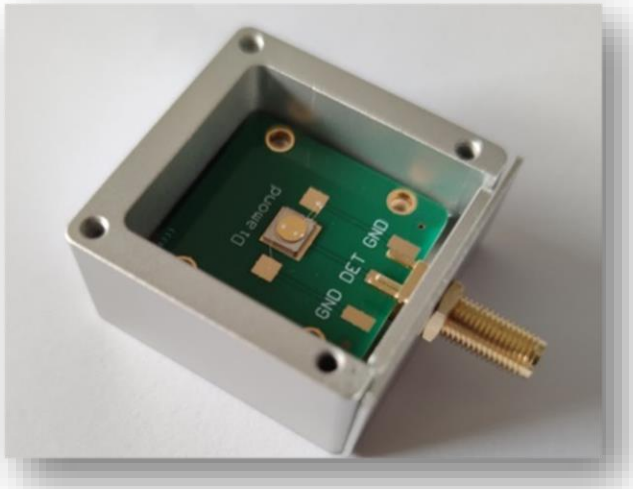
金刚石白光中子源探测结果

牛梦臣

SNS
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

- 金刚石表征
- 金刚石探测器在白光中子实验终端中的测试
- 总结与展望

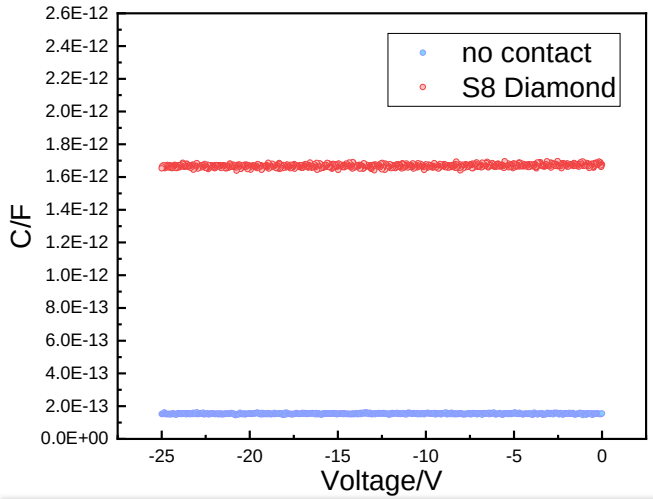
I-V测试、C-V测试



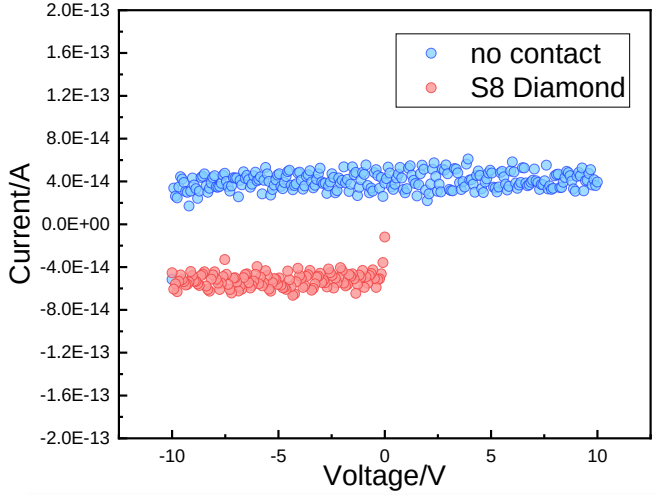
国产金刚石探测器封装图片



Keithley B1500A Semiconductor Device Parameter Analyzer



国产金刚石S8的C-V测试



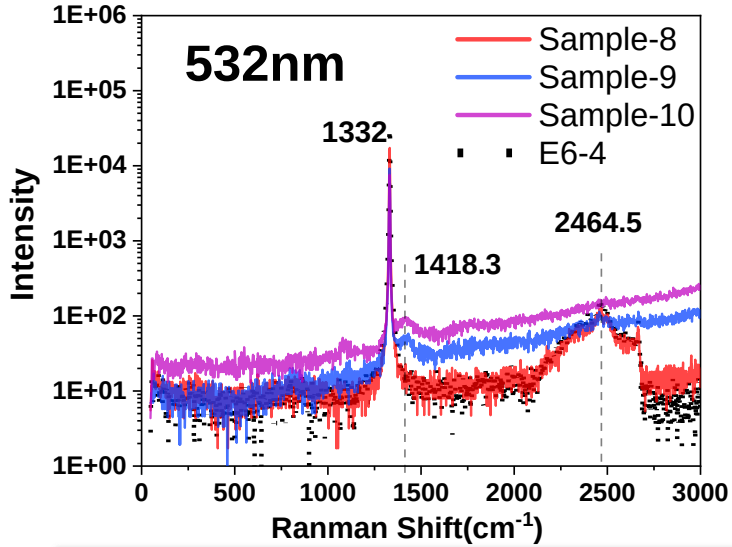
国产金刚石S8的I-V测试结果

- 极低的暗电流
- 非常小的电容

拉曼光谱测试



inVia Qontor confocal Raman microscope



样品8与E6金刚石在532nm下的拉曼光谱

Raman散射是一种对金刚石样品表征的重要方法，是评估金刚石内部C原子成键状态及单晶质量的有效手段。对金刚石而言，其最主要的sp^3键（C-C单键）一级特征峰出现在1332cm^{-1}处，特征峰半峰全宽(FWHM)的大小会随着金刚石内部晶粒尺寸、结晶度、缺陷杂质及非晶碳相的状况的变化而变化。Raman 谱背底的抬高则是由杂质引起的荧光效应导致，背底越不平坦，说明金刚石薄膜的杂质含量越高。

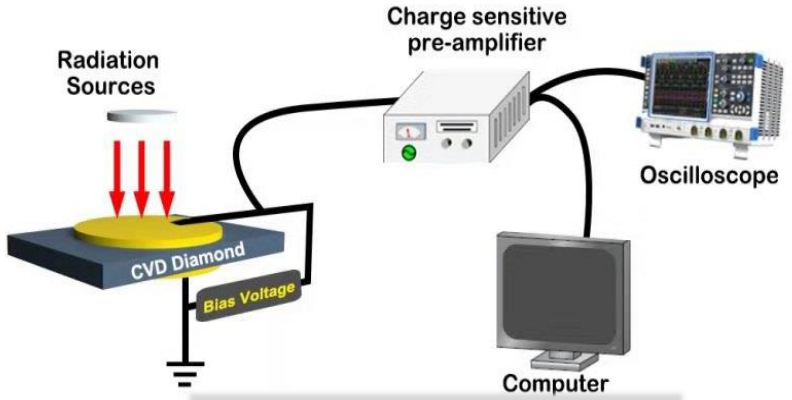
金刚石样品在不同波长下拉曼光谱中主峰（1332cm^{-1}）的半峰宽

FWHM	325nm	532nm	633nm	785nm
E6-4	10.9	3.6	2.9	3.0
Sample8	10.8	3.7	2.7	3.0
Sample9	11.1	3.5	2.9	3.0
Sample10	10.9	4.0	2.8	3.0

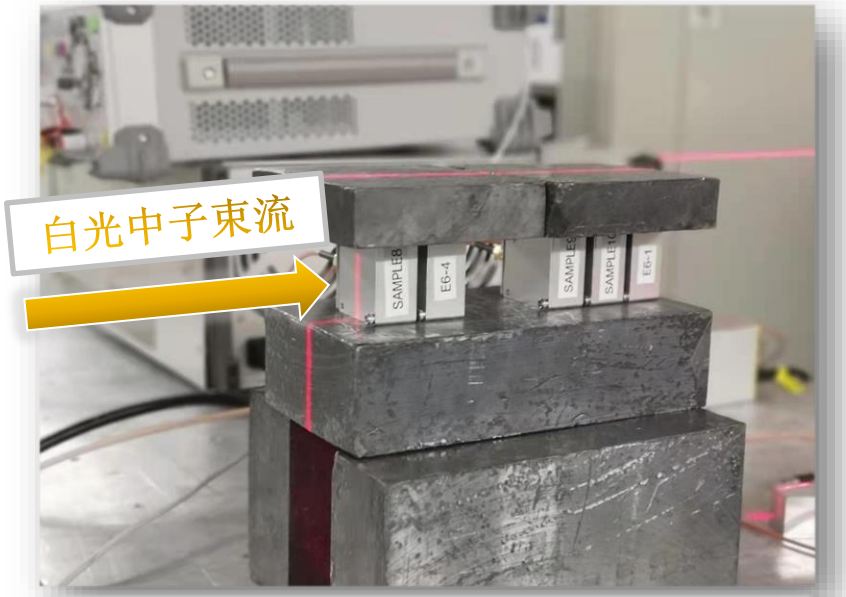
- **S8样品与E6表征结果差距很小，单晶质量较高**
- **S9和S10有较高的荧光背底，在1418.3处应该为sp2无定型碳所致，金刚石质量相对较差**

金刚石探测器尺寸参数

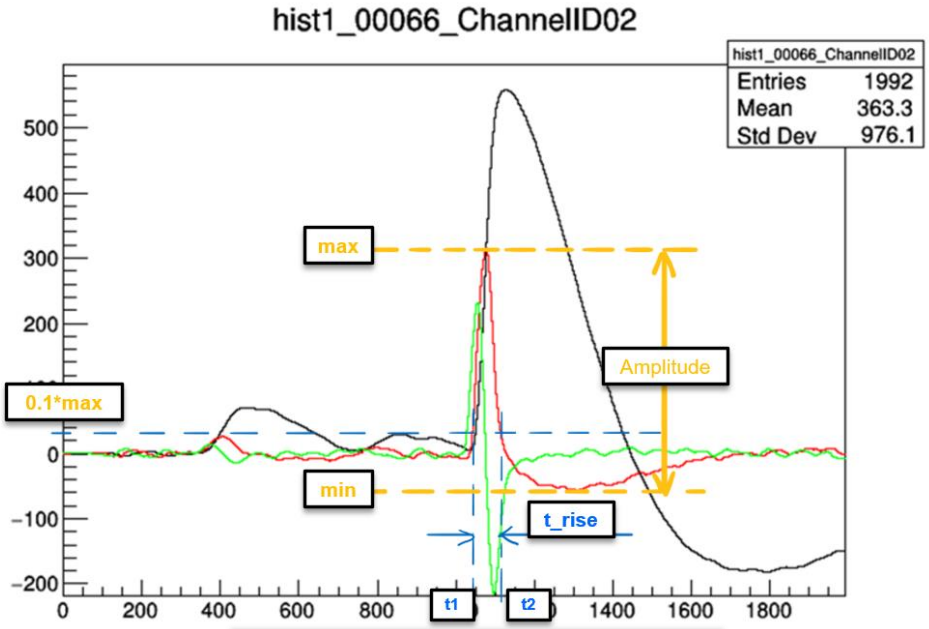
样品	尺寸/mm²	厚度/um
E6金刚石E6-4	4.6x4.6	~550
国产金刚石S8	5.6x5.5	~640
国产金刚石S9	5.1x4.8	~610
国产金刚石S10	5.4x4.1	~740



金刚石测试实验示意图



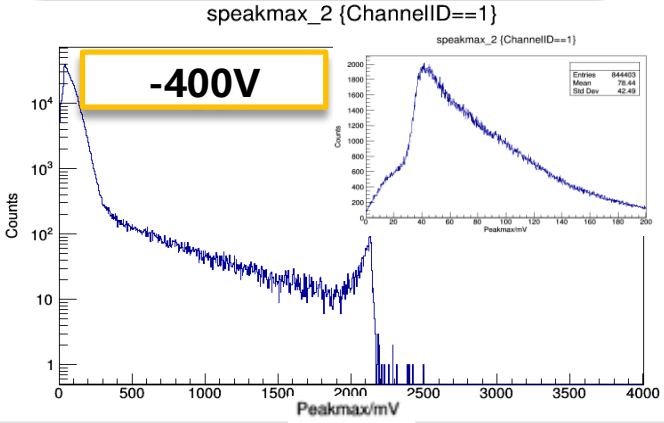
金刚石探测器双束团白光中子束流测试图片



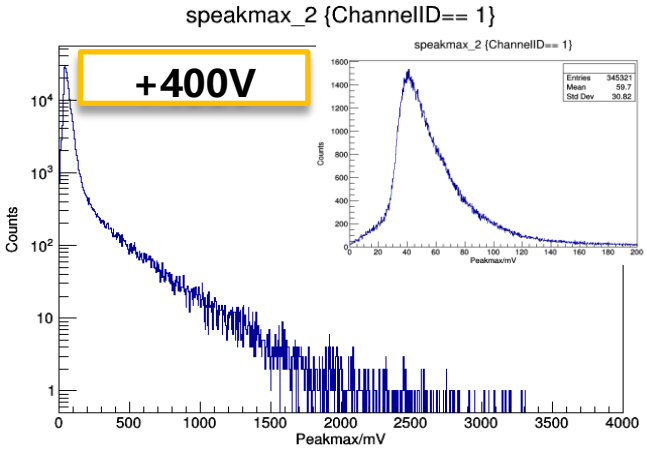
典型信号波形及信息提取

信号幅值累积谱（能谱）

国产S8金刚石探测器

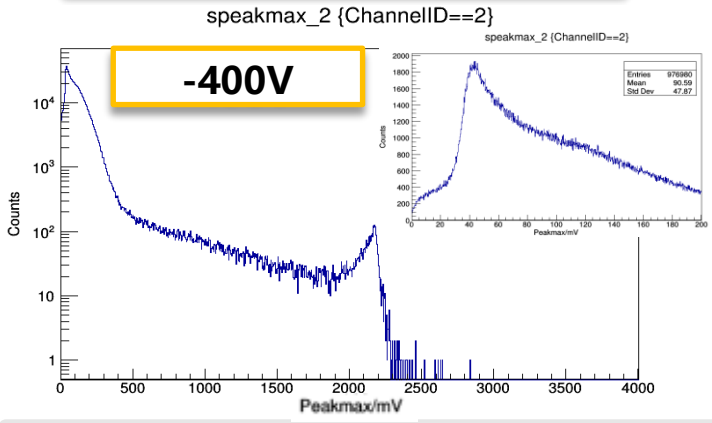


S8样品-400V下的能谱（插图为0-500mV放大图）

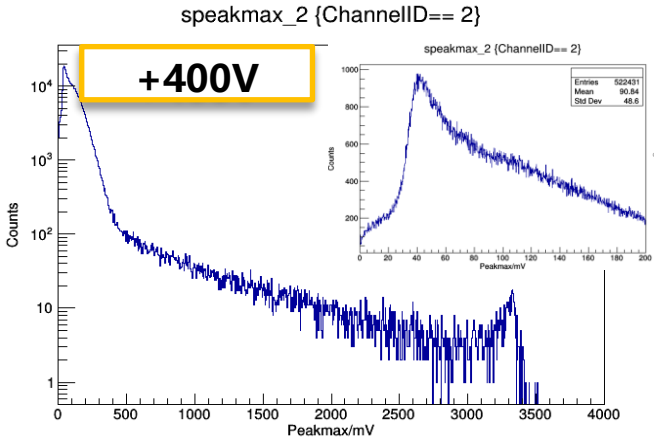


S8样品+400V下的能谱（插图为0-500mV放大图）

E6金刚石探测器



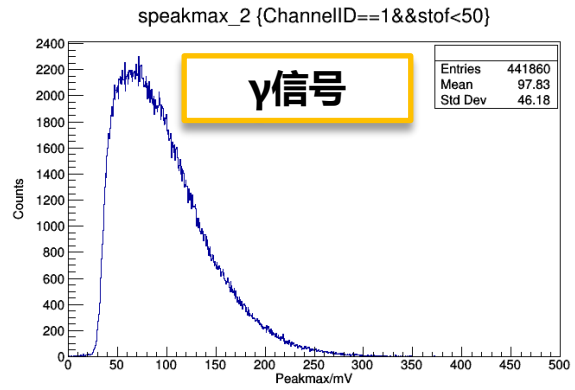
E6样品-400V下的能谱（插图为0-500mV放大图）



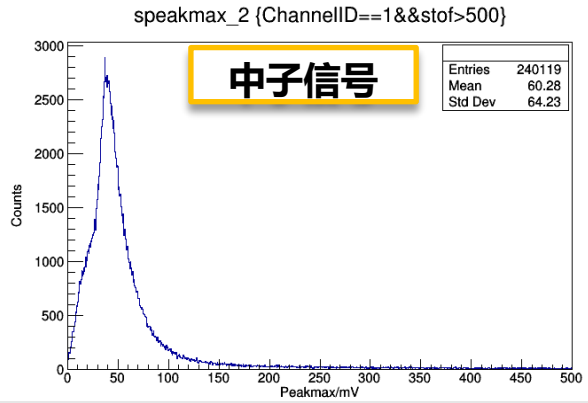
E6样品+400V下的能谱（插图为0-500mV放大图）

- S8样品与E6在-400V下能谱表现结果相似，+400V下差距较大
- E6样品正负偏压下趋势相近，饱和幅值有较大差距；S8样品正负偏压下结果相差明显

国产S8金刚石探测器

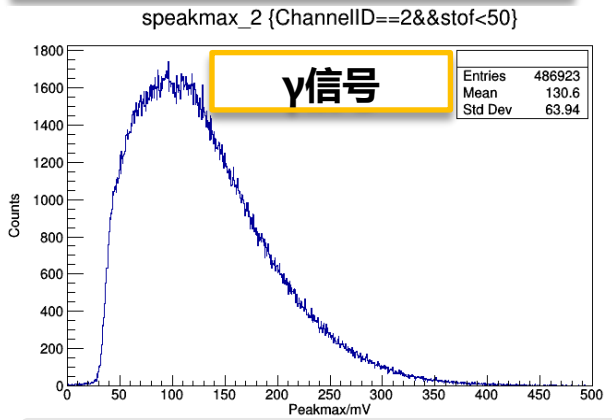


S8样品-400V下γ信号（tof<50ns）能谱

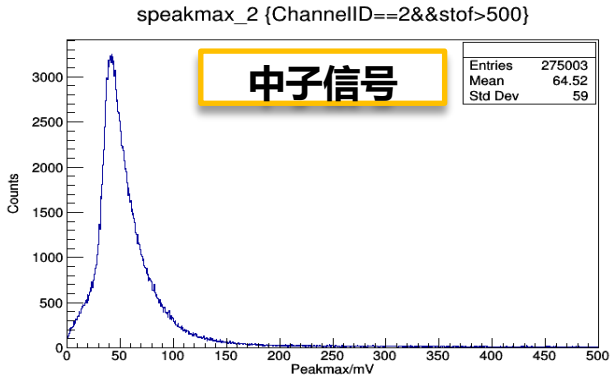


S8样品-400V下中子信号（tof>500ns）能谱

E6金刚石探测器



E6样品-400V下γ信号（tof<50ns）能谱

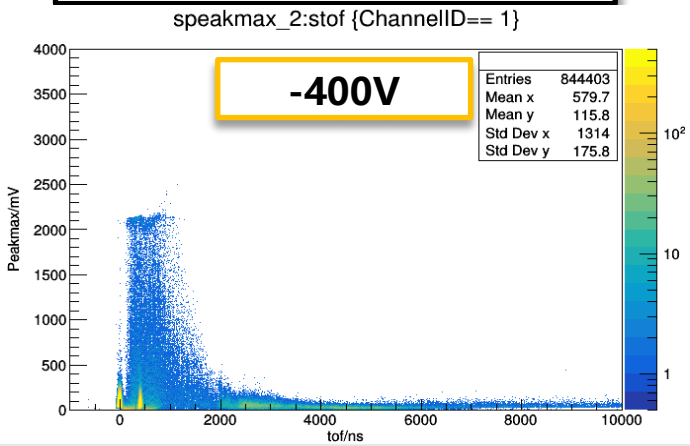


E6样品-400V下中子信号（tof>500ns）能谱

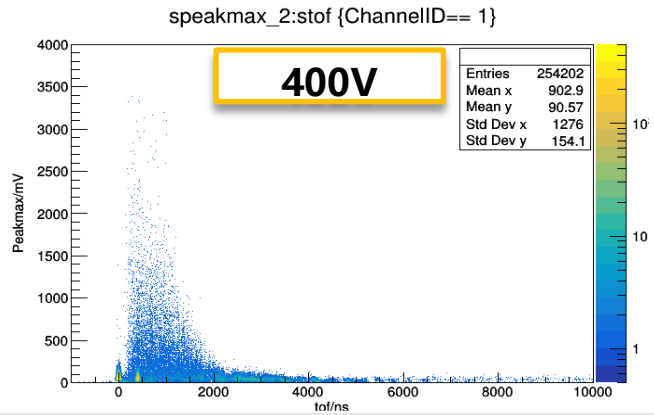
- 通过飞行时间的筛选进行粒子的筛选，γ信号幅值相比中子信号幅值偏高，半峰宽较宽
- 后续通过对不同偏压的下γ信号、中子信号的幅值及半峰宽进行提取并横向对比，判别性能

幅值：飞行时间二维谱

国产S8金刚石探测器

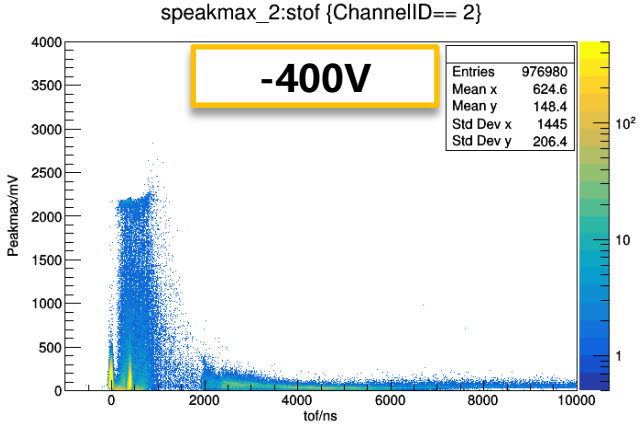


S8样品-400V下的信号幅值:飞行时间二维谱（局部）

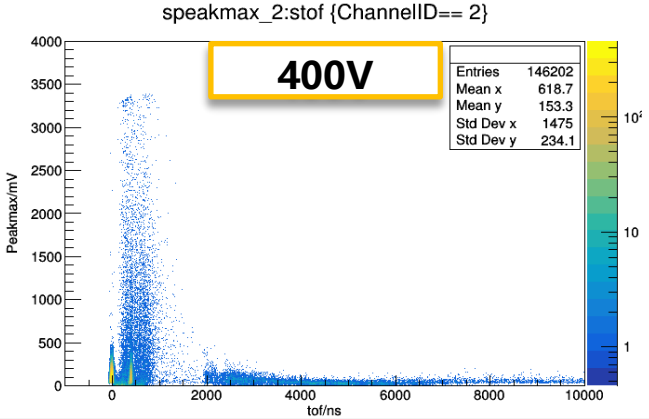


S8样品+400V下的信号幅值:飞行时间二维谱（局部）

E6金刚石探测器



E6样品-400V下的信号幅值:飞行时间二维谱（局部）

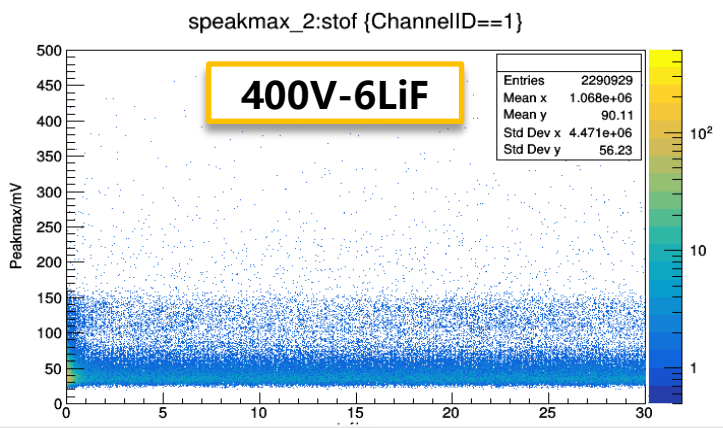


E6样品+400V下的信号幅值:飞行时间二维谱（局部）

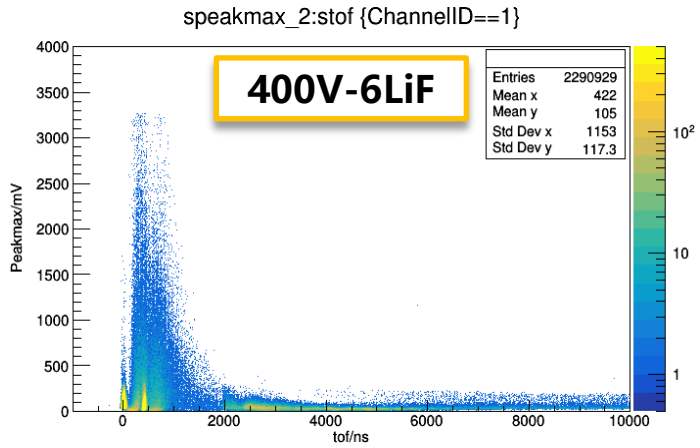
- **-400V下S8与E6的peakmax:tof二维谱差距较小，能明显看到两团γ flash，整体可看出两团中子的叠加**
- **S8样品正负偏压下差距较大，可能与信号饱和相关，后续进行排查**

幅值：飞行时间二维谱 ——添加转换层

国产S8金刚石探测器

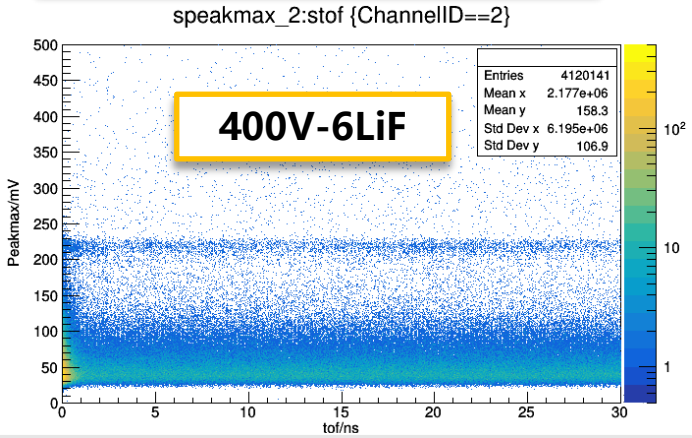


S8样品400V-6LiF下的信号幅值:飞行时间二维谱

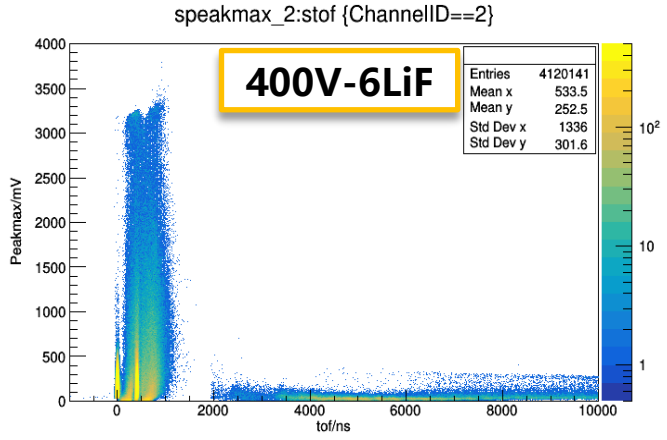


S8样品400V-6LiF下的信号幅值:飞行时间二维谱（局部）

E6金刚石探测器



E6样品400V-6LiF下的信号幅值:飞行时间二维谱



E6样品400V-6LiF下的信号幅值:飞行时间二维谱（局部）

- E6可较清晰看出氚粒子的带子，α粒子的信号与中子信号重合难以分辨
- +400V下国产S8样品性能与E6相差较大，后续计划再进行-400V下的响应测试

总结与展望

- **国产金刚石单晶具有较好的质量，探测器具有较好的中子探测能力，但与国际先进的Element Six金刚石单晶相比仍有一定差距**
  - 国产金刚石可以达到非常低的暗电流（约60fA），并具有很低的电容（约1.7pF）；
  - 国产金刚石单晶可以达到非常好的晶体质量，与国际先进水平Element Six的金刚石单晶的拉曼光谱结果十分相近，具有非常低的荧光本底；
  - 在中国散裂中子源的白光中子实验终端上进行了直接测试与间接测试（添加6LiF转换层），均可以对中子产生较好的响应信号，表明可用于中子探测；
  - 在幅度：飞行时间二维谱中可以明显观察到有两团相距400ns（散裂中子源的两次打靶时间差）的γ flash信号，因此可以进行散裂中子源中的打靶时间监测；
  - 在添加6LiF转换层后的幅度：飞行时间二维谱中，可以明显看到Element Six的金刚石器件可以看到一条明显的氚粒子事件带，表明探测器可以用于白光中子实验终端上的氚粒子探测，具有在γ flash、中子中鉴别氚粒子的能力；而国产金刚石在正偏压下难以对氚进行鉴别；
- 下一步工作
  - 完善数据分析，将饱和信号进行拟合处理；
  - 针对探测器的正负偏压下性能差距情况，进行标准α源测试，观察分析不同偏压下探测器性能的影响、载流子的输运变化等，找出最佳工作条件进行中子束流实验；
  - 最重要的是如何提高国产金刚石探测器性能，包括金刚石单晶的选择及切割、探测器结构的设计、极化效应的表征与削弱等；
  - 将单束团实验结果进行分析，对双束团结果解谱，观察解谱效果，找到合适解谱方式，同时对于单束团实验利用飞行时间进行能量筛选观察不同能量中子响应。

谢 谢 !