



Delta-X™

多功能X射线衍射/反射仪

提供科研开发工作所需的
各种X射线测试解决方案

简介

Jordan Valley公司最新设计的Delta-X是多功能的X射线衍射设备，可灵活应用于材料科学研究、工艺开发、与生产质量控制。Delta-X衍射仪的光源台和探测台的光学元件可以全自动化调控，并采用水平式样品台。Delta-X衍射仪可以在常规衍射模式、高分辨率衍射模式、X射线反射模式之间灵活切换。光学配置的切换完全在菜单式程序控制下由计算机完成，无需手动操作。自动化切换和准直不需要专门人员和操作设备，并确保每次切换都能达到最佳的光学准直状态。

常规的样品测量可以通过Delta-X衍射仪，实现部分、乃至完全的自动化运行，自动化测量程序可以依客户需求进行专门定制。也可采用完全的手动模式操作Delta-X衍射仪，以便发展新测量方法，研究新材料体系。

数据分析或拟合可以作为测量程序的一部分，可实现完全自动化，也可依据需要单独进行数据分析。依半导体生产线的需求，将RADS和REFS拟合软件以自动化模式运行，允许在没有用户干扰的情况下自动完成常规性的数据分析，并直接完成数据拟合和结果输出。RADS和REFS也可以单独安装，以便进行更详细的数据分析。

Delta-X衍射仪能满足科学研究所和技术开发中心 不同材料体系的全方位测试需求。

Delta-X 衍射仪的主要特点和优势

- 自动化进行样品准直、测试、和数据分析
- 客户可以自行设定测量的自动化程度
- 300mm的欧拉环支架(Eulerian Cradle)设计，高精度的样品定位和扫描
- 300mm的晶片水平式放置，且可以完整mapping
- 100°的Chi轴倾转范围、无限制范围的Phi轴旋转空间，可实现极图和残余应力测试
- 智能化的光学配置切换和准直。依测量需要，自动选择光学配置并实施光学准直
- 工业界领先的设备控制软件和数据分析软件
- 高分辨率测角仪，以保证精密且准确的测量
- 高强度的光源台设计和光学元件组合，以实现快速测量
- 多方面广泛的测试技术和测量参数
- 由拥有超过30年的高分辨率X射线衍射经验的世界级专家设计、制造，具有全球客户经验。

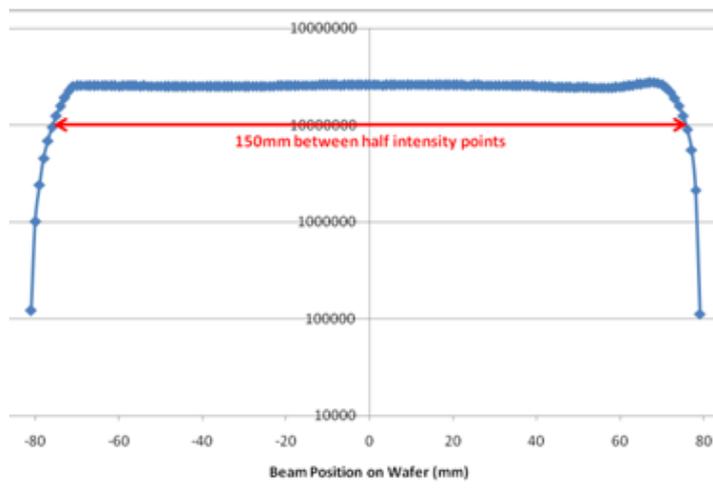
样品台

可放置直径 $\leq 300\text{mm}$ 晶片或多个小尺寸晶片、样品

Delta-X衍射仪的欧拉(Eulerian)环支架设计允许放置单个或多个晶片或样品，并提供多个转动轴的大范围、高再现性的精确移动控制。

- 水平式样品放置
- 可实现X和Y轴方向上，300mm内的完整mapping测量，无边缘测量失真的现象
- 10mm的Z轴高度范围，即使对厚样品也可以调整晶片高度，获得最佳测量位置
- 在样品盘的不同位置，设计了均匀、无扭曲的真空轻度吸附，既适合大尺寸晶片放置，又适合独立、小尺寸晶片的多片式放置
- 100° 的Chi轴倾转范围，可实现完整的极图和残余应力测量
- Phi轴的旋转范围无限制，可实现完整的极图和面内衍射测量

“边缘至边缘”全晶片测量（无边缘测量失真现象）



Delta-X衍射仪支持全晶片测量，无边缘测量失真的现象。

特殊环境样品台

Delta-X衍射仪可选配高温台，并用于各种测试技术。

- 样品尺寸 $\leq 25\text{mm}$
- XRR/XRD/HRXRD等技术均可实现
- 最高温度可达 1100°C
- 可实现真空、空气、特殊气体等不同的测量环境
- 可实现温度的计算机自动控制



探测台

闪烁式高性能点探测器

探测系统具有显著提高响应特性等多方面的特点：

- EDRc (动态响应范围增强型)探测器的动态响应范围 $>2 \times 10^7$ cps。配置全自动化衰减器后，动态响应范围可提高至 5×10^8 cps。
- 选配三轴分析晶体和Soller狭缝，可自动化准直，以保障各项测量所需的分辨率。
- 马达驱动的自动化探测狭缝。无需手动调整，即可控制探测台的接收精度。
- 超快速扫描引擎和软件。大范围扫描可以在5秒内完成。

性能卓越的线探测器(选配件)

提供一维(1D)线探测器可供选择，能实现束线信号的同步平行采集，能显著提高XRD的测量速度。特别适用于小束斑条件下的XRD测量、和快速HRXRD倒易空间map测量。

- 自动化束线准直
- 紧凑式集成设计
- 捕获角度范围大
- 响应帧频高
- 气体冷却方式

自动化机械手臂(Robot)选配件

直径 ≤ 300 mm晶片的全自动化装卸和测量

Delta-X衍射仪可选配全自动化机械手臂，以实现从晶片盒中自动取放晶片。

晶片自动化装卸(robot)配件：

- 可选择“2至8英寸”晶片配置、或者”8英寸与12英寸”晶片配置，提供相应的自动化装卸的控制软件
- 适用于任意数量的晶片测量，多个测量菜单可灵活组合
- 避免手动装卸晶片，提高晶片清洁度
- 自动化软件可准确监测晶片盒尺寸
- 有效提高大尺寸晶片测量的效率
- 设计规格符合SEMI标准

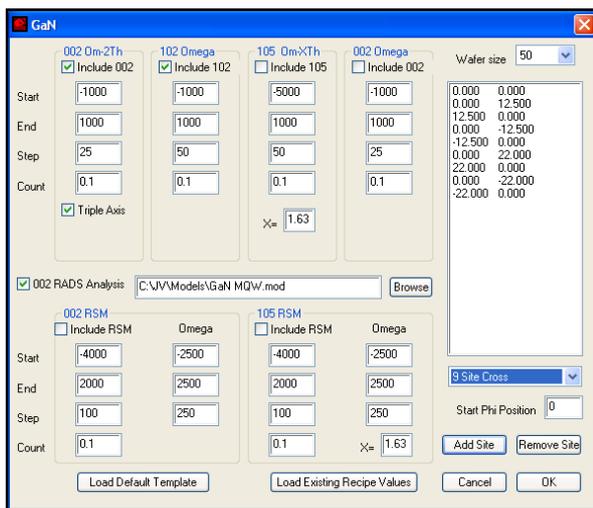
系统控制和数据采集

Delta-X衍射仪可以在不同模式下工作，既包括菜单式全自动化测量，又包括各个轴的手动准直和扫描。

利用灵活、简便的向导创建测量菜单

Recipes测量菜单包括了自动化样品准直、测量、数据分析等各个步骤的测量条件。完全不需要手动准直：全部工作由测量菜单自动完成。

通常，设备工程师可使用嵌入式的菜单建立向导程序，轻松完成创建测量菜单的工作。

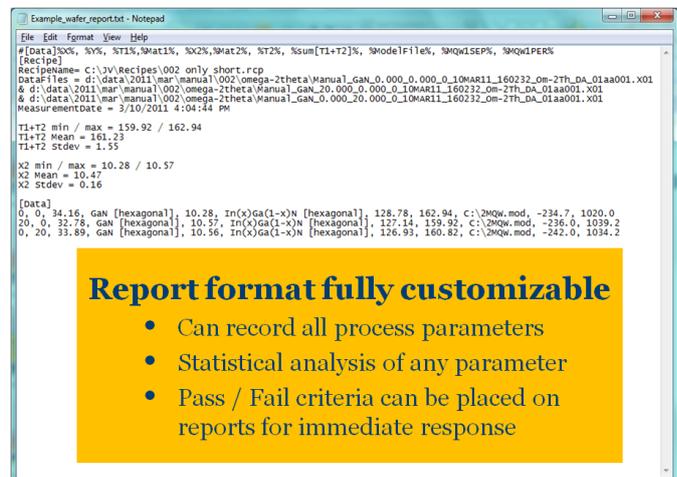


- 覆盖衍射仪可以完成的所有测量方法
- 使用此图片式对话向导，一分钟内即可将菜单建好
- 可依据客户要求，提前在安装时设定好优选的参数作为参数项默认值
- 测量菜单能够添加多点、多项测量
- 所有测量菜单均可以自动完成数据分析，并将分析结果输出至日志式记录文件中

自动产生分析报告，提供实时信息和警示

菜单将自动产生分析报告，把每一个晶片测量所获得的重要参数，列示在总结报告 (Summary report) 中，并同时给出针对此晶片多点测量结果的统计数据。

- 分析数据结果包括：每层外延薄膜的厚度、MQW结构的周期厚度、衍射峰之间的峰间距，单个峰的特征信息(宽度、间距、强度、峰位置)、晶片弯曲和翘曲等。
- 客户可以依需要，为每一个晶片、每一批次测量、或每一炉晶片，定制分析报告。
- 每一个分析报告可以独立的在本地硬盘上保存，或复制到网络硬盘或主机服务器上。
- **新**：可以自动创建PDF格式的分析报告。

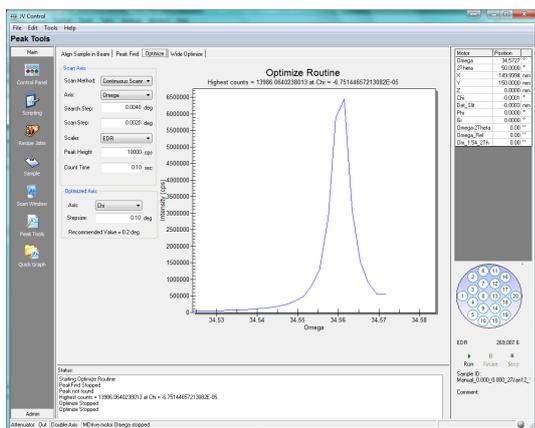


高级用户功能

利用菜单式测量程序，操作员不需要很多衍射仪操作经验，便可轻松使用Delta-X衍射仪。当然，高级用户可以全面使用Delta-X衍射仪的更多高级功能。控制软件允许从完全自动操作、到完全手动准直和测量等所有操作模式。

自动化准直

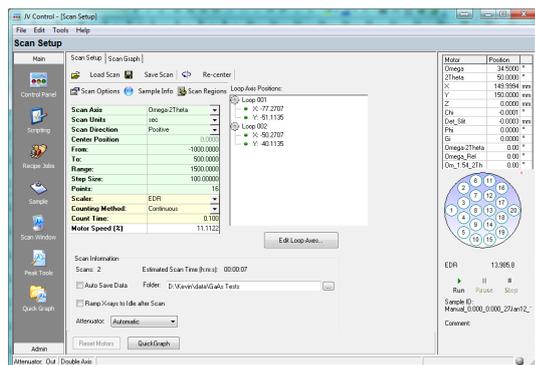
通常，样品准直均由菜单式测量程序自动完成。但是，对于一些特殊的样品，高级用户倾向于手动准直。高级用户也可以使用控制软件中的嵌入式程序界面，对所有的测量方法执行自动化的样品准直程序。



- 嵌入式准直程序包括：半切光、寻峰、双轴同步优化等
- 选择任意转轴准直。支持所有转轴
- 任意选择同步准直优化的第二轴
- 启动准直步骤

可实现任何方向的高级扫描模式！

通过控制软件中的扫描设定面板，任意选择转轴进行扫描设定、或将多个转轴联动进行扫描：



- 选择需扫描的轴
- 选择扫描步长和数据采集时间(允许分区扫描，不同区域采用不同的扫描条件)
- 任意选择循环扫描轴(loop axis)
- 启动扫描
- 允许任意步长比例的Omega-2Theta扫描，便于实现实空间和倒空间中的复杂扫描，且无需客户计算设定！

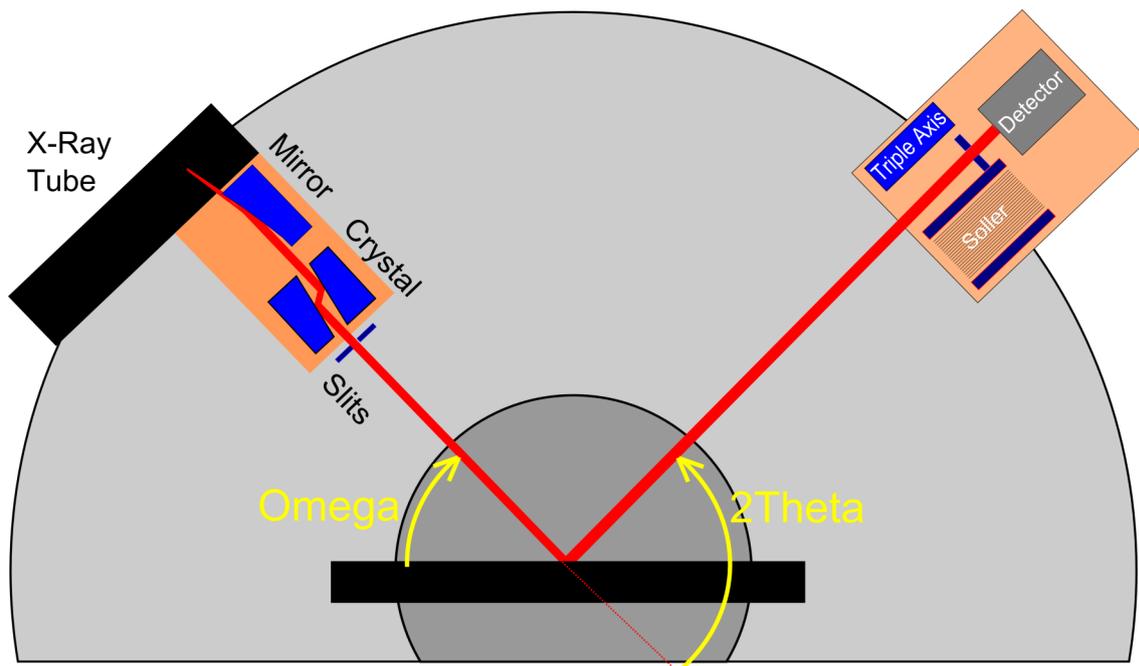
功能强大的程序脚本

在控制软件中，采用嵌入式Visual Basic风格的程序编辑界面，无论测量样品的单个测试点，还是测量完整的晶片均匀性map，都可以将包括准直、数据采集、和数据分析等全部的测量和分析环节实现自动化。衍射仪提供标准的程序脚本，也可以根据测量类型和测量环节的自动化要求设计定制专门的程序脚本。

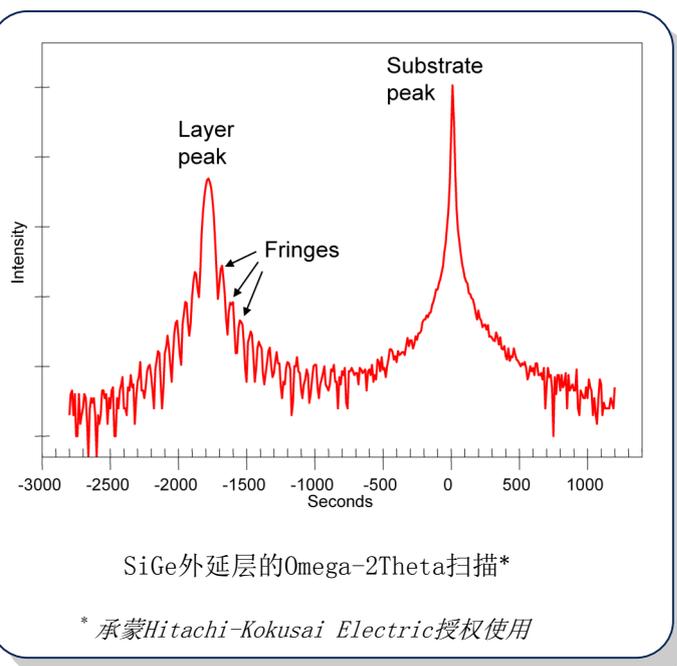
高分辨率X射线衍射 和 弛豫度(Relaxation)

材料: 单晶衬底材料(如Si, GaAs, InP, GaN)和外延层材料, 包括多层外延膜结构

参数: 外延层厚度, 组分, 弛豫度, 晶格应变, 晶片均匀性, 晶格失配, 掺杂浓度, 衬底斜切角, 外延倾角。



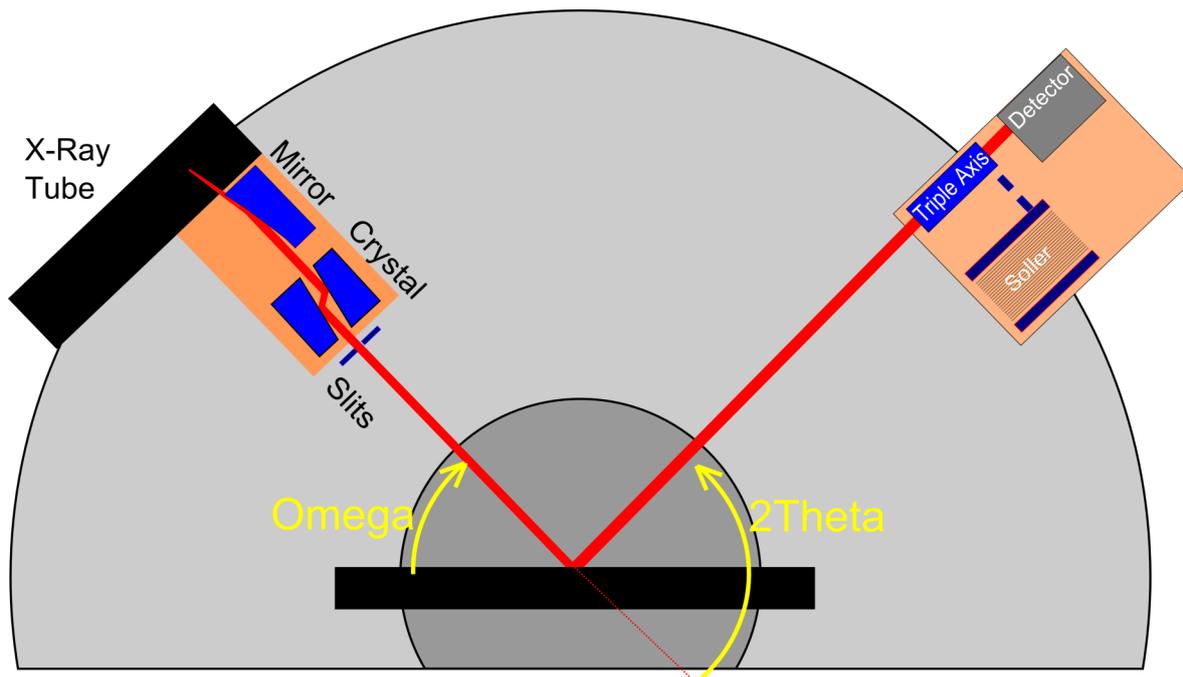
- 直接测量并确定多层外延膜结构的外延层组分、弛豫度、和应变。
- 自动准直晶片、自动化测量、自动化分析数据、自动输出测量和分析结果。
- 自动化衍射数据的拟合分析。采用JV-RADS软件。
- 可以实现多种衍射几何：对称几何、非对称几何、及倾斜对称几何等。



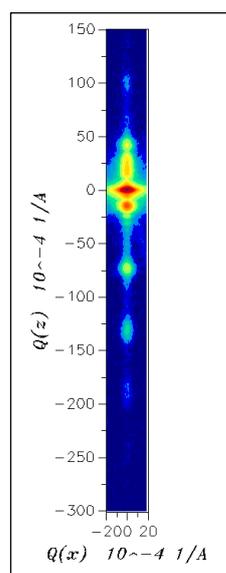
三轴X射线衍射 和 倒易空间Map

材料: 单晶衬底材料(如Si, GaAs, InP, GaN)和外延层材料, 包括多层外延膜结构

参数: 外延层厚度, 组分, 弛豫度, 晶格应变, 晶片均匀性, 晶格失配, 掺杂浓度, 衬底斜切角, 外延倾角。



- 直接测量并确定多层外延膜结构的外延层组分、弛豫度、和应变。
- 自动切换并准直三轴分析晶体, 实现三轴衍射模式。
- 自动准直晶片、自动化测量、自动化分析数据、自动输出测量及分析结果。
- 使用Contour软件绘制倒易空间map。
- 采用JV-RADS软件, 可以对三轴X射线衍射的Omega-nTheta扫描进行自动化拟合分析。

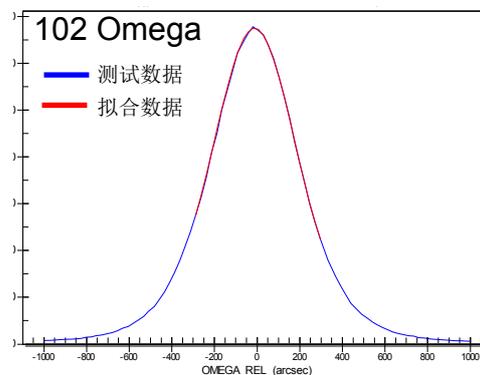
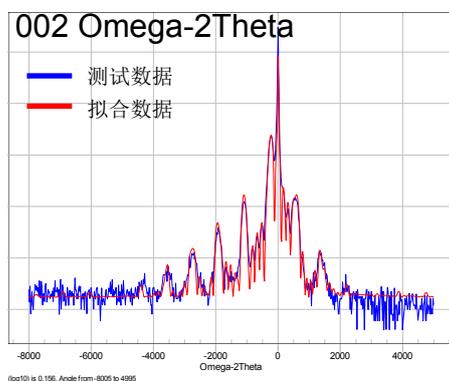


GaN基多量子阱结构的倒易空间map (RSM), 显示了清晰的多量子阱卫星峰, 证实了外延生长多层周期结构时良好的工艺控制水平。

针对生产所需的快速故障诊断要求, 在几分钟内便可以完成倒易空间map (RSM) 的测量。

高分辨X射线衍射 (HRXRD) 数据示例

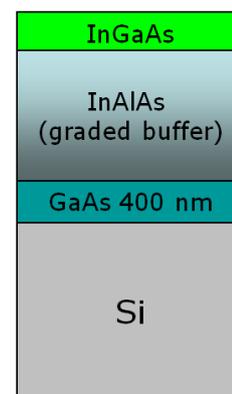
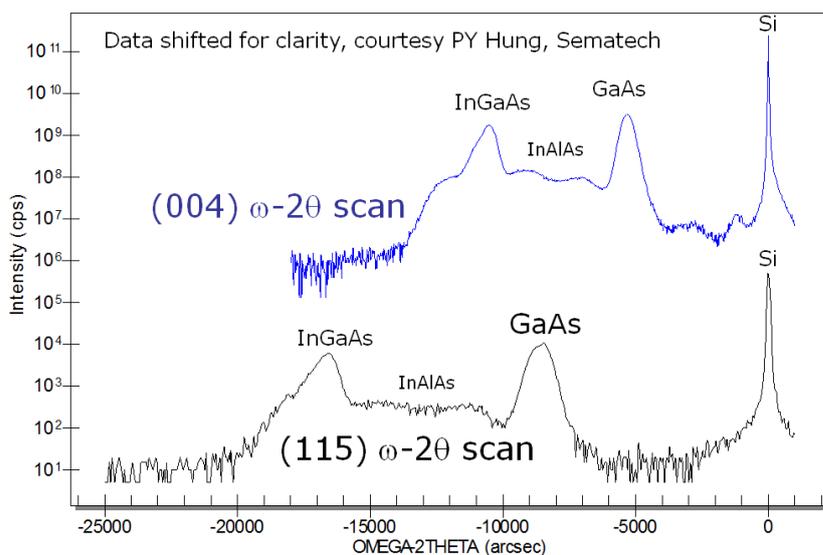
GaN基多量子阱结构



对于GaN基材料来说，标准的生产质量控制(QC)技术一般包括两个主要的扫描方式：102衍射面的Omega扫描用于表征GaN层的外延晶体质量，和002衍射面的Omega-2Theta扫描用于测定外延层的结构参数，包括多量子阱结构的周期厚度、InGaN和AlGaN层的组分等。

上述的测量可以用同一个测量菜单程序完成，包括所有样品的准直、测量、数据分析、以及分析结果的报告与自动展示。

硅衬底上生长III-V族材料



上图为硅衬底上生长InGaAs外延层的(004)和(115)扫描，对两个扫描的联合分析确定了InGaAs层的In组分为47.7%，弛豫度为94%。

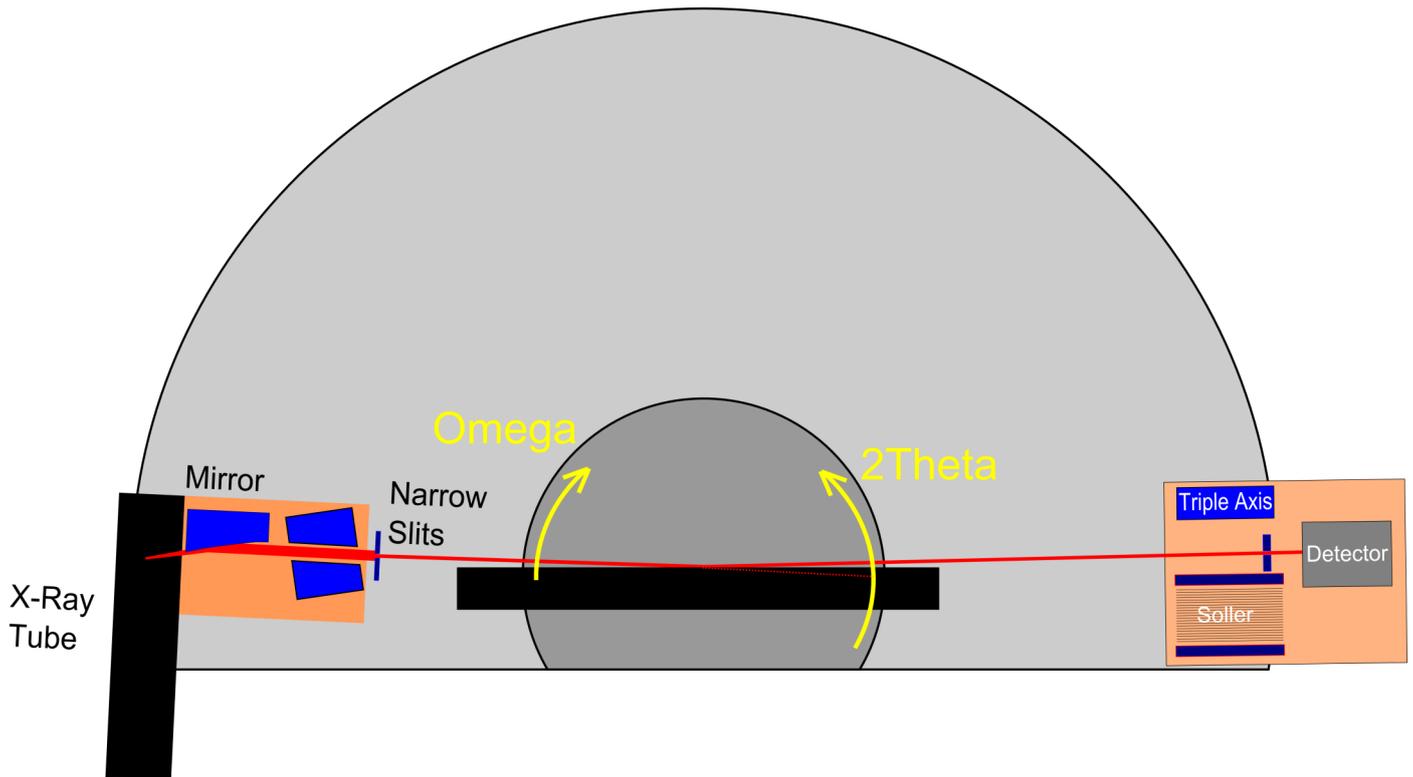
硅衬底上生长III-V族材料，可以在硅基逻辑电路工艺中用于未来世代的晶体管的制造。其材料结构的分析相当复杂，HRXRD已经迅速成为该领域的重要技术解决方案。HRXRD能够测量硅上III-V族材料的应变状态、弛豫度、和组分。

X射线反射 (XRR)

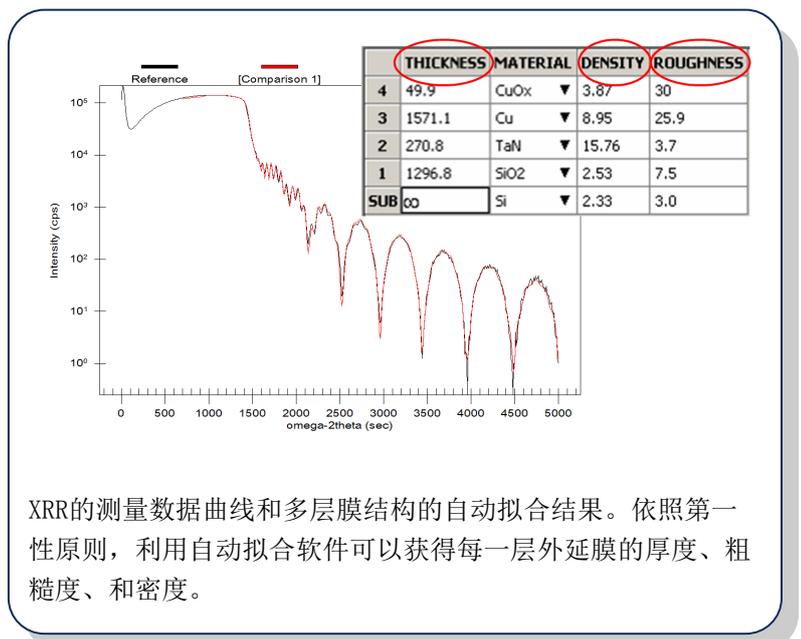
材料类型：薄膜

参数：薄膜厚度、密度、粗糙度

扫描方式：Omega-2Theta扫描, Omega扫描, 2Theta扫描



- 非破坏性测量，且符合测量的第一性原理。
- XRR技术不受材料结晶形态的影响，所以薄膜可以是非晶体、多晶体、或外延晶体。
- 薄膜可以是金属、氮化物、氧化物、有机物、聚合物等。
- 自动进行样品准直、测量、数据分析、和分析报告。
- 薄膜厚度范围：1纳米至1微米，取决于薄膜材料对X射线的吸收系数。



X射线衍射 (XRD) 概要

材料：测量多晶材料、纳米材料、多晶薄膜等。对于超薄层材料、纳米级厚度的薄膜材料，可以使用掠入射衍射。

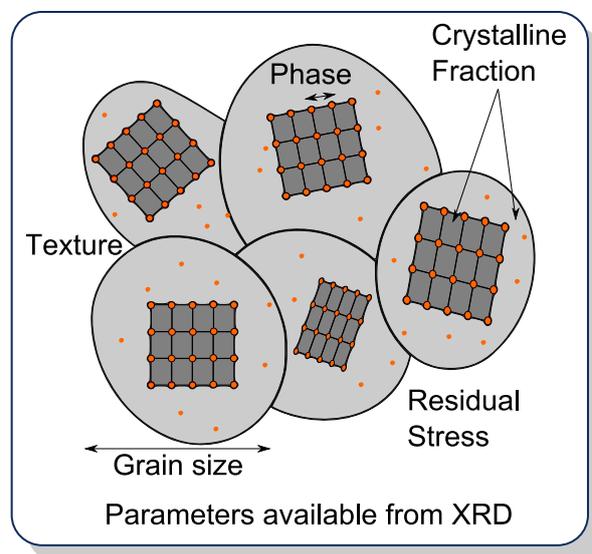
参数：相结构、织构、晶粒尺寸、颗粒尺寸、晶胞分析、结晶度分析、残余应力测定。

X射线衍射应用于材料结构特性的表征已近100年。Jordan Valley的设备将XRD技术主要用于薄膜材料的微观结构表征。

Delta-X衍射仪是多功能X射线测量技术同时实现的最佳平台。Delta-X衍射仪采用目前市场上同类商品中最高的测角仪精度，大范围的倾斜轴 (Chi轴) 和旋转轴 (Phi) 可保障残余应力和织构的完整测量，同时系统的光学配置可实现自动化准直，测量也可以完全自动化进行。Delta-X衍射仪是薄膜材料X射线分析的最佳设备。

XRD的原理是布拉格定律 (Bragg's law)，衍射峰位置由晶面间距确定。但利用这一基本原理，即可测定薄膜材料的一系列关键的结构参数，包括：

- 结晶度：由峰强确定
- 相鉴定：由峰位、峰强确定
- 晶粒尺寸、应变：由峰宽确定
- 织构：由峰强随样品倾斜角和旋转角改变的变化特征确定
- 残余应力：由不同样品倾角下峰位的变化特征确定

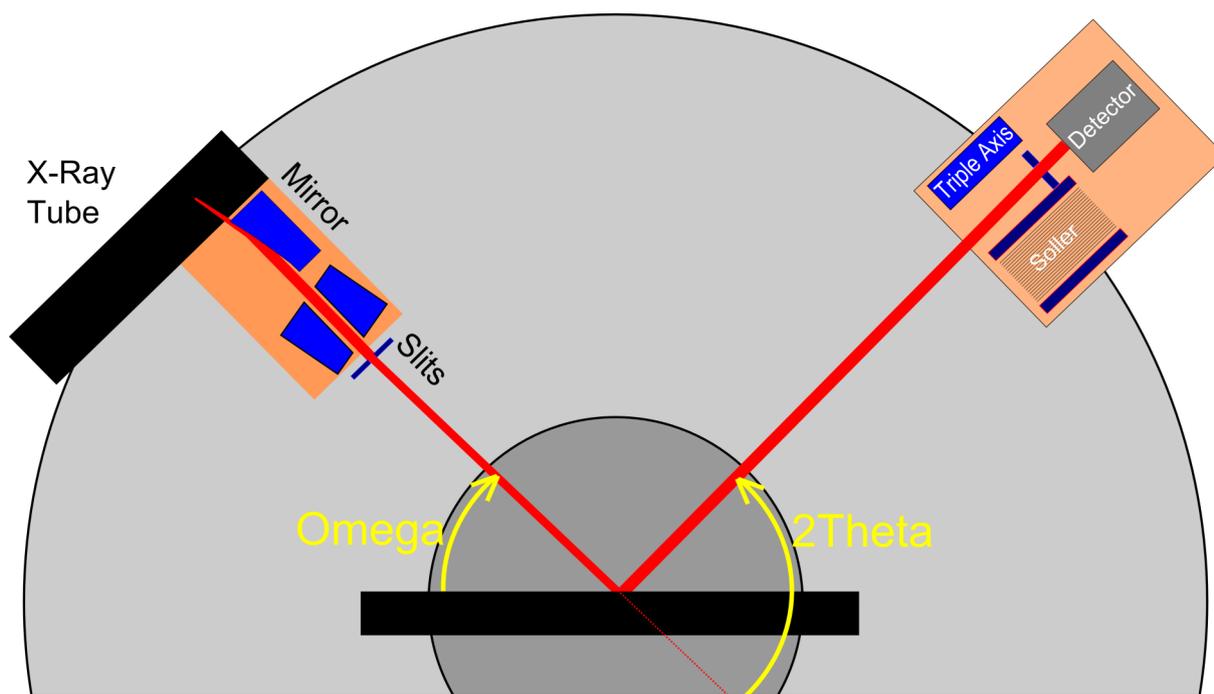


下列彩页中将对Jordan Valley Delta-X 衍射仪的光学配置模式、技术应用进行详细的说明。目的并非要列示出各种复杂的功能，由客户选择。用户可以随时联络我们的技术人员，与您一起讨论、选择、并确定所需的功能，并确定Delta-X衍射仪的最佳配置。

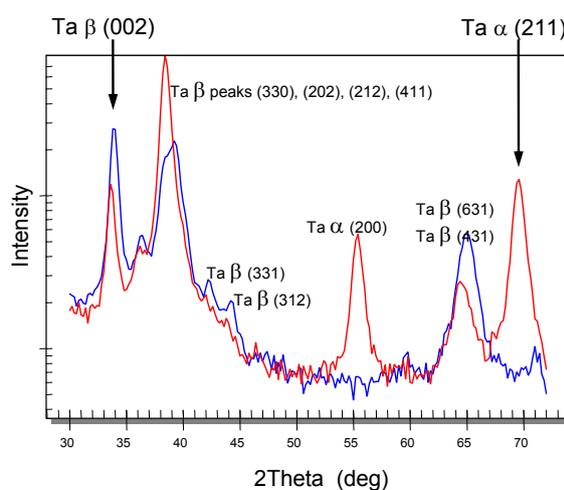
多晶薄膜的X射线衍射 (XRD)

材料：测量多晶材料、纳米材料、多晶薄膜等。对于超薄层材料、纳米级厚度的薄膜材料，可以使用掠入射衍射。

参数：相结构、晶格常数、晶粒尺寸



- 2Theta轴转动范围 $>150^\circ$ ，可测得高指数晶面的衍射峰。
- Omega轴转动范围 $>90^\circ$ 。
- Omega轴能够以任意角度大小偏离衍射峰位置，以避免扫描时出现高的衬底峰。
- 样品准直和测量可自动化
- 提供多种不同的探测台光学模式
- 探测台光学模式间的切换完全自动化
- 可选配Soller狭缝、和自动化控制的探测狭缝



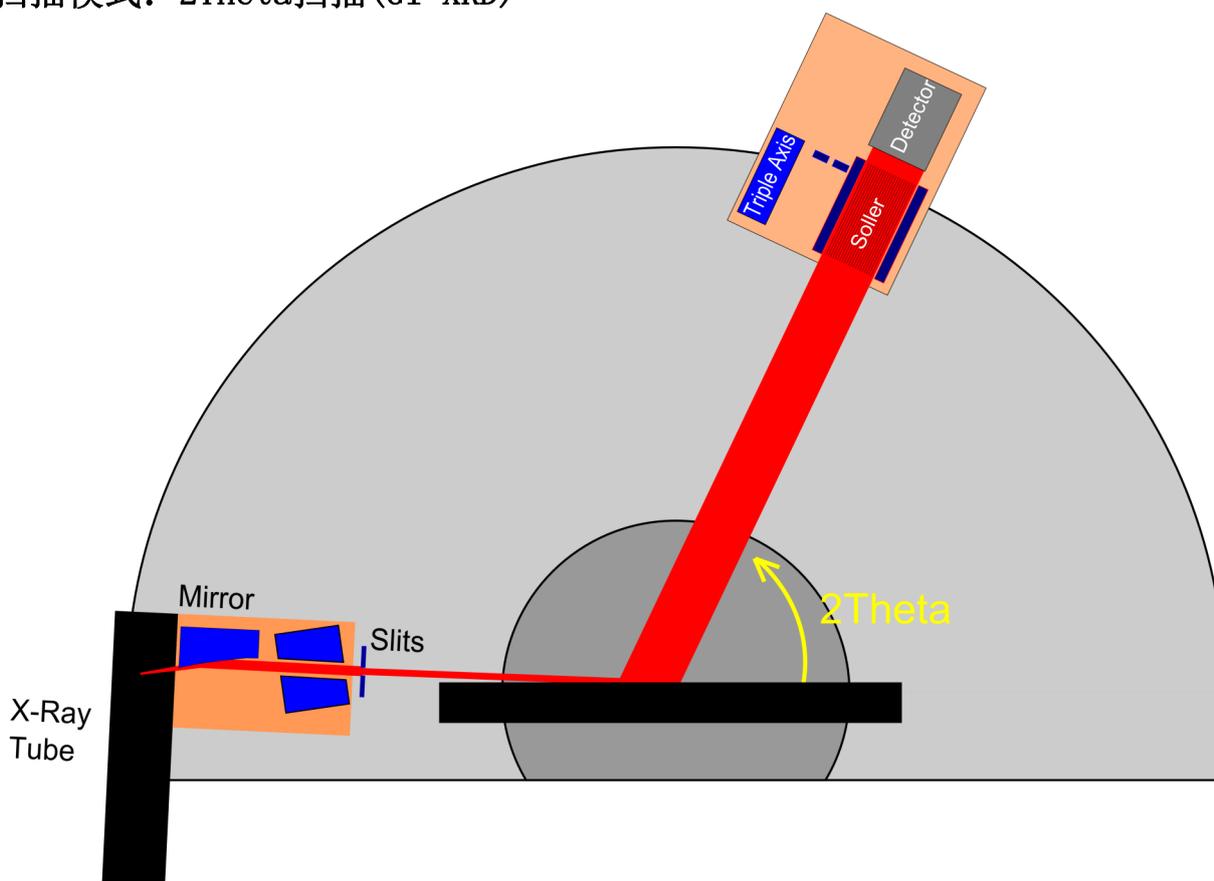
织构状态不同的两个金属薄膜样品的XRD 2Theta扫描曲线。由于生长条件的差异，两个薄膜样品中 α 和 β 相的含量出现变化。金属材料中相结构的变化是影响其电阻率大小的关键因素。

多晶薄膜的掠入射X射线衍射 (GI-XRD)

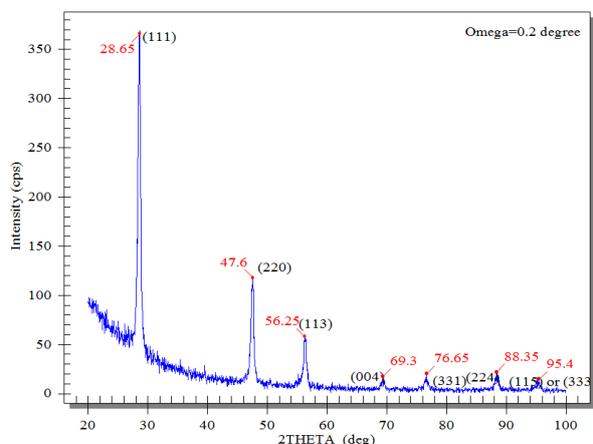
材料：测量多晶材料、纳米材料、多晶薄膜等。对于超薄层材料、纳米级厚度的薄膜材料，可以使用掠入射衍射。

参数：相结构、织构、结晶度

扫描模式：2Theta扫描 (GI-XRD)



- 2Theta轴转动范围 $>150^\circ$ ，可测得高指数晶面的衍射峰。
- Omega轴转动范围从 0° 至 $>90^\circ$ ，允许任意大小的入射角。
- 采用Phi轴转动，可以防止衬底的非对称面衍射峰的出现。
- 样品准直和测量可实现自动化。
- 提供多种不同的探测台光学模式
 - 探测台光学模式间的切换完全自动化。
 - 可选配Soller狭缝、和自动化控制的探测狭缝。



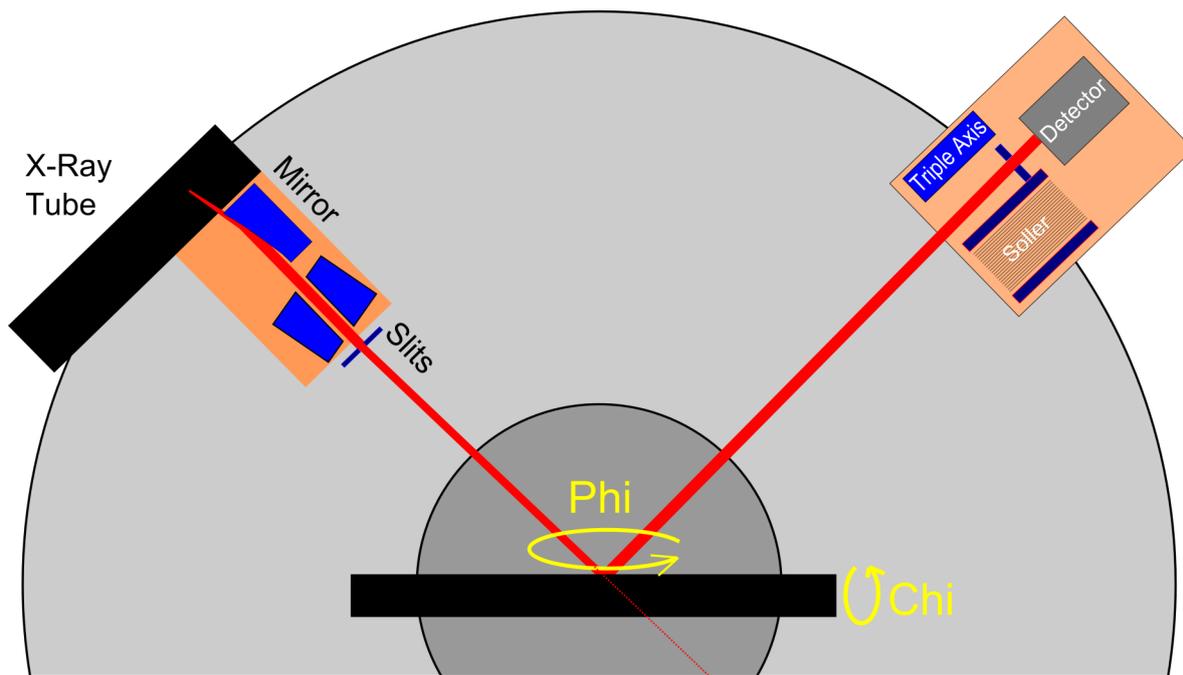
多晶SiGe薄膜的XRD 2Theta 扫描。对每个峰的晶面指数化标定，可以确定SiGe薄膜的立方晶相特征。

多晶薄膜的极图: 织构测定

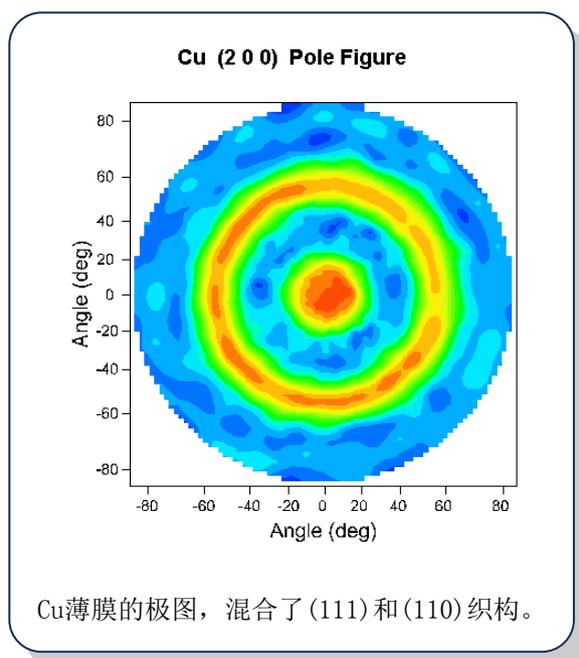
材料: 测量多晶材料、纳米材料、多晶薄膜等。

参数: 织构

扫描方式: Chi轴和Phi轴的联合扫描



- $>100^\circ$ 的Chi轴转动范围和完整的Phi轴旋转空间可实现完整的极图和残余应力测量。
- 样品准直和测量可实现自动化。
- 提供多种不同的探测台光学模式
 - 探测台光学模式间的切换完全自动化。
 - 可选配Soller狭缝、和自动化控制的探测狭缝。

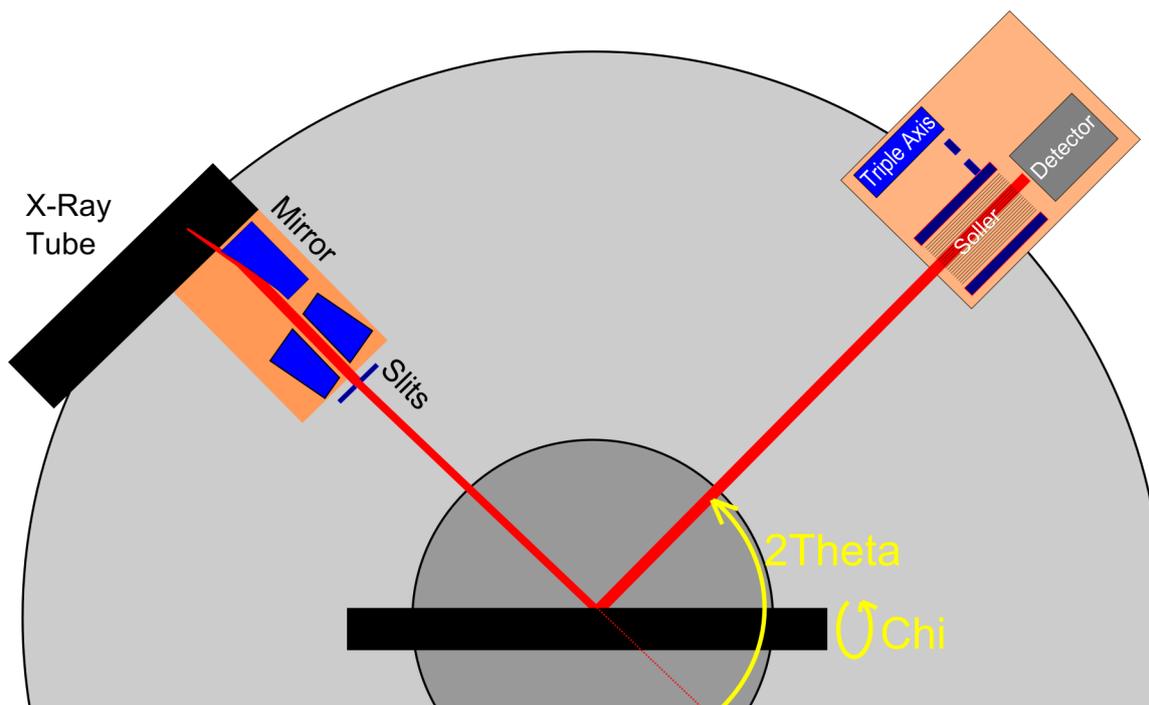


薄膜的残余应力测定

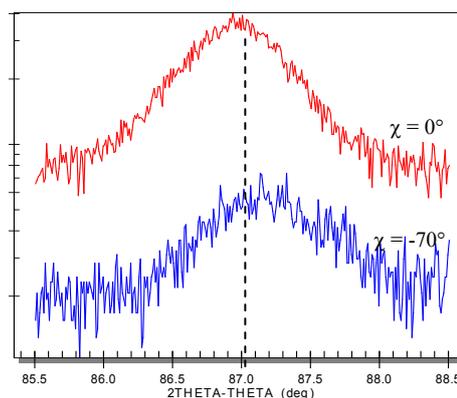
材料：测量多晶材料、纳米材料、多晶薄膜等。

参数：残余应力

扫描方式：2Theta轴和Chi轴联合扫描



- $>100^\circ$ 的Chi轴转动范围和 $>150^\circ$ 的2Theta轴转动范围可充分保证残余应力的测定。
- 提供多种不同的探测台光学模式。
 - 探测台光学模式间的切换完全自动化。
- 样品准直和测量可实现自动化。
- Soller狭缝可保证精确的探测器接受角度。
- 提供残余应力的分析软件。

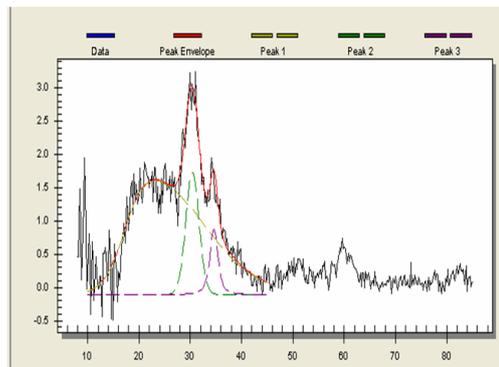


不同倾斜角时的W(220)衍射峰。随倾斜角度改变而出现的峰位漂移反映出残余应力的存在。可以通过Jordan Valley的应力分析软件进行计算确定。

X射线衍射应用示例

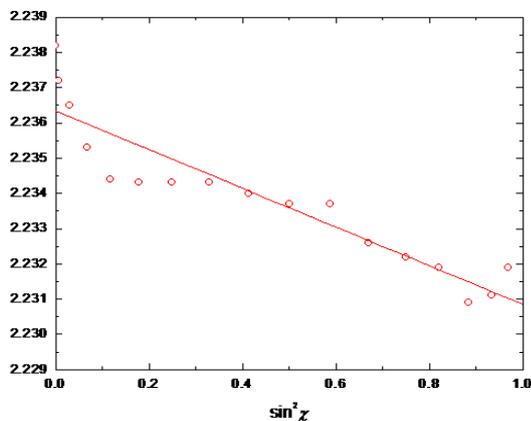
超薄High-K材料

新世代的逻辑电路器件不断选用新型材料作为高k电介质。对高k电介质薄膜，最关键的参数是结晶度。右图是厚度小于5纳米的薄膜材料的XRD扫描曲线。将非晶态衍射峰的面积与尖锐的晶体衍射峰对比，可确定结晶度为46%。

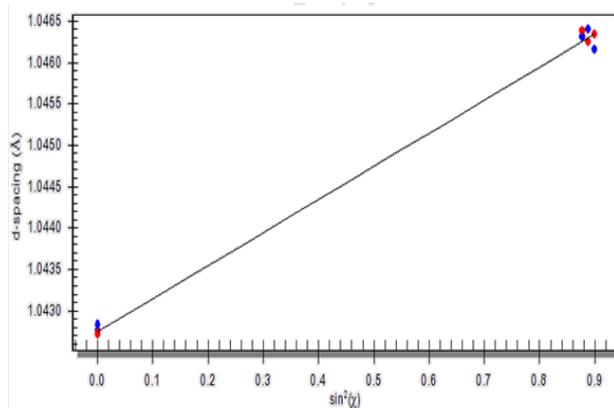


薄膜的残余应力测定

在薄膜材料的各种应用及改良过程中，薄膜内部残余应力成为越来越重要的参数之一。与采用光学技术测定的宏观应力不同，XRD是测定微区残余应力的最理想技术。



多晶W薄膜，采用(222)反射，确定残余应力为压应力，748MPa。



50nm厚度的Cu薄膜，织构现象明显，导致衍射峰仅出现在两个Chi倾斜角位置。经测定，残余应力为拉应力，530 MPa。

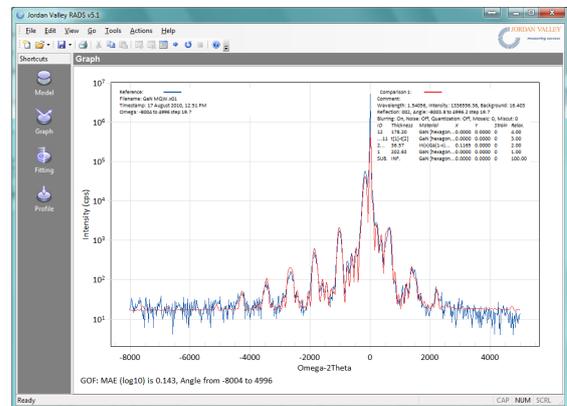
示例图为残余应力分析的数据线。在一组不同的样品倾斜角度下，采集一系列2Theta-Theta扫描，即可计算每一个倾角下的晶格参数。将晶格参数与倾角大小的相互关系绘制出来，便可确定残余应力的大小。斜率的正负则表明薄膜内残余应力是拉应力，还是压应力。

分析软件

Jordan Valley分析软件包已经拥有超过30年的使用经验，并广泛应用于薄膜材料结构特征的X射线表征。以原英国Bede Scientific公司的分析软件包为基础，Jordan Valley分析软件在研究领域和工业生产领域保持领先优势，并囊括了高分辨率X射线衍射(HR-XRD)和X射线反射(XRR)自动化拟合软件、通用分析软件、mapping图绘制和分析软件等。

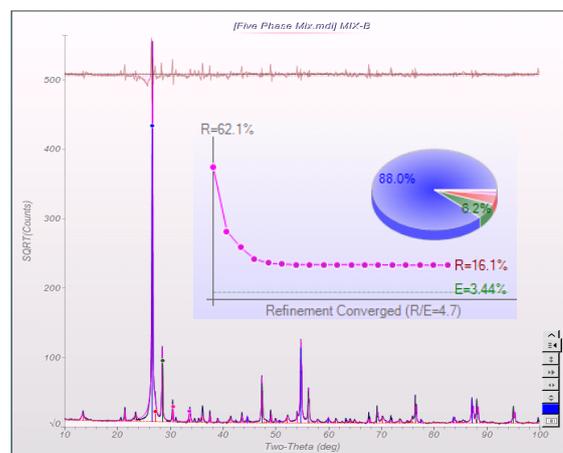
JV RADS 在工业生产领域是最受好评与信任的软件，广泛用于单晶衬底上生长各种外延薄膜的HR-XRD数据分析。JV RADS不但成为工业生产、企业研究开发、生产监控的最佳选择，还是科研单位对复杂材料结构进行精细研究的分析软件。

- 最快速、准确的结构参数确定，采用专利的Genetic Algorithm算法作为Mercury核心。
- 可采用函数方程将外延层参数联动，将复杂的多层膜、或渐变层结构的分析有效简化。
- 可自动拟合立方相材料的001或非001取向的外延结构、以及C面取向的六角相材料。
- 功能强大的嵌入式材料数据库，允许客户自行添加新材料。
- 可分析键合结构，例如SOI、GaN on Si等（version 5的最新功能）
- 增强了对缺陷散射机理的模拟和分析，特别适合于马赛克(mosaic)结构和离子注入材料。（version 5的最新功能）



MDI JADE 是Jordan Valley分析软件包中的最新软件。安装最新的PDF材料数据库后，MDI JADE可拥有强大的XRD数据分析功能，包括衍射图谱阅读、处理、分析，以准确进行相鉴定分析。高级用户功能还包括完整衍射图谱的分析拟合，拟合可采用Pawley方法或Rietveld refinement方法。

右图为材料衍射数据的一键式分析结果，该材料混合了五种相成分。



部件	规格
X射线管 / 发生器	2.2kW Cu LFF型光管
X射线多层膜高反镜	有
X射线束分辨率	<10", K α 1 (Ge 004) <25", K α 1 (Ge 220) <50", K α 1 (Ge 111) 5" - 25" (Bartels)
多种光学模式间的切换	完全自动化
Omega 轴转动范围 步进精度	~-10° to >90°, ~0.2"
2Theta 轴转动范围 步进精度	~-5° to >140°, ~0.2"
Eulerian Cradle X/Y 轴范围 步进精度	300mm on both 0.01 mm
Eulerian Cradle Z 轴范围 步进精度	10mm 0.0001mm
Eulerian Cradle Phi 轴范围 步进精度	无限制 0.01°
Eulerian Cradle Chi 轴范围 步进精度	5° to -95° 0.01°
样品尺寸	小尺寸 至 300mm
高温台选配件	有, 可联系获知详情
探测器动态响应范围	>2 x 10 ⁷
设备占地面积	~1.6m x 1.6m

Software

RADS

最早用于HRXRD分析的商业化动力学自动拟合软件，一直最受客户好评。可模拟对称、倾斜对称、非对称衍射几何的扫描曲线。RADS采用专利的genetic algorithm算法，实现了稳定可靠、且精确的数据分析。

REFS

采用专利的genetic algorithm算法，用于模拟或自动拟合X射线反射数据。

PeakSplit

HRXRD分析常用的快速计算软件。可以分析衍射数据、模拟衍射几何、计算衍射峰位、引导设定扫描条件。

Contour

计算及绘图软件。可绘制并分析区域均匀性map (area map), 倒易空间map, 和织构(极图, 含ODF)。

控制及数据采集软件 (Control)

控制及数据采集软件用于控制设备的运行。常规测试极易设定并运行，不同材料的各种应用和特殊需求也能进行专门的设计。软件提供了自动化装载晶片、和单盘多片式测量的功能和设定平台。

