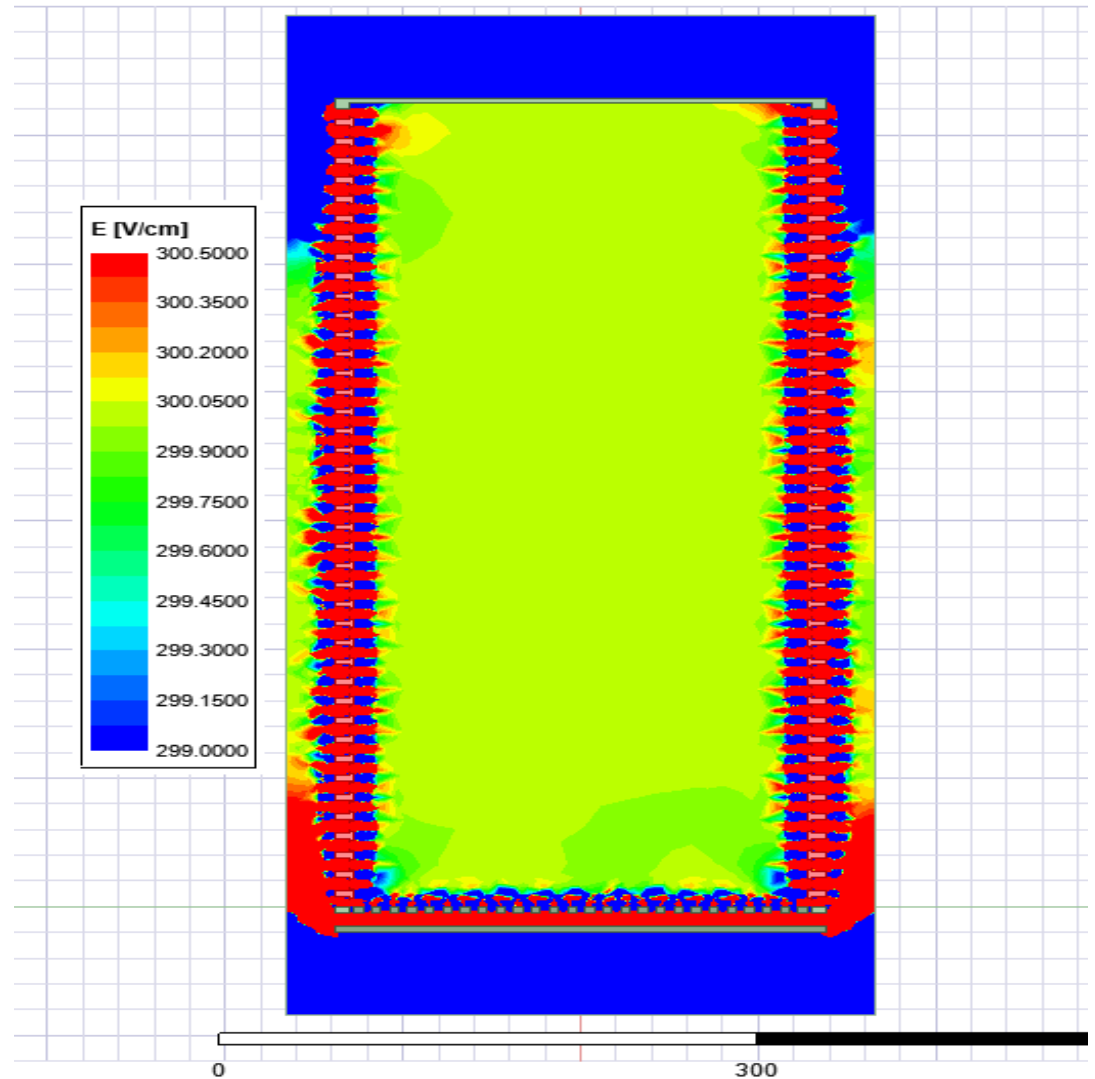


电极接头对接螺钉  
材质可定制

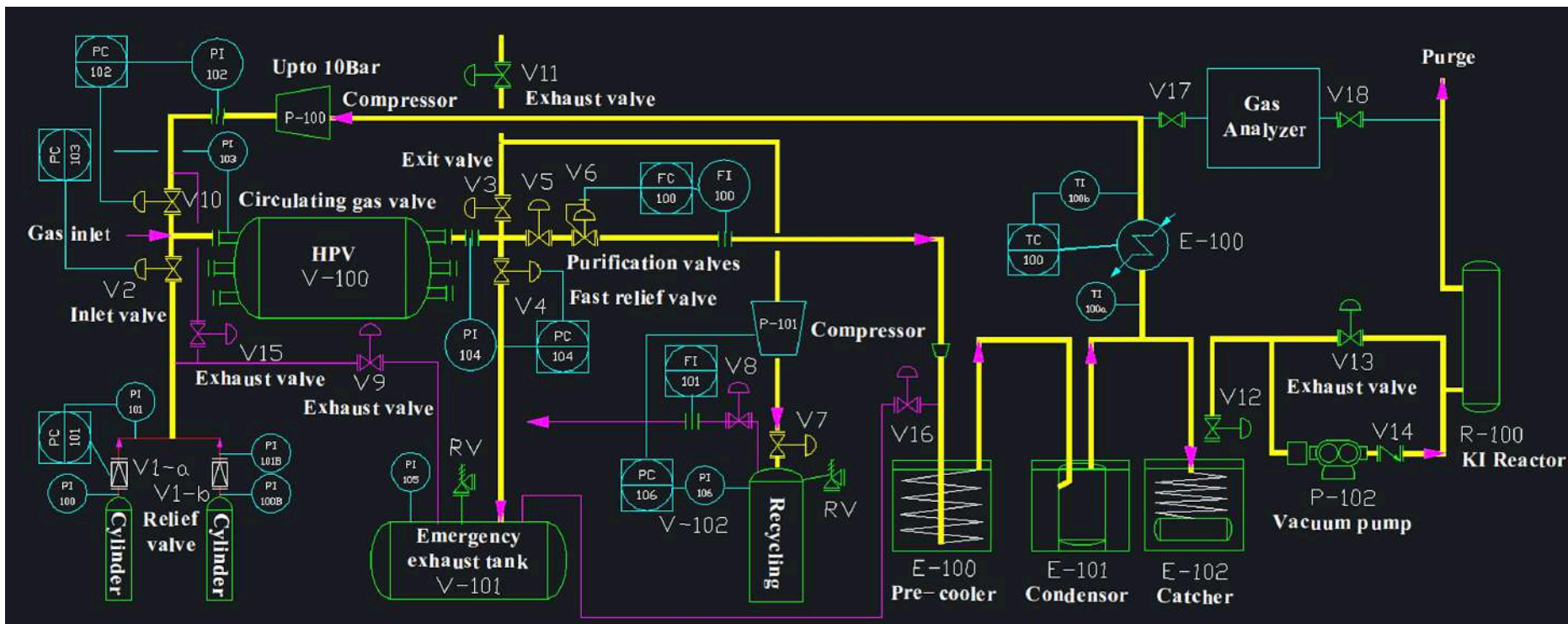


# TPC场笼-电场模拟

- 设定电场强度300V/cm
- 初步模拟显示，HDPE及对接螺钉对电场一致性影响可忽略

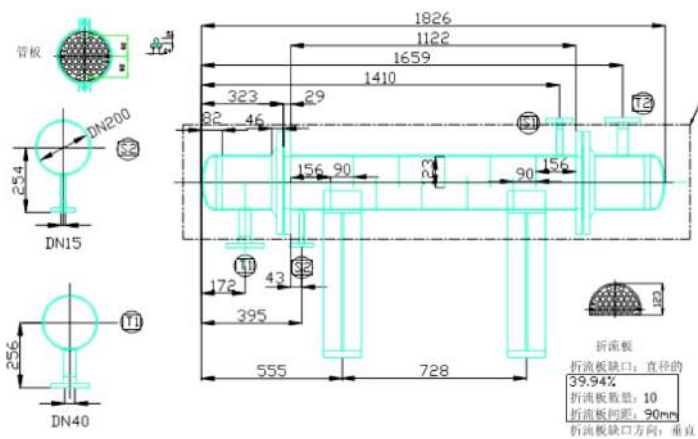


# 气体系统

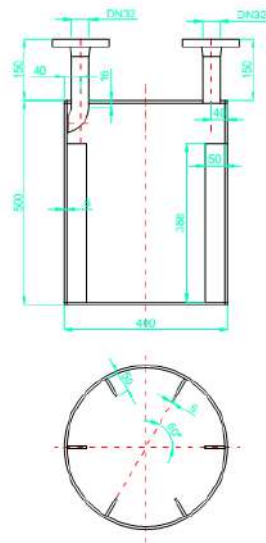


- 真空 → 充Ar/He到10atm → 检查气密性 → Ar/He泵入回收罐 → 真空 → 充SF<sub>6</sub>/<sup>82</sup>SeF<sub>6</sub>到10 atm → 检查气密性, 实验取数 → 冷凝SF<sub>6</sub>/<sup>82</sup>SeF<sub>6</sub> → 系统吹空气至尾气反应器
- 在紧急情况下 (如检测到漏气), 将<sup>82</sup>SeF<sub>6</sub>排入紧急排放罐, 再冷凝
- 整个系统置于负压室中, 设置气体监测系统和SeF<sub>6</sub>反应器, 作为第二道安全防线<sub>23</sub>

# 气体系统



预冷换热器设计



冷凝器设计

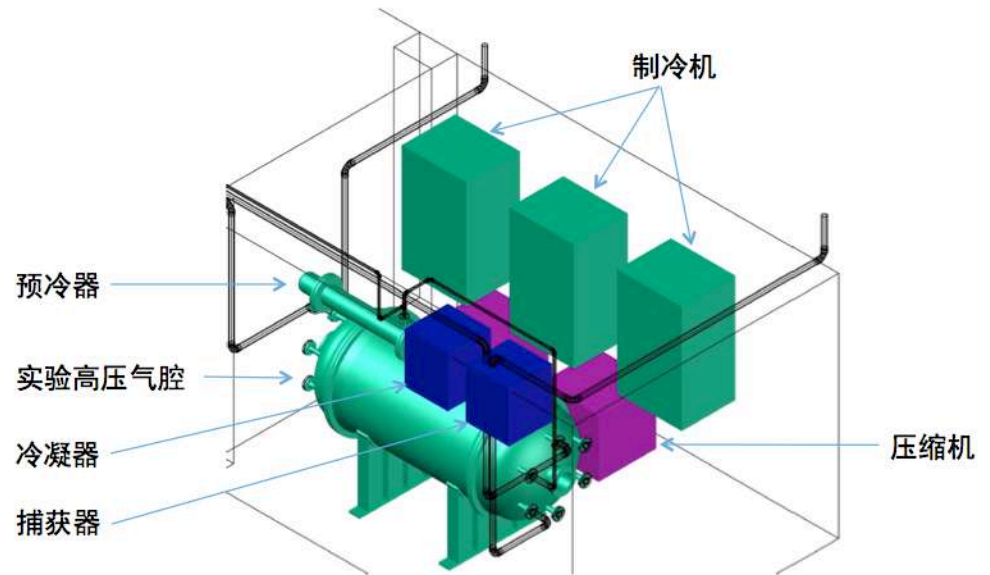


制冷机

- 气体系统完成概念设计，开始采购、加工部件

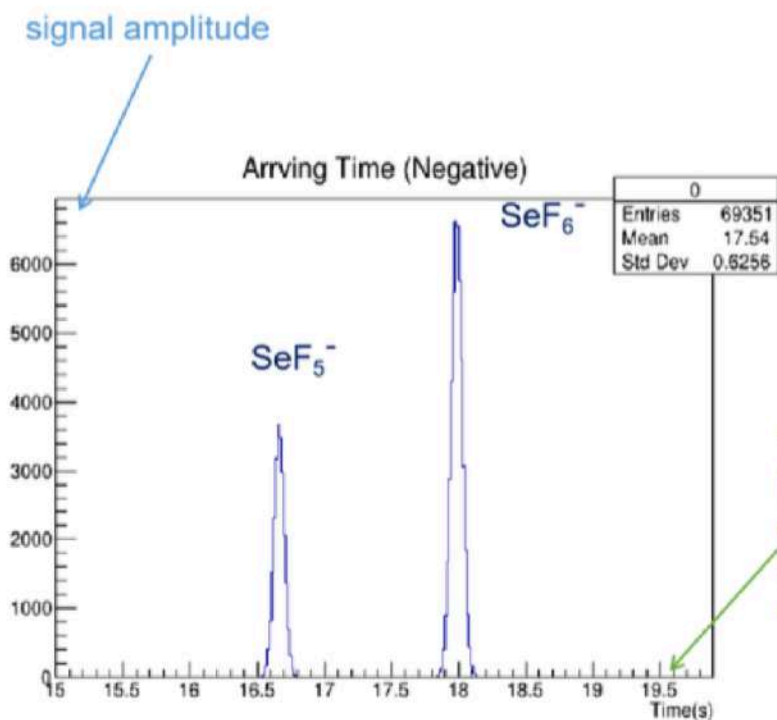
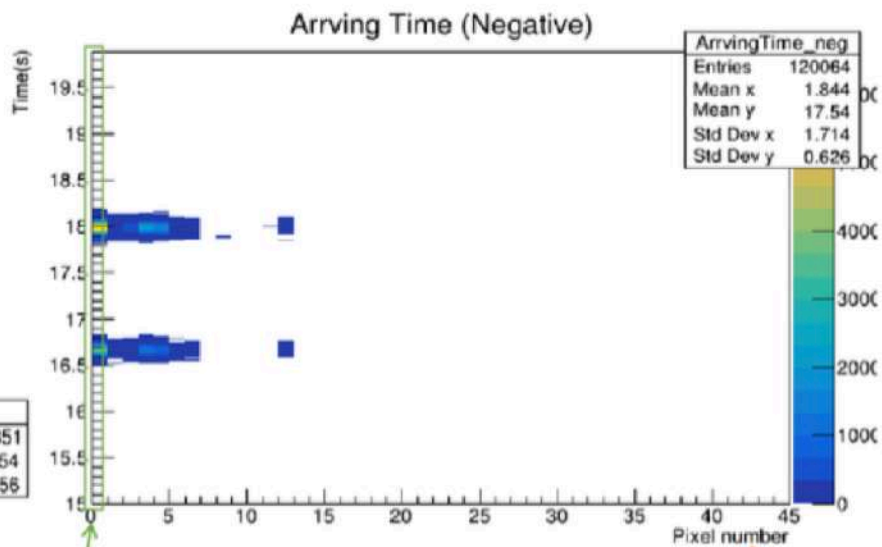
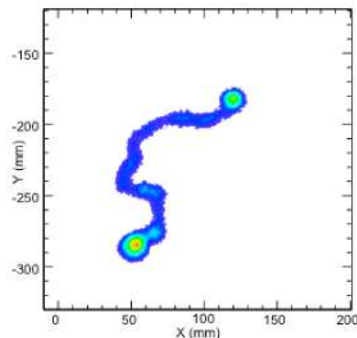


# 地面实验室

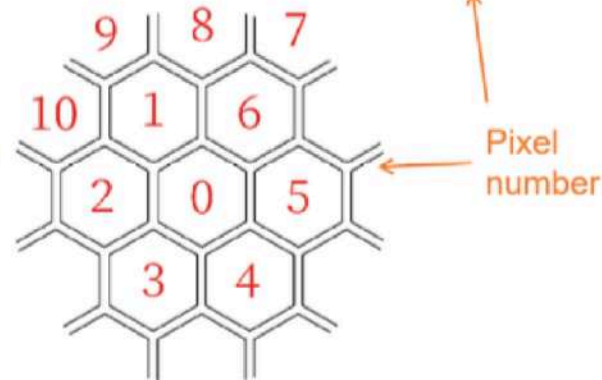


- 20 m<sup>2</sup>的地面实验室已装修完毕，用于100 kg地面样机

# 模拟

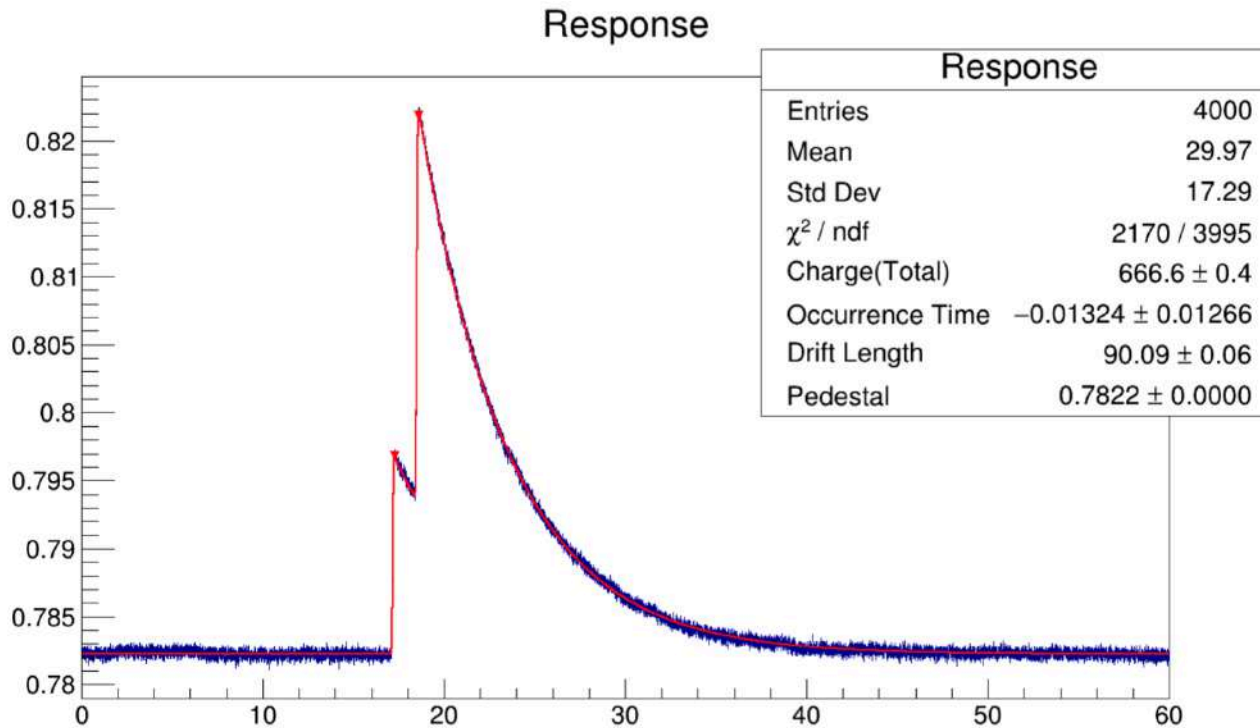


Time it takes ions to drift from emission to arriving pixel detector



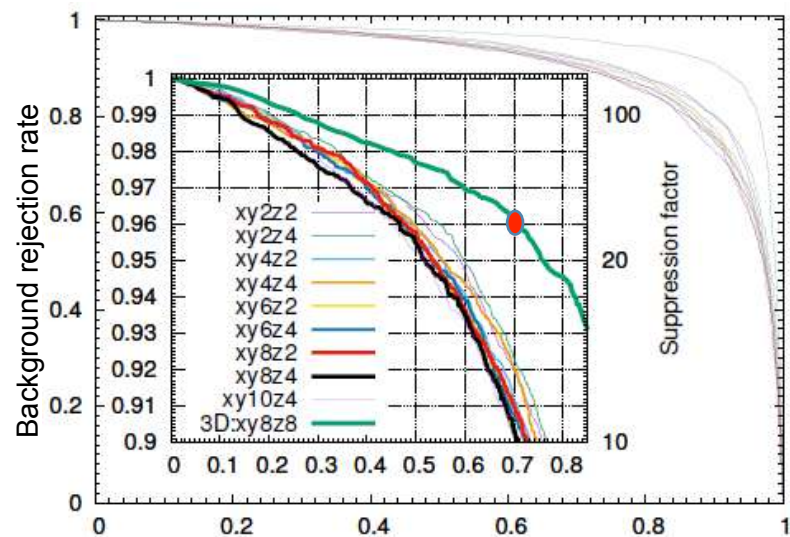
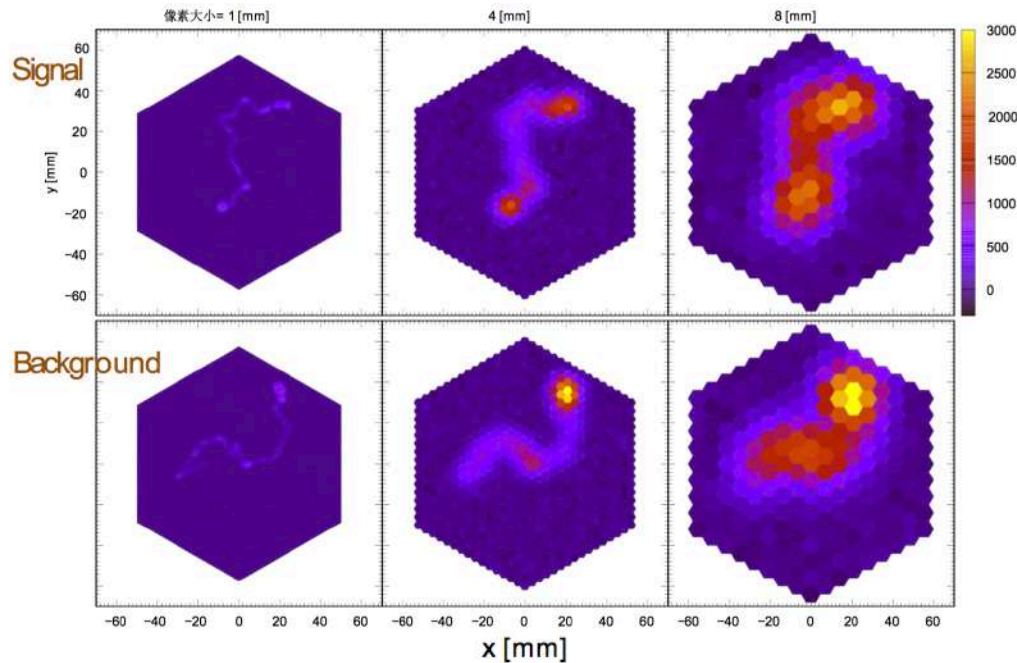
- 衰变、电离、离子漂移、扩散模拟

# 模拟



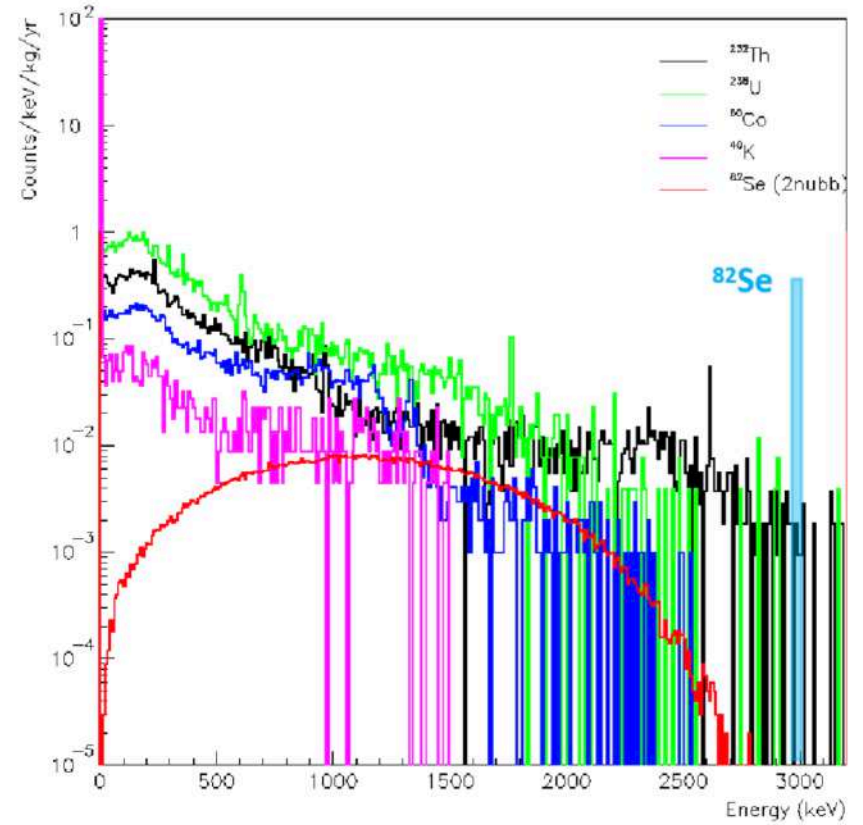
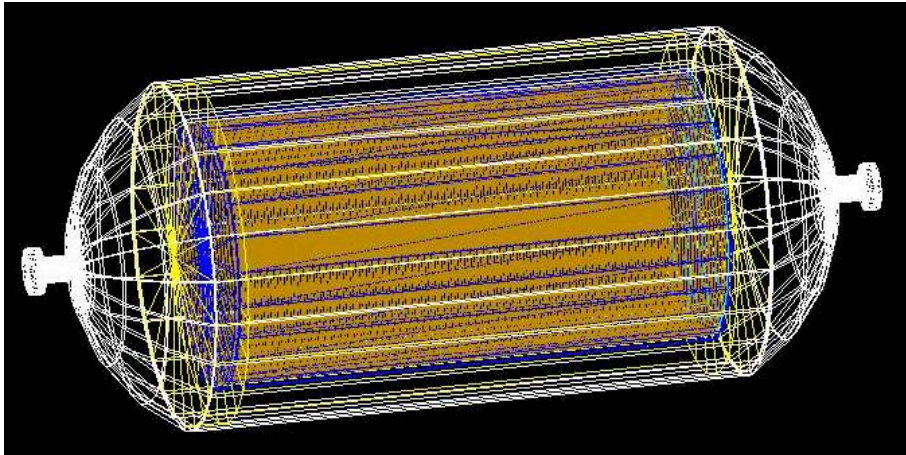
- 单个芯片读出信号模拟
- 函数拟合还原电离时间、漂移距离信息

# 模拟



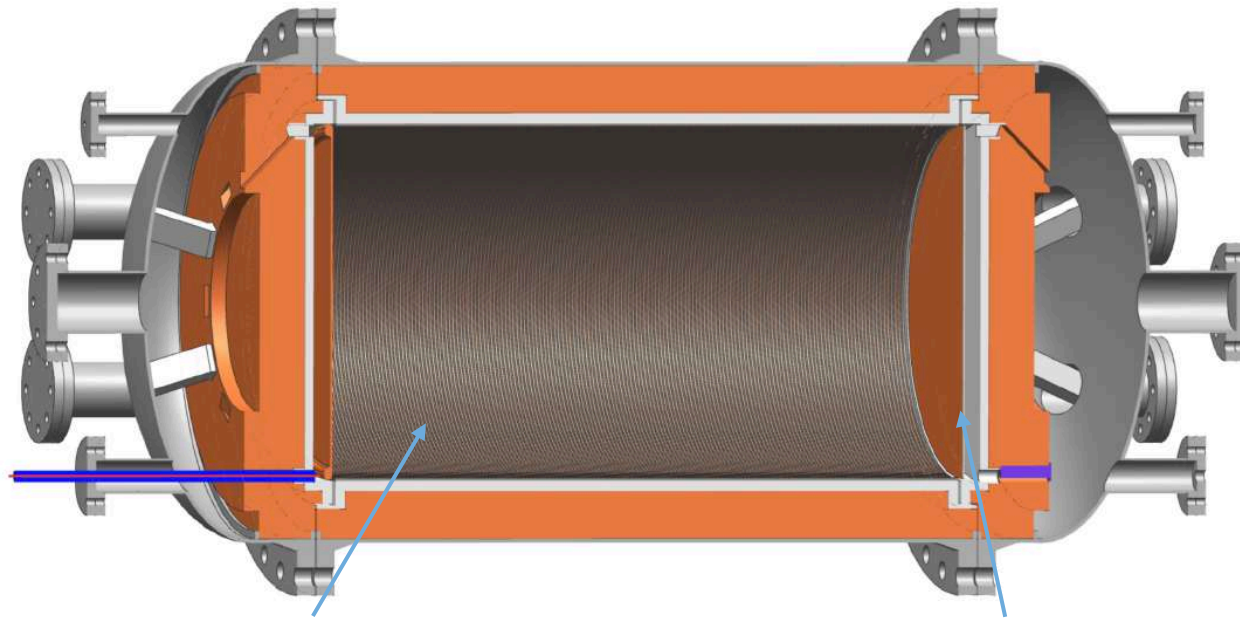
- 初步模拟不同像素间距时，信号、本底分辨情况
- 像素间距 8mm，效率 70%，本底排除率 95%

# 模拟



- 本底模拟研究进行中

# 本底控制



field cage

focusing & read-out electronics planes

- 对于高压气腔、铜屏蔽层、TPC场笼等，我们将学习PandaX、CDEX、CUPID-China等实验的经验
- 读出和电子学的本底控制是NvDEX特别需要注意的地方
  - 与灵敏体积之间没有屏蔽
  - 计划将Topmetal芯片布置于柔性版PCB上
- 计划使用高密聚乙烯(HDPE)外屏蔽体，同时作为气体安全负压室

# 研究团队

- 总体： Yuan Mei (LBNL)、许怒 (近物所 & LBNL)
- 高压气腔： 胡强、仇浩 (近物所)
- TPC： 何周波、鲁辰桂、路坦、邱天力 (近物所)
- 读出芯片及电子学： 陈凯、高超嵩、梁天宇、孙向明、汪虎林、张冬亮  
(华中师范)、杨懿琛(近物所)
- 气体系统： 常彦龙 (兰州大学)
- 模拟： Emilio Ciuffoli、Surja Ghorui、肖牧云 (近物所)

# 未来计划

- 2021年：
  - 验证Topmetal芯片读出：达到~1%能量分辨率
  - 完成高压气腔和气体系统
- 2022年：
  - 完成100-kg级实验地面样机：TPC场笼、读出平面
  - 测试长期运行气体安全性
  - 完成本底研究，为地下实验样机研制做准备
- 2022年底：白皮书
- 希望~2023年，开始在CJPL进行地下实验样机研制



# 总结

- NvDEx实验概念在降低本底方面有一些独特的优势和潜力
- Topmetal-S芯片研制进展
  - 第一版芯片测试完成
    - 验证了电荷探测能力
    - 偏置电压由高阻抗的电压源提供 → 放大倍数受到限制
  - 第二版芯片
    - 重新设计了芯片的偏置电压部分
    - 预期5月底投版流片
    - 有望突破芯片读出这一NvDEx实验最核心的技术难关
- 100-kg级实验地面样机基本完成设计，正在研制中
- 计划
  - 2021：验证Topmetal芯片读出、完成高压气腔和气体系统
  - 2022：完成100-kg级实验地面样机

谢谢

