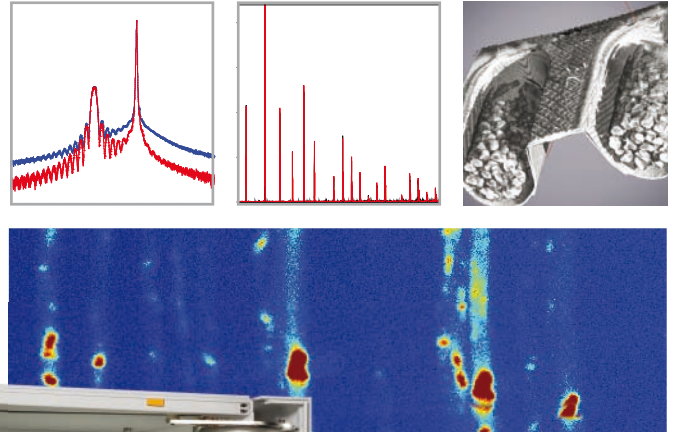


EMPYREAN 锐影 X 射线衍射系统

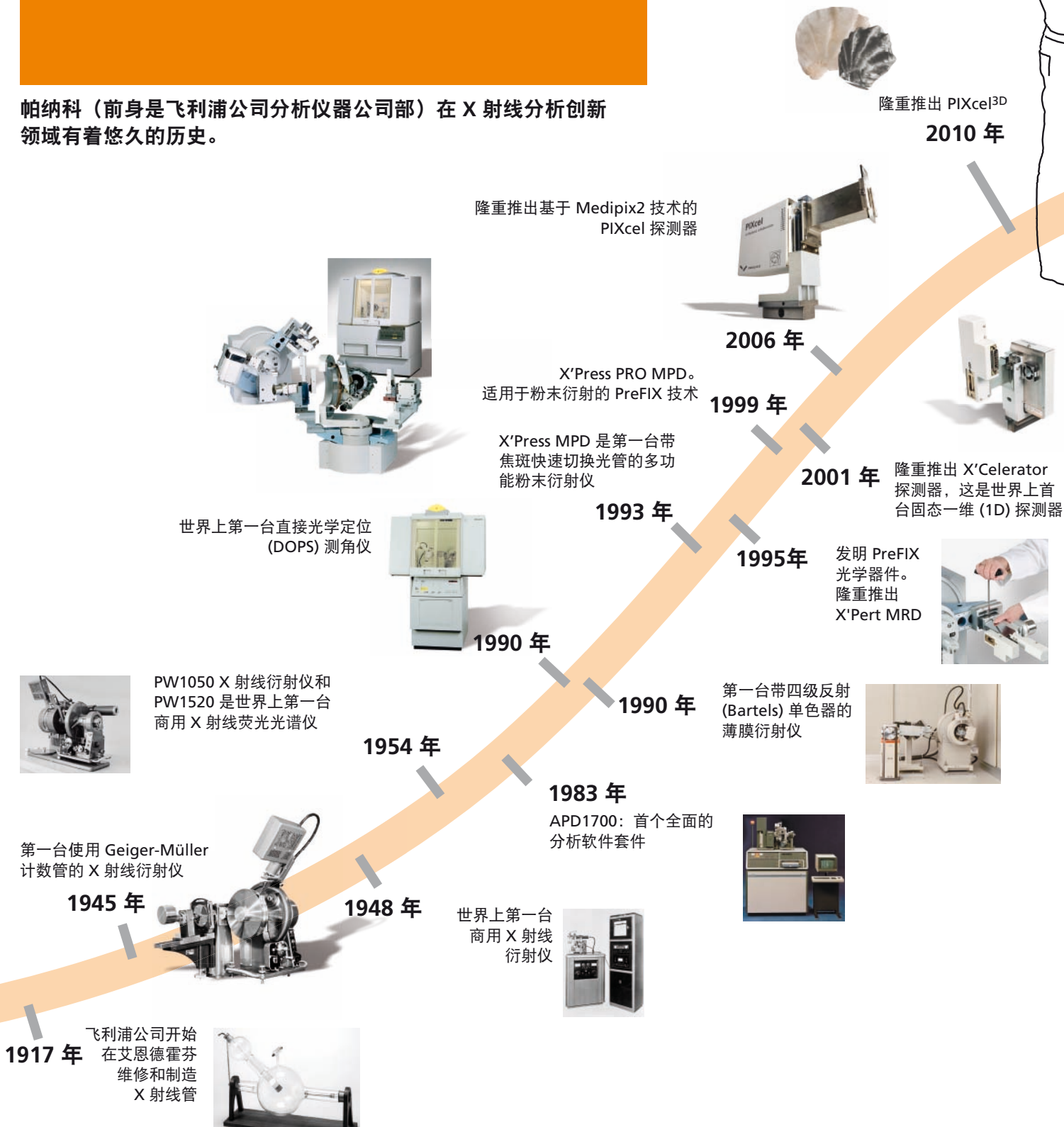
X 射线衍射的世界
从此不再仅仅是
平面影像

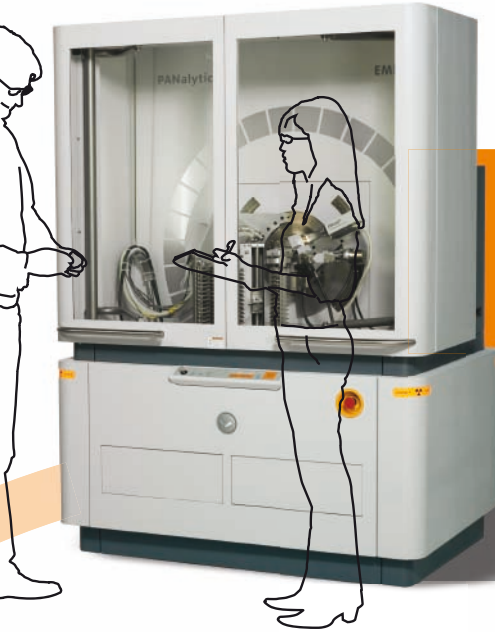


帕纳科

引领业界的 X 射线衍射

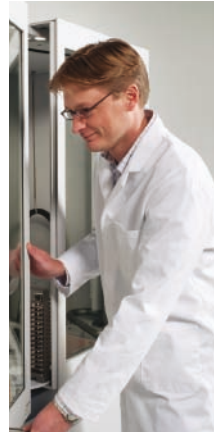
帕纳科（前身是飞利浦公司分析仪器公司部）在 X 射线分析创新领域有着悠久的历史。





帕纳科公司推出全新的 Empyrean 锐影产品

真正创新，标新立异；
Empyrean 锐影将完美
XRD 平台的想法变为现实



在开发 Empyrean 锐影的过程中，帕纳科对 XRD 平台的许多关键元件全面进行了重新设计。

X 射线源、测角仪、样品台和探测系统都是全新的。此创新产品的面市是划时代的，并为其他产品设立了标杆。Empyrean 锐影除了能满足当今科学家和 XRD 专家的高期望值，而且随着研究主题的演变，它仍然能继续不辱使命。材料科学领域是不断变化的，而高性能衍射仪的使用寿命远长于任何研究项目的一般期限。借助 Empyrean 锐影，轻松拥抱未来。

名称的奥秘何在？

“Empyrean 锐影”一词取自亚里士多德的宇宙论（公元前 384 年到 322 年），该理论认为地球是宇宙中心，被包括月球和已知行星¹在内的同心天体所围绕。其中最远的行星，在中世纪称为“Empyrean”，用元素“火”来代表。Empyrean 锐影 XRD 系统是创新之火的产物，真正优于其他所有产品，能够在单个 XRD 平台上进行大多数分析应用。

1. G. E. R. Lloyd, Aristotle: The Growth and Structure of his Thought, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1968, pp. 133-139, ISBN 0-521-09456-9.

独一无二、无所不能的 XRD 平台

统一的平台和仪器，无论作何应用均不影响数据质量

样品范围齐全

最佳性能测角仪

绝佳的光管性能

可靠的 PreFIX 预校准光学器件

种类和范围最广泛的样品台包括非常温环境样品台

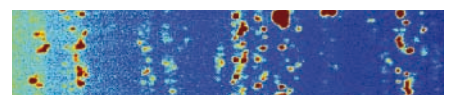
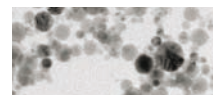
操作方便，可快速重新配置

卓越的二维 (2D) 探测器动态范围、线性和分辨率

世界上第一台三维 (3D) 探测器

灵活的高性能软件包

完善的帕纳科技术支持



4
样品类型

6
粉末

8
薄膜

10
纳米材料

12
固体物质

14
创新无处不在

16
PIXcel^{3D} — 技精于尖

18
与帕纳科的合作关系 — 诺重于金

EMPYREAN 锐影 X 射线衍射系统

独一无二、无所不能的 XRD 平台

样品类型

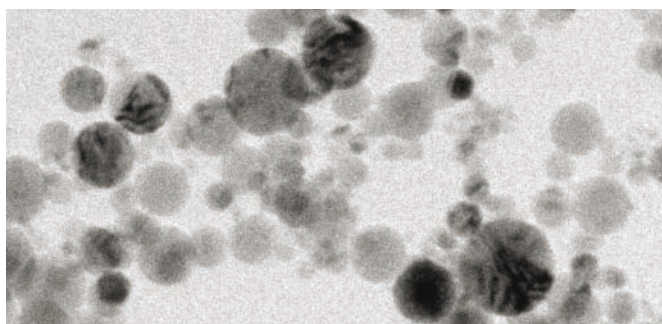
分析问题



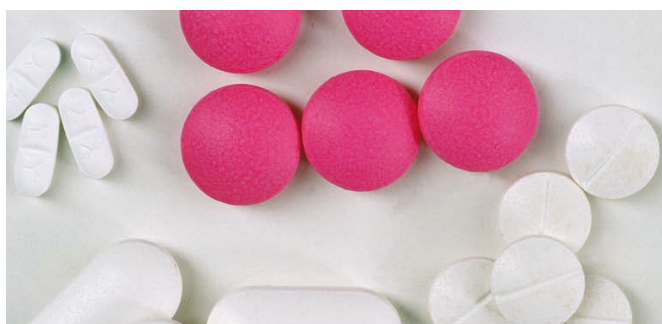
- 样品有哪些成分?
- 各含多少?
- 含有多少非晶体?
- 是什么晶体结构?
- 我可以查看择优取向吗?
- 孔板中包含什么?
- 是否受温度、压力以及湿度的影响?



- 层中有什么?
- 层的厚度、粗糙度和密度各是多少?
- 是否有残余应力?
- 是否有择优生长?
- 我能得到有关 In-plane 反射的信息吗?
- 层是否 (异质) 外延?
- 层是应变的受力还是弛豫的?
- 是否受温度的影响?



- 纳米粉末中有哪些成分?
- 颗粒尺寸分布和比表面积是多少?
- 平均晶粒尺寸和缺陷密度是多少?
- 粉末是真正的晶体吗?
- 样品是非晶体还是纳米晶体?
- 样品结晶状况如何?
- 是否受温度、压力以及湿度的影响?



- 我能够评估样品的内部 (微区) 结构吗?
- 样品有哪些成分?
- 该斑点中有什么?
- 加工会引起择优取向吗?
- 是否存在残余应力?
- 是否受温度、压力以及湿度的影响?

无论是何种样品类型，无论您的经验是否丰富，Empyrean 锐影都能提供最佳质量的数据。

应用

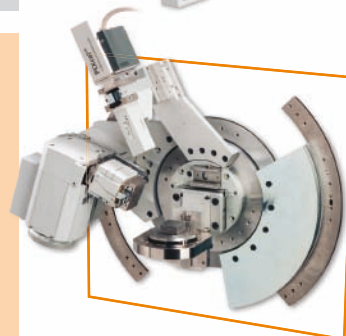
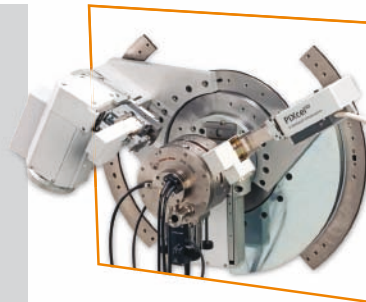
- 物相鉴定
- 物相定量分析
- 结晶度测定
- 晶体结构鉴定和精修
- 直接可视化的德拜环
- 高通量筛选 (HTS)
- 非常温环境条件下的行为

- 物相鉴定 (和深度剖析)
- X 射线反射仪
- 薄膜应力分析
- 织构分析
- In-plane 衍射
- 外延附生分析
- 倒易空间 Mapping
- 非常温环境条件下的行为

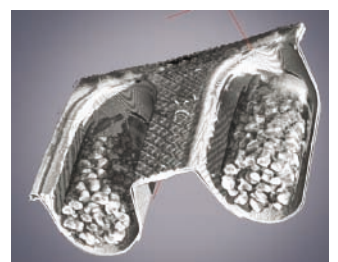
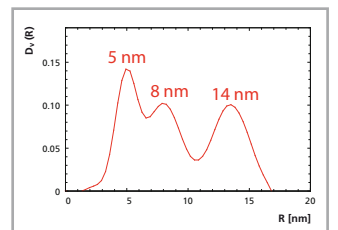
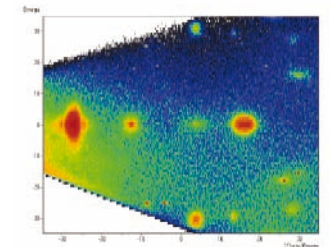
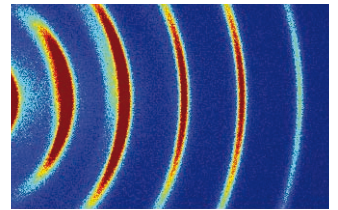
- 物相鉴定
- 小角度 X 射线散射 (SAXS)
- 晶粒大小和微应变分析
- 非晶含量测定
- 对分布函数 (PDF) 分析
- 原位结晶分析
- 非常温环境条件下的行为

- 计算机断层扫描 (CT)
- 物相鉴定 (也用于透射几何)
- 微区衍射
- 织构分析
- 应力分析
- 非常温条件下的表现

实例配置



典型结果



EMPYREAN 锐影 X 射线衍射系统

粉末 — 数据说明一切

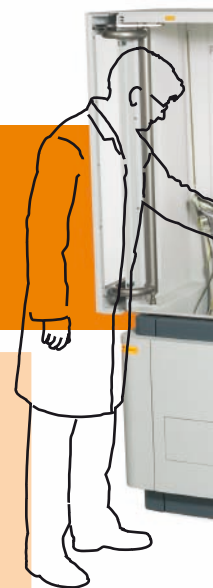
进行粉末和多晶材料分析可能是 XRD 最常见的应用。

Empyrean 锐影为您提供了一个能够测量和鉴定最复杂的混合物物相的平台。用于处理重叠谱图的仪器灵敏度以及软件的强大功能是不可匹敌的。

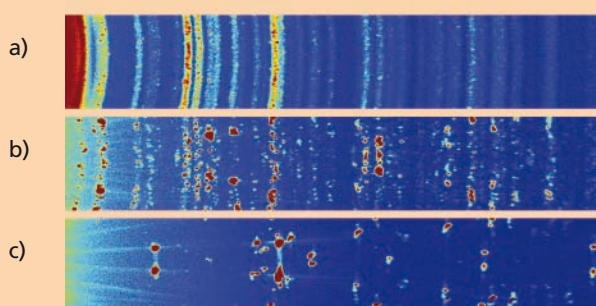
Empyrean 锐影系统的角分辨率是所有实验室粉末衍射仪中最高的，可提供最接近同步辐射质量的数据。

Empyrean 锐影可提供最宽的非常温环境状态模拟，由仪器软件进行全面控制。

Empyrean 锐影非常适用于教学用途。它可提供所有相关的衍射几何（反射、透射、毛细管、微区衍射和德拜-谢乐光路），并且以最全面的工作实例集为后盾。

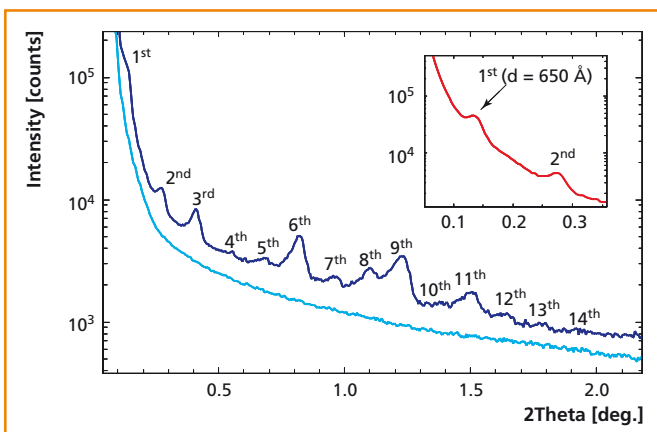


直接可视化的德拜环



每台 Empyrean 锐影均配备了具有二维 (2D) 衍射功能的 PIXcel^{3D} 探测器。二维 (2D) 衍射谱图可显示某样品的粒度是否足够细以产生随机取向样品 (a) 特有的连续德拜环，或粒度是否中等或粗糙而产生多斑点德拜环 (b 和 c)。

透射衍射



高通量筛选

孔板上的样品以彩色编码形式显示成分的相似性或混合性

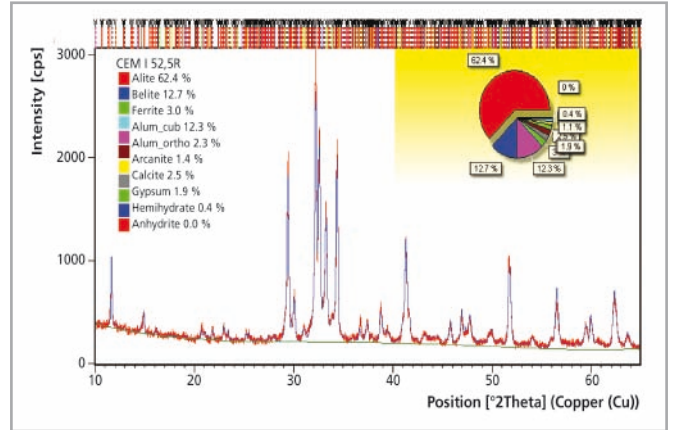


干鼠尾肌腱胶原纤维的小角度衍射谱图与其取向有关。当纤维轴与入射光束垂直时（深蓝色），由于胶原分子沿纤维轴的特殊排列，从而可清楚地观测到等距经向反射。插图中显示的数据通过 Hybrid 单色器获取，以获得最佳低角度分辨率。与第一个衍射峰相对应的布拉格间距 (650 Å) 可轻易解析出来。当纤维与入射光束（赤道方向）平行时，不会观察到此类衍射峰（浅蓝色）。

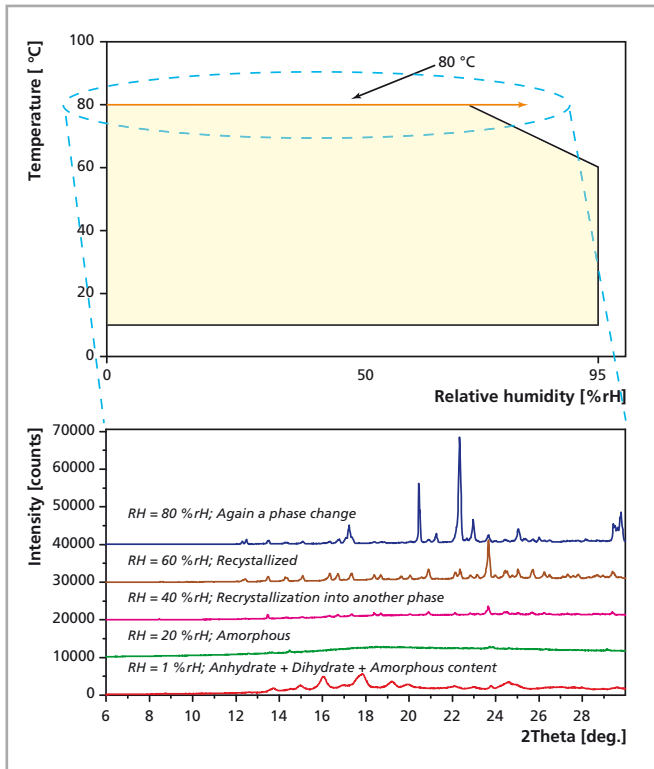
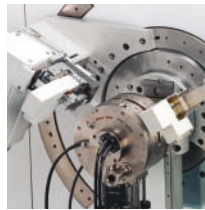


全谱定量

Rietveld 无标定量分析已成为分析复杂混合物特征的重要方法。



非常温条件下的分析

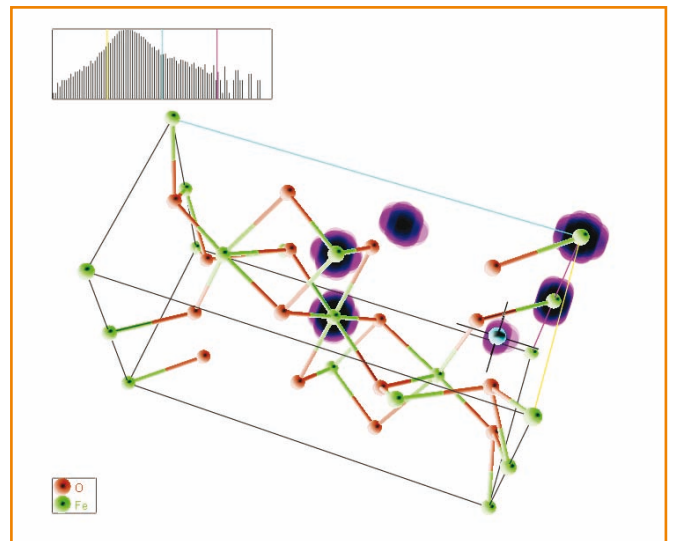


在 Anton Paar CHC Plus+ 控温控湿室中测量到的 80°C 时的 α, α' -海藻糖二水合物：随着相对湿度不断提高，观察到多个相变。
上图显示可用于系统的控温湿度范围。

晶体结构鉴定和精修

Charge-flipping 是 2004 年专为单晶体数据开发的一种快速的 ab 从头算结构分析方法，此后针对粉末衍射测量进行了扩展，现已成功用于小型和大型的无机和有机结构中。

差分傅立叶图提供了一种在未知结构中查找（重）原子的替代方法。两种方法均可提供三维电子密度图，以供做出评估。



通过差分傅立叶图显示的铁橄榄石结构分析结果 - 与已知结构重叠。

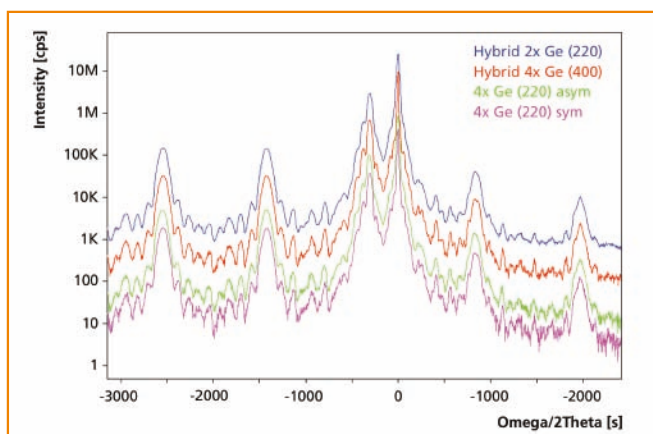
EMPYREAN 锐影 X 射线衍射系统

薄膜 — 数据说明一切

用于薄膜分析的衍射仪通常专用于此目的。现在，借助 Empyrean 锐影，高分辨率外延分析的要求与多功能立式衍射仪的优点相结合，您可以在一个系统上获得最全面的分析功能。

Empyrean 锐影是一种可以和层生长设备配合使用的完美分析工具。全新的 Empyrean 锐影样品架使您可以对大至 2 英寸的晶片和晶片碎片进行完全 Mapping，并可放置最大 4 英寸的晶片。

外延附生分析

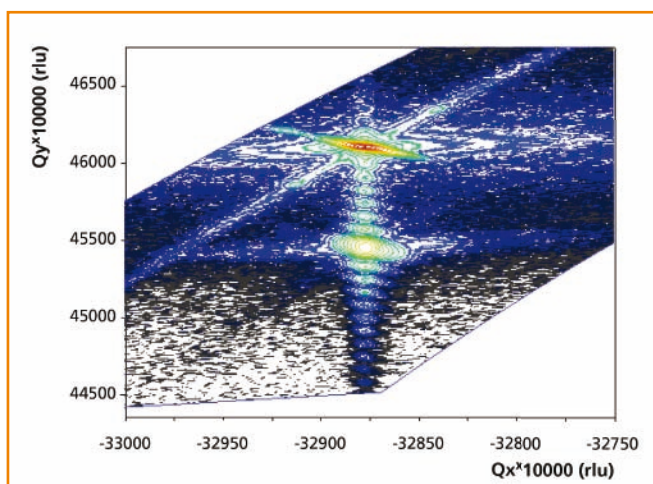


比较不同入射光路单色镜下周期多层外延膜的 InP (004) 反射的摇摆曲线性能。分辨率和强度上的差异显而易见。各种模块可提供不同的角分辨率以满足不同的分析需求。

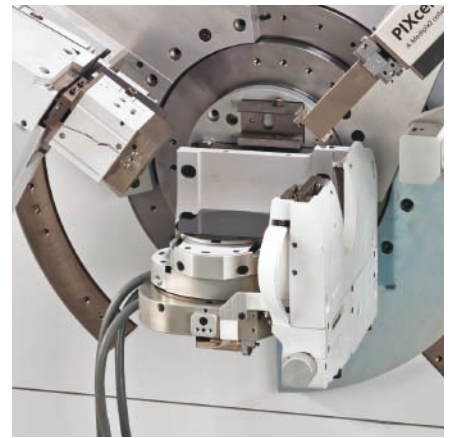
Empyrean 锐影面面俱到：

- 进料（粉末）和基片质量检验
- 使用掠入射几何进行深度剖析
- 使用 X 射线反射 (XRR) 分析单层或多层系统的厚度和粗糙度
- 多晶层的取向分析
- In-plane 衍射
- 确定涂层和薄膜的残余应力
- 通过摇摆曲线和倒易空间图进行外延附生分析

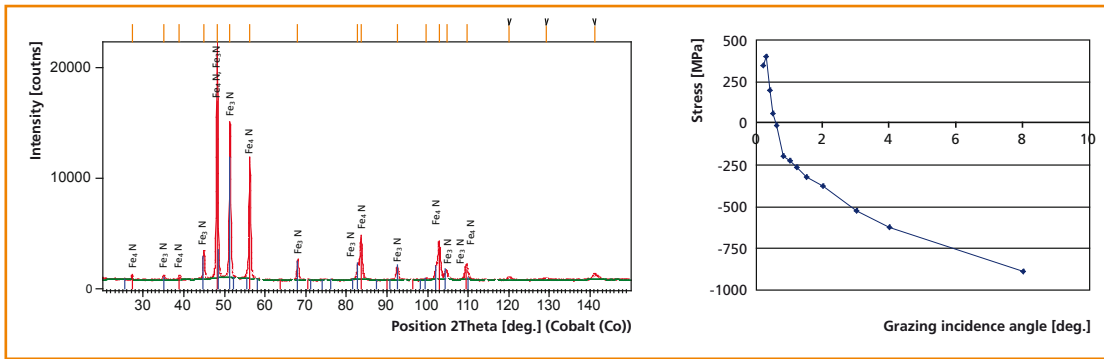
倒易空间 Mapping



使用 PIXcel 探测器扫描模式对 Si/SiGe 样品进行快速倒易空间 Mapping 与常规配置相比，速度提高了 10 倍

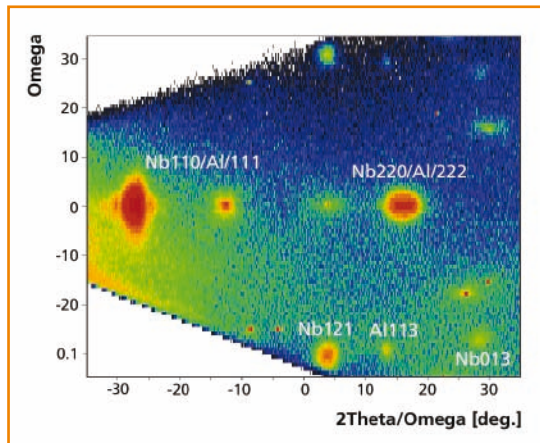
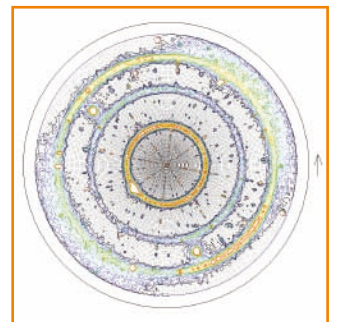
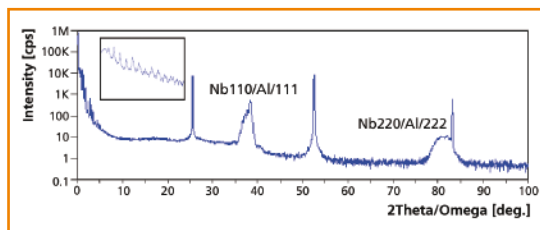


物相鉴定、应力分析和深度剖析

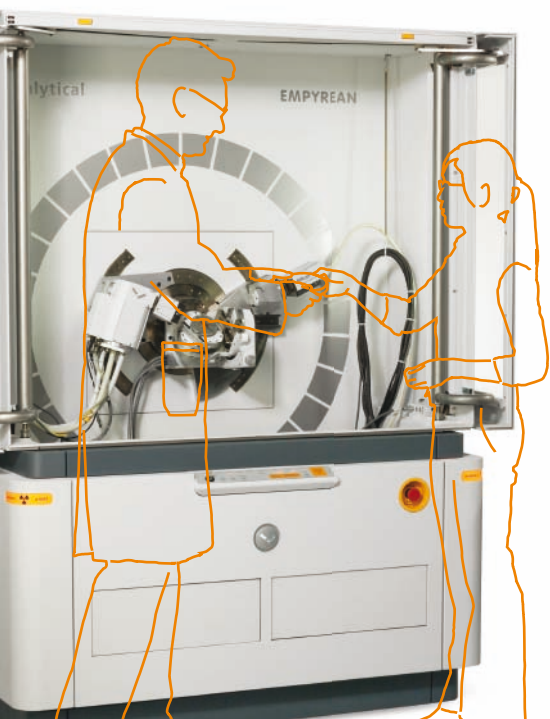


分析钢材上的多晶 Fe_3N / Fe_4N 涂层。掠入射条件下进行应力测量。以不同的掠入射角度重复测量可探查是否存在应力梯度。

反射仪和织构分析



蓝宝石和硅基底上生长的 NbAl 多层薄膜显示出纤维结构。反射率和广角扫描功能仅在 5 分钟内就可提供有关信息。通过反射率可得出多层膜厚度和界面粗糙度。广角扫描支持使用极图和/或以不同 Omega 偏角的 2theta/Omega 扫描谱图进行织构研究。请注意，例如，对于 Nb(121) 反射对称扫描无法显示，但以 30° 的 Omega 偏转可观察到。极图将 Nb(121) 反射显示为一个环，指明薄膜取向在面内 (in-plane) 是随机的。随机共平面。



EMPYREAN 锐影 X 射线衍射系统

纳米材料 — 数据说明一切

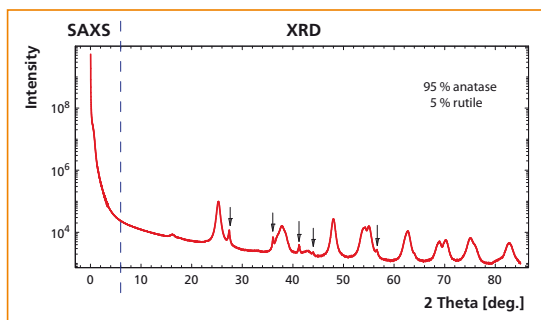
Empyrean 锐影支持使用多项 X 射线技术来分析纳米材料，包括薄膜、粉末物质或悬浮液。

过去十年内，纳米材料的独特性能激起了科研人员的极大兴趣。

为分析纳米颗粒的尺寸、形状、比表面积或稀释分散体，帕纳科设计的 X 射线小角散射 (SAXS) 应用程序 EasySAXS 非常简单易用。纳米材料的晶粒尺寸可通过在 HighScore (Plus) 中进行线形分析获得。通过对分布函数 (PDF) 分析可进行非晶体或纳米晶体材料的结构分析。

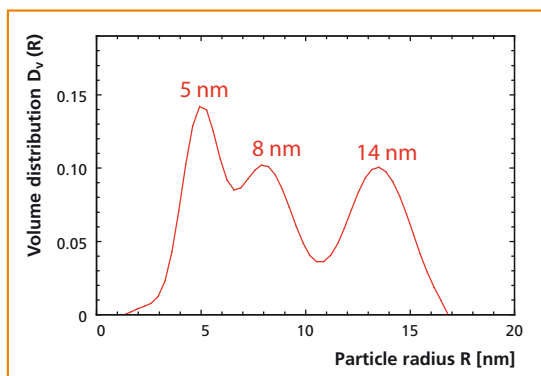
适用于 Empyrean 锐影的各种非常温环境也可有利地用在纳米材料的合成与表征上。例如，可以观测纳米颗粒随温度的变化烧结情况（在空气中、真空中或其它气体中）。可以研究 100 个大气压下的催化活力。对于所有此类应用，Empyrean 锐影允许用户选用适合的 PreFIX 预校准 X 射线元件，以获得最佳效果。

物相鉴定和 X 射线小角散射 (SAXS)



对纳米二氧化钛同时进行 XRD 和 SAXS 测量。除锐钛矿相外，物相分析显示材料中存在微量金红石相（箭头所示的小峰）。锐钛矿相的衍射峰很宽表明晶粒尺寸较小，正如纳米粉末样品所预期的。SAXS 信号可用于测定纳米颗粒尺寸分布。

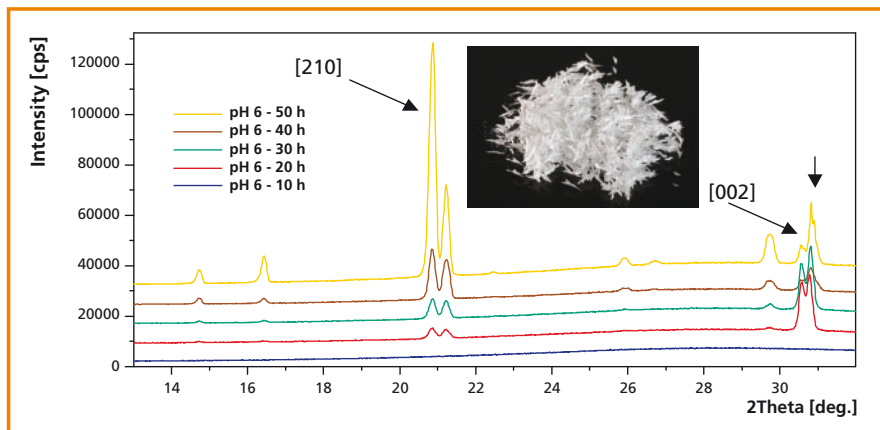
通过 SAXS 分析多模式尺寸分布



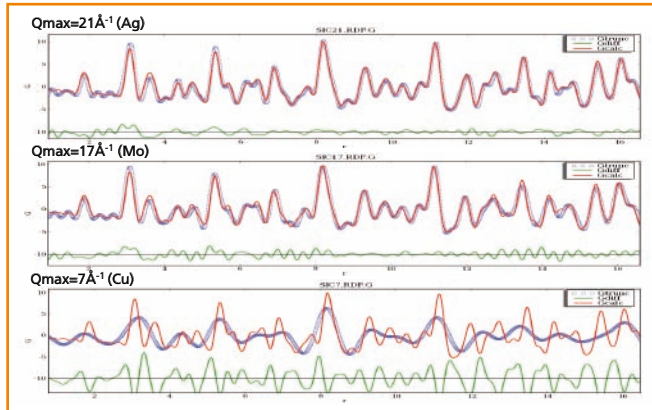
帕纳科 EasySAXS 软件无需事先推断分布类型便可进行多模式尺寸分布分析。此处是稀释硅分散体的三模态颗粒尺寸分布。

原位结晶监控

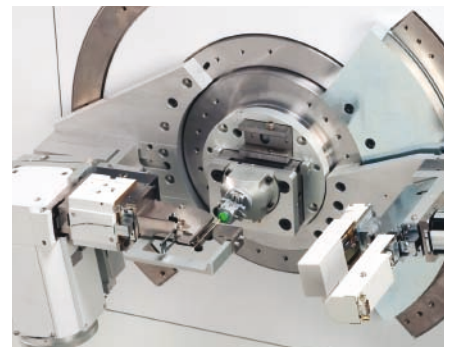
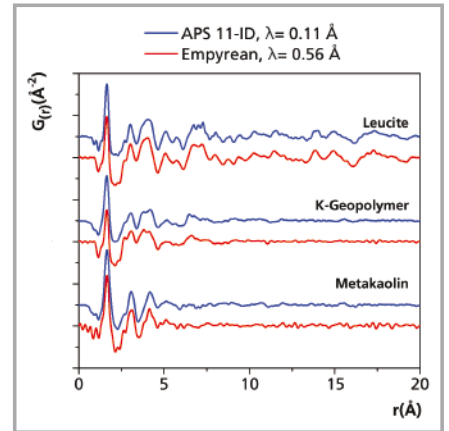
在 Empyrean 锐影中安装的悬浮液流动池中测量到的 DL 丙氨酸在 pH 值为 6 时结晶的在线研究。在晶体开始生长时有明显的 [311] 和 [002] 衍射峰，在大约 38 小时后晶体开始沿 [210] 方向强劲生长。



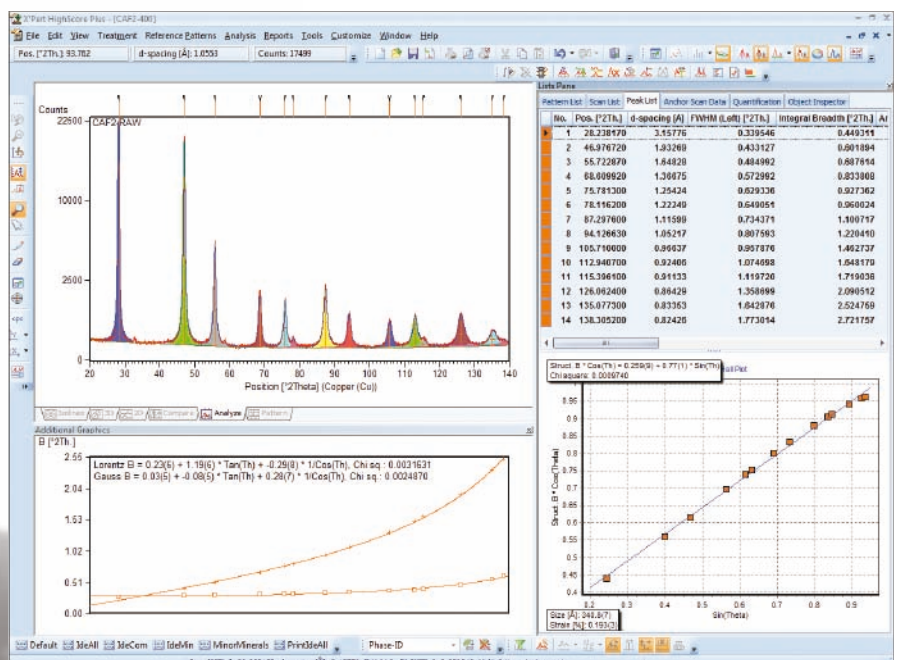
对分布函数 (PDF) 分析



采用高能辐射能更好地进行 PDF 分析。每台 Empyrean 锐影均支持使用钨或银靶，配以狭缝光学器件或专用反射镜光学器件。图形显示，使用较长波长辐射会大大降低实验 PDF 的质量。与同步辐射试验相比，在 Empyrean 锐影上采用银靶同样可以获得非常好的效果。（同步辐射数据来自阿贡国家实验室的先进光子源，由 V. Petrov 教授提供）。



晶粒尺寸和微应变分析



由 X 射线衍射峰的宽度和形状可以获得有关晶体材料的微结构信息（晶粒尺寸和微应变，也称尺寸 - 应变分析）。HighScore (Plus) 可从每个衍射峰计算得到尺寸和应变的信息。截屏还显示了 Williamson-Hall 图，给出了平均尺寸和微应变结果。

EMPYREAN 锐影 X 射线衍射系统

固体物质 — 数据说明一切

有时，必须在无任何样品制备的情况下分析样品。

样品涉及广泛：

- 地质样品
- 医药片剂
- 工程组件，如滚珠轴承、接头和轴

Empyrean 锐影可处理所有这些样品。

平行光几何常用于粗糙和不规则形状物体的物相鉴定。帕纳科对此几何方法的理念完全反映在我们的所有设置中 - 优化，而不是折衷。

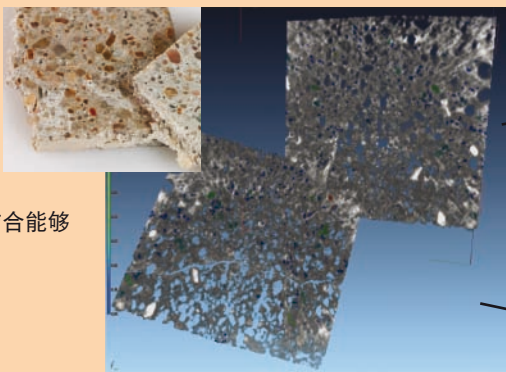
Empyrean 锐影还可以分析重达 10 公斤的大件样品，是这款灵活的多功能 X 射线系统所独有的功能。三轴 Empyrean 锐影样品架使您可以安装重达 2 公斤的元件，进行择优取向（织构）和 χ -tilt 或 ω -tilt 的残余应力分析。

Empyrean 锐影还有一项独一无二的能力就是无需对材料进行切割便可看到小型固体物质的内部。

计算机断层影像 (CT) 分析可以为随后 X 射线衍射分析确定特定区域，或用来检查是否存在小孔。

计算机断层影像和物相鉴定

CT 可使样品的构造、瑕疵和夹杂物显现出来。我们可以获得样品的致密度并计算其差异。这为研究人员提供了一个非常有价值的新工具，还给予 XRD 数据的解读新的可能。尤其是，一维 (1D) 和二维 (2D) 衍射信息与三维 (3D)-CT 相结合能够在第一时间提供样品完整的形貌。

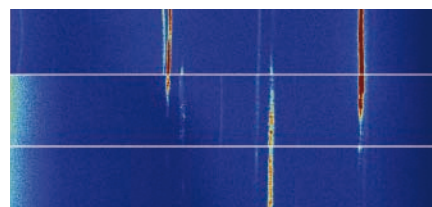
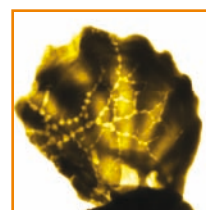


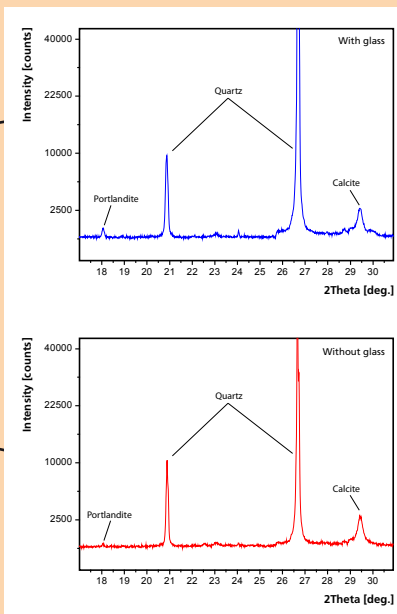
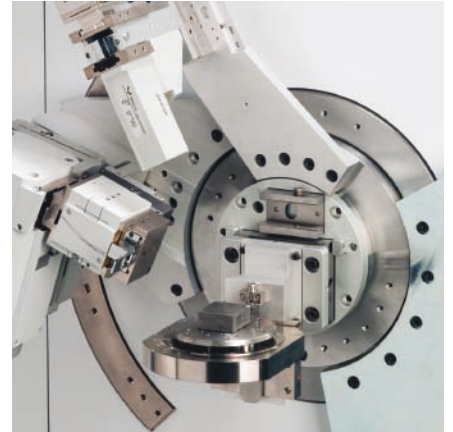
此例中，显示了属性不同的两种混凝土样品。右侧的 X 射线谱图表明上侧样品（含玻璃添加剂）中明显存在着氢氧化钙以及含量稍低的方解石。另一样品（不含玻璃添加剂）显示有含量少得多的氢氧化钙以及含量稍高的方解石。这可由 CT 拍摄出的微结构说明：上侧样品显示出具有较高致密度的微结构，能够抑制碳酸盐化反应；另一样品则具有更多的孔和裂缝，会出现较强烈的碳酸盐化反应，从而影响长期稳定性。

射线照相、计算机断层影像和微区衍射

Empyrean 锐影提供了适合对自然物或文物进行非破坏性分析的无与伦比的功能。

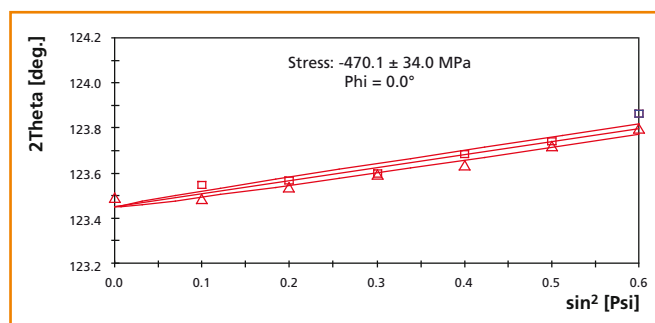
例如，我们结合 CT 和 XRD 数据对贝壳进行了分析：右侧的 X 光照片展示了贝壳中不为外部所见的一些空隙。贝壳的 CT 重构图（中）让我们能够进一步对贝壳切片，并更加详细地分析其结构。在箭头处（贝壳连接处，在图片中以绿点标记），对文石相的取向进行了分析：通过贝壳方向稍做变化（如图中三个箭头）测量得到的二维 (2D) 衍射图很容易就可看出文石相强烈的择优取向。



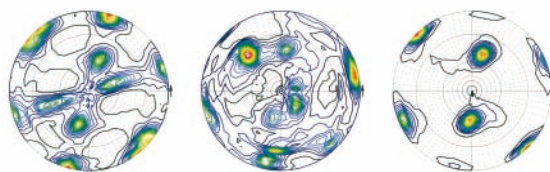
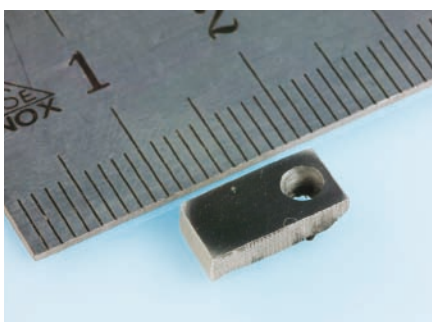


应力分析

应力测量在滚珠轴承内圈上进行，以探究滚道的底部。下图显示沿滚道方向测得的数据的 $\sin^2\psi$ 图形。



织构分析



通过等径角挤压（ECAP，是一种有效的对金属合金细化晶粒并提高机械性能的方法）处理的铝材的织构分析。

经过 ECAP 处理的典型样品及其三个不同晶面的极图

EMPYREAN 锐影 X 射线衍射系统

技精于尖 无处不在

为了制造出适于粉末、薄膜、纳米材料和三维 (3D) 物体的最佳 X 射线衍射仪，所有必备元件均由我们经验丰富的研发团队重新开发。

2 通用 PreFIX

Empyrean 锐影系统配有通用 PreFIX 光学器件、样品台和配件，以及已得到验证的帕纳科专有的运动安装概念（预校准快速可切换 X 射线模块）。稳定可靠的强化工具钢支架使得光学器件和样品台在三维上实现微米级精度的可重复定位，从而无需重新校准。

1

帕纳科的 Empyrean 锐影光管：光管焦点位置转换无需校准且具有最多种类的光管阳极材料



3

独一无二的 PiXcel^{3D} 探测器，是与 CERN 及其他领先的欧洲科学研究所联合开发而成（详细信息请参见以下几页）



4 新颖独特的样品台



- 设计紧凑的 5 轴 1/4 环样品架
- 设计紧凑的 3 轴 1/4 环样品架，样品负重高达 2 千克
- CT 样品旋转样品台
- 非常温样品台中机控高度校正和温度补偿样品台
- 所有样品台均可在数分钟内切换
- 所有大型样品台和非常温样品台均可从系统中完全移除，无需切断电源



5

符合所有与 X 射线、电子和机械安全相关的国际法规



6 19 英寸标准机架

适用于非常温控制器和集成真空系统

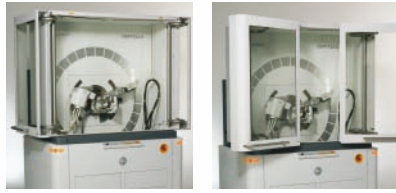
7

带有轮子的机柜便于安装和移动

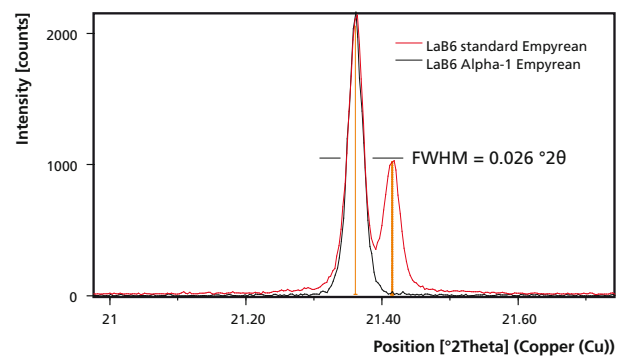




8 宽阔的机柜使您可以在实验区域中轻松进行操控



9 世界上最准确的高分辨率测角仪
步长 0.0001° , 2θ 线性 $\pm 0.01^\circ$ 。



Empyrean 锐影为实验室 X 射线系统解决方案设立了新的标杆，NIST SRM660a LaB₆ 的第一个衍射峰的 FWHM 值为 $0.026^\circ 2\theta$ 。



“我们结合长期经验以及最新技术创造出最能顺应现在和将来应用需求的高性能‘骨干’”。

7 用于数据采集和分析的综合软件套件。支持多用户，无人值守和远程操作，以及自动数据收集、分析和报告。



智能核心

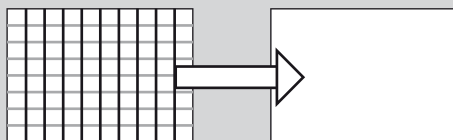
Empyrean 锐影的核心是一款全新的创新型高分辨率测角仪，它是在帕纳科精密测角仪的传统基础上不断发展而来。它利用新一代直接光学编码系统 (DOPS2)，配有精确校准的 Haidenhein 编码器和路径跟踪技术 (PTT)，通过数字信号处理 (DSP) 功能进行连续的高级运动控制。借此高级运动控制，测角仪能够提供最高的分辨率和差异准确性，且比以往能够更快、更准确地定位机械臂。

探测器模式

PIXcel 和 PIXcel^{3D} 优点

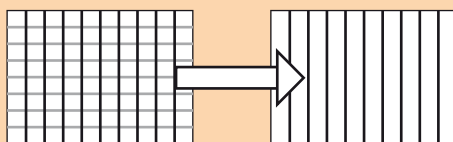
PIXcel^{3D} — 技精于尖

PIXcel^{3D} 的推出为 XRD 分析新增了一个维度。此款独特的光子计数探测器在世界范围内最为先进。无点扩散函数的高空间分辨率、最高动态范围以及低噪音等特点树立了一个新的性能标准。此外，可进行二维 (2D) 扫描的特性使其成为可用于多功能商用衍射仪上用途最为广泛的探测器。



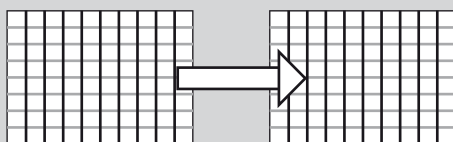
零维 (0D) 模式: 合计所有像素得到随时间变化的单个强度值

具有最高动态范围、最高最大计数率和最低背景的点探测器



1D 模式: 合计一列上的所有像素, 使其成为某方向上的阵列探测器

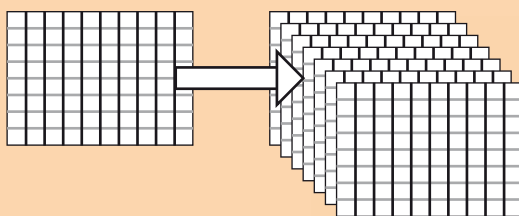
具有最高动态范围和最小条纹宽度的线探测器



2D 模式*: 所有像素可单独读取: 直接观测 X 射线图像

面探测器具有最高空间分辨率、每个像素高动态范围和低噪音等特点, 无需任何校准

结构紧凑、智能且功能强大的二维 (2D) XRD ... 等



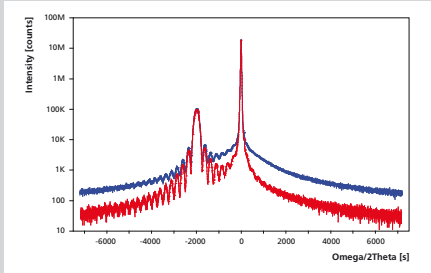
三维 (3D) 模式*: 所有像素可单独读取: 结合很多二维 (2D) 图像重构物质的三维像素: 计算机断层影像

动态范围最高且噪音最低的计算机断层影像探测器

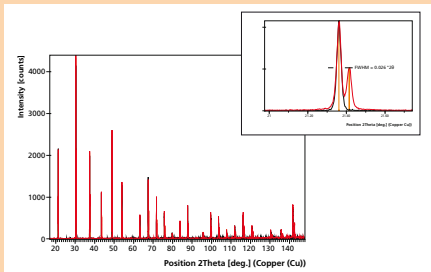
* 仅在 PIXcel^{3D} 上可用



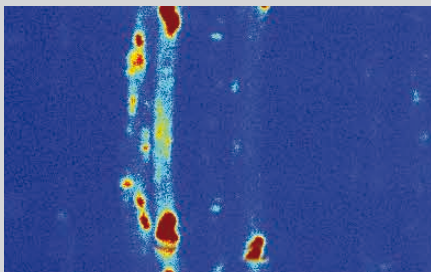
典型应用



外延层结构上的
摇摆曲线，无需
光束衰减器



LaB₆ 测量基于 Bragg-
Brentano 几何方法
且使用 Alpha-1
Johansson 单色器



阿司匹林颗粒的
二维 (2D) 谱图

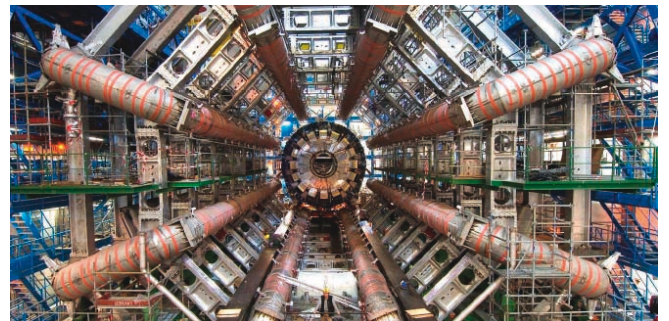


原泡罩包装中的药剂
胶囊的 CT 重构图，
虚拟解剖

与 CERN 紧密合作

PIXcel^{3D} 是帕纳科与 Medipix2 协作组织（以 CERN 为首包括欧洲超过 16 家领先的粒子物理学研究机构在内的协会）合作的成果。随着先进技术探测器的开发日趋复杂，只有积极参与基础研究的大型团体才有能力安排相关的计划和投资。

帕纳科是此协作组织的工业合作伙伴，且享有将该技术在分析 X 射线应用领域商业化的专有权，这使我们在未来多年一直处于探测器开发的最前沿。



“Medipix2 芯片技术具有高空间分辨率、高动态范围和低噪音等特点。Medipix2 协作组织很高兴看到此领先技术被帕纳科开发利用于材料分析。”

Medipix2 协作组织发言人 M. Campbell

“帕纳科很早就采用了该技术，并已成为 CERN 和协作组织最具价值的技术转移合作伙伴。”

CERN 技术转移事业部的 B. Denis

与帕纳科的合作关系 — 诺重于金

您做出投资购买 Empyrean 锐影系统的决定就意味着我们即将开始多年的合作关系。我们开发 Empyrean 锐影的主要目的不仅仅是为每位用户提供一个坚实的平台来建立一个完美的 XRD 系统。我们还会与您展开协作，与我们的技术专家和应用科学家一起，将每一台衍射仪设计成可以完美满足您的分析需要的产品。您的意见可以指导我们的开发工作，双方携手还能帮助我们您的复杂材料中充分挖掘信息。

专家面对面

培训课程、仪器熟悉教学、应用研讨会和远程学习通道均可为新用户和现有用户提供重要信息。全球各地的帕纳科机构均可提供上述服务以及举办各种以 X 射线衍射和散射为主题的普通科学会议。



信息充分

帕纳科客户知道

世界上排名前 50 位的大学*中约 80% 都是帕纳科的客户和开发合作伙伴。

*www.usnews.com/articles/education/worlds-best-universities/2009/10/20/worlds-best-universities-top-200.html



扩展能力

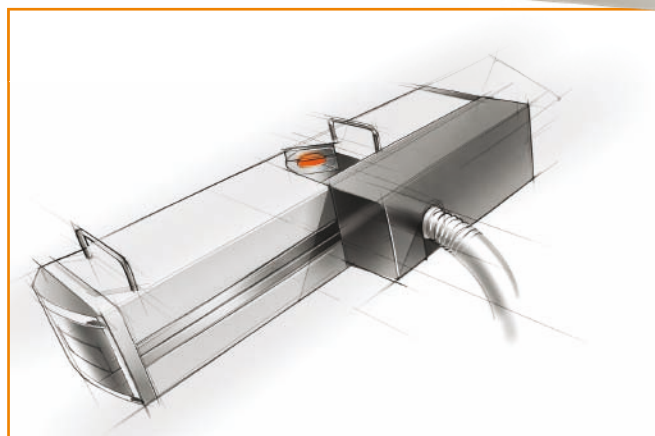
帕纳科对现有系统添加新技术和新应用程序的历史记录是无与伦比的，这得益于多年来对 PreFIX 模块的使用。Empyrean 锐影将在此基础上继续有所建树。

本页显示一些我们正进行的进一步扩展 Empyrean 锐影功能而开发的技术的实例：

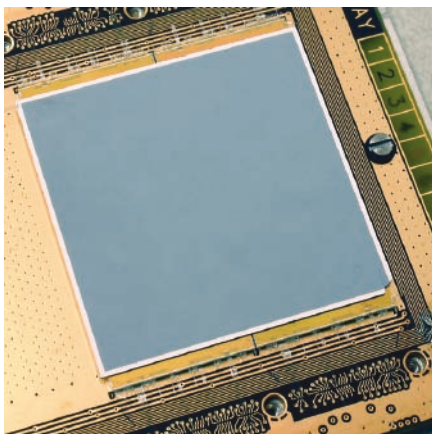
- 多段固态像素探测器
- 对稀释样品进行 SAXS 测量的抽真空光束路径
- 微焦点 X 射线源和光学器件



微焦点 X 射线源



抽真空光束路径素描 - SAXS



四个 PIXcel^{3D} 探测器组件 (Quad)