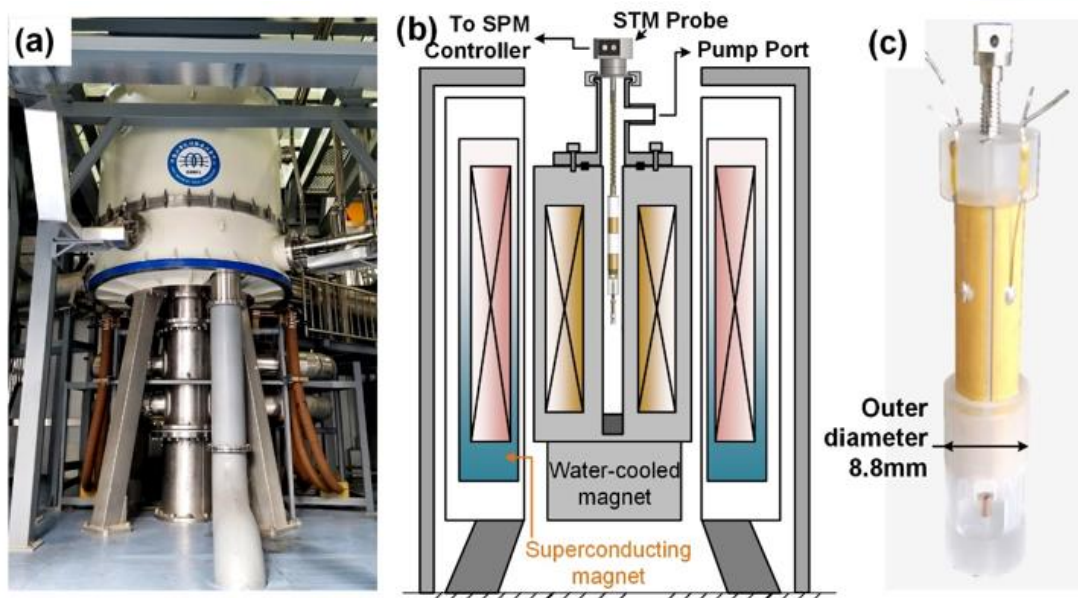


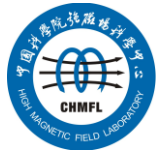
国内外强磁场实验室 科研动态

2020 年第二季度



中国科学院强磁场科学中心

2020/7/20



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

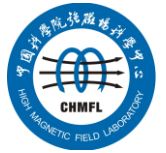
National High Magnetic Field Laboratory 又称 MagLab，是目前世界上规模最大，实验设施最全，用户最多的强磁场实验室。其稳态场部分位于 Tallahassee，脉冲场部分位于 Los Alamos，另有一个 high B/T 组位于 Gainesville。MagLab 于 1994 年建成并不断升级改造，创造并保持了多项世界纪录。

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

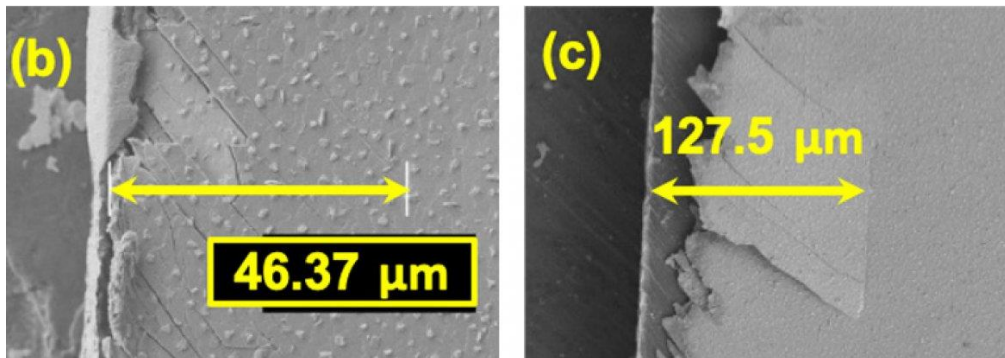
中国科学院强磁场科学中心位于合肥科学岛，其建设的稳态强磁场实验装置 2017 年通过国家验收，是世界上仅有的两个稳态磁场超过 40T 的实验室之一。稳态强磁场实验装置有 3 台水冷磁体创造世界纪录，混合磁体最高磁场达到 42.9T，磁体技术和综合性能处于国际领先地位。

科 研 动 态

1. 美国国家强磁场实验室

● REBCO 疲劳测试

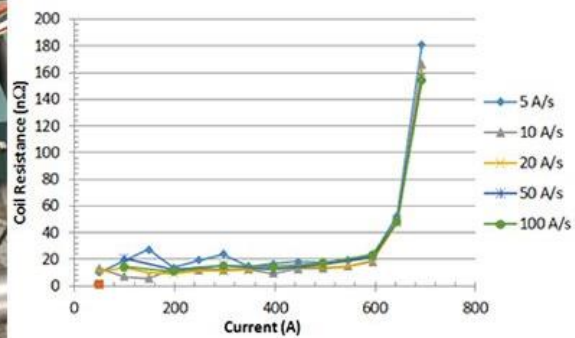
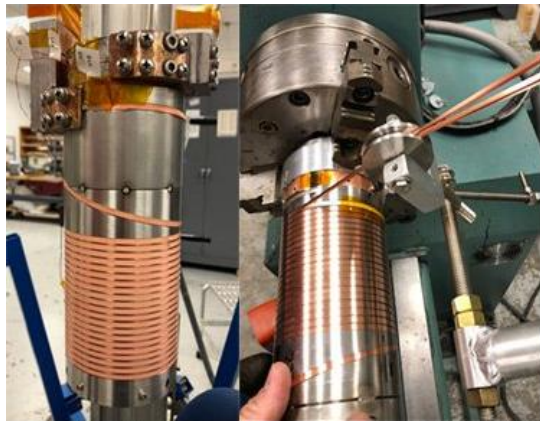
MagLab 的研究人员对 REBCO 带材施加周期性的拉伸载荷，然后测量其性能，发现在 50,000 次循环（正常磁体寿命）后没有退化，进行 250,000 次循环后，带材边缘的裂纹增长到带材宽度的 3.2%，仍在可接受范围内。



● 用于超高磁场的集成线圈技术

集成线圈（ICF）是将 REBCO 绕到刻有螺旋槽的专用管上制成。匝间的不锈钢肋有助于增强线圈抵抗高磁场负荷的能力。升场速率从 5A/s 至 100A/s 的失超特性几乎没有区别。

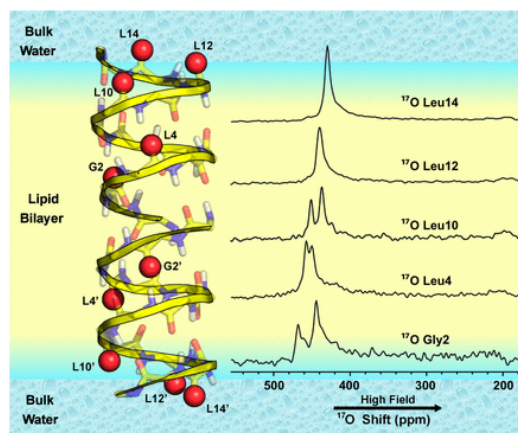
这项工作表明，ICF 线圈技术紧凑有效，可能在 MagLab 寻求实现 60T 混合磁体的过程中起着核心作用。60T 稳态磁场是美国国家科学院在 2005 年 COHMAG (Opportunities in High Magnetic Field Science) 和 2013 年 MagSci (High Magnetic Field Science and Its Application in the United States: Current Status and Future Directions) 报告中设立的国家目标。



● 水分子链在离子通道中的作用

短杆菌肽 A 是一种小蛋白，通过堆叠在细胞膜上形成一条狭窄的螺旋状通道，离子可以通过该通道进入和流出。在此过程中，横跨通道长度的八分子长的水分子链充当润滑剂，通常认为其取向可极快地翻转（小于 1 纳秒），伴随着 H 原子与短杆菌肽 A 中的 O 原子键合与不键合状态的切换。

MagLab 的串联混合磁体可用 NMR 探测 O 的共振信号，一次偶然的机会，研究人员在含两分子短杆菌肽 A 的样本中检测到两个信号峰，后证实这是与 O 与 H 键合与不键合两种状态的峰。同时这种键合的持续时间比以往的认识长 6 个数量级。

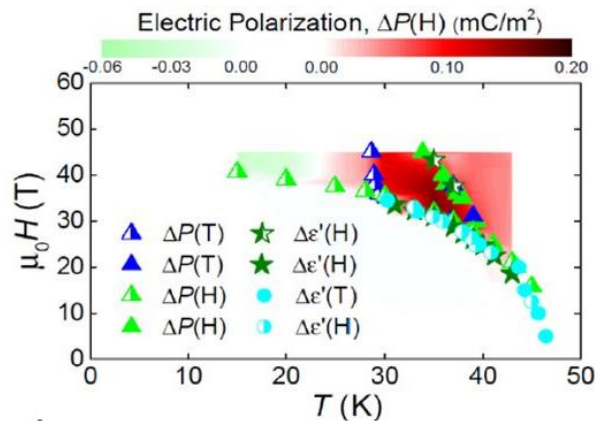


Cite: [J. Paulino, et al. PNAS 117, 11908 \(2020\)](#)

装置：串联混合磁体

● 在两个自旋态之间转变的磁电耦合

磁电耦合材料制成的器件可在磁控制下切换电压和电流，从而将能量消耗降低几个数量级，因此具有巨大的应用前景。MagLab 的研究人员用混合磁体及脉冲磁体研究了一类新型的自旋相变材料，这些新材料在磁场和晶格间具有极强的耦合作用，从而使磁场感应出结构相变，产生电偶极子并排列成各种有序图样。观察到的磁电耦合很强，比传统磁电材料的最高记录高出 10%。因此，自旋相变材料是研究磁电耦合的一种重要的新型材料。



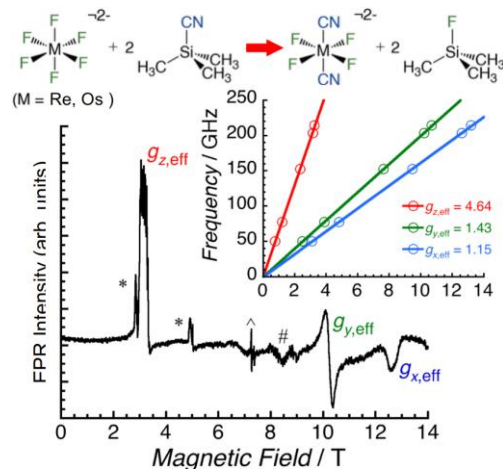
Cite: [S. Chikara, et al. Nature Commun. 10, 4043 \(2019\)](#)

装置：混合磁体，脉冲磁体

● 分子磁性构件

这项研究报告了第一种以氟化物-氰化物混合配体为特征的过渡金属化合物。高场 ESR 和磁化强度测量证明，与纯氟化物连接的化合物相比，磁各向异性显著增强。

该方法展示了一种合成重过渡金属基分子构件的新策略。由于具有较大的磁矩和非常强的磁各向异性，这样的构建块可以构成未来在高密度信息存储应用中使用的性能磁性材料。



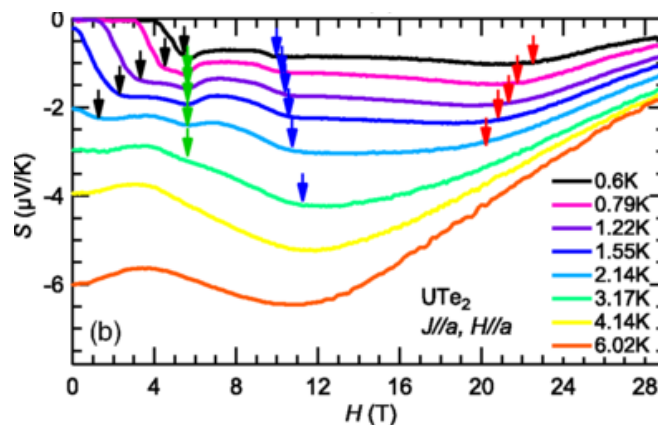
Cite: *J. L. Liu, et al. Angew. Chem. Int. Ed. 59, 10306 (2020)*

装置：高场 ESR

2. 欧洲强磁场实验室

- 重费米子超导体 UTe_2 中的费米面不稳定性

UTe_2 是新近发现的 $T_c = 1.6\text{ K}$ 的重费米子超导体。与铁磁重费米子超导体 $UCoGe$ 和 $URhGe$ 相比， UTe_2 是顺磁性的，65 T 磁场下有超导重入现象。对于沿 b 方向施加的磁场，上临界场会大幅提高至 35 T，同时还伴随着一阶变磁转变。近期关于 U 基铁磁超导体的研究展示了磁涨落和费米面不稳定性之间相互作用的重要性，但这些不稳定性在超导强化中的精确作用还有待进一步厘清。



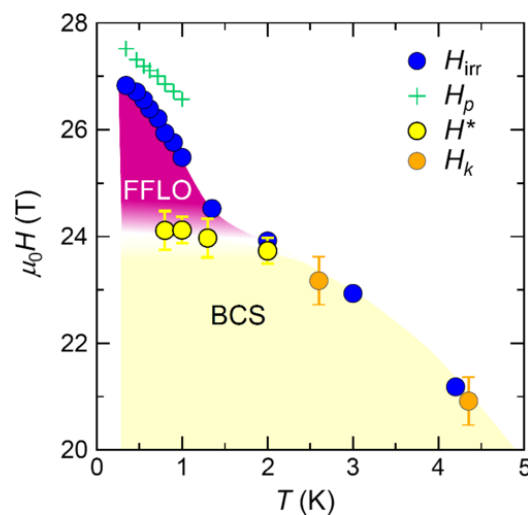
法国科学家测量了 UTe_2 沿易磁化轴施加 29 T 磁场时的输运特性。热电势在低温下表现出连续的异常，表明费米面不稳定。H1 处的不稳定性发生在与 $H_m = 35 \text{ T}$ 完全相同的磁化临界值 ($0.4 \mu\text{B}$) 处。最后，磁场下的高压测量结果显示，H1 附近的上临界场具有特殊性。

Cite: [Q. Niu, et al. Phys. Rev. Lett. 124, 086601 \(2020\)](#)

装置：水冷磁体

● FeSe 中的高场超导态的证据

众所周知，超导会被强磁场破坏。当巡游电子的塞曼能变得比超导凝聚能大时，该状态所能达到的最高磁场就是泡利顺磁极限。但是，超导电性可在超出泡利极限的空间调制序中继续存在。这种所谓的 FFLO 态早在 1964 年就已提出，然而半个世纪后仅有少数几种材料报道了实验现象。



最近，来自日本、欧洲的研究人员通过电阻率和热导率测量在 35 T 磁场中研究了高质量的 FeSe 单晶，发现 FeSe 超导体有一个独特的高场超导相，该相属于 FFLO 态。电阻率数据展示了不可逆场的异常上升，即非零电阻的开始，并且在更高场下电阻达到峰值。上临界场的上升表明了高场超导相的形成。最

显著的特征是，低于 2 K 的热导率数据在 24 T 处表现出不连续的向下跳跃。在这一磁场值上下的斜率发生很大变化。因此，这些测量为 FeSe 中独特的高场超导相（很可能是 FFLO 相）提供了有力的证据。

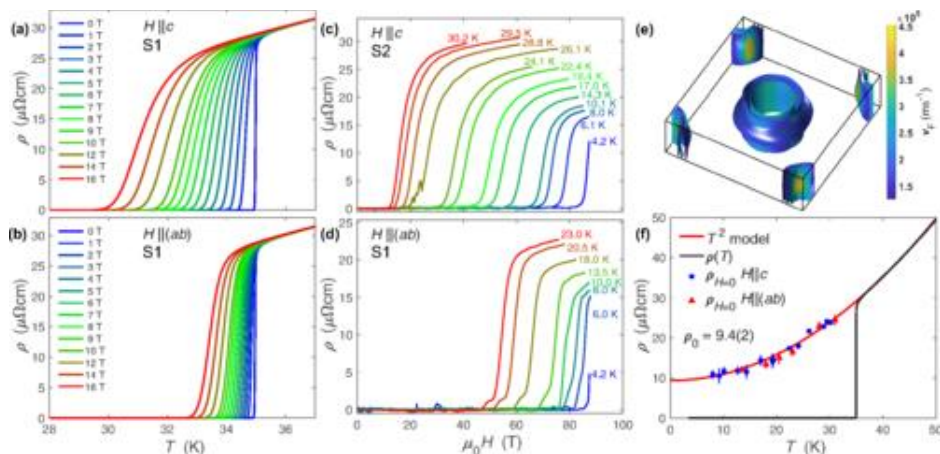
Cite: S. Kasahara, et al. Phys. Rev. Lett. 124, 107001 (2020)

装置：水冷磁体

● 化学计量比铁基超导体 $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ 的高上临界场的起源

$\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ 属于 1144 铁基超导体的新家族，具有 35 K 的居里温度，在低温下无长程磁有序或向列相，是一种理想的化学计量超导体。

由于与 122 族相比对称性降低，预计 $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ 的费米表面最多具有十个不同的电子和空穴层，其中电子和空穴口袋之间可能存在带间和带内配对。由于局部结构位点效应和表面钉扎造成的强点状缺陷， $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ 具有异常大的临界电流密度。为了解 $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ 的多带超导特性，研究人员使用电输运法测量了 90 T 磁场中两个方向的上临界场。这些研究提供了完整的 $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ 上临界场相图，表明它在最低温度下是各向同性的。在低温下，面内上临界场不会饱和而是呈现上升趋势，这与 FFLO 态的出现相一致。



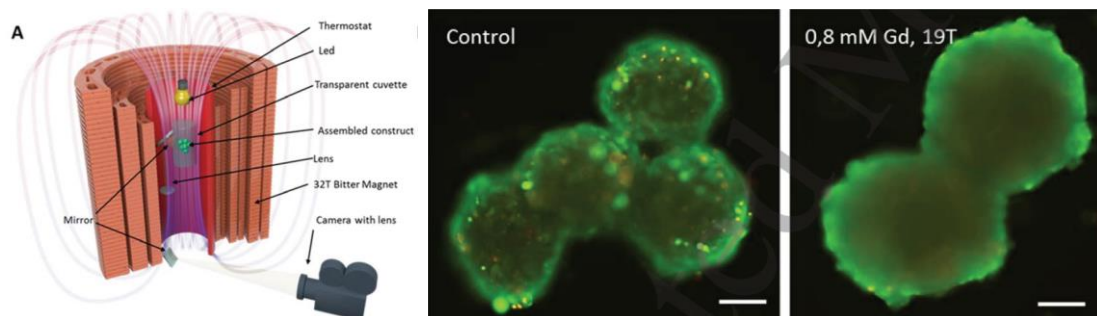
Cite: M. Bristow, et al. Phys. Rev. B 101, 134502 (2020)

装置：脉冲磁体

● 强磁场中悬浮组装无支撑无标记生物制造技术

来自欧洲多国的研究人员使用 31 T 的磁场，对活性球体的组织结构进行磁悬浮组装。悬浮 3 小时后，组织球体部分融合。活力分析表明，长时间暴露于磁场后组织球体没有明显的细胞毒性或形态变化。这意味着强磁场可作为无毒、短时和可撤除的支撑。研究人员证明，在强磁场中用组织球体对组织工程构造物进行生物成型是一种有前途的研究方向。

这项研究表明，在强磁场下使用无毒、低浓度的顺磁性介质进行磁悬浮生物组装在技术上是可行的。此外还可以作为国际空间站微重力研究的一种经济有效的替代方法。



Cite: [V. A. Parfenov, et al. Biofabrication \(2020\)](#)

装置：水冷磁体

● 欧洲强磁场实验室获 780 万欧元资助

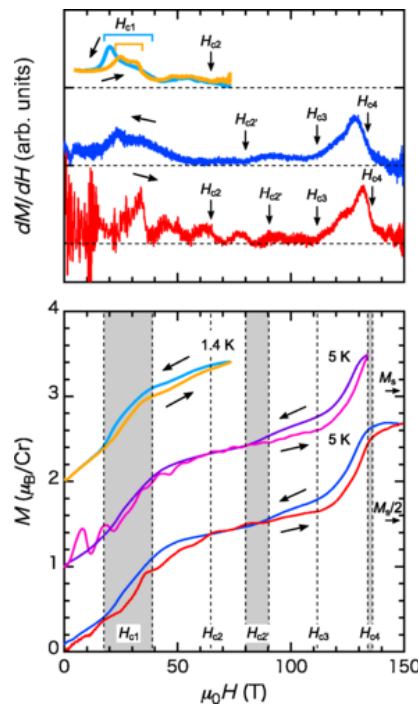
欧洲强磁场实验室获得了欧盟 Horizon 2020 INFRADEV 计划 780 万欧元资助，该计划旨在支持欧盟区世界级科研基础设施的发展。INFRADEV-01 项目（290 万欧元）支持的是 40T 以上全超导磁体的研究，INFRADEV-03 项目

(490 万欧元) 则主要用于更好地服务工业用户以及科技成果转化。通过这些经费支持，欧洲强磁场实验室将强化自身可持续发展能力，并研发最先进磁体。

3. 日本强磁场实验室

● 150 T 超高磁场中 $\text{CuInCr}_4\text{S}_8$ 的磁化过程

在高达 150 T 的超高磁场中，研究了 $\text{CuInCr}_4\text{S}_8$ 的磁化过程。在该体系中观察到连续相变，其特征是从 65 T 到 112 T 范围的 $1/2$ 平台。此外还发现磁化表现出两种固有的行为：在饱和之前， M - H 曲线的斜率在 ~ 85 T 时有轻微变化，在 ~ 135 T 时呈肩状。两者都伴随有磁滞现象，表明均为一级相变。采用基于自旋-晶格耦合的微观模型，通过理论计算相当好地再现了实验现象，包括先前工作中观察到的相对较宽的 $2:1:1$ 相。稳健的 $1/2$ 平台似乎来源于主要的反铁磁交换相互作用和强自旋-晶格耦合。

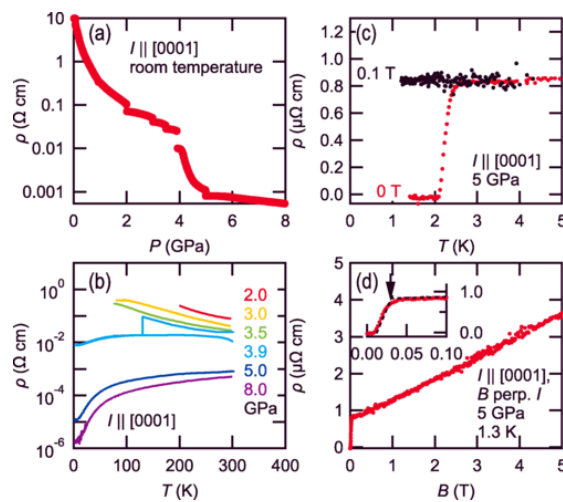


Cite: [M. Gen, et al. Phys. Rev. B 101, 054434 \(2020\)](#)

装置：破坏性脉冲磁体

● 极端条件下碲的磁输运性质

东京大学强磁场实验室用户研究了手性元素半导体碲 (Te) 在磁场和压力下的输运特性。与最近的理论和实验研究相反，施加压力降低了 Te 的电阻率，而且在 4 GPa 的压力下仍是半导体。施加较高的压力会导致结构相变和半导体-金属相变。高于 4 GPa 的金属相在 2 K 处表现出超导性，并具有明显的线性磁阻效应。另一方面，确定了常压下(10 $\bar{1}$ 0)新鲜表面的金属表面态，并通过强磁场下的量子振荡进行了系统研究。



Cite: [K. Akiba, et al. Phy. Rev. B 101, 245111 \(2020\)](#)

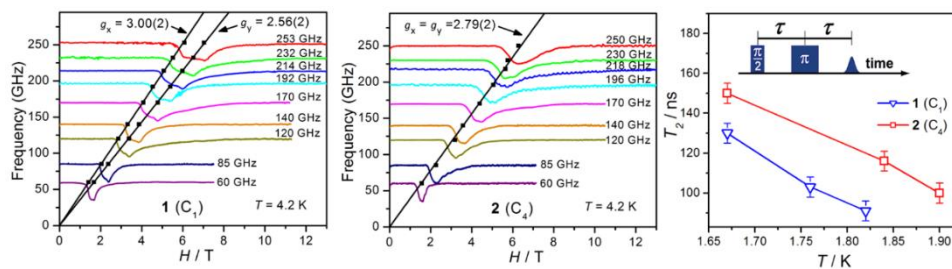
装置：脉冲磁体

4. 武汉脉冲强磁场科学中心

● ESR 团队在分子基量子比特研究上取得进展

单分子磁体在高密度存储、量子计算、磁制冷、分子自旋电子学等领域具有广泛的应用前景。其中，单分子磁体的自旋弛豫时间是其在量子计算应用中的一个关键指标。前期研究已发现自旋中心的局部对称性是自旋-晶格弛豫 (T_1) 的重要原因，但是局部对称性对自旋-自旋弛豫 (T_2) 的影响还不清楚。

该研究中，ESR 团队与合作者们合成了两个结构极度类似的 9 配位 Nd 配合物（只是对称性稍有不同， C_1 vs C_4 ），并运用晶体学、磁测量学、脉冲强磁场电子顺磁共振和 CASPT2 计算等多项研究方法手段，对两个化合物进行了详细研究。研究发现，声子瓶颈效应是主要的自旋弛豫机制，而且高对称性更有利于抑制自旋-自旋弛豫过程。该项研究为单分子磁体自旋寿命的提升提供了一种新的思路。



Cite: [J. Li, et al. iScience 23, 100926 \(2020\)](#)

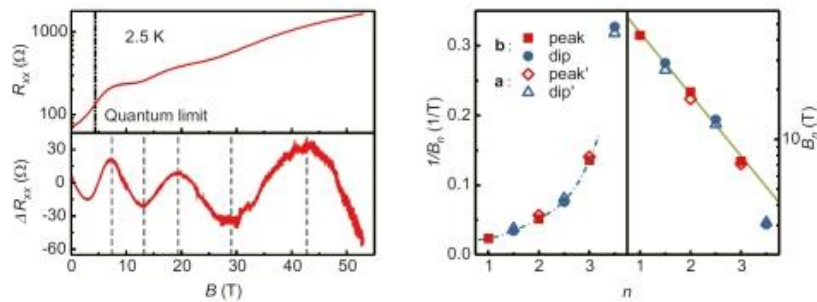
装置：高场 ESR

● 中心用户曾长淦教授团队在新型拓扑材料外尔半导体研究中取得进展

碲是一种窄能带半导体，由于空间反演对称性破缺以及相应的强自旋轨道耦合，在价带顶附近存在能带交叉的外尔点。该研究中，曾长淦教授团队利用物理气相沉积法制备出高质量碲单晶，其空穴自掺杂特性使费米能级处于价带顶，进而显著增强了外尔费米子对输运性质的影响，并通过低温输运研究揭示了碲单晶中由于手性反常导致的典型磁输运特征，包括磁场平行于电流方向时

的负磁阻效应，以及磁场在样品平面时发生的平面霍尔效应。在此基础上，利用脉冲强磁场设施提供的 55T 磁场，进一步发现了罕见的以磁场对数为周期的磁阻和霍尔电阻量子振荡。这种新型量子振荡是自相似的离散标度不变性的体现，可以归因于碲晶体中精细结构常数（7.5）远大于真空取值（1/137）从而使外尔费米子与异性电荷中心形成共振态形式的准束缚态。

该工作首次实现了将新奇拓扑属性和半导体属性有机结合的“拓扑外尔半导体”，其发现为设计新型拓扑半导体器件提供了新思路。此类外尔半导体还为探索基于半导体的新型外尔物理学和拓扑设备应用提供了平台，并且进一步证实了拓扑材料中离散尺度不变性的普遍性。



Cite: [N. Zhang, et al. PNAS 117, 11337 \(2020\)](#)

装置：脉冲磁体

5. 中科院强磁场科学中心

- 二维室温铁磁/二维有机反铁磁材料研究取得进展
- SHMFF 用户利用 SMA 取得关联电子体系电子摩尔图案的突破性进展
- 科学岛发现成药性良好的第三代 FLT3-ITD 突变选择性激酶抑制剂
- 在一个单胞膜厚差的磁结构分辨及霍尔异常机制研究上取得新进展



- SHMFF 用户在分子磁性材料领域取得研究新进展
- SHMFF 用户发现新型拓扑材料外尔半导体
- 强磁场中心在纳米样品的磁各向异性测量和分析研究上取得新进展
- 基于有机溶剂合成石墨烯量子点取得新进展
- 国际首个混合磁体扫描隧道显微镜研制成功
- 强磁场中心揭示 ULK1/ATG13 调控有丝分裂期自噬及肿瘤生长的重要机制
- SHMFF 用户在磁性金属间化合物 Cr-Te-Se 中发现大的线性负热膨胀效应

详见：<http://www.hmfl.cas.cn/xwzx/tt/>