

条形读出2D-GEM的同步辐射 成像应用研究

报告人：祁辉荣

主要参与人员：吕新宇 赵豫斌 章红宇 陈元柏 欧阳群 盛华义
江晓山 赵平平 李仁英 赵东旭 董丽媛 刘荣光 张建 刘鹏 常广才

单 位：高能物理研究所

主要内容

- 条形读出探测器研制
- 实验室X光机测量
- 同步辐射衍射测量
- 主要问题与小结

条形读出探测器研制

■ 主要工作：

- 目标：以同步辐射衍射成像应用需求为主要目标
 - 有效面积在 $125\text{mm} \times 125\text{mm}$ 以上
 - 二维读出
 - $300\ \mu\text{m}$ 以内像素分辨
 - 总计数率在 1MHz 左右
- 方案：微结构成像气体探测器结合快脉冲读出电子学系统

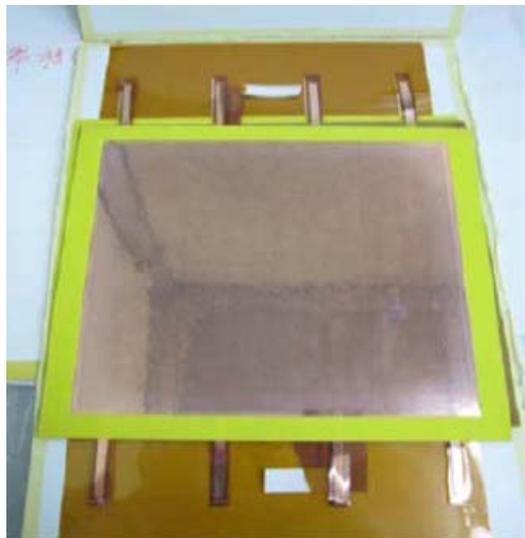
■ 主要研究内容：

- 二维条读出GEM探测器
- 704路快脉冲电子学读出
- X射线性能研究
- 同步辐射衍射测量

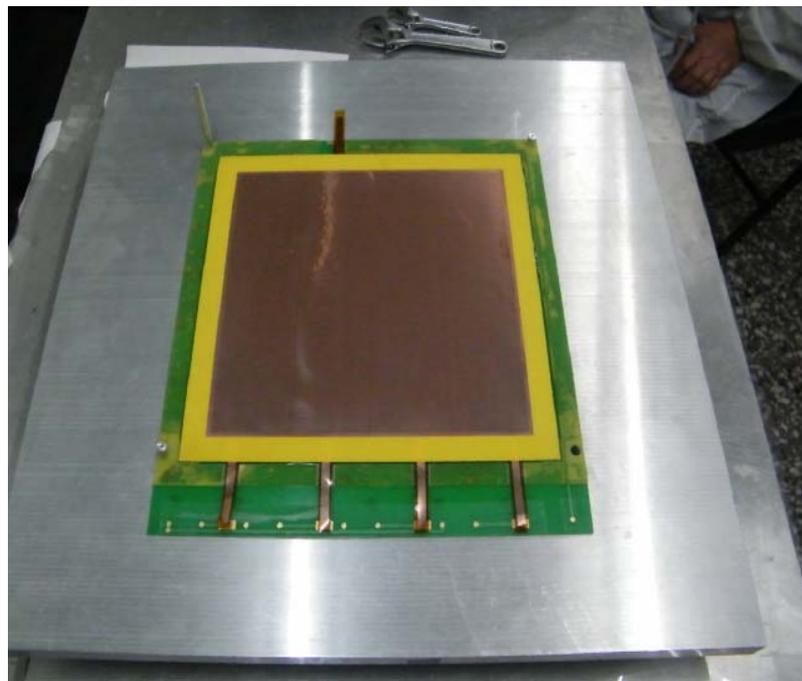
■ 工作时间：

- 2009年9月-2011年9月

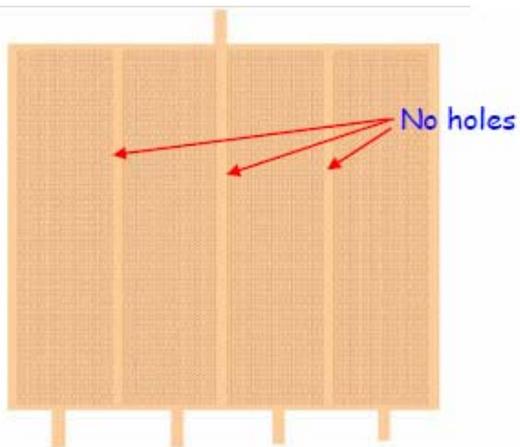
探测器部分指标



标准**GEM**膜

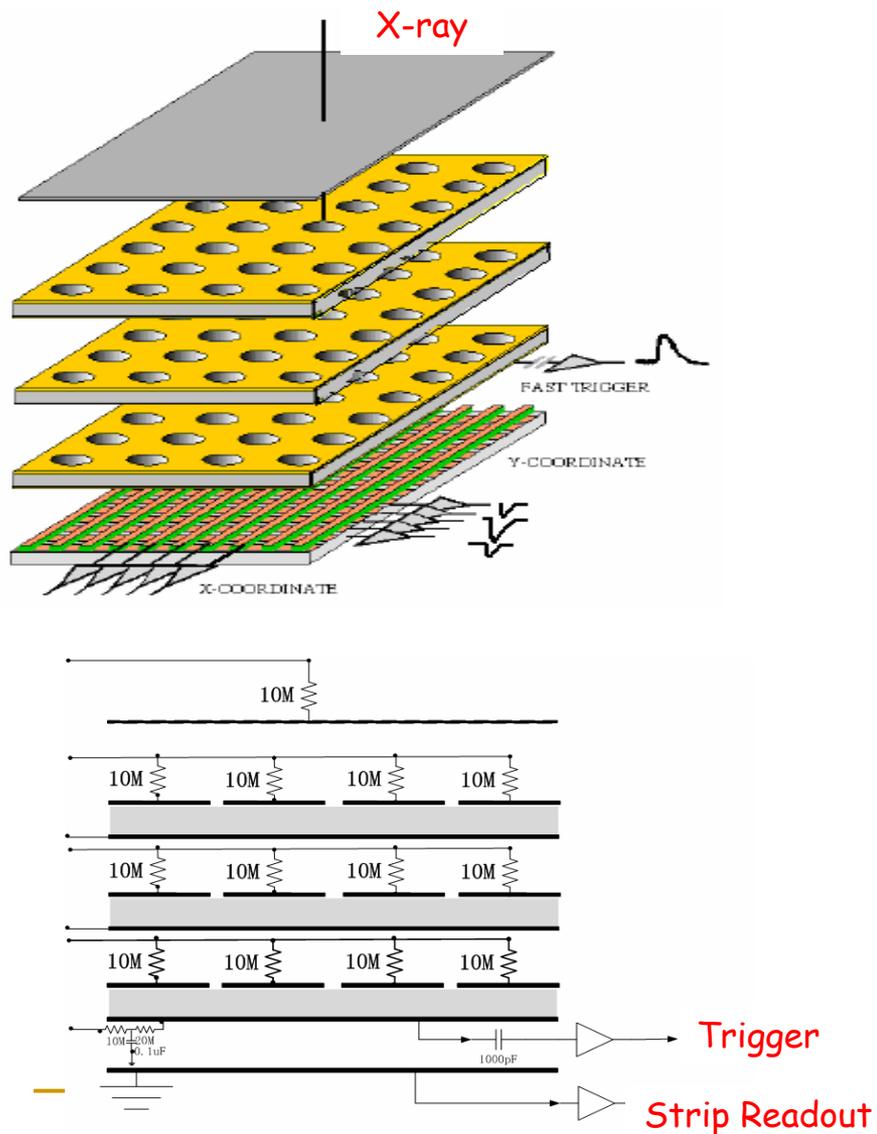


部分组装的**GEM**膜



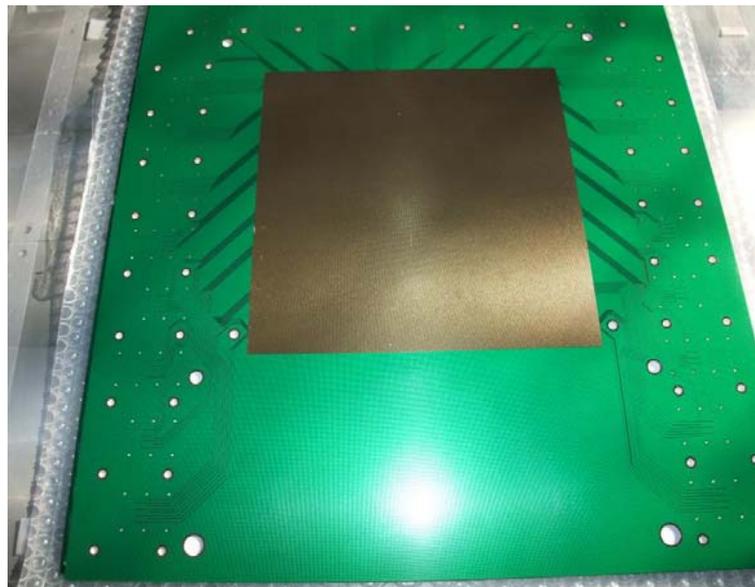
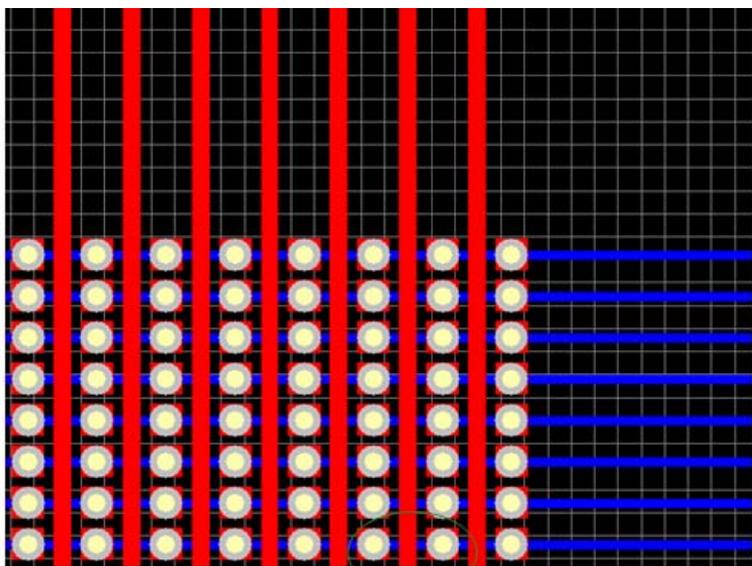
GEM Foil: Four Separate Sectors

探测器部分指标



- 采用CERN标准双面刻蚀GEM
- GEM有效探测器面积 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$
- GEM其中一面均等分为4个独立面
- 触发采用第三层下表面公共触发模式
- Drift Distance: 14mm
- Transfer Space: 2mm
- Induction Space: 2mm
- HV power supply
 - 七路独立高压供电
- $V_{\text{gem1}}:V_{\text{gem2}}:V_{\text{gem3}}=340\text{V}:330\text{V}:320\text{V}$
- $E_{\text{drift}}:E_{\text{tran1}}:E_{\text{tran2}}:E_{\text{tran3}}=3:2.5:2.5:2\text{kV/cm}$
- 工作气体: $\text{Ar}/\text{CO}_2=90/10$
- 流气室工作模式 ($\sim 60\text{ml/min}$)

读出结构



- X 方向

- 读出条数: 267
- 条宽度: 0.193mm
- Pitch: 0.752mm

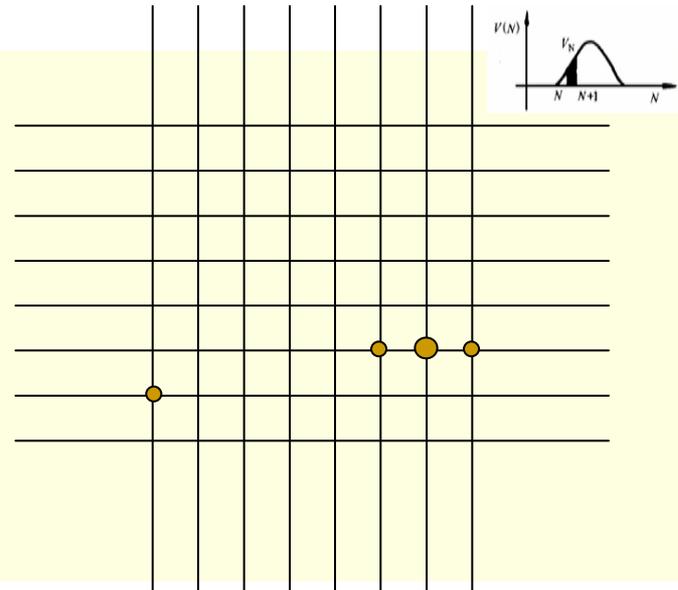
- Y 方向

- 总读出条数: 437
- Strip with PADs connected at bottom layer of PCB
- 宽度: 0.355mm
- Pitch: 0.457mm
- PAD: 0.355mm × 0.355mm

重心法读出

$$C_x = \frac{\sum D_{ix} V_i}{\sum V_i}$$

$$C_y = \frac{\sum D_{iy} V_i}{\sum V_i}$$

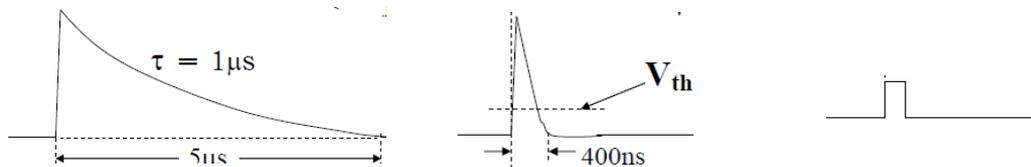
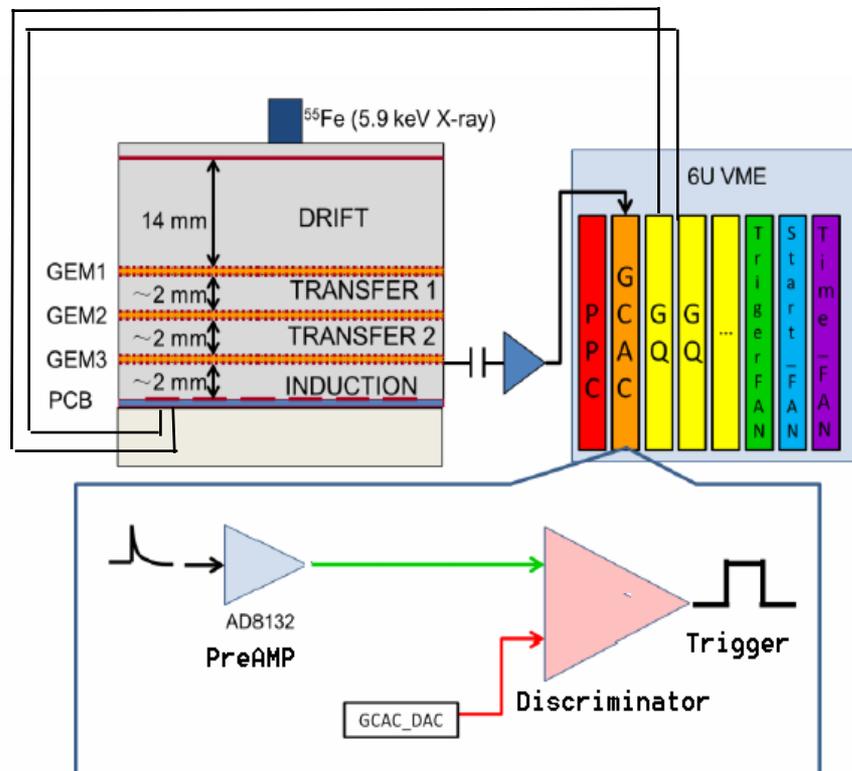


式中 C_x --重心的x坐标;
 C_y --重心的y坐标;
 D_{ix} --第i点的x坐标;
 D_{iy} --第i点的y坐标;
 V_i --第i个地点处的权重量。

读出电子学部分

探测器系统组成部分

- GEM 探测器
- 3套 6U-VME Crates
- 两套获取计算机
- GQ Boards: 15+15+14
- PowerPC: 1×3
- 一个公共触发信号
- 前放板: 44块
- Trigger Preamplifier Board: 1
- Fan IN/OUT Boards: 3×3



触发产生示意图

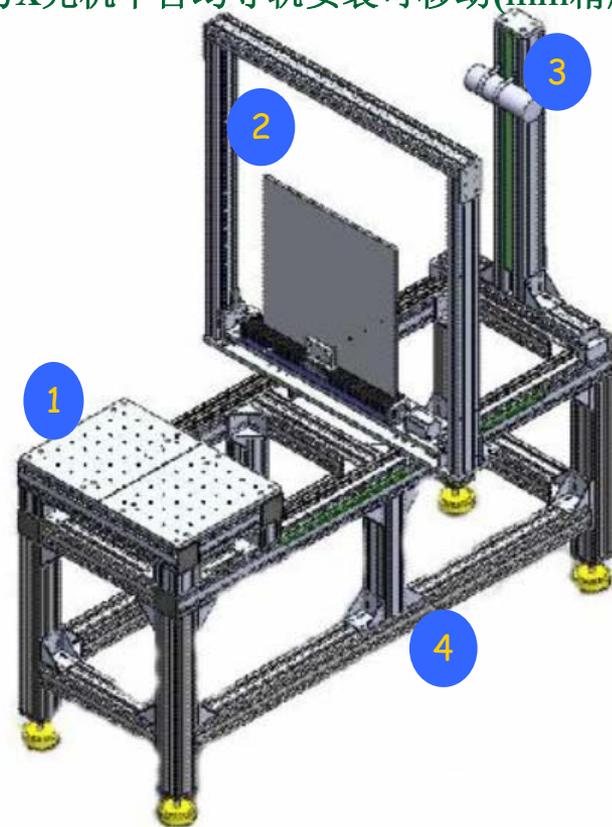
探测器测量平台研制



- 1 探测器测量平台
- 2 准直器及物品放置平台
- 3 X射线源入射平台
- 4 水平支架平台

主要设计指标

- 尺寸：2000mm*1200mm*800mm
- 承重：50kg
- 水平及垂直均可调
- 步进电机控制准直器平台左右移动
- 准直器平台移动范围 $\pm 150\text{mm}$ ，0.01mm精度
- 准直器与X光机平台均导轨安装可移动(mm精度)



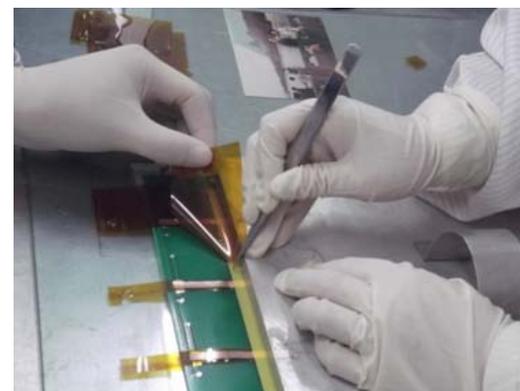
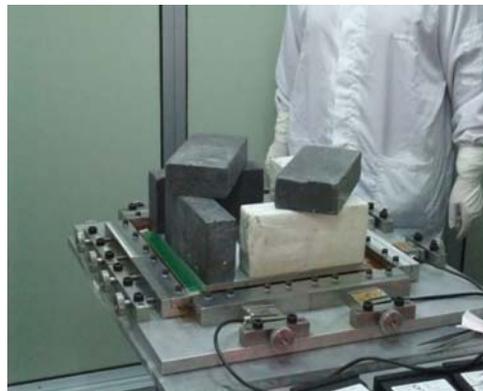
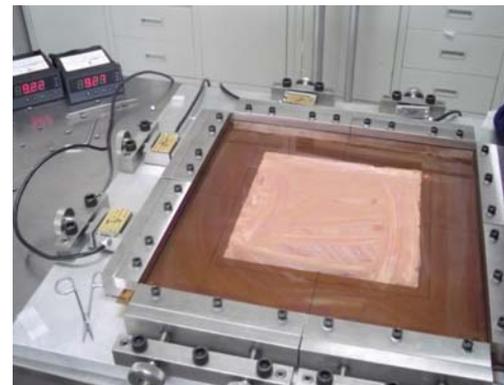
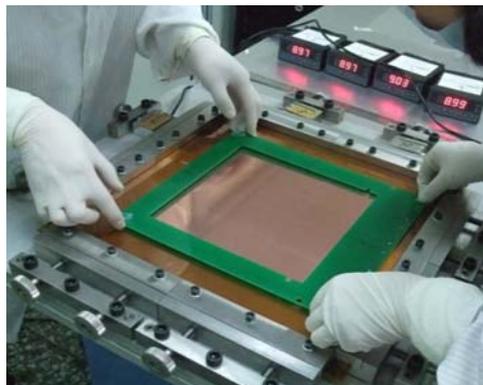
二维成像探测器测量平台实物图及示意图

GEM探测器组装优化

- 探测器已掌握并优化的组装工艺：
 - GEM裸膜绷膜工艺（@18公斤拉力）
 - 探测器组装工序优化
 - 气体组分优化
 - 双面绷膜简化为单面绷膜

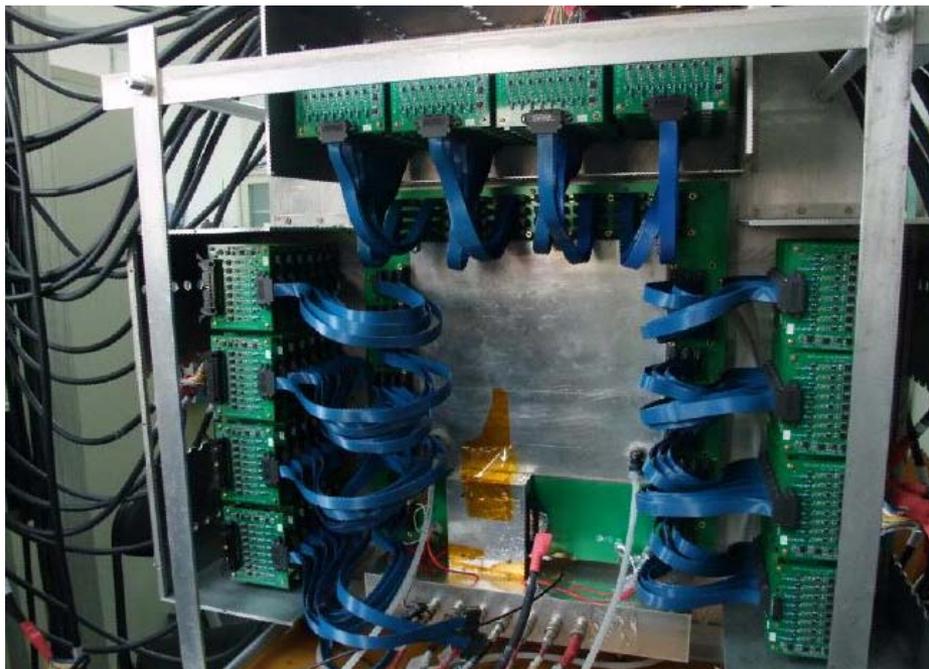


三组份质量流供气系统



GEM单面拉膜工艺

组装完成的探测器



探测器读出部分(Strip+前放)



704路读出VME电子学系统

探测器各模块实物图

组装完成的探测器



GEM探测器X光机测量平台



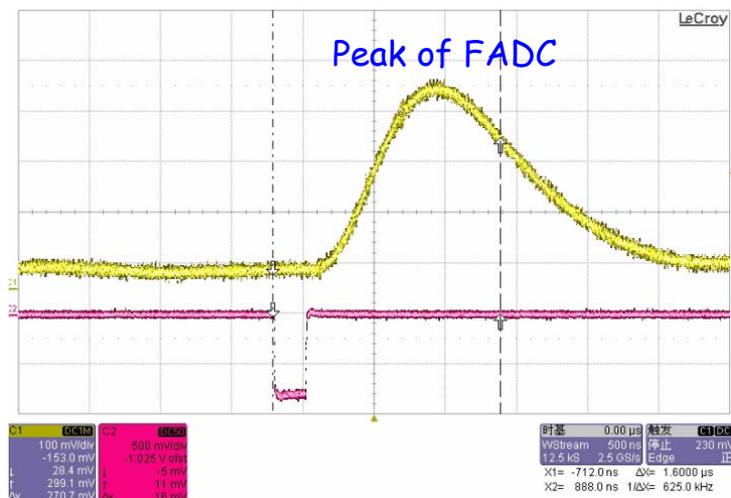
准直器标准线对卡



三组份质量流供气系统

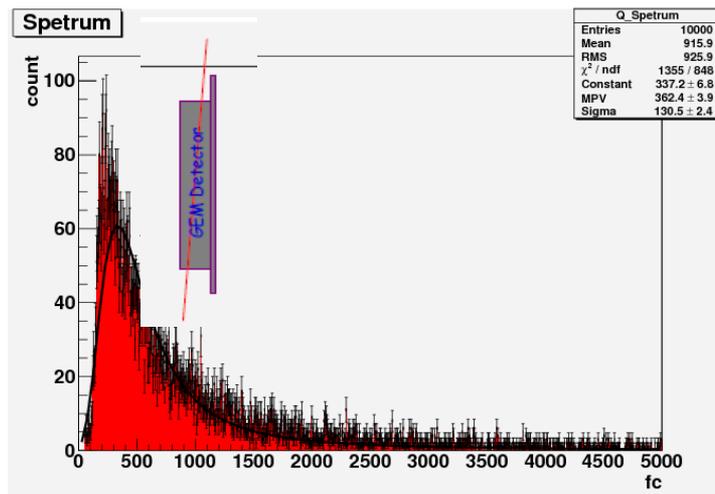
探测器各模块实物图

探测器参量优化

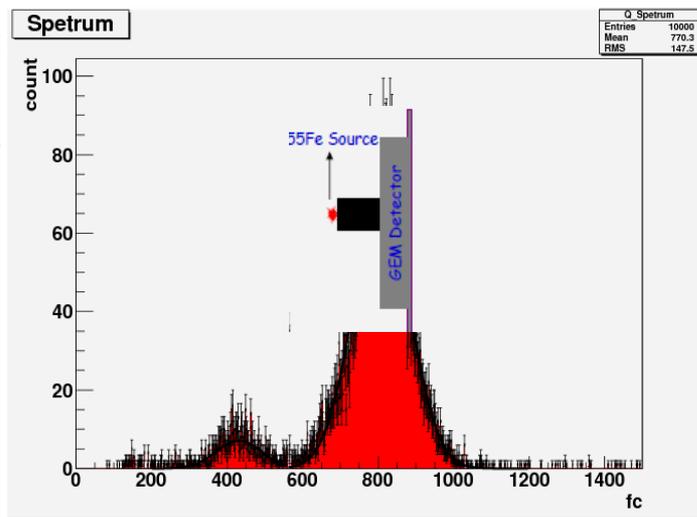


- 优化寻峰时间
 - 解决的问题：获得准确的寻峰能量， $\sim 1.6\mu s$
- 优化获取模式
 - 解决的问题：能量峰是否朗道或者高斯分布确定获取状态

FADC寻峰窗口优化调整

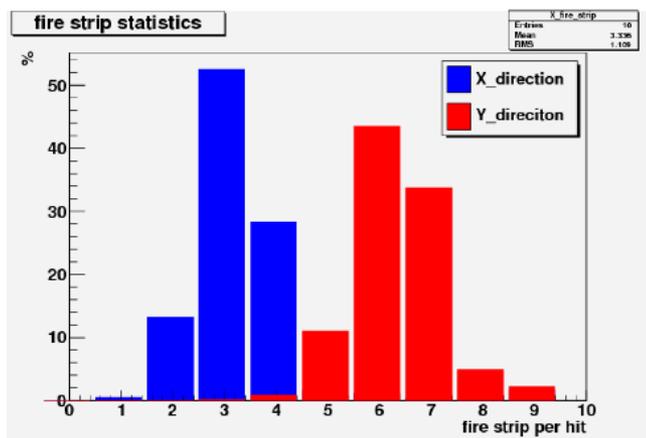
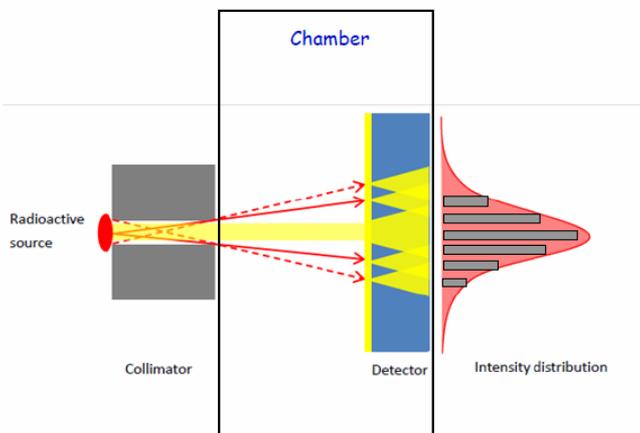


宇宙线能谱
(Landau分布)



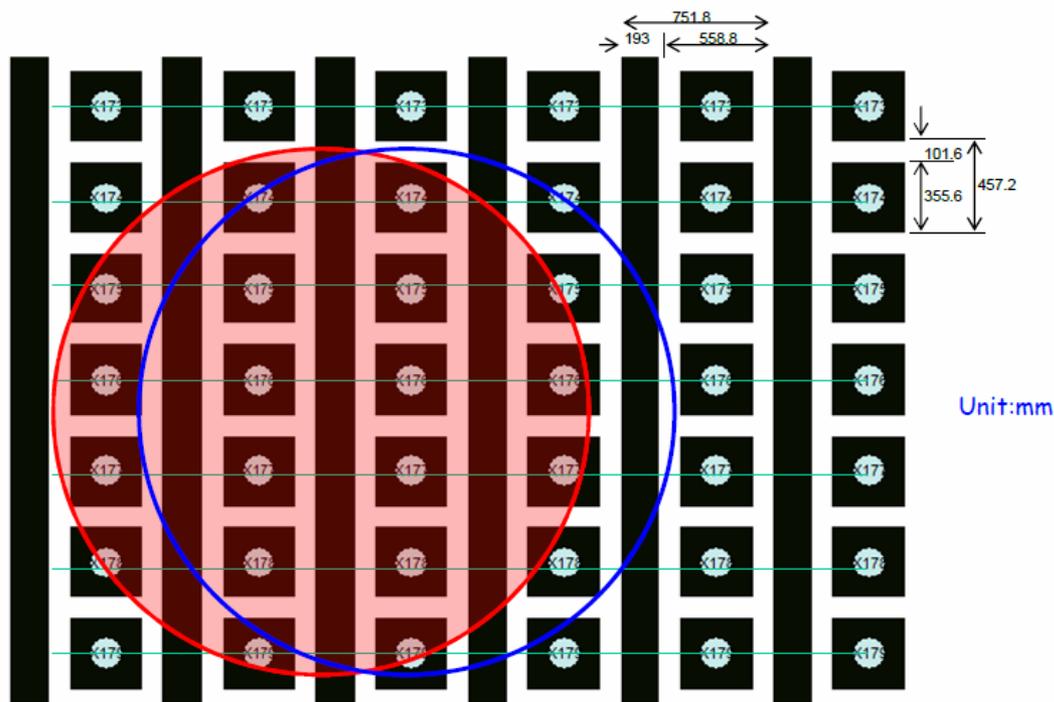
^{55}Fe 放射源能谱
(Gauss分布)

优化电子束团



优化电子束团

- 解决的问题：满足重心法读出且尽量减小扩散影响，
- 改变混合气体，选择Ar:CO₂(90:10)
- 改变GEM工作电压、漂移电场及传输电场，优化值 $V_{3GEM}=1050V$,
 $E_{drift}/E_{tran1}/E_{tran2}/E_{tran3}=2.8/1.8/1.5/1.5(V/cm)$



⁵⁵Fe放射源能谱

(红圆到蓝圆移动覆盖不同的读出区域)

测量用的X光机

■ X光机指标

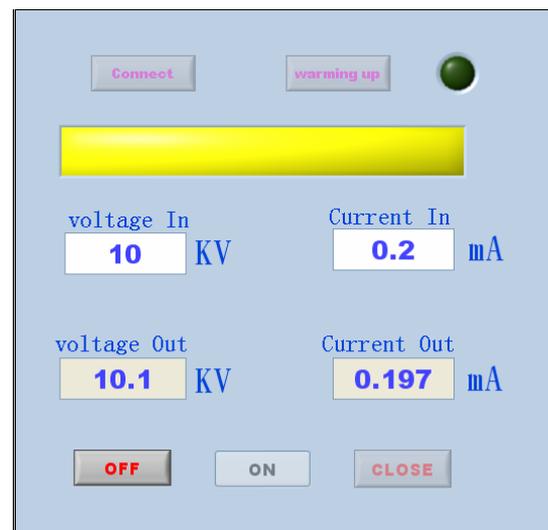
- 50W功率
- 管电压、电流可调
- Cu靶
- 22度出射角度

■ 主要设计指标

- X光机预热10分钟Warming-up
- 高压控制精度小于 $\pm 1\%$
- 高压输入阻抗 $10M\ \Omega$ ，控制步长 $0.1V$ ，约 $460V$
- 电流控制精度不小于 $\pm 1\%$
- 电流输入阻抗 $10M\ \Omega$ ，控制步长 $1V$ ，约 $0.1mA$
- 闪烁显示表示X光机状态
- 管电流和管电压均有 0.1 秒间隔反馈数据监测
- 安全联锁中途断落，控制归零



X光机及电源模块



X光机远程控制界面

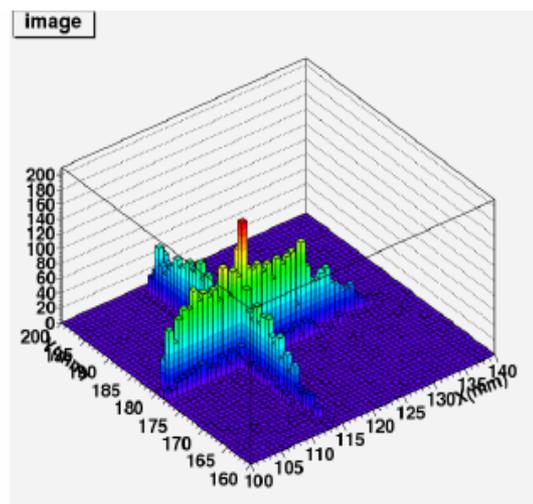
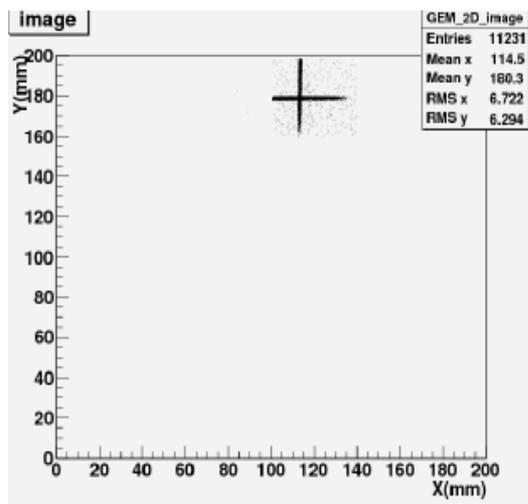
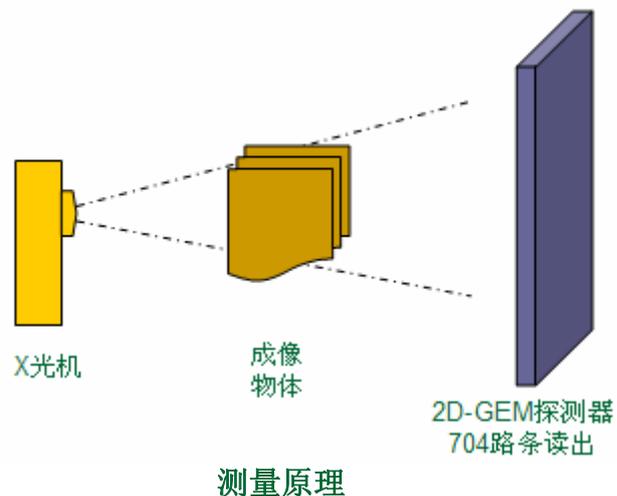
实验室X光机测量

采用的方法

- 704路条读出+公共触发信号
- 多条重心法解原初电离位置
- 考虑每路的增益区别
- 扣除每路的噪声基线

实验条件

- X光机(管电压8kV,管电流1mA)
- X光机距离探测器1m,物体靠近探测器表面
- 计数率30kHz
- 电子学Veto Time 4us,多事例触发不记录



探测器位置分辨好于200um且可以清晰成像，现在正在准备进行同步辐射实验测量。

实验室X光机测量

7KV

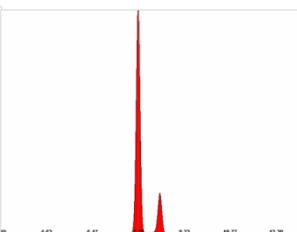
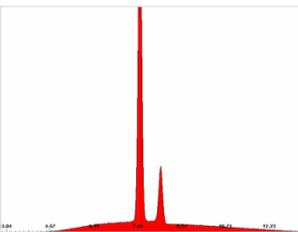
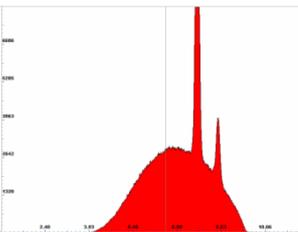
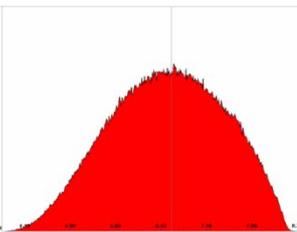
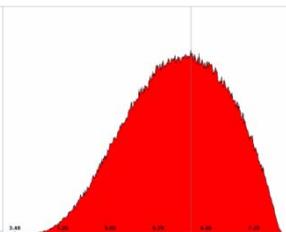
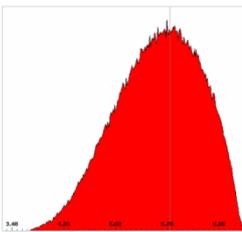
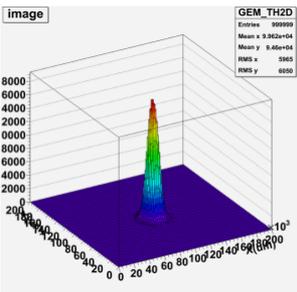
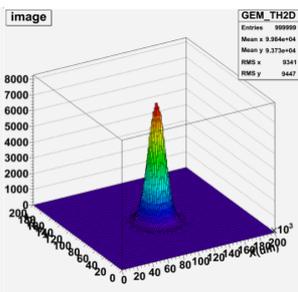
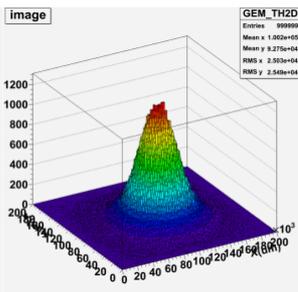
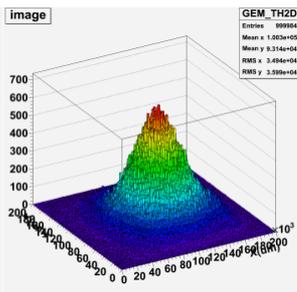
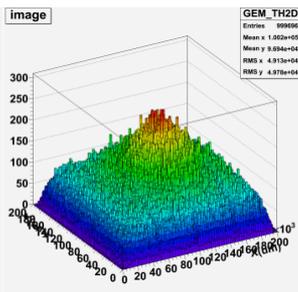
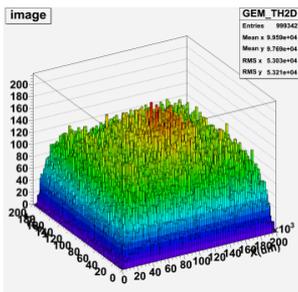
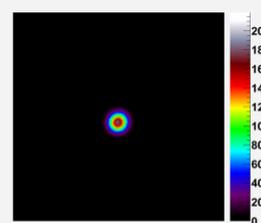
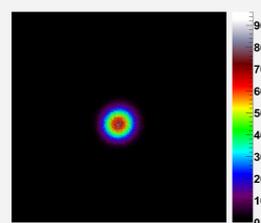
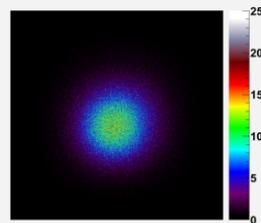
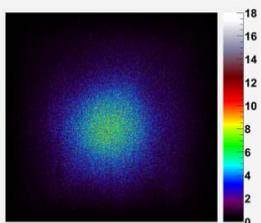
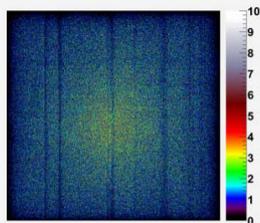
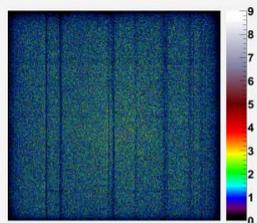
8KV

9KV

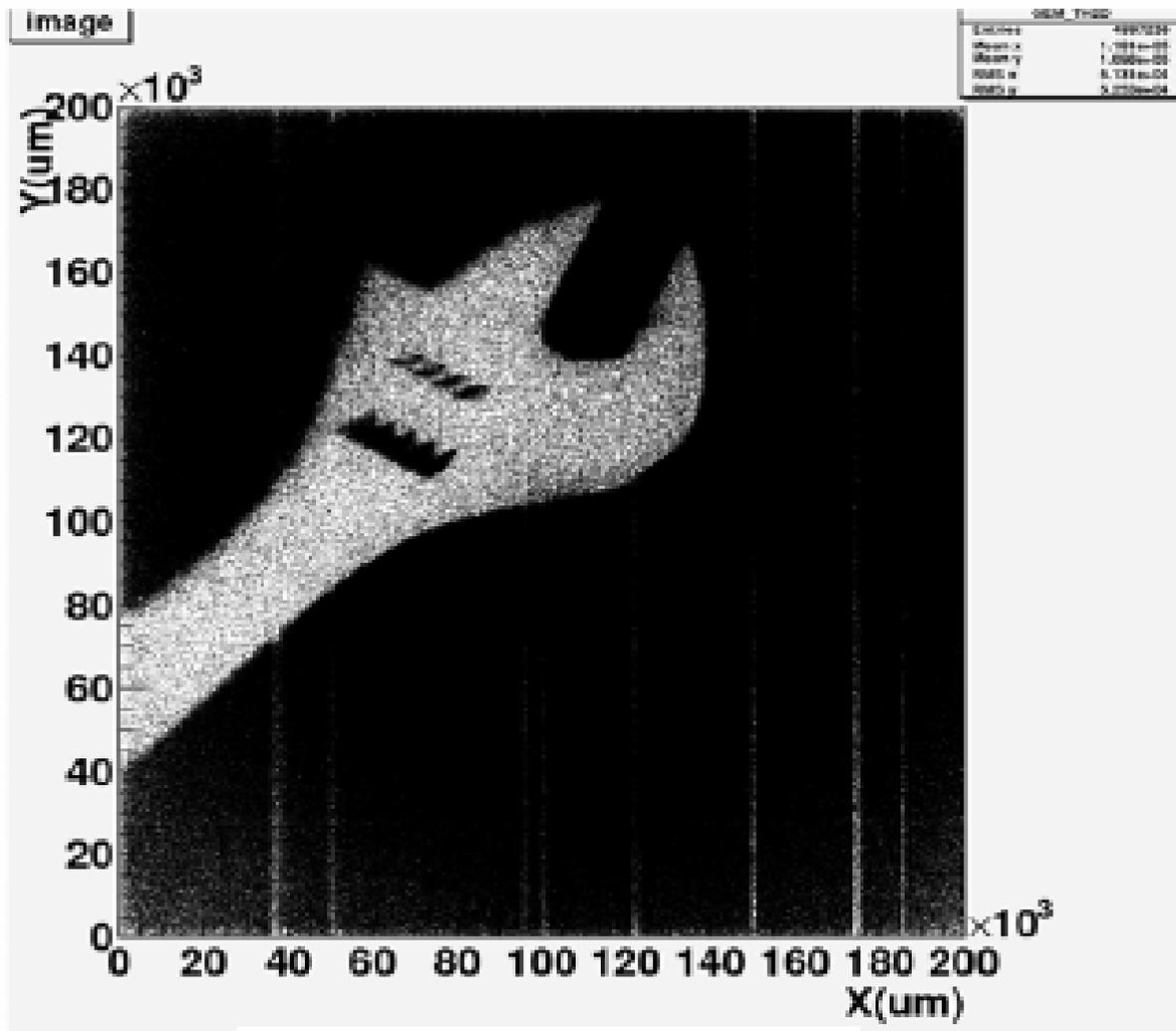
10KV

15KV

20KV



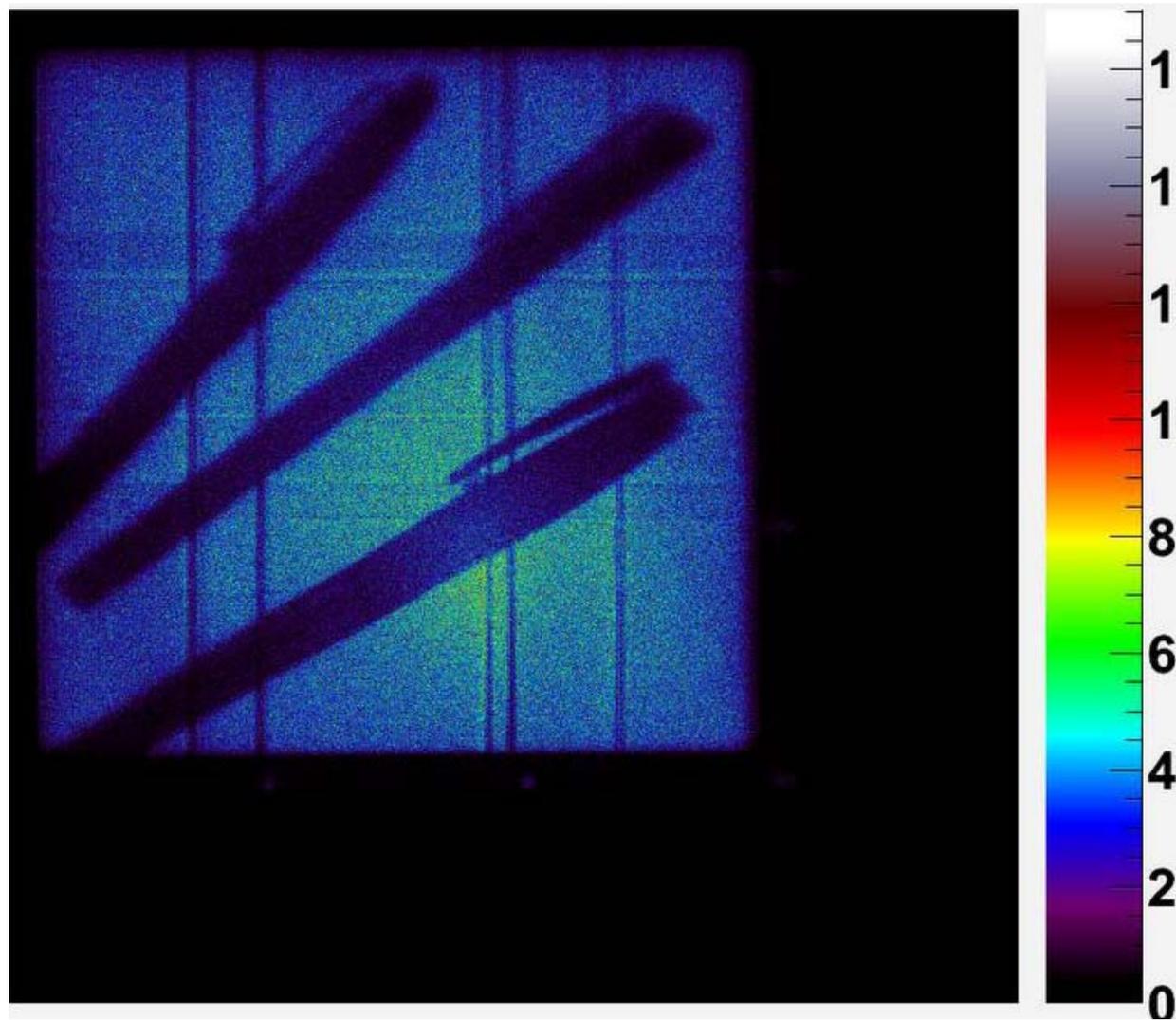
不同管电压下的成像结果及X光谱关系对比



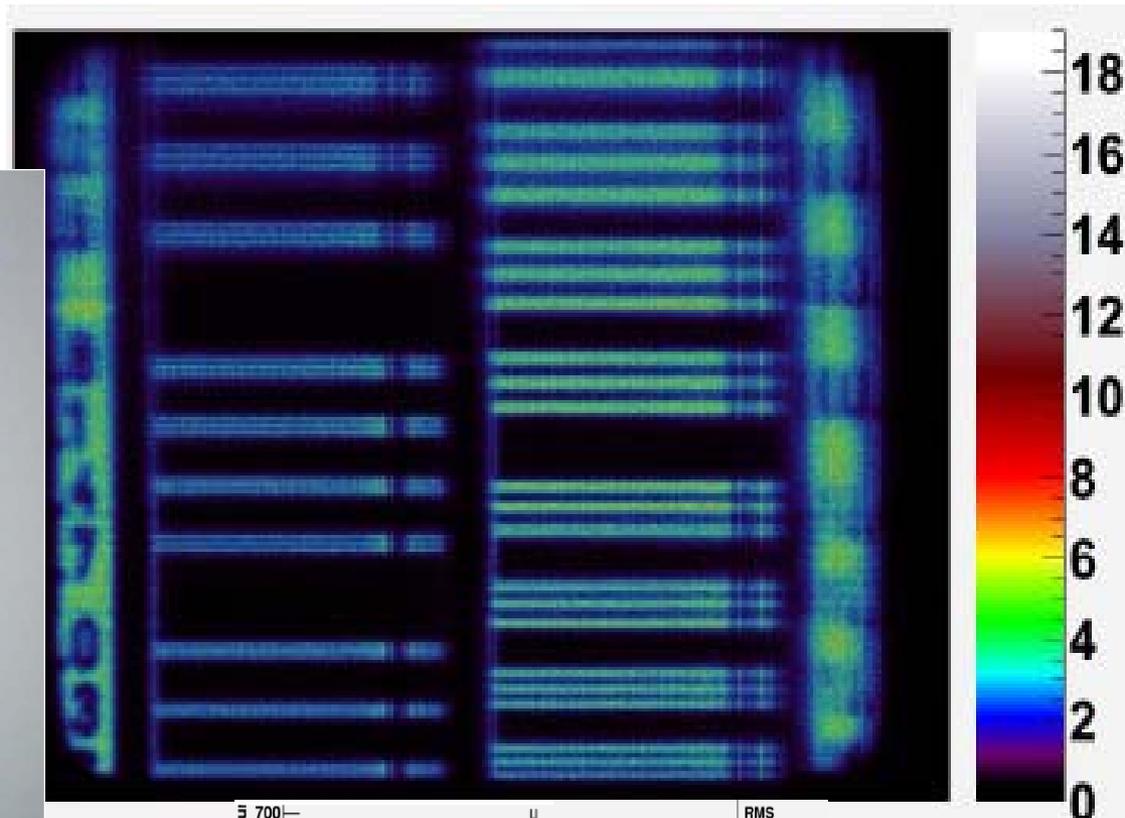
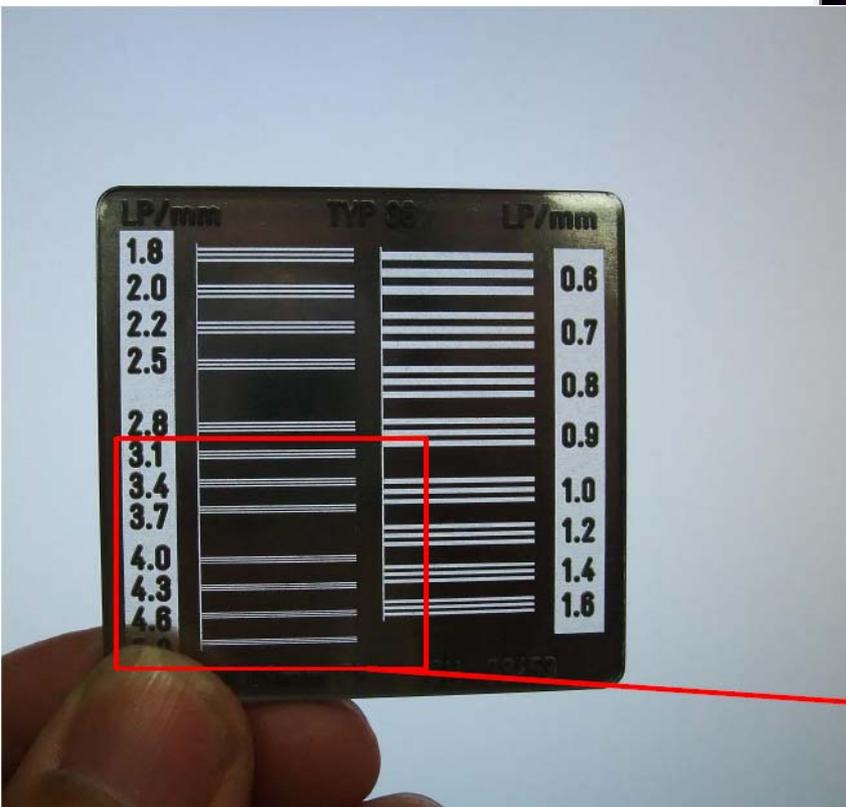
实物扳手成像结果



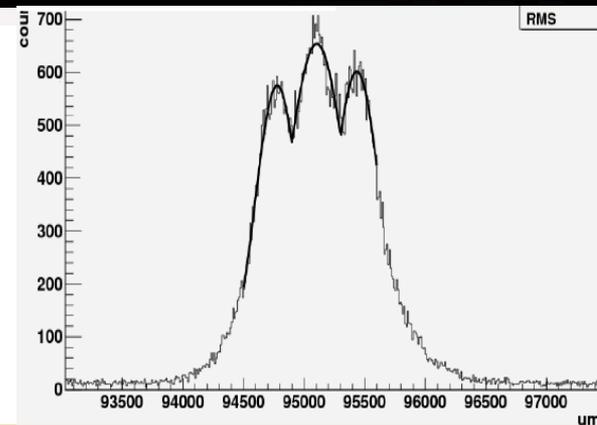
“IHEP”字母成像结果

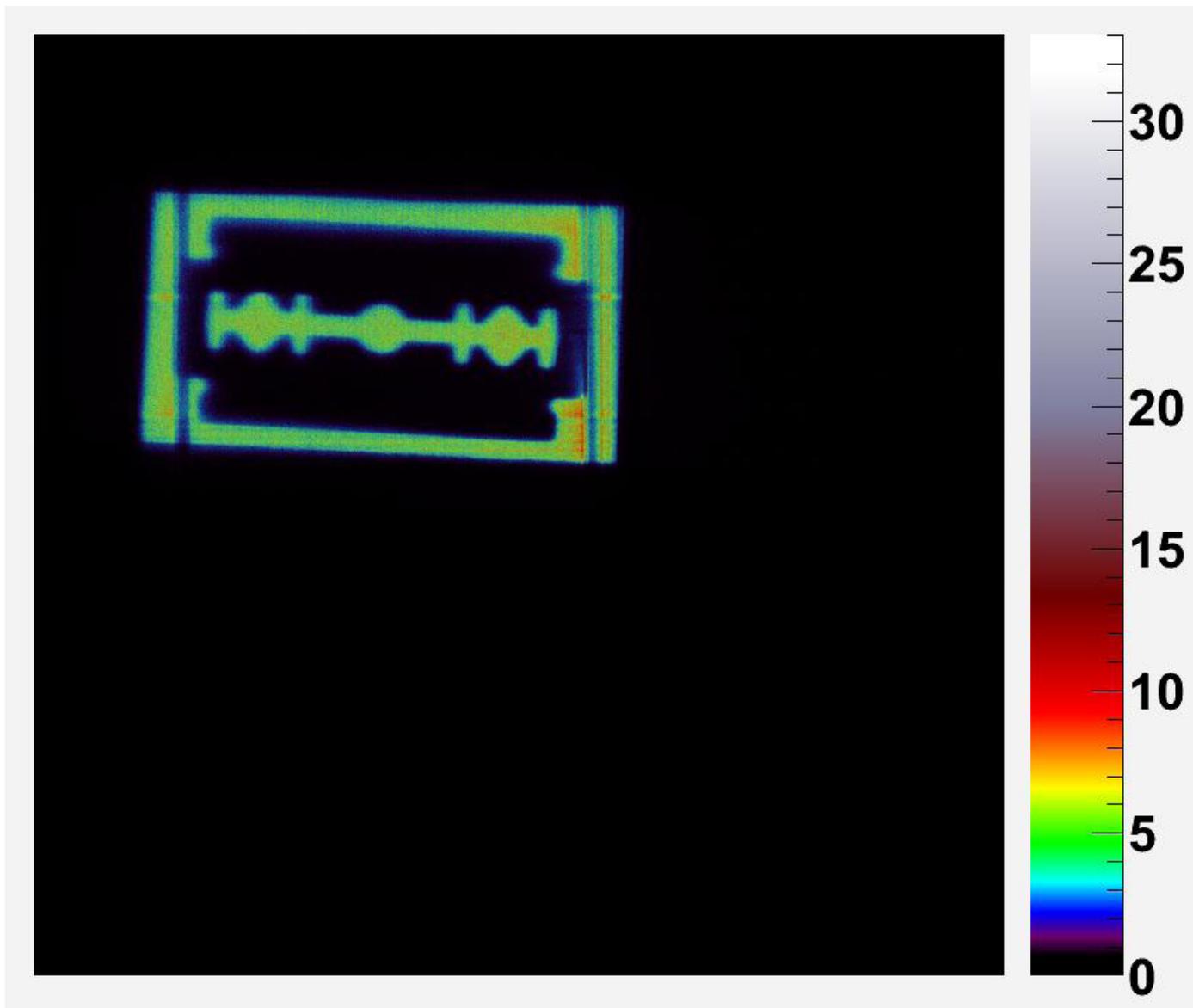


圆珠笔的部分成像

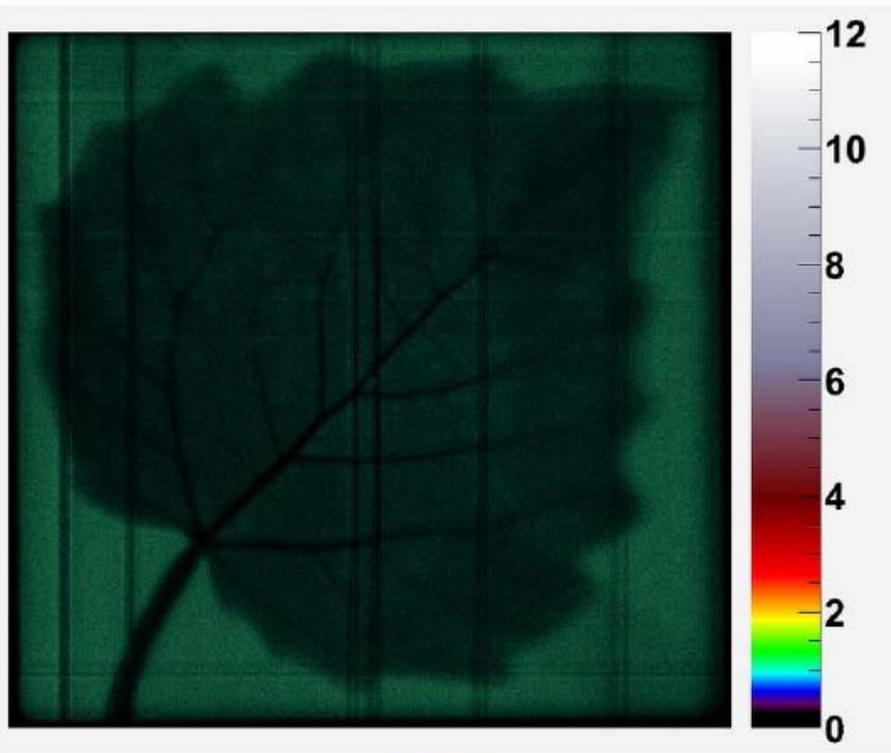


标准线对的成像结果
(探测器空间位置分辨好于250um)

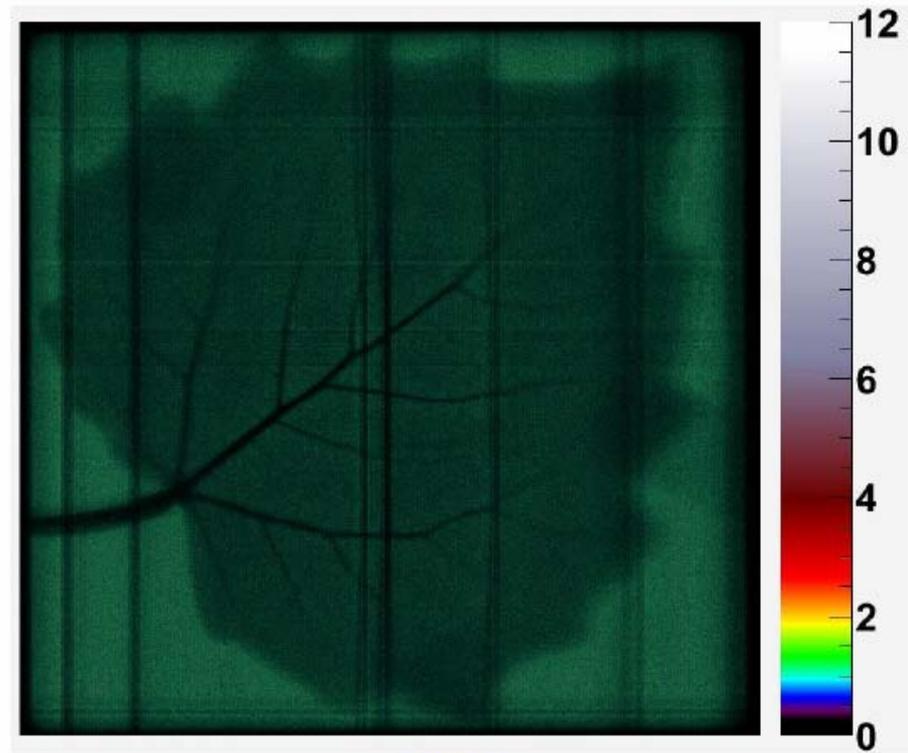




薄刀片成像结果



脱水前

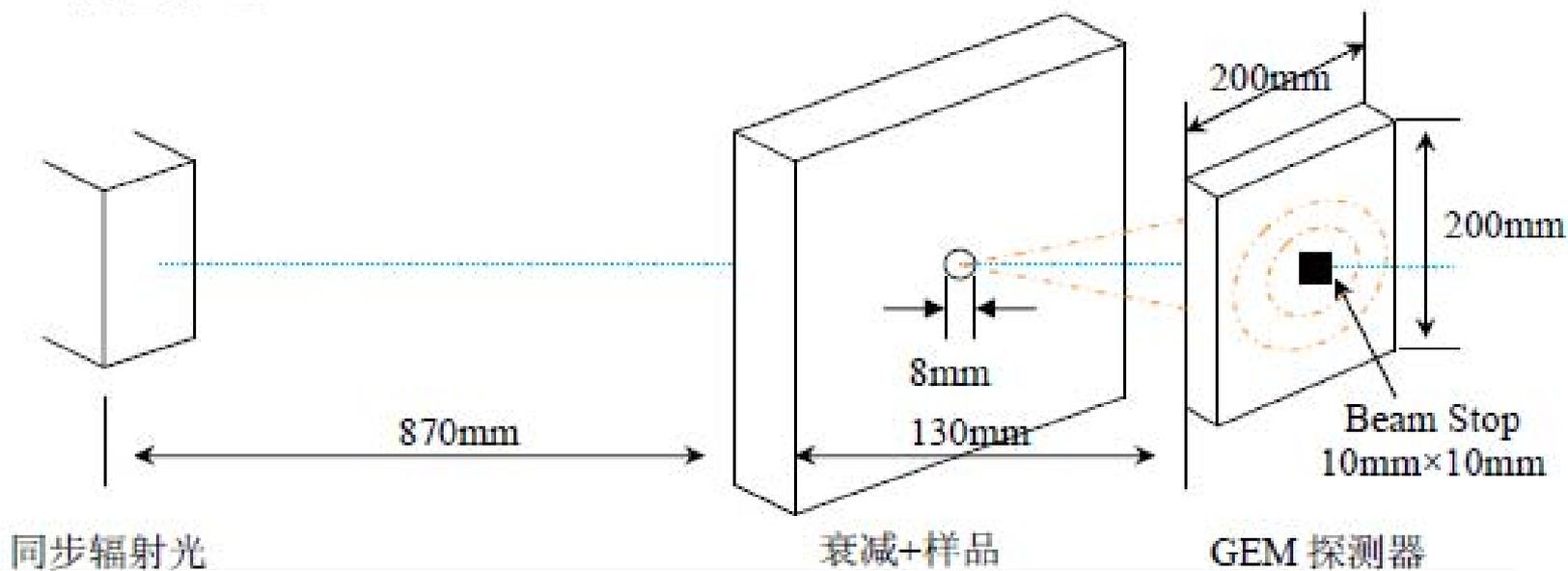


脱水后

树叶成像结果

同步辐射衍射测量

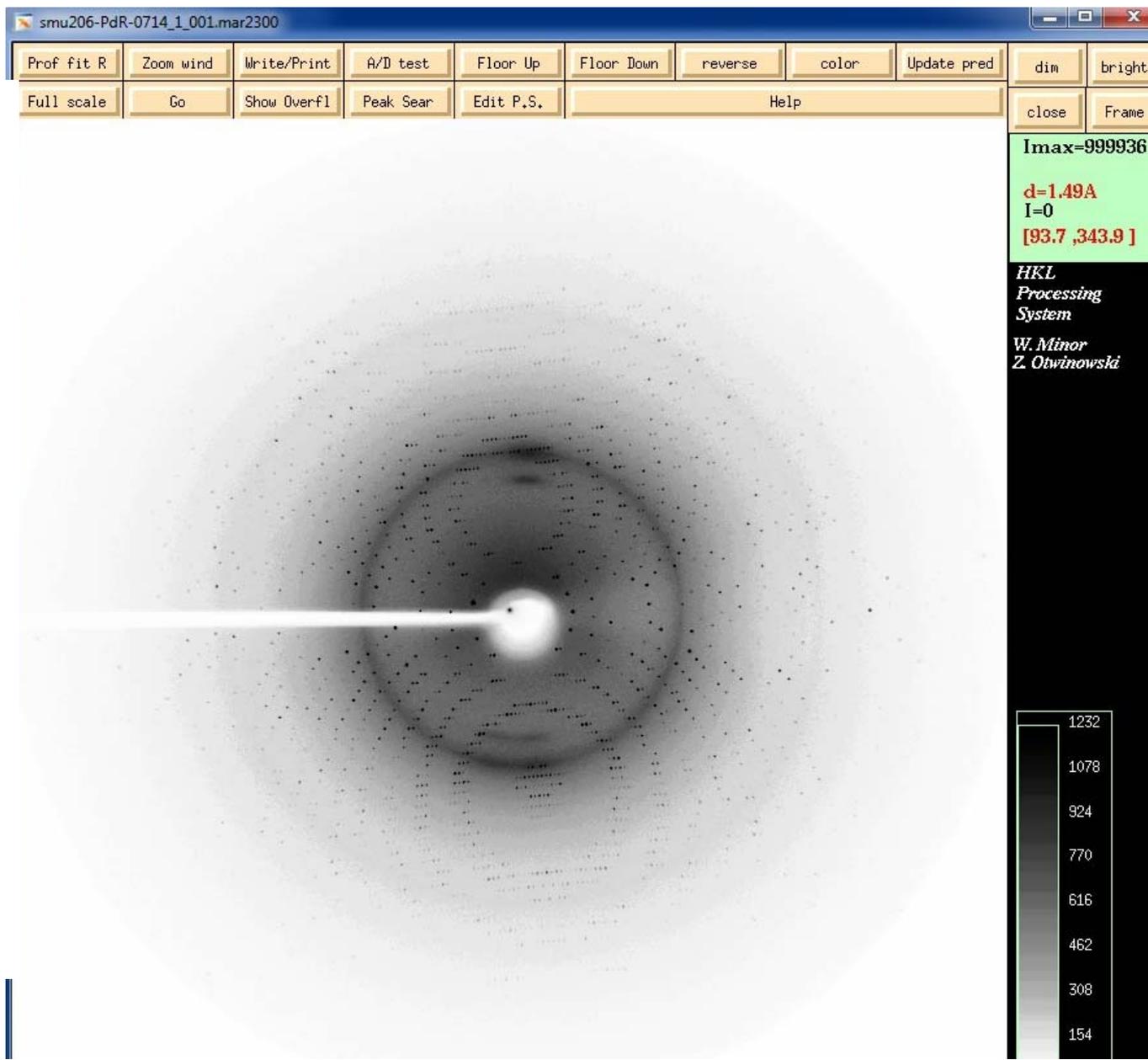
测量原理



同步辐射
兼用光模式测量

同步辐射衍射测量

- 同步辐射衍射图谱
- CCD二维探测器
- 有效面积 120mm^2
- 样品类型：单晶
- 100K干燥冷却
- X能量：8keV
- 样品厚度： $\sim 100\ \mu\text{m}$
- 样品大小 $\phi 200\ \mu\text{m}$
- 单点最高计数：<3500
- 单点最低计数：>100
- 衍射环：样品外围冰
- 衍射斑：单晶样品
- 获取时间： $\sim 5\text{min}/\text{帧}$
- 无法分帧取谱



同步辐射衍射测量

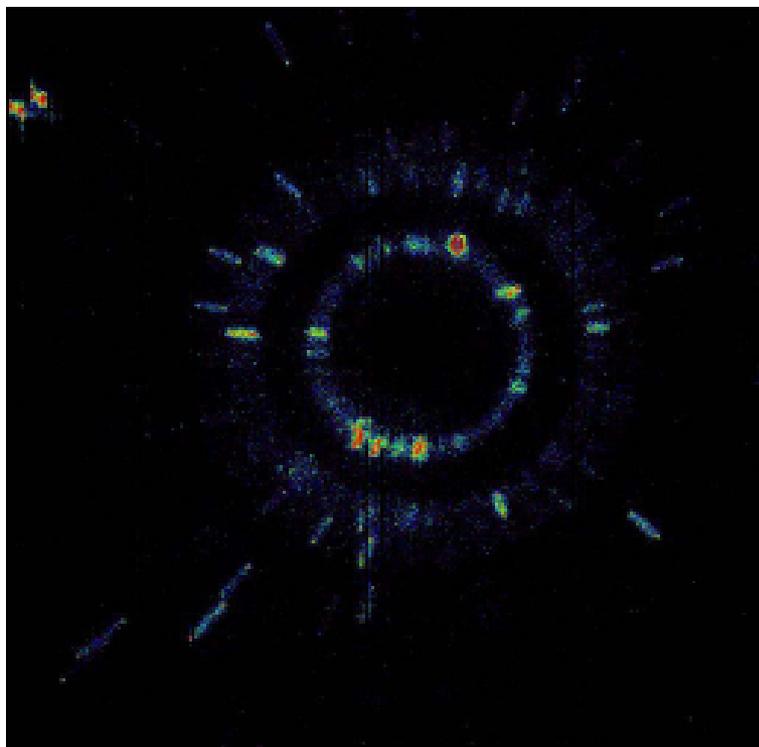


图 2. 单晶硅粉衍射结果 @8keV

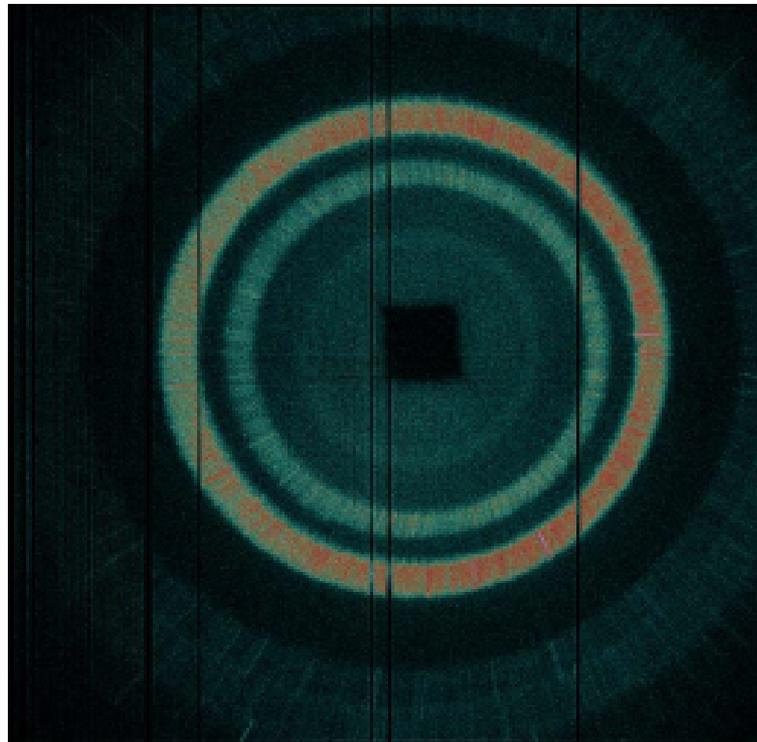
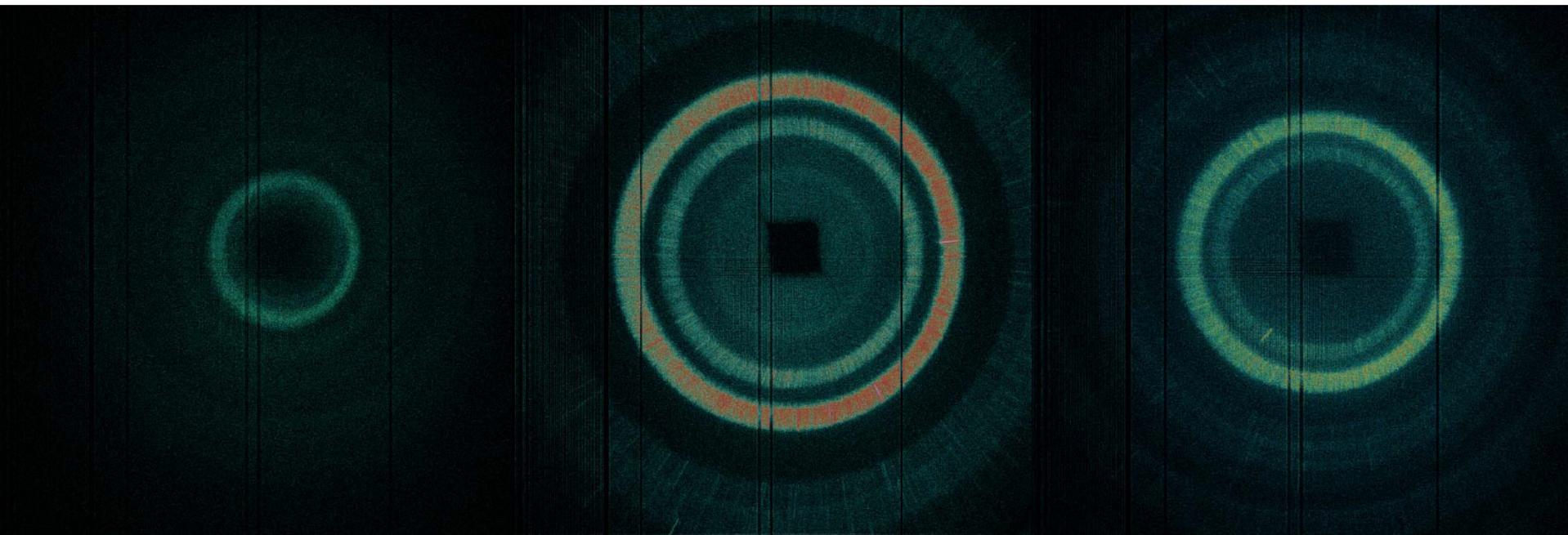


图 3. 二氧化硅晶粉衍射结果 @8keV

- 样品制备方法需要进一步改进
- 样品厚度太厚

同步辐射衍射测量



6keV

8keV

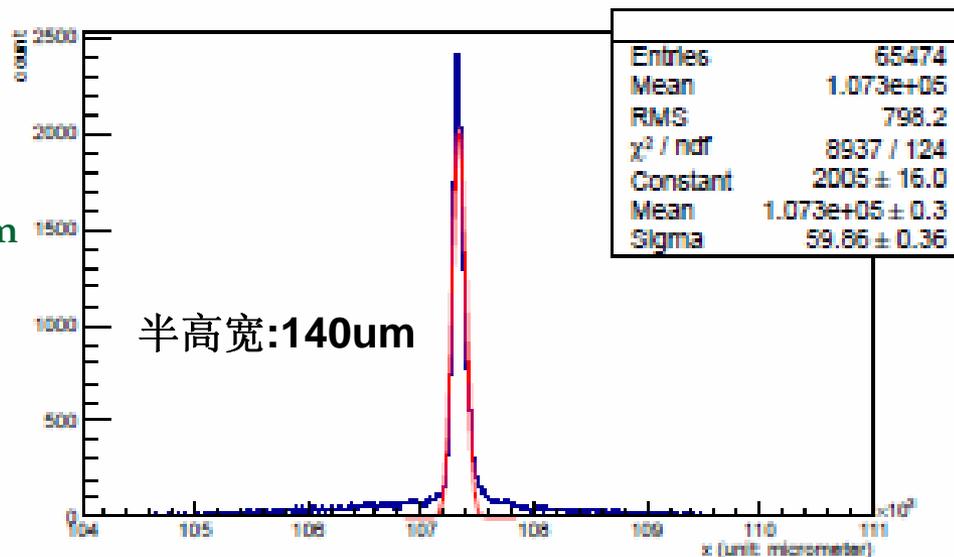
10keV

同步辐射衍射测量



同步辐射测量条件及结果

- X射线能量8keV
- 步进电机控制不锈钢狭缝宽度0.01mm
- 狭缝长度40mm
- 不锈钢厚度20mm
- 分辨率：半高宽140um
- 重心法计算



主要问题

- 需要解决的问题1： 触发模式的改变？
 - 由公共触发模式改为自触发模式
 - 公共触发模式，分布电容太大2300pF
- 需要解决的问题2： 计数率的提高？
 - 传统快脉冲电子学系统突破在线取数1MHz，有一定困难
 - 后端电子学需要集成
 - 便于并可以应用于同步辐射测量
- 需要解决的问题3： 对于同步辐射能量范围的适应？
 - 面对大于10keV的X射线，可考虑Xe气
 - 高气压模式

小结

- 介绍了704路条形读出2D GEM探测器的设计及研制进展情况
- 优化了探测器的组装和设计工艺
- 在实验室X光机的条件下测量了探测器的部分成像结果
- 利用同步辐射光测量了探测器单晶及粉晶衍射图谱，测量了不同能量的探测器响应和位置分辨率
- 分析了探测器面临的不足和计划的解决方案

谢谢各位老师！
