

中国科学院前沿科学与教育局  
中国科学院文献情报中心

# B类先导动态季报

Quarterly Report of B Programme

2022  
第一期

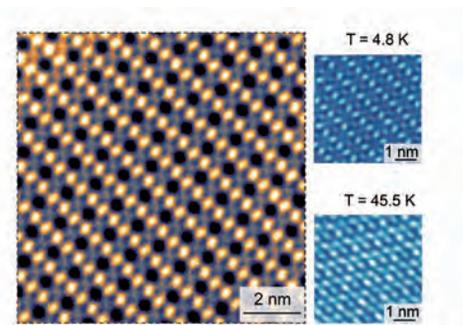


## 本期要目

大熊猫对高纤维低脂食物的适应性机制

吴家睿：大数据驱动精准健康研究

在笼目超导体中发现新型电子向列相



## 重点推荐

Recommend

综合评估揭示《生物多样性公约》实施以来的长期保护进展

肢体发育相关基因在指纹花纹形成中发挥关键作用

地球内核超离子态物质新发现

2021 年度全球海洋变暖研究取得广泛国际影响

镍 - 碳双岛结构纳米片催化高效肼氧化辅助产氢

碳硫氢高压增强超导研究取得新进展

化学气相诱导转化法制备大面积二维共价有机框架薄膜

多芯粒的存算一体智能处理器芯片

# CONTENTS

## 目录

### ■ 大师视角

吴家睿：大数据驱动精准健康研究	01
-----------------	----

### ■ 亮点成果

地球内核超离子态物质新发现	04
华南新元古代低 $\delta^{18}\text{O}$ 岩浆“环”	04
圆管中高聚物溶液的粘弹性失稳机理—揭开通向最优减阻湍流道路的神秘面纱	05
电极微结构设计大幅提升锂离子电池快充性能获得进展	06
序列工作记忆在猕猴大脑中表征的几何结构	07
类脑多尺度动态编码助力脉冲神经网络实现高效强化学习	07
华南周缘酸性火山作用导致二叠纪末陆地生态系统崩溃	08
二维半导体激子与表面等离激元纳腔的强耦合取得新进展	09
碳硫氢高压增强超导研究取得新进展	09
在笼目超导体中发现新型电子向列相	10
大熊猫对高纤维低脂食物的适应性机制	10
综合评估揭示《生物多样性公约》实施以来的长期保护进展	11
解析病原菌效应因子操纵植物 ABA 激素通路促进侵染的新机制	12
揭示植物幼年期跨代重置的稳健机制	12
化学气相诱导转化法制备大面积二维共价有机框架薄膜	13
MXene 晶圆级光电探测器取得新进展	14
揭示青藏高原地区全新世温度重建的季节性印记	14
建成的 Fgoals-f2 无缝隙预测系统服务北京冬奥会气象保障工作	15
基于嫦娥五号样品的月球年代函数新模型	15
小行星太空风化光谱改造效应的多样性	16
研究探明中尺度涡引起海温变率关键过程	17

2021 年度全球海洋变暖研究取得广泛国际影响	17
基于金属卤化物钙钛矿材料的光电催化研究	18
大转换比快速响应的直流 - 直流转换器	19
多芯粒的存算一体智能处理器芯片	20
镍 - 碳双岛结构纳米片催化高效肼氧化辅助产氢	20
悬空石墨烯支持的高性能中红外等离子激元	21
非平衡态光致电声耦合增强的动力学追踪	22
富氢材料 SnH <sub>x</sub> 的超高压合成与超导电性研究	23
衰老的新机制—内质网还原应激加速衰老	23
揭示 CpG 岛结合蛋白 BEND3 调控分化过程中二价基因转录的功能	24
肢体发育相关基因在指纹花纹形成中发挥关键作用	25
基于新型冷冻电镜重构算法的委内瑞拉马脑炎病毒入侵机制研究	25
新冠病毒流行变异毒株 Omicron 和 Delta 的入侵机制	26
新冠病毒奥密克戎变异株刺突蛋白及其与受体和抗病毒抗体的复合物结构的解析	26

---

## 国际动态

使用阿秒级 X 射线脉冲跟踪电子运动	27
稀土铈可用于量子通信	28
超声波首次成功控制哺乳动物脑细胞	29

## 大师视角



吴家睿

“多维大数据驱动的中国人群众精准健康研究”B类先导专项首席科学家  
中国科学院分子细胞科学卓越创新中心研究员  
中国科学院大学杭州高等研究院生命与健康科学学院执行院长

### 吴家睿：大数据驱动的精 准健康研究

中国社会已经进入了为全民健康奋斗的“大健康时代”。2016年国家颁布的《“健康中国2030”规划纲要》提出：“全民健康是建设健康中国的根本目的。立足全人群和全生命周期两个着力点”——“全人群”的健康意味着不仅要改善病人的健康，而且要维护正常人的健康；“全生命周期”的健康则明确为从胎儿到生命终点的全程健康服务和

健康保障。习近平总书记明确指出：“从源头上预防和控制重大疾病，实现从以治病为中心转向以健康为中心。”

为了实现全民健康的宏伟目标，研究者必须要采用相应的研究策略。而世纪之交的人类基因组计划的实施为我们开辟了一条全新的研究思路。该计划推动生命科学和生物医学进入了大数据时代。目前国际上储存的个体基因组序列的数据量已超过百万人级。大数据在医疗健康领域则有更明显的增长。据统计，世界范

国内产生的医疗健康数据在 2013 年大约为 153 EB (1 EB =  $10^{18}$  Byte)，而在 2020 年估计增长到 2314 EB。更重要的是，人类基因组计划不同于生命科学和医学经典的假设驱动的研究范式，表现出了一种新的研究范式——数据驱动的研究范式，开展研究的出发点不是具体的科学假设，而是高通量的数据采集能力；而研究的目标也不是去解决某个具体的科学问题，而是要去获取海量的数据。

这种数据驱动的研究范式作为“开放式科学”，研究产生的资源和数据可以被广泛地用于研究各种各样的科学问题；其典型代表就是收集了 50 万英国具有不同健康状态的自然人群的生物样本和健康医学数据的“英国生物资源库”（UK Biobank）。英国研究者于 2006 年启动了 UK Biobank 项目，随后在 5 年时间里收集了 50 万 40-69 岁英国志愿者的血液、尿液和唾液等生物学样本，以及电子健康档案（EHR）等各种个人信息。由于这是包含了各式各样生理和病理情况的自然人群，又是这样大的人群规模，因此 UK Biobank 可以用来回答健康领域方方面面的问题；

自 2012 年建成至今，已经用于支持过世界各国数万名研究人员的研究工作，仅 2018 年度利用 UK Biobank 开展研究的科学家就有 4 千多人，发表了涉及到健康医学各个方面近 300 篇研究论文。在 Nature 杂志 2021 年发表的一篇研究论文章中，研究者通过分析 UK Biobank 里 27 万名欧洲血统参与者的外显子组序列数据，评估了基因变异与表型之间的关联，发现了许多常见疾病的罕见蛋白编码变异。

由此可见，构建大规模自然人群队列和相应的健康大数据是当前世界发达国家开展精准健康的重要研究策略，美国在 2016 年启动了一项规模达到百万人群的精准健康研究计划——“全民健康研究项目”（All of Us Research Program），计划在 5 年时间里招募百万左右 18 岁以上的美国本土居民，然后通过 5 年到 10 年的人群队列研究，获取美国百万志愿者提供的基因组、蛋白质组和代谢组等多组学数据，以及各种个体的健康信息和医疗信息，形成健康大数据，从而让广大的研究人员和参与者分享。在 2021 年发布的“NIH 拓展战略规划 2021-2025 财年”（NIH-

Wide Strategic Plan for Fiscal Years 2021-2025) 中明确指出: 这个项目不关注疾病 (disease agnostic), “它不聚焦在某一种疾病, 某一种风险因子, 或者是某一类人群; 反之, 它使得研究者可以评估涉及到各种疾病的多种风险因子”。

中国科学院针对国家的大健康需求, 于 2020 年启动了一个为期 5 年的战略性先导科技专项“多维大数据驱动的中国人群众精准健康研究”。该先导专项采用了当前在国际健康科学研究领域的数据驱动的研究范式。首先, 研究者将收集一个大规模的自然人群众队列和专病队列的生物学样本,

以及社区人群精准营养 / 生活方式干预的生物学样本, 构建中国自然人群众生物资源库。然后, 针对该自然人群众资源库, 研究者将利用基因组、转录组、蛋白质组和代谢组等多组学技术对这些生物学样本进行数据采集, 进而构建一个相应的中国自然人群众精准健康多组学数据库, 以及构建一个能够应用和共享该数据库的新型健康医学研究支撑系统, 并利用专门构建的人工智能挖掘与分析系统开展该数据库的数据挖掘和相关的健康科学研究。该专项的实施将为我国广大民众的健康维护和健康促进提供重要的技术支撑平台。

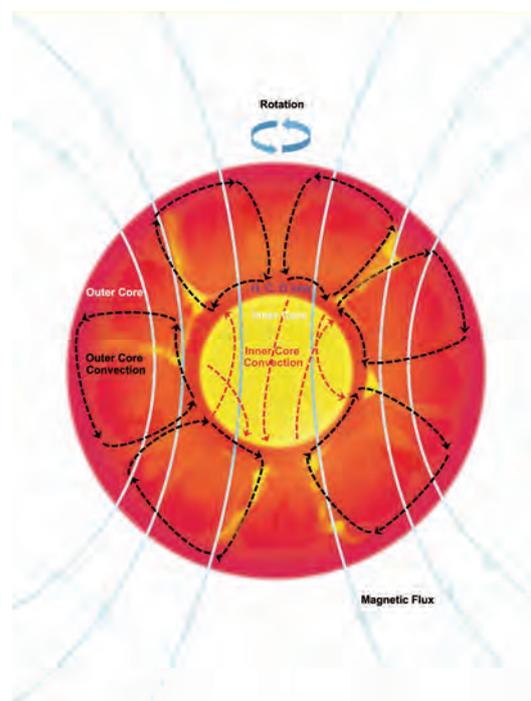
## 亮点成果

### 地球内核超离子态物质新发现

地核是地球深处最神秘的地方，然而受限于观测数据的匮乏，且地核处于极端高温高压环境下，人们对地核结构和性质的认知非常有限。内核的密度比纯铁要低，因而人们推测地球内核中存在某些轻元素。对于这些潜在的轻元素铁合金，前人做了大量的研究了以此来约束地球内核性质，然而，这些轻元素在内核中的存在状态却很少被关注到。

在 B 类先导专项“地球内部运行机制与表层响应”的支持下，地球化学研究所地球内部物质高温高压重点实验室李和平研究员、何宇研究员、孙士川与北京高压科学研究中心的毛河光院士，Duck Young Kim 研究员和 Bo Gyu Jang 博士团队合作，利用基于量子力学的分子动力学模拟，在地球核心的温度和压力下，对多种铁合金的性质进行了计算模拟。发现六方相 Fe-H，Fe-C 和 Fe-O 合金在内核温压下转变成为了超离子态。该研究表明地

球内核并非传统认知的固态，而是由固态铁和流动的轻元素组成的超离子态。相关研究成果发表在 Nature 上。

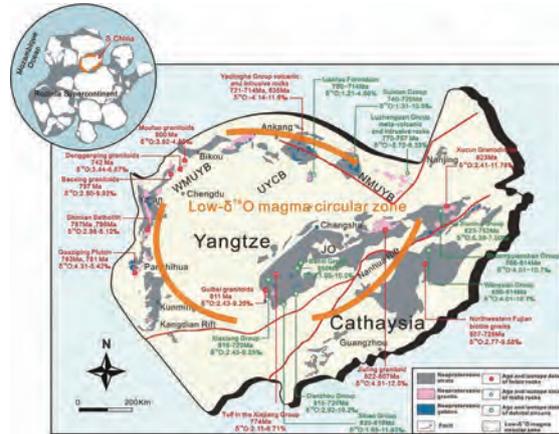


超离子态轻元素内核对流

### 华南新元古代低 $\delta^{18}\text{O}$ 岩浆“环”

在 B 类先导专项“地球内部运行机制与表层响应”的支持下，地质与地球物理所李献华院士团队与澳大利亚西澳大学 Leon Bagas 教授、云南大学王选

策教授和成都理工大学陈安清教授合作，首次系统性地 在扬子西缘识别出大量低  $\delta^{18}\text{O}$  岩浆。结果显示，ca.820 - 805 Ma 苏雄组流纹岩具有正常地幔范围的  $\delta^{18}\text{O}$  值。扬子西缘 ca.785 - 780 Ma 花岗岩均具有低于正常地幔的  $\delta^{18}\text{O}$  值，且部分低氧同位素锆石呈现核部到边部  $\delta^{18}\text{O}$  值降低，表明这些低  $\delta^{18}\text{O}$  花岗岩为同岩浆高温热液蚀变地壳物质重熔或“自噬”的产物。结合前人的研究结果，新元古代低  $\delta^{18}\text{O}$  岩浆广泛分布在华南陆块周缘，直径 > 1500 km，俯冲环境下不能形成如此规模的环华南低  $\delta^{18}\text{O}$  岩浆省。此外，新元古代长英质岩浆形成温度和莫合面深度综合评估显示，整个扬子陆块在 850 - 700 Ma 之间经历了大规模岩石圈伸展和高温岩浆事件。综上，研究者们提出，华南应处于 Rodinia 超大陆的中心，泛华南陆块范围的地壳伸展和低氧同位素岩浆形成于大陆裂谷环境，可能与推测存在于超大陆下的超级地幔柱活动相关。相关研究成果发表在 Earth and Planetary Science Letters 上。

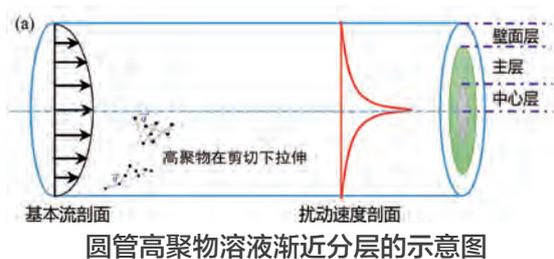


华南低  $\delta^{18}\text{O}$  岩浆岩分布图

## 圆管中高聚物溶液的粘弹性失稳机理—揭开通向最优减阻湍流道路的神秘面纱

在 B 类先导专项“超常环境下系统力学问题研究与验证”的支持下，力学研究所何国威研究团队的董明研究员首次采用渐近分析法揭示了圆管中高聚物溶液的粘弹性失稳的物理本质。在湍流溶剂中加入微量的高聚物会达到减阻的效果，这已经被应用于阿拉斯加的石油管道运输工业中。近期实验发现，高聚物湍流的最优减阻状态发生在“弹-惯性湍流”机制下。这是一种不同于传统牛顿流体的新的湍流机制，它与粘弹性流动中特有的中心型失稳模态相关。但是，对这种粘弹性失稳机制的认

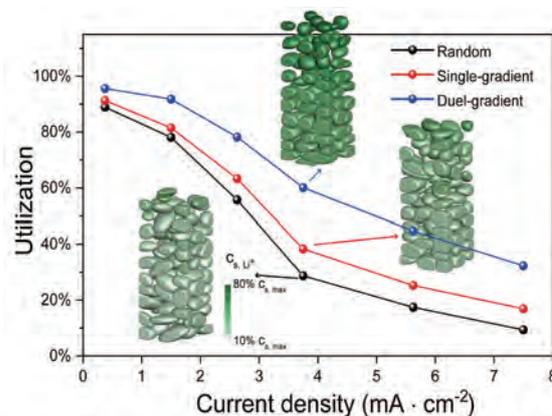
识一直只停留在数值现象层面。本研究首次从数学上展示了该粘弹性模态的多层结构特性，并从物理上阐明了失稳的本质来源于在弱剪切层内弹性应力张量的驱动作用。这一驱动机制甚至可以在粘性缺失的情况下存在，这与传统牛顿流的粘性失稳机制有本质区别。本研究还发现了粘弹性管流中的长波和短波两种失稳机制，并获得了各机制下不同控制参数之间的标度关系，这为工业应用中最优湍流减阻状态的参数设计提供了理论基础。相关研究成果发表在 *Journal of Fluid Mechanics* 上。



## 电极微结构设计大幅提升锂离子电池快充性能获得进展

在 B 类先导专项“超常环境下系统力学问题研究与验证”的支持下，材料力学行为和设计重点实验室倪勇教授团队与中科大

俞书宏院士、姚宏斌教授团队合作，发展了基于多孔电极微结构的相场模型，揭示了电极孔隙率和活性颗粒粒径空间非均匀分布对电极内反应扩散过程的影响机制。研究发现小粒径颗粒和大尺寸孔隙在隔膜一侧聚集的双重梯度多孔电极能够显著提升锂离子电池的快充性能。以此为基础，研究团队开发了一种无聚合物粘结剂浆料技术，以商业化的石墨颗粒和铜纳米线为原料，制备了具有双重空间梯度微结构的并且具有  $701 \text{ Wh L}^{-1}$  高体积能量密度的锂离子电池，在  $6 \text{ C}$  的高充电速率下，可在 6 分钟内充 60% 的电量。该技术兼容现有锂离子电池原材料和生产工艺，有望大幅提升锂离子电池快充性能，解决电动汽车充电慢的行业痛点问题。相关研究成果发表在 *Science Advances* 上。

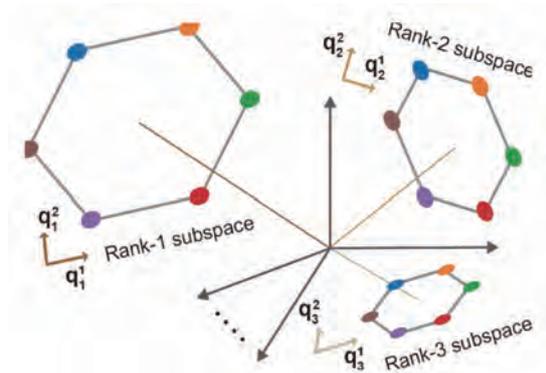


不同微结构电极快充性能模拟图

## 序列工作记忆在猕猴大脑中表征的几何结构

人类大脑无时无刻不在处理序列信息，不论是语言沟通、动作实施还是情景记忆，本质上都涉及对时序信息的表征。猕猴是演化上最接近人类的模式动物，其认知能力、大脑的结构与功能相比于其他模式动物更接近人类，是研究时间序列等复杂高级认知功能的最佳模型。

在 B 类先导专项“脑认知与类脑前沿研究”的支持下，脑科学与智能技术卓越创新中心王立平研究团队训练猕猴记忆由多个位置点组成的空间序列，并利用在体双光子钙成像技术记录猕猴大脑外侧前额叶皮层的神经元活动。研究发现，神经元以群体编码的形式表征了序列中出现在不同时间顺序的每一个空间位置，并在这些表征中发现了类似的环状几何结构。该研究推翻了经典序列工作记忆模型的关键假设，为神经网络如何进行符号表征这一难题提供了新的见解。相关研究成果发表在 Science 上。

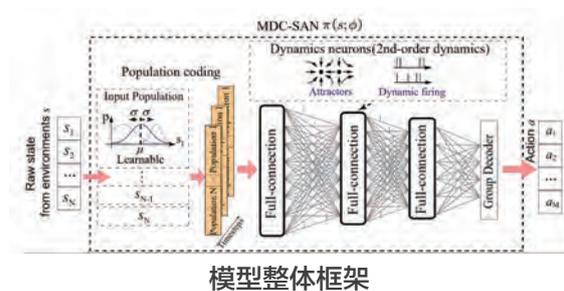


序列记忆在神经高维向量空间的表征

## 类脑多尺度动态编码助力脉冲神经网络实现高效强化学习

在 B 类先导专项“脑认知与类脑前沿研究”的支持下，自动化研究所徐波研究团队揭示类脑多尺度动态编码可以助力生物脉冲神经网络，在生物合理的强化学习任务范式下发挥高效学习的重要作用。研究将生物系统中多尺度信息的高效编码、细胞集群的时空信息整合机制加入到脉冲神经网络 (Spiking neural network, SNN) 中来，在多类强化学习任务中取得了超过深度人工神经网络 (Deep neural network, DNN) 的突出表现。与 DNN 相比，SNN 具有更强的生物合理性，可以支持更多生物学习法则、生物网

络结构的启发式应用。因此，团队选择在 SNN 上加入更复杂的、大脑启发的多尺度动态编码机制（覆盖网络尺度和神经元尺度），来增强信息的高维状态表征能力，使其在更复杂的弱监督强化学习任务中发挥优势。如图所示，多尺度动态编码提升的脉冲神经网络模拟了生物大脑中的细胞集群编码机制，并建模网络尺度的群体编码和神经元尺度的二阶动态神经元编码，用于高阶脉冲式的状态表征。相关研究成果发表在 AAAI2022 会议（CCF-A 类 AI 顶级会议）上。



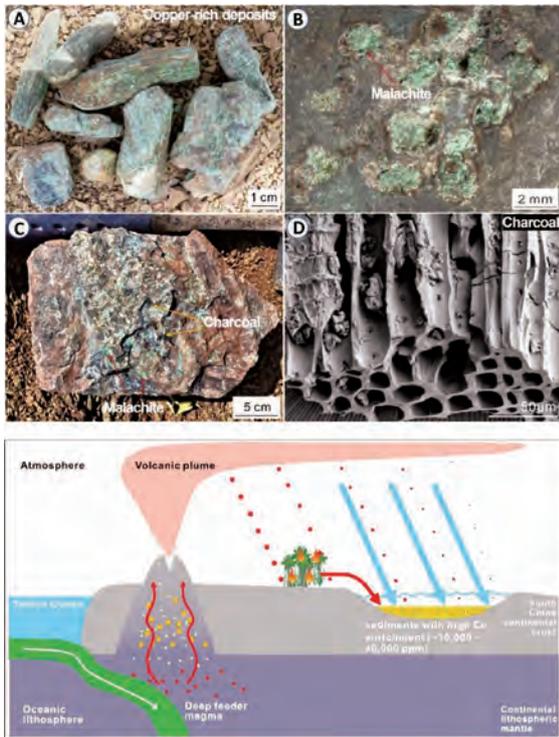
## 华南周缘酸性火山作用导致二叠纪末陆地生态系统崩溃

二叠纪末生物大灭绝是近 5 亿多年以来地质历史中发生的最严重的生物灭绝事件，导致约 81% 的海洋生物物种和 89%

的陆地生物物种在很短的时间内灭绝。

在 B 类先导专项“关键地史时期生物与环境演变过程及其机制”的支持下，由南京地质古生物研究所张华研究员和南京大学等国内外多家单位的学者组成的研究团队发现华南周缘大规模酸性火山喷发也是二叠纪末生物大灭绝的一个重要诱因，而曾经所认为的西伯利亚大规模基性火山喷发也并非二叠纪末生物大灭绝的唯一推手。研究结合高精度同位素地质年代学、微量元素和同位素等地球化学，以及陆地生物灭绝模式和火山物质记录，在陆地上建立了火山活动和二叠纪末生物大灭绝之间的联系。尽管这项研究不否定西伯利亚大火成岩省对二叠纪末生物大灭绝事件的影响，但结合我国东部地区、昆仑山脉、金沙江流域、澳大利亚东部、南美洲西部等地区二叠纪 - 三叠纪之交广泛存在的大规模二叠纪 - 三叠纪之交酸性火山喷发记录，证明特提斯洋中和泛大陆周边的大陆岩浆弧酸性火山喷发导致的环境灾难远超以往的认识，可能是 2.52 亿年前这次最大的生物灭绝事件的主要凶手之一。

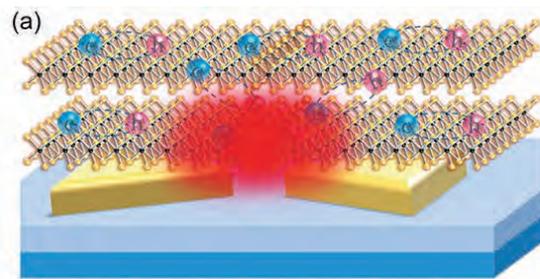
相关研究成果发表在 Science Advances 上。



## 二维半导体激子与表面等离激元纳腔的强耦合取得新进展

在 B 类先导专项“拓扑物态与量子计算研究”的支持下，物理研究所许秀来研究团队，利用高质量金等离激元 bowtie 纳米微腔和新型金辅助剥离方法得到的大面积高质量二维材料，实现了少数二维半导体激子和等离激元间隙模式在室温下的高重复性和

高鲁棒性强耦合。同时，该团队纠正了之前报道中对于激子跃迁偶极矩的计算方法，并通过吸收光谱的方法进行了对比，得到了一致的结果，统一了以前激子估算中不同方法导致的偏差。该工作对未来实现室温高度可控的少激子甚至单激子水平腔量子电动力学研究以及激子极化激元器件具有重要意义。相关研究成果发表在 Nano Letters 上。



层状 MoS<sub>2</sub> 材料中激子与金 bowtie 纳米微腔间隙模式耦合的示意图

## 碳硫氢高压增强超导研究取得新进展

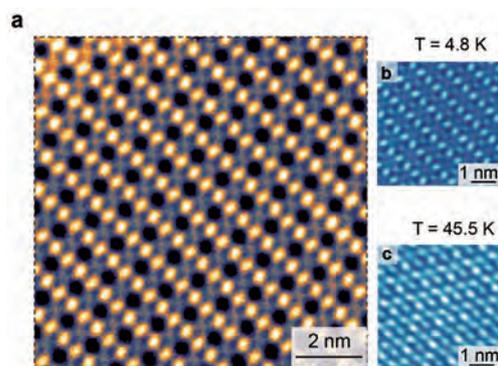
在 B 类先导专项“拓扑物态与量子计算研究”的支持下，中国科学院大学苏刚研究团队，理论设计了一种新型 C-S-H 结构 C<sub>2</sub>S<sub>2</sub>H<sub>4</sub>，计算发现该材料在 64 GPa 时发生绝缘体到金属转变，同时出现超导电性，但 T<sub>c</sub> 较低。

随着压强升高，超导转变温度  $T_c$  不断提高，最终在 300 GPa 时达到 16.5 K。在  $C_2S_2H_4$  结构的基础上，该团队又设计了另外四种新的稳定超导材料： $C_2S_2H_4$ 、 $C_2S_3H_4$ 、 $C_2S_4H_4$ 、 $C_2S_5H_4$ ，其中， $C_2S_3H_4$  中新加入的 S 原子打破了  $C_2S_2H_4$  结构中的一个 C-H 键，导致 H 原子振动频率降低，从而增强了电声耦合强度，使该材料在 300 GPa 时  $T_c$  可提升至 47.4 K。该工作表明在 C-S-H 体系中，C 和 S 的比例低于 1 时有助于提升  $T_c$ 。该研究对于揭示目前实验报道的 C-S-H 高压室温超导的真实结构具有重要启示，对未来探索高温乃至室温超导也具有一定的指导性。相关研究成果发表在 2022 年 1 月的 *Physical Review B* 上。

## 在笼目超导体中发现新型电子向列相

在 B 类先导专项“下一代高场超导磁体关键科学与技术”的支持下，中国科学技术大学陈仙辉研究团队结合扫描隧道显微镜、核磁共振以及弹性电阻三种实验

技术，发现笼目超导体  $CsV_3Sb_5$  在进入超导态之前，三重调制电荷密度波态会进一步演化成为一种热力学稳定的电子向列相，并确定转变温度在 35 开尔文左右。新型电子向列相具有  $Z_3$  对称性，在理论上被三态 Potts 模型所描述，因而又被称为“Potts”向列相。该发现不仅为理解笼目结构超导体中电荷密度波与超导电性之间的反常竞争提供了重要实验证据，也为进一步研究关联电子体系中与非常规超导电性密切相关的交织序提供了新的研究方向。相关研究成果发表在 *Nature* 上。

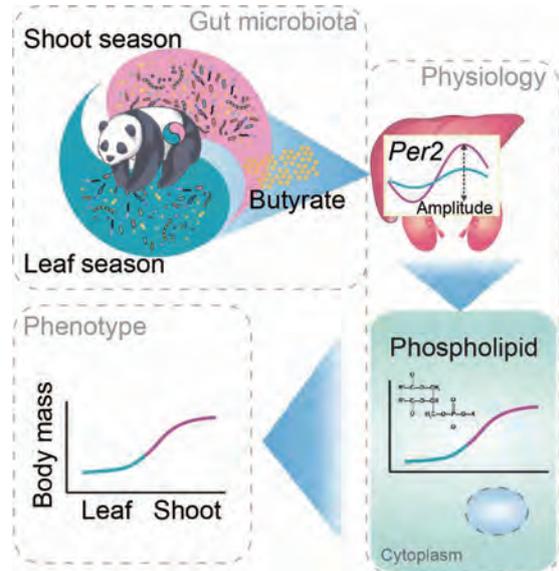


样品的微分电导图

## 大熊猫对高纤维低脂食物的适应性机制

脂质是动物机体生长发育、繁殖等生命活动必不可少的重要

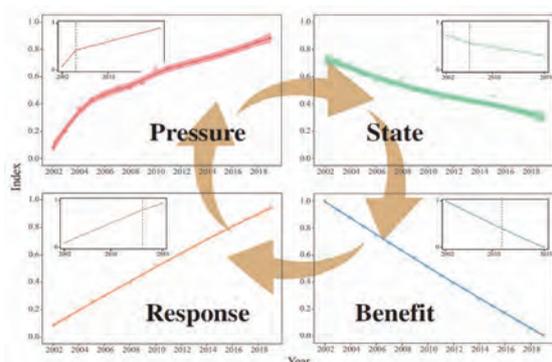
营养物质；但大熊猫食物（竹叶和竹笋）中脂质含量非常低。大熊猫是如何适应高纤维低脂食物？为解决这一科学问题，在 B 类先导专项“大尺度区域生物多样性格局与生命策略”的支持下，动物研究所魏辅文院士团队首次利用粪菌移植方法和无菌小鼠，分别构建了大熊猫食叶季肠菌和食笋季肠菌定植的小鼠模型，结合宏基因组、宏蛋白组、代谢组和转录组等多组学方法，发现了大熊猫肠道中存在一种关键的细菌——丁酸梭菌 *Clostridium butyricum*，其代谢产物丁酸盐可同步化宿主外周组织（如肝脏），以同步其代谢生物节律，增强脂类物质的合成代谢，从而补偿机体对脂类物质的生理需求。该研究首次建立了珍稀动物粪菌移植小鼠研究模型，探讨了大熊猫对高纤维低脂类食物的适应性演化的分子机制，为非模式动物与其肠道微生物的互作机制研究提供了重要参考，同时也将非模式动物肠道微生物与宿主表型之间的关联分析推向了因果关系解析。相关研究成果发表在 *Cell Reports* 上。



## 综合评估揭示《生物多样性公约》实施以来的长期保护进展

在 B 类先导专项“大尺度区域生物多样性格局与生命策略”的支持下，动物研究所魏辅文院士团队建立指数框架评估了联合国《生物多样性公约》过去二十年的进展情况，结果表明：研究构建的 CBD 指数、衡量生物多样性主流化、保护和支持机制的战略目标指数在 2002 - 2019 年间逐步升高，代表着相关保护目标取得进展；而衡量生物多样性丧失的直接驱动力和生物多样性提供的惠益的战略目标指数则在下降；

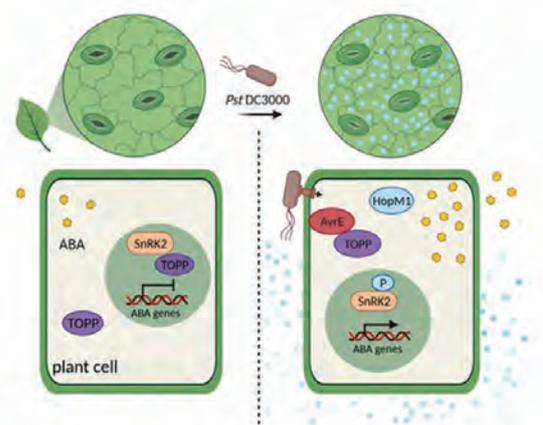
状态指数和压力指数虽然持续下降，但在不断增加的保护努力下，其变化速率有所放缓，正在向可持续发展和实现生态文明转变。文章还指出了现有指标体系的不足，呼吁加强多指标平行发展及全球数据收集和汇总。该研究基于全球生物多样性指标与量化方法得出的结论打破了对生物多样性保护一贯以来的悲观论调，对建立未来全球生物多样性保护的格局具有重要意义。相关研究成果发表在 Science Advances 上。



## 解析病原菌效应因子操纵植物 ABA 激素通路促进侵染的新机制

在 B 类先导专项“植物特化性状形成的分子基础及定向发育调控”的支持下，分子植物科学卓越创新中心辛秀芳研究团队聚

焦病原菌的致病机制，从效应因子 AvrE 在植物细胞内的互作蛋白（AvrE 的潜在靶标）入手，发现丁香假单胞菌的效应因子 AvrE 通过靶向植物的 TOPP-SnRK2 模块，上调植物的 ABA 信号、诱导气孔关闭，从而促进了叶片水渍的产生和病原菌的侵染。该项研究进一步深化了人们对于病原菌侵染机制的认识，对于控制病害发生具有重要意义。相关研究成果发表在 Cell Host & Microbe 上。

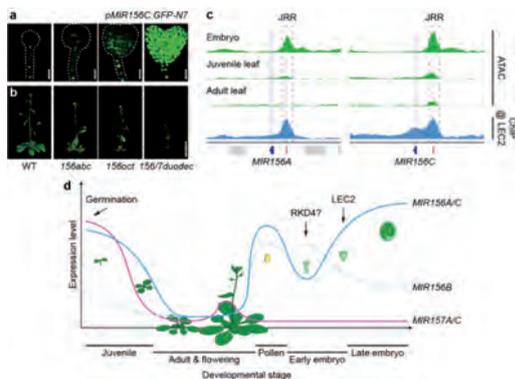


丁香假单胞菌效应蛋白操纵宿主 ABA 激素通路促进水渍产生

## 揭示植物幼年期跨代重置的稳健机制

在 B 类先导专项“植物特化性状形成的分子基础及定向发育调控”的支持下，分子植物科

学卓越创新中心王佳伟研究团队利用遗传学、分子生物学和多组学分析等手段，系统描绘了 MIR156/7 家族成员在拟南芥世代交替中的重置过程，阐释了 MIR156/7 表达重置与幼年期重置对于植物正常生长发育的重要性，并揭示了转录因子 LEAFY COTYLEDON2 (LEC2) 在家族主效成员 MIR156A/C 跨代重置中的关键作用。该项研究揭示了植物幼年期跨代重置的稳健机制，为探索植物的生命周期带来更深入的理解。相关研究成果发表在 Nature Plants 上。

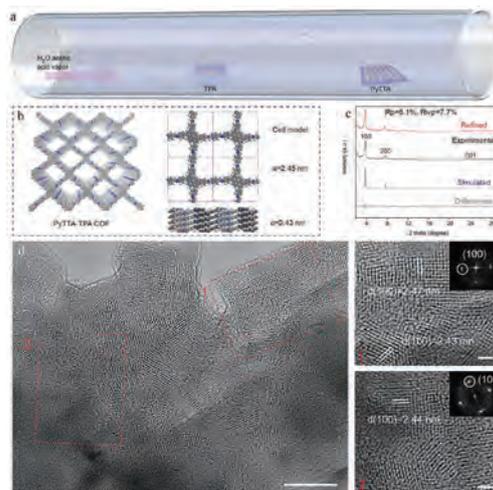


植物幼年期跨代重置的稳健机制

## 化学气相诱导转化法制备大面积二维共价有机框架薄膜

在 B 类先导专项“功能导向的原子制造前沿科学问题”的支持下，化学研究所陈建毅研究员和刘

云圻院士提出化学气相诱导转化方法，在硅片、玻璃等多种衬底表面上可控制备了大面积高质量二维共价有机框架 (Covalent Organic Frameworks, COFs) 薄膜。该方法首先利用热蒸镀法在生长衬底表面上蒸镀一层 1,3,6,8- 四 (4- 氨基苯基) 苊 (PyTTA) 前驱体薄膜，而后将其放入化学气相沉积 (CVD) 系统中，利用氩气作为载气，将水、乙酸和另一种对苯二甲醛 (TPA) 前驱体蒸汽引入到 CVD 系统中进行希夫碱 (Schiff base) 反应。通过氨基前驱体薄膜的厚度控制 COF 薄膜的厚度，通过改变前驱体的种类调控 COF 薄膜的结构。该方法操作简单、可大面积制备，为 COF 薄膜的实际应用提供了一种可行的技术途径。相关研究成果发表在 Nature Communications 上。

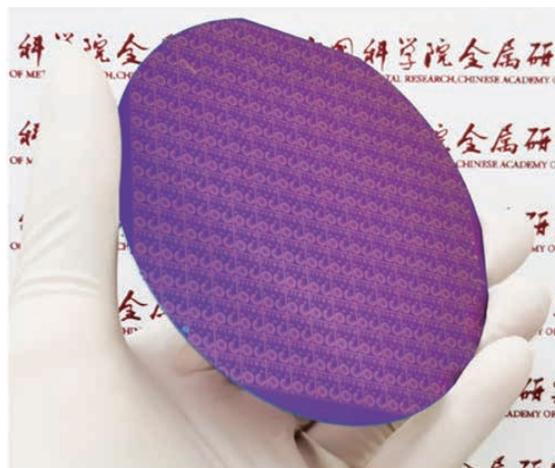


化学气相诱导转化法制备 PyTTA-TPA COF 薄膜示意图

## MXene 晶圆级光电探测器取得新进展

二维过渡金属碳化物和氮化物 MXene 被共认为在电子和光电器件中具有重要应用潜力。然而，目前已报道的 MXene 薄膜的图案化方法难以兼顾效率、分辨率和与主流硅工艺的兼容性。例如，电子束光刻法可以实现较高的图案分辨率，但效率较低，不适用于大面积图案化情况；直接写入、激光蚀刻和喷墨印刷等其他图案化方法速度较快，但通常缺乏足够的分辨率。

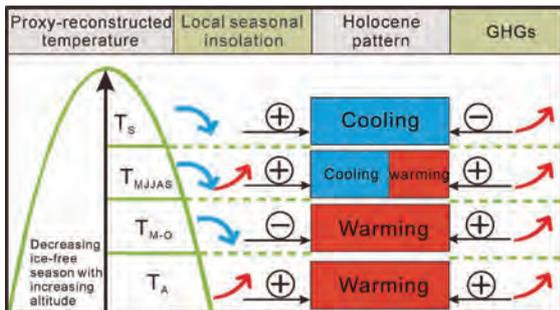
在 B 类先导专项“功能导向的原子制造前沿科学问题”的支持下，金属研究所沈阳材料科学国家研究中心的孙东明 - 成会明课题组与国内多家单位科研团队合作，通过设计 MXene 材料的离心、旋涂、光刻和蚀刻半导体工艺，提出一种具有微米级分辨率的晶圆级 MXene 薄膜图案化方法，并构筑了 1024 高像素密度光电探测器阵列。该阵列具有优异的均匀性、高分辨率成像能力、迄今为止最高的 MXene 光电探测器的探测度。相关研究成果发表在 Advanced Materials 上。



## 揭示青藏高原地区全新世温度重建的季节性印记

在 B 类先导专项“亚太多尺度气候环境变化动力学”的支持下，南京地理与湖泊研究所赵成研究团队综述了青藏高原地区 16 条定量温度记录。结果显示，在冰消期时段，重建的古温度不存在季节性差异，均呈现一致的升温趋势，这可能受控于全球冰量消减和温室气体增加。但是在全新世期间，不同季节温度变化的趋势差异显著，如夏季温度呈整体下降的趋势，冬季温度呈整体上升的趋势，而年均温变化趋势则较为复杂。通过 TraCE21ka 全强迫与单强迫模拟结果对比，发现青藏高原地区全新世温度变化主要受当地季节性太阳辐射驱

动，而长期增加的温室气体对温度变化起到调控作用（如增强升温、抵消降温甚至反转温度变化趋势）。本研究利用“结冰现象”梳理了青藏高原地区目前已有的较为零散的全新世温度重建记录，并发现指标重建的温度记录存在明显的季节性差异，即随着海拔的增加，重建的温度记录从“类年均温”模式逐渐过渡至“类夏季温”模式。研究强调青藏高原地区全新世温度重建的季节性偏差，进而为探明“全新世温度谜题”提供参考。相关研究成果发表在 Earth-Science Reviews 上。

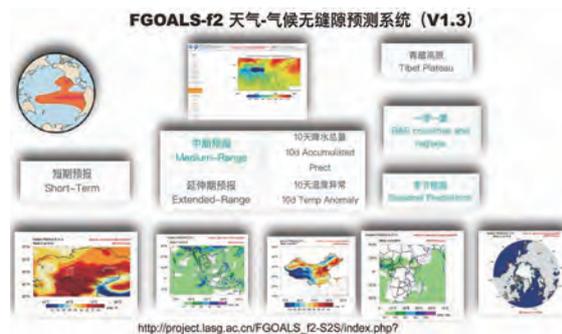


青藏高原地区全新世重建温度模式与驱动机制概念图

## 建成的 Fgoals-f2 无缝隙预测系统服务北京冬奥会气象保障工作

在 B 类先导专项“亚太多尺度气候环境变化动力学”的支持

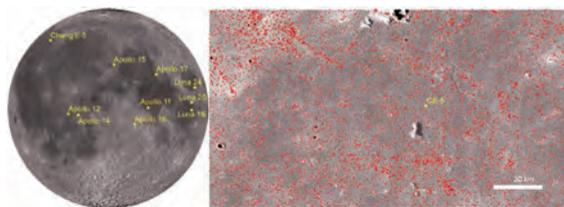
下，大气物理研究所包庆研究团队基于国际认可（作为唯一非业务单位参与国际模式比较计划）的 Fgoals-f2 无缝隙预测系统服务于冬奥会气象保障工作。Fgoals-f2 无缝隙预测系统可以提供未来次季节 - 季节尺度的预测结果，通过对冬奥会期间的气象条件进行预测，给出实时更新的温度和降水等预测结果，为冬奥会期间可能遇到的极端天气事件进行风险评估，达到服务国家重大活动的目的。包庆研究员作为北京冬奥会地区第一次全国自然灾害综合风险普查专项专家组成员为政府部门和冬奥会各组织提供了相关的专家建议和咨询报告。



## 基于嫦娥五号样品的月球年代函数新模型

在 B 类先导专项“类地行星的形成演化及其宜居性”的支持下，空天信息创新研究院行星遥

感团队岳宗玉、邸凯昌及合作者利用嫦娥五号样品年龄及着陆区撞击坑统计信息建立了月球年代函数新模型；之前研究中广泛应用的年代函数模型中，有近一半的地质年代区间是缺少样品标定的，而我国的嫦娥五号样品的同位素年龄数据正好填补了这一空白，因此新的年代函数模型更加可靠；该模型为分析月球表面地质单元的年龄提供可靠的理论依据，也为分析月球以及内太阳系撞击历史提供重要信息，还可以推广到其它类地行星表面地质单元年龄分析中。相关研究成果发表在 Nature Astronomy 上。

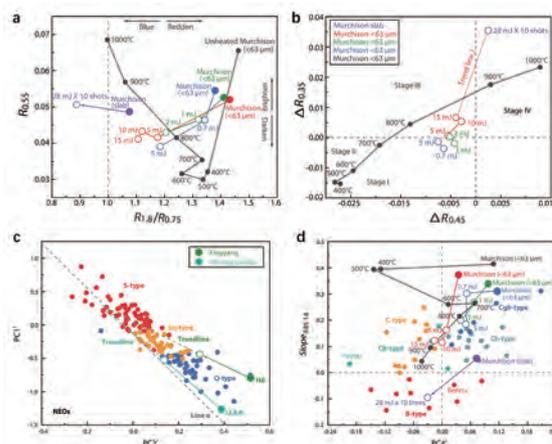


月球着陆采样点分布图和嫦娥五号着陆区撞击坑分布图

## 小行星太空风化光谱改造效应的多样性

在 B 类先导专项“类地行星的形成演化及其宜居性”的支持下，地球化学研究所李阳研究

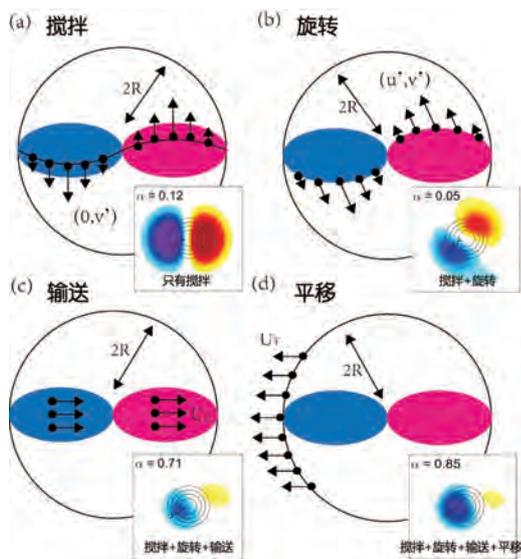
团队依托脉冲激光辐照多种类型的陨石和显微分析，揭示了小行星表面太空风化光谱改造效应及其成因的“多样性”。该研究表明，太空风化光谱改造效应与硅酸盐矿物的铁含量、硅酸盐与金属的相对含量、挥发分含量以及太空风化程度紧密相关。研究结果拓宽了人类对太空风化效应的固有认识，一定程度上回答了国际上目前关于碳质小行星太空风化光谱改造效应和表面演化历史的争议，并预测了 E 型、M 型、D 型、K 型等多种类型小行星的太空风化光谱改造效应，能够为小行星探测目标选型、光谱类型演变历史和光谱探测数据解释提供重要参考。相关研究成果发表在 Astronomy & Astrophysics 上。



小行星太空风化光谱改造特征的多样性

## 研究探明中尺度涡引起海温变率关键过程

在 B 类先导专项“印太交汇区海洋物质能量中心形成演化过程与机制”的支持下，海洋研究所王凡研究团队在中尺度涡旋引起海表面温度异常的研究方面取得新进展。该研究通过资料分析和数值模拟厘定涡旋引起海温异常的关键过程为侧向平流，并指明涡旋移动和背景流是决定海温异常结构的关键因素，成果对海洋涡旋动力学和中尺度海-气相互作用等领域具有一定启示。相关研究成果发表在 Journal of Geophysical Research: Oceans 上。



涡旋侧向平流的四个子过程示意图：(a) 搅拌、(b) 旋转、(c) 输送、(d) 平移及它们对 SSTA 的作用

## 2021 年度全球海洋变暖研究取得广泛国际影响

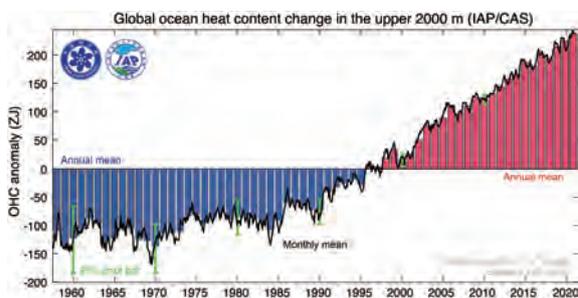
在 B 类先导专项“印太交汇区海洋人工智能模型与产品研发”的支持下，大气物理研究所牵头联合全球 14 个研究单位 23 位科学家组成的国际研究团队，在《ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES》(AAS) 以 Letters 的形式发布了国际首份 2021 年海洋变暖报告。新数据表明：2021 年海洋升温持续——成为有现代海洋观测记录以来海洋最暖的一年。同时，地中海、北大西洋、南大洋、北太平洋海区温度均创历史新高。

全球变暖 90% 以上的热量储存在海洋中，且相比常用的地表温度受自然波动的影响小，因而海洋热含量变化成为判断全球是否变暖的最佳指标之一。最新 IAP 数据表明，在 2021 年，全球海洋上层 2000 米吸收的热量与 2020 年相比增加了  $14 \times 10^{21}$  焦耳，这些热量相当于约 500 倍中国 2020 全年发电量。过去 80 年中，海洋每一个十年都比前十年更暖。海洋变暖随之引起了一系列严峻后果，包括推升全球海平面、降低海洋二氧化碳吸收效率、

增加海洋热浪发生概率、强台风/飓风更多、极端降雨更多等等，对人类活动和生态系统有重要影响。

报告表明，海洋变暖在南大洋、中低纬度大西洋、西北太平洋等区域更为剧烈。此外，海洋对大气温室气体增加的响应较为缓慢和滞后，过去的碳排放导致的海洋变暖等影响将持续至少数百年之久。这一现象凸显了海洋在全球气候变化中的重要作用。研究团队指出，需要充分将海洋变暖的影响纳入气候风险评估、气候影响和应对当中。

论文发表之后，得到全球 425 家新闻媒体、21 个博客、2056 条推特的报道，包括 CNN、BBC、华盛顿邮报、央视新闻直播间、新华社、科学日报等主流媒体。论文 Altmetric 指数达 4686 分，是全球所有 2000 万篇论文前 700 名。论文

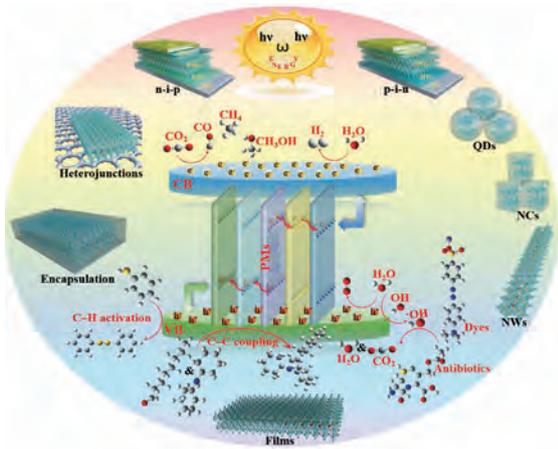


1958–2021 年全球海洋上层 2000 米热含量变化时间序列

仅发表 3 个月已经得到 Nature 综述子刊 Nature Reviews Earth&Environment 论文引用。

## 基于金属卤化物钙钛矿材料的光电催化研究

在 B 类先导专项“光电融合与调控前沿研究”的支持下，半导体研究所王智杰研究团队系统阐述了金属卤化物钙钛矿作为有潜力的光催化剂的一系列优势：良好的光电转换能力、可见光捕获能力强、能带可调、载流子扩散长度长，缺陷密度低、带边位置合适、合成及组装工艺简单等。总结并提出了几种用于克服钙钛矿在氧气、极性溶剂、高温等环境下的不稳定性及提高其光电转换性能的策略，即构建钙钛矿基异质结、进行表面封装、建立钙钛矿材料的饱和溶液系统（如借助饱和卤化物酸性溶液防止钙钛矿分解）等。该工作为金属卤化物的合理利用提供了有价值的参考，特别是促进钙钛矿材料在光电催化中的应用。相关成果发表在 Journal of Materials Chemistry A 上。



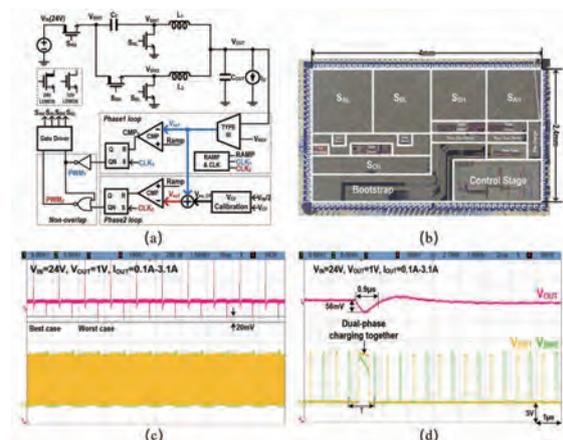
钙钛矿材料的结构及光电催化应用机制

## 大转换比快速响应的直流-直流转换器

针对存算一体芯片大规模集成、芯片面积大、功耗高导致电源走线损耗大、转换效率低、瞬态响应性能差的问题，在B类先导专项“存算一体基础器件与系统前沿科学”的支持下，中国科学技术大学程林教授团队采用两相串联电容式直流-直流转换器为存算一体芯片供电，该工作提出了双反馈环路的电压模式PWM控制方法，实现对输出电压和串联电容电压的稳定调制。针对单级大转换比直流-直流转换器负载瞬态响应速度慢的问题，该工作还提出了快速瞬态响应技术，既克服传统PWM控制方法存在

的环路响应速度与负载跳变时刻有关的缺点，也可以利用两相电感电流同步对负载充电以进一步提高转换器的响应速度。

该工作基于  $0.18\ \mu\text{m}$  BCD 工艺进行了流片验证，电路框图、芯片照片及测试波形如图1所示。芯片在输入电压为  $12\text{V}$ ，输出电压  $1\text{V}$ ，峰值效率达到  $88.3\%$ ；开关频率为  $1\text{MHz}$ ，输入电压为  $24\text{V}$ ，输出电压  $1\text{V}$ ，负载瞬态跳变速度为  $3\text{A}/20\text{ns}$  时，实现了仅  $0.9\ \mu\text{s}$  的恢复时间，取得了目前同类研究中最快的负载瞬态响应速度，满足存算一体芯片的供电需求。该工作以题目“A  $12\text{V}/24\text{V}$ -to- $1\text{V}$  DSD Power Converter with  $56\text{mV}$  Droop and  $0.9\ \mu\text{s}$  1% Settling Time for a  $3\text{A}/20\text{ns}$  Load Transient” 入选 ISSCC 2022。

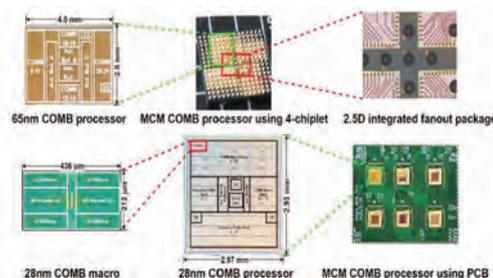


大转换比快速响应直流-直流转换器

## 多芯粒的存算一体智能处理器芯片

在 B 类先导专项“存算一体基础器件与系统前沿科学”的支持下，针对后摩尔时代的人工智能处理器设计的相关挑战，微电子研究所刘明院士团队提出了提出了多芯粒的存算一体智能处理器芯片——COMB-MCM。在电路上，通过自适应功耗调节的定制数字存边计算（computing-on-memory-boundary, COMB）电路的创新设计，实现了非结构化稀疏矩阵的高能效计算。在架构与系统上，为了适应不同场景和神经网络的规模需求，提出了算力可扩展的多芯粒模组（Multi-Chiplet-Module, MCM）架构，实现系统计算与存储性能按集成芯粒数正比例增长。COMB-MCM 芯片在 65 nm/28nm CMOS 工艺下分别流片，计算能效分别达到了 14TOPS/W 和 45.7TOPS/W，其中 65nm 设计基于集成扇出的先进封装工艺实现了 4 芯粒的 2.5D 集成。该系统在发挥存算一体“非冯”架构的性能和能效优势的同时，避免模拟计算电路的计算误差，并且利用多芯粒集成技术实现了流片后

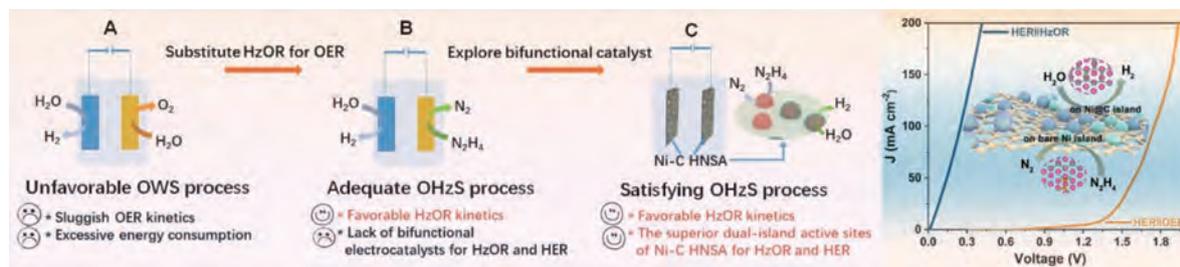
的算力可扩展性。相关研究成果发表在 ISSCC 2022 上。



在 65nm 工艺下实现的 COMB-MCM 芯片，及其 2.5D 集成的多芯粒存算一体系统

## 镍-碳双岛结构纳米片催化高效肼氧化辅助产氢

在 B 类先导专项“功能纳米系统的精准构筑原理与测量”的支持下，中国科学技术大学谢毅教授研究团队肖翀教授课题组与章根强教授合作，设计合成了一种在泡沫镍上原位生长的具有镍-碳复合岛状结构的纳米片阵列 (Ni-C HNSA)，该纳米片整合了暴露和被碳包覆的 Ni 金属颗粒两种活性位点，在碱性电解液中同时表现出了优异的 HzOR 和 HER 性能。在 1M 的 KOH 中，当 HER 的电流密度为  $10 \text{ mA cm}^{-2}$  时，Ni-C HNSA 展示了超低的过电势即 37 mV 以及 31.9 mV dec<sup>-1</sup> 的低 Tafel 斜率，同时，仅需要 -20 mV 的工作电位即可



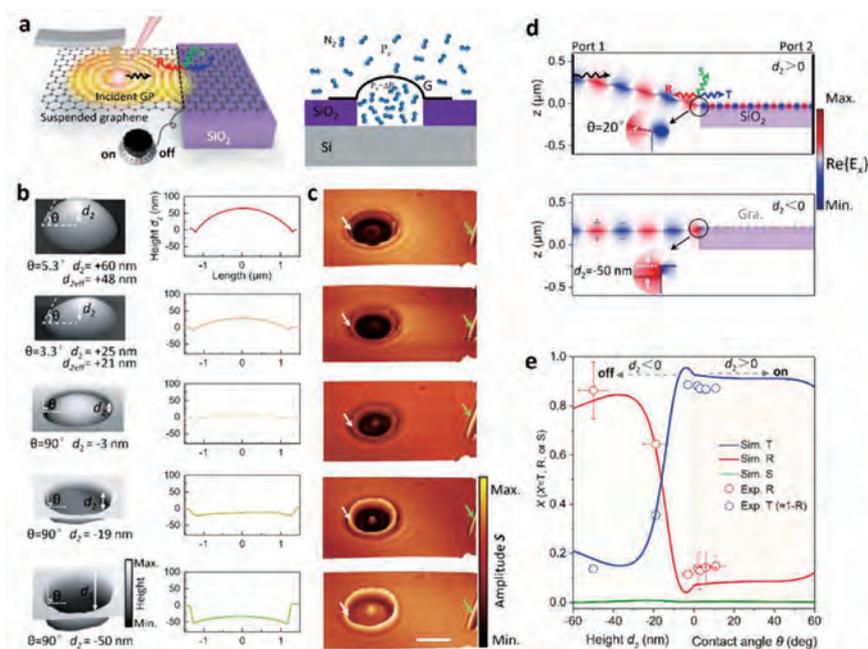
镍-碳双岛结构纳米片催化高效脒氧化辅助产氢示意图

在 HzOR 中达到  $10 \text{ mA cm}^{-2}$  的电流密度和  $16.2 \text{ mV dec}^{-1}$  的极低 Tafel 斜率。此外，在采用 Ni-C HNSA 同时作为阴阳极的双电极电解槽中，仅需要 0.25 和 0.4 V 的低电解槽电压就可分别产生 100 和  $200 \text{ mA cm}^{-2}$  的大电流密度，与传统的全水解（OWS）相比具有很大的节能优势。该工作不仅为节能高效制氢提供了独特的策略，也为先进双功能电催化剂的设计做出了贡献。相关研究成果发表在 *Angewandte Chemie International Edition* 上。

## 悬空石墨烯支持的高性能中红外等离子激元

在 B 类先导专项“功能纳米系统的精准构筑原理与测量”的支持下，国家纳米科学中心戴庆研究团队成功在悬空石墨烯结

构获得高质量的纯净等离子激元，解决了基底引入的额外损耗和限制调控等问题。研究结果发现，悬空石墨烯提供了纯净的等离子激元环境，其品质因子高达  $\sim 33$ ，对应的传输距离超过  $3 \mu\text{m}$ 。这是室温下目前报道的石墨烯等离子激元具有的最高传输性能记录，对比同等条件下氧化硅基底上的石墨烯等离子激元的性能提升一个数量级以上。此外，该工作发现悬空高度可作为一种新型等离子激元原位调制手段，可显著调节等离子激元波长、传输距离和群/相速度等性能。研究团队利用这个调控手段，开发了一种新型等离子激元开关器件，其电磁能流开关比高达 14。悬空石墨烯等离子激元同时具有长传输距离、高可调谐性和可控的能量传输，为它在光子器件中的诸多应用提供了可能。相关研究成果发表在 *Nature Communications* 上。

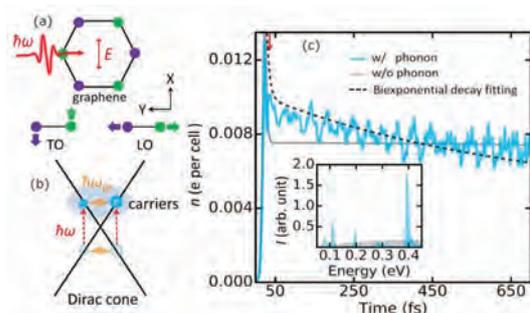


(a) 悬空石墨烯等离激元能流开关器件的示意图；(b) 不同气体压力下原位调控石墨烯的悬空高度；(c) 不同悬空高度下等离激元的传输电场分布；(d) 数值仿真的等离激元电场分布图；(e) 等离激元通过悬空界面的能流开关比。

## 非平衡态光致电声耦合增强的动力学追踪

在 B 类先导专项“新一代超导与拓扑物理学”的支持下，物理研究所孟胜研究员利用自主开发的实时密度泛函分子动力学模拟方法，深入研究了非平衡态下光致电声耦合增强的动力学机制，为表征和理解激发态下非平衡电声耦合提供了新的理论思路。此外，与合作者发现了莫尔条纹异质结构中局域应力导致的电声耦合增强效应，这也是一种非平衡

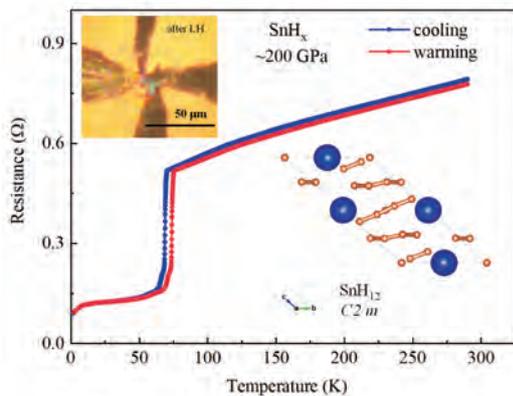
条件下的电声耦合调制，为未来基于电荷密度波的电子器件设计和应用提供了一个全新的材料平台，开拓了在 1T 相过渡金属硫族化物转角体系中探索奇异物性的新途径。相关研究成果发表在 Nature Materials 等杂志上。



非平衡态光致电声耦合增强的动力学追踪

## 富氢材料 $\text{SnH}_x$ 的超高压合成与超导电性研究

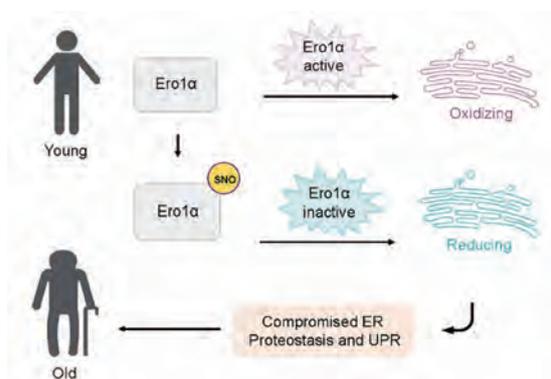
在 B 类先导专项“新一代超导与拓扑物理学”的支持下，物理研究所程金光研究员、赵忠贤院士等与合作者，在前期成功合成并验证  $\text{LaH}_{10}$  高温超导的基础上，经过多次尝试，成功在约 200GPa, 1700K 的超高压高温条件下合成了一个新的富氢化合物  $\text{SnH}_x$ 。研究发现  $\text{SnH}_x$  是一个  $T_c \approx 70\text{K}$  的新的富氢超导体，其上临界磁场只有  $\mu_0 H_{c2}(0)=11.2\text{T}$ ，远小于已知的富氢高温超导材料。对其超导转变随磁场的展宽行为的研究在一定程度上回应了当前对富氢超导材料  $\Delta T/T_c$  随磁场变化微弱从而不符合传统超导体的争议。相关研究成果发表在 Materials Today Physics 上。



富氢材料  $\text{SnH}_x$  的超高压合成与超导电性研究。

## 衰老的新机制—内质网还原应激加速衰老

在 B 类先导专项“衰老的生物学基础和干预策略”的支持下，生物物理研究所陈畅和王志珍 / 王磊研究团队揭示了内质网还原应激加速衰老的新机制。该研究发现内质网在人类细胞衰老过程中呈还原应激状态，内质网还原应激导致蛋白质稳态失衡及内质网未折叠蛋白响应能力下降从而促进衰老。进一步研究人员发现内质网巯基氧化酶  $\text{Ero1}\alpha$  Cys<sup>166</sup> 和 Cys<sup>131</sup> 亚硝基化修饰水平随着衰老升高导致其氧化酶活性降低，从而使内质网发生还原应激。用一氧化氮合酶 iNOS 抑制剂处理细胞可以降低  $\text{Ero1}\alpha$  的亚硝基化，挽回细胞还原应激从而延缓衰老。有趣的是在内质网发生还原应激前补充具有活性的  $\text{Ero1}\alpha$  可延缓细胞衰老，这表明特异提高内质网氧化能力可以延缓细胞衰老，为基于精确氧化还原调控的抗衰老的理论提供一个典型范例，为抗衰老提供了新的思路与策略。相关研究成果发表在 Free Radical Biology & Medicine 上。

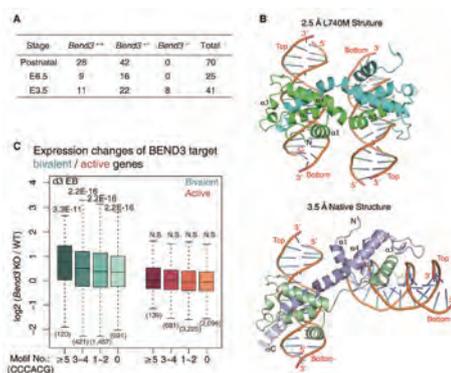


Ero1 $\alpha$  亚硝基化修饰导致的内质网还原应激加速衰老模式图

## 揭示 CpG 岛结合蛋白 BEND3 调控分化过程中二价基因转录的功能

在 B 类先导专项“生物大分子复合体结构与功能的跨尺度研究”和“衰老的生物学基础和干预策略”的支持下，生物物理研究所许瑞明团队和朱冰团队合作揭示了 CpG 岛结合蛋白 BEND3 调控细胞分化过程中二价基因转录的功能和机制。在这项研究中，研究人员发现 BEND3 能够特异性结合在基因组中含有 CpG 岛的活跃基因和二价基因的启动子区域，并鉴定了 BEND3 特异性识别的 DNA 基序。许瑞明研究团队解析了 BEND 蛋白 DNA

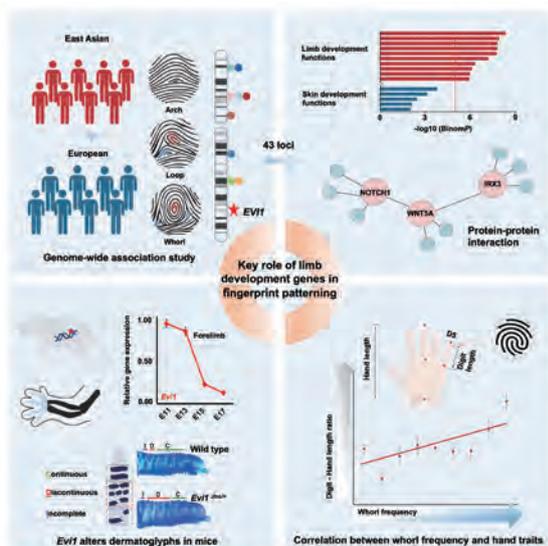
结构域与其靶 DNA 的共结晶结构，为 BEND3 序列特异性及其 DNA 甲基化敏感结合特性提供了结构依据。朱冰团队利用小鼠模型，发现 Bend3 敲除导致胚胎致死，并证明了 Bend3 敲除的小鼠胚胎干细胞丧失了分化能力。这项研究工作证明了二价启动子上 H3K27me3 修饰的重要性，H3K27me3 在分化前期起到“手刹”的作用，帮助这些基因维持在“戒急缓发”的状态，防止组织特异性基因的过早激活，保障基因的时空特异性地表达。该项研究为其它 DNA 序列所指导的表观遗传调控研究起到了很好的范式作用，也为研究此类机制的失衡在细胞衰老过程中的意义提供了指导。相关研究成果发表在 Science 上。



BEND3 对靶 DNA 序列的结合及其在发育和细胞分化过程中的功能

## 肢体发育相关基因在指纹花纹形成中发挥关键作用

在 B 类先导专项“多维大数据驱动的中国人精准健康研究”的支持下，上海营养与健康研究所汪思佳课题组联合国内外十余家科研机构，通过对 2 万余人指纹花纹表型的全基因组关联分析，鉴定出 43 个与人类指纹花纹相关的遗传基因座，并发现这些基因显著富集在肢体发育与形成，而非皮肤发育的相关通路。其中，3q26.2 区域临近 Evi1 基因突变也会改变小鼠的相应皮纹特征。此外，研究还发现指纹花纹与手指长度比例广泛相关，并具有共同遗传基础。该研究为认



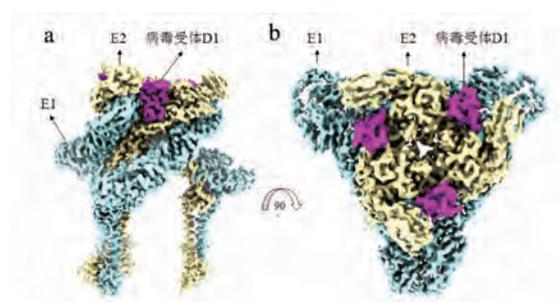
肢体发育相关基因在指纹花纹形成中发挥的作用

识指纹花纹发育的生物学基础作出了开拓性的工作，为肤纹与人体其它表型与疾病的关联研究提供了重要理论基础，有望成为联系宏观与微观表型的经典范例。相关研究成果 2022 年 1 月发表于 Cell 上。

## 基于新型冷冻电镜重构算法的委内瑞拉马脑炎病毒入侵机制研究

在 B 类先导专项“生物大分子复合体结构与功能的跨尺度研究”的支持下，生物物理研究所章新政课题组联合清华大学向焯课题组成功解析了委内瑞拉马脑炎病毒（VEEV）病毒样颗粒及其与人源受体分子 LDLRAD3（含 A 类结构域的低密度脂蛋白受体 3）复合物的近原子分辨率冷冻电镜结构。VEEV 是一种可以感染人类和所有马科动物的 RNA 包膜病毒，可以通过蚊子及气溶胶传播，引发进行性中枢神经疾病和并发症，严重可导致死亡，被定为生物安全 3 级（BSL3）病毒。此病毒目前尚无疫苗和有效治疗药物。通过结构解析和分析，项目团队鉴定了 LDLRAD3-D1

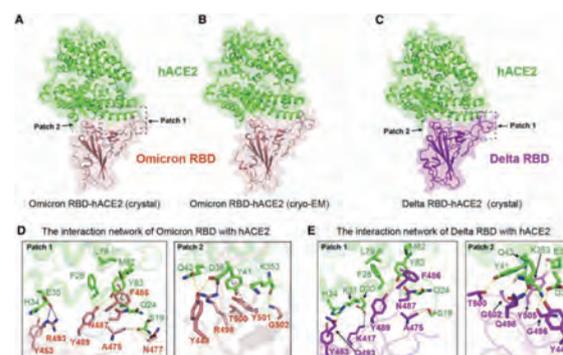
与 VEEV 结合的关键氨基酸残基，同时发现了 VEEV 高效抑制剂的潜在靶点。该研究还揭示了甲病毒家族核衣壳蛋白和糖蛋白相互作用的病毒颗粒组装机制以及 VEEV 与受体特异性结合的分子机制。该病毒结构解析受益于 2018 年章新政课题组在“生物超大分子复合体的结构、功能与调控”B 类先导项目的资助下在国际上率先开发的新型冷冻电镜三维重构技术 - 分块重构算法，该算法可以有效的克服柔性和尺寸问题，使得大型病毒的准原子分辨率结构解析成为了可能。相关研究成果发表在 Nature 上。



## 新冠病毒流行变异毒株 Omicron 和 Delta 的入侵机制

在 B 类先导专项“生物大分子复合体结构与功能的跨尺度研究”的支持下，微生物研究所齐建勋研究团队评估了新冠病

毒的五种流行变异株 (VOC) 与 hACE2 的结合能力，解析了 Omicron RBD/hACE2 复合物的冷冻电镜结构 (3.4 Å) 和 X-射线晶体结构 (3.0 Å)，并解析了 Delta RBD/hACE2 复合物的 X-射线晶体结构 (3.35 Å)，揭示了目前最受关注的两个新冠突变株 Omicron 和 Delta 的 RBD 与 hACE2 相互作用的分子机制，为疫苗研发和药物筛选奠定了分子基础。相关研究成果发表在 Cell 上。



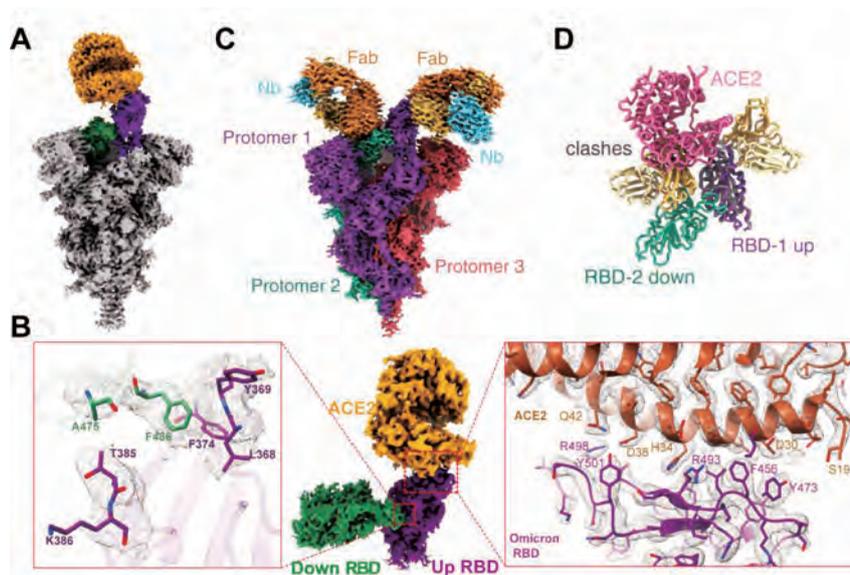
Omicron RBD 和 Delta RBD 与 hACE2 相互作用

## 新冠病毒奥密克戎变异株刺突蛋白及其与受体和抗病毒抗体的复合物结构的解析

在 B 类先导专项“生物大分子复合体结构与功能的跨尺度研究”的支持下，上海药物研究所徐华强和尹万超团队与合作单

位共同解析了新冠病毒奥密克戎（Omicron）变异株刺突蛋白，以及分别结合其受体 ACE2 和广谱抗新冠抗体 JMB2002 的高分辨冷冻电镜结构，阐述了 Omicron 变异株传播迅速和免疫

逃逸的分子机制，并揭示了治疗抗体 JMB2002 全新的作用机制，为广谱抗新冠抗体的设计和研发提供了新思路。相关研究成果 2 月在线发表于 Science 期刊上。



Omicron 突变株新冠病毒刺突蛋白结合受体 ACE2 的结构

## 国际动态

### 使用阿秒级 X 射线脉冲跟踪电子运动

电子运动是大自然移动能量的一个重要过程。2018 年，美国能源部 SLAC 国家加速器实验室的研究人员开发了一种产生数百

阿秒长的 X 射线激光爆发的方法（XLEAP），可在极快的尺度上捕捉到电子的运动，使科学家能够深入观察分子内部，提供对许多重要的量子力学现象的洞察，研究生物学、化学、材料科学等领域电子如何在分子周围快速启

动的关键过程。

当 X 射线脉冲与物质相互作用时，可将样品中一些结合最紧密的核心电子提升到高能状态，即核心激发态。由于它们的能量高，核心激发态极不稳定，通常会以俄歇 - 迈特纳电子 (Auger-Meitner electron) 的形式释放能量，从而迅速地衰减。

SLAC 研究人员精确地调整了 LCLS 中 X 射线的波长，以创建一种称为相干叠加的物质量子态，这是物质波状性质的一种表现。类似于薛定谔的猫，激发的电子同时处于不同的核心激发状态，这意味着电子同时沿着不同的轨道围绕分子运行。

为了跟踪核心激发态的相干叠加是如何随着时间展开的，近期研究人员创造了一个被称为“attoclock”的超快时钟，其中来自圆偏振激光脉冲的快速旋转电场充当时钟指针<sup>1</sup>。在核心激发态衰变中释放的俄歇 - 迈特纳电子在落到探测器上之前被圆偏振激光脉冲旋转。电子落在探测器上的位置告诉研究人员它从分

子中弹出的时间。通过测量许多俄歇 - 迈特纳电子的喷射时间，研究人员能够以几百阿秒的时间分辨率构建相干叠加态如何变化的图像。相关研究成果发表在 Science 上。

## 稀土铈可用于量子通信

在量子系统中，材料与光交互的能力将提供重要作用，例如应用于远距离通信和开发光量子计算机。然而，要找到一种能够充分利用光量子特性的材料非常困难。法国国家科学研究中心、斯特拉斯堡大学、德国卡尔斯鲁厄理工学院和法国巴黎国立高等化工学校的科学家展开合作研究，成功证明了铈分子晶体在量子通信和处理器方面的价值，相关研究成果发表在 Science 上<sup>2</sup>。

稀土晶体具有出色的光学与自旋特性，但它们在光子器件中的集成十分复杂。一般分子系统要么缺少自旋，要么光学线宽太宽，无法在自旋与光之间建立可

1 <https://www6.slac.stanford.edu/news/2022-01-27-researchers-use-attosecond-x-ray-pulses-track-electron-motion>

2 <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/03/220309111040.htm>

靠的联系。研究人员通过稀土离子和分子体系结合生成铈分子晶体，以突破这一困难。铈分子晶体的光学线宽极窄，只在几万赫兹范围内，比其它分子系统都更窄。团队利用这一特性演示了在铈分子晶体中，通过原子频率梳进行光的相干存储，并且实现了对离子的光学控制。

研究团队采用光学寻址技术，提高了读出速度，防止了电信号的干扰。频率的分离允许对多个分子分别定位，这项研究在分子材料中达到了超过此前 1000 倍的光学相干性。通过这种方式，核自旋态能够以一种特定的方式被光学操纵。目前，瑞士日内瓦大学研究团队已成功使用掺有稀土铈的晶体，将一个量子比特存储在该晶体内长达 20 毫秒，为远距离量子通信网络的开发奠定了重要基础。

## **超声波首次成功控制哺乳动物脑细胞**

约十年前，美国索尔克研究所研究人员 Sreekanth Chalasani 开创了利用超声波刺激特定遗传标记细胞群的方法，即“声遗传学”。2015 年，该研

究团队发现将 TRP-4 添加到通常不拥有这种蛋白的秀丽隐杆线虫的神经元内以后，可以通过超声波激活这些细胞。但他们向哺乳动物细胞中添加 TRP-4 时，却无法获得相同的结果。因此，他们开始寻找新的哺乳动物蛋白质，这种蛋白质可使哺乳动物的细胞在 7 兆赫（被认为是一种最佳且安全的频率）的频率下对超声波高度敏感。

研究人员通过多次筛选后发现了通道蛋白 TRPA1。TRPA1 可以让细胞对有毒化合物的存在做出反应，并激活人体内的一系列细胞，包括大脑和心脏细胞。为测试超声波能否让 TRPA1 激活其他类型的细胞，研究人员将人类 TRPA1 的基因添加到活小鼠大脑中的一组特定神经元中，当他们对小鼠照射超声波时，只有包含 TRPA1 基因的神经元被激活。该方法为实现无创性脑深部刺激、开发体外起搏器和胰岛素泵铺平了道路，有望更好地治疗癫痫、心脏病等疾病。相关研究成果于 2022 年 3 月发表在 Nature Communications 上<sup>3</sup>。

3 <https://www.iflscience.com/brain/ultrasound-controls-brain-cells-of-live-mice-in-sonogenetics-breakthrough/>



## 中国科学院前沿科学与教育局

地址：北京三里河路 52 号

邮编：100864

电话：68597369

邮箱：wangjuan@cashq.ac.cn

## 中国科学院文献情报中心

地址：北京市海淀区北四环西路 33 号

邮编：100190

电话：82626611-6607

邮箱：lizexia@mail.las.ac.cn