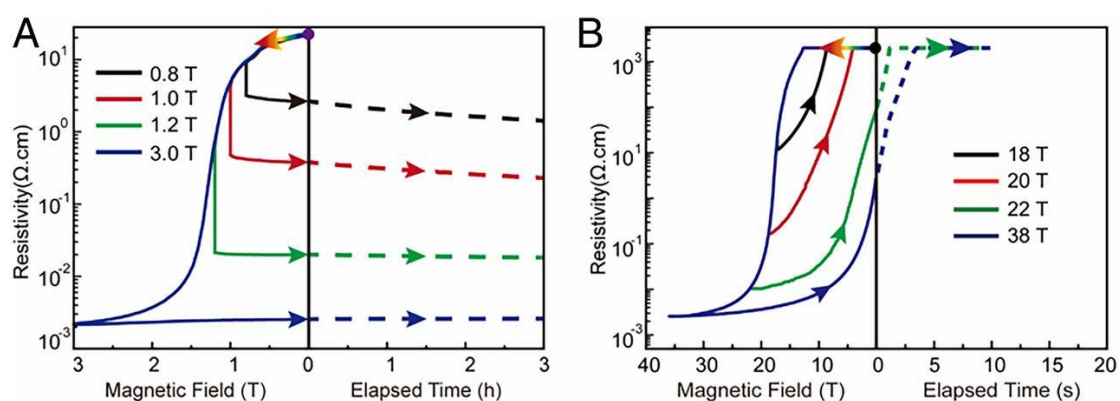


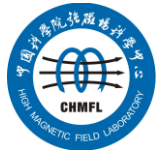
国内外强磁场实验室 科研动态

2020 年第一季度



中国科学院强磁场科学中心·科研办

2020/5/6



前 言

本科研动态的宗旨是为强磁场领域的科研技术人员提供国际上最新的科研成果以及各强磁场实验室发展动向，每季度发布一期。以下是美国、欧洲、日本和中国的强磁场实验室简介。

美国国家强磁场实验室

National High Magnetic Field Laboratory 又称 MagLab，是目前世界上规模最大，实验设施最全，用户最多的强磁场实验室。其稳态场部分位于 Tallahassee，脉冲场部分位于 Los Alamos，另有一个 high B/T 组位于 Gainesville。MagLab 于 1994 年建成并不断升级改造，创造并保持了多项世界纪录。

欧洲强磁场实验室

European Magnetic Field Laboratory (EMFL) 是由法国 Grenoble 的稳态场、Toulouse 的脉冲场、荷兰 Nijmegen 的稳态场以及德国 Dresden 的脉冲场实验室于 2015 年组合而成，有统一的用户申请入口。

日本强磁场实验室

日本的强磁场实验室没有整合在一起。比较著名的实验室有东京大学的 MegaGauss 实验室，东北大学的超导材料高场实验室 (HFLSM) 和 NIMS 的筑波磁体实验室 (TML)。



武汉脉冲强磁场科学中心

武汉的强磁场实验室隶属于华中科技大学，全称为国家脉冲强磁场科学中心（筹），其磁体装置 2014 年通过国家验收，建有 12 个三种类型的系列脉冲磁体，最高场强达到 90.6 T，位居世界第三、亚洲第一。

中国科学院强磁场科学中心

中国科学院强磁场科学中心位于合肥科学岛，其建设的稳态强磁场实验装置 2017 年通过国家验收，是世界上仅有的两个稳态磁场超过 40T 的实验室之一。稳态强磁场实验装置有 3 台水冷磁体创造世界纪录，混合磁体最高磁场达到 42.9T，磁体技术和综合性能处于国际领先地位。

科研动态

1. 美国国家强磁场实验室

- 新型高温超导内插磁体完成测试

美国强磁场实验室的科学家和工程师们测试了一种新型高温超导磁体技术，该技术有望应用于粒子加速器、聚变堆和科研磁体等。

该磁体与之前采用密绕方式绕制的 32 T 全超导磁体不同，采用 CORC 导体 (Conductor on Round Core) 绕制。CORC 导体是将 14 层 28 根 REBCO 高温超导带材缠绕在圆截面铜芯上制成，该设计的优点在于局部失超的情况下电流可从临近带材分流而不致于整体失超。经测试，在 14 T 背景场下最大电流可达 4400 安培，以 20-50 A/s 的速率升场不失超。该测试表明 CORC 导体已初步具备绕制实用超导磁体的能力。



Cite: D. C. Van Der Laan, et al. Supercond. Sci. Technol. 33, 05LT03 (2020)

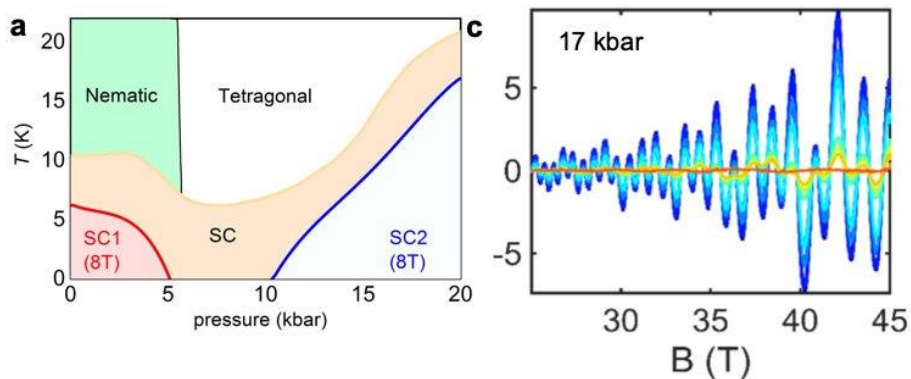
- 向列相对高温超导的影响

美国强磁场实验室用户发现，通过耦合高磁场和高压，使 $\text{FeSe}_{0.89}\text{S}_{0.11}$ 中

的电子从低压的向列相转变为高压下的四方金属相，并超过了高于 5 kbar 的向列量子临界点 (NQCP)。

在 $\text{FeSe}_{0.89}\text{S}_{0.11}$ 中，电子相之间的差异极大地影响了体系量子态，从而导致两个截然不同的超导相。MagLab 的 45 T 混合磁体可使 $\text{FeSe}_{0.89}\text{S}_{0.11}$ 进入正常态，从而能够追踪费米面的演变和电子关联随压强（最高 20 kbar）的变化。

数据表明，Lifshitz 相变（费米面的拓扑变化）将两个超导区域分开。低压超导态 SC1 从具有小费米面和强电子关联的向列相中出现，而高压超导态 SC2 由大费米面且弱电子关联的四方金属相中出现。



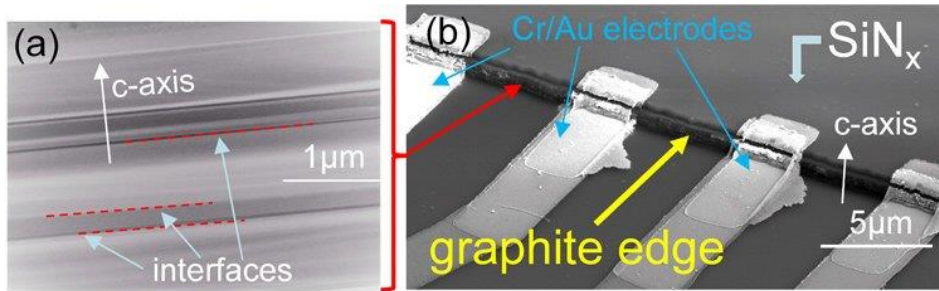
Cite: [P. Reiss, et al. Nature Phys. 16, 89-94 \(2020\)](#)

装置：混合磁体，高压系统

● 天然石墨的磁阻新纪录

美国强磁场实验室用户通过改进电极，在天然石墨中测出创纪录的磁阻。

与一般的电极制备方法不同，该方法是将电极做在石墨的边缘处。实验测得 0.48 K / 21 T 下的磁阻接近 10 万，创造了新纪录。该实验支持了石墨的某些界面存在颗粒状超导的说法，以及确认了用普通方法测得的石墨磁阻并非本征，而与界面和电极有关。

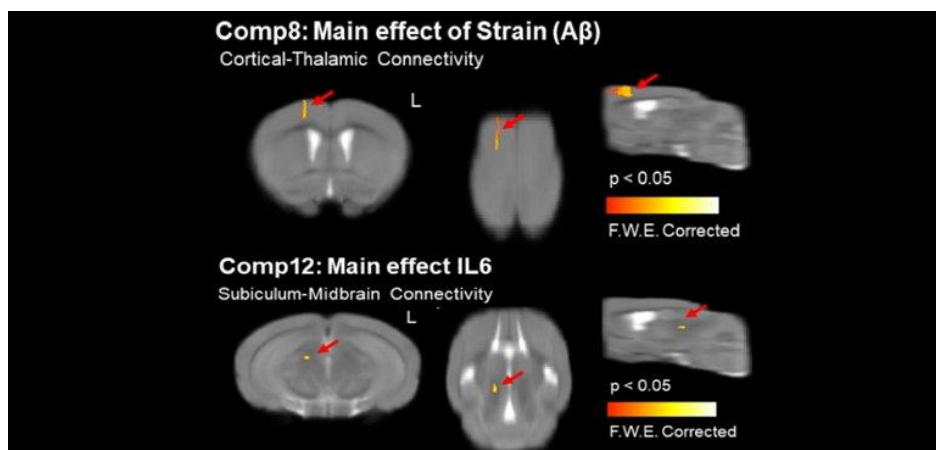


Cite: [C. E. Precker, et al. Adv. Eng. Mater. 21, 1900991 \(2019\)](#)

装置：脉冲磁体

● MRI 检测大脑对阿尔茨海默病斑块沉积和炎症的反应

阿尔茨海默病是一种神经退行性疾病，与大脑微结构的变化有关，怀疑部分由白介素 6 (IL6) 介导的细胞外 β 淀粉样蛋白 ($A\beta$) 斑块沉积和炎症免疫激活导致组织微观结构改变。通过小鼠实验，研究人员证明，高场扩散 MRI 测量可以检测到白质的早期变化。这有助于监测和预测疾病进展，并可能提示新的治疗方法。



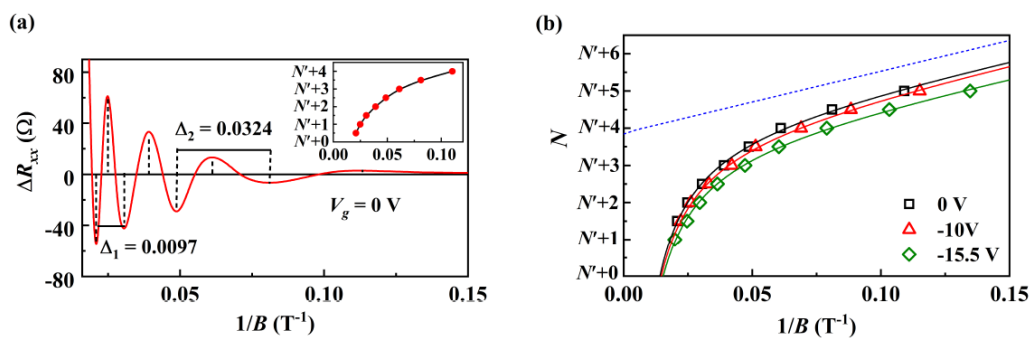
Cite: [L. Colon-Perez, et al. NeuroImage, 202, 116138 \(2019\)](#)

装置：MRI 磁体 (11.1T)

2. 欧洲强磁场实验室

● LaAlO₃ / SrTiO₃ 界面二维电子气中的非周期性量子振荡

法国研究人员测量了 LaAlO₃ 和 SrTiO₃ 界面处的高迁移率准二维电子气在 55 T 强磁场下的输运性质，并通过分析 Shubnikov-de Haas 振荡为其电子能带结构提供了新的见解。有趣的是，量子振荡在 $1/B$ 图中不是周期性的，并且会生成高度非线性的朗道图。极低温与高场测量相结合对于研究 $1/B$ 非周期振荡的多带起因很有必要。该研究为该系统的非平庸能带结构提供了进一步的证据，与密度泛函计算结果一致。



Cite: [K. Rubi, et al. npj Quantum Mater. 5, 9 \(2020\)](#)

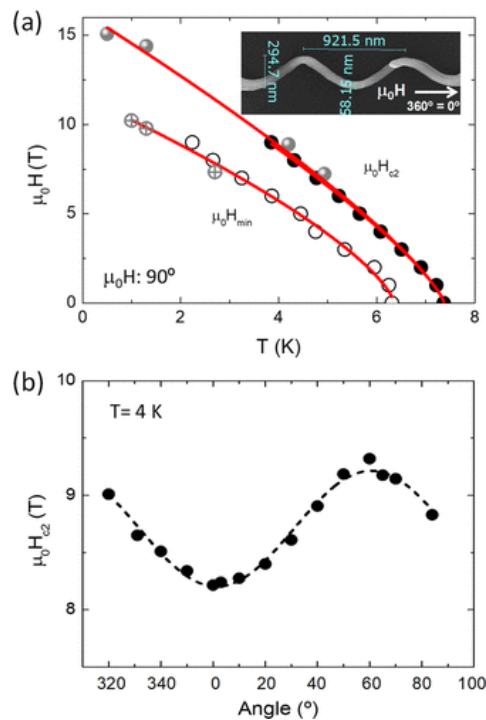
装置：脉冲磁体

● 氦离子 FIB 直写法制备的三维超导纳米螺旋

纳米尺度上复杂三维架构的制造和理解是通往下一代先进电子设备新方案的途径之一。

在这项工作中，来自欧洲多国的科研人员研究了 3D 碳化钨纳米螺旋的超导特性。这种螺旋是由 He⁺ 聚焦离子束显微镜 (FIB) 制成，螺距为 200 nm 至 2.3 μm，螺旋直径为 100 至 295 nm，纳米线本身直径约 45 nm。

在低于 7 K 的温度下，根据磁场相对于螺旋轴的方向，这些纳米螺旋显示出高临界磁场（最高 15 T）的超导。这表明，螺旋的几何形状及其在磁场中的取向在超导相变中起着重要作用，这可用薄膜超导体的性质来定性解释。该结果为超导纳米螺旋的完全量化 3D 建模提供了一种示范。



Cite: [R. Córdoba, et al. Nano Lett. 19, 8597 \(2019\)](#)

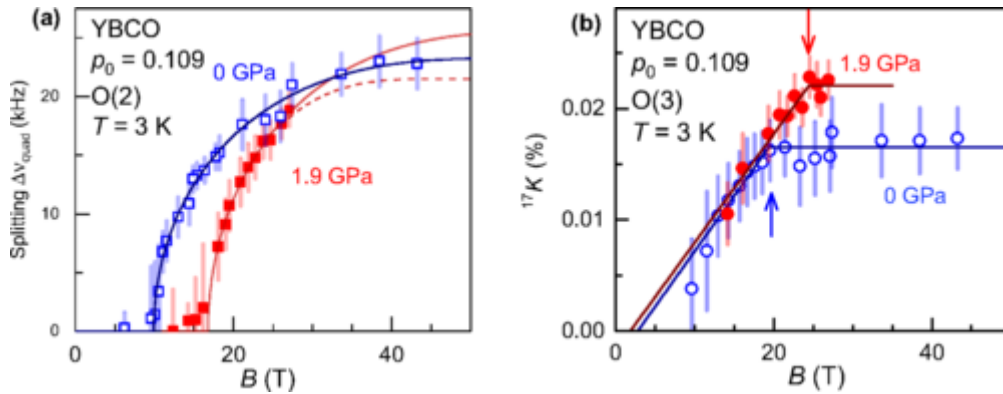
装置：超导磁体

● 用 NMR 研究 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 的电荷密度波

铜酸盐中的高温超导性与电荷密度波 (CDW) 相非常相似。为了澄清二者之间是纯竞争还是存在更密切的关系，法国的研究人员使用了 ^{17}O 核磁共振 (NMR)，以研究在 1.9 GPa 压力下 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 的低场 (短程) 和高场 (长程) CDW 相。

结果表明，短程和长程 CDW 的峰强都在加压后减弱， T_c 随压强增加而升高是由于 CDW 的消失而引起 (10~20 GPa 区间)。长程 CDW 序在 1.9 GPa

下的起始磁场明显增加，伴随着超导上临界场的降低，表明压力会同时影响 CDW 和超导。

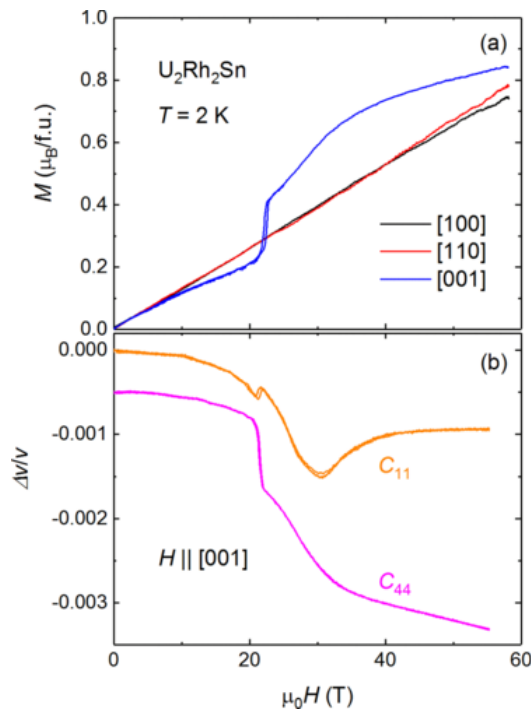


Cite: [I. Vinograd, et al. Phys. Rev. B 100, 094502 \(2019\)](#)

装置：水冷磁体

● 反铁磁 U_2Rh_2Sn 中的局域与非局域 5f 电子

铀基金属间化合物的物理性质在很大程度上取决于 5f 电子的局域化程度。5f 态的扩展性导致对外部参数的高度敏感性。强烈的自旋轨道相互作用提供了显著的轨道极化，与磁矩的方向紧密耦合，并影响了晶体和电子结构。



通常，确定 5f 电子的局域程度十分具有挑战性。在最近的工作中，来自捷克、日本和德国的科学家使用了晶体电场模型来分析 U_2Rh_2Sn 在稳态和脉冲磁场下的磁化强度以及超声数据。测量结果强烈表明，在这种材料中，5f 电子倾向于局限在顺磁态。

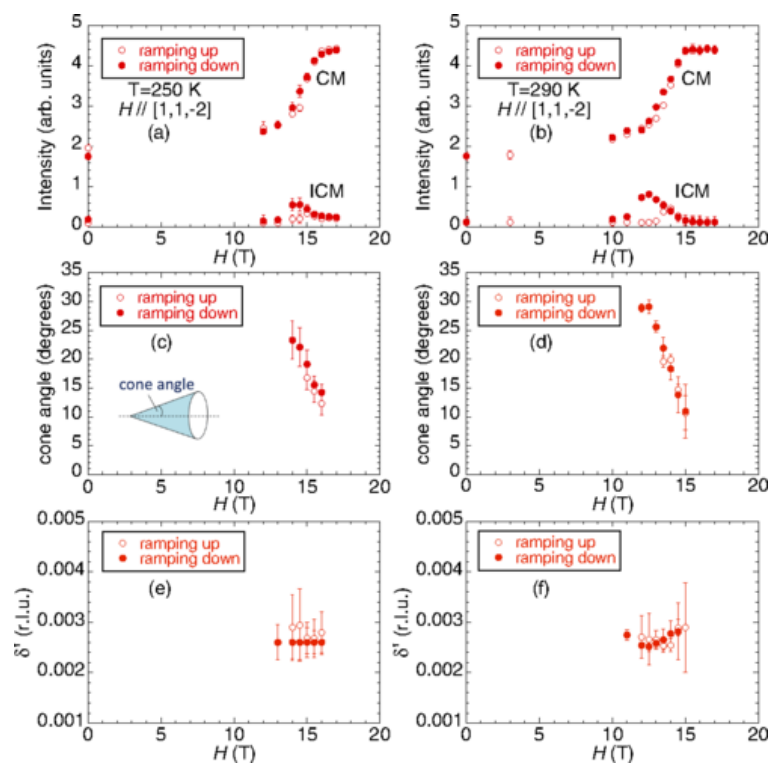
Cite: [*D. I. Gorbunov, et al. Phys. Rev. B 101, 014408 \(2020\)*](#)

装置：脉冲磁体

3. 日本强磁场实验室

● 多铁性 $BiFeO_3$ 中的磁场感应反铁磁圆锥结构

在多铁性 $BiFeO_3$ 单晶中，在高达 17 T 的强磁场下进行中子衍射测量，在摆线和倾斜反铁磁相之间发现了中间磁相。体系存在强的磁弹性耦合，可以在 AF 圆锥相中引起磁电效应，这种效应高温下更强，因此具有潜在的应用前景。

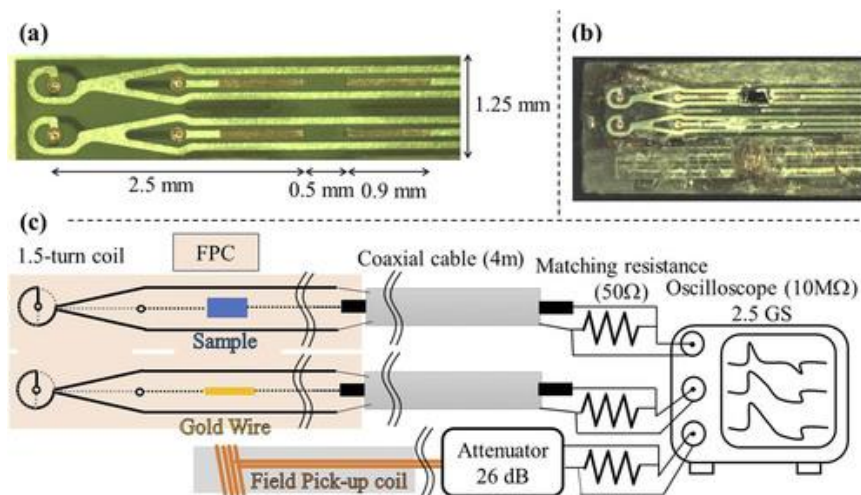


Cite: [M. Matsuda, et al. Phys. Rev. Mater. 4, 034412 \(2020\)](#)

装置：脉冲磁体，中子衍射

● 破坏性脉冲磁场中电阻的直接测量

东京大学强磁场实验室提出了一种在破坏性脉冲磁场下测量电阻率的简单方法。该方法使用 pick-up 电压作为电源，可以测量 100 T 以上的超高磁场中的电阻率的绝对值。文中详细介绍了实验装置及其操作，及 $\text{FeSe}_{0.5}\text{Te}_{0.5}$ 薄膜样品的测量结果。此外还讨论了这种方法在高磁场以及其他高扫场速率环境下可能的科学应用。



Cite: [Y. Kohama, et al. Rev. Sci. Instru. 91, 033901 \(2020\)](#)

装置：脉冲磁体

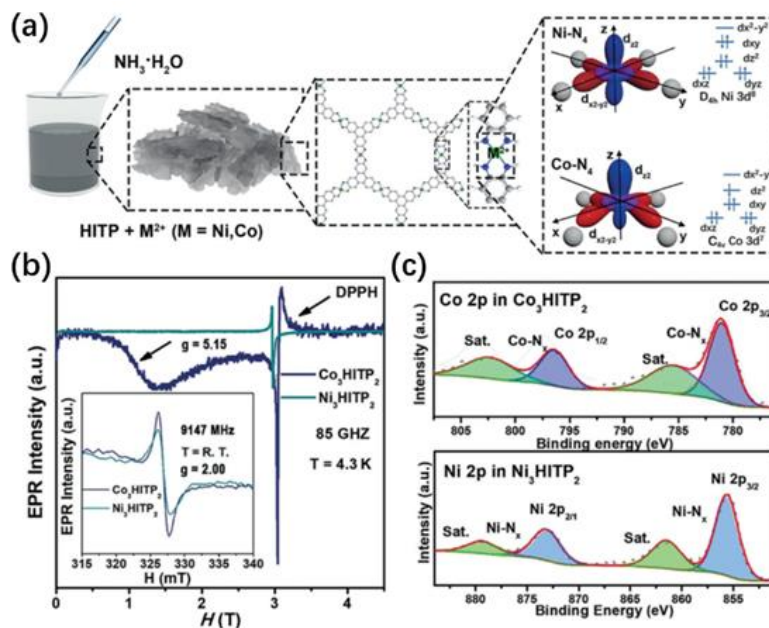
4. 武汉脉冲强磁场科学中心

● ESR 助力新型电池研究

氧还原反应 (ORR) 是燃料电池、金属-空气电池等电化学能量转化和存储

技术中的一个极其重要的反应。然而，由于氧还原反应涉及多电子转移，动力学过程缓慢，通常需要催化剂提高其反应速率，因此寻找高活性、高选择性的非贵金属电催化剂是目前面临的一大挑战。

来自苏州大学的用户通过改变 Ni、Co 比例，以 HITP 为配体合成了一系列金属配合物，并综合利用 X-射线晶体学、SEM 和 TEM 电镜、XANES 以及强磁场 ESR 等实验手段，探讨了 Ni₃HITP₂、Co₃HITP₂ 在氧还原反应中的催化性能。基于电子结构、自旋状态、电导率等方面的对比分析，Co₃HITP₂ 在氧还原反应中展现出了优异的电催化活性，并在用作锌-空气电池催化剂时具有非常高的充放电性能及电化学稳定性，这为绿色能源技术中直接利用导电配位聚合物作为无热解催化剂奠定了基础。



Cite: [Y. B. Lian, et al. Angew. Chem. Int. Ed. 59, 286-294 \(2020\)](#)

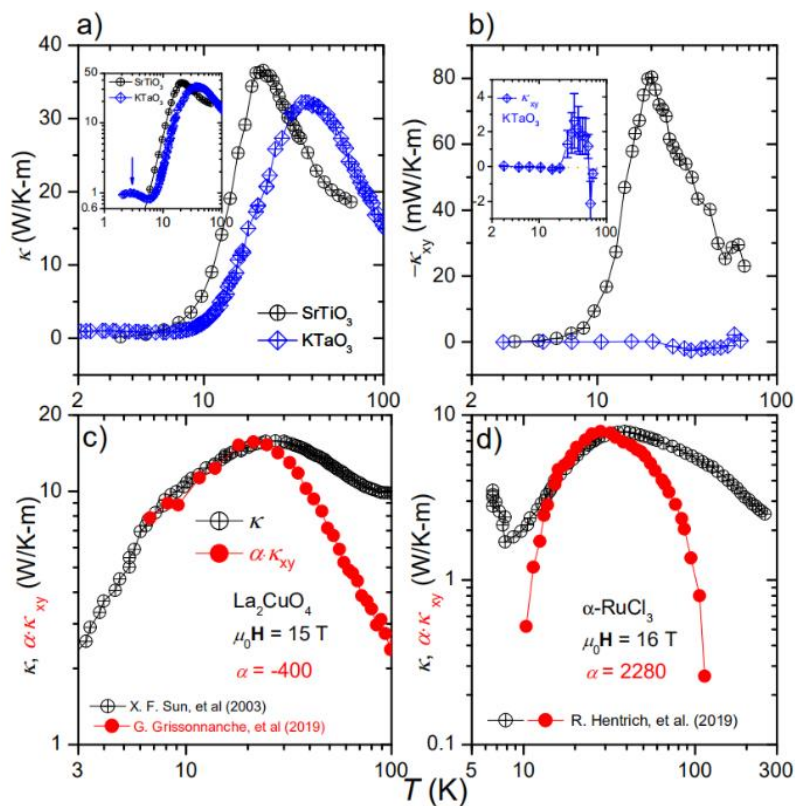
装置：高场 ESR

● SrTiO₃ 中的声子热霍尔效应

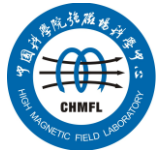
由于电子既能传导电荷也能携带热量，因此当有纵向温度梯度存在时，在

磁场中受洛伦兹力发生偏转的电子也能在横向上产生温差积累，此即为热霍尔效应或者里纪-勒杜克效应。虽然声子没有电荷和磁矩，无法与电场和磁场直接发生相互作用，但由于声子也能携带和传导热量，因此热输运是研究声子行为的重要手段。声子无法因洛伦兹力而发生横向偏转，但是否能受到磁场的间接作用或者因散射而发生横向偏转目前仍存在争议，因此研究声子热霍尔效应是解决这一争论的关键。

强磁场中心与法国科学家合作，在 SrTiO_3 中观测到了比任何绝缘体都要大的霍尔热导，其值约为 $-80 \text{ mW} / \text{K}\cdot\text{m}$ (12 T 时)，是铜氧化物的两倍 (Nature 376, 571, 2019)。为进一步明确本项研究工作中声子热霍尔效应的起源机制，即声子是如何发生横向偏转的，还用 KTaO_3 开展了对比实验。结果表明发生反铁电扭曲转变后的畴壁可能是散射声子发生横向偏转的原因。



Cite: [X. K. Li, et al. Phys. Rev. Lett. 124, 105901 \(2020\)](#)



5. 中科院强磁场科学中心

- 基于强磁场调控石墨烯量子点的光学性质取得新进展
- 中科院强磁场科学中心研发出针对恶性疟疾新型激酶抑制剂
- 中科院强磁场科学中心在有机半导体自旋传输研究中取得进展
- 中科院强磁场科学中心发现全反式维甲酸治疗 FLT3-ITD 阳性白血病的新机制
- PRL 报道中科院强磁场科学中心关于 $2\text{H-Ta}_x\text{Nb}_{1-x}\text{Se}_2$ 体系中非弹性电子隧穿研究工作
- 中科院强磁场科学中心在二维材料低温物性研究中取得新进展
- SHMFF 用户解释锰氧化物中电子相分离的物理起源

详见：<http://www.hmfl.cas.cn/xwzx/tt/>