

## 高压原位多物理量协同测量实验站简介

高压原位多物理量协同测量实验站提供了能够同时在高、低温环境和压力作用下实现包括电学、磁学、光谱学（拉曼、布里渊）等物理性质表征的工具。拉曼、布里渊光谱可通过物质的声子等元激发随温度、压力的变化规律来研究物质的结构相变等物理现象，运用激光加热金刚石压砧技术可实现 300 GPa 和 5000 K 以上温度的高温高压实验条件，进一步拓展凝聚态物质研究的压力温度区间，可以实质性推动对在更为宽广的“压力-温度-组分”空间新物质的发现，充满巨大的机遇、挑战和发展前景。



千级超净间



实验大厅

实验站主要由样品环境模块、核心测量模块和高压实验支撑装置模块组成，具体参数及功能如下：

### 1. 样品环境模块

#### A 超高压金刚石对顶砧（DAC）装置

提供对成型钢制、铍铜、NiCrAl 材质的压机，提供不同型号 BeCu 材质的压机，可进行 300 GPa 以上的各种超高压实验。

#### B 低温、磁场装置

无液氦、微振动显微恒温器，可提供 2.6 K-9 T 环境下不同压力 DAC 腔体的集成，并同步进行光谱学及电学的原位测量，同时配备了原位气膜加压装置。

#### C 激光加热高温装置

高功率 1064 nm 光纤激光器，可为 DAC 中高压样品提供 300 K-5000 K 原位加温环境，双面加温、测温，可配备原位气膜加压装置，并进行拉曼、布里渊光谱及电学的原位测量。

## D 电阻加热高温装置

采用真空保护，并利用 0 热膨胀钢制压机进行高压试验，加热至 1500 K，压力变化低于 2 GPa。

## 2. 核心测量模块

### A 电学测试装置

超高压电输运性质测量装置主要由直流电阻（电导）率测量设备、霍尔效应测量仪、交流阻抗测量仪构成：（1）物质的直流电阻（电导）率随压力的变化关系和高压环境下的I-V特性由直流电流电压源、数字万用表和高阻表测量。电阻（电导）率和I-V特性的原位测量采用标准四电极或van der Pauw电极构型。（2）物质在超高压下的载流子浓度、载流子迁移率和霍尔系数由霍尔效应测量仪测量。测量采用van der Pauw电极构型。（3）物质在高压下的介电特性，以及晶界和晶粒中的电传导的传导过程由交流阻抗谱仪测量。测量采用双平板电极模型。

### B 拉曼光谱

提供多波长激发，包括 473 nm、532 nm、647 nm，适配原位低温与磁性测量装置，及 325 nm、355 nm、457 nm、785 nm 适配原位加温装置，基本覆盖了可见光区范围，低波数测量可达  $10\text{ cm}^{-1}$ ，可同步进行电学的原位测量，同时配备了原位气膜加压装置。

### C 布里渊光谱

布里渊散射光谱系统提供 50 度对称散射配置，可结合电阻加入高温装置或无液氦、微振动显微恒温器，进行原位高压高温/低温布里渊光谱测量，（低温可达 10 K）可配备原位气膜加压装置。

## 3. 高压实验支撑模块

### A 电极沉积装置

金属电极沉积装置主要利用磁控溅射方式在金刚石对顶砧上沉积金属薄膜，以制备超高压下物质电输运性质研究中所用的测试微电路。与金刚石对顶砧上传统的手工布线方法相比，金属薄膜沉积电极可以更薄且电极间距更小，便于测试小样品，是传统手工布线方法不能比拟的。

### B FIB/SEM 金刚石整形装置

该FIB/SEM是一台高分辨扫描电镜/聚焦离子束双束显微镜系统。FIB可以

对硬质合金、钢、金刚石等多种材料进行微纳加工。相比于Ga离子束而言，Xe离子束的加工效率大大提升，对金刚石的加速度高于 $1\ \mu\text{m}^3/\text{min}$ ，而且加工过程不会引入离子杂质，特别适合用来做超高压用到的异型金刚石压砧的整形。通过这台系统，我们可以对金刚石台面进行精细加工，雕刻我们超高压需要的倒角或者小台面，精度可达 $10\ \text{nm}$ 以下；同时我们也可以对纳米金刚石（通常只有微米级）进行加工并镶嵌在单晶金刚石表面，从而实现超高压；加压后的样品也可以通过这台机器进行处理，从而进行下一步的表征，如TEM。这里，加工/观测的同时实现样品加工损伤以及样品的转移是技术的关键。

#### C 气体封装装置

将不同的气体封装到 DAC 中，包括  $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{He}$ 、 $\text{Ne}$ 、 $\text{Ar}$  等等，预装压力达到  $200\ \text{MPa}$ 。

#### D 气体原位加压装置

利用高压 He 实现 DAC 在低温腔体中的原位加压。

#### E 飞秒激光打孔装置

飞秒激光的脉冲时间远小于晶格热传导时间，在其与物质相互作用时，其能量吸收严格限制在极小范围内，并在极短时间内使电子温度达到极高，使物质从固态变为等离子态，迅速以喷射形态脱离加工体，其周围物质仍然处于“冷态”。因此与传统激光加工相比，飞秒激光加工边缘十分整齐精确，并能克服热效应带来的一切弊端。另外，飞秒加工可以实现多种材料，如金属、非金属、半导体、甚至透明材料的微加工。

#### F 可搭载金刚石对顶砧的模拟二代光源 X 射线衍射装置

本装置采用具备高强度微焦点的 Ag 靶，波长为  $0.57\ \text{\AA}$ ，稳定度在  $0.01\%$  波动以内。测角装置采用四轴测角仪，搭载高灵敏度二维探测器，能够实现  $260\ \text{mm}\times 260\ \text{mm}$  的检测面积。同时满足高压微小样品聚焦要求，聚焦点尺寸可达  $0.07\ \text{mm}\times 0.07\ \text{mm}$ 。X 光衍射实验需要极高的安全防护措施，因此本装置对搭载了如下安全报警装置以保护实验人员的安全：异常冷却水流量和压力报警，异常发电机过载检测，异常电压检测，过载检测，紧急停止开关，漏电流断路器，故障保险机构；报警显示；自动老化功能。防护罩外部泄漏 X 射线量  $< 2.5\ \mu\text{Sv/h}$ 。

#### G 红宝石测压装置

红宝石测压装置为高压实验普遍使用的用来标定金刚石对顶砧压力的装置。该装置采用了商业化的Horiba光谱仪和探测器，配备了647 nm激光器以及455 nm LED作为激发光源，能够满足常规高压实验的压力标定。经过测试，该装置在标定压力为300 GPa的金刚石台面压力时，仍然能够清楚地分辨出表征金刚石台面压强的拉曼信号。

**实验站联系人：**

洪老师，邮箱：[hongfang@iphy.ac.cn](mailto:hongfang@iphy.ac.cn)。