

DECTRIS
detecting the future

PILATUS 3 S AND X SERIES

适合所有人的混合光子计数探测器

两种性能规格，可满足任何线站的需求



同步辐射光源

PILATUS3 S 和 X 系列的混合光子计数 X 射线探测器满足先进同步辐射光源和高端线站的需求。PILATUS3 S 系列具有适用于任何标准应用的优异性能，使混合光子计数技术几乎适用于任何同步辐射光源和预算。PILATUS3 S 探测器非常适合追求快速探测器的出色数据而不需要极限帧频的科学家。

PILATUS3 X 系列在高达 500 Hz 的帧速率和亚毫秒级读出时间方面表现出色，可支持新颖的实验策略。只对感兴趣区域读数是 PILATUS3 X 系列与其 PILATUS3 前辈相比的新功能，即使是超大的型号也能利用超高的帧速率。PILATUS3 CMOS 读出 ASIC 采用 DECTRIS 即时再触发技术，可实现非瘫痪计数、增强的高速计数性能、减少读出时间并允许高精度的计数率校正。DECTRIS 即时再触发技术克服了以前光子计数探测器固有的计数率限制。

DECTRIS 即时再触发技术

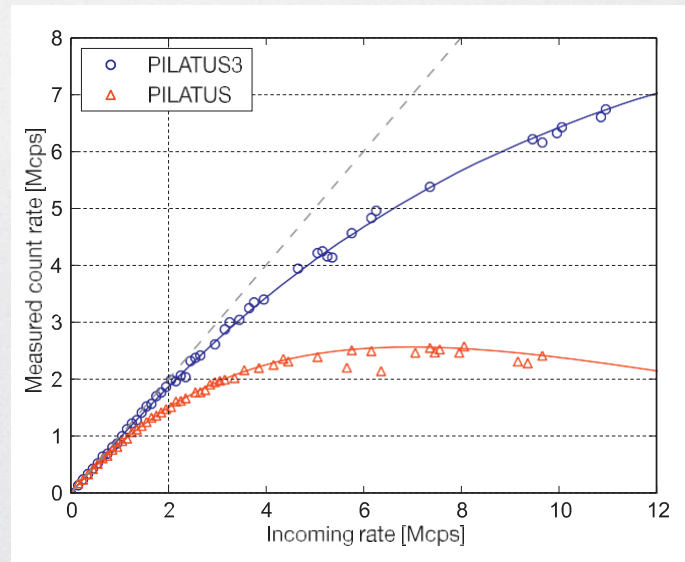
DECTRIS 即时再触发技术是一种光子计数方法，可实现非瘫痪计数并实现准确的高速计数性能。

传统的单光子计数 X 射线探测器容易受到计数损失和计数器瘫痪的影响。计数损失是由于时间间隔太近的光子撞击而产生的电荷脉冲堆积造成的。计数率校正用于补偿计数损失。然而，在高光子速率下，堆积会导致传统计数探测器瘫痪。

在 PILATUS3 S 和 X 探测器中，即时再触发技术检测脉冲堆积，重新触发计数电路并有效克服计数器瘫痪。DECTRIS 即时再触发技术实现的不可瘫痪计数允许增强的计数率校正并提高高计数率下的数据质量。PILATUS3 探测器可以准确测量单个像素中每秒超过 10^7 个光子的光子速率。此外，还可以实现超过每秒 2×10^8 个光子的全局计数率。

请访问我们的网站 www.dectris.com，了解有关 DECTRIS 即时再触发技术的详细说明。

优异的数据质量是所有 PILATUS3 探测器系列的主要优势，并通过各种独特的功能实现：没有读出噪声和暗电流、优异的点扩散函数功能、高动态范围和 20 位的技术深度（约一百万次计数）。高端的 CMOS ASIC 和读出电子设备可实现快速数据采集。在其标准配置中，PILATUS3 现在配备 450 μm 硅传感器，以提高量子效率。



PILATUS3 (蓝色) 和 PILATUS (红色) 的计数率特性的测量数据 (符号) 和理论曲线 (实线)。实验数据在瑞士光源的 X05DA 线站处获得。X 射线能量为 10.0 KeV，阈值为 5 KeV。

改进的应用程序

PILATUS3 探测器理想地匹配当前和未来第三代同步光源不断增加的亮度和通量。超高的计数率能力与超强的衍射和散射强度兼容，并消除了小分子晶体学或 X 射线反射计等应用中的计数率限制。超高局部和全局计数率允许在较短的曝光时间内获取具有出色统计性的数据，高帧率和无溢出的 20 位计数器无缝补充了这些特性。

这使得先进的高通量衍射实验成为可能，例如原位病毒晶体学。许多应用需要确定主光束强度，基于同步加速器的

ptychography 或 SAXS 仪器中的 PILATUS3 探测器可以直接测量主光束强度。

PILATUS3 X 系列支持的高帧率可用于加快实验速度并启用新策略，而较短的读出时间提高了占空比，从而提高了数据收集的效率。同时这在需要获取大型数据集的应用中具有主要优势，例如 SAXS、ptychography 或通过网格扫描技术进行样本对齐和表征。由于新的感兴趣区域 (ROI) 功能，即使是超大面积 PILATUS3 X 型号也能提供超高的帧速率。

核心优势

- 计数率高达每像素每秒1千万次计数
- 单光子计数模式中的直接X射线探测
- 无读出噪声
- 无暗电流
- 锐利的点扩散函数
- 20位无溢出计数器
- 室温下可使用

S Series 的优势

- 帧速率为25 Hz
- 读出时间仅为2.03毫秒
- 可升级至 X 系列

X Series 的优势

- 帧速率高达500Hz，即每秒钟可以采集500张图像
- 读出时间仅为0.95毫秒
- 感兴趣区域读数 (ROI)

应用

- 大分子晶体学(MX)
- 单晶衍射(SCD)
- 表面衍射
- 小角散射与广角散射 (SAXS/WAXS)
- X射线粉末衍射
- 相干X射线成像
- 时间分辨实验

探测器选项

除了 450 μm 硅传感器的标准配置外，所有 PILATUS3 探测器还提供 1000 μm 厚度的硅传感器，以提高在高能X射线下的量子效率。水冷型号 PILATUS3 X 300K 和 300K-W 提供可选的真空兼容性。此选项允许探测器在真空中运行，例如在 SAXS 仪器的飞行管中。真空兼容的 300K 和 300K-W 探测器还提供 320 μm 厚的传感器和针对低能量应用的特殊校准。基于 PILATUS3 技术，DECTRIS 可以实现特定的解决方案，在这种情况下，所有模块都放置在真空中，可以实现格式按需调整。

PILATUS 处理单元 (PPU) 是 PILATUS3 探测器系统的有效补充。在高端服务器上运行的专用软件包可确保持续高速率稳定地采集数据，而不会挑战您的线站的 IT 基础架构。PILATUS3 X 系统 1M、2M 和 6M 包括一个 PPU mini，所有 PILATUS3 S 和 X 系统都可以升级为 PPU L 或 XL，以获得额外的计算和存储资源。

X-ray energy	Sensor thickness [μm]		
	320	450	1000
5.4 keV	94 %	94 %	>80 %
8.0 keV	97 %	98 %	96 %
12.4 keV (1Å)	72 %	84 %	97 %
17.5 keV	37 %	47 %	76 %
22.2 keV	20 %	27 %	50 %

表 1: 在 BESSY II 的 BAM 光束线上与 PTB 合作测量的 PILATUS 传感器的量子效率。



PILATUS3 S 探测器系列技术参数

PILATUS3 S	1M	2M	6M
探测器模块数量	2 × 5	3 × 8	5 × 12
有效面积: 宽 × 高 [mm ²]	168.7 × 179.4	253.7 × 288.8	423.6 × 434.6
像素大小 [μm ²]	172 × 172		
总像素数量: (水平×垂直)	981 × 1043	1475 × 1679	2463 × 2527
间隙宽度, 水平/垂直 [像素]	7 / 17		
非灵敏区 [%]	7.2	8.0	8.5
缺陷像素	< 0.03%		
帧频 [Hz]	25		
读出时间 [ms]	2.03		
点扩散函数	1 pixel (FWHM)		
阈值能量 [keV]	2.7 - 18		
计数器深度	20 bits (1,048,576 counts)		
功耗 [W]	165	250	580
尺寸 (WHD) [mm ³]	265 × 286 ×	384 × 424 × 456	590 × 603 × 455
重量 [kg]	25	46	92
模块冷却	Water-cooled		
电子冷却	Air-cooled		
标准配置	450 μm silicon sensor detector, detector server, water-cooling		
探测器选项	unit1000 μm silicon sensor PPU mini, L or XL		

PILATUS3 S 探测器可以在现场用极短的停机时间升级到 X 系列探测器。这可以实现PILATUS3 X 探测器相应的全部性能和功能。



PILATUS3 X探测器系列技术参数

PILATUS3 X	100K-A	200K-A	300K	300K-W	1M	2M	6M
探测器模块数量	1 x 1	1 x 2	1 x 3	3 x 1	2 x 5	3 x 8	5 x 12
有效面积: 宽 x 高 [mm ²]	83.8 x 33.5	83.8 x 70.0	83.8 x 106.5	253.7 x 33.5	168.7 x 179.4	253.7 x 288.8	423.6 x 434.6
像素大小 [μm ²]	172 x 172						
总像素数量: (水平x垂直)	487 x 195	487 x 407	487 x 619	1475 x 195	981 x 1043	1475 x 1679	2463 x 2527
间隙宽度, 水平/垂直 [像素]	0	- / 17	- / 17	7 / -	7 / 17	7 / 17	7 / 17
非灵敏区 [%]	0	4.3	5.5	0.9	7.2	8.0	8.5
缺陷像素	< 0.03%						
最大帧率, 全帧[Hz]	500	500	500	500	500	250	100
最大帧率, ROI [Hz]	—	—	—	—	500	500	500
读出时间 [ms]	0.95						
点扩散函数	1 pixel (FWHM)						
阈值能量 [keV]	3.5 - 18	3.5 - 18	2.7 - 18	2.7 - 18	2.7 - 18	2.7 - 18	2.7 - 18
计数器深度	20 bits (1,048,576 counts)						
功耗 [W]	30	30	36	36	185	250	580
尺寸 (WHD) [mm ³]	156 x 115 x 284	156 x 155 x 284	158 x 193 x 262	280 x 62 x 296	265 x 286 x 455	384 x 424 x 456	590 x 603 x 455
重量 [kg]	4.5	5.4	7.5	7.0	25	46	92
模块冷却	Air-cooled	Air-cooled	Water-cooled	Water-cooled	Water-cooled	Water-cooled	Water-cooled
电子冷却	Air-cooled	Air-cooled	Water-cooled	Water-cooled	Air-cooled	Air-cooled	Air-cooled
标准配置	450 μm silicon sensor						
	detector, detector server	detector, detector server	detector, detector server, water-cooling unit		detector, detector server, water-cooling unit, PPU mini		
探测器选项	1000 μm silicon sensor						
	PPU mini, L or XL	PPU mini, L or XL	PPU mini, L or XL	PPU mini, L or XL	PPU L or XL	PPU L or XL	PPU L or XL
	—	—	vacuum compatibility		—	—	—
	320 μm silicon sensor						

所有数据如有更改, 恕不另行通知

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。光纤将光传输到芯片上，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。

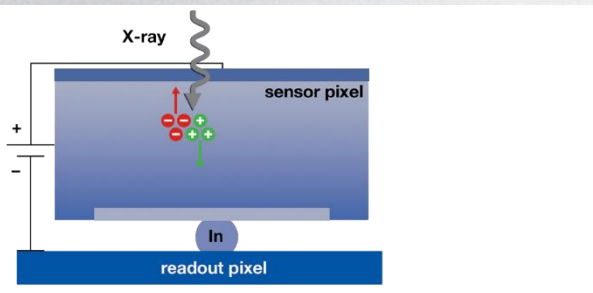


图 2：在固态传感器中直接检测 X 射线光子的原理。

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，信号是通过将 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，并实现了优异的数据质量。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。

特点

超高的信噪比

PILATUS3 混合光子计数探测器本质上没有暗电流和读出噪声（图 3）。没有任何检测器噪声保证了数据具有出色的信噪比。与传统检测器相比，这允许在相似的曝光时间下采集出色的数据，或者在采集时间更短的情况下采集同样好的数据，相当于较低的样品量。无噪声检测器在记录来自低衍射样品或超高分辨率的微弱信号时可带来更多的好处。

优秀的点扩散功能

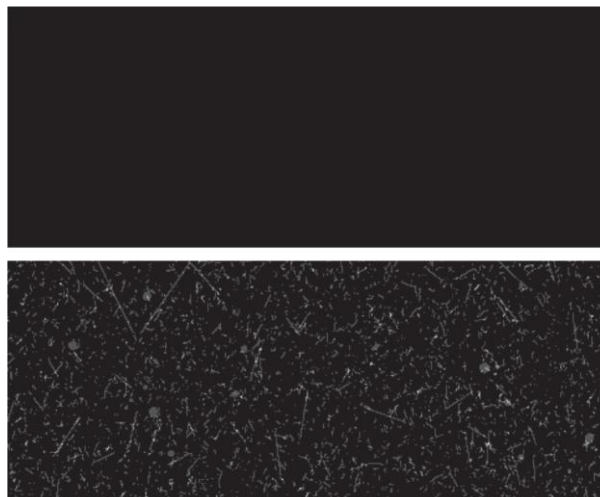
通过混合像素技术和将 X 射线直接转换为电荷脉冲，PILATUS3 探测器在像素之间几乎没有强度分布。这实现了一个像素 (FWHM) 的锐利点扩展功能，并提供了多种好处（图 4）。间隔很近的信号，即使强度差异很大，也可以准确地解析和测量。更清晰的信号减少了散射或其它实验固有的背景的重叠，从而提高了信噪比。

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，确保了超高的对比度和动态范围；另一个 PILATUS3 标志导致出色的图像和数据质量，并可以在单个图像上准确检测极强和极弱的信号。

图 3: PILATUS 混合光子计数探测器中没有读出噪声和暗电流。

单个 PILATUS 模块的图像，未暴露于 X 射线源，采集时间为 100 毫秒或 1 小时。100 毫秒后，所有像素的计数为零，因为在读取图像期间没有噪声。1 小时后，大多数像素仍然为零计数，因为长时间曝光期间没有暗电流积累，读出期间也没有噪声。曝光中的所有计数均来自一般背景辐射，占 0.2 cts/h/pixel。



快速读取和无快门操作

PILATUS3 S 和 X 系统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。重要的是，这允许无快门连续获取完整，图像。

高局部和全局计数率

PILATUS3 探测器采用 DECTRIS 即时再触发技术，使每个像素每秒能够准确检测多达一千万个光子。此外，可以实现超过每秒 2×10^8 个光子和 mm^2 的全局计数率。PILATUS 探测器的局部和全局计数率均远优于基于气体放电或类似技术的计数探测器。

易于维护和操作

PILATUS3 探测器具有低功耗和冷却要求。所有检测器组件都在室温下运行，这大大简化了冷却。PILATUS3 X 200K-A 探测器完全风冷且免维护，而 PILATUS3 X 100K-A 完全无介质。PILATUS3 S 和 X 系列的其他型号使用低维护、闭路水冷，以将温度稳定在 23°C 。

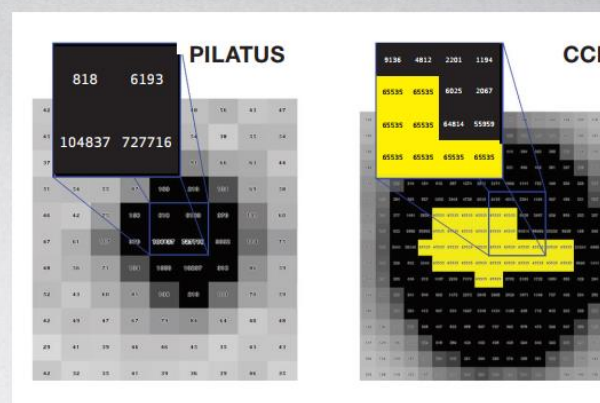


图 4: PILATUS 混合光子计数探测器的优异动态范围和点扩展功能。衍射图像的细节显示胰岛素晶体的相同反射。除了根据探测器尺寸调整探测器距离以在探测器边缘实现相同分辨率外，在同步加速器光束线处获得的图像具有相同的参数。PILATUS: 混合像素检测器的 20 位计数器深度提供了足够的动态范围，可以在超高像素强度下记录 727,716 个计数。凭借出色的点扩散功能，光斑可以很好地限制在小范围内。此外，低镶嵌度晶体的尖锐衍射轮廓被精确地展示出来，且其强度与周边相邻像素之间的强度差异超过千倍。CCD: 用 CCD 记录的相同反射包含许多过载像素。大面积的反射强度被抹去。



PILATUS
Hybrid Pixel Detector
Product Design

reddot award 2014
winner