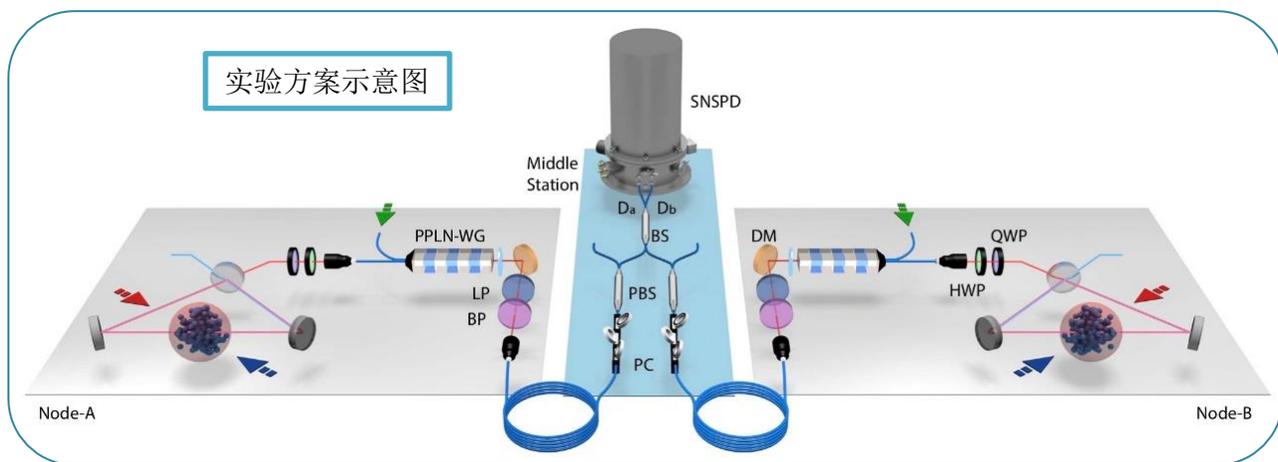


## 中国科大成功实现相距50公里光纤的存储器间的量子纠缠



中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心潘建伟、包小辉、张强等与济南量子技术研究院和中科院上海微系统与信息技术研究所合作，在量子中继与量子网络方向取得重大突破。他们通过发展高亮度光与原子纠缠源、低噪高效单光子频率转换技术和远程单光子精密干涉技术，成功地将相距50公里光纤的两个量子存储器纠缠起来，为构建基于量子中继的量子网络奠定了基础。该成果发表在国际权威学术期刊《自然》上。

构建全球化量子网络并在此基础上实现量子通信是量子信息研究的终极目标之一，国际学术界广泛采用的量子通信网络发展路线是通过基于卫星的自由空间信道来实现广域大尺度覆盖，通过光纤网络来实现城域及城际的地面覆盖。然而受限于光信号在光纤内的指数衰减，最远的点对点地面安全通信距离仅为百公里量级。将远距离点对点传输改为分段传输，并采用量子中继技术进行级联，有望进一步大幅拓展安全通信距离，并使得构建全量子网络成为可能。然而，受限于光与原子纠缠亮度低、原子存储器波长与通信光纤不匹配和远程单光子干涉等技术瓶颈，此前最远光纤量子中继仅为公里量级。针对上述技术难题，团队主要在三方面开展了技术攻关：首先，采用环形腔增强技术来提升单光子与原子系综间耦合，并优化光路传输效率，将此前的光与原子纠缠的亮度提高了一个数量级；其次，由于原子存储器对应的光波长在光纤中的损耗约为3.5dB/km，在50公里光纤中光信号将衰减至十亿亿分之一（ $10^{-17.5}$ ），使得量子通信无法实现，团队自主研发周期极化铌酸锂波导，通过非线性差频过程，将存储器的光波长由近红外（795 nm）转换至通信波段（1342 nm），经过50公里的光纤仅衰减至百分之一以上，效率相比之前提升了16个数量级；最后，为实现远程单光子干涉，团队设计并实施了双重相位锁定方案，成功地把经过50公里光纤的传输后引起的光程差控制在50nm左右。

研究团队将以上技术相结合，最终实现了经由50公里光纤传输的双节点纠缠，并演示了经由22公里外场光纤的双节点纠缠。该工作得到《自然》审稿人的高度评价“该结果是非常杰出的，向实现量子中继方向迈出了重要一步（these are certainly outstanding results, and steps forward for the work that needs to be carried out to implement quantum repeaters）”，“将这些操作拓展至城域距离是本领域的一个重大进展（bringing the operation of these systems to metropolitan distances is a major advance on the field）”。当前实验中两台量子存储器位于同一间实验室内，团队接下来将通过发展独立激光的相位同步等技术来实现真正远距离分离的双节点实验。上述工作与该团队之前实现的多节点纠缠技术（Nature Photonics, 13, 210, 2019），基于里德堡的确定性纠缠技术（Phys. Rev. Lett. 123, 140504, 2019），以及百毫秒存储技术（Nature Photonics. 10, 381, 2016）等相结合，将极大地推动量子中继和全量子网络的实验研究。



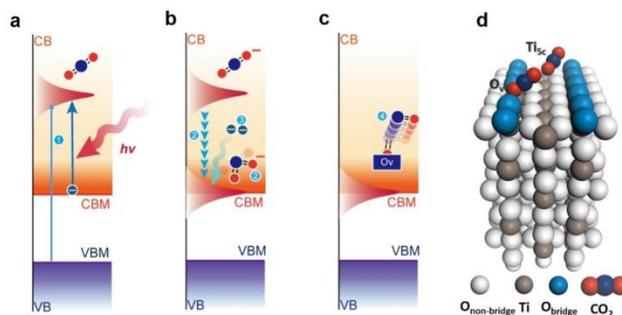
## 研究进展

### 中国科大在单分子拉曼成像领域取得重大进展

最近，中国科学技术大学侯建国院士领衔的单分子科学团队的董振超研究组与罗毅研究组，在单分子拉曼成像领域取得重大进展，将空间分辨率推向新极限，实现了埃级单化学键分辨的分子内各种振动模式的实空间成像，并提出了一种全新的分子化学结构重构技术--扫描拉曼埃分辨显微术（Scanning Raman Picoscopy, SRP）。该成果于2019年11月8日在《国家科学评论》上在线发表，并于近期正式出版(National Science Review 6, 1169–1175 (2019))。

2013年，由侯建国院士领衔的单分子科学团队首次展示了亚纳米分辨的单分子拉曼成像技术 [Nature 498, 82 (2013)]，将具有化学识别能力的空间分辨率提高到了一个纳米以下（~5 Å），此项突破性成果已被国际同行引用八百多次。在此基础上，研究者们一方面探索单分子拉曼成像技术空间分辨率的极限，另一方面思考如何充分发挥这项技术的独特优势。最近，该团队将空间分辨率推向了一个新的极限，并为最新技术提出了一种重要的新应用。他们通过改进低温（液氮）超高真空针尖增强拉曼光谱系统和精细调控针尖尖端高度局域的等离激元场，将空间分辨率提高到了1.5 Å的埃级单个化学键识别水平，在实空间获得了分子各种本征振动模式完整的空间成像图案，并发现和观察到了分子对称和反对称振动模式中显著的干涉效应。更为重要的是，他们基于埃级分辨的分子振动模式成像图以及由此揭示的新物理效应，结合化学基团的拉曼指纹数据库，提出了一种可视化构建分子结构的新方法：扫描拉曼埃分辨显微术（Scanning Raman Picoscopy, SRP）。SRP方法充分彰显了基于拉曼信号的针尖扫描技术“锋芒毕显”、在实空间精确确定分子化学结构的能力。研究者以单个镁卟啉分子作为模型体系，采用“搭积木”（Lego-like）方式把各个化学基团拼接起来，实现对整个分子化学结构的构建。埃级分辨的扫描拉曼显微术所具备的这种解析未知分子化学结构的能力，无疑将引起化学、物理、材料和生物等领域科研人员的广泛兴趣，催生这一领域的大量相关研究。可以预见，通过与人工智能、机器学习相结合，SRP有望发展成为一种成熟和通用的技术，将为在单个化学键尺度上确定单分子的化学结构、原位研究表面物理化学过程和表面催化反应等提供新的手段，也为生物分子的高分辨成像和结构确定提供了新的思路。

### 中国科大在金属氧化物表面二氧化碳光致还原机理研究中取得新进展



说明: TiO<sub>2</sub>表面CO<sub>2</sub>光致解离过程。(1) 光激发产生具有一定寿命的瞬态CO<sub>2</sub><sup>•-</sup>; (2) CO<sub>2</sub><sup>•-</sup>寿命大于12fs时, 弯曲振动模式与非对称拉伸振动模式被激发, CO<sub>2</sub> LUMO在10 fs之内被降低至导带底之下; (3) CO<sub>2</sub>在80 fs的时间内捕获热电子并重新形成稳定的CO<sub>2</sub><sup>•-</sup>; (4) 30-40 fs之后CO<sub>2</sub><sup>•-</sup>解离。

近日，中国科学技术大学物理学院及合肥微尺度物质科学国家研究中心国际功能材料量子设计中心(ICQD)赵瑾教授研究团队在氧化物表面CO<sub>2</sub>光致还原机理研究工作中取得新进展，他们利用团队自主发展的第一性原理激发态动力学程序，揭示了氧化物表面的CO<sub>2</sub>分子可以通过短暂捕获电子来激发CO<sub>2</sub>分子的弯曲和非对称拉伸的振动模式，降低CO<sub>2</sub> LUMO轨道的能量，使得CO<sub>2</sub>分子能够捕获光电子，发生还原反应。该研究结果以“CO<sub>2</sub> Photoreduction on Metal Oxide Surface is Driven by Transient Capture of Hot Electrons: Ab initio Quantum Dynamics Simulation”为题，发表在J. Am. Chem. Soc.[J. Am. Chem. Soc.142, 6, 3214 (2020)]上。

固体表面CO<sub>2</sub>光还原一直是一个有挑战的科学问题，其中主要的瓶颈存在于CO<sub>2</sub>分子的LUMO轨道能量过高，难以捕获光激发的热电子而产生还原反应。赵瑾教授研究团队利用自主研发的第一性原理激发态动力学软件Hefei-NAMD对TiO<sub>2</sub>表面的CO<sub>2</sub>光还原机制进行了研究。研究发现，由于CO<sub>2</sub>分子的LUMO能量高于TiO<sub>2</sub>的导带底能量，因此CO<sub>2</sub>分子难以稳定地捕获电子，在一定的寿命之内，CO<sub>2</sub>上的电子将会衰减回TiO<sub>2</sub>导带。然而，如果CO<sub>2</sub>吸附在TiO<sub>2</sub>的氧缺陷位置，并且其捕获电子的寿命可以超过12飞秒，形成短暂寿命的CO<sub>2</sub><sup>•-</sup>，那么CO<sub>2</sub>分子的弯曲和非对称拉伸两种振动模式就会被有效激发，就可以将CO<sub>2</sub>的LUMO轨道能量降低至TiO<sub>2</sub>导带底之下，并保持150 fs左右的时间，此时CO<sub>2</sub>可以在80 fs之内有效捕获导带上的电子，并在之后的30-40 fs发生解离形成CO分子。这项工作揭示了CO<sub>2</sub>振动模式激发在光还原过程中的关键性作用，并从第一性原理计算的角度对TiO<sub>2</sub>表面CO<sub>2</sub>分子的光致还原的激发态动力学给出了清晰的描述。本工作是Hefei-NAMD软件的又一重要应用，自2016年起，利用该软件发表的学术论文已接近30篇。

# 研究进展

## 中国科大新型手性无机纳米材料的研制取得新突破

近日，中国科学技术大学俞书宏院士团队与国家纳米科学中心唐智勇研究员课题组、多伦多大学Edward Sargent教授团队开展多方合作，在新型手性无机纳米材料合成研究中取得突破性进展。研究人员首次通过在一维纳米结构单元中定点选择性复合磁性材料，利用局域磁场调制电偶极矩与磁偶极矩之间的相互作用，成功合成了一类新型手性无机纳米材料。该成果以“Regioselective magnetization in semiconducting nanorods”为题在线发表《自然纳米技术》杂志上(Nat. Nanotechnol. 2020, 10.1038/s41565-019-0606-8)。

俞书宏院士团队长期开展功能无机纳米材料的合成方法学研究，在胶体纳米晶成核生长方面积累了丰富的经验。构建此类磁光手性纳米异质结构的前提是在特定位置引入局域磁场，因而需要实现磁性单元的位点选择性生长。研究人员基于材料间接触角与异质成核生长的相互关系（图1a-c），提出了一种“双缓冲层设计”合成策略（图1d），通过次序引入中间缓冲层改变材料间的界面能差异，从而解决了传统半导体材料与磁性材料间的晶格和化学失配问题，巧妙地实现了磁性材料在不同半导体特定位置的选择性生长。

研究人员发现，在纳米结构中引入局域磁场可实现对电偶极矩与磁偶极矩的有效调控。通过构筑这类新型磁光纳米材料，能够实现磁诱导光学活性，为开发新型手性无机纳米材料提供了新途径。他们以常见的一维硫属化合物半导体纳米棒为例，通过在纳米棒的顶点处集成 $\text{Ag}_2\text{S}/\text{Au}$ 核壳结构组分，催化 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 磁性纳米颗粒的定点生长，成功构筑了 $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}-\text{Ag}_2\text{S}/\text{Au}@/\text{Fe}_3\text{O}_4$ （ $x = 1, 0.9, 0.5, 0.3, 1$ ）四元异质纳米棒（图2）。得益于这种局域磁场调控机制，异质纳米棒的电偶极矩发生偏转并与磁偶极矩产生非零相互作用，从而在不引入手性配体、螺旋结构或手性晶格的前提下，展现出了手性光学活性（图3）。

研究表明，该方法具有高度普适性，可广泛用于多种半导体材料与磁性组分间的耦合，为今后设计开发手性光学活性纳米材料开辟了新途径。同时，这种新型磁光半导体纳米材料的成功开发使得在室温下的各向异性铁磁性以及自旋操控成为可能，从而有望为自旋电子学和量子计算技术提供新的材料平台。

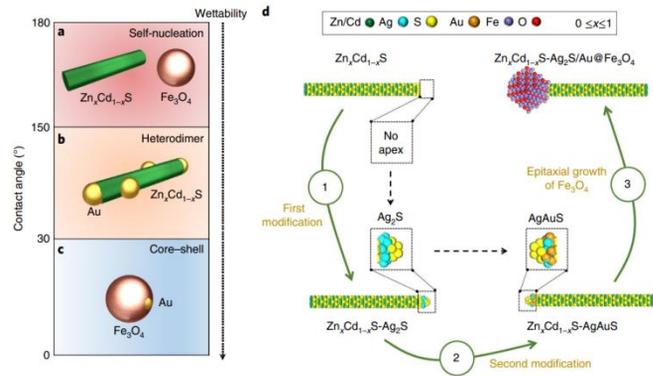


图1：一维纳米棒的位点选择性磁化。（a-c）异质成核生长与两种材料间接触角的关系总结。（d）“双缓冲层”策略实现磁性组分在纳米棒端点的选择性生长。

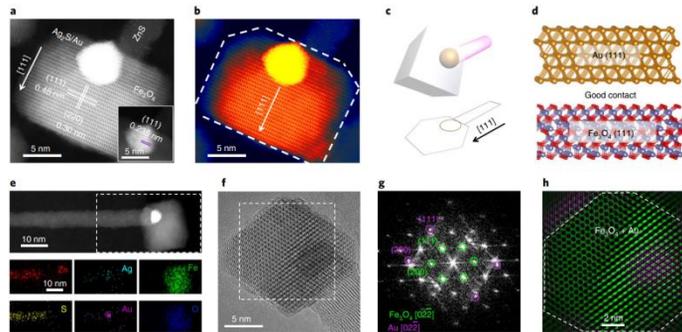


图2：四元异质纳米棒的外延生长表征。（a-b）高分辨图像显示每种组分晶面，展示了沿立方晶体[111]轴的外延生长方向。（c）异质纳米棒的三维模型和俯视图。（d）晶面原子模型。（e）纳米棒组元元素分布。（f-h）纳米棒端点结构分析。

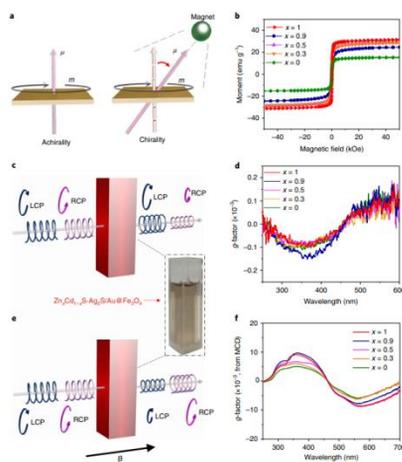


图3：局域磁场在胶体异质纳米棒中的光学活性体现。（a）电偶极矩与磁偶极矩的相互作用与材料的手性关系。（b）异质纳米棒的磁滞回线。（c-d）圆二色性测试结果。（e-f）磁圆二色性测试结果。



## 研究进展

### 中国科大在基于主族s区元素发展高活性电催化氧还原反应催化剂方面取得进展

近日，中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心和材料科学与工程学院陈乾旺教授课题组在基于主族s区金属发展高效ORR反应催化剂上取得进展，他们在密度泛函理论的计算指导下，实验合成了含有镁（Mg）辅因子的碳基催化剂，将主族s区金属Mg发展成了活性可比贵金属的ORR电催化剂。该研究成果于2020年2月18日发表在Nature Communications。

催化的d-带中心理论认为过渡金属的d轨道中心与反应物种在金属表面的吸附自由能线性相关，一直被用来指导过渡金属催化剂的设计。而主族s区金属离域的s带与反应中间体的相互作用往往导致过强或者过弱的吸附，因而不是好的催化剂。但在自然界中以Mg为中心的辅酶因子（如DNA聚合酶和己糖激酶）在一些生化反应过程中表现出很高的活性。这种天然的通过金属和配位原子的反馈键来调节中心原子的能带的方法为实验设计主族金属催化剂提供了思路。通过理论计算，改变氮（N）原子的配位数调节中心金属原子的能带结构，进而筛选出Mg-N<sub>2</sub>的结构具有最合适的反应吸附能，性能接近贵金属铂。实验设计合成了新的Mg基MOF，经过高温热解处理，部分Mg原子被N铆钉在类石墨烯的碳基底上形成了Mg-N配位结构的催化剂。其碱性ORR活性超过商业铂碳，半波电位达到910mV，并且有着出色的稳定性，5000次循环无衰减。此外在酸性ORR中，这种材料同样有着半波电位790mV的高活性和较好的稳定性。通过合理的催化剂设计和电子结构调控，基于主族s区金属制备的催化剂同样可以媲美过渡金属催化剂，这为催化剂的设计提供了新思路。

### 中国科大发现脑内负责压力应对行为的神经元



灵感来自古罗马双面神图像，隐喻实验中激活或抑制CRF神经元小鼠的双向行为。图中，手握宝剑（CRF神经元）的红色老鼠强壮勇敢，而失去宝剑的蓝色老鼠则胆怯恐惧。（绘图：王晶、陈晓东、徐奇智）

我们生活在一个充满压力的自然和社会中，面对压力每一个个体都将做出选择：是主动应对还是被动回避。负责这种抉择能力的脑的生物基础是什么？这是一个著名科学问题，简称之为“战斗或逃跑”的选择。研究者常根据动物所采用的行为方式判断其面对压力时选择的应对策略。

采用基因操作小鼠结合行为学、药物遗传学和活体显微成像等技术，中国科学技术大学周江宁研究组历经八年的研究发现：在各种行为挑战情景下，内侧前额叶的促肾上腺皮质激素释放激素（CRF）神经元是决定选择“战斗或逃跑”的神经生物学基础。该研究首先确认了内侧前额叶的CRF神经元为一种抑制性的中间神经元，并与椎体神经元构成神经环路。接着采用活体显微成像的方法观察到：在面对负性压力下，小鼠采取主动应对行为时，CRF神经元活性增强。在悬尾、强迫游泳和社交竞争挫败等负性压力条件下，采用化学遗传学方法凋亡或抑制内侧前额叶CRF神经元，可增加小鼠的被动应对行为；而CRF神经元的激活则促进主动应对行为。个体长期暴露于负性压力下，仍可维持正常的生理和心理稳态，称之为对负性压力“抵抗”；而在长期负性压力下，不能维持正常的生理和心理稳态，则称为对负性压力“易感”。流行病学和临床证据显示，习惯采用被动应对行为的个体，发生压力相关的心理、身体功能紊乱或精神疾病的风险增加，即所谓的“易感”。该研究进一步研究了前额叶CRF神经元在小鼠产生“抵抗”行为中的作用和机制。在长期社会竞争失败情况下，百分之八十都表现为“易感型”，采用化学遗传学的方法，选择性激活内侧前额叶的CRF神经元可显著增加小鼠的主动应对行为，“抵抗型”小鼠的比例大大提高。值得一提的是，该效应具有较长的持续性。

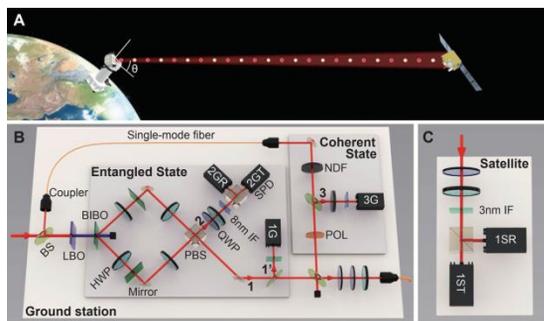


### ◆两项成果入选2019年度中国科学十大进展

2020年2月27日，科技部高技术研究发展中心（基础研究管理中心）发布2019年度中国科学十大进展。合肥微尺度物质科学国家研究中心“实现对引力诱导量子退相干模型的卫星检验”及“首次观测到三维量子霍尔效应”两项成果同时入选。

#### 实现对引力诱导量子退相干模型的卫星检验

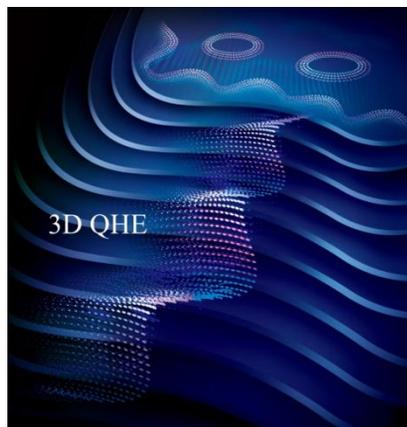
潘建伟院士及其同事彭承志、范靖云等与合作者，利用“墨子号”量子科学实验卫星，在国际上率先在太空中开展了引力诱导量子纠缠退相干的实验检验，对穿越地球引力场的量子纠缠光子退相干情况进行测试。根据“事件形式”理论模型预言，纠缠光子对在地球引力场中的传播，其关联性会概率性地损失；而依据现有的量子力学理论，所有纠缠光子对将保持纠缠特性。最终，卫星实验检验结果并不支持“事件形式”理论模型的预测，而与标准量子理论一致。这是国际上首次利用量子卫星在地球引力场中对尝试融合量子力学与广义相对论的理论进行实验检验，将极大地推动相关物理学基础理论和实验研究。



检测引力致纠缠退相干现象的实验示意图

#### 首次观测到三维量子霍尔效应

乔振华研究组与南方科技大学物理学系张立源研究组及新加坡科技设计大学杨声远等合作，在块体碲化锆（ZrTe5）晶体中首次实验实现了“三维量子霍尔效应”。研究人员对碲化锆体单晶进行了磁场下的低温电子输运测量，在一个相对低的磁场下达到了量子极限状态（即只有最低朗道能级被占据）。在该状态下，研究人员观测到了一个接近于零的无耗散纵向电阻，并沿着磁场方向形成了一个正比于半个费米波长的、很好的横向霍尔电阻平台，这些是三维霍尔效应出现的确凿标志。理论分析还表明，该效应源于在极端量子极限下电子关联增强产生的电荷密度波驱动的费米面失稳。通过进一步提高磁场强度，纵向电阻和霍尔电阻都急剧增加，呈现出金属-绝缘体转变。该研究进展提供了三维量子霍尔效应的实验证据，并提供了一个进一步探索三维电子体系中奇异量子相及其相变的很有前景的平台。



三维量子霍尔效应及电荷密度波示意图

### ◆陆朝阳教授获美国光学学会阿道夫隆奖章

2020年2月21日，美国光学学会（Optical Society of America, OSA）公布，授予中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心陆朝阳教授2020年度阿道夫隆奖章（Adolph Lomb Medal），表彰他“在光学量子信息技术领域，特别是在高性能单光子源、量子隐形传态和光量子计算方面的重要贡献（for significant contributions to optical quantum information technologies, especially on high-performance single-photon sources, quantum teleportation and optical quantum computing）”。