

DECTRIS
detecting the future

PILATUS 3 R

适合您实验室的混合光子计数探测器



实验室与工业

PILATUS3 R混合光子计数探测器经过全新设计，可在 X 射线探测中获得高质量的数据。它将单光子计数与混合像素技术两种关键技术结合，把同步辐射技术带入您的实验室之中。PILATUS3 R具有我们实验室探测器系列的独特优势：DECTRIS 即时再触发，是 PILATUS3 的标志性技术，可显著提高计数率并实现准确的计数率校正。

PILATUS3 R 的高计数率在处理高强度信号时具有特别优势。使用 DECTRIS 即时再触发技术可以准确测量来自衍射样品（例如小分子或无机化合物）的强布拉格峰。

单光子计数几乎避免了所有的探测器噪声并提供了高质量的数据。没有读出噪声和暗电流使得其在收集实验室光源的数据时具有特别的优势。

为您量身定制

PILATUS3 混合光子计数探测器为广泛的 X 射线应用和用户提供优异性能。PILATUS3 S 和 X 系列针对同步辐射光源应用，而 PILATUS3 R 系列则是根据您的实验室需求量身定制的。简化的读出电子设备完全符合实验室的要求，也使 PILATUS3 R 能够满足您的预算。DECTRIS 即时重新触发、混合像素技术和单光子计数是实现优异数据和高效率的关键技术，在所有 PILATUS3 R 探测器中都得到了广泛应用。

越来越多的实验室和工业应用仪器可以配备或升级 PILATUS3 R 探测器。可以自由地将 PILATUS3 R 集成到您自己的设置中，或者从 DECTRIS OEM 合作伙伴购买现成的仪器。

OEM 合作伙伴

集成 PILATUS3 R 探测器的 OEM 合作伙伴有如下：

- Bruker AXS
- marXperts
- Rigaku
- SAXSLAB
- STOE
- Xenocs

实验室中的 X 射线源比同步辐射光源弱得多，这导致了信号较弱，且需要更长的曝光时间。由于没有暗电流和读出噪声，PILATUS3 R 探测器的性能优于用于实验室中的其它所有其他技术。

混合光子计数技术可以直接探测 X 射线，并产生比基于闪烁体的探测器更清晰、更容易辨析的信号。PILATUS3 R 探测器具有较短的读出时间和连续采集能力，可提供高效率的优质数据。更低的功耗及冷却需求为您提供了一个只需要很少维护的探测器系统。

PILATUS3 R 探测器系列专为满足您在实验室中的需求而设计，您可以用性价比极高的价格来获得经过同步辐射光源验证的技术。利用 PILATUS3 R 探测器的独特功能，从具有挑战性的样品中获取高质量的数据。

	传感器厚度 [μm]	
X-ray energy	450	1000
5.4 keV (Cr)	94 %	> 80 %
8.0 keV (Cu)	98 %	96 %
9.2 keV (Ga)	97 %	97 %
17.5 keV (Mo)	47 %	76 %
22.2 keV (Ag)	27 %	50 %

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

可根据您的要求进行定制

除了标准的 450 μm 厚硅传感器之外，您还可以使用 1000 μm 厚的硅传感器定制您的 PILATUS3 R 探测器，以匹配您的 X 射线源的能量（表 1）。这在所有常见的实验室 X 射线能量下实现了高量子效率。

PILATUS3 R 300K and 300K-W 探测器具有真空兼容性选项。这使得探测器可以在真空环境中运行，例如：在 SAXS 仪器的飞行管中。

核心优势

- 可在单光子计数模式下直接探测X射线；
- DECTRIS即时触发技术，可实现全程连续计数；
- 超高的局部和整体计数率；
- 准确的计数率校正，可在高计数率条件下获得精准数据；
- 无读出噪音和暗电流；
- 出色的点扩散函数；
- 高动态范围；
- 读出时间短，帧频高。

应用领域

- 大分子晶体学(MX)
- 单晶衍射(SCD)
- X射线衍射(XRD)
- 小角散射与广角散射 (SAXS/WAXS)
- 表面衍射
- 漫散射
- 时间分辨实验
- 成像
- 无损探测

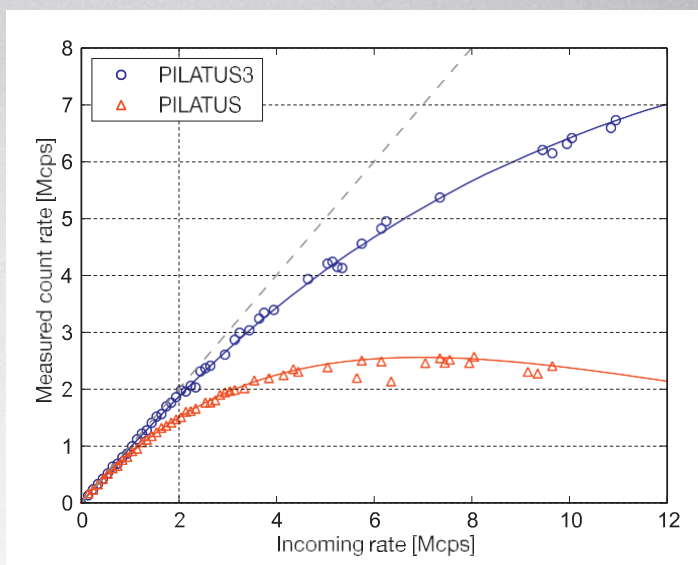
DECTRIS 即时再触发技术

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。计数损失是由于光子在时间上间隔太近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，脉冲堆积会导致传统计数探测器瘫痪。

在 PILATUS3 R探测器中，即时重新触发技术探测堆积的脉冲，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无瘫痪计数可以增强计数率校正并提升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，可以在每平方毫米内实现超过每秒 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 即时触发技术的详细说明。



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)。在瑞士光源的线站 X05DA 处获得的数据，10.0 keV X 射线能量，5 keV 阈



PILATUS3 R 1M

PILATUS3 R 1M 是实验室大分子晶体学的理想型探测器。169 x 179 毫米的大传感器面积可与成像板探测器相媲美，并且在收集具有解析良好的衍射点以及完整高分辨率数据时抑制了几乎所有噪音。7 毫秒的读出时间和无快门数据采集使收集高多重性数据集变得轻而易举。PILATUS3 R 1M 是更换过时的成像板或 CCD 并将您的衍射仪升级为的高端仪器的理想选择。在 X 射线散射实验中，1M 的大面积可以同时测量 SAXS 和 WAXS 信号。

PILATUS3 R 300K-W

PILATUS3 R 300K-W 具有宽矩形区域，非常适合 WAXS、2D 结构分析和粉末衍射。外壳极其纤薄的外形使您可以将探测器放置在靠近直射光束的位置，并为您提供在 SAXS/WAXS 设备中测量 WAXS 信号的理想探测器。PILATUS3 R 300K-W 具有真空兼容性作为定制选项。

PILATUS3 R 300K

PILATUS3 R 300K 是用于实验室内 SAXS 仪器的理想探测器。受益于水冷探测器出色的稳定性，即使曝光时间很长，也能以极高的精度和准确度进行溶剂散射背底的测量和扣除。进一步利用探测器可选的真空兼容性，完全抑制了空气和窗口散射。

PILATUS3 R 200K-A

PILATUS3 R 200K-A 的有效面积为 84 x 70 毫米，是各种 X 射线应用的理想探测器。凭借 PILATUS3 的高局部和全局计数率，在 SCD 和 XRD 中获得出色的结果，远远优于基于气体放电或类似技术的计数探测器。巧妙的前端设计和紧凑的尺寸，尺寸紧凑，可在高衍射角下进行探测，并有效利用样品周围的有限空间。PILATUS3 R 200K-A 完全风冷且功率要求低，是一种无需维修和维护的探测器系统。

PILATUS3 R 100K-A

PILATUS3 R 100K-A 是 DECTRIS 较实惠的 2D 探测器。它在易于使用、免维护的系统中提供了混合光子计数技术的所有优点。84 x 34 毫米的有效区域允许快速准确地测量 XRD 数据。与其所有 PILATUS3 R 系列一样，探测能量为 8keV 时，100K-A 的最大计数率在每个像素内超过每秒 400 万次，优于其他计数探测器。即使在使用高亮度的光源测量强衍射样品时，这也能确保获得准确的数据。PILATUS3 的抗辐射设计已经在许多同步辐射光源线站上证明了其稳定性，并且可以轻松承受实验室仪器中的辐射暴露。PILATUS3 R 100K-A 风冷且完全无介质，是目前较为简单易用的 PILATUS 探测器。

在您的实验室中进行精细的 ϕ 切片

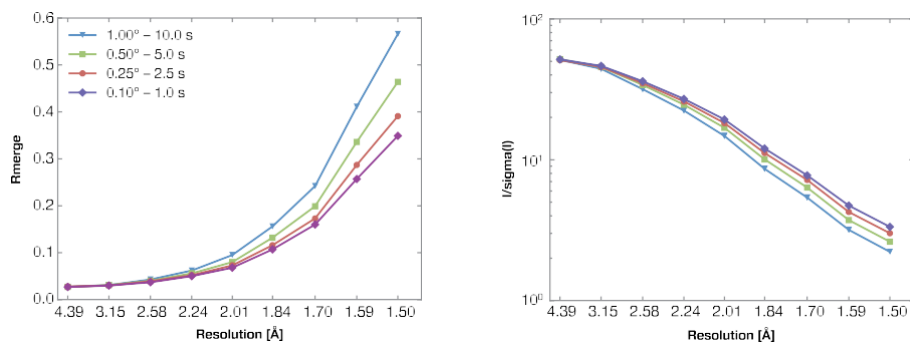


图 1: 使用 PILATUS 进行精细的 ϕ 切片。每个数据都是在 30 分钟内以 $0.1^\circ/\text{s}$ 的相同角速度, 并随着每个图像的旋转宽度和曝光时间不断减少而收集。如图例所示。实验在较短的采集时间内获得了出色的数据。利用无噪声 PILATUS 进行精细切片数据收集, 可实现优异的数据质量 (胰岛素、 180° 总旋转、微聚焦密封管、PILATUS 300K)。

应用领域

PILATUS3 R for 实验室 MX

以尽可能高的精度测量微弱的高分辨率衍射点决定了探测到的衍射点分布的质量, 并最终决定了您在大分子晶体学方面的成功。由于 PILATUS3 R 探测器中没有探测器噪声和锐利的点扩展函数, 弱衍射的信噪比得到了特别改善, 这减少了衍射强度与散射背景的重叠。此外, 精细切片策略可用于通过优化沿旋转方向的背景重叠和减少斑点重叠来进一步提高数据质量 (图 1)。无噪声 PILATUS 探测器可实现理想的精细切片 [1], 而 CCD 或 CMOS 有源像素探测器由于读出或重置噪声而会在性能上大打折扣。

光束稳定性对于实验定相至关重要, 这一特点甚至有可能使实验室设备的性能在某种程度上超过同步辐射。通过将其与 PILATUS3 R 匹配, 尽可能地发挥您的实验室光源的这一优势, 高度稳定的实验室光源与无噪声高灵敏度探测器的组合提高了您在 S-SAD 和其他对数据准确性至关重要的实验定相方法中的成功率。

PILATUS3 R 探测器的完整图像读出时间仅为 7 ms, 可在连续旋转中实现无快门数据采集。这减少了总采集时间并尽可能地提高了效率, 这是片段筛选等高通量应用中的关键优势。此外, 连续旋转数据采集允许您以与宽切片数据相同的采集时间收集精细切片数据集。

PILATUS3 R for 实验室 SAXS

PILATUS3 R 探测器非常适合实验室的 SAXS 仪器, 因为它们具有高动态范围、无读出噪声和暗电流、高灵敏度和卓越的稳定性。在高 q 范围测量极弱的信号需要较长的曝光时间, 由于完全没有暗电流, PILATUS3 R 探测器在长时间曝光下能够提供优异的数据方面表现出色。在实验室中使用 PILATUS3 R 时的另一个优势是其探测稳定性高, 即使在很长的曝光时间下也能以超高精度测定和扣除溶剂散射。这种出色的稳定性源于混合像素技术中的单光子计数与简单但高度稳定的水冷相结合。

PILATUS3 R 在准确测量微弱信号方面的优异性能使您能够在处理稀释样品时取得成功。SAXS 与尺寸排阻色谱的组合是研究聚集或易降解系统、瞬态复合物和多种低聚状态的有效方法。无噪声 PILATUS3 R 探测器使您的实验室能够对稀释样品进行这些研究 [2]。此外, 高帧率和低读出时间还允许在蛋白质洗脱过程中收集精细的样品数据, 同时尽可能地延长采集时间。在传统的 SAXS 实验中, 在较长的总曝光时间内对数据收集进行精细采样也非常有用, 因为它揭示了有关数据采集过程中辐射损伤的宝贵信息。

[1] Mueller, M., Wang, M. & Schulze-Briese, C. *Optimal fine ϕ -slicing for single-photon-counting pixel detectors*. Acta crystallographica. Section D, Biological crystallography 68, 42 - 56 (2012).

[2] Wright, G. S. a. et al. *The application of hybrid pixel detectors for in-house SAXS instrumentation with a view to combined chromatographic operation*. Journal of Synchrotron Radiation 20, 2009 - 2011 (2013).

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 射线探测器依靠间接步骤来捕获和转换 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模糊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探测 X 射线可提供超高的空间分辨率和高探测效率。在混合像素探测器中，每个像素由两个部分组成：传感器像素和读出像素（图 2）。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，大幅降低了点扩散、提高了灵敏度及采集速度

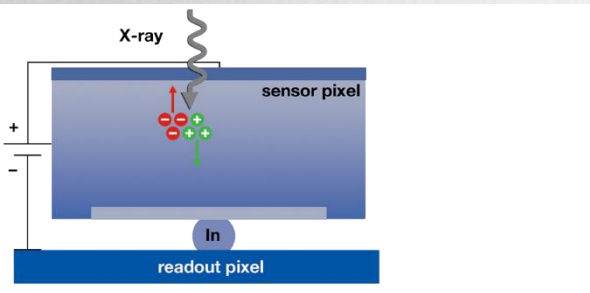


图 2：在固态传感器中直接探测 X 射线光子的原理。

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，与信号整合相比具有多种优势。在积分探测器中，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，信号是通过对单个事件中由于 X 射线吸收而释放的电荷数进行计数而确定的，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抑制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）。没有任何探测器噪声保证了数据具有出色的信噪比。与传探测相比，这允许在相似的曝光时间下采集到更出色的数据，或者在采集时间更短的情况下采集同样好的数据，相当于对样品的剂量较低。无噪声探测器在记录来自低衍射样品或以探测超高分辨率的微弱信号时可带来更多的益处。

锐利的点扩散函数

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) 的锐利点扩散函数，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探测器噪声，确保了超高的对比度和动态范围；另一个 PILATUS3 标志性技术，使您获得出色的图像和数据质量（图 4），并可以在单个图像上准确探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

用于实验室设备上的 PILATUS3 R 系列探测器可在只有 7ms 的时间内，以接近光速的速度读出完整的图像。这使得对于全部图像的无快门，连续采集成为可能。接近实时的数据读出和连续数据采集最大化任何设备的效率和通量。

高局部和全局计数率

PILATUS3 R 探测器采用 DECTRIS 即时再触发技术，使每个像素每秒能够准确探测多达一千万个光子。此外，可以实现超过每秒平方毫米内 2×10^8 个光子的全局计数率。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。光子计数探测器首次实现了与即使最苛刻的样品的匹配，如强衍射的小分子晶体。

易于维护和操作

PILATUS3 R 探测器具有低功耗和冷却要求。所有探测器组件都在室温下运行，这大大简化了冷却需求。PILATUS3 R 200K-A 探测器完全风冷且免维护，而 PILATUS3 R 300K, 300K-W, 和 IM 的其他型号使用低维护、闭路水冷，以将温度稳定在 23° C。

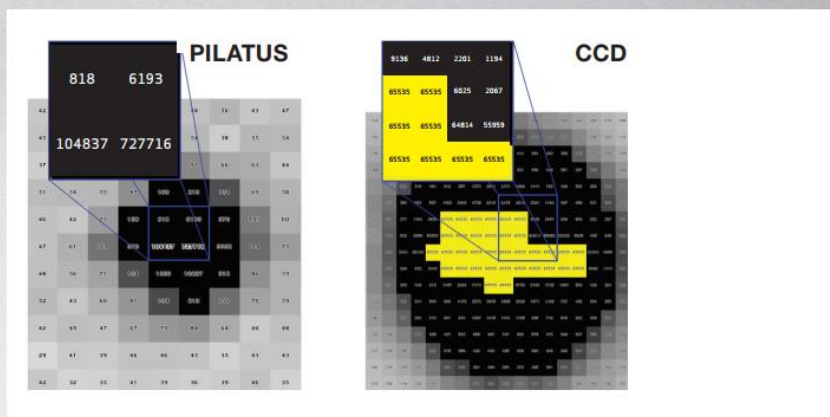


图 4: PILATUS 混合光子计数探测器优异的动态范围和点扩散函数。衍射图像的细节显示胰岛素晶体的相同反射。除了根据探测器尺寸调整探测器距离以在其探测器边缘实现相同分辨率外，在同步辐射光源线站处获得的图像具有相同的参数。PILATUS: 混合像素探测器的 20 位计数器深度提供了足够的动态范围，可以在超高像素强度下记录 727,716 个计数。凭借出色的点扩散函数，光斑可以很好地限制在小范围内。此外，低镶嵌度晶体的尖锐衍射轮廓被精确地展示出来，且其强度与周边相邻像素之间的强度差异超过千倍。CCD: 用 CCD 记录的相同反射包含许多过载像素。大面积的反射强度被抹去。

PILATUS 3 R



PILATUS 3 R 器系列技术参数

PILATUS 3 R	100K-A	200K-A	300K	300K-W	1M
探测器模块数量	1 x 1	1 x 2	1 x 3	3 x 1	2 x 5
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
像素大小 [μm ²]	172 x 172				
总像素数量	487 x 195 = 94,965	487 x 407 = 198,209	487 x 619 = 301,453	1475 x 195 = 287,625	981 x 1043 = 1,023,183
间隙宽度, 水平/垂直 (像素)	0	- / 17	- / 17	7 / -	7 / 17
非灵敏区 [%]	0	4.3	5.5	0.9	7.2
缺陷像素	< 0.03 %				
帧频 [Hz]	20	20	20	20	5
读出时间 [ms]	7				
点扩散函数	1 pixel (FWHM)				
计数器深度	20 bits (1,048,576 counts)				
阈值能量 [keV]	3.5 - 18	3.5 - 18	2.7 - 18	2.7 - 18	2.7 - 18
功耗 [W]	30	30	36	36	165
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
重量 [kg]	4.5	5.4	7.5	7.0	25
模块冷却	Air-cooled	Air-cooled	Water-cooled	Water-cooled	Water-cooled
电子冷却	Air-cooled	Air-cooled	Water-cooled	Water-cooled	Air-cooled
外接触发电压	5V TTL				
能量校准	K α -lines of Cr, Mn, Fe, Cu, Ga, Mo, Ag				
标准配置	450 μm silicon sensor 1000 μm silicon sensor				
探测器可选配置	vacuum compatibility		vacuum compatibility		

所有数据如有更改, 恕不另行通知

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 (3,307,634)
“detecting for future“: EU, AU, CN, KR, JP, AUS (1191333), USA (4,607,800)
© DECTRIS Ltd., all rights reserved • D-16 • Rev.8