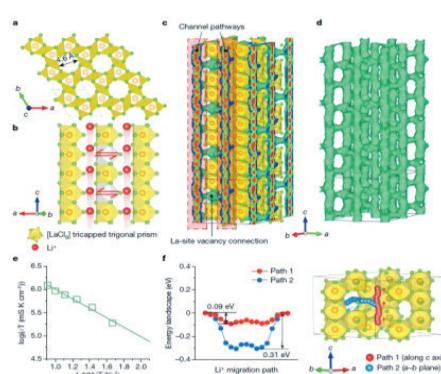


## 中国科大开发出镧系金属卤化物基固态电解质新家族

**本报讯** 4月5日,中国科大姚宏斌课题组、李震宇课题组与浙江工业大学陶新永课题组合作,设计开发出镧系金属卤化物基固态电解质新家族,实现了无任何电极修饰且室温可运行的全固态锂金属电池。相关研究成果发表于《自然》。

金属卤化物固态电解质因其宽电化学窗口、良好的室温电导率和不错的可变性,展现出比氧化物/硫化物固态电解质更好的高电压氧化物正极适配性。然而,目前报道的大多数金属卤化物固态电解质采用高电位的锂铟合金,限制了高能量密度全固态锂金属电池的开发。同时,传统的金属卤化物固态电解质晶格中氯离子是六方或立方紧密堆积,其空间体积较小,对锂离子的传导有一定限制。因此,开发对锂金属负极稳定的新型快离子导体框架结构是发展高比能全固态锂金属电池面临的关键挑战。

研究人员发现,镧系金属卤化物晶格中氯离子呈非紧密堆积形式,天然存在丰富的一维



镧系金属卤化物基固态电解质的设计理念

大尺寸孔道,适合锂离子的高速传输,并可通过镧空位形成连续的三维传导。

研究人员选择高价离子掺杂策略来制造镧空位,得益于大尺寸高速离子通道和相邻通道

间超强的交换作用,优化的金属卤化物固态电解质表现出高室温离子电导率和低活化能,优于传统氧化物和最近报道的卤化物固态电解质,可与部分硫化物电解质相媲美。基于此,组装的全固态锂金属原型电池无须负极垫层和正极包覆等额外的常用界面稳定手段,即可实现室温下百圈以上的循环。

此外,研究人员还发现,镧系金属卤化物可容纳大量异种非镧系金属元素,且在此状态下仍能保持快离子传输的晶型结构特征。这一性质赋予了镧系金属卤化物框架极强的可拓展性,使镧系金属卤化物固态电解质在未来通过合理的元素设计,具备实现更高界面稳定性、更快离子传导和更廉价原料成本的巨大潜力,将成为一个全新的电解质家族。

中国科大殷逸臣(博士后)、杨竟天(硕士生)、罗锦达(硕士生)和浙江工业大学卢功勋(博士)为本文的共同第一作者;中国科大姚宏斌教授、李震宇教授与浙江工业大学陶新永教授为本文的共同通讯作者。(吴长锋)

**本报讯** 低密度大陆地壳如何俯冲到地幔深度经历超高压变质作用?这是大陆动力学研究的重大科学问题之一。中国科大陈伊翔教授及其合作者首次在欧洲西阿尔卑斯造山带Sesia地体发现了超高压变质作用,揭示了张裂大陆边缘深俯冲的驱动力并非先前通常认为的大洋俯冲牵引力,而更可能是大洋扩张或大陆张裂引起的远程推力。这项研究不仅对西阿尔卑斯造山带的构造演化提供了新制约,而且对大陆深俯冲的地球动力学机制提供了新认识。该成果近期在线发表于《国家科学评论》。

板块构造理论是20世纪地球科学的最大成就,它成功解释了大洋板块从产生到消亡的整个过程。20世纪80年代在地球表壳岩石中发现柯石英这种超高压变质矿物,揭示了低密度大陆地壳能够俯冲进入到高密度的地幔深度。这是板块构造理论的一场革命,开启了大陆深俯冲和超高压变质这一全新的研究领域。

大陆地壳得以发生深俯冲,通常被认为是先前大洋板片俯冲产生的近程牵引驱动力。这个解释要求大陆地壳俯冲之前存在与之耦合的、成熟的大洋盆地的闭合过程。然而,先前大洋板片俯冲的牵引是否是大陆深俯冲的必要条件?是否存在与小洋盆毗邻的大陆地壳也发生了深俯冲?如果存在,其可能的驱动力是什么?这是大陆动力学研究领域的前沿问题。

针对这个问题,陈伊翔及其合作者对世界上经典的西阿尔卑斯造山带中的Sesia地体进行了研究。西阿尔卑斯造山带有超过200年的研究历史,很多关于造山带的概念和理论都源于此,广受世人关注。Sesia地体被认为代表了张裂大陆边缘的地壳残片,在俯冲之前未与任何大的洋盆接触,因此它为探讨大陆深俯冲的动力学机制提供了理想的天然实验室。

该团队在Sesia地体首次发现了超高压变质矿物柯石英的存在,确凿无疑地表明该地体中部分大陆地壳岩石经历了超高压变质作用。通过热力学相平衡模拟和锆石铀-铅同位素定年,他们揭示了该地体部分地壳岩石在7600万年前曾经深俯冲到大约80-120公里的地幔深度。根据前人对Sesia地体在晚白垩世时期的板块构造恢复和构造-变质-岩浆记录,他们揭示了该地体大陆地壳的深俯冲不可能由大洋岩石圈俯冲提供的近程牵引力导致,而更可能是板块汇聚过程中洋底扩张或者大陆裂解产生的远程挤压推力所驱动。这显著区别于前人通常认为的、与大的洋盆耦合的大陆地壳深俯冲的动力学机制。

这项研究结果不仅为西阿尔卑斯造山带的构造演化提供了新制约,而且为张裂大陆边缘地壳深俯冲的动力学机制提供了新认识。该研究将激发对大陆深俯冲动力学机制的深入探究。意大利国家科学院院士、欧洲科学院院士、意大利地质学会前主席Giorgio V. Dal Piaz教授为该文撰写点评,强调该研究的重要意义。

中国科大陈伊翔教授为第一作者和通讯作者,合作者包括我校郑永飞院士、特任副研究员周琨和贺强、博士生陈坤以及德国波鸿鲁尔大学Hans-Peter Scherf研究员。

(地球和空间科学学院)

## 中国科大实现一氧化碳和水直接制备重质烯烃

**本报讯** 近日,中国科大合肥微尺度物质科学国家研究中心和化学物理系曾杰教授研究团队利用氢缓释效应结合选择性萃取,实现了用一氧化碳和水直接制备重质烯烃。相关成果发表于《自然·通讯》。

氢气是化学品合成过程中非常重要的原料,如费托合成过程就利用氢气将一氧化碳还原为碳氢化合物。氢气分子小,容易在反应器金属管路上活化,这使得高压下氢气更易泄露,也容易引发气体管路的氢脆。而结合氢气较宽的爆炸极限,氢气的长距离运输困难较大,也对反应器的安全性能有极高的需求。水是一种安全程度较高、易于获得的廉价氢源,直接以水为氢源使得碳氢化合物合成的安全性大大提高,相关化工产业也可以不再以中心化的布局开展。

基于此,研究团队使用了科恩合成过程来实现从一氧化碳和水中直接合成烃类化合物。

**本报讯** 3月30日,中国科大物理系袁军华、张榕京课题组发展流场单分子施力技术,用于精确测量活细菌鞭毛钩的抗弯刚度,发现细菌鞭毛钩在逆时针和顺时针旋转下的不同弯曲刚度,这种不对称性使得多鞭毛细菌的游动具有鲁棒性。该研究结果发表于《物理评论快报》。

细菌的运动对于它们的生存和感染宿主至关重要。细菌鞭毛旋转驱动的游动是细菌最为典型的运动机制。大肠杆菌通过调节其鞭毛马达的转向(顺时针或逆时针)、以交替“直线游动-原地翻滚”的方式进行随机行走来探索环境。鞭毛钩是一段长55纳米、直径15纳米的柔性杆,是将鞭毛马达的旋转传递到鞭毛丝的万向接头,是推动细菌游动的鞭毛的重要组成部分。鞭毛钩的力学性质对鞭毛实现正常功能至关重要。在大肠杆菌等周身多鞭毛细菌中,鞭毛钩必须足够柔软,这样当鞭毛马达逆时针转动时,鞭毛钩可以弯曲

科恩合成过程是水气变换和费托合成的串联过程。该串联过程有望在反应过程中获得持续性高的一氧化碳/氢气比值,热力学上更有利重质烯烃的合成。研究团队发现聚乙二醇与重质烯烃有相互作用,提出在聚乙二醇中进行科恩反应可能会获得较高的重质烯烃选择性。

研究人员合成了Pt/Mo<sub>2</sub>N和Ru颗粒作为科恩反应中两步的催化剂,在2兆帕的一氧化碳气氛下获得了40.4%的重质烯烃选择性,2.13的总烯烃比也不同于常见的Ru基催化剂。在该条件下二氧化碳与碳氢化合物的比例达到了理论最小值2。为验证猜想,研究人员通过更改反应气体比例和溶剂,确定了聚乙二醇的选择性萃取作用和科恩反应带来的持续性高的一氧化碳/氢气比是获得高重质烯烃选择性的关键因素。

研究人员还观察到了碳氢化合物产率并不像费托合成中一样随压力升高而升高,推测是

因为两步过程速率不匹配导致。研究人员通过研究水含量对催化性能的影响,确定了水含量过高会导致第一步水气变换过程速率过快,造成参与费托过程的一氧化碳较少,烯烃选择性也较低。利用该策略,研究人员将催化剂体系从贵金属拓展到了非贵金属催化剂,使用Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>分别作为水气变换和费托过程的催化剂也获得了烯烃为主的选择性,烯烃比为4.19。

这项研究结果报道了一种普适性的重质烯烃合成策略,为未来开发高性能重质烯烃合成催化剂提供了平台。此外,该策略未直接使用高危险性的氢气作为反应物,大幅度提升了重质烯烃合成过程的安全性。

该论文的共同第一作者是博士生王传浩和杜俊杰。

(合肥微尺度物质科学国家研究中心 化学与材料科学学院)

## 中国科大发现细菌鞭毛钩抗弯刚度的不对称性

曲,使得多根鞭毛丝在细菌胞体的一端形成连贯旋转的鞭毛束;另一方面,鞭毛钩也必须足够刚性,这样当马达顺时针转动时,鞭毛束可以散开,使得细菌原地翻滚以改变游动方向。在本研究中,课题组发展了流场单分子施力技术,结合弹性杆力学模型,精确测量了活细菌鞭毛钩在顺时针和逆时针转向下的抗弯刚度,阐明了鞭毛钩如何实现这一双重功能:鞭毛钩在顺时针转向下变硬,顺时针转向下弯曲刚度是逆时针下的两倍。这使得多鞭毛细菌实现了鲁棒的“直线游动-原地翻滚”运动能力。

在自然界中存在种类丰富的鞭毛细菌,鞭毛钩的力学性质在各种鞭毛细菌的不同运动模式中起着关键作用,比如课题组之前在极性单鞭毛细菌-铜绿假单胞菌中发现的wrap游动新模式,就是由其鞭毛钩足够柔性的抗弯刚度实现的。课题组发展的精确测量鞭毛钩力学性质的方法,可以方便地用于其他种类细菌的测量中。研究结果对于理解细菌运动机制和设计新型微纳机器人具有重要意义。

中国科大研究生张馨文、副研究员张驰是本文共同第一作者。(物理系)

## 中国科大在范德瓦尔斯结中观察到约瑟夫森隧穿的奇异长程趋肤效应

**本报讯** 3月30日,我校向斌教授团队和中山大学王志副教授团队合作,通过构建范德瓦尔斯铁磁金属铁锗桥接两个单重态范德华超导体二硒化铌,构筑一个平面范德华约瑟夫森结S/F/S器件。通过对不同通道长度的S/F/S器件低温电学测试,观察到器件显现出零电阻态以及长程约瑟夫森超导电流(~300 nm)。随着通道长度的增加,零温度超导临界电流大小呈现衰减趋势,并且在通道长度为450 nm的S/F/S中完全消失。

铁磁性和超导性是两个相互抑制的宏观有序物性,以至于当单重态超导电流进入铁磁体会引发库伯对迅速退相干。但是近年来,人们在理论和实验上发现在超导体/铁磁体界面附近诱导出的自旋三重态超导电流能够在铁磁体中无耗散输运很长距离,因此在新型无耗散量子器件的构建上更可取。

研究团队利用范德瓦尔斯铁磁金属铁锗桥接两个单重态范德华超导体二硒化铌,构筑一个平面范德华约瑟夫森结S/F/S器件。通过对不同通道长度的S/F/S器件低温电学测试,观察到器件显现出零电阻态以及长程约瑟夫森超导电流(~300 nm)。随着通道长度的增加,零温度超导临界电流大小呈现衰减趋势,并且在通道长度为450 nm的S/F/S中完全消失。

更有趣的实验结果是,该长程超导临界电流对垂直于超导电流通道的外加磁场的响应,呈现出类似双缝干涉的周期性震荡图案,而非传统的夫郎赫费周期性震荡条纹。这个结果证实S/F/S中存在不同于传统体相通

道的约瑟夫森超导电流,而是具有长程趋肤效应的约瑟夫森超导电流。针对该长程超导电流的趋肤效应,研究团队提出了两种可能的竞争物理机制:第一,由于铁锗碲表面镜像对称破缺引起的Rashba自旋-轨道耦合效应,与铁磁性及二硒化铌的s波超导性相互作用,可能导致铁锗碲表面出现二维拓扑超导性;第二,铁锗碲中铁原子的非共面结构引起的磁非均匀化,使得单重态库伯对通过自旋翻转和自旋混合在表面转化为自旋三重态,进而形成长程的约瑟夫森超导电流。

该平面异质结构的S/F/S设计,为探索铁磁性与超导性的相互作用,提供了一个新的研究视角。该异质结构呈现的新奇物性,为二维超导自旋电子学的新型量子功能器件的潜在应用以及实现拓扑超导提供了一个新的平台。

胡国静博士、王昌龙硕士生为本工作并列第一作者,中国科大向斌教授、中山大学王志副教授为并列通讯作者。

(微宗)

## 我校在大陆地壳深俯冲的驱动机制方面取得新进展