

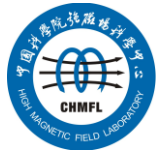
# 国内外强磁场实验室 科研动态

2022 年第三季度



中国科学院强磁场科学中心

2022/10/10



# 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

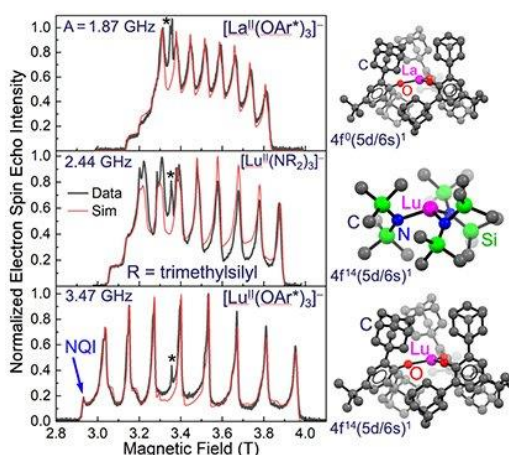
中国科学院强磁场科学中心位于合肥科学岛，其建设的稳态强磁场实验装置是世界上仅有的两个稳态磁场超过 40T 的装置之一。稳态强磁场实验装置有 3 台水冷磁体创造世界纪录，混合磁体最高磁场达到 45.22T，是目前全球范围内可支持科学研究的最高稳态磁场。磁体技术和综合性能处于国际领先地位。

# 科 研 动 态

## 1. 美国国家强磁场实验室

### ● Lu(II) 量子比特中的大规模超精细相互作用

在离子阱量子计算机中采用了利用时钟跃迁来增强量子相干性的策略。高磁场下的高功率脉冲电子自旋回波测量表明，可以对分子镧系元素化合物中电子和核自旋之间的超精细耦合进行综合控制。反过来，这允许科学家通过所谓的时钟跃迁工程来增强电子自旋相干性。这项研究表明，相同的方法在磁性分子中是可行的，这为下一代量子技术带来了希望，因为磁性分子的化学自组装最终可能被证明比捕获离子结构更具可扩展性。



Cite: [K. Kundu et al. Nature Chem. 14, 392-397 \(2022\)](#)

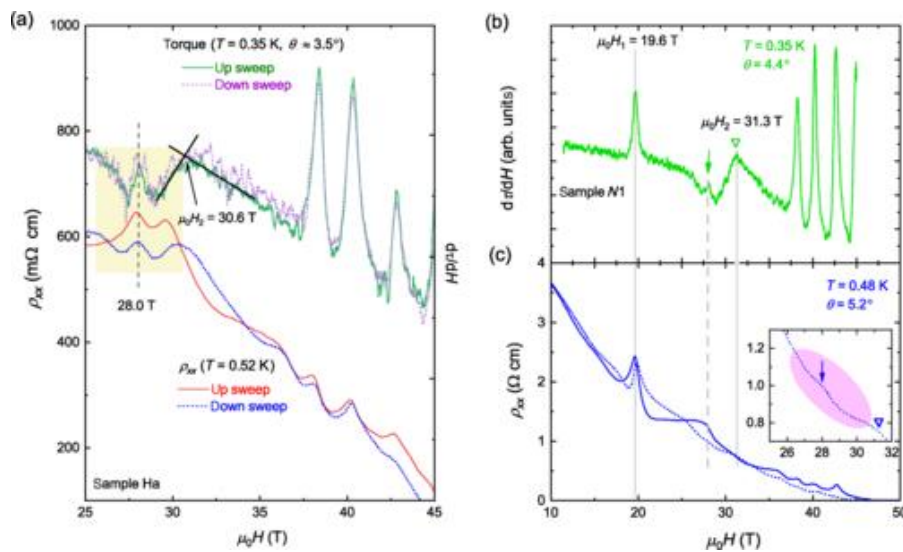
装置: w-band EMR

### ● Kondo 绝缘体 YbB<sub>12</sub> 中的非常规电荷传输

YbB<sub>12</sub> 是一种近藤绝缘体，一种在低温下导电性非常差的材料。然而，YbB<sub>12</sub> 的电阻和磁化强度在磁场中振荡，这种行为通常只在具有非常好的导电

性的金属中可见。通过在 45-73T 的强磁场下测量电阻和磁化强度，与霍尔效应的测量结果相比，表明  $\text{YbB}_{12}$  中的电子重组为两种共栖流体。

一种流体表现得就像传统金属中的电子一样，但却不能导电，另一种流体带有电荷，但以一种类似于高温超导体中行为的非常奇特的方式起作用。 $\text{YbB}_{12}$  的这些特性是由于两种流体中的粒子之间的散射，使它们能够相互作用并影响彼此的行为。



该论文第一作者项子霁，科大本科，科大和密歇根大学联合培养博士，2016-2021 年在密歇根大学做博士后，之后回科大聘为特任教授。共同通讯作者 Lu Li 为其博士后导师。该成果第一单位为密歇根大学。

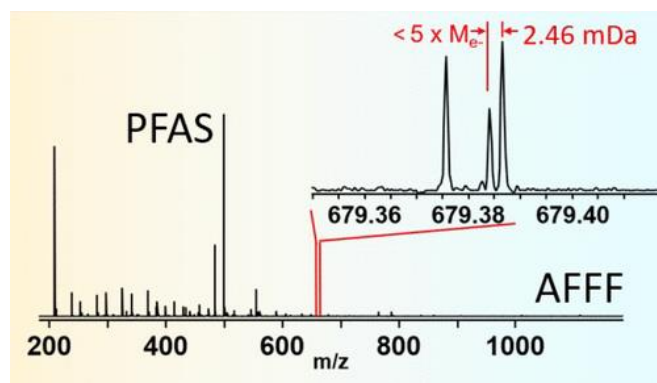
Cite: [Ziji Xiang et al. Phys. Rev. X 12, 021050 \(2022\)](#)

装置：混合磁体、脉冲磁体

## ● 深入探索化学“暗物质”

从北极到南极，成千上万的人造全氟烷基和多氟烷基物质 (PFAS) 污染着我们的星球。PFAS 被称为“永久化学品”，因为它们不会在环境中分解。在水、土壤和食物分析过程中，通常只测量大约 15-50 种单独的 PFAS 物种。然而，

与每天分析的少数 PFAS 相比，那些未知的 PFAS “暗物质” 在环境中的危害或传播速度可能更快。MagLab 用户和科学家联手开发了一种新方法，可以识别由数千种其他化合物组成的混合物中的单个氟化环境污染物，这些化合物通常在天然水或土壤样品中检测到。这种新开发的方法将使其他科学家能够更仔细地研究这些 PFAS 化学物质如何更多地进入水、土壤、植物、原料，并最终进入人类，并最终面临它们带来的风险。



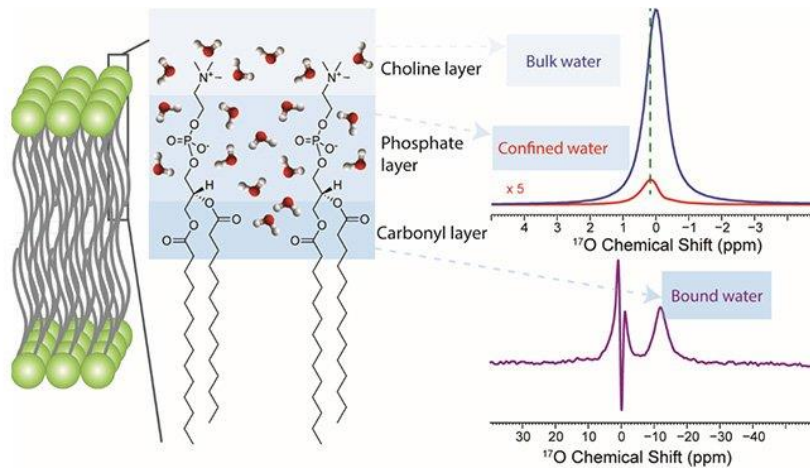
Cite: [R. B. Young, et al. Environ. Sci. Technol. 56, 2455-2465 \(2022\)](#)

装置：21T ICR

### ● 寻找具有重要生物活性的水分子

了解水分子与蛋白质和膜的相互作用及其对分子结构和动力学以及生物活性的影响至关重要。

水无处不在，对所有已知生命形式的存在都是必不可少的。最近，人们认识到水分子在受限生物系统中的流动性受到限制，并且与重要的生物功能高度相关。然而，与环境水分子相比，它们的数量极少，直接观察这些水分子具有挑战性。一种新的 35.2T 核磁共振技术可以识别化学和动态不同水分子的  $^{17}\text{O}$  NMR 信号，从而允许在脂质双层环境中检测单个水分子，为研究生物系统中与生物学相关的水分子提供了新的机会。



该文通讯作者傅日强为美国强磁场实验室成员，第一作者 Rongfu Zhang 为其博士后。

*Cite: Rongfu Zhang et al. J. Am. Chem. Soc. 144, 7881-7888 (2022)*

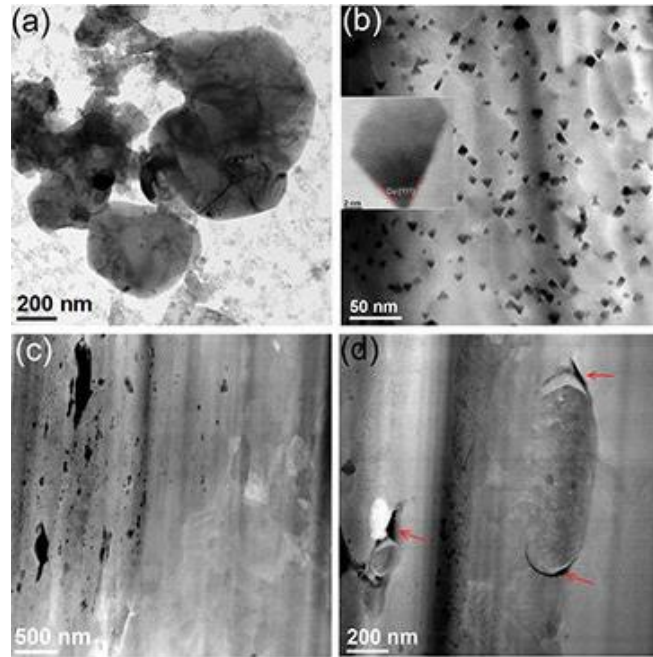
装置：串联混合磁体

#### ● 研究 Glidcop® AL-60 导体的微观结构

超高场脉冲磁体需要高强度、高导电性的导体，例如 Glidcop® AL-60，一种由氧化铝颗粒强化的铜导体。识别氧化铝颗粒的类型和分布有助于改进 65T 短脉冲、60T 受控波形和 100T 脉冲磁体中使用的导体的制造和耐久性。

研究人员在 Glidcop® AL-60 中发现了两种类型的氧化铝颗粒。它们是  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  和亚稳态立方  $\eta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，平均尺寸分别为 200 和 10 nm。 $\eta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  纳米颗粒呈三角形，相对于铜基体具有明确的晶体取向。在氧化铝颗粒周围观察到的位错表明氧化铝颗粒抵抗位错运动，为导体提供了主要的强化机制。大颗粒附近的微裂纹证明了过大颗粒对 AL-60 疲劳寿命的不利影响。

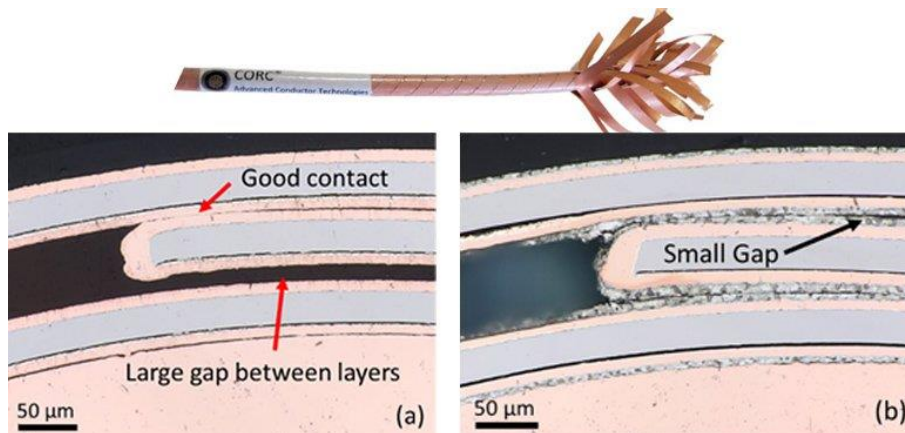
该文通讯作者 Ke Han 为美国强磁场实验室成员。



Cite: [Yan Xin et al. IEEE Trans. Appl. Supercond. 32, 7100105 \(2022\)](#)

● **高温超导 CORC® 绞缆技术**

在磁体中，最大的担忧之一是退化导体的局部区域可能导致热点形成并对磁体造成不可逆转的损坏。电流在导体之间切换从而绕过退化的导体区域最大限度地减少了导体烧毁的机会。在 CORC® 电缆中，电流传输取决于层间的接触电阻。PbSn 镀锡带的绕组线在层之间提供更均匀的接触，将接触电阻降低三个数量级，从而形成更不易烧坏的电缆。



- **National MagLab 磁体获得 R&D 100 奖**

国家高磁场实验室的工程师和技术人员因设计和建造 32T 超导磁体而获得了 2022 年 R&D 100 奖。R&D 100 认可科学技术的革命性理念，32T 磁体是世界上最强大的全超导磁体。

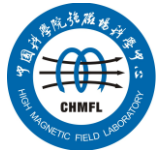
R&D 100 奖通常被称为“创新奥斯卡奖”，是唯一一项表彰可出售或许可的具有技术意义的新商业产品、技术和材料的科学技术奖项竞赛。由 R&D World 杂志主办的 R&D 100 奖评出过去一年中的前 100 项革命性技术。

32T 全超导磁体由美国国家科学基金会材料研究部和佛罗里达州资助。该磁体由一组传统的商用低温超导线圈和一组由高温超导体制成的新型内线圈组成。MagLab 的科学家、工程师、技术人员和其他工作人员致力于开发全新的技术，用于对新型内部线圈进行绝缘、加固和去能。由于这种新材料独特而复杂的电磁和机械方面，这些技术是必不可少的。

在实验室证明成功的 32T 磁体的基础上，NSF 于 2021 年 10 月宣布新拨款 1580 万美元用于 40T 全超导磁体的详细设计。实验室磁体科学与技术部和应用超导中心的数十名研究人员现在将他们在材料研究、磁体设计和技术开发方面的独特专业知识带到这个新项目中。







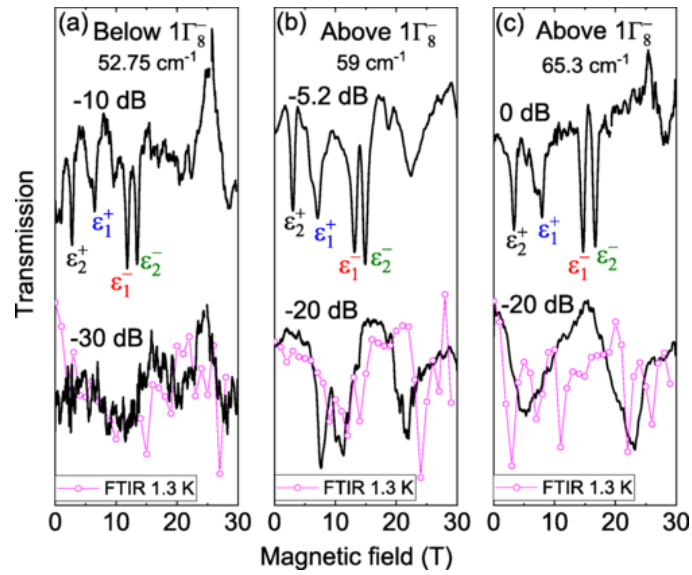
## 2. 欧洲强磁场实验室

### ● 用自由电子激光在强磁场中对 Ga 掺杂锗进行非线性 THz 光谱分析

脉冲、高强度太赫兹自由电子激光器 (FEL) 的发展使得研究太赫兹范围内分子和固体中的非线性现象成为可能。为了扩大它们的潜力, 最近在世界各地的一些实验室中将太赫兹 FEL 与高磁场相结合。在 HFML-FELIX, 研究人员使用 FLARE (一种太赫兹 FEL) 与 33T 直流磁体相结合, 以研究在很宽的太赫兹强度范围内掺杂的半导体锗中的光电离和回旋共振。

空穴掺杂锗 (p-Ge) 中的非线性工艺与太赫兹激光器和太赫兹技术的发展相关。尽管之前已经研究过 p-Ge, 但同样在强磁场中, 仍然存在几个突出的问题, 主要与价带的非抛物线带结构、非等距朗道能级的出现以及对掺杂原子的光致电离缺乏清晰的认识。在这项研究中, 使用广泛的光子能量 ( $12-89 \text{ cm}^{-1}$ ) 可以研究激光频率对太赫兹光电离开始的依赖性并区分不同的状态。

在高光子能量 ( $>55 \text{ cm}^{-1}$ ) 下, 我们观察到 Ga 掺杂剂内的内部跃迁和自由空穴的回旋共振 (CR) 跃迁, 后者在更高的激光强度下占主导地位。对于低于最低内部 Ga 跃迁的能量, 可以看到多个 CR 跃迁, 对应于重空穴和轻空穴子带的四个最低能量朗道能级跃迁。这些最低能量 CR 峰的出现标志着光电离的开始, 发现这对于较低的 FEL 频率更有效。随着 FEL 强度的增加, 观察到 CR 信号的复杂行为, 其中重 (轻) 空穴 CR 峰随着辐射强度的增加大部分转移到更高 (更低) 的磁场。这是由于 CR 跃迁的饱和以及随着 FEL 辐射强度的增加越来越多地占据更高能量、非等距朗道能级的结果。因此, 这项研究提供了关于实际光电离机制、CR 跃迁饱和以及高能朗道能级激发的新见解。这里使用的光谱技术为研究固态材料中的非线性磁光过程提供了一个令人兴奋的视角。

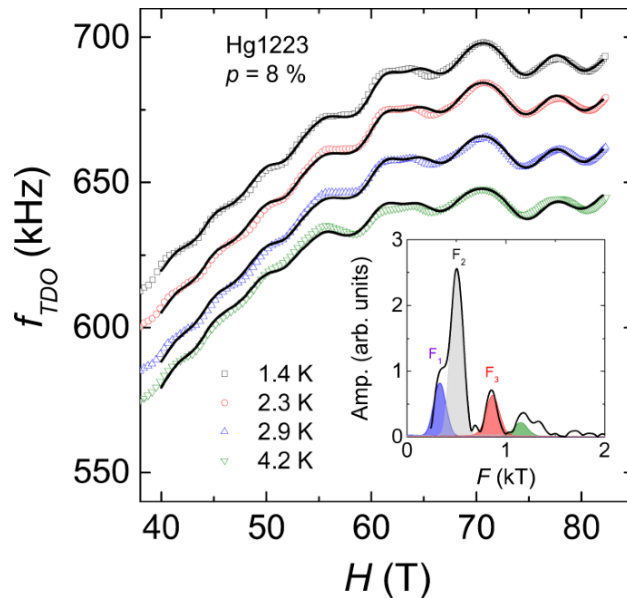


Cite: *B. Bernáth, et al. Phys. Rev. B 105, 205204 (2021)*

装置：水冷磁体、FEL

● 高温超导体中反铁磁性与电荷序共存的磁输运特征

在过去几年里，强磁场在理解铜酸盐高温超导体方面取得了重大突破。法国脉冲场的研究人员报告了欠掺杂的三层铜酸盐 Hg1223 在高达 88 T 的强磁场中的量子振荡和霍尔效应的测量结果。该超导体不仅具有铜酸盐中最高的  $T_c$ ，而且还提供了一个独特的平台来研究 CuO<sub>2</sub> 平面以及超导与其它序的竞争。



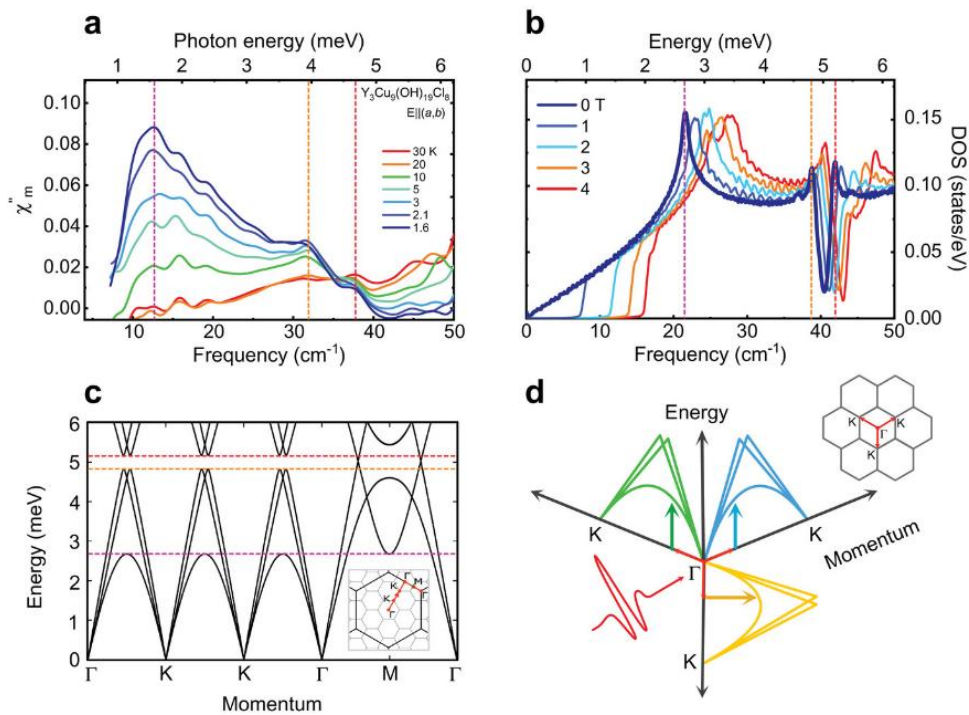
TDO 测量得到三个频率 F1、F2、F3，说明内平面存在反铁磁序与外平面的电荷序共存，导致费米面重建。在这种情况下，F3 和 F2 分别对应于电子和空穴口袋，第三个频率  $F1 = F3 - F2$  对应于内外平面之间的磁击穿隧穿。

*Cite: V. Oliviero, et al. Nature Comm. 13, 1568 (2022)*

装置：脉冲磁体

● 用太赫兹磁力仪研究整个布里渊区的磁子激发

固体中的光学激发需要动量和能量守恒，磁激发也一样。当具有给定动量和能量的磁子通过吸收/发射光子而产生/湮灭时，小光子动量通常将可能的激发限制在布里渊区中心附近。然而，这个限制是可以克服的。



在最近的一项工作中，德国强磁场实验室用户对 Kagome 量子磁体 Y-kapellsite 进行了太赫兹时域实验，该实验通过三中心磁振子激发遍历整个布里渊区。这是由于三个不同的磁子晶格和扭曲的 kagome 晶格中的强短程相关。高场测量表明，该量子磁体在全磁化强度的 1/6 和 1/3 处显示平台。这些发现

确立了太赫兹光谱作为一种直接探测低对称性系统整个布里渊区状态自旋态密度的方法。

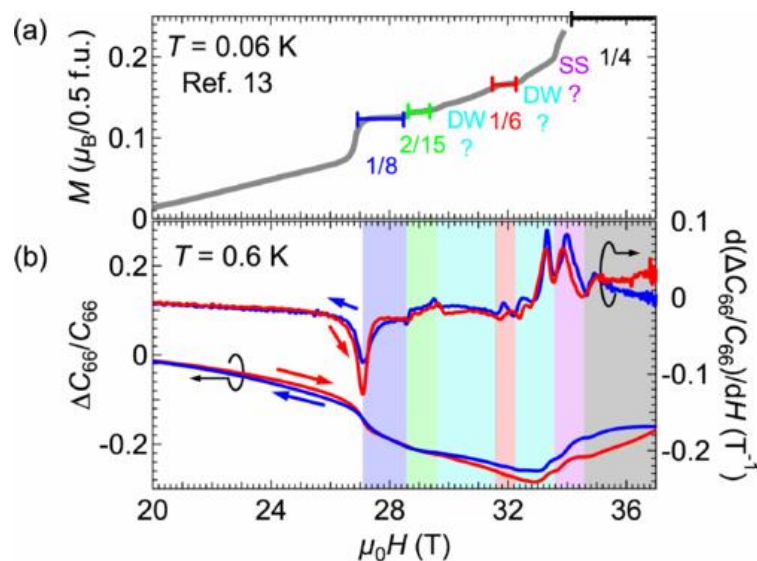
Cite: *T. Biesner, et al. Adv. Quantum Technol. 5, 2200023 (2022)*

装置：脉冲磁体

### 3. 日本强磁场实验室

#### ● 磁性魔梯的隐藏磁态

日本东大强磁场实验室研究了  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  的低温和高场热力学和超声特性，它在 27 T 以上的磁化曲线中表现出各种平台，称为磁性魔梯。本结果证实，磁结晶作为一级跃迁在 27 T 以上发生，伴随着热容  $C_p$  的奇点和弹性常数的扭转。此外在 26 T 附近的较低场观察到热力学异常，这是以前任何磁测量都没有检测到的。在低温下，这种隐藏磁态具有较大的熵，并且不表现出肖特基型能隙行为，这表明存在低能集体激发。该文作者提出磁性四极子在 26 T 附近形成的自旋向列态，作为磁性魔梯第一层的隐藏态。

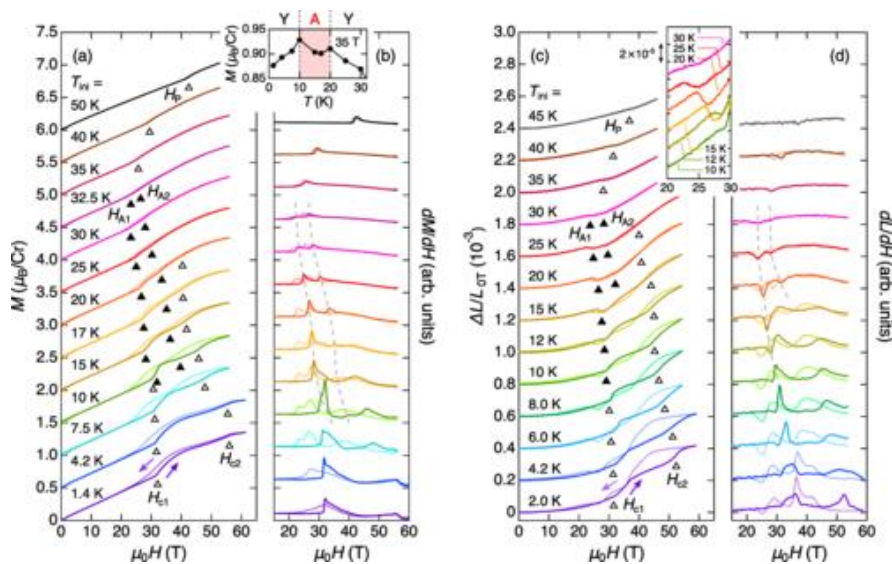


Cite: [S. Imajo, et al. Phys. Rev. Lett. 129, 147201 \(2022\)](#)

装置: 脉冲磁体

### ● 三维阻挫磁体中具有小口袋的复杂磁相图

具有强自旋晶格耦合的阻挫磁体可以显示出丰富的磁相和相关的迷人现象。日本东大强磁场实验室通过在高达 60 T 强磁场中的磁化、磁致伸缩、磁电容和磁热效应测量，揭示了具有局部  $S=3/2\text{Cr}^{3+}$  离子的呼吸烧绿石磁体  $\text{CuInCr}_4\text{S}_8$  具有小口袋 (A 相) 的复杂磁相图。值得注意的是，一个阶段伴随着异常的磁致伸缩和磁电容响应，表明与相邻的相应磁相形成对比的是螺旋磁性的出现。此外，在 A 相的高温侧证实了高熵性质。这些特征可能与由磁阻挫引起的热涨落驱动的多  $q$  态有关，这在理论上已被预测，但在绝缘磁体中此前尚未实验证实。



Cite: [M. Gen, et al. Phys. Rev. Research 4, 033148 \(2022\)](#)

装置: 脉冲磁体

● 脉冲磁场中的时间分辨测量综述

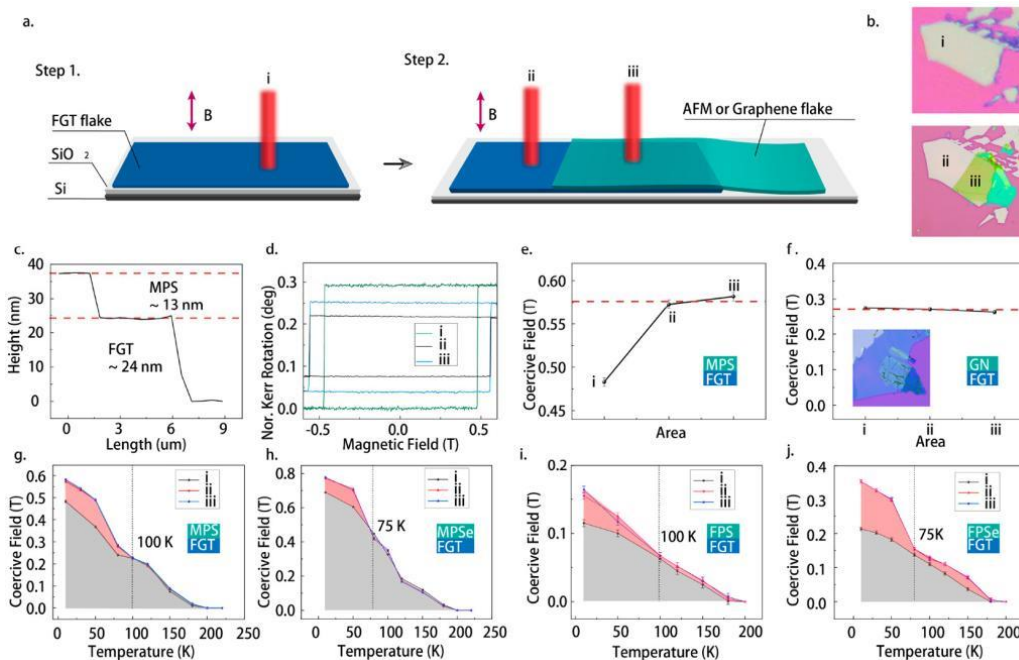
日本东大强磁场实验室近日发表了在脉冲磁场中进行时间分辨测量的综述性文章，介绍了电、热、磁、声、共振等多方面的时间分辨测量，有些技术也可应用于稳态场。

Cite: [Y. Kohama, et al. J. Appl. Phys. 132, 070903 \(2022\)](#)

装置：脉冲磁体

## 4. 武汉脉冲强磁场科学中心

● 二维巡游铁磁体的磁性调控



二维巡游铁磁体  $\text{Fe}_3\text{GeTe}_2$  因具有较高的居里温度、强的磁晶各项异性及内禀铁磁性，在自旋阀、自旋轨道矩、斯格明子等领域具有重要应用前景。为了在提高二维  $\text{Fe}_3\text{GeTe}_2$  晶体居里温度和铁磁稳定性的同时释放异质结对材料表面的占用，本工作系统研究了反铁磁/铁磁异质结对异质结区域和非异质结区域的



铁磁增强特性。结果表明，当  $\text{Fe}_3\text{GeTe}_2$  处于单畴态时，仅在 2% 的  $\text{Fe}_3\text{GeTe}_2$  表面上构造异质结即可显著增强全部  $\text{Fe}_3\text{GeTe}_2$  区域的铁磁性，当不同厚度  $\text{Fe}_3\text{GeTe}_2$  相互耦合时，各个厚度区域的样品均具有相同的矫顽场。本研究结果不仅拓展了对二维巡游铁磁体铁磁耦合特性的认知，还提出“局部调控整体”的器件设计思想，为未来器件结构设计提供了一种新的方案。

*Cite: [H. Dai et al. ACS Nano 16, 12437-12444 \(2022\)](#)*

## 5. 中科院强磁场科学中心

### ● 合肥科学岛稳态强磁场刷新世界纪录

8月12日，由中国科学院合肥物质科学研究院强磁场科学中心研制的国家稳态强磁场实验装置再攀“科技高峰”：其混合磁体（磁体口径32毫米）产生了45.22万高斯（即45.22特斯拉）的稳态磁场，刷新了同类型磁体的世界纪录，成为目前全球范围内可支持科学研究的最高稳态磁场。原世界纪录是1999年由美国国家强磁场实验室创造，其混合磁体产生45万高斯，至今已保持纪录23年之久。

国家稳态强磁场实验装置是“十一五”期间国家发改委批准立项的重大科技基础设施（又称“大科学装置”），包括十台磁体：五台水冷磁体、四台超导磁体和一台混合磁体。其中，混合磁体是国际上技术难度最高的磁体，也是能够产生最高稳态磁场的磁体，从结构上看，它由外“超导磁体”和内“水冷磁体”组合而成。2016年，强磁场团队自主研发成功中心场强达40万高斯的混合磁体，一举跻身世界第二。团队追求创新、勇攀高峰的脚步从未停歇，在

合肥综合性国家科学中心强光磁预研项目的支持下，经过五年多紧张的技术攻关，强磁场团队创新了磁体结构、研发了新材料、优化了制造工艺，终于取得重大技术突破。此次国家稳态强磁场实验装置的混合磁体在 26.9 兆瓦的电源功率下产生 45.22 万高斯的稳态强磁场，达到国际领先水平，成为我国科学实验极端条件建设乃至世界强磁场技术发展的重要里程碑。



稳态强磁场是物质科学研究需要的一种极端实验条件，是推动重大科学发现的“利器”。在强磁场实验环境下，物质特性会受到调控，有利于科学家们发现物质新现象、探索物质新规律。世界科技强国一直重视强磁场实验条件建设，目前国际上有五大稳态强磁场实验室，分布于美国、法国、荷兰、日本以及中国合肥科学岛。

国家稳态强磁场实验装置自投入运行以来，已经运行超过 50 万个机时，为国内外 170 多家单位提供了实验条件，包括清华大学、北京大学、中国科大、复旦大学、南京大学、浙江大学，中科院物理所、高能所、电工所、半导体所，



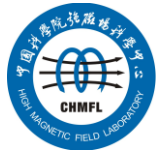
美国哈佛大学、新加坡国立大学、德国马普所等装置用户，在物理、化学、材料、生命健康、工程技术等领域开展了超过 3000 项课题的前沿研究，取得了一系列重大科技成果，如首次发现外尔轨道导致的三维量子霍尔效应、揭示日光照射改善学习记忆的分子及神经环路机制，等等。与此同时，研发装置衍生的成果和依托装置研究产生的多项成果，如组合扫描探针显微技术、国家 I 类抗癌创新靶向药物等，成功地转化为现实生产力。

国家稳态强磁场实验装置的混合磁体产生世界最高的稳态磁场，有力地提升了支撑科学家们开展物质科学研究的实验条件，将在低功耗电子材料等研究中发挥不可或缺的关键作用。随着混合磁体产生的磁场强度的提高，其开放共享水平、用户服务水平也将得到大幅提升，必将成为支撑我国科技创新的一大“利器”。



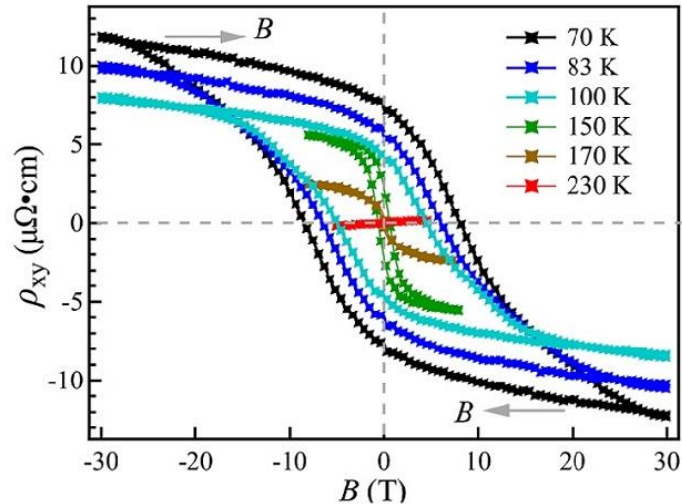
#### ● 低功耗量子材料研究团队在关联电子体系演生现象研究中取得新进展

依据材料中电子-电子关联作用强度，量子材料大致被分为三类，即弱关联材料、强关联材料以及位于两者之间的中度关联材料。在弱关联材料中，电子



做近独立的自由运动，晶体对称性多反映于材料的电输运性质。这一类材料包括绝大多数的拓扑材料，其电子态存在受拓扑保护的稳健性。在强关联材料中，与之相反，电子具有强烈局域化特征，只能通过虚跃迁的方式往来于不同格点，由此产生一系列磁性绝缘体，晶体对称性的不同决定了其中丰富的磁性结构。与上述两极限情况不同的是，目前尚没有合适的理论手段处理中度关联电子体系，而相关的实验工作则更少，在中度关联电子体系中关联与拓扑会有何相互作用，以及会带来何种演生现象是当前国际研究前沿。

针对这一问题，研究人员利用原子级精度外延制备技术合成了一批具有中度电子关联强度的铋氧化物人工超晶格 $[(\text{SrIrO}_3)_1/(\text{CaTiO}_3)_1]$ ，通过选择性破坏晶体对称性引入了非平庸的自旋依赖电子跃迁，由此带来的非平庸拓扑结构诱导出类似于弱关联极限下的反常霍尔效应。另一方面，电子关联作用使得体系具有稳定的反铁磁绝缘体基态，表明该体系同时具有弱关联和强关联特征。谱学测试结果表明该反铁磁体具有显著的单轴各向异性，但是自旋能隙远大于强关联极限下的线性自旋波近似，意味着中度关联电子体系中的自旋能隙受到电荷涨落效应的强烈调制。为进一步揭示反常霍尔效应的物理机制，研究人员依托稳态强磁场大科学装置，通过施加 30T 强磁场克服样品本身巨大的矫顽场，获得了反常霍尔效应在低温下完整磁场依赖关系，证明此单带体系中霍尔电导随温度变化的非单调关系其本质是反铁磁序和载流子退局域化的自我竞争效应。



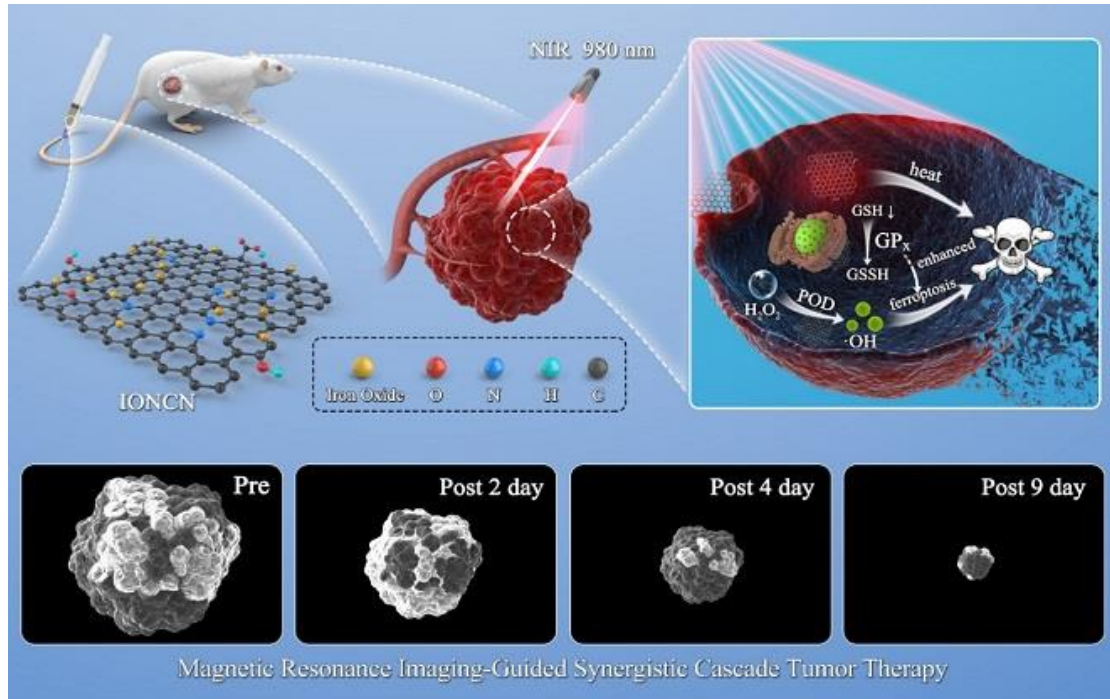
Cite: [J. Yang et al. Phys. Rev. X 12, 031015 \(2022\)](#)

装置：水冷磁体

#### ● 基于近红外触发纳米酶介导的肿瘤催化治疗

化学动力学治疗(Chemodynamic therapy, CDT)是基于肿瘤微环境与正常细胞之间的显著性差异，所触发芬顿或类芬顿反应而产生高毒性羟基自由基，实现癌细胞死亡的一种癌症治疗模式。然而，肿瘤微环境中存在的自由基清除剂谷胱甘肽弱化了 CDT 效果。此外，机体本身的炎症或免疫细胞具有与肿瘤微环境相似的特征，会导致非病灶区域的 CDT 损伤。因此，外源触发型纳米酶的设计对于实现肿瘤特异性催化治疗具有重要意义。

本研究中，研究人员制备的 IONCNs 可以吸收 980 nm 激光并将其转化为局部热量而杀死癌细胞。同时，近红外辐射产生的热量促使碳纳米片膨胀，诱导 IONCNs 在弱酸溶液中溶解产生  $\text{Fe}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{3+}$ ：前者催化过氧化氢分解生成羟基自由基，实现化学动力学治疗；后者作为谷胱甘肽过氧化物酶放大癌细胞的氧化应激和肿瘤催化治疗效果。此外，IONCNs 可用作磁共振成像造影剂，进而监测肿瘤的治疗过程。



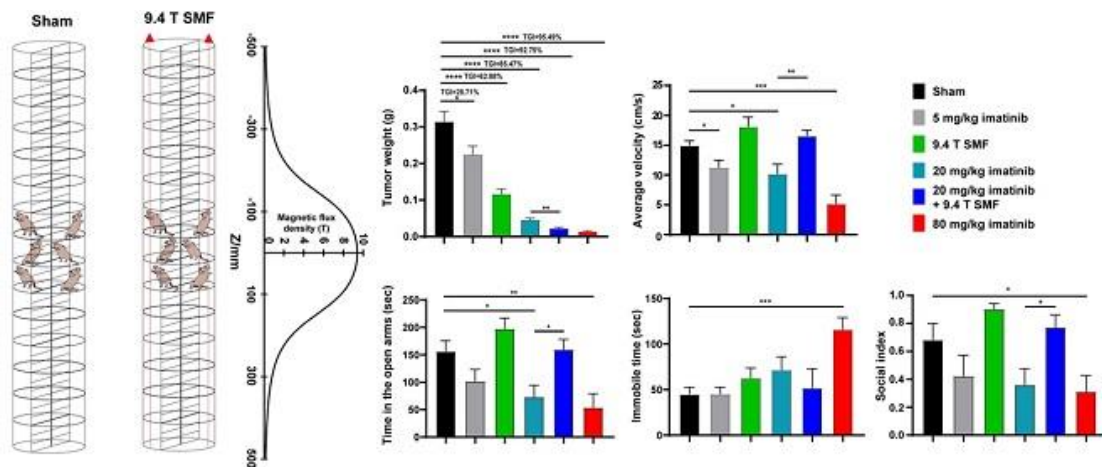
Cite: [H. Liu et al. ACS Appl. Mater. Interfaces 14, 29650-29658 \(2022\)](#)

装置: MRI

#### ● 9.4 T 稳态强磁场在联合抗癌药物伊马替尼方面取得新进展

磁共振成像 (MRI) 是肿瘤影像学检查的重要手段之一, 稳态磁场强度的提高对 MRI 图像质量的提升至关重要, 目前大多医院普遍使用 1.5T 或 3 T 的 MRI, 但 7 T MRI 已被批准用于临床, 9.4 T MRI 也在健康人类志愿者中成功进行了测试。伊马替尼等药物是治疗癌症的主要手段之一, 但药物长期使用所带来的副作用和潜在的耐药性, 严重影响了临床治疗效果和患者生活质量。针对上述问题, 科学岛团队前期发现, 稳态强磁场本身对一些肿瘤具有抑制效果, 且场强升高会使其抑瘤效果更为明显。但是否可以进一步延长强磁场处理时间来优化其抑瘤效果, 以及是否可以将强磁场与肿瘤靶向药物联合起来抑制肿瘤并不清楚。这很大程度上取决于强磁场生物安全性, 尤其是基于疾病模型动物实验的安全性评估。

基于此，本研究不仅评估了 9.4 T 稳态强磁场对胃肠间质瘤荷瘤小鼠反复暴露（累计 200 小时）的生物安全性，并综合评估了稳态强磁场本身、以及与靶向药物伊马替尼联合使用对荷瘤小鼠肿瘤生长、药物副作用和精神状态的影响。研究结果显示，9.4 T 强磁场累计处理 200 小时可以抑制肿瘤生长高达 62.88%，而 9.4 T 联合 20 mg/kg 低剂量伊马替尼的抑瘤效果可达 92.75%，疗效接近于 80 mg/kg 高剂量伊马替尼（95.49 %）。并且，9.4 T 稳态强磁场具有良好的安全性，不仅不会引起高剂量伊马替尼所导致的小鼠体重减轻、肝功能异常和抑郁等副作用，并且磁场能够显著减轻低剂量伊马替尼本身所引起的副作用，尤其在改善小鼠抑郁行为方面效果明显。因此，本研究结果不仅为 9.4 T 稳态强磁场在癌症患者中的使用提供实验支持，并且显示了稳态强磁场在提高抗癌药物的药效和减轻药物副作用方面具有良好的应用前景。



Cite: [X. Tian et al. Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging \(2022\)](#)

装置：超导磁体

更多成果详见：<http://www.hmfl.ac.cn/nxwzx/jqyw/>