

中国科大展示复杂系统随机建模的信息存储量子优势

本报讯 5月6日,中国科大郭光灿院士团队与曼彻斯特大学、南洋理工大学合作,利用量子技术在复杂系统随机建模中的信息存储方面取得重要进展。该团队李传锋教授和项国勇教授与合作者使用单个量子比特的内存实现的量子模型可以获得比相同内存维度的任何经典模型更高的精度。该研究成功展示了量子技术在复杂系统非马尔科夫过程建模中的存储优势。该工作在线发表于《自然·通讯》。

从化学反应到金融市场,从气象系统到星系形成,人们需要处理各种规模的复杂过程。随机建模能够帮助我们预测这些过程的未来行为。然而,由于这些随机过程通常是非马尔可夫的,其未来行为不仅取决于当前状态,也基于它的过去状态。为了模拟这样的过程,必须有一个存储器来存储系统的大量的观测信息。信息存储量将直接和预测未来行为的精度关联,因此,这在实践中将导致一个瓶颈,需要在减少内存与预测准确性



实验中进行量子模型模拟的经典时钟过程概念图

之间进行权衡。

项国勇研究组发现即使在对纯经典动力学过程建模的时候,量子技术也可以展示出显著优势。该团队基于光子系统实验实现了一系列非马尔可夫随机过程的量子模型。该类随机过程具有一个可调参数,用于控制其

有效的内存长度,最优经典模型的内存维度随此参数的值而增长。实验证明,量子模型可以仅使用单个量子比特作为内存来模拟该类行为中的任何过程,并且即使存在实验噪声,此量子模型也比最优的相同内存维度的经典模型能够更准确地做出未来行为的预测。

编辑评价该工作:“量子技术在模拟随机过程中拥有存储优势,但是在非马尔科夫过程(该过程的量子优势更强)中的实验证明一直没有实现。作者利用单比特存储实现非马尔科夫过程的建模,通过理论分析和实验证明填补了这一空白。”

总体而言,该工作是朝着展示这种量子记忆优势的可扩展性和鲁棒性迈出的关键一步。本文第一作者为实验室特任副研究员吴康达和新加坡国立大学的杨成然博士,通讯作者为杨程然博士、Mile Gu教授、项国勇教授以及Thomas Elliott博士。

(中科院量子信息重点实验室 物理学院
中科院量子信息和量子科技创新研究院)

本报讯 5月11日,中国科大陈仙辉院士、王震宇教授等人在笼目超导的电子向列相研究中取得重要进展。利用谱学成像-扫描隧道显微技术,研究团队在笼目超导体Cs(V, Ti)₃Sb₅中成功获得了向列相中电子结构的微观信息,观察到了电-声子耦合所导致的单向电子自能修正,并发现电子向列相与超导态之间存在竞争关系。这些发现不仅为理解笼目超导体的演生物理提供了重要的实验线索,也为研究实际晶格体系中电子的关联效应提供了新的方向。相关研究成果发表于《自然·物理学》。

电子向列相是由电子波函数旋转对称性自发破缺而产生的有序态,广泛存在于铜基/铁基高温超导体、量子霍尔绝缘体以及双层转角石墨烯等体系中。研究电子向列相中电子的集体组织原则以及它对其它电子序的影响是凝聚态物理的重要研究课题之一。

近几年,笼目超导体AV₃Sb₅(A = K, Rb, Cs)的发现为研究三角格子中的电子态对称破缺提供了一个重要平台。在笼目超导Cs₃V₃Sb₅体系的前期研究中,陈仙辉团队成功揭示了面内三重调制的电荷密度波态,观察到并阐明了压力下电荷密度波的演化及其与超导态的反常竞争关系,同时发现该电荷密度波在低温下可以演化出一类新奇的电子向列相。由于电子向列相一般对局域晶格畸变和无序非常敏感,容易形成畴界,使得其微观特征很难被常规手段探测到。

王震宇等人利用准粒子相干散射成像技术对钛掺杂的笼目超导体Cs(V, Ti)₃Sb₅中的电子向列相和超导态进行了系统的研究。该技术利用对电子(准粒子)波函数相干散射的测量从而获得单畴内的微观电子结构。实验结果表明,在进入电子向列相后,笼目晶格所对应的电子能带出现了明显的旋转对称破缺。对电子色散和准粒子寿命的全面分析发现,电-声子耦合效应会导致笼目晶格能带上出现单向的电子自能修正,从而使得电子色散和电子低能动力学出现强烈的二度对称特征。

相干散射测量结果还能反映电子波函数的相干信息。研究团队发现,在电子向列相温度以上,笼目晶格能带所对应的干涉图样迅速消失,电子波函数相干性明显变差。这说明在该体系中,电子向列相是电子关联效应和声子共同作用所形成的电子相干态。当相干温度升高时,超导转变温度明显下降,表明这两个电子有序态之间存在着竞争关系。对超导态准粒子的进一步系统研究发现,当电子向列相和电荷密度波序随着掺杂消失时,笼目晶格能带将贡献主要的超导能隙,支持了二者之间的相互竞争。

上述结果揭示了笼目超导体向列相中电子结构的微观特征以及它和超导态的竞争关系,为理解该体系中多种电子有序态的起源与相互影响提供了重要的实验线索,也为探索更多体系中电子关联和声子自由度的协同作用提供了一个新的研究方向。

中国科大物理学院的博士研究生吴平和安徽大学涂玉兵为文章共同第一作者,王震宇教授和陈仙辉院士为文章共同通讯作者。

(物理学 中科院强耦合量子材料物理重点实验室 合肥微尺度物质科学国家研究中心)

中国科大研制新型非贵金属电解水制氢高效催化剂

本报讯 近日,中国科大俞书宏院士团队报道了一种普适的合成策略用于制备十种单原子掺杂的CoSe₂-DETA(CoSe₂=二硒化钴,DETA=二乙丙三胺)纳米带。研究人员通过改变掺杂元素,调控掺杂产物的电子结构,进而实现产物电解水制氢性能的优化;最优产物活性与商业贵金属材料接近,表明其在电制“绿氢”领域的潜在应用。该研究成果发表于《自然·通讯》。

氢能是有望替代传统化石燃料的可再生清洁能源。其中,通过电化学析氢反应(HER)制备“绿氢”是实现氢能社会的最佳策略之一。未来氢能社会对于氢气的大量需求使得必须降低电制“绿氢”催化剂的成本,同时提升其催化活性和稳定性。对催化剂进行电子结构优化,能够提高材料的本征性能。其中,离子掺杂能够通过在材料晶格中引入杂质原子,改变局域配位结构进而调控电子结构,实现产物催化性能的提升,是一种有效的性能优化手段。

研究人员制备了多种离子掺杂型电催化

材料,例如阴离子磷掺杂的二硒化钴纳米带。正如预期,由于磷的引入优化了材料电子结构和局域配位环境,产物显示出令人印象深刻的电解水制氢性能。但是,由于缺乏普适合成的方法,单一磷元素对于产物微观结构调控不够充分,材料性能与结构的关系仍较为模糊。因此,通过设计更多种类元素的掺杂以实现产物电子结构的可控是至关重要的,进而调控产物电催化性能,并总结结构效关系用以设计新型高效的HER材料。

研究人员利用他们在前期开发的具有优异电制“绿氢”性能的CoSe₂-DETA纳米带材料为研究对象,结合阳离子掺杂的手段,发展了能够一次性制备十种单原子掺杂产物的普适合成方法学。在该工作中,研究人员借助不同的掺杂原子系统调控产物的局域配位结构,实现了材料的电子结构和HER性能在较大范围内的可控调节。

研究结果表明,所得最优掺杂产物的催化活性与商业铂碳(铂质量分数为40%)相

近,其电流密度达到-10mA cm⁻²所需过电势仅为74mV,由极化曲线计算得到的塔菲尔斜率为42dec mV⁻¹;该产物活性在1000圈循环伏安测试保持几乎不变,还可以在-10mA cm⁻²电流密度下稳定运行20小时。同步辐射谱学数据表明不同掺杂原子会导致产物中钴原子的配位环境(钴氮配位数与钴硒配位数之比)发生变化,该参数可与产物的HER活性展现出较为匹配的“火山型”曲线关系,展示了掺杂型二硒化钴的构效关系。

此外,本文还通过理论计算证实了产物性能随局域配位结构的变化规律,为设计制备新型高效催化材料提供了一种新的途径。而最优产物的性能使得该产物有望取代商业铂碳成为电制“绿氢”的理想电极材料。

吴睿特任副研究员、许杰、赵川林、苏晓智为论文的共同第一作者,高敏锐教授和俞书宏院士为通讯作者。

(微尺度物质科学国家研究中心 化学与材料科学学院)

中国科大揭示岩石圈拆沉控制华南中生代盆岭式岩浆省的形成

本报讯 5月11日,中国科大地球和空间科学学院张海江教授课题组,与中国地质科学院侯增廉院士和吕庆田研究员、南京大学王孝磊教授、美国伊利诺伊大学香槟分校刘丽军教授、中国地质大学(北京)王瑞教授等合作,通过地震成像、地球化学和地球动力学综合分析,揭示岩石圈拆沉对华南地区大规模中生代岩浆省的形成具有控制作用。研究成果发表于《自然·通讯》。

华南是我国钨锡稀有金属矿产的“大粮仓”,同时也是世界上独具特色的花岗岩分布区。这些金属矿产资源的形成与中生代大面积分布的岩浆省密切相关,但这些岩浆岩和伴生金属矿床形成的动力学机制一直存在争议。

研究团队基于最新发展的地震联合反演算法,利用地震体波走时、面波频散和接收函数确定了华南岩石圈高分辨率的速度模型,发现

在深度90公里以下的软流圈中存在高速异常体。这些高速异常体主要分布在扬子和华夏块体之间的江南造山带下方,并且在西北侧与四川盆地下方的克拉通岩石圈存在弱的连接。这些高速异常体可以解释为180-170Ma开始拆沉下来的岩石圈块体,后来在下沉的过程中被深部地幔加热又上浮回到目前的位置。岩石圈拆沉也和地球物理反演获得的东北向延伸的莫霍面附近高速度梯度条带、低Vp/Vs条带和薄地壳条带相一致,表明岩石圈拆沉还伴随镁铁质下地壳的拆沉。

大规模的拆沉会对岩石圈进行改造,导致地幔岩石圈的减薄,触发软流圈的绝热上涌,以及后续岩石圈的扩展和上覆地壳的大规模熔融,进而形成华南中生代盆岭型的巨型岩浆省。地球化学数据进一步支持了该岩石圈拆沉机制,拆沉需要来自下方对流地幔的大量热和

水来触发上层岩石圈尤其是中下地壳的大范围熔融,从而产生了大量花岗质岩石和出露的少量镁铁质岩石。分布于西华夏块体和江南造山带的幔源岩浆岩记录着岩石圈拆沉的时间和源区的转变,从180-160 Ma期间亏损的软流圈和富集的岩石圈地幔共同作为岩浆源区,到160-150 Ma期间以富集岩石圈地幔熔融为主,再到95-80 Ma期间两种类型岩浆共生。地震成像结果和地质观测数据共同约束了华南块体下方中生代岩石圈拆沉和减压熔融上涌的过程:在早侏罗纪,受早期加厚岩石圈或可能的平板俯冲的触发,江南造山带下方的岩石圈开始发生拆沉,然后不断向外扩张,并在早白垩世期间在东北部终止。而120 Ma以来的岩浆喷发可能主要受古平板俯冲的后撤引起的弧后软流圈物质上涌的影响。本合作研究关于华南中生代岩浆省形成机制的新认识将有助于深入理解古太平洋板块周缘动力学机制和华南地区晚中生代巨量成矿爆发的深部机制,为建立岩石圈深部过程和浅部岩浆与成矿的联系提供新的思路。

中国科大张海江教授和中国地质科学院侯增廉院士为该项成果的共同通讯作者。

(地球和空间科学学院)

科研简讯

○5月8日,我校郭光灿院士团队的李传锋、许金时等人,利用表面等离子体共振大幅增强了单个碳化硅双空位PL6色心的荧光亮度,并利用共面波导的特性大幅提高了自旋操控效率。这项技术成本低、无须复杂的微纳加工工艺,且不影响色心的相干性质,对于发展基于碳化硅自旋色心的量子应用具有重要意义。研究成果在线发表于《纳米快报》。

○近日,我校地球和空间科学学院肖益林

教授课题组通过超高压多相流体包裹体的三维成像建模研究,首次定量厘定了俯冲带深部的超临界流体的化学组成,并揭示了超临界流体在俯冲带碳、硫等物质循环过程中的重要作用。相关研究成果发表于美国《国家科学院院刊》。这项研究对深入和系统理解自然界超临界流体的作用具有重要的意义。

○近日,我校高敏锐教授课题组研制了一种结晶/非晶的双相铜催化剂,在中性的氯化钾电解液中,该双相铜催化剂在界面处能显著增强对电解液中氯离子的吸附,从而诱导一氧化碳中间体在催化表面的富集,降低C-C偶联反应的能垒,促进了二氧化碳向多碳产物高效转

化。相关成果近日发表于《美国化学会志》。

○近日,我校俞书宏院士团队报道了一种提升墨水直写3D打印技术分辨率的方法,该方法是基于一种可打印水凝胶(卡波姆凝胶)的可控收缩特性。研究人员通过引入分子链间的共价键交联赋予了水凝胶干燥后均匀收缩的特性,3D打印水凝胶结构的体积可收缩至原先的0.5%,提升了墨水直写3D打印技术的制造分辨率。此外,研究人员利用该水凝胶体系预先打印牺牲模板,而非将目标材料墨水直接纳入打印墨水体系,无需对目标墨水的流变性能进行重新设计,拓展了可制造材料的种类。该研究成果发表于《先进材料》。

中国科大在笼目超导中发现新颖的电子向列相