

PILATUS 3 X CdTe

为硬X射线应用设计的探测器



同步辐射光源

实验室与工业客户

定制方案

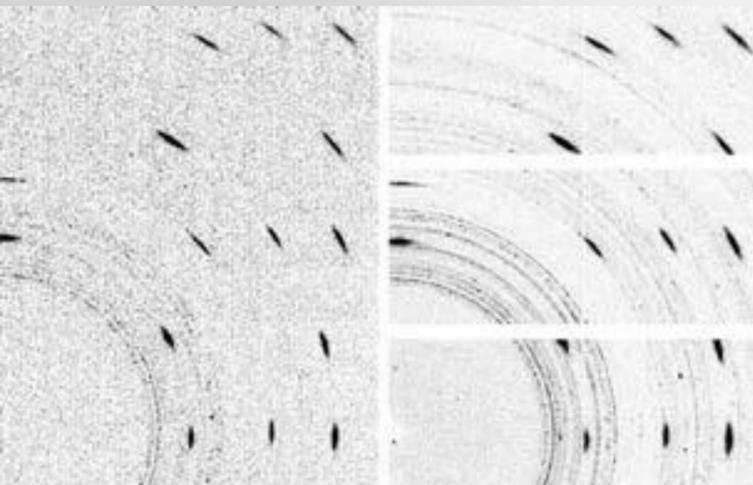
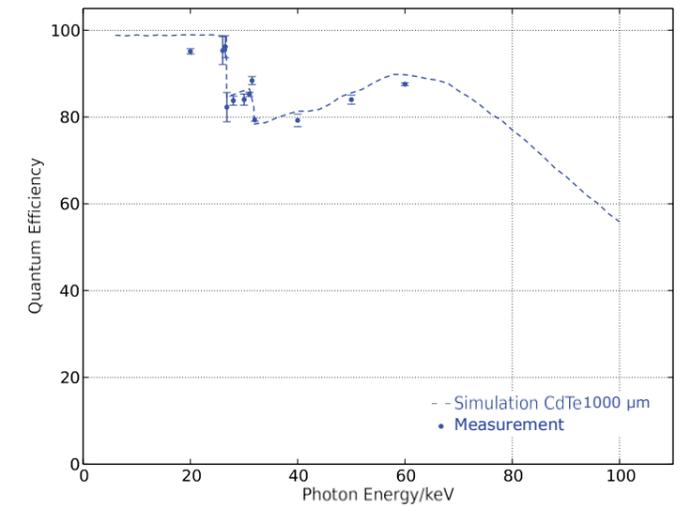
PILATUS3 X 混合光子计数 (HPC) 探测器的出色性能结合了碲化镉 (CdTe) 传感器材料出色的高能探测能力。

PILATUS3 X CdTe 探测器是一款大面积单光子计数探测器，可提供高达 100 keV 的高能探测。它们使得 PILATUS3 探测器技术的独特性能可用于硬 X 射线应用，而不会受到任何影响。

DECTRIS 即时再触发技术和深入全面的产品开发使得碲化镉探测器的计数率能力和稳定性有了突破，在数小时内以 2.5×10^6 光子/秒/像素计数率下信号误差率小于1%。无噪声单光子计数与20位计数器和直接转换相结合，可以以极高的信噪比测量强峰值附近的弱信号。时间分辨和扫描光束实验可利用其高达 500 Hz 的帧速率和亚毫秒读出时间，且图像没有任何滞后。

随着 PILATUS3 X CdTe 探测器系列的推出，终结了硬X射线科世界的等待。做第一个用这种独特的探测器技术实现你的科学梦想的人吧!

图 2: 在 BESSY II 的 BAM 光束线处测量的 PILATUS3 X CdTe 模块的量子效率。QE 从 26 keV 以上下降是由在 Cd 和 Te K 边缘上的光子能量处发生的荧光损失引起的。QE是针对设置为光子能量的 50% 的能量阈值测量的。



平面探测器

PILATUS3 X CdTe

图 1: 平板探测器和 PILATUS3 X CdTe 探测器的数据质量比较。光子计数 CdTe 探测器显示出明显更少的噪声，从而提高了弱衍射环的可见性。致谢：这些粉末衍射图由 Marco Di Michiel 在欧洲同步辐射装置 (ESRF) 的高能散射线站 ID15A 上测量，两个探测器上的相同设置（光子能量为 46.3 keV 和 0.1 s 曝光时间）

核心优势

- 高量子效率，能量范围高达100KeV
- 稳定的计数率
- 无噪声单光子计数
- 无图像滞后
- 锐利的点扩散函数
- 帧速率达500Hz，即每秒可以采集500张图像
- 20位无溢出计数器
- 常规室温下低维护操作
- 系统集成方便

应用领域

X射线衍射

- 高能 X 射线衍射
- 衍射显微镜和层析成像
- 漫散射和对分布函数
- 高压/高温 XRD
- 非弹性 X 射线散射
- X 射线漫散射
- 时间分辨/原位实验

成像

- X 射线计算机断层扫描 (CT)
- 小动物/临床前计算机断层扫描
- X射线相位对比成像
- X 射线投影成像(射线成像)

特点

极高的信噪比

PILATUS3 混合光子计数探测器从根本上摒除了暗电流和读出噪声。没有任何探测器噪声的特性保证了数据具有出色的信噪比（图 1）。

可实现高量子效率的 CdTe 传感器

每个 CdTe 探测器模块包括两个尺寸为 42 mm × 34 mm 的大型 CdTe 晶体（传感器），两个晶体之间仅留有 1 个像素的水平间隙。1000 μm 的 CdTe 厚度可高达 100 keV 的硬 X 射线能量提供了高量子效率（图 1 和表 1）。

锐利的点扩散功能

点扩展函数 (PSF) 描述了成像探测器的空间分辨率。由于 X 射线直接转换为电荷脉冲，PILATUS 3 探测器在像素之间几乎没有强度分布。即使超出 CdTe 传感器的吸收上限，也只有很少的信号通过荧光传播到相邻像素。因此 PILATUS3 探测器的点扩散函数主要由其物理像素的尺寸决定 (172 μm)，并可拍摄清晰锐利的图像。这些没有其他检测器常见的伪影（例如模糊、强度拖尾、光晕或条纹）。归功于探测器尖锐的点扩散函数和高的动态范围，即使强度差异很大的间隔很密的信号也可以被准确地分辨和测量。

高模块化

每个 PILATUS3 探测器的基本元素是探测器模块。多个模块可以组合成具有不同几何形状的大面积探测器。DECTRIS 提供四个 PILATUS3 X CdTe 探测器系统，涵盖涵盖多种有效面积和帧速率，以满足您的测量需求。此外 DECTRIS 拥有开发和制造实际应用和客户所需的特定系统专业知识，例如真空探测器和定制模块组合。

短读取时间，高帧频

PILATUS3 X 探测器具有读取时间短和帧速率高的特点，可显著减少测量时间并大幅度地提高效率 and 吞吐量。与基于闪烁体的 CCD 和平板探测器不同，通过直接转换进行测量的 CdTe 探测器没有图像滞后，这可以在您的实验中实现超高速扫描，充分利用探测器的高帧频。结合通用的触发和门控功能，可以原位研究快速时间尺度上的动态过程。

Photon energy	CdTe 1000 μm
20 keV	>90%
40 keV	81%
60 keV	90%
80 keV	77%
100 keV	56%

表 1: PILATUS3 X CdTe 传感器的量子效率

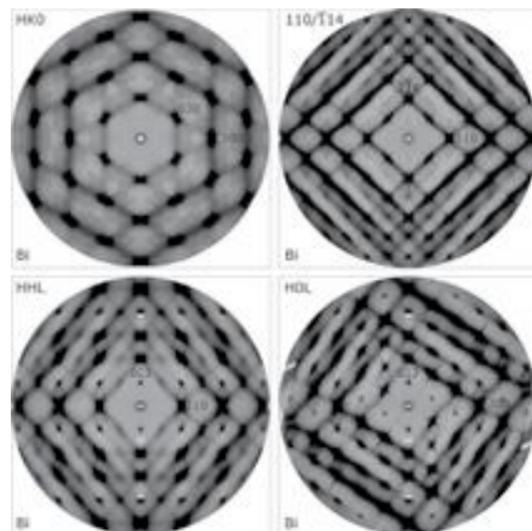


图 3: 倒易空间图显示了在 69.7 keV 下研究的铋样品的 X 射线漫散射。
致谢: Alexei Bosak (ESRF) 使用 PILATUS3 X CdTe 在线站 ID15A 上进行测量。每秒记录 10 帧, 测量仅在几分钟内完成。探测器的高动态范围对于测量强布拉格峰之间的漫散射信号至关重要。

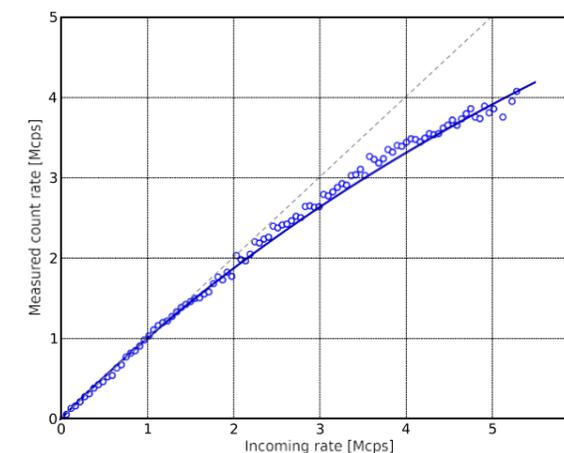


图 4: PILATUS3 CdTe 探测器的计数率特性。测量数据 (符号) 被拟合到理论曲线 (图中数据在 60 keV X 射线能量、30 keV 阈值下采集)

“PILATUS3 CdTe 探测器使我们能够测量来自强吸收样品的漫散射数据。这些测量只能通过低噪声、高动态范围的探测器在所需的高 X 射线能量下具有足够的效率。”
Alexei Bosak, ESRF, Nov. 2014

无快门操作

所有 PILATUS3 探测器都是电子门控的, 不需要机械快门; 这使得测量设置变得简化。结合 PILATUS3 探测器的无噪声读数, 它可以实现连续数据采集; 开辟了成像和时间分辨实验的新视角。

电子门控和外触发

曝光时间可以从几纳秒到几小时不等, 并且可以在内部或通过应用外部门控信号进行控制。具有可编程延迟功能的外部触发输入使检测器和其他硬件之间的同步变得非常容易。

高动态范围

20 位 (约 100 万次计数) 的计数器深度加上没有检测器噪声可确保超高的对比度和动态范围, 从而获得出色的图像和数据质量。可以在单个图像上准确检测到极强和极弱的信号 (图 3)。特别是对于高能光子, 一个重要的优势是每个光子只产生一个独立于光子能量的计数, 因为这在所有能量下都保持了探测器的高动态范围。

高局部和全局计数率

PILATUS3 X CdTe 探测器兼容超过 5×10^6 计数/秒/像素 (图 2) 的计数率, 相当于几乎 2×10^8 计数/秒/平方毫米。所有 PILATUS3 探测器均采用 DECTRIS 即时重新触发技术, 实现了这些高计数率。计数率校正用于在整个计数率范围内提供准确的强度测量。出色的长期稳定性保证了稳定运行: 在数小时内以 2.5×10^6 计数/秒/像素观察到小于 1% 的信号变化 (通过极化减少)。

荧光抑制

PILATUS3 探测器提供可调节的较低能量阈值以抑制荧光。将高动态范围与出色的点扩展功能、快速读出和荧光抑制相结合, 可以追求尝试振奋人心的新应用, 例如 漫散射 (图 3)。

耐辐射

PILATUS3 CMOS 读出芯片采用为高能物理学开发的耐辐射布局技术设计, 以防止入射 X 射线造成损坏。探测器能够承受现代同步加速器长期运行所产生的剂量。

易于操作

所有 PILATUS3 探测器系统都可以在室温下运行, 并且只需要干燥空气或 N_2 即可运行。它们易于设置, 无需定期维护或服务。CdTe 探测器软件广泛使用的硅探测器完全相同; 可保证简单快速的集成。



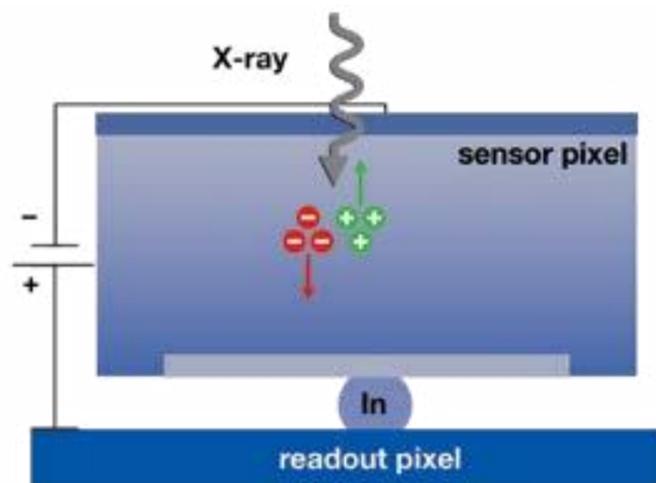


图 5: 在固态传感器中直接检测 X 射线光子的原理。CdTe 传感器在电子收集模式下运行。



混合光子计数 (HPC) 技术

混合像素探测

混合像素探测器直接将 X 射线转换为电子信号。其他类型的 X 射线探测器依靠间歇步骤来捕获和转换 X 射线。例如，CCD 和 CMOS 有源像素探测器必须首先将 X 射线转换为可见光。转换所需的荧光屏中的光散射会抹掉信号并降低空间分辨率。玻璃纤维光学器件将光传输到芯片上，这会导致信号进一步丢失和失真。混合像素探测器克服了这些基于光的探测器的固有设计限制。

使用混合像素技术直接检测 X 射线可提供超高的空间分辨率和高检测效率。在混合像素检测器中，每个像素由两个部分组成：传感器像素和读出像素（图 5）。X 射线光子在传感器像素中直接转换为电荷。

读出像素处理并计数该电信号。传感器和读出像素通过每个混合像素的单独金属凸点具有直接的电子连接，从而防止信号扩散和丢失。这使得每个混合像素都成为一个几乎独立的 X 射线探测器，实现了极低的点扩散，极高的灵敏度和极限的速度。

单光子计数

吸收 X 射线后，传感器像素中会释放自由电荷。X 射线信号由读出像素以单光子计数模式处理，与信号积分相比具有多种优势。在积分检测器中，电荷在曝光期间积累。在整个积分过程中，固有暗电流被添加到累积电荷中。暗电流会增加噪声并降低数据质量。在单光子计数探测器中，信号是通过对 X 射线吸收的单个事件进行计数来确定的，释放的电荷在读出像素中被放大，如果信号超过一个事先设定且可调整的阈值，则吸收事件被数字化计数。这样，单光子计数技术完全避免了作为探测器噪声源的暗电流，并实现了超高的数据质量。此外，单光子计数在曝光过程中即时发生，实现尽可能早的数字化和随后的快速无噪声数字读出。因此，单光子计数探测器完全没有读出噪声。

PILATUS X CdTe 探测器系列技术参数

	300K	300K-W	1M	2M
探测器模块数量	1 × 3	3 × 1	2 × 5	3 × 8
有效面积: 宽 × 高 [mm ²]	83.8 × 106.5	253.7 × 33.5	168.7 × 179.4	253.7 × 288.8
像素大小 [μm ²]	172 × 172			
总像素数量: (水平×垂直)	487 × 619	1475 × 195	981 × 1043	1475 × 1679
计数率	5 × 10 ⁶ counts/s/pixel (1.7 × 10 ⁸ counts/s/mm ²)			
间隙宽度, 水平/垂直 [像素]	- / 17	7 / -	7 / 17	7 / 17
每个模块加上 1 个像素的水平间隙				
非灵敏区 [%]	6.1	1.6	7.8	8.5
缺陷像素	< 0.1%			
帧频 [Hz]	500	500	500	250
读出时间 [ms]	0.95			
点扩散函数	1 pixel (FWHM)			
阈值能量 [keV]	8 - 40			
计数器深度	20 bits (1,048,576 counts)			
功耗 [W]	30	30	165	250
尺寸 (WHD) [mm ³]	158 × 193 × 262	280 × 62 × 296	265 × 286 × 455	384 × 424 × 456
重量 [kg]	7.5	7.0	25	46
模块冷却	Water cooled			
电子冷却	Water cooled		Air cooled	
外接发门	5V TTL			

DECTRIS Ltd.
Täferweg 1
5405 Baden-Dättwil
Switzerland

Phone +41 56 500 21 00
Fax +41 56 500 21 01
E-Mail sales@dectris.com
www.dectris.com

Registered trademarks: „DECTRIS“: EU, JP, CN, KR (IR0911969), USA (5,253,168)
"detecting the future": EU, CN, KR, JP, AUS (IR1191333), USA (4,607,800)
"DECTRIS Instant Retrigger": EU, CN, KR, JP, AUS (IR1224728), USA (4,797,363)
"DECTRIS PILATUS": JP, KR (IR1350411), USA (5,415,156)
© 2019 DECTRIS Ltd., all rights reserved • Subject to technical modifications • Rev.7
Printed 07/2019