

## 一、概述



钝化离子注入平面硅PIPS探测器是现代半导体工艺产品，在大多数应用中，这种探测器已经取代了硅表面位垒探测器(SSB)和扩散结型探测器(DJ)。钝化离子注入平面硅PIPS探测器采用平面半导体制造工艺，利用光刻技术确定探测器的几何形状。通过离子注入方式精确控制接触面(入射窗)和触点的形成，以及精确控制氧化物钝化，使其具有更薄的入射窗和更低的漏电流。

## 二、PIPS探测器优势

PIPS探测器与硅表面位垒探测器(SSB)和扩散结型探测器(DJ)类型相比，PIPS探测器具有很多优势

- ▶ 1 ..... 所有结构边缘均埋置在内部，不需要使用环氧封边剂
- ▶ 2 ..... 连接触点通过离子注入精确形成，可以获得更好的能量分辨率，且更薄
- ▶ 3 ..... 入射窗坚固耐用，可方便清洗擦拭
- ▶ 4 ..... 漏电流一般为硅表面位垒探测器(SSB)和扩散结型探测器(DJ)的1/8到1/100
- ▶ 5 ..... 入射窗(死层)厚度小于相应的硅表面位垒探测器(SSB)或扩散结型探测器(DJ)
- ▶ 6 ..... 标准探测器可烘烤至100°C

硅表面位垒探测器(SSB)的原始结边是环氧树脂密封的，以达到某种程度的稳定性，而PIPS探测器的结构边缘都埋在探测器内部。

## 三、通过改变封装结构有三个主要优点

- ▶ 1 ..... PIPS探测器的稳定性不依赖于环氧密封胶
- ▶ 2 ..... 微等离子体击穿的风险很小，不会对PIPS探测器造成影响
- ▶ 3 ..... 漏电流比硅表面位垒探测器(SSB)或扩散结型探测器(DJ)小的多

通过离子注入方式形成PIPS探测器的接触面(入射窗)，可以最小化窗口厚度，同时保持接触面的坚固性、可靠性和稳定性。使得PIPS探测器的窗口比传统的SSB薄很多。这种薄窗可以提高Alpha测量的能量分辨率，在近距离探测Alpha源时表现出更大的改善。这是因为Alpha很容易被阻挡，在接近探测器的情况下，峰值展宽是由于Alpha射线在入射窗口会发生部分能量损失，然后再进入探测器的灵敏体积，导致测量到的Alpha能量发生变化。更薄的入射窗，能量损失更少。

另外PIPS探测器不像硅表面位垒探测器(SSB)那样依赖于易蒸发的金属触点，而是依赖于钝化的植入表面，因此可以用手触摸，并可以用沾有异丙醇的棉球清洗。使开发应用更加简单，硅表面位垒探测器(SSB)和扩散结型探测器(DJ)从分辨率或入射窗口厚度上无法与PIPS探测器相比。

## 一、概述



钝化离子注入平面硅(PIPS)探测器, 主要应用于Alpha光谱仪, 具有可靠、坚固、稳定、低噪声、高分辨率和高探测效率的优点。EP-FD系列PIPS探测器是一种高分辨率、高灵敏度和低背景的Alpha探测器。为了确保高分辨率, Alpha射线在灵敏体积的能量沉积必须最大化。由于带电粒子与探测器入射窗的材料相互作用时, 会导致部分能量损失, 从而导致灵敏体积内的沉积的能量与Alpha射线的能量有偏差。探测器表面的可以薄窗减少能量在入窗口的损失。此外, 低水平的漏电流可以降低电子噪声的贡献。这两个属性的具备才会拥有高的能量分辨率。高能量分辨率就代表了高灵敏度, 能够测量更低能量的 $\alpha$ 射线。低背景可以通过精心挑选封装材料、清洁的制造和测试来实现。

## 二、PIPS技术的特点

- ▶ 1 ..... 离子注入结的连接
- ▶ 2 ..... SiO<sub>2</sub>表面钝化
- ▶ 3 ..... 低漏电流
- ▶ 4 ..... 低噪声
- ▶ 5 ..... 极薄入射窗(≤500Å等效硅)
- ▶ 6 ..... 坚固的表面(可擦拭)
- ▶ 7 ..... 耐高温烘烤(100°C)

## 三、工作原理

在测量过程中, 粒子在耗尽区内被吸收, 产生电子-空穴对。形成单个电子-空穴对所需的能量取决于探测器材料, 本质上与入射粒子的能量无关。因此, 产生电子-空穴对的数量与粒子的能量成正比。耗尽区的电场使电子和空穴被两个电极收集。从而电荷收集电极上会产生电流脉冲, 并通过电荷敏感的前置放大器进行放大。

耗尽区的厚度取决于施加的偏置电压, 更高的偏置电压可以得到更厚的耗尽层, 并能够探测到更多的高能粒子。

## 四、FD型PIPS广泛应用于不同的科学研究

- ▶ 1 ..... 放射性化学分析
- ▶ 2 ..... 环境研究与监测
- ▶ 4 ..... 通过发射铀系元素的离线探测对核场址进行检测
- ▶ 5 ..... 地质与地貌研究

## 五、FD型PIPS探测器的探测器规格和工作特性

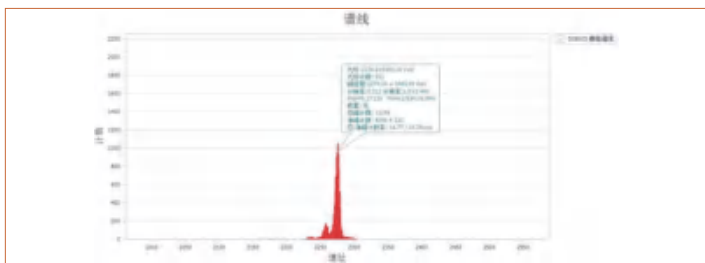
但需注意, 可获得的分辨率不仅取决于探测器, 还取决于外部因素, 如源准备、操作压力、源至探测器的距离等, 特别是前置放大器或光谱仪的整体性能。在较低的偏置电压和电阻率下, 探测器会部分耗尽。PIPS探测器的最小耗尽深度为300微米。这足以吸收高达30MeV的粒子, 涵盖所有Alpha放射性核素的全部范围。表1显示了FD型PIPS探测器的探测器规格和工作特性。

表1 FD型PIPS探测器的探测器规格和工作特性

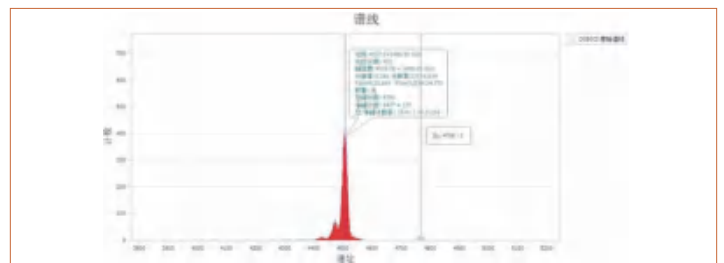
类型	EP-300FD	EP-450FD	EP-600FD	EP-900FD	EP-1200FD	EP-2000FD
有效面积(mm <sup>2</sup> )	314	475	600	940	1240	2000
有效直径(mm)	20	24.6	27.6	34.6	39.8	50.5
厚度(最小/最大)	300/500 μm					
偏置电压(最小/最大)	20/90 V					
偏置电压(推荐值)	30/70V					
工作温度(最小/最大)	-40/+40 °C					
储存温度(最大)	+100 °C					
20°C漏电流(典型/最大)	15/40 nA	20/40 nA	30/50 nA	40/70 nA	40/70 nA	70/100 nA
能量分辨率keV(FWHM)	18	20	25	25	35	40

1、分辨率是<sup>241</sup>Am@5.486MeV，源距离探测器等效直径测量。 2、Beta分辨率通常比Alpha分辨率低5keV，近似于脉冲线宽。 3、放射源直径25mm。

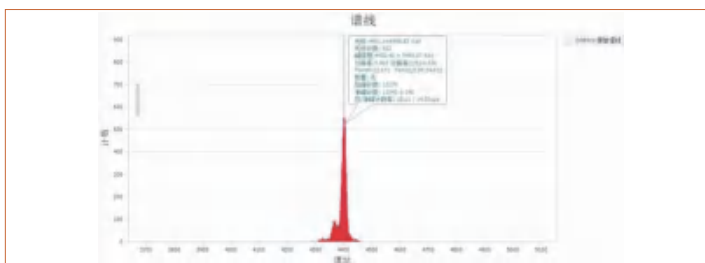
## 六、应用测试



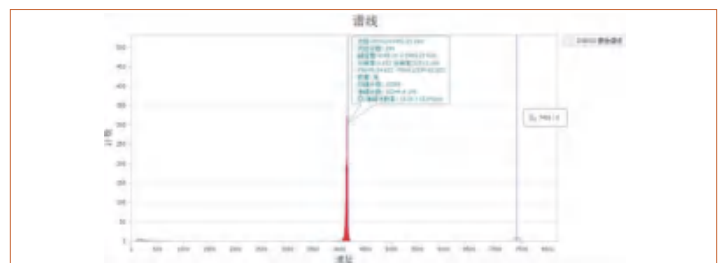
FD25实测Alpha@<sup>241</sup>Am分辨率：17keV



FD28实测Alpha@<sup>241</sup>Am分辨率：20keV



FD35实测Alpha@<sup>241</sup>Am分辨率：22keV



FD50实测Alpha@<sup>241</sup>Am分辨率：34keV

## 七、污染影响和稳定性的因素

Alpha测量系统使用旋转叶片真空泵抽取真空。当真空系统中建立了静态条件（已达到极限压力），并且没有大量的气体流向泵时，油颗粒可能回流到光谱仪并沉积在探测器和源表面。如果真空泵关闭，光谱仪通过连接两个泵的气管将空气向后吸入，同样的情况也会发生。出于这个原因，建议在泵和光谱仪的管道之间使用回流过滤器，或者使用干泵来防止油污染。

### 长期稳定性

环境对探测器的影响会影响探测器的长期稳定性。金硅面垒型探测器探测器有时会因长时间暴露在室内大气中而失效，有时在高真空下长时间操作时也会失效。这种不稳定性是由这种类型的探测器所需的环氧树脂边缘封装引起的。PIPS探测器的结埋硅体中。不需要使用环氧树脂封装，因此PIPS探测器具有内在的长期稳定性。

## 一、概述



EP-TCAM系列PIPS探测器是一种用于恶劣条件下进行连续空气监测的PIPS探测器，是标准CAM探测器的加强版。EP-TCAM系列探测器在有表面厚铝层的条件下，通过微纳加工一层厚度可控的惰性涂层。该涂层提供优异的耐酸性和不易划伤特性。它比传统铝层更薄，减少了粒子闪射等情况发生。适合用于海上应用或堆栈应用等恶劣条件下的测量。对核设施安全的日益增长的要求，要求对核设施内部和周围的空气中放射性粒子进行持续的检测，而潜在的核事故则要求在全世界范围内监测大气层。无论是即时还是随着时间的积累，Alpha和Beta的含量需始终低于规定的限制。为了更好的选择空气连续监测系统，应了解探测器对系统性能的影响。对于过滤器样品的离线测量，在一定条件下可以使用标准的PIPS探测器。然而，在线测量需要EP-TCAM系列PIPS探测器的特性，特别是：不透光性、防潮性和防腐蚀性。

## 二、EP-TCAM系列探测器的一般特性

- ▶ 1 ..... 可在可见光环境下操作
- ▶ 2 ..... 耐腐蚀(T层隔离保护)
- ▶ 3 ..... 防潮(钝化保护)
- ▶ 4 ..... 偏置电压低(最高70V)
- ▶ 5 ..... Alpha和Beta能量区分明显
- ▶ 6 ..... 使用温度范围宽(-40~+50°C)
- ▶ 7 ..... 漏电流小
- ▶ 8 ..... 高灵敏度(耗尽厚度500μm)

## 三、EP-TCAM系列PIPS探测器的特殊特性

EP-TCAM系列PIPS探测器专为连续空气监测而设计，由于特殊的铝和惰性涂层，它不透光，耐腐蚀。

硅探测器基本上是对光敏感的。对于Alpha光谱仪和低本底Alpha、Beta测量仪，这通常可以忽略，因为放射源和探测器都放置在同一个不透光的腔室中。然而，在连续空气监测中，探测器没有腔室的保护，光线在某些情况下可能到达探测器。EP-TCAM系列PIPS探测器的前表面有一层铝涂层，可以阻挡光线。此外，由于连续空气监测的性质，探测器经常用于充满腐蚀性气体的潮湿或灰尘等大气环境中。为了延长其使用寿命，EP-TCAM系列PIPS探测器覆盖了一层惰性涂层，提供耐磨损，溶剂和腐蚀的机械和化学抗性。该涂层对应于约0.5μm硅当量的补充吸收层。EP-TCAM系列探测器的入口窗口比FD型PIPS探测器的入口窗口要厚得多，这导致真空中的alpha分辨率大约是类似大小的FD型PIPS探测器的两倍。但我们必须考虑到在过滤器和探测器之间的空气间隔以及过滤器和源本身的阿尔法粒子的能量散射和自吸收，这使得探测器入口窗口中的散射相对不重要。

在正常的连续空气测量中，由于源和探测器之间的空气间隔而不会造成效率损失。典型的5MeV的Alpha粒子在空气中的活动范围是几厘米，而空气间隔通常<1厘米。当源至探测器距离为5mm时，不同面积的EP-TCAM系列探测器的几何效率随源直径的变化关系不大，无论选择什么直径的源，大面积探测器的效率都要高得多。（放射源的直径不应超过探测器的直径）。

计数的总和与几何效率跟沉积在过滤器上的总活度成正比。后者取决于抽速，而抽速又受到通过过滤器的压降的限制。压降本身随泵送的速度成正比，随过滤器直径的平方成反比。因此，一个大的检测器允许使用更大的过滤器和更高的空气流量，以获得相同的压降，因此更大的总活度可以在更短的时间内沉积在过滤器上。

表1显示了EP-TCAM系列PIPS探测器的探测器规格和工作特性。

表1 EP-TCAM系列PIPS探测器的探测器规格和工作特性

型号	EP-300TCAM	EP-450TCAM	EP-600TCAM	EP-900TCAM	EP-1200TCAM	EP-2000TCAM
有效面积(mm <sup>2</sup> )	314	475	600	940	1240	2000
有效直径(mm)	20	24.6	27.6	34.6	39.8	50.5
厚度(最大)	500 μm					
偏置电压(最小/最大)	15/90 V					
偏置电压(推荐值)	70V					
工作温度(最小/最大)	-40/+50 °C					
储存温度(最大)	+100 °C					
20°C漏电流(典型/最大)	15/40 nA	20/40 nA	30/50 nA	40/70 nA	40/70 nA	70/100 nA
α能量分辨率@15-24V (FWHM-keV)	36	38	42	45	55	80
α能量分辨率@70V (FWHM-keV)	34	35	37	40	45	65
β能量分辨率@70V (FWHM-keV)	15	17	20	22	25	37
β阈值@70V	18	20	25	25	30	40
在计算Beta和Gamma效率时需要考虑阈值						
Alpha分辨率为真空环境下的 <sup>241</sup> Am的5.486MeV Alpha, 1μs成形时间常数。						

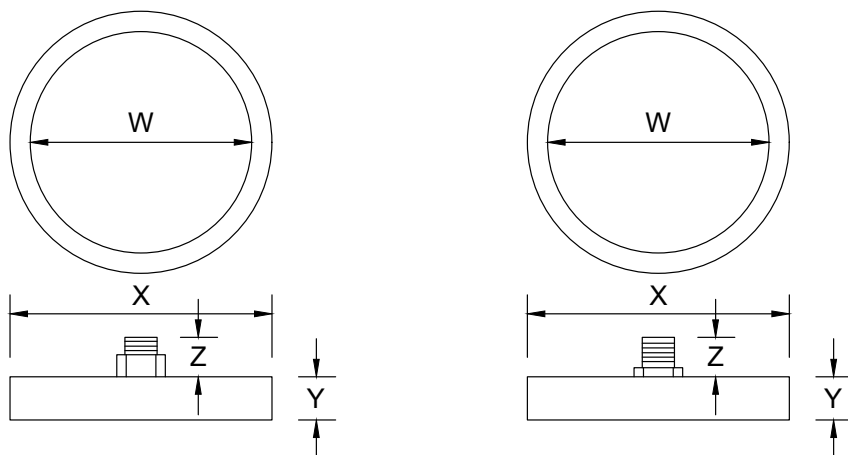
探测器的漏电流与环境温度息息相关。温度每升高5.5~7.5°C，探测器漏电流就会翻一番。由于前置放大器高压偏置电阻是一个噪声贡献来源，因此偏置电阻必须是高阻值的，通常选用100MΩ。PIPS探测器的典型漏电流约为金硅面垒型探测器的1/10。因此，前置放大器中偏置电阻上的电压降要小得多，因此在50°C的温度下不易出现明显峰位偏移。

## 四、安装和尺寸

表2 不同尺寸探测器的安装尺寸(探测器表面距封装外壳表面1.0 mm)

探测器面积 (mm <sup>2</sup> )	W (mm)	Y (mm)	Microdot Z(mm)	SMA Z(mm)	BNC Z(mm)
314	20	12.3	7.2	7.1	18.5
475	24.6	12.3	7.2	7.1	18.5
600	27.6	12.3	7.2	7.1	18.5
940	34.6	12.3	7.2	7.1	18.5
1240	39.8	12.3	7.2	7.1	18.5
2000	50.5	12.3	7.2	7.1	18.5

PIPS探测器的结构和尺寸图



### 一、概述



EP-FDAP、EP-CAMAP前置系列PIPS探测器在封装内部集成了PIPS探测器和低噪声的电荷灵敏前置放大器，该探测器拥有小巧坚固的外壳和精巧的内部设计。其前置放大器可以直接连接到后端设备当中。根据后续仪器的不同，可能需要线性增益放大器。整个探测器功耗非常低，非常适合便携式设备等要求。

### 二、产品应用

- ▶ 1 ..... α、β能谱测量
- ▶ 2 ..... α、β粒子计数
- ▶ 3 ..... 基于α衰变的核素识别与测量
- ▶ 4 ..... 表面沾污仪等

### 三、前置放大器一般规格

- ▶ 工作电压 ..... ±12V
- ▶ 输出信号动态范围 ..... ±10mVmax
- ▶ 信号增益 ..... 150mV/MeV
- ▶ 信号上升时间 ..... <60ns
- ▶ 信噪比 ..... 常温下可实现>100
- ▶ 接头类型 ..... 7芯Lemo接头

### 四、规格和工作特性

表1 EP-FDAP前置系列探测器的规格和工作特性

类型	EP-450FDAP	EP-600FDAP	EP-900FDAP	EP-1200FDAP	EP-2000FDAP
有效面积(mm <sup>2</sup> )	475	600	940	1240	2000
有效直径(mm)	24.6	27.6	34.6	39.8	50.5
阴极高度(mm)	30	30	30	30	30
厚度(最小/最大)	300/500 μm				
偏置电压(最小/最大)	15/90 V				
偏置电压(推荐值)	30/70V				
工作温度(最小/最大)	-40/+40 °C				
储存温度(最大)	+100 °C				
20°C漏电流(典型/最大)	20/40 nA	30/50 nA	40/70 nA	40/70 nA	70/100 nA
α能量分辨率(FWHM-keV)	20	25	25	35	40

1、分辨率是<sup>241</sup>Am@5.486MeV，源距离探测器等效直径测量。 2、Beta分辨率通常比Alpha分辨率低5keV，近似于脉冲线宽。 3、放射源直径25mm。

表2 EP-CAMAP前置系列探测器的规格和工作特性

型号	EP-450CAMAP	EP-600CAMAP	EP-900CAMAP	EP-1200CAMAP	EP-2000CAMAP
有效面积(mm <sup>2</sup> )	475	600	940	1240	2000
有效直径(mm)	24.6	27.6	34.6	39.8	50.5
阴极高度(mm)	30	30	30	30	30
厚度(最大)	500 μm				
偏置电压(最小/最大)	15/90 V				
偏置电压(推荐值)	70V				
工作温度(最小/最大)	-40/+50 °C				
储存温度(最大)	+100 °C				
20°C漏电流(典型/最大)	15/40 nA	20/40 nA	35/50 nA	40/70 nA	70/100 nA
α能量分辨率@15-24V(FWHM-keV)	38	42	45	55	80
α能量分辨率@70V(FWHM-keV)	35	37	40	45	65
β能量分辨率@70V(FWHM-keV)	17	20	22	25	37
β阈值@70V	51	60	66	75	110

在计算Beta和Gamma效率时需要考虑阈值

Alpha分辨率为真空环境下的<sup>241</sup>Am的5.486MeV Alpha，1μs成形时间常数。

### 一、概述



核电站以反应堆核能为动力来源，在事故情况下出现一回路承压边界完整性被破坏发生泄漏时，人工放射性气溶胶将迅速释放到环境大气中造成大气中放射性污染。监测核电站内部大气环境中的放射性气溶胶浓度，可以及时发现核电站反应堆运行事故，对于保证核电站工作人员安全。EP-CAMA系列反符合PIPS探测器由2个平行放置的PIPS探测器组成，前端PIPS探测器测量气溶胶粒子发射的 $\alpha, \beta$ 射线及环境与气溶胶粒子的Gama射线，后端PIPS探测器测量环境与气溶胶粒子的Gama射线。2个探测器的测量数据经过专门的算法处理后就得到放射性气溶胶的比活度。因此，基于新型PIPS半导体探测器设计开发的反符合PIPS探测器从其性能特点出发非常适合于放射性气溶胶的测量。

由于天然放射性气溶胶的存在，因此放射性气溶胶测量中天然放射性气溶胶氡钍及其衰变子体的准确测量和剔除技术是非常关键的，也是技术难点。

天然本底中的 $\gamma$ 射线及放射性气溶胶发射的 $\gamma$ 射线在一定程度上也影响了放射性气溶胶测量的准确度，也需要测量和剔除。国际上很多放射性气溶胶探测器由于其设计原理或者算法的缺陷导致对天然放射性气溶胶氡钍及其衰变子体和 $\gamma$ 射线不能准确测量和剔除，在使用过程中经常出现测量结果不准确或者天然放射性干扰造成的误报警事件，严重影响设备的正常使用，大大削弱了其准确测量能力。新型PIPS探测器是离子掺杂形成的PN结型半导体探测器，其灵敏区很薄，对Gama射线不灵敏，输出脉冲信号快，能置分辨率高，非常适合于测量 $\alpha$ 和 $\beta$ 放射性的场合。基于新型PIPS半导体探测器设计的反符合PIPS探测器具有高效的能谱测量能力，能实时测量放射性气溶胶样品的能谱，可利用专门的剥谱算法对能谱进行处理，实时剥离出天然放射性氡、钍及其子体本底的成分，去除天然放射性干扰。从而得到准确度高的人工放射性气溶胶浓度。

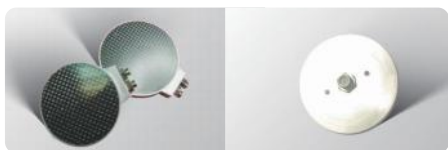
### 二、规格和工作特性

表1 EP-CAMA系列反符合PIPS探测器的探测器规格和工作特性。

型号	EP-300CAMA	EP-450CAMA	EP-600CAMA	EP-900CAMA	EP-1200CAMA	EP-2000CAMA
探测器活性面积(mm <sup>2</sup> )	310	470	600	940	1240	2000
探测器总面积(mm <sup>2</sup> )	620	940	1200	1880	2480	4000
探测器有效直径 (mm)	20	24.6	27.6	34.6	39.8	50.5
探测器外形直径 (mm)	30.8	36	41	48.5	55	66.5
探测器阴极高度 (mm)	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1
厚度(最大)	500 $\mu$ m					
偏置电压(最小/最大)	15/90 V					
偏置电压(推荐值)	70V					
工作温度(最小/最大)	-40/+50 $^{\circ}$ C					
储存温度(最大)	+100 $^{\circ}$ C					
接头类型	SMA					
20 $^{\circ}$ C漏电流(典型/最大)	15/40 nA	20/40 nA	35/50 nA	40/70 nA	40/70 nA	70/100 nA
$\alpha$ 能量分辨率@70V(FWHM-keV)	34	35	37	40	45	65
$\beta$ 能量分辨率@70V(FWHM-keV)	15	17	20	22	25	37
$\beta$ 阈值@70V	45	51	60	66	75	110
在计算Beta和Gamma效率时需要考虑阈值						
Alpha分辨率为真空环境下的 <sup>241</sup> Am的5.486MeV Alpha, 1 $\mu$ s成形时间常数。						

### 三、定制型PIPS探测器

除常规标准各型号探测器以外，我们还可以根据用户的实际使用需求提供最合适价格的定制服务，其中包括大面积探测器、阵列探测器以及特殊结构探测器。



● 图1 样品图1



● 图2 样品图2



● 图3 样品图3



● 图4 样品图4



● 图5 样品图5