



美国 Quantum Design 公司

综合物性测量系统 (PPMS)

简易产品说明手册



Quantum Design 中国子公司

2010 年 6 月



美国 Quantum Design 公司简介

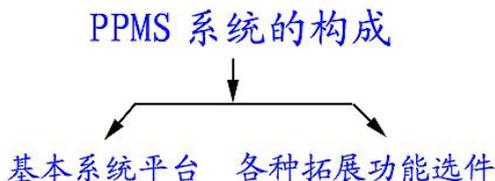


图 1、Quantum Design 全球总部

美国 Quantum Design 公司是 1982 年由世界上第一台 SQUID 的设计者创立，坐落于美国加州圣迭戈市。在公司成立的二十多年里，Quantum Design 公司专注于打造两种产品线——SQUID 磁学测量系统 (MPMS) 和综合物性测量系统 (PPMS)。目前 PPMS 和 MPMS 已经成为实验数据可靠的标志，被广泛应用于物理、化学及材料科学等众多研究领域，遍布几乎所有世界一流相关实验室，在中国超过 80 台 PPMS 和 MPMS 正在服务于尖端的课题研究组。

PPMS 系统综述

PPMS 系统的设计思想是在一个完美控制的低温和强磁场平台上，集成全自动的电学、磁学、热学、光电和形貌等各种物性测量手段。这样的设计使得整个系统的低温和强磁场环境得到了充分的利用、极大减少了客户购买仪器的成本、避免了自己搭建实验的繁琐和误差，可以迅速的实现研究人员珍贵的研究思路。



用户可以根据自己研究的需要选择一个基本系统平台和多个拓展功能选件进行自助式的系统配置。

图 2、PPMS 系统的设计理念

一个 PPMS 系统由基本系统和各种拓展功能选件构成；基本系统提供低温和强磁场的环境，以及整个 PPMS 系统的软硬件控制中心。用户在基本系统平台的基础上选择自己感兴趣的

各种测量选件，这些测量选件被称为拓展功能选件。

对于绝大多数常规实验项目，PPMS 已经设计好了全自动的测量软件、具有标准测量功能以硬件，如电阻率、磁阻、微分电阻、霍尔系数、伏安特性、临界电流、磁滞回线、比热、热磁曲线、热电效应、塞贝克系数和热导率等等。这些测量方法的可靠性和便捷性在过去的十几年中已经得到世界科学界的认可。经过独特设计，PPMS 系统上的各种测量选件之间能够互不干扰，且能够快速简单地相互切换。除此之外，PPMS 系统还预留了软件和硬件的接口，使得用户能够通过 PPMS 系统控制第三方设备，利用 PPMS 系统的低温强场环境和测量功能进行用户自己设计的实验，如介电、铁电、光电、磁电耦合等测量。

基本系统

PPMS 的基本系统按功能可以分为以下几个部分：温度控制，磁场控制、直流电学测量和 PPMS 控制软件系统。基本系统的硬件包括测量样品腔、普通液氮杜瓦、超导磁体及电源组件、真空泵、计算机和电子控制系统等。基本系统提供了低温和强磁场的测量环境以及用于对整个 PPMS 系统控制和对系统状态的诊断的中心控制系统。

样品室

样品室的内径是 26mm，测量时样品室处于密封的粗真空或者高真空状态，样品变温是通过液氮冷却样品室的室壁、进而冷却样品室内的传导氦气来降温的（高真空时室壁接触冷却样品）。

温度控制

PPMS 系统能够实现快速精准的温度控制，主要得益于多项相关的专利技术。

1、液氮通道双流阻专利设计

可以精确连续控制液氮流量的技术，保证系统可以在 4.2K 以下实现无限长时间的连续低温测量。

2、带有两个夹层的样品腔（图 3 左）

配合液氮通道双流阻可以精确地控制样品腔内壁底部的温度，而样品腔内壁底部的 20cm 部分用高热导的无氧铜制造，保证样品处于



一个温度较稳定的大环境之中

±0.02% T>10K

3、高级温度控制算法

与传统的温控仪 PID 算法不同，PPMS 系统采用了复杂的温度控制算法。系统测量样品腔上不同位置的 3 个温度计（不同类型温度计分别在不同温区工作以达到最佳控制精度）用于监视样品腔内的温度梯度分布，同时控制液氮流量，夹层真空度和 2 个线绕加热器，使得系统能够快速精确地控制样品所在区域内的温度变化，并能实现样品温度无限长时间的稳定。

4、样品托专利设计（图 3 右）

使用专利的样品托设计代替传统的样品杆，即方便了样品的安装，同时减少了外界环境对样品的影响（漏热更少），让样品的温度更稳定。不同的测量使用不同的样品托。

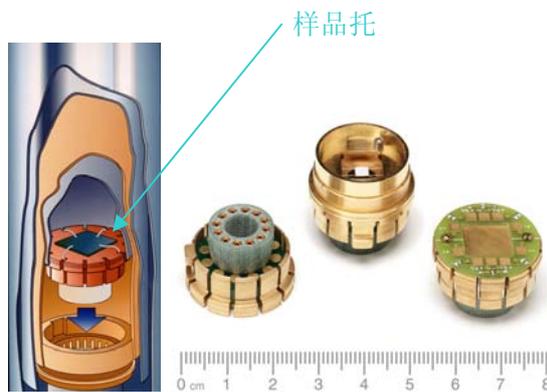


图 3、左图：两个夹层的样品腔（黄色表示无氧铜）
右图：不同测量选件使用的样品托

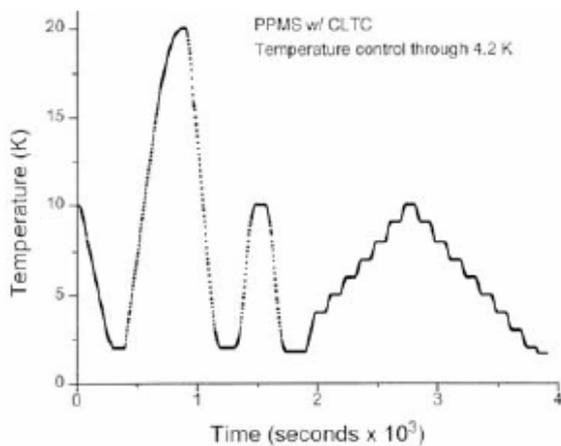


图 4、PPMS 系统的多种温度控制曲线

温控系统技术参数：

温控范围：1.9~400K 连续控制

（可选 50mk ~ 1100K）

温度扫描速率：0.01~8K

温度稳定性：±0.2% T<10K

温度控制模式：快速模式 非过冲模式 扫描模式

磁场控制

PPMS 系统的磁场是通过浸泡在液氦里的超导磁体励磁获得的，励磁的电源为先进的卡皮察电源。由它们构成的磁场控制系统由以下特点：

- ◆ 磁场具有很高的均匀度
在 5.5cm（长）×1cm（直径）的圆柱内均匀度达到 0.01%（7T 或 9T 磁体）。
- ◆ 低噪声、高效率的双极性磁体电源，具有卓越的电流平滑过零性质。
- ◆ 使用高温超导材料制造的磁体电流引线极大的降低了在励磁过程中的液氮损耗。

磁场控制系统技术参数：

磁场大小范围：±所含超导磁体最大场(可选)

±7T, ±9T, ±14T, ±16T

磁场分辨率：0.1 Oe

磁场稳定性：1PPM/hour

变场速率：最大 200 Oe/s

剩磁（振荡模式）：>5 Oe (7T 或 9T)

磁体操作模式：闭环模式和驱动模式

磁场逼近模式：振荡模式 非过冲模式

线性和扫描模式

PPMS 软件系统——MultiVu 控制软件

MultiVu 是 PPMS 系统的专用控制软件。它基于微软 windows 操作系统，使用 windows 的通用协议，具有友好的用户界面。主要特征如下：

- ◆ 可以控制系统所有的硬件设备，实时监测并记录系统所有设备的运行状况。
- ◆ 测量程序命令由软件系统提供，用户只需要填写测量时使用的参数。
- ◆ 可以同时打开多个图形文件，用户可以把正在获得的图形数据与原来的数据进行比较。
- ◆ 新增加的选件对应的软件模块可以很容易的集成到整个控制软件中来。
- ◆ 当 PPMS 连接到互联网上，可以实现远程仪器的控制和维修服务。
- ◆ 提供软件接口，使得 MultiVu 可以轻松控制所有基于 IEEE488 总线的设备

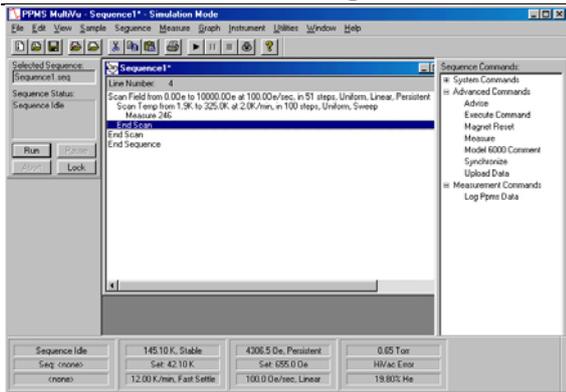


图 5、MultiVu 控制软件的测量程序界面

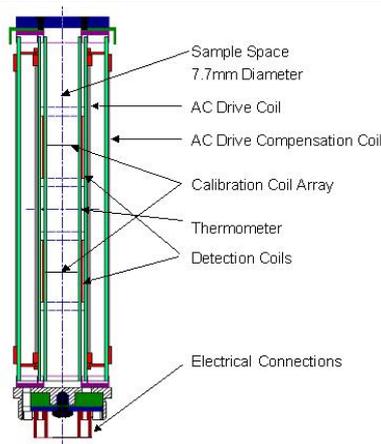


图 7、ACMS 测量线圈组结构示意图

PPMS 上各种标准拓展功能选件

PPMS系统的拓展功能选件非常丰富，除了电、磁、比热、热电等物性测量选件外，还有超低磁场、样品旋转杆、高压腔、SPM、多功能样品杆、He³极低温系统、稀释制冷机极低温系统、液氮循环利用杜瓦等选件，全自动和高精度兼顾是它们的共同特点，下面是这些选件的简单介绍。

交/直流磁学性质测量选件(ACMS)

交/直流磁学性质测量选件 (ACMS) 采用独特的探测线圈和驱动马达 (如图 6 所示)，可以一次测量就获得样品的交流磁化率 (实虚部分开) 和直流磁化强度信号。其中，直流磁化强度的测量采用了提拉法；交流磁化率的测量采用了锁相放大技术以及五点测量模式，这种测量模式能够有效地消除温度漂移对测量的影响。

图 7 显示的是 ACMS 测量线圈组的硬件示意图。从图中可以看出，ACMS 选件的测量线圈有独特的设计：

- ◆ 特有的校准线圈组逐点测量并消除了背景相漂移。使得系统能够精确地确定测量时的绝对相位。
- ◆ 交流补偿线圈抵消了测量区域以外的交流磁场，消除了对周围环境的噪音影响。
- ◆ 集成在线圈内部的温度计精确、实时地测量了样品的温度。



图 6、ACMS 驱动马达和探测线圈

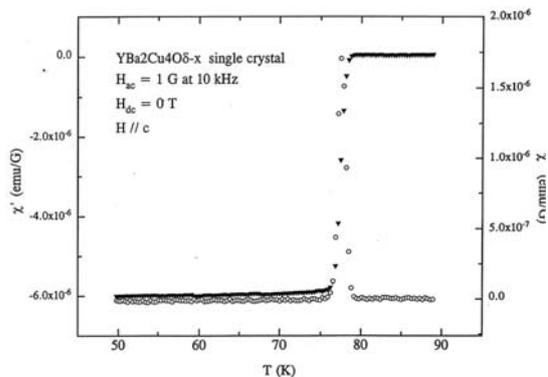


图 8、超导样品的交流磁化率实部和虚部

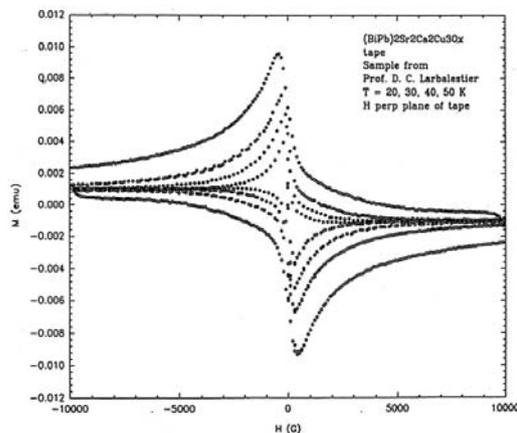


图 9、超导样品的磁滞回线



ACMS 选件的技术参数

温度范围: 1.9-350K

交流驱动频率: 10-10kHz

交流场幅值: 0.002-15 Oe

提拉法测量时样品移动速度: 100cm/秒

谐波分析: 最高 10 次谐波

测量灵敏度 交流磁化率: $2 \times 10^{-8} \text{emu}$

直流磁化强度: $2.5 \times 10^{-5} \text{emu}$

扭矩磁强计选件 (Torque Magnetometer)

扭矩磁强计选件是 Quantum Design 公司和 IBM 公司共同开发的, 专门为精密测量具有各向异性的小样品(单晶、薄膜)而设计, 其测量精度可以与 SQUID 磁强计相媲美。其测量原理是: 当样品安装到扭矩测量芯片上后, 具有各向异性的样品在磁场中转动时受到扭矩, 通过芯片上集成的惠斯通电桥来测量扭矩引起的压电传感器上电阻的变化, 从而得到磁场对样品产生的扭矩, 进而得知样品在磁场中的磁化强度, 如图 10 所示。

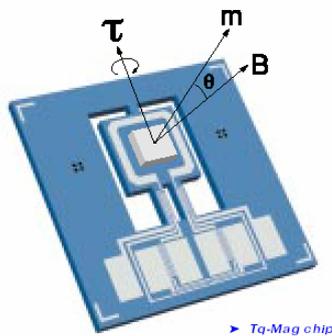


图 10、扭矩磁强计选件测量原理

该选件的设计和应用具有如下特征:

- ◆ 样品必须具有磁各向异性。
- ◆ 配合转动样品杆使用, 可进行全自动的角度相关的磁矩测量, 如图 11 所示。
- ◆ 在扭矩测量的过程中可以进行温度扫描。
- ◆ 采用压电传感器来测量扭矩。
- ◆ 在扭矩测量芯片内集成有高精度惠斯通电桥以测量压电传感器的电阻。
- ◆ 集成在扭矩测量芯片上的电流环, 产生严格大小的磁矩, 用来自动校准扭矩的大小。这样不仅完全消除重力作用对测量结果的影响, 而且使得温度对测量结果的影响最小化。

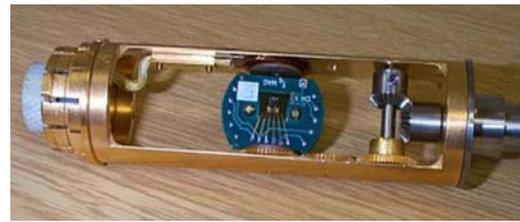


图 11、放置在水平旋转样品杆上的扭矩测量芯片

扭矩磁强计选件技术参数

测量灵敏度

均方根扭矩背景噪音: $1 \times 10^{-9} \text{Nm}$

均方根磁矩灵敏度: $1 \times 10^{-7} \text{emu} @ 9\text{T}$

$7 \times 10^{-8} \text{emu} @ 14\text{T}$

扭矩测量范围: $\pm 10^{-5} \text{Nm}$

芯片尺寸: $6 \times 6 \times 1 \text{mm}^3$

安装样品区域: $2 \times 2 \text{mm}^2$

最大样品尺寸: $1.5 \times 1.5 \times 0.5 \text{mm}^3$

最大样品质量: 10 mg

角度转动范围: 360°

角速度(度/秒): 0.05-10 (标准模式)

0.005-1 (高精度模式)

角分辨率: 0.05° (标准模式)

0.005° (高精度模式)

测量曲线

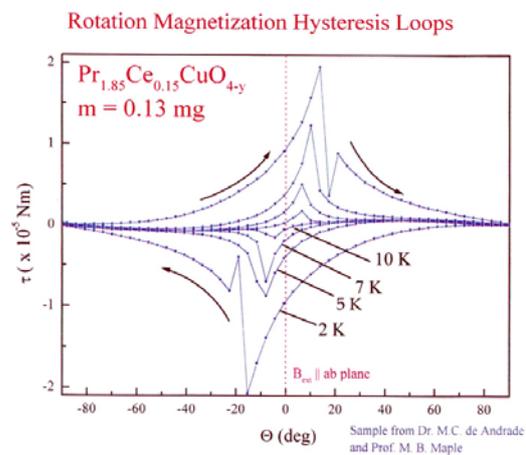


图 12、不同温度下扭矩与角度的关系

振动样品磁强计选件 (PPMS-VSM)

为了进一步提高 PPMS 系统的磁学测量精度, Quantum Design 公司开发了专门用于 PPMS 系统的 VSM 选件, 如图 13 所示。

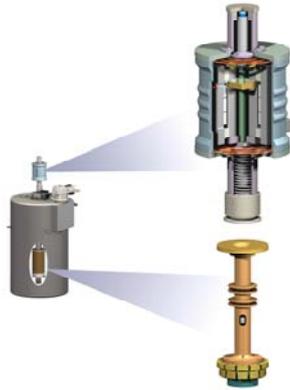


图 13、PPMS 系统上专用的 VSM 选件

与传统的 VSM 相比，PPMS 上的 VSM 在很多方面是不同的。由于 PPMS 系统的磁场是垂直于地面方向的，所以其样品振动方向和磁场方向是平行的。而传统的电磁铁 VSM 样品振动方向与磁场是垂直的，这样从原理上就比传统的电磁铁 VSM 精度要高。除此之外，PPMS 上的 VSM 还有很多独特的特征。

- ◆ 背景磁场由 PPMS 系统主机的超导磁体提供，目前最高可达 16T。而传统的电磁铁 VSM 采用，最高磁场小于 3T，并且在进行变温测量时由于需要加变温腔而使得最大可加磁场仅能达到 1T 左右。
- ◆ 由于 PPMS 上的磁体均匀度高达 0.01%，样品在振动时几乎感受不到磁场的变化，磁场的噪音非常小。这是使用电磁铁的传统 VSM 无法比拟的。
- ◆ 得益于 PPMS 系统专利的温度控制技术，PPMS 上 VSM 的温控精度要远远高于传统的 VSM。
- ◆ PPMS 上的 VSM 采用电磁场驱动振动杆，没有任何机械传动，同时采用光学编码定位技术，样品位置和信号对应精度远非传统的电磁铁 VSM 可比。

这些特点使得 PPMS 上的 VSM 有极高的测量灵敏度，是目前世界上测量精度最高的 VSM，能够真正达到 10^{-7} emu 测量精度。

技术参数

- 灵敏度: $< 10^{-6}$ emu/Tesla
- 噪音基: 2×10^{-7} emu rms
- 精确度: $< 5 \times 10^{-6}$ emu/Tesla
- 振动频率: 40 Hz
- 振动幅值: 0.5 to 10 mm
- 最大可测磁矩(emu): 40/振动峰值

75/振动峰值 (大线圈选件)

探测线圈内径: 6.3 mm 或 10.2 mm (可选)

测量曲线

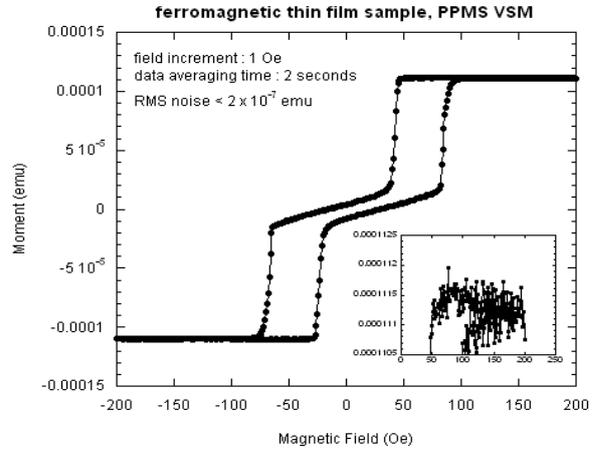


图 14、用 PPMS 上 VSM 测量的磁滞回线

VSM 高温炉 (PPMS-VSM oven)

PPMS 上 VSM 的高温炉选件用于扩展磁性测量的温度区间，最高可以达到 1100K。采用专利的绝热技术而没有用任何加热炉腔，因此 PPMS 上高温磁测量精度依然很出众。



图 15、VSM 高温炉样品杆



图 16、VSM 高温炉样品安装组件



主要特点

- ◆ 采用碳纤维制作样品杆，用良好绝热的氧化锆制造加热杆
- ◆ 专用安装组件使得样品安装方便快捷
- ◆ 10^{-5} 托的高真空环境使得漏热极少
- ◆ 加热器和热电偶直接集成在加热杆上

技术参数

稳定工作温度：300-1100K

均方根灵敏度： $<10^{-5}$ emu

噪音基： $<10^{-5}$ emu rms

测量精度： $<1 \times 10^{-5}$ emu/ tesla

温度测量精确度：0.5K

测量曲线

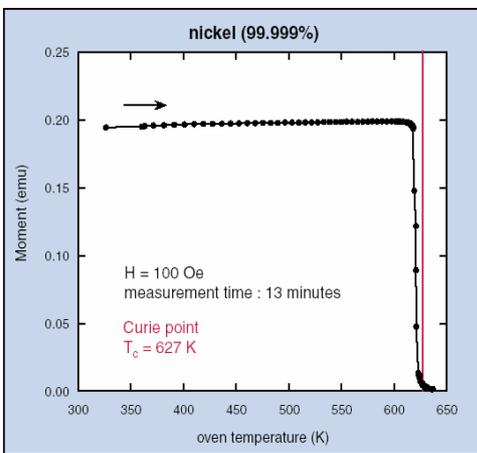


图 17、用标样 Ni 验证 VSM 高温区控温精度

超低场选件 (Ultra Low Field)

所有的超导磁体都存在剩余磁场。在进行高精度测量时，例如 ZFC 测量，低矫顽力测量等，剩余磁场的存在将会影响测量结果。超低场选件的作用就是将超导磁体的剩余磁场降至零。PPMS 系统有两种超低场选件，分别配合 ACMS 或 VSM 选件使用。用户只要选择其中一个即可。该选件有以下特点：

- ◆ 整个消剩场过程由软件自动控制实现。
- ◆ 可以获得最低达到 <0.1 Gauss 的磁场
- ◆ 只有 9T 的 PPMS 系统可以配该选件。

交流电输运选件 (AC Transport)

利用交流锁相、数字信号处理器等技术，该选件可以比直流的电学测量精度更高。PPMS 的交流电输运选件有四个强大的、全自动的基本测量功能，可以测量高精度的交流电阻率，伏安特性，5 线法霍尔效应以及临界电流。所有这些功

能都能在一个交流电输运样品托上进行，每次可以安装两个样品，一次测量两个样品。

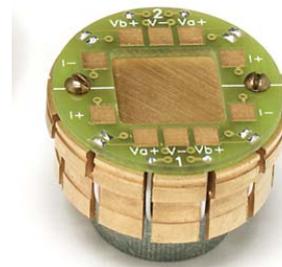


图 18、交流电输运样品托

技术参数

电压噪声： $0.5nV/\sqrt{Hz}@1kHz$

电压灵敏度：1nV

电流范围：10uA to 2A

频率范围：1Hz to 1kHz

绝对精度：0.03% (典型值)

测量曲线

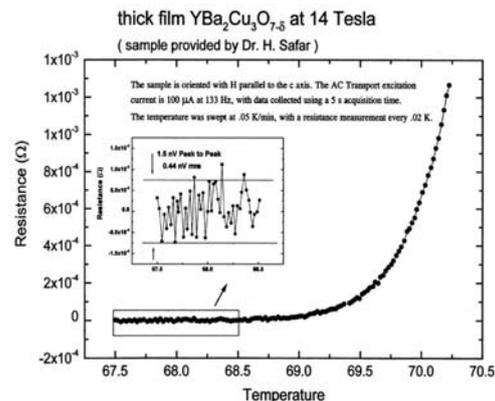


图 19、超导样品的交流电阻率测量

直流输运选件 (DC Resistivity)

该选件用标准的四引线法测量样品的直流电阻率，也采用样品托技术，每次可以测量三个样品，全自动测量电阻，伏安特性，霍尔系数以及临界电流，也非常方便使用 Van Der Pauw 方法测量形状不规则但厚度均匀的样品的电阻率。

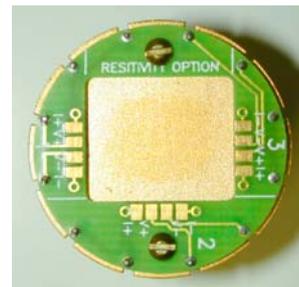


图 20、直流电阻率样品托



技术参数

电流范围: 5nA-5mA 最高电压: 95mV
最大测量电阻: 4MΩ
测量精度: 0.01% (典型值)

高级电输运选件 (Electrical Transport Option)

该选件是最新推出的 PPMS 电测量选件, 基于新型的 CAN 技术, 采用了两套独立的测量仪表, 可在不同量程间自动切换, 有效拓展了电阻测量量程, 可测量电阻值为 10nΩ-10GΩ, 并可进行微分电阻、伏安特性和霍尔效应等测量。

技术参数

噪声基: 1 nV/rtHz
电压输出范围: ± 4.5 V (一倍增益时)
电流范围: 10nA-100mA 持续操作
频率范围: 直流或交流 (0.1Hz-200Hz)
电阻测量精度: 0.1% (R < 200 kΩ)
0.2% (R > 200 kΩ)
相对灵敏度: ± 10 nΩ RMS (typical)
电阻测量范围: 四线法 10⁻⁸Ω-10⁶Ω
二线法 10⁶Ω-10¹⁰Ω

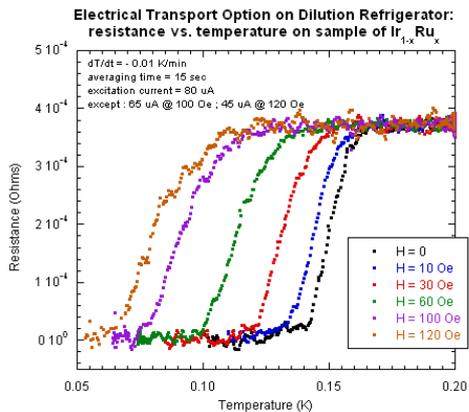


图 21、ETO 结合了 DR 选件测量样品的超导转变

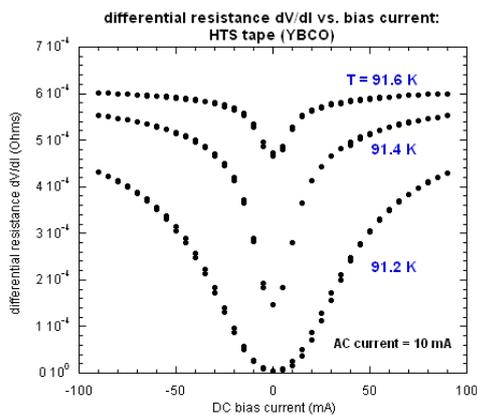


图 22、ETO 对高温超导样品进行微分电阻测量

样品水平旋转杆选件 (Horizontal Sample Rotator)

PPMS 上的样品水平旋转杆选件是用于测量与角度相关联的电和磁性质, 例如电阻率、霍尔效应、临界电流、伏安特性以及磁扭矩等。如图 23 所示。样品安装在能够轻易拆装的带有镀金引线的样品板上, 仅需要将特定功能的样品板插入到旋转台上就能进行角度相关测量, 在测量的过程中转杆由步进马达控制按照输入的转动精度进行全自动转动。



图 23、样品水平旋转杆及各种样品板

样品水平旋转杆选件分为高精度型 (P310B) 和通用型 (P310A) 两种, 其角度控制精度和转动速度不同。

技术参数

转角范围: -10° to 370°
角度转动步长: 0.05° (P310A);
0.0045° (P310B)
转动重复性: < 1.0°
转动速度: 10°每秒 (P310A);
1°每秒 (P310B)

热输运选件 (Thermal Transport Option)

热输运选件可以同时测量样品的热传导系数、Seebeck 系数 (热电势) 和交流电阻率, 并根据这三个数据计算出热电材料的品质因子。样品测量采用样品托的方式, 并配套有专用的样品安装工具, 如图 24 和 25 所示。

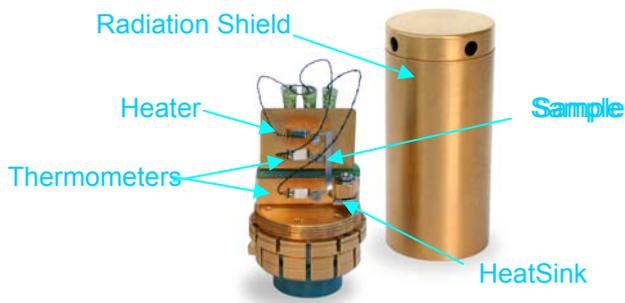


图 24、安装了标准样品的热输运样品托



图 25、热输运样品安装平台

主要特征

- ◆ 能够同时测量热导率、电阻率、塞贝克系数（热电动势）、品质因数。
- ◆ 四端头引线法将接线头的热阻和电阻效应降到最低。
- ◆ 在温度不断变化的情况下进行连续测量,能够得到高密度的数据。
- ◆ 特有的系统自适应测量方案非常适合研究陌生材料。
- ◆ 软件可以精确的动态建立热流量模型,补偿各种可能的系统误差。
- ◆ 全自动的测量过程,操作简单。
- ◆ 利用专用样品安装工具能够安全、方便、快速的把样品到安装到样品托上。

技术参数

热传导测量精度

- $\pm 5\%$ 或 $\pm 2 \mu\text{W/K}$, $T < 15 \text{ K}$
- $\pm 5\%$ 或 $\pm 20 \mu\text{W/K}$, $15 \text{ K} < T < 200 \text{ K}$
- $\pm 5\%$ 或 $\pm 0.5 \text{ mW/K}$, $200 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$
- $\pm 5\%$ 或 $\pm 1 \text{ mW/K}$, $T > 300 \text{ K}$

Seebeck 系数

- 测量精度: $\pm 5\%$ 或 $\pm 0.5 \mu\text{V/K}$ 或 $\pm 2 \mu\text{V}$
- 测量范围: $1 \mu\text{V/K} - 1 \text{ V/K}$

电阻率

最大电流 200mA

其他参数见 ACT 选件中的交流电阻率品质因子

测量精度: $\pm 15\%$

测量速度 (典型值)

$\pm 0.5 \text{ K/min}$, $T > 20 \text{ K}$

$\pm 0.2 \text{ K/min}$, $T < 20 \text{ K}$

测量曲线

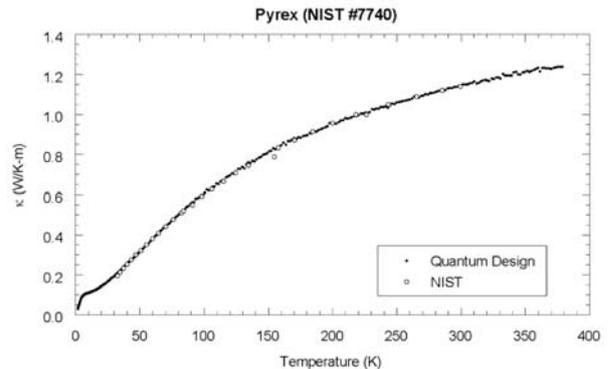


图 26、PPMS 上热输运数据对比美国国家标准局数据

比热选件 (Heat Capacity Option)

比热是非常重要的物理量,但是高品质的比热测量数据很难获得。Quantum Design 公司采用世界领先的双 τ 模式比热测量技术,全自动快速精确地获得变温和变场下的高质量比热数据,成为 1998 年世界“R&D 100”大奖的得主。

比热的测量也采用了样品托,并且配有专用的样品安装工具,如图 27 所示。



图 27. 比热样品托和专用样品安装工具

PPMS 上的比热选件的主要特征有:

- ◆ 高精度、高自动化程度的设计使得初次使用者也能进行精确的测量。
- ◆ 专用样品安装工具极大简化了样品的安装。
- ◆ 专利比热样品托技术极大提高了测量精度。
- ◆ 具有完备的数据采集和数据分析软件。
- ◆ 采用出色的双 τ (*two tau model*[™]) 模型拟合



技术精确的计算样品的比热。

- ◆ 通过两个定性参数（曲线拟合参数以及样品热耦合参数）可以保证测量数据的可靠性。
- ◆ 对于每一个测量点系统自动计算和记录德拜温度。
- ◆ 测量样品时背景的比热能够自动减除。
- ◆ 需要配合高真空选件。

技术参数

测量温度范围：1.9-400K

样品尺寸：1-500mg（典型值 20mg）

测量灵敏度：10nJ/K@2K

测量精度：<5%，2-300K（典型值<2%）

图 28 为不同磁场下的比热随温度变化曲线。

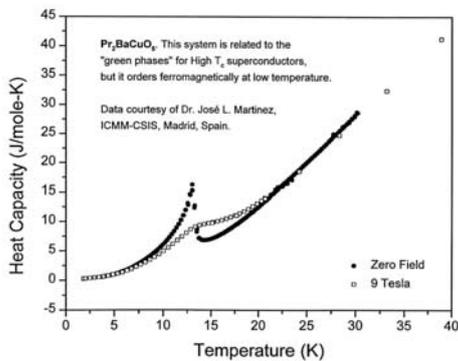


图 28、不同磁场下的比热随温度变化曲线

高真空选件（CryoPump High Vacuum Option）

所有的热学测量、极低温测量和高温测量都离不开高真空，Quantum Design 专门为这些选件开发了一个通用低温吸附泵，称为高真空选件，如图 29 所示，能够通过活性炭的低温吸附作用在样品腔内达到不低于 10⁻⁵托的真空环境。

高真空选件的主要特征有：

- ◆ 利用低温下活性炭的高吸附性实现高真空
- ◆ 效率非常高，系统能快速进入高真空状态
- ◆ 结构简单，设计精巧，维护方便
- ◆ 活性炭可以自动再生
- ◆ PPMS 系统自动控制高真空选件的运行



图 29、低温吸附泵

PPMS 以下选件要求该高真空选件匹配运行：

- ◆ 比热选件
- ◆ 热输运选件
- ◆ He3 制冷机选件
- ◆ 稀释制冷机选件
- ◆ 带高温炉的 VSM 选件

He3 制冷机选件（He3 Refrigerator）

He3 制冷机选件是通过降低液态 He3 的蒸气压使液氦的温度进一步降低至约 0.4K。目前在 He3 制冷机上能够进行电输运和比热测量，如图 30 所示。



图 30、He3 制冷机小车及测量样品托

He3 制冷机选件有以下主要特点：

- ◆ 将 PPMS 上全自动电测量和比热测量温度拓展到<0.4K。
- ◆ He3 可以连续循环利用
- ◆ 即插即用，He3 制冷机能够在 PPMS 系统上快速安装或卸载。
- ◆ 利用特殊设计的涡轮泵实现无阀门全自动的制冷控制操作。
- ◆ 配套专用的电输运和比热测量样品托，方便样品的安装。
- ◆ 不需要铜等密封材料来进行低温真空密封。
- ◆ 无限长时间温度稳定在 0.5K。
- ◆ 无需对系统进行防漏检测。
- ◆ 需要配合高真空选件运行。

技术参数：

最低温度

连续运行模式：< 0.5K

单程模式：< 0.4K

测量温区：< 0.4-350K

冷却速度：3 小时内从 300K 降至 0.5K



稀释制冷机选件 (Dilution Refrigerator)

PPMS 系统上的稀释制冷机是一个全自动的 He3/He4 连续闭循环的制冷机系统，最低温度达到 50mK，可以在稀释制冷机上进行电输运测量和比热测量，如图 31 所示。



图 31、稀释制冷机前端和安装到 PPMS 上的稀释制冷机

稀释制冷机的主要特点：

- ◆ 连续循环运行的稀释制冷机将 PPMS 系统的最低温度扩展至 50mK。
- ◆ 所有部件都在工厂完成密封连接，使用时能快速安装到 PPMS 上。
- ◆ 利用特殊设计的涡轮泵实现无阀门全自动的制冷控制操作。
- ◆ 配套专用的比热测量和电测量样品托，方便样品安装。
- ◆ 不需要铜等密封材料来进行低温真空密封。
- ◆ 集成用于纯化氦气的液氮冷阱。
- ◆ 配套专用安装工具，方便在稀释制冷机上进行样品托的安装或拆除。
- ◆ 无需对系统进行防漏检测，无限长时间温度稳定在 50mK

技术参数：

温度范围：50 mK-4 K（稳定度优于±0.2%）

100mK 下的冷却功率：样品台上为 0.25 μW
混合腔上为 2 μW

冷却时间：8小时从300K-100mK (典型值为5h)

样品空间：22mm直径×35mm高的圆柱体

背景比热：< 10 nJ/K@100 mK (精度0.1 nJ/K)
< 15 nJ/K@500mK

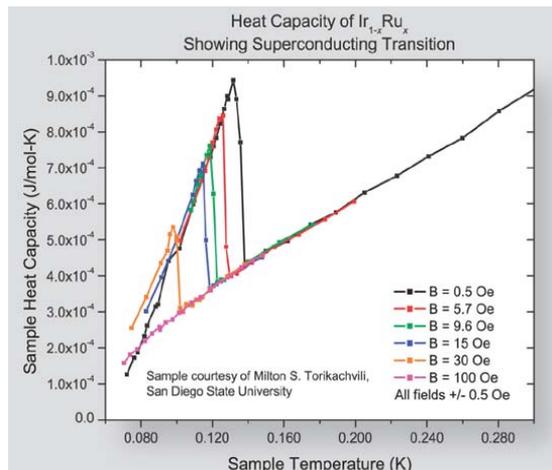


图 32、在稀释制冷机上的比热测量

多功能样品杆 (Multi Function Probe)

虽然 PPMS 系统已经拥有了强大的测量功能，但是有些用户还需要进行一些比较特殊的测量。为了能够让用户利用 PPMS 系统提供的磁场和低温平台进行自己设计的实验，Quantum Design 公司特别推出了多功能样品杆，如图 33 所示。



图 33、多功能样品杆

多功能样品杆有以下特征：

- ◆ 样品杆上留有足够的空间让较大尺寸的电缆穿过，可以传输较大的电流或者多路信号线。
- ◆ 通过三个轴向端口可以安装光纤、微波导管等测量设备。
- ◆ 样品的安装实现即插即用。
- ◆ 测量杆上集成了温度计。
- ◆ 成功实现铁电、介电、以及激光照射条件下的电输运等测量功能。

逃逸磁场屏蔽选件

对于磁场强度较大的超导磁体，其磁场在杜瓦外部也较强，这可能会影响到其他高灵敏度测量仪器的测量精度。逃逸磁场屏蔽选件正是为此而设计的，其外形如图 34 所示。

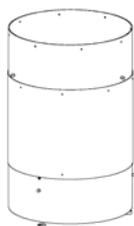


图 34、逃逸磁场屏蔽选件

逃逸磁场屏蔽选件有以下特征：

- ◆ 用三件套的铁屏蔽来减轻 PPMS 系统的强磁场对周围环境的影响。
- ◆ 为场强大于 14T 的 PPMS 系统设计，与之相匹配的杜瓦是大容量杜瓦瓶。

大容量液氮夹层杜瓦：

大容量液氮夹层杜瓦的参数如下：

- ◆ ~68 升液氮的容量 ~48 升液氮。
- ◆ 静态消耗 < 3 升/天。
- ◆ 保持时间可以达到 3 周。

新型完全无液氮杜瓦选件



图35、新型完全无液氮杜瓦

这种全新的低温杜瓦，从系统的安装到运行所有环节，完全无需液氮以及液氮，也无需冷却水。基于 Quantum Design 公司一系列专利技术，配有这种低温杜瓦的 PPMS 系统，初次安装只需一瓶氦气即可，整个 PPMS 系统不断循环利用来自于这瓶氦气的 6 升液氮就可以完全运转。这样不但免去了日常传输液氮的麻烦，也大大降低了设备的运行成本。即便是在长期停机后重新启动，也只需氦气，非常方便，很适合使用液氮不方便的用户。此外因为控温和超导磁体还是靠少量的液氮维持，制冷机只是循环液化氦气，因

此这种使用这种低温杜瓦的 PPMS 系统在温度控制和磁场控制仍然保持了以往稳定性。其外形如图 35 所示。

新型完全无液氮操作低温杜瓦的主要特征有：

- ◆ 从安装到使用的所有环节无需液氮和液氦。
- ◆ 外挂有氦气补充瓶，系统根据需要自动补充因为清洗样品腔而损失的微量氦气。
- ◆ 完全自动的监视杜瓦中的液氮位置，自动控制液氮的自循环过程，自动保持液面最优。
- ◆ 专利的变频压缩机技术大大提高了制冷机的效率。
- ◆ 该选件只可用于 9T 主机，与 DR 和 SPM 选件无法兼容。

技术参数：

杜瓦液氮容量：6 升

正常使用需要杜瓦内液氮量：4 升

正常运行时杜瓦内的压力：7-14kPa

压缩机功率：8.6kW

压缩机冷却方式：风冷

需要补充因渗漏损失的氦气：1-2瓶/季度

外挂式液氮自循环系统（超低振动）

外挂式 PPMS 液氮自循环系统通过集成氦气回收、液化、外挂方式减震等设计，实现在 PPMS 系统上液氮的循环回收利用。这样完全消除了用户对液氮的依赖，用户不用担心液氮的损耗，而且免去了日常传输液氮的麻烦。能有效地降低 PPMS 系统的运行费用，非常适合使用液氮不方便的用户，其外形如图 36 所示。

液氮自循环杜瓦选件的主要特征有：

- ◆ 脉冲管制冷机超低振动、超长维护周期。
- ◆ 完全自动的监视杜瓦中的液氮位置，自动控制液氮的自循环过程，自动保持液面最优。
- ◆ 外挂有氦气补充瓶，系统根据需要自动补充因为清洗样品腔而损失的微量氦气。
- ◆ 采用最新高温超导材料制造的电流引线，极大的减小了励磁引起的液氮损耗。
- ◆ 用户可以通过 PPMS 系统操作软件系统来控制液氮自循环杜瓦。例如：控制杜瓦瓶中的液氮的液位以及杜瓦中的压力。
- ◆ 兼容大容量杜瓦，可耐住一周停电而无碍。



图 36 外挂式液氮自循环系统

技术参数:

- 液氮容积: 68 升 液氮: 48 升
- 正常运行时杜瓦中的液氮体积: 68 升
- 正常运行时杜瓦内的压力: 7-14kPa
- 压缩机功率: 7.5kW
- 压缩机冷却方式: 水冷
- 需要补充因渗漏损失的氦气: 1-2 瓶/季度

高压腔选件

高压腔选件是由 ElectroLab 和 HMD 专门为 PPMS 系统设计和制造的, 灵巧的高压硬件设计结合 PPMS 的全自动程度把传统复杂的高压物理实验变得简单、易行, 这用户就可以在 PPMS 上实现变温、变磁场、变压力的三相测量环境下的电学、磁学测量。该选件配有专门的操作工具,



图 37、高压腔选件组件和安装样品后的高压腔

主要特点:

- ◆ 样品安装和移除方便快捷
- ◆ 摒弃传统的铜圈封装设计, 便于样品移除
- ◆ 便携箱设计, 所有高压测量配件集成于一个小箱子中, 便于携带
- ◆ 无需任何液压装置

电测量高压腔 (Pcell):

PPMS 专用, 可实现变温、变磁场、变压环境下的电学测量。该选件集成了内部温度计, 并预留 10 根电测量引线。

技术参数:

- 最大压力: 3.0GPa (约 3 万个大气压)
- 样品空间尺寸: 最大直径为 4.4mm,
- 样品空间长度: 4mm

磁测量高压腔 (Mcell):

可配合 PPMS 上的 VSM 选件使用 (需选用大尺寸线圈), 也可用于 MPMS, 可实现变温、变磁场、变压环境下的磁学测量, 采用了全 BeCu 材料设计, 磁背景更均匀。

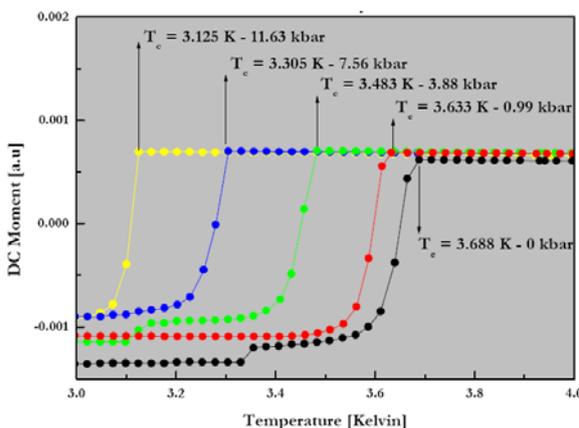


图 38、不同压力下超导样品的超导转变曲线

技术参数:

- 最大压强: 1.3Gpa
- 样品空间尺寸: $\Phi 2.1$ or 2.6 mm
- 样品空间长度: 7mm
- 腔体直径: 8.5mm

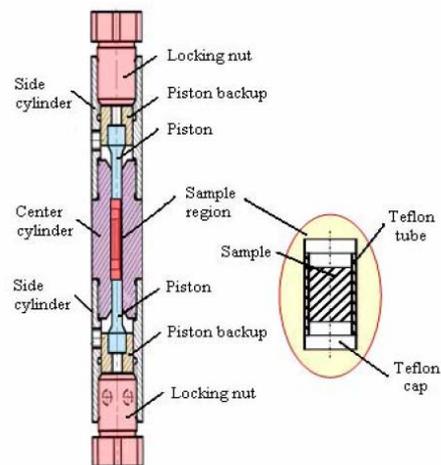


图 39、高压腔结构详细示意图



PPMS 上的 SPM 选件

该 SPM 选件由德国 Attocube 公司为 PPMS 特别量身定造，可以在 PPMS 上实现变温 (1.9K-400K)和变磁场(0-16T)下的多种模式如原子力(AFM)、磁力显微镜(MFM)的形貌测量,AFM 的精度可达 0.075nm，MFM 模式中磁畴分辨率可达 20nm，可以观察诸如超导磁通蠕动等动力学过程。另外除了 AFM/MFM 功能外，现在还有扫描霍尔探针显微镜(SHPM)和共聚焦显微镜(CFM)等 PPMS 专用插件可供用户进行选择。

在 PPMS 这样极低温强磁场测量平台上进行形貌表征，无疑可以帮助科学工作者实现其特定的研究需要，拓展科研工作者的新视野。

PPMS-SPM 选件的主要特点：

- ◆ 完全数字化的 3Mhz 相位锁定回路控制系统
- ◆ 多种操作模式：静态和动态的 AFM，以及真正非接触模式的高精度 MFM
- ◆ 集成 16 通道数据采集系统
- ◆ 最大样品尺寸：10mmX10mmX5mm
- ◆ XY 方向粗定位行程：3mm×3mm×2.5mm
- ◆ 位移步长：0.025-2μm（300K）
10-500nm（4K）
- ◆ 温度范围：4-400K（温度稳定度为 0.02%）
- ◆ 最高磁场：16T（磁场精度为 0.02mT）
- ◆ 真空度：优于 10⁻⁴Torr

技术参数：

扫描范围

室温下（300K）

水平方向：30μm×30μm

垂直方向：5μm

低温下（4K）

水平方向：12μm×12μm

垂直方向：2μm

测量精度

室温下

水平方向：0.46nm

垂直方向：0.075nm

磁畴分辨率：20nm

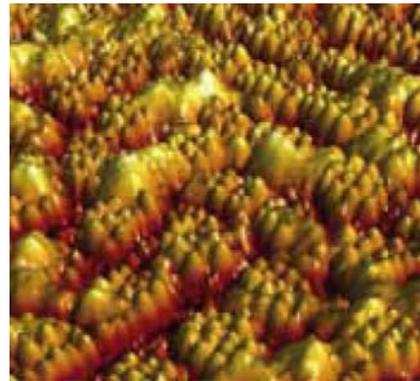


图 40、4.2K 接触模式下的 InAs 量子点有序点阵图象

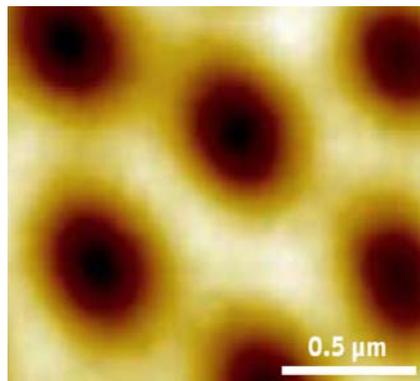


图 41、4K 和 45G 下探测出铁基超导样品磁通涡旋现象

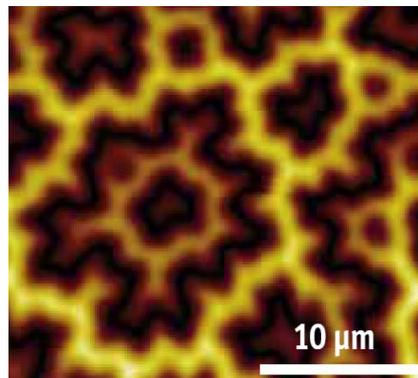


图 42、4.2K 等高模式探测 BaFeO 样品

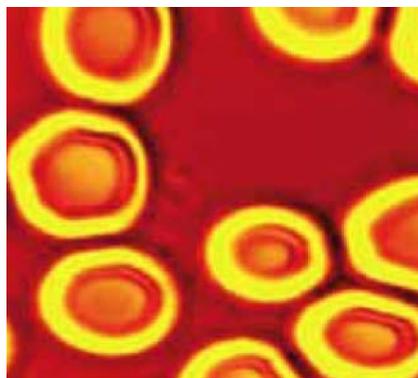


图 43、反射模式下光纤拍摄的红血球的共聚焦照片



感谢 PPMS 在中国的众多用户，他们分别是（排名不分先后）

1	PPMS-9	北京大学介观物理国家重点实验室
2	PPMS-9	南京大学固体微结构国家重点实验室
3	PPMS-9	上海大学物理系
4	PPMS-9	华中科技大学物理系
5	PPMS-9	哈尔滨工业大学凝聚态科技中心
6	PPMS-9	天津大学物理系分析测试中心
7	PPMS-9	中国科学院固体物理研究所
8	PPMS-9	浙江大学分析测试中心
9	PPMS-9	复旦大学表面物理国家重点实验室
10	PPMS-9	西南交通大学超导中心
11	PPMS-9	中国科学院物质结构研究所（2套）
12	PPMS-14	中国科学院物理研究所磁学实验室
13	PPMS-14	中国科学院物理研究所极端条件实验室（2套）
14	PPMS-9	中国科学院物理研究所超导实验室（3套）
15	PPMS-9	中国科学院上海硅酸盐研究所
16	PPMS-9	国家纳米中心
17	PPMS-9	燕山大学亚稳材料国家重点实验室
18	PPMS-14	人民大学物理系
19	PPMS-14	吉林大学无机合成与制备化学国家重点实验室
20	PPMS-9	中国科学院宁波材料科学与工程研究所
21	PPMS-9	清华大学材料学院
22	PPMS-9	东南大学物理系
23	PPMS-9	中国科技大学物理系
24	PPMS-9	武汉大学物理学院
25	PPMS-9	武汉理工大学材料复合新技术国家重点实验室
26	PPMS-9	河北师范大学物理系
27	PPMS-9	华东师范大学电子系
28	PPMS-9	华南理工大学材料学院
29	PPMS-9	中国科学院微系统研究所信息功能材料国家重点实验室
30	PPMS-16	中国科学院强磁场科学中心
31	PPMS-16	吉林大学超硬材料国家重点实验室
32	PPMS-9	国家质检总局
33	PPMS-9	中科院电工研究所
34	PPMS-16	华中科技大学国家脉冲强磁场中心
35	PPMS-9	中国科学院物理研究所纳米实验室
36	PPMS-9	中国科学院物理研究所光学实验室
37	PPMS-9	苏州大学物理学院
38	PPMS-9	西安交通大学材料学院
39	PPMS-9	中山大学化学化工学院



Quantum Design



Quantum Design 中国子公司提醒您：

此简易中文资料仅供中国大陆用户参考，一切技术信息以Quantum Design公司PPMS系统的英文详细资料为准，如需获得更详细的产品资料以及最新推出的系统选件介绍，请登录Quantum Design 中国子公司的网站直接查询 [Http://www.qd-china.com](http://www.qd-china.com) 或致电 010 - 85120277/78/79/80，欢迎垂询！

Quantum Design中国子公司
北京

北京市东城区建国门内大街 8 号
中粮广场 B 座 502-504 室
TEL: 86-10-85120277 78 79 80
FAX: 86-10-85120276
E-MAIL: info@qd-china.com
WEB: www.qd-china.com

Quantum Design 中国子公司
上海

上海市静安区成都北路 333 号
招商局广场东楼 701 室
TEL: 86-21- 61524158
FAX: 86-21- 52282156
E-MAIL: info@qd-china.com
WEB: www.qd-china.com