



中国科大实现百兆比特率量子密钥分发

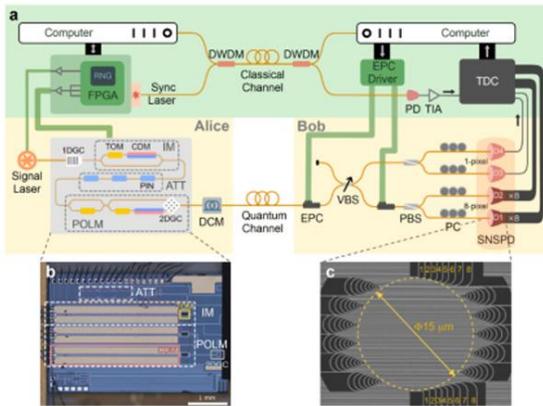


图1: 高码率量子密钥分发装置图

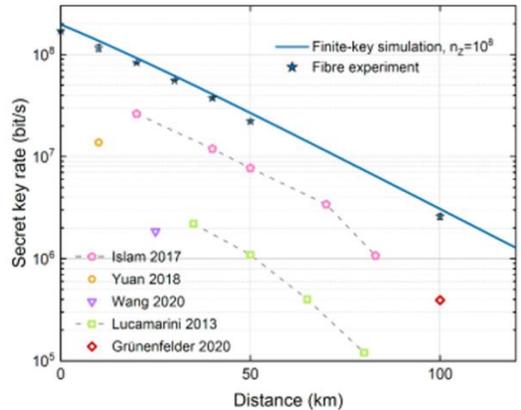


图2: 量子密钥分发成码率对比图

中国科学技术大学潘建伟、徐飞虎等与上海微系统所、济南量子技术研究院、哈尔滨工业大学等单位的科研人员合作，通过发展高保真度集成光子学量子态调控、高计数率超导单光子探测等关键技术，首次在国际上实现百兆比特率的实时量子密钥分发，实验结果将此前的成码率纪录提升一个数量级。该成果于3月14日在线发表于国际著名学术期刊《自然·光子学》(Nature Photonics)杂志。

量子密钥分发(QKD)基于量子力学基本原理，可以实现原理上无条件安全的保密通信。提高QKD的成码率对其实用化起着至关重要的作用。高码率可为更多用户提供服务，实现大数据共享、分布式存储加密等高带宽需求的应用。此前国际上最高的实时成码率是10Mb/s(10公里标准光纤信道下)。为了实现更高的密钥率，需要解决系统发送端、接收端和后处理等技术瓶颈。在发送端，高码率QKD需要高保真度的量子态调制，然而现有QKD系统在高速调制下会产生较高误码率；在接收端，同时具有高效率和高计数率能力的单光子探测器不可或缺，超导纳米线单光子探测器(SNSPD)具有效率高和低噪声的优点，但其计数率通常受到较长恢复时间的限制。

潘建伟、徐飞虎研究组发展了集成光子片上高速高保真度偏振态调制技术，系统重频达到2.5 GHz，量子比特误码率优于0.35%；结合中科院上海微系统所尤立星团队最新研制的八像素SNSPD，实现了高计数率、高效率的单光子探测，在每秒输入5.5亿个光子时仍能保持62%的探测效率；同时，研究组发展了偏振反馈控制、高速后处理模块等。在上述技术突破的基础上，研究团队实现了10公里标准光纤信道下115.8 Mb/s的密钥率，较之前纪录提高了约一个数量级；系统稳定运行超过50个小时，在传输距离328公里下码率超过200b/s。上述研究成果表明，QKD可实现百兆比特率的实时密钥分发，满足高带宽通信需求，对未来量子通信的大规模实际应用具有重要意义。



研究进展

中国科大发现自然杀伤细胞失去抗肿瘤功能关键机制

自然杀伤细胞（Natural killer cells, NK细胞）是肿瘤的“职业杀手”，在抗肿瘤免疫治疗上发挥举足轻重的作用，但是在肿瘤微环境中NK细胞的抗肿瘤功能受到严重挑战，大部分晚期肿瘤都能逃避NK细胞的杀伤，急需弄清机理，寻找恢复NK细胞功能的新方案。

中国科学技术大学微尺度物质科学国家研究中心和生命科学与医学部魏海明教授、郑小虎教授和田志刚教授课题组，与中国科学技术大学化学与材料科学学院黄光明课题组以及安徽医科大学第一附属医院钱叶本主任合作，发现肿瘤组织微环境NK细胞丢失表面膜突起，无法识别肿瘤细胞，失去了抗肿瘤功能。他们还创建了一种“单个免疫细胞膜质谱检测技术”，揭示NK细胞膜主要组分鞘磷脂的丢失是NK细胞丢失表面突起主要原因。研究成果2023年3月23日以“Tumors evade immune cytotoxicity by altering the surface topology of NK cells”为题，在线发表于《自然·免疫》（Nature Immunology）杂志，本研究揭示了一种肿瘤免疫逃逸的新机制，为基于NK细胞的肿瘤免疫治疗提供了新思路与新靶标。

该研究利用透射与扫描电镜技术，能够清晰看到正常组织和肿瘤组织微环境NK细胞膜的拓扑学形态有明显区别，正常NK细胞膜表面存在丰富突起，而肿瘤组织微环境NK细胞膜表面异常光滑，突起明显丢失（图1）。

进一步探索发现，正常NK细胞利用膜突起识别和抓取肿瘤细胞，并促使细胞间相互作用，形成“免疫突触”，发挥杀肿瘤作用。这种免疫突触是NK细胞与肿瘤细胞形成的细胞间特殊结构，NK细胞通过免疫突触释放颗粒酶溶解杀伤肿瘤细胞。然而，晚期肿瘤患者肿瘤组织微环境NK细胞突起丢失，无法识别肿瘤细胞，不能形成免疫突触，从而失去杀伤肿瘤细胞的能力（图2）。

他们还创建了“单个免疫细胞膜质谱检测技术”，发现肿瘤微环境NK细胞的膜成分发生改变，主要是鞘磷脂的含量显著降低，并证实肿瘤微环境的丝氨酸代谢失调是导致鞘磷脂下降的主要诱因。使用靶向鞘磷脂酶的抑制剂能够显著提高肿瘤微环境NK细胞膜鞘磷脂的含量，恢复突起形成，提高肿瘤细胞识别以及杀伤能力。靶向鞘磷脂酶的干预方式联合免疫检查点阻断剂，起到协同抗癌的效果。

该研究从全新的细胞膜拓扑学角度诠释了肿瘤来源NK细胞功能紊乱和免疫逃逸的新机制，也为提高NK细胞的免疫治疗提供新策略。

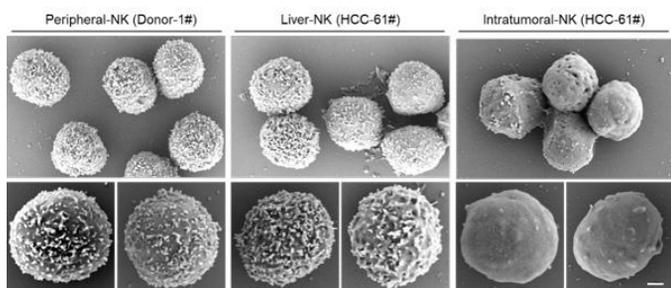


图1 外周血和肝脏组织来源的正常NK细胞表面呈现丰富的膜凸起（左、中），而肿瘤组织微环境NK细胞表面异常光滑，膜凸起丢失（右）。

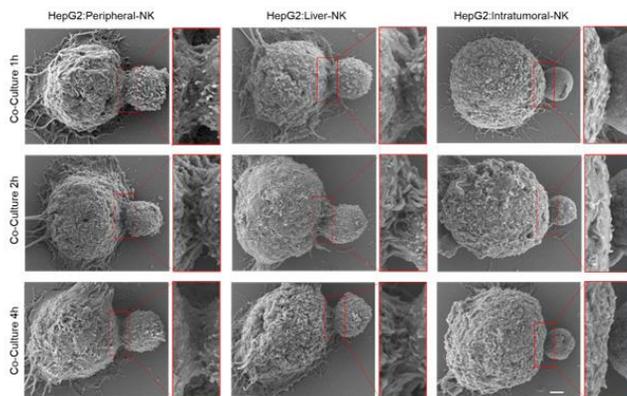
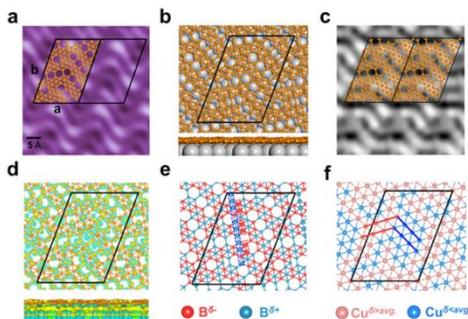


图2 外周血和肝脏组织来源的正常NK细胞利用膜突起与肿瘤细胞形成“免疫突触”结构（左、中），而肿瘤组织微环境NK细胞缺失膜突起，未能形成（右）。



研究进展

中国科大合作研究在低维硼领域取得新进展



图注：铜表面单层硼烯的STM形貌图，原子结构图，STM模拟图；铜表面单层硼烯电荷分布的理论模拟。

中国科学技术大学化学与材料科学学院、合肥微尺度物质科学国家研究中心武晓君教授与中科院物理所、北京凝聚态物理国家研究中心陈岚研究员、吴克辉研究员等合作，在Cu(111)表面可控制备均一尺寸硼团簇、揭示硼团簇的精准结构与有序排列机制以及二维双层硼形成机理方面取得新进展。研究成果于3月7日通过直接投稿方式（DirectSubmission）发表在国际学术期刊美国科学院院刊《PNAS》2023年120期e2215131120页。

通过理论与实验研究合作，本研究揭示了Cu(111)表面单层硼烯的电荷密度调制，并率先利用超高真空分子束外延（MBE）在Cu(111)表面的单层硼烯上实现了尺寸均一、周期分布的硼团簇可控制备，观察到硼团簇的覆盖度增加时双层硼烯结构形成的STM图像。基于第一性原理计算和STM图像，明确了硼团簇是由5个硼原子组成的平面五元环结构，“立式”吸附在单层硼烯表面，揭示了单层硼烯中的电荷分布促进了 B_5 团簇在表面的形成和排列的机制。

研究进一步表明，硼团簇在单层硼烯紧密堆积吸附之后，将表现出“多米诺骨牌效应”般的结构转变， B_5 团簇从“立式”变成“躺式”，相邻 B_5 团簇之间形成化学键，导致其自发转变为双层硼烯，表明具有独特尺寸和规则排列的硼团簇对于二维硼烯和硼化学研究至关重要，填充了硼团簇结构和表面二维双层硼烯结构之间演变过程的空白，首次阐明了前期合作工作中所发现的双层硼烯结构的形成机理（Nature Chem. 2022, 14, 25）。

本项工作是武晓君教授和陈岚研究员、吴克辉研究员课题组近年来在低维硼烯相关研究的拓展和延续，这项工作不仅首次实现了非气相条件下硼团簇周期构筑，并对硼团簇的分布、生长、化学性质以及双层硼烯的形成有了更加全面的认识。这一系列研究为未来低维硼结构的合成和探索提供了新思路。

中国科大通过金属间连接体自旋态和晶格对称性设计，实现了五重功能集成的二维单层磁性半导体

中国科学技术大学杨金龙课题组李星星团队通过调整有机连接体的自旋态和晶体结构的对称性/拓扑性在二维铬(Cr)基五元杂环金属有机框架中理论预言了一类同时具有五种重要功能特性的单层磁性半导体材料。这五种功能包括拉胀效应，室温亚铁磁性，极为罕见的涡旋手性铁电性，电学可控的自旋极化，以及 C_4 对称保护的拓扑节线/节点。这类材料是当前集成功能最多的一类二维材料，在磁性、手性、铁电、拓扑和多功能材料领域均具有重要影响。相关成果以“Quintuple function integration in two-dimensional Cr(II) five-membered heterocyclic metal organic frameworks via tuning ligand spin and lattice symmetry”为题为于3月16日发表在美国化学学会期刊《Journal of the American Chemical Society》上。

在这项工作中，研究人员以Cr为金属节点，五元芳香杂环(1,2,5-噻二唑，1,2,5-恶二唑，1,2,5-硒二唑)为有机配体，获得了一类具有五种重要功能的二维半导体材料。这五种功能包括拉胀效应、室温磁性、手性铁电、电场可控的自旋极化，以及拓扑性。以Cr(TDZ)₂(TDZ=1,2,5-噻二唑)单层为例，由于其具有反手性方形晶格的特点，在晶格对角线方向上可以产生负泊松比效应。同时，Cr离子与TDZ双自由基之间强的d-p直接交换耦合作用使其具有室温磁性。而在晶格结构中存在的顺时针和逆时针偶极子对，使其表现出了罕见的手性铁电性。这种具有原子尺度的手性铁电特征，目前仅存在于极其复杂的异质结中[Nature 2016, 530, 198-201; Nature 2019, 568, 368-372]。此外，二维Cr(TDZ)₂不仅属于一类具有电控自旋功能的双极磁性半导体(BMS)[Nanoscale 2012, 4, 5680]，而且还是一种拓扑材料，即在费米能级附近存在具有 C_4 晶体对称性保护的方形结点和二次节线。着眼于实际应用，一方面这类材料为研究不同功能特性之间的邻近效应提供了一个良好的平台，另一方面，通过不同功能特性之间的结合还可以设计一些高性能的自旋电子器件，如：超高密度的存储器件等。



研究进展

精准电镜观测揭示全固态电池空间电荷层的微观机理

马骋教授团队通过球差校正电镜的原子尺度观测，研究了空间电荷层对全固态锂电池中离子传输的影响，并发现这一现象的微观机理和过往几十年的认知截然不同。相关成果发表在国际著名学术期刊《Nature Communications》上。

全固态锂电池具有更好的安全性和更大的能量密度提升空间，在这种电池中空间电荷层可以产生于各种固-固界面附近；只有深入理解了该现象对离子传输的影响，才有可能有针对性的进行界面优化。在之前的文献报道中，研究者普遍认为空间电荷层对离子迁移的影响只由锂离子的浓度决定：锂离子浓度高则有利于离子迁移，而锂离子浓度低则不利于离子迁移。这一认知存在两个问题。首先，该理论所提及的锂离子浓度波动并未受到实验观测验证。其次，锂离子的浓度改变常常会引起晶格扭曲、相变、锂离子/空位比例变化等一系列同样能显著影响固体中离子传输的因素，因此整体离子传输效率不一定像文献中普遍认为的那样简单随锂离子浓度的升高而升高，而是可能存在很复杂的相互关系。为了透彻的理解空间电荷层对离子传输的实际影响，研究者需要对材料进行原子尺度的直接观测。

马骋教授团队发挥了球差校正透射电镜具有原子级分辨率的优势，以 $\text{Li}_{0.33}\text{La}_{0.56}\text{TiO}_3$ 这一经典固态电解质的晶界作为研究对象，揭示了空间电荷层对其离子传输的影响。在文献报道中，研究者普遍认为该材料之所以会具有过大的晶界电阻，是因为空间电荷层在晶界附近形成了锂离子浓度极低的区域，从而限制了离子迁移效率。不同于这一认知，马骋教授团队通过球差校正电镜观测发现晶界附近的锂离子浓度反而高于材料中的平均水平，并且精准确定了这些多余锂离子在晶格中的位置。

在此基础上，研究者结合理论计算和电化学测试，发现这种晶体结构能够实现相当高效的离子传输，和文献中被普遍接受的假想截然相反。这一发现修正了研究者关于空间电荷层的认知，也为全固态电池的界面优化提供了指导法则。

审稿人认为本工作“具有重大新意”（the novelty is substantial），并且认为“（本工作所揭示的）晶界附近细致的原子结构信息对于理解固态电解质的物理性质和性能是必不可少的”（The information on the detailed atomic structures near the grain boundary is essential for understanding the physical properties of the solid electrolyte and the performance）。



国家研究中心简讯

◆中国科大成果入选2022年度中国科学十大进展

2023年3月17日，科技部高技术研究中心（基础研究管理中心）发布2022年度中国科学十大进展，中国科大牵头完成的“实现超冷三原子分子的量子相干合成”成果入选。

中国科学技术大学潘建伟、赵博团队与中国科学院化学研究所白春礼团队合作，在钠钾基态分子和钾原子混合气中，在分子-原子Feshbach共振附近利用射频合成技术首次相干地合成了超冷三原子分子。该研究为超冷化学和量子模拟的研究开辟了新的方向。

该研究成果与美国哈佛大学John Doyle团队完成的“多原子分子的磁光俘获和亚多普勒冷却”研究成果，共同因“开创超冷化学的新纪元（Ushering in a new era for ultracold chemistry）”入选英国物理学会（Institute of Physics）“物理世界（Physics World）”网站评选的2022年度国际物理学领域十大突破。

“中国科学十大进展”由科学技术部高技术研究中心（基础研究管理中心）牵头举办，旨在宣传我国重大基础研究科学进展，激励广大科技工作者的科学热情和奉献精神，开展基础研究科学普及，促进公众理解、关心和支持基础研究，在全社会营造良好的科学氛围。自2010年以来，中国科大牵头共11项成果入选该进展。

◆余彦教授荣获“安徽省三八红旗手”称号

2月28日，安徽省妇联公布了2022年度安徽省三八红旗手标兵、安徽省三八红旗手、安徽省三八红旗集体名单。中国科大余彦教授荣获安徽省三八红旗手称号。

余彦，中国科学技术大学教授，国家杰青，国家重点研发项目首席科学家，英国皇家化学会会士。主要研究方向为高性能二次电池关键电极材料的设计、合成及储能机制。主持国家杰出青年科学基金、国家重点研发计划等多项国家级项目。目前，以通讯作者在国际著名期刊上发表论文300余篇，SCI他引35000余次，H因子120。连续5年入选“科睿唯安”及“爱思唯尔”材料类高被引学者榜单。获得中国青年女科学家奖、中国青年科技奖、德国洪堡基金会“索菲亚奖”、安徽省自然科学一等奖（第一完成人）、2022年“美团青山科技奖”等奖励和荣誉。

三八红旗手和三八红旗集体的表彰对象是各个时期为国家建设作出杰出贡献的先进妇女典型，评选表彰工作旨在激励先进、树立榜样，充分发挥先进典型的教育、鼓舞、引导作用，团结动员广大妇女坚定不移听党话、跟党走奋进新征程。