

**墨子杰出博士后、中心优秀博士后暨
2015 年度中心杰出研究生奖获得者 简介**

量子信息与量子科技前沿协同创新中心

二〇一五年十二月

墨子杰出博士后简介

李星星，墨子杰出博士后 (Micius Research Fellow)，男，1988年4月出生。2010年6月于中国科学技术大学获学士学位。2015年6月于中国科学技术大学获博士学位，同年在该校开始进行博士后研究工作。研究方向为理论与计算化学。曾获得研究生国家奖学金(2012年，2014年)、郭永怀奖学金(2013年)、量子信息与量子科技前沿协同创新中心杰出研究生奖(2013年，2014年)、中科院朱李月华优秀博士生奖(2014年)、中科院院长特别奖(2015年)等学术奖励。取得的主要研究成果如下：

1、首次提出双极磁性半导体的概念

自旋电子器件基于电子自旋进行信息的传递、处理与存储，具有目前传统半导体电子器件无法比拟的优势。如何实现利用电场调控载流子自旋是自旋电子学面临的关键科学问题。为解决此问题，我们在概念上提出了一种新型的自旋电子学材料，即双极磁性半导体，此类材料具有特殊的能带构造，通过它的电流不仅可以达到完全的自旋极化，而且载流子的自旋取向可以简单地通过加门电压的方法直接进行调制，相关工作以第一作者身份发表在 *Nanoscale* 4, 5680 (2012)。基于这一概念，我们设计了多种双极磁性半导体材料，以第一作者身份发表在 ***Phys. Chem. Chem. Phys.* 15, 15793 (2013); *J. Mater. Chem. C* 1, 7197 (2013); *J. Am. Chem. Soc.* 136, 11065 (2014)]**；以第二作者身份发表在 *Appl. Phys. Lett.* 104, 172403 (2014); *J. Mater. Chem. C* 3, 2563 (2015)。

2、成功设计出室温工作的半金属磁性材料

半金属磁性材料由于可以提供完全自旋极化的载流子，被视为构建自旋电子器件的理想材料。为使自旋电子器件能在常温下工作，半金属磁性材料必须具有高于室温的铁磁居里温度、较宽的半金属能隙，以及显著的磁各向异性，然而至今人们还没有找到同时满足这些条件的磁性材料。基于相关实验，我们通过在 *LaZnAsO* 材料的[ZnAs]-层进行磁性

Mn²⁺替代掺杂，同时在[LaO]₂层进行电子掺杂（H/F-替换 O²⁻元素）、或空穴掺杂（Ca²⁺/Sr²⁺替换 La³⁺元素），获得了一种具有高居里温度（~ 600 K）和宽半金属能隙（~ 0.74 eV）的铁磁半金属。同时，该体系的准二维结构赋予了材料极高的磁各向异性性能，其理论预测值比传统半金属材料高一至两个数量级。相关工作以第一作者身份发表在《美国化学会志》杂志[J. Am. Chem. Soc. 136, 5664 (2014)]。这一工作为制备室温工作的半金属磁性材料指出了明确的方向，有望对自旋电子器件的研究与应用产生重要的影响。

3、首次提出红外光解水制氢机制

用太阳光分解水制氢，为人类提供清洁燃料，被视为化学的圣杯。水分解是吸热反应，传统理论要求光催化剂的能隙至少要大于反应吸热（1.23eV），因而占太阳光能量近一半的红外光无法被吸收用来分解水制氢。我们首次提出利用具有内禀电偶极矩的二维纳米催化剂，可突破传统理论对催化剂能隙的限制，用红外光也可以分解水产生氢气。这类催化剂的两个表面具有不同的电势，可分别催化水分解的两个半反应，具有宽光谱利用（可至近红外区）和很好的电子空穴分离两大优势。相关工作以第一作者身份发表在《物理评论快报》杂志[Phys. Rev. Lett. 112, 018301 (2014)]。这一工作大大扩展了太阳能转化为化学能中可利用的太阳光频谱范围，有望对未来新能源技术的发展产生重要影响。英国物理学会（IOP）的物理世界网站(Physicsworld)，自然中国(Nature China)，Motherboard，Dailyfusion，光明日报，科技日报等多家媒体都发专文对此成果进行了介绍和评价。

4、首次提出非对称反铁磁半导体的概念

磁性半导体是自旋电子学的重要组成材料。在实际应用中，磁性半导体必须具备室温磁序和大自旋极化两个基本条件。发展在室温环境下工作的磁性半导体材料曾被列为世界 125 个重大科学问题之一。为解决这一问题，我们提出了非对称反铁磁半导体的概念。在这类半导体中，

磁矩被设计成来源于两种不同的磁性离子,各磁矩之间以反铁磁形式耦合在一起。由于反铁磁超交换作用普遍较强,所以材料的磁有序温度很容易超过室温。另外,由于不同磁性离子之间磁轨道的能级交错,材料的价带和导带呈现出高度的自旋极化。相关工作以第一作者身份发表在《物理评论 B》杂志[Phys. Rev. B 92, 125202 (2015)]。这一工作为制备室温工作的磁性半导体指出了一个明确的方向。

5、其它工作简介

我们首次提出通过体相剥离的方法实现二维铁磁半导体 CrXTe_3 ($X = \text{Si, Ge}$) 材料,该材料可用作纳米尺度的自旋产生源,以第一作者身份发表在《材料化学 C》杂志[J. Mater. Chem. C 2, 7071 (2014)]。目前,该材料已被实验证实。

我们基于 BN 纳米片,设计了一种新型非金属光解水催化剂,具有强可见光吸收和良好的电子空穴分离特性,以第一作者身份发表在《科学报道》杂志[Sci Rep. 3, 1858 (2013)]。

芮俊, 墨子杰出博士后 (Micius Research Fellow), 男, 1987 年 6 月出生。2010 年 7 月于中国科学技术大学获学士学位, 2010 年 6 月至 11 月期间在德国海德堡大学物理所作访问学习, 2015 年 11 月于中国科学技术大学获博士学位, 同年在该校开始进行博士后研究工作, 主要从事量子存储和超冷量子气体的实验研究。曾获得教育部博士生学术新人奖 (2012 年)、研究生国家奖学金 (2015 年)、求是研究生奖学金(2015 年)等学术奖励。已取得的主要研究成果如下:

1、在国际上首次实验验证利用自旋回声技术延长原子系综量子存储寿命的可行性

虽然自旋回声技术已经成功应用在原子系综弱相干光存储的寿命提升中,但是该技术在单量子水平的光存储中能否继续使用具有理论上的争议。主要问题在于,有限精度的 π 脉冲会在单自旋波态上遗留大量

的原子，这部分噪声原子在自旋波读出过程中会产生大量的读出噪声。一种观点 [Phys. Rev. A 70, 032320 (2004)] 认为，这部分噪声光子是集体增强辐射的，所以 π 脉冲精度需要达到原子数倒数的量级，而这实际上是不可能的；而另一种观点 [Phys. Rev. A 83, 032315 (2011)] 认为，这部分残留原子在读出过程中只会产生各向同性的弱噪声，因此有限精度的 π 脉冲仍然可以保证单光子存储的信噪比。

在该实验中，我们利用双光子拉曼跃迁实现了对原子自旋波多普勒退相干的抑制，成功将存储寿命提升了六倍，并同时观测到拉曼 π 脉冲不完美导致的集体增强噪声和各向同性的弱噪声两种分布，从而弥合了上述理论之间的矛盾。通过适当调整光学构型，我们将拉曼脉冲导致的读出噪声压低了五个数量级，并成功观测到了两次自旋回声操作之后自旋波存储的单光子性。该工作以第一作者身份发表于《物理评论快报》 [Phys. Rev. Lett. 115, 133002 (2015)]，为今后在系综量子存储中利用自旋回声技术进一步提升存储寿命扫清了理论障碍。

2. 超冷 ^{23}Na - ^{40}K 极化分子实验装置的搭建

自从玻色爱因斯坦凝聚和简并费米气在稀薄超冷原子气系统中成功制备以来，超冷量子气体的理论和实验研究被大量展开。原子空间分布(光晶格)或者原子间相互作用(Feshbach 共振)的精确可控性，使得超冷量子气体成为一个模型系统，可能用来模拟一些难以理论和实验解答的凝聚态物理问题。在传统的超冷原子实验中，依赖的都是原子间各向同性的短程接触相互作用；而在超冷极化分子(异核双原子分子)气体中，由于分子在外电场或者微波场下可以诱导产生宏观的电偶极矩，使得分子间可以形成各向异性的长程相互作用，从而有望观察到新奇的量子相变过程，比如超固态相等。

目前，通过将一种玻色气体和一种费米气体协同冷却到接近量子简并的超低温(100nK 量级)，接着利用 Feshbach 共振缔合形成异核双原子的弱束缚分子，再利用双光子 STIRAP 过程将分子从接近解离的三重态

的高振动态转移到单重态的绝对振转基态，人们已经成功制备了 ^{87}Rb - ^{40}K 的基态极性分子 [Science 322, 231 (2008)]。但是这种分子是化学不稳定的，碱金属原子合成的费米分子中，只有 ^{23}Na - ^{40}K 和 ^{133}Cs - ^{40}K 是化学稳定的 [Phys. Rev. A 81, 060703 (2010)]；而 ^{133}Cs 的玻色爱因斯坦凝聚较难制备，这使得 ^{23}Na - ^{40}K 混合气成为近几年来国内外实验小组广泛采用的体系。目前麻省理工学院的 Martin Zwierlein 小组已经率先制备了 ^{23}Na - ^{40}K 的 Feshbach 分子 [Phys. Rev. Lett. 109, 085301 (2012)] 和基态分子 [Phys. Rev. Lett. 114, 205302 (2015)]。

本人自 2013 年底起作为项目骨干全职加入中国科大的 ^{23}Na - ^{40}K 实验项目，该实验的真空装置在 2014 年 8 月至 10 月完成搭建，在 2015 年 1 月制备了 ^{23}Na 原子的玻色爱因斯坦凝聚，在同年 9 月成功制备了 ^{23}Na - ^{40}K 的双筒并量子气，在 12 月观测到 ^{23}Na - ^{40}K 之间的 Feshbach 共振损失谱，下一步即将展开缔合 ^{23}Na - ^{40}K 弱束缚分子和制备基态分子的实验工作。

3、在国际上首次实现长寿命、高读取效率的量子存储器

长寿命、高读取效率的量子存储器是可拓展量子信息处理和远距离量子通信必须具备的一个功能器件。实验组通过环形光学腔增强原子与光子的相互作用强度，成功将原子系综单自旋波转换为单光子的转换效率，从自由空间中的 20%~30% 提升到了 73%；并且使用钟态跃迁和共线存储分别抑制了磁场不均匀和原子随机运动导致的退相干，从而将存储寿命提升到了 3.2 ms，该工作以合作作者发表在 [Nature Physics 8, 517 (2012)] 杂志上；在此基础上，进一步将环形腔扩展到与两个极化成分（同频率）共振，成功实现了高读取效率的原子系综-光纠缠源，该工作以合作作者发表在 [Phys. Rev. Lett. 114, 210501 (2015)] 上。

4、在国际上首次实现窄带纠缠光子的量子存储

纠缠光子态的制备和存储是基于线性光学的可拓展量子信息处理的核心任务，而目前使用最广泛的参量下转换纠缠光源由于线宽远大于

原子跃迁线宽,无法进行存储。我们实验组使用腔增强的窄带纠缠光源,首次将其中一个光子存储进冷原子量子存储器中,该工作以合作作者发表在 [Nature Photonics 5, 628 (2011)] 杂志上;在此基础上,实验组进一步将原子存储中自旋波模式提升至四个,进一步将一对纠缠光子存进该冷原子量子存储器中,该工作以合作作者发表在 [Phys. Rev. Lett. 108, 210501 (2012)] 杂志上。

邹长铃, 墨子杰出博士后 (Micius Research Fellow), 男, 1989年3月出生。2008年7月于中国科学技术大学获学士学位, 2014年7月于中国科学技术大学获博士学位, 同年在该校开始进行博士后研究工作, 主要从事量子光学和集成光学芯片的实验和理论研究。曾获得首届教育部“博士研究生学术新人奖”(2010年), 中国光学学会“王大珩光学奖”(2012年), 求是奖(2012年), 国家研究生奖学金(2012年)等学术奖励。已取得的主要研究成果如下:

1. 在国际上首次提出基于连续体中的局域态实现新颖光学芯片

提出了一种全新的光学芯片,突破了传统的光学芯片器件只能由高折射率材料制备微纳光学结构与低折射率基底上的限制,提供了一个新的集成光芯片实验平台。此项工作以第一作者身份发表于《激光光子评论》[Laser Photon. Rev. 9, 114 (2015)]。特别的,金刚石的实验加工技术非常有限,利用这种结构可以解决目前 NV 色心研究中加工金刚石微纳光学结构的困难,有望用于光子与金刚石内的 NV 色心的强相互作用以及基于此的量子信息处理和量子网络。

2. 在国际上首次提出多模体系模拟和控制非马尔科夫过程

提出了利用集成多模光波导模拟系统与环境的耦合,研究了马尔科夫,非马尔科夫的动力学,给出了非常清晰的物理图像和理解。并首次在集成光子学结构中提出了利用动力学解耦去除环境的影响的方法 [Phys. Rev. A 88, 063806 (2013)]。在此基础上,首次提出在多模式磁振

子系统实现类似非马尔科夫过程,在实验上面证明了微波脉冲的多模存储和读出。该工作以共同第一作者身份发表于《自然·通讯》[**Nat. Commun. 6, 8914 (2015)**],有望被应用于混合超导量子计算系统中。

3. 在国际上首次实现布里渊散射诱导的光学透明

首次在集成介质光学微腔内实现了基于布里渊散射声学声子的光信息存储,存储寿命可达十几微秒。此项工作以通讯作者身份发表于《自然·通讯》[**Nat. Commun. 6, 6193 (2015)**]。这个实验系统中,行波声学声子与光子的相互作用严格满足动量和能量匹配的要求,因此只有特定的方向入射的光子才能发生相互作用,从而导致相互作用的非互易性。这个体系所具有的这种独特优势可以被用于实现诸如光隔离器,环形器[**Opt. Express 23, 25118 (2015)**.]等芯片光学元器件。这项成果有望进一步拓展,实现光子的频率转换和光子偏振态的量子存储。

此外,作为主要参与者参与了一系列新型集成光学芯片的探索工作,包括纳米结构中表面等离子体基元的量子干涉[**Phys. Rev. Applied 2, 014004 (2014)**]和量子纠缠态的传输[**Nano Lett. 15, 2380 - 2384 (2015)**]。与中科院化学所合作,开发了自组织的有机集成光学元件[**J. Am. Chem. Soc., 133, 7276 (2011)**; **J. Am. Chem. Soc. 137, 62 (2015)**; **Adv. Mater. 26, 624 (2014)**.]和喷墨打印集成光学芯片的新技术[**Science Advances 1(8), e1500257 (2015)**]。

曹原, 墨子杰出博士后 (Micius Research Fellow), 男, 1983年8月出生。2007年7月于河南师范大学获学士学位,2012年11月于中国科学技术大学获博士学位,同年在该校开始进行博士后研究工作,主要从事自由空间量子通信和星载高亮度量子纠缠源的实验研究。博士后期间作为项目负责人主持国家自然科学基金青年基金项目一项。已取得的主要研究成果如下:

1、星载量子纠缠源正样产品顺利完成交付验收

参与中科院“量子科学实验卫星”先导专项项目。量子科学实验卫星是中国科学院空间科学战略性先导科技专项中首批确定的卫星之一，将在国际上首次实现星地高速量子密钥分发并建立广域量子通信网络，开展星地量子纠缠分发与地星量子隐形传态实验研究。作为有效载荷量子纠缠源分系统的副主任设计师，具体负责星载量子纠缠源的光学设计；参与负责从模样、初样到正样全阶段研制生产和交付验收工作，以及所有相关的空间环境模拟试验。星载量子纠缠源正样产品已于 2015 年 8 月顺利完成交付验收，各项指标均达到或超出工程指标要求，其中纠缠源亮度超出工程指标 3 倍，对整个卫星项目科学目标的完成提供了有力保障。

2、在国际上首次实现相对论量子比特承诺

安全的比特承诺是在互不信任的终端之间建立信任并实现通信的基础，而无条件安全的比特承诺至今还未实现。曹原与合作者结合量子保密通信和相对论原理，首次实现了无条件安全的相对论量子比特承诺协议，以共同第一作者身份发表于《物理评论快报》[**Phys. Rev. Lett. 112, 010504 (2014)**]，该工作被审稿人评价为“密码学界的重要进展”和“该领域的先驱实验”，美国物理学会《物理.焦点》栏目也对该成果进行了专题报道。

3、在国际上首次实现基于高效 BB84 协议的量子密钥分发实验

以往所有的量子密钥分发试验中，由于通信双方随机选择两种基矢的比例为 1: 1，这导致在基矢比对过程中必然损失一半的数据量，造成最终安全密钥的无谓损失。而曹原与合作者基于高效 BB84 协议，根据实验具体参数最优化基矢选择比例，国际上首次在真实的近地大气信道中利用该协议完成了 15.3km 的量子密钥分发实验。该实验中成码率相比于传统 BB84 协议得到大幅度提高，实验验证了该协议一种可以方便快捷提高成码率的方法。以第一作者身份发表于《光学快报》[**Opt. Express 21, 27260 (2013)**]。

此外,作为主要参与者完成国际上首次百公里量级量子隐形传态和量子纠缠分发实验,具体负责一体化光学发射端和精跟踪系统的研制工作,并全程参与负责青海湖外场实验实施。该工作以封面标题的形式发表于《自然》[Nature 488, 185-188 (2012)]。该工作一经发表便立即引起学术界的广泛关注,并得到了美国《科学世界》、英国《新科学家》等杂志的专题报道。

武平, 墨子杰出博士后 (Micius Research Fellow), 女, 1986 年 4 月出生。2008 年 7 月于聊城大学获学士学位, 2014 年 7 月于中国科学技术大学获博士学位, 同年 9 月在该校开始进行博士后研究工作。博士期间主要从事石墨烯外延生长的理论研究, 博士后开始对锂/钠离子电池正极材料复杂晶体结构的探索及其性质进行研究。曾获得量子信息与量子科技前沿协同创新中心优秀研究生奖(2012)、国家奖学金(2013)、校优秀毕业生 (2014)、中科院优秀博士论文奖 (2015) 等奖励。已取得的主要研究成果如下:

1、在金属表面碳原子间化学反应的理论研究

理论研究了碳原子在金属铜表面的动力学行为,首次发现了碳原子吸附诱导铜表面发生形变,碳原子彼此靠近时会形成金属桥结构,从而使碳原子聚合困难。理论上建议采用新的碳源,可以大幅度降低石墨烯的生长温度。此项工作以第一作者身份发表于《化学物理杂志》[J. Chem. Phys. 133, 071101 (2010)]。此工作一经发表便引起国内外同行广泛关注,当月下载量即进入排名 20。

2、石墨烯在金属表面非线性生长的理论研究

运用多尺度的方法研究了石墨烯在金属 Ir 表面的生长机理,首次发现石墨烯与金属衬底间的晶格失配直接导致了石墨烯的非线性生长现象,同时其对不同晶向的石墨烯的生长速度存在不同的影响,表明晶格失配在石墨烯生长动力学行为中起着非常重要的作用。此项工作以第

一作者身份发表于《美国化学会志》[**J. Am. Chem. Soc. 134, 6045 (2012)**]。此项工作揭示的生长机理同样适用于其他外延生长体系中。

3、双层石墨烯生长研究

单层石墨烯为零带隙半导体,从而制约了其在纳米电子器件上的应用。对于双层石墨烯,利用电场就可以对其带隙进行调控,在电子学器件方面具有很高的利用价值。但是在实验上精确控制石墨烯的层数是比较困难的。为了帮助实验实现此目标,我们从理论上出发,基于原子间的交换机制,提出了了在铜表面生长高质量双层石墨烯的新方案。此项工作以第一作者身份发表于美国《物理化学杂志》[**J. Phys. Chem. C 118, 6201(2014)**]。

4、石墨烯外延生长机理及形貌变化的理论研究

运用多尺度的模拟方法研究石墨烯的外延生长,首次揭示了在外延生长过程中在不同铜衬底上碳-碳二聚体是石墨烯生长的主要碳供给单元,解释了不同铜衬底上石墨烯生长中由不同的关键原子动力学过程所决定的微观机理,并预测了在外延生长过程中不同石墨烯形貌发生相变的转变温度,此项工作以第一作者身份发表于《物理评论快报》[**Phys. Rev. Lett. 114, 216102 (2015)**]。这一工作为实验上对石墨烯生长条件进行精确调控提供了新的思路。

王建林, 墨子杰出博士后 (**Micius Research Fellow**), 男, 1987年2月出生。2010年6月于中国科学技术大学获学士学位, 2015年6月于中国科学技术大学获博士学位, 同年在该校开始进行博士后研究工作, 主要从事复合量子功能材料及其多参量过程的实验研究。曾两次获得协同创新中心优秀研究生一等奖学金(2013年、2014年)、中科院朱李月华优秀博士生奖学金(2015年)等学术奖励。已取得的主要研究成果如下:

1、发现了高于室温下工作的新型单相多铁材料及其磁电耦合效应

利用磁性插层的新方法,成功获得了具有完全自主知识产权的新型单相多铁材料,并实现了高于室温(100 摄氏度)、且远离共振条件下的磁电耦合,被国际同行评论为多铁材料领域近年来的一个非常显著的进展(This study makes a very significant advance in the field)。目前尚没有任何材料可与之相比拟。利用这个新材料,他还演示了高温低磁场条件下工作的磁电耦合器件。相关工作也获得了中国专利授权(ZL201210375807.4)。该工作以“高温下低磁场响应的单相多铁材料”为题在《材料地平线》杂志上发表[Materials Horizons, 2, 232 (2015)],成果获得了评审人的高度评价,并被报道。

2、实现含铌弛豫铁电体粉体材料的水溶液制备技术

首次以 Nb₂O₅ 为原材料,采用化学水溶液方法,一步合成了具有纯钙钛矿结构的铌镍酸铅钛酸铅(PNN-PT)弛豫铁电体[J. Am. Ceram. Soc., 97 [7], 2130-2134 (2014)],相比于传统的固相反应两步烧结方法,其大大简化了烧结过程并增强了粉体的活性。该工作对合成含铌的弛豫铁电体,如 PMN-PT、PZN-PT 等都具有很大的指导意义。

3、相关科学论文入选领跑者 5000 论文。

以第一作者发表的论文“纯钙钛矿相 PNN-PT 弛豫铁电陶瓷的制备及其介电性能”获得中国科学技术信息研究所颁发的“中国精品科技期刊顶尖学术论文领跑者 5000 (2014 年度 F5000 论文)”荣誉称号。同时,以第一作者身份发表了多篇 SCI 论文,包括《应用物理快报》一篇[Appl. Phys. Lett., 106, 132903 (2015)],美国陶瓷学会期刊 2 篇[J. Am. Ceram. Soc., 97 [7], 2130-2134 (2014); 98 [5], 1528 (2015)]等。并与他人合作在包括 Sci. Rep.、Appl. Phys. Lett.、Nanoscale 等杂志上发表科技论文多篇。

中心优秀博士后简介

杨胜军，中心优秀博士后（**QIQP Excellent Postdoctor**），男，1985年10月出生。2008年6月于中国科学技术大学获学士学位，2015年6月于中国科学技术大学获博士学位，同年在该校开展博士后研究工作，主要从事基于冷原子物理的量子存储和量子精密测量的实验研究。已取得的主要研究成果如下：

1、实现窄带纠缠光源与冷原子量子存储器的交互界面

参与搭建基于电磁诱导透明技术的冷原子量子存储平台，成功存储和读取窄带纠缠光子。存储前后的量子纠缠特性被高保真地保持着。该工作发表于《自然-光子学》[*Nat. Photonics* 5, 628-632 (2011)]。进一步，将窄带纠缠双光子对同时存储在冷原子系综中，实现有效的全息量子存储。该工作发表于《物理评论快报》[*Phys. Rev. Lett.* 108, 210501 (2012)]。上述工作将有效助力可扩展的线性光学量子计算和远距离量子通讯的发展和应用。

2、实现高读取效率的光与原子纠缠的制备和存储

搭建腔增强冷原子量子存储平台，利用环形腔增强机制和铷原子相干磁子能级成功制备和存储高读取效率的光与原子纠缠。该工作以**第一作者身份**发表于《物理评论快报》[*Phys. Rev. Lett.* 114, 210501 (2015)]，可进一步用于实现多原子系综的量子纠缠，同时可应用于完全无漏洞贝尔不等式的基础量子力学检验。

3、在国际上首次实现同时高读取效率和长相干寿命的量子存储器

利用三维光晶格陷俘冷原子光频移磁补偿技术和环形腔增强实现了接近80%的高读取效率和亚秒量级的长存储寿命的**DLCZ**量子存储器。该存储器为目前国际上量子存储器综合性能指标最好的，首次在远距离量子中继和量子通讯纠缠分发成码率上超越直接光量子比特传输。在该工作基础上，进一步成功制备了读取效率超过60%和相干寿命亚秒量级的光子极化态与原子自旋波矢的纠缠源（存储0.3s时，仍违背

CHSH-Bell 不等式, $S=2.25 \pm 0.08$)。上述工作将会用于未来首个几百公里至上千公里的远距离量子中继和量子通讯的实验验证和应用。

陈砾侃, 中心优秀博士后 (QIQP Excellent Postdoctor), 男, 1987 年 10 月出生。2009 年 6 月于中国科学技术大学获学士学位, 2015 年 6 月于该校获博士学位, 同年在该校开始进行博士后研究工作, 主要从事多光子纠缠及光量子计算的实验研究。曾获得求是奖 (2014 年)、量子信息与量子科技前沿协同创新中心优秀研究生奖 (2014 年)、第四季中国科学技术大学物理学院研究生学术论坛报告一等奖 (2014 年) 等学术奖励。已取得的主要研究成果如下:

1、在国际上首次实现 C-GHZ 态制备实验

传统的 GHZ 态极易受环境噪声影响, 且粒子数越多退相干效应越严重, 因此制备大粒子数的 GHZ 态几乎不可能; C-GHZ 态是一种新型的编码纠缠态, 除了继承 GHZ 态的优良性质外, 其抗噪声能力也大为增强; 陈砾侃及同事首次通过制备和操纵六光子纠缠实现了 3 逻辑比特 C-GHZ 态的制备, 并以共同第一作者身份发表在《自然·光子学》杂志 [Nat. Photon. 8, 364 (2014)] 上。通过比较在集体噪声下 GHZ 态和 C-GHZ 态的演化过程, 在实验上证明 C-GHZ 态鲁棒性优于 GHZ 态, 这为利用 C-GHZ 态制备和操纵宏观纠缠成为可能, C-GHZ 完全可以作为一种新型的纠缠态应用在量子精密测量、分发式量子网络、量子计算等方面。

2、在国际上首次利用带阻技术实现量子密钥分发和 F-P 型经典光的波分复用实验

原理上绝对安全的量子密钥分发 (QKD) 正逐步取代传统经典加密进入大众生活, 如果能通过波分复用方式将 QKD 系统和经典光通信网络以“即插即用”的方式无缝对接, 不仅可以节省大量光纤资源, 也可极大增强 QKD 系统的可拓展性; 传统的经典光通信使用成本低廉的

多纵模 F-P 激光器作为光源,传统的带通技术会极大降低经典光通信的距离和速率;陈砾侃及同事首次通过设计光路,利用带阻技术,在基本保留所有经典通信光波段的前提下,实现了 QKD 系统和经典光网络的波分复用,并以共同第一作者身份发表于《应用物理快报》[Appl. Phys. Lett. 106, 081108 (2015)],在 45km 通信距离下,双方都正常工作的基础上,QKD 误码率低于 2%,有效成码率大于 4000bps。该装置为未来 QKD 系统的可持续拓展提供可能的技术支持。

3、在国际上首次实现测量装置无关的纠缠目击实验

纠缠判定在基于纠缠的量子信息处理中不可或缺,而传统的纠缠目击方法需要完美的测量装置为前提;在现实生活中,所有测量装置无可避免存在漏洞,窃听者就有可能通过操纵测量装置来更改测量结果,使得可分离态判定为纠缠态,造成量子方案失效却不被使用方所知悉;而测量装置无关(MDI)的纠缠目击即使在不完美的测量装置上也能准确判定量子态的状态。陈砾侃作为主要参与者首次实现了 MDI 纠缠目击实验,通过制备一系列从最大纠缠态到可分态的量子态,比较了传统纠缠目击和 MDI 纠缠目击的判定结果,证明在探测器遭受攻击或操纵时(如时移攻击),传统纠缠目击已不具备准确判定的能力,而 MDI 纠缠目击以 100%的判定准确率击败传统的纠缠目击方法;该工作以编辑推荐文章发表在《物理评论快报》杂志[Phys. Rev. Lett, 112, 140506 (2014)],为真实物理环境下的纠缠判定提供前瞻性的指引。

4、实用化量子通信技术研究

作为主要参与者实现了 200 km 光纤距离的远距离量子密钥分发实验,该工作发表于《光学评论快报》[Opt. Express 18, 8587 (2010)],刷新了安全 QKD 分发距离的世界纪录;同时作为主要参与者参与建设了国际首个 5 节点的全通型量子通信网络[Opt. Express 18, 027217 (2010)];并作为主要参与者参与实施了基于该成果的保密通信电话网络,在天安门与中南海间构建了“量子通信热线”,完成建国 60 年国庆阅兵期间重

要信息传送保障工作。

张亚峰，中心优秀博士后 (QIQP Excellent Postdoctor)，男，1987年9月出生。2009年6月于华中师范大学物理学专业获学士学位，后被保送至复旦大学物理学系，于2015年6月获凝聚态物理专业博士学位。2015年7月进入中国科学院上海技术物理研究所红外物理国家重点实验室进行博士后研究工作，主要从事红外超构材料和器件中的理论和实验研究。博士期间曾获得校优秀学生(2012-2013)，博士生优秀学生奖学金(一等奖)(2013)和复旦大学光华奖学金等称号和学术奖励。已取得的主要研究成果如下：

1、仿生制备了目前文献中报道过的最好的人工非虹彩结构色板

提出了一种过程简单、可大面积实现非虹彩结构色的非晶光子结构制备方法。这种方法是基于微球胶体自组装技术并使用自然存在的乌贼墨汁作为添加物，制备的非晶光子结构为可见光尺度各向同性的密堆积排列；产生的结构色色调和色谱纯度可媲美自然界的副本，同时可被精细调节；我们用此制作了一个目前文献中报道过的最好的人工非虹彩结构色板。此结构色可以在任何背景和衬底上来呈现，可以被应用到涂料、喷墨、化妆品、伪装等民用和军用领域。以第一作者身份发表于《先进材料》[*Adv. Mater.* **4719**, **27** (2015)]并被选为当期封面文章，此工作申请国家发明专利已被授权（专利号 ZL201410194894.2）。

2、首次从物理根源上揭示了自然界中桃脸鹦鹉羽毛蓝色和绿色的呈色机理

通过实验光谱和结构分析测量和理论模拟计算的结果比较发现，其非虹彩蓝色的物理根源是羽毛内部的非晶金刚石结构的短程序产生的光子带隙造成的结构色，其饱和绿色是结构蓝色和皮质层里的黄色色素的协同作用呈色。以第一作者身份发表在 *Mater. Today Proc.* **130**, **1S** (2014)。

作为主要参与者（第二作者）系统研究了非晶光子结构的奇异光学性质[*Adv. Mater.* 5314, 25 (2013)], 作为主要参与者（第三作者）首次报道了通过复合光子-等离子体模式可以提高荧光发射的空间和时间相干性的实验证据[*Laser Photonics Rev.* 717, 8(5) (2014)]并被选为当期封面文章。

陈三友，中心优秀博士后（**QIQP Excellent Postdoctor**），男，1986年5月出生。2008年7月于华中科技大学获学士学位，2014年12月于华中科技大学获博士学位，2015年2月在中国科学技术大学物理学院开始博士后研究工作，主要从事细胞生物物理与磁共振成像研究。曾获得华中科技大学优秀学习奖（2010年）、三好研究生奖（2011年）、博士生学术新人奖（2012年）等奖励。已取得的主要研究成果如下：

1、提出了线虫肠细胞中基底面网格蛋白非依赖型胞吞（**CIE**）途径的一种全新的循环囊泡转运模式，并阐明了相关分子机制。

我们在模式生物线虫的肠细胞中首次鉴定出一种全新的循环囊泡结构，即管状囊泡网络，这种囊泡网络能够实现细胞内物质的高效运输。同时我们观察到这种囊泡网络具有丰富的运动特征，而 **RAB-10**、**SEC-10** 和微管等蛋白质在这种囊泡网络结构的形成和稳定中发挥着重要作用。该成果为 **CIE** 途径的调节机制研究提供了新的见解，为相关疾病的诊断和治疗提供了理论依据。除了重要的细胞生物学意义，该成果还为细胞内囊泡转运的活体动态研究提供了全新的思路。此项工作以第一作者身份发表于《美国科学院院刊》[*Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111, 1408327 (2014)]。成果获得了国内外学术媒体广泛关注，且文章发表以来被 *PLoS Genet.*, *J Cell Sci.*, *Mol. Biol. Cell* 等期刊文章广泛引用。

2、在模式生物线虫中证明了囊泡极性运输的保守性，无论是线虫还是哺乳动物的极性细胞，都存在囊泡的极性运输，且通过精美的动态图像展示了细胞内囊泡极性运输的过程。同时，在分子水平上深化了

RAB-11 和 exocyst 蛋白复合物在极性细胞顶面极性运输中的重要作用。

秦熙，中心优秀博士后（**QIQP Excellent Postdoctor**），男，1987年6月出生。2004年进入中国科学技术大学少年班，2008年7月获中国科学技术大学学士学位，2013年6月于中国科学技术大学获博士学位，同年进入中国科学院上海微小卫星工程中心参加工作，任主管设计师，后被提拔为主任预研师。2015年2月于中国科学技术大学开始进行博士后研究工作，主要从事固态自旋量子体系的操控与读出方法研究。曾获得光华奖学金（2010年）、CASC 奖学金（2012年）、研究生国家奖学金（2012年）、中科院朱李月华优秀博士奖学金（2013年）等学术奖励。已取得的主要研究成果如下：

1、基于 FPGA 自主研发高精度的微观磁共振探测装置

现有的基于 N-V 色心的高精度微观磁共振探测手段，大都采用低集成度的分立器件进行组合完成探测功能，同时探测精度受限于核心部件高速方波发生器的时间分辨能力。作为负责人研发了一种用于 N-V 色心的完全基于 FPGA 的高精度微观磁共振探测装置，其中高性能方波发生器的时间分辨能力达到了 50 ps，可实现的测量精度突破了传统方法的局限，实现了商用产品无法比拟的分辨能力。目前该装置已应用于组内基于 N-V 色心的相关实验。同时研发了一种基于 FPGA 的高性能任意波发生器，采样率达到 2.8Gsps，分辨率 14-bit。相关工作的技术指标皆为国际领先水平，已以第一发明人身份申请国家专利[CN 201210239552]。

2、雪龙号北极航道观测卫星观测分系统项目负责人

雪龙号是中国最大的极地考察船，为其检测北极冰块分布，规划精确的航线，保证其北极运输任务的圆满的完成是项目的主要任务。本任务拟利用立方星搭载高性能相机，采用气体微推进模块实时调整卫星的在轨姿态，对北极冰块分布进行实时监测。卫星观测的功能包括三个重

要部件，一个是高性能的气体微推进模块，用于实时调整卫星姿态进行拍照；一个是基于 **FPGA** 的高性能微纳卫星星务计算机模块，用于实时控制与数据分发；一个是高分辨率的小型相机。相关工作已以第一发明人身份申请了国家专利 [201410227118.8, 201410335760.8, 201410335779.2]。

3、在国际上首次在反熔丝 **FPGA** 中实现好于 100 ps 的时间分辨的时间数字转换器

高精度的时间测量在量子通讯、空间等离子体探测等前沿科学领域有着广泛的应用，然而军工级以及航天级的高精度的时间数字转换器在国内的应用完全受限于海外产品的禁运和垄断。基于抗辐射性能强的反熔丝 **FPGA** 自主研发了一种高精度时间数字转换器，率先达到了好于 100ps 的时间分辨能力，指标能够于同类的航天级 **ASIC** 产品媲美，打破了国外对该领域的技术垄断。同时，针对时间数字转换器在温度变化范围较大范围中的温度漂移，提出一种温度漂移实时修正算法，完美解决时间数字转换器在恶劣环境中的应用问题。同时研究了多种提高时间数字转换器时间测量精度的方法。相关工作已以第一作者身份发表论文四篇[IEEE Trans. Nul. Sci., Vol: 60 , Issue: 5 , Part: 2, pp 3550 - 3556; Nuclear Science and Techniques, 24 (2013) 040403; Applied Mechanics and Materials, Vols. 336-338 (2013) pp 9-18; Real Time Conference (RT), 2012 18th IEEE-NPSS , 13263942], 另申请了国家专利一篇[201210566382.5]。

4、新型中子位置灵敏正比管探测器读出方法研究

以低年级研究生身份独立完成了该国家自然科学基金面上项目的全部软硬件设计、测试与调试工作，以及大部分文档撰写工作。用高精度时间数字转换器结合 **FPGA** 实现了一种新型的 **He3** 正比管探测器读出电子学方法，实现了非常高的测量精度，项目已顺利结题。相关工作以第一作者身份发表论文两篇[Nuclear Science and Techniques 21(2010) 366-369; 核电子学与探测技术, 2012(5):556-561]。

杰出研究生奖获得者简介

陈俊，男，1988年7月出生。2010年6月于南京大学获学士学位，2010年至今在中国科学院大连化学物理研究所分子反应动力学国家重点实验室硕博连读进行研究工作，主要从事化学反应势能面和动力学的理论计算研究。曾获得国家奖学金（2014年）、张存浩化学动力学奖（2015年）、中国科学院院长特别奖（2015年）等学术奖励。已取得的主要研究成果如下：

1、高精度化学反应势能面的构造

精确的化学反应势能面对于理论研究化学反应机理、计算微分截面、计算速率常数至关重要。如何在高维度空间进行构型选择，以及快速、高效构造高精度化学反应势能面，是目前制约化学动力学理论研究的瓶颈之一。我们基于神经网络方法，在以前的研究基础上发展和完善了一套完整的分子构型选择方案，在严格的势能面评价标准下，完全解决了势能面构造过程中分子构型选择的难题。基于此方法，构造了一系列重要体系的高精度从头算势能面，比如 $F/Cl+H_2$ 等三原子体系[JCP, 142, 024303 (2015)]， OH_3 、 $HOCO$ 四原子体系[JCP, 138, 154301 (2013); JCP, 138, 221104 (2013)]， $H+CH_4$ 等六原子体系[JCP, 142, 204302 (2015)]，它们代表了这些体系目前最精确的势能面，为精确研究这些反应的动力学行为奠定了基础。

2、化学反应共振态的研究

对于 $F/Cl+H_2$ 这两个反应体系，在新构造的高精度势能面基础上，用量子动力学方法研究了这些体系详细的微分反应截面等信息，并能与高分辨的分子束实验取得高度吻合的结果，从而用于解释实验现象。我们在实验与理论上研究了 F 原子与振动激发的 H_2 分子的反应，发现了一个只能由振动激发态分子参与才能引起的反应共振，相关结果以共同第一作者身份发表在《科学》杂志[Science, 342, 1499 (2013)]。在进一步的工作中，我们继续研究了 Cl 原子与振动激发的 HD 分子的反应，

在 CIH_2 体系中首次发现了反应共振态。理论分析表明，这个共振态的产生是由于在振动激发的 HD 参与反应时，由于在反应过渡态区域化学键的软化，使得非绝热振动曲线上在势垒的位置出现了势阱的形状，从而能束缚住一些量子态。这也表明化学反应共振态可能会广泛存在于各种振动激发的分子参与的化学反应中，相关结果以**共同第一作者身份**发表在《科学》杂志[**Science 347, 60 (2015)**]。

江嵩，男，1989年1月出生。2010年7月于大连理工大学获学士学位，2010年至今在中国科学技术大学量子信息与量子科技前沿协同创新中心硕博连读进行研究工作，主要从事超高空间分辨的针尖增强拉曼技术的应用研究。曾获得国家奖学金（2015年）等学术奖励。已取得的主要研究成果如下：我们通过选取两种结构相似的卟啉衍生物分子，利用独特的非线性 **TERS** 技术，成功实现了接触距离在范德华相互作用范围内（约 0.3 nm ）的相邻不同卟啉分子的拉曼识别；并结合简单的理论模型和计算，进一步确认了分子在表面上的吸附构型。此项工作以**第一作者身份**发表于《自然·纳米技术》[**Nature Nanotechnology 10, 865 - 869 (2015)**]。在纳米尺度上对不同物质的进行化学识别一直是纳米技术的一个重要目标。针尖增强拉曼（**TERS**）技术是一种新兴的表面分析技术，它结合了拉曼光谱技术高化学灵敏度和扫描探针显微术高空间分辨的双重优势。我们在前期工作中展示了 **TERS** 技术具有亚纳米空间分辨的化学识别能力。然而实际的微观体系常由不同的分子所组成，该工作所展示的相邻不同分子的识别能力进一步表现了 **TERS** 技术在纳米尺度上的分析能力。审稿者称赞“这是一项非常令人惊讶的前所未有的工作，它实现了分析化学领域的终极目标之一，即在分子分辨水平上实现不同分子及其化学状态的识别。”

陈锬，男，1988年4月出生。2011年7月于中国科学大学获学士

学位，2011 年至今在中国科学技术大学合肥微尺度国家实验室硕博连读进行研究工作，主要从事基于强关联量子系统的研究。曾获得第 30 届郭沫若奖学金（2010 年）、研究生特别奖学金（2011 年）、首届吴杭生教授纪念奖学金（2012 年）、硕士研究生国家奖学金（2013）、博士研究生国家奖学金（2015）等奖励。已取得的主要研究成果如下：

1、超冷原子气中希格斯激发子的研究

在极低温度下，光晶格中的超冷玻色子气体既可以处于莫特绝缘态也可以处于超流态。而两个态之间则是一个超流体—莫特绝缘体相变点——也就是所谓的量子临界点。在这一临界点附近，虽然系统本身只具有伽利略不变性，但是系统的有效场论却具有涌现出来的相对论不变性，其中的速度上限由系统中的声速给出。由此系统中除了声子激发外，还有带质量的希格斯激发子。我们使用没有系统误差的路径积分蒙特卡洛方法计算了量子临界点附近超流体中的希格斯激发子的普适行为，证明了二维系统中这一激发子是可以探测的。并以第一作者身份发表《物理评论快报》[*Phys. Rev. Lett.* **110**, 170403 (2013)]。此后，我们又发展了一套第一性原理计算方法，不仅重现超冷原子实验的结果 *Nature* **487**, 454 (2012)，还详细地计算了在超冷原子气的实验中观测该激发子的具体条件，为下一步实验指明了方向。工作以通讯作者身份发表于 *Phys. Rev. B.* [PRB 92, 174521 (2015)]，后者被选为当期的 Editor's suggestion。

2、超冷原子气检验凝聚态中的规范/引力对偶(AdS/CFT correspondence)理论

近年来，人们开始尝试把源于弦论的规范/引力对偶理论应用到强关联凝聚态系统的研究中。即利用该对偶原理，通过对弱关联的引力理论的计算，来研究强关联的由共形场论所描述的凝聚态系统。对于(2+1)维的共形场论，人们写下了所有可能的引力理论并求出这些系统可能的交流电导率的曲线簇。而二维超流体—莫特绝缘体相变点附近，即由一个(2+1)维的共形场论所描述，因此通过计算该相变点附近的交流电

导率，即可实现上述对偶理论的检验。我们使用没有系统误差的基于路径积分的量子蒙特卡洛方法计算了临界点附近的普适电导率，并与理论预言相比较，发现当时已有的理论并不能描述该临界点附近的物理，该工作并以第一作者发表于《物理评论快报》[**Phys. Rev. Lett. 112, 030402 (2014)**]，并被选为当期的 **Editor's suggestion**。有趣的是，人们随后发现对于某些强关联系统，此前的引力理论需要引入额外的修正项。而修正后引力理论可以正确拟合我们计算的超流体—莫特绝缘体相变点附近的电导率。相关工作正在写作。需要指出的，我们的工作还讨论了如何利用超冷原子验证凝聚态中的规范/引力对偶原理；如果能够实现，那么这将是第一次在实验中检验源于弦论的规范 / 引力对偶原理。

3、解禁闭相变理论的研究

近年来，人们提出了一种新的可能的相变类型，即解禁闭临界性 (**deconfined quantum criticality**)。该相变理论超越了传统的朗道—金兹堡理论的范畴。它指出，在量子自旋系统中，反铁磁序与共价键晶体 (**valence bond solid**)序之间的相变点，可能是一种自旋液体。我们研究了一种带有四体相互作用的自旋模型。该模型具有反铁磁—共价键晶体相变点。而数值计算获得的重整化流则证明，该相变点与解禁闭临界点属于相同的普适类，从而证明该自旋模型在很大尺度范围内，确实由解禁闭相变理论所描述。该工作第一次明确表明了解禁闭相变理论可以描述实际的量子系统，最终以第一作者发表于《物理评论快报》[**Phys. Rev. Lett. 110, 185701 (2013)**]。

富尧，女，1990年6月出生。2012年7月于陕西师范大学获学士学位，同年保送至中国科学技术大学攻读博士学位，从事量子物理基础理论和量子通信理论方面的研究工作。曾获得第十一届全国大学生英语竞赛国家级特等奖、第三届全国大学生英语风采大赛一等奖等奖项。2011年12月进入量子物理与量子信息研究部学习并完成本科毕业论文，

获得校级优秀毕业论文荣誉。曾获得硕士研究生国家奖学金(2014年)、博士研究生国家奖学金(2015年)等学术奖励。已取得的主要研究成果如下:

1、在国际上首次提出了百公里量级分发后选择多光子纠缠态并进行多方量子通信的实用化方案

多方量子通信旨在为多用户保密通信提供基于量子力学原理的安全性。目前的多方量子通信协议如量子秘密共享、量子秘密会议、三人量子密码等都需要一个重要的资源——完美关联的多光子纠缠态。然而,缺乏高亮度多光子纠缠源、难以远距离高保真地分发多光子纠缠态极大制约了多方量子通信的实用化。比如,目前最远的三光子纠缠态实验分发距离仅为1公里[Nat. Photonics 8, 292 (2014)]。我们提出了一个可以在百公里量级分发后选择多光子纠缠态并进行多方量子通信的实用化方案,结合诱骗态和测量设备无关的量子密钥分发技术,该方案可以利用传统激光源实现多用户间的远距离多光子纠缠分发,并由此实现多方量子通信。该方案可以抵御所有的探测器攻击和光源的光子数分离攻击,同时,用纠缠纯化技术保证多方量子密钥的无条件安全。该研究结果既不需预先制备多光子纠缠态,也无需远距离分发高保真多光子纠缠态,大大提高了利用多光子纠缠态的多方量子通信实验的传输距离和成码率,使实际应用测量设备无关的多方量子通信成为可能。此项工作以第一作者身份发表于《物理评论快报》[Phys. Rev. Lett. 114, 090501 (2015)]。审稿人认为该理论方案在现有技术下可实现并可直接实用、实现了对多方量子密钥分发距离约两个数量级的提升,在实用化、远距离多方量子通信方面迈出了重要的一步。

2、在国际上首次提出连续变量系统熵贝尔不等式的量子力学破坏

贝尔不等式是用来检验爱因斯坦局域实在论的定量判定方式,目前大多数的贝尔不等式是基于量子比特的离散变量,特别是基于光子比特的贝尔不等式实验已经演示了很多次。由于各种漏洞的存在,导致是否

存在隐变量理论一直争论不休。基于光量子比特的贝尔不等式实验存在单光子探测器效率不够高的探测漏洞,同时存在避免远距离衰减而带来的局域漏洞。然而我们的连续变量熵贝尔不等式方案基于零拍差分测量及脉冲连续变量纠缠系统可以有效克服局域漏洞和探测漏洞,从而为实现无漏洞的贝尔不等式开辟了一条新的道路。该成果以共同通讯作者身份发表于《物理评论 A》[Physical Review A 90, 022124 (2014)]。

管建宇, 男, 1992 年 7 月出生。2012 年 7 月于中国科学技术大学获学士学位, 2012 年至今在中国科学技术大学中科院量子信息重点实验室硕博连读进行研究工作, 主要从事基于光纤通信的量子密钥分发和相关的量子密码方面的研究。曾获得微尺度国家实验室新生入学奖学金(2012 年)。已取得的主要研究成果如下:

1、首次实现了高容错率量子密钥分发的原理验证性实验

目前的量子密钥分发协议, 由于无法有效的估计出窃听者获得的信息量, 从而对信道的抗干扰性提出了很高的要求。通常使用的 BB84 方案, 单向纠错下无法容忍超过 11% 的错误率。2014 年, Nature 上的一篇文章提出了新的协议, 理论上可以容忍 50% 的错误率。然而该协议对实验要求很高, 我们经过研究, 提出了用被动的方式实现原协议中的测量。同时我们也做了一个原理验证性实验, 演示了在超过 25% 误码率的情况下确实能够得到安全的密钥, 并且传输距离达到了 50 公里。

该实验以第一作者的身份发表于《物理评论快报》上[Phys. Rev. Lett 114, 180502 (2015)], 并被《物理评论快报》审稿人评论为“这是一个重要而具有影响力的结果”和“吸引 QKD 领域的研究者以及量子光学和信息安全学术圈的广泛兴趣”。这意味着在一些高干扰的信道中, 也可以实现安全的信息传输。这对于之前的量子密钥分发协议来说是不可能完成的任务。

2、参与了设备无关量子密钥分发的长距离和外场实验

量子密钥分发从理论上是无条件安全的，然而在实际应用中，由于各设备的诸多不完美性，使得窃听者可以利用特定的漏洞进行攻击，其中最容易实现也种类最多的是针对探测器的攻击。设备无关量子密钥分发的协议，通过巧妙的设计测量方案，完全关闭了针对探测系统的攻击，使得量子密钥分发在实际应用中的安全性大大提高。之前的此类实验只在不超过 50 公里的距离下，实现了不到 1 比特每秒的成码率，与实际需求大为脱节。我们通过优化参数，提高系统重复频率，优化系统性能，在 50 公里的距离上达到了接近 100 比特每秒的成码率，并且最远成码距离达到了 200 公里。该实验发表在 2014 年的《物理评论快报》上(Phys. Rev. Lett, 113, 190501)，该工作被《物理评论快报》审稿人评论为“实用量子密钥分发的重要里程碑”和“物理和技术上的重大进展”，并被《物理评论快报》选为“编辑推荐”论文，欧洲物理学会下属网站《物理世界》也以“安全的量子通信传输到远距离”为题，对其进行了报道。同时我们还在外场光纤的情况下做了测试，在实际的光纤系统中也获得了安全的密钥，文章发表在 2015 年的 IEEE 旗下《量子电子学选题》杂志上 (IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 21, 6600407)。这意味着更安全的量子密钥分发协议可以被用于实用的城域通信中。

邓光伟，男，1987 年 11 月出生。2011 年 7 月于中国科学技术大学获学士学位，2011 年至今在中国科学技术大学中科院量子信息重点实验室硕博连读进行研究工作，主要从事半导体量子芯片的实验研究。曾获得中航科技集团 CASC 一等奖（2015 年）、国家奖学金（2015 年）、中科大物理学院学术论坛一等奖(2015 年)以及五校联盟学术论坛一等奖（2015 年）等学术奖励。已取得的主要研究成果如下：

- 1、在国际上首次实现石墨烯量子点和超导微波腔的耦合实验

石墨烯量子点被认为是一种易于集成的量子比特载体，集成化的量子芯片依赖于超导微波腔作为数据总线,到目前为止石墨烯量子点和超

导微波腔的耦合一直都没有实现。我们基于现代半导体微纳米加工技术,自己设计了一种新型的反射式超导谐振腔(申请了专利 CN204497356U 以及 CN203339284U),利用该谐振腔和量子点的耦合取得系列进展,并以合作作者身份发表于 Appl. Phys. Lett. [Appl. Phys. Lett. 104, 083511 (2014). Appl. Phys. Lett. 105, 073510 (2014).]以及 Rev. Sci. Instrum. [Rev. Sci. Instrum. 86, 023108 (2015)].基于这些进展,我们利用刻蚀型的石墨烯双量子点作为人造量子比特,实现了该量子比特和超导微波腔的色散耦合,耦合强度达到 30 兆赫兹。此实验以第一作者身份发表于《物理评论快报》[Phys. Rev. Lett. 115, 126804 (2015)],并得到审稿人的高度评价:“这是一项非常有趣、非常成功的实验工作,实验设计非常具有原创性。除了技术上的极大挑战之外,这项实验更令人耳目一新的是发现了石墨烯量子比特退相干的电荷数目依赖性,为整个领域长期寻找的石墨烯四重简并提供了新的观测平台,因而我非常高兴地推荐它的发表。”在此文章发表之前我们该研究成果在正式发表前曾提交到学术网 arxiv,引起人们的广泛关注(arxiv: 1310:6118)。这项工作正式发表前即被 Science、PRL 等正面引用 20 余次,在 PRL 发表后,被 Nature Index 以标题“Alliances for scientific success”作为近期中国科研成果的成功典范被重点推荐[Nature 528, S187-S189 (2015)]。

2、在国际上首次实现芯片上的两个量子比特长程耦合

目前国际上公认为芯片上量子比特耦合的量子总线需要依赖超导传输线谐振腔来完成。而基于量子点和超导腔的耦合体系目前处于研究起步阶段,两个量子点比特怎样通过超导腔长程地耦合起来是一个大家共同关注的问题。但这样的实验对样品加工和测量都提出了巨大的挑战。我们巧妙地把石墨烯大块切割成两个独立的区域,从而制备了相距 60 微米的两个量子点,并实现了它们分别和超导微波腔的色散耦合。实验结果以第一作者身份发表于 Nano Lett. [Nano Lett. 15, 6620 (2015)]。审稿人评价该实验“在许多方面都令人印象深刻,比如高难度的加工制备

技术，器件的表征、测量等等。通过微波腔耦合相干导体无疑是整个领域大家重点关注的目标，而这项工作显然在此方向上迈出了非常重要的一步。基于以上种种原因，我很高兴建议该文章在《纳米快报》上发表。”

张琪，男，1989年8月出生。2011年6月于山东大学获学士学位，2011年至今在中国科学技术大学近代物理系硕博连读进行研究工作，主要从事基于金刚石氮-空位色心的微观磁共振研究。曾获得国家奖学金（2013年）、中科院院长特别奖（2015年）、中国分析测试协会科学技术奖（CAIA）特等奖（团队，2015年）等学术奖励。作为学术骨干之一，其工作入选2015年度“中国高等学校十大科技进展”。研究生期间，共同搭建了新型光探测磁共振平台，并在该平台上完成了如下工作：

1、获得世界上首张单个蛋白质分子的磁共振谱

磁共振技术广泛应用于材料、化学和生命科学等领域。然而当前通用的磁共振谱仪受制于探测方式，其探测灵敏度通常为数十亿个分子，成像分辨率仅为毫米量级，无法观测到单个分子的独特信息。利用金刚石中的氮-空位色心作为量子探针，采用自旋量子干涉仪探测原理，结合自主发展的量子操控技术和实验装置，我们成功获取了单个蛋白质分子的顺磁共振谱，并通过对谱线的模拟推测出分子的动力学过程。尤其该实验在室温大气下进行，对生命科学研究极为重要。另外我们惊奇地发现自由基标记具备足够长的相干时间，允许实现相干的量子操控——拉比振荡。生物分子上的量子相干，除了其本身固有的独特趣味之外，也使得人们可以将传统核磁共振和量子计算中日益成熟精巧的调控技术应用到单分子研究中。该工作以并列第一作者身份发表在《科学》杂志 [**Science, 347, 1135-1138 (2015)**]。Science 将其选为研究亮点并配发专文报道，称为“通往活体细胞单蛋白分子实时成像的重要里程碑”，“实现了一个崇高的目标”。美国化学会 Chemical & Engineering News、Eurekalert.org、德国马普所网站、Phys.org 等国际知名媒体和机构纷纷

撰文介绍和评价这一重大研究进展。

2、室温固态单自旋的量子调控工作

金刚石中的氮-空位色心在室温下具备优异的光探测磁共振性质，对其进行量子调控的研究，在量子计算、量子精密测量等多个方向都具备重要的应用价值。作为主要完成人之一，进行了一系列室温固态单自旋的量子调控工作：首次观察到多次朗道-齐纳隧穿形成的拉比振荡 [Phys. Rev. Lett. 112, 010503], 并验证该方法可以有效抑制驱动场噪声带来的操控误差；实现动力学纠错的单比特量子门 [Phys. Rev. Lett. 112, 050503], 抑制环境噪声带来的操控误差；实现了对单个暗电子自旋的探测和极化 [Phys. Rev. B 87, 195414]。

张伟，男，1990年2月出生。2012年6月于上海理工大学获学士学位，2012年至今在中国科学技术大学中科院量子信息重点实验室硕博连读进行研究工作，主要从事基于冷原子系统的量子存储的实验研究。曾获得硕士生国家奖学金（2014年）。已取得的主要研究成果如下：

1、在国际上首次实现基于拉曼过程的光子混合纠缠态的量子存储
实现宽带、高速的信息传输和处理是所有通信系统追求的目标，量子通信也不例外，因而宽带光子纠缠态的存储自然成为构建高速量子网络的基础，也是量子信息技术走向实用化和普及化必须解决的关键技术之一。以冷原子体系为基础，我们实现了光子纠缠制备，存储以及读取过程，以主要作者身份(包含第一作者，共同作者，第二作者)发表论文于 Optica [Optica 2, 642-645 (2015)]; CHIN.PHYS.LETT. [CHIN.PHYS.LETT. 31, 064208 (2014)]; Phys. Rev. Lett. [Phys. Rev. Lett. 114, 050502 (2015).]; Phys. Rev. A [Phys. Rev. A 90, 042301 (2014)]. 在众多量子存储方案中，拉曼存储协议相比于其它方案如电磁诱导透明协议等具有很多优点，如可以实现宽带信号存储、存储信号的频率具有可调性等。由于该协议具备实现宽带、高速信息处理的潜力，因而成为近年

来量子存储研究领域的一个热点方向。借助于巧妙设计的 Sagnac 干涉仪,在国际上首次利用拉曼存储协议分别成功地实现了单光子的路径和偏振混合纠缠态以及双光子偏振纠缠态的量子存储,所有实验数据均清晰地证明了偏振纠缠的高保真存储。该成果以并列第一作者身份发表在《自然·光子学》杂志上[Nature Photonics 9, 332 - 338 (2015)],该杂志审稿人认为:“这是该领域第一个标志性成果,为该热点研究领域建立了一个基准点。”它的实现无疑为未来构建基于光纤系统的高速量子网络以及高速线性量子计算奠定坚实基础。

2、实现了利用四波混频基于轨道角动量光的精密旋转角度控制

近年来,光与原子的非线性效应越来越多的应用于传感,控制等方面。我们利用简易的铷原子蒸汽池,实验上首次实现了利用四波混频基于轨道角动量光的精密旋转角度控制,以第一作者身份发表于 Applied Physics Letter [Applied Physics Letter, 104, 171103 (2014)].。审稿人评价“该成果对于偏振的精密控制具有重要的意义。”

伏启,男,1991年6月出生。2013年7月于中国科学技术大学化学与材料科学学院材料科学与工程系获得学士学位,并获得本校免试推荐研究生资格,2013年9月至今在中国科学技术大学材料科学与工程系进行学习研究工作,主要从事低维半导体材料的制备、表征和应用方面的研究。曾获得研究生国家奖学金(2015年度)。已取得的主要研究成果如下:

1.在国际上首次实现硫硒化钨合金单层二维薄膜的制备和表征

石墨烯及类石墨烯低维材料近年来成为了国际上最为热门的研究对象之一。特别地,对于过渡族金属硫属和硒属化物的研究进一步发掘了此类材料在半导体电子器件、光学器件和电化学催化方面的广阔前景。基于对此类材料的一系列基础研究,我们利用 CVD 法,尝试在二硫化钨的单层薄膜中加入硒元素成分,成功得到了一系列高质量单层合金薄

膜，其直接带隙在二硫化钨直接带隙宽度 ($\sim 2\text{eV}$) 与二硒化钨直接带隙宽度 ($\sim 1.6\text{eV}$) 之间连续可变。同时我们对不同硫硒元素比例的合金单层薄膜进行了各项测试，从实验数据和计算模拟等方面详细讨论了硫硒化钨合金单层薄膜性能随硫硒元素比值变化所发生的转变，展示了这种新型合金单层薄膜材料在光电子器件以及电催化产氢方面的优越性能。该工作以第一作者身份发表于《先进材料》[*Adv. Mater.*, **27**, 4732 (2015)]。同时，我们在硫硒化钨合金单层薄膜方面的工作同样取得了良好的效果。依靠优良而且稳定的制备方法，我们所制备的材料表现出优越的光学和电化学性能，工作成果发表于《纳米尺度》[*Nanoscale*, **7**, 10490 (2015)]。

2. 对过渡族金属硫属化物的生长机理的深入研究

虽然低维材料目前是国际研究的热点，但不同材料体系的可控制备仍然是阻碍研究进程的一大难题。我们利用简单的 CVD 法，对过渡族金属硫属化物在硅基底上的生长进行了系统详细的研究。通过调节影响 CVD 生长的一系列变量（源的用量、生长温度、载气流速等），我们对于这些变量对生长的影响获得了较为准确的认知，并通过对生长所得样品的一系列表征，确定了最适宜该种单层薄膜生长的各项参数。该工作以第一作者身份发表于《英国皇家化学学会进展》[*RSC Advances*, **5**, 15795 (2015)]。

李运美，男，1989 年 8 月出生。2012 年 7 月于南开大学获学士学位，2012 年至今在中国科学院大学中科院半导体研究所硕博连读进行研究工作，主要从事凝聚态系统中衍生规范场和二维材料新奇物性的理论研究。已取得的主要研究成果如下：

- 1、在六角光子晶体中通过应变实现了对光束谷间分离和调控
光子晶体类似于固体晶体，存在光子能带等特性，可用于调控光的传输特性，近年来受到了持续关注。从石墨烯中的新奇物性受到启发，

我们和上海复旦大学实验组合作，制备出六角光子晶体，将处于不同谷的光束分离。通过对光子晶体施加应变，可以调控光的传输路径。文章以理论第一作者的身份发表于 *Optics Letters* 40, 3380 (2015).

2、提出了激子的自旋霍尔效应

单层过渡金属硫族化合物作为新的二维半导体材料，因其独特的光电特性近年来受到持续的关注。特别是二维材料激子的束缚能可达几百个毫电子伏，使得实验观测室温激子效应成为可能。二维材料层间耦合是弱的范德瓦尔斯力，因此可以将不同的二维材料堆垛组成范德瓦尔斯异质结，避免了传统半导体异质结晶格匹配的限制条件。特别是由不同的过渡金属硫族化合物堆垛组成范德瓦尔斯异质结表现出 II 型电子结构，电子空穴会自动分离而形成寿命很长的层间激子，近期的实验观测证实了这一点。

激子作为电中性的玻色子，实验上很难用电场和磁场来操控它的运动。我们和合作者利用量子光学的办法，通过两束光耦合层间激子内部的三能级系统，利用玻恩-奥本海默近似，可以演生出作用在激子的质心运动上的附加规范场项，相当于激子处在有效磁场中运动。而处在两个不同内部态(赝自旋)上的激子，规范场大小相同，符号相反，等价于相反自旋的激子处在相反的磁场下运动。这样，能够将不同自旋态的激子空间分离，即实现激子的自旋霍尔效应。近年来，自旋霍尔效应在实验上和理论上已有了广泛的研究，人们将自旋霍尔效应推广到光子和冷原子体系，而该工作则将其推广到中性的固态元激发-激子体系，对于深入研究激子的新奇物理效应提供了新的手段。文章以第一作者的身份发表在《物理评论快报》 [*Phys. Rev. Lett.* 115, 166804 (2015)]。

李宇怀，男，1989年3月出生。2011年7月于中国科学技术大学获学士学位，2011年至今在中国科学技术大学近代物理系硕博连读进行研究工作，主要从事基于光学的量子信息实验研究。曾获得量子信息

与量子科技前沿协同创新中心优秀研究生奖二等奖(2014 年)等学术奖励。已取得的主要研究成果如下：

1、设计并研制成功了高稳定性、高保真度、高效率的可扩展自由空间干涉仪阵列（PD 干涉仪）

在线性光学量子信息领域，干涉仪是操作光子量子态的基本单元，集成的大规模干涉仪阵列则是实现有效量子模拟和量子计算算法的必要设备。然而目前自由空间干涉仪一直存在稳定性差、装调困难的问题；集成光学干涉仪则需要面对效率低、制造设备昂贵的问题。我们基于光胶粘接的偏振分束器阵列，使自由空间干涉仪可以在实验室内无特殊控温、隔震措施的条件下，保持>99.99%的干涉可见度 24 小时以上。同时，由于 PD 干涉仪使用了成熟的光学晶体、镀膜技术，可以达到每个干涉仪>99.6%的效率，远高于基于集成光学的波导干涉仪阵列，且器件制造和装校技术简单，不需要使用昂贵的微纳加工设备。使用 PD 干涉仪技术构建的自由空间干涉仪阵列可以实现[*Science* 14,349(2015)]中的波导干涉仪阵列的技术指标。通过结合量子多光子源和 PD 干涉仪阵列，将可以实现多个光子的波色采样。理论模拟结果表明，30 个光子的波色采样就已超过了普通个人计算机的计算能力，而仅仅 40~50 个光子的波色采样就已超过了天河 2 号的计算能力。通过扩大干涉仪阵列的规模，量子模拟和量子计算的能力很快将超越现有的超级计算机，展现出量子指数加速的强大潜力。

尹华磊，男，1989 年 7 月出生。2012 年 7 月于中国科学技术大学获学士学位，2011 年 3 月至今在中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家实验室量子物理与量子信息研究部进行研究工作，主要从事量子通信的实验与理论研究。曾获得硕士研究生国家奖学金（2013 年）、中科院朱李月华优秀博士生奖（2015 年）等学术奖励。已取得的主要研究成果如下：

1、从抵御量子黑客攻击的量子密钥分发的原理验证实验到实际外场部署

信息安全对于当前及今后信息全球化的社会无疑是非常重要的,量子保密通信是以量子力学的基本原理为基础保证通信双方能够处于物理水平的绝对安全。基于传统 BB84 协议的量子密钥分发的无条件安全性基于信任量子态制备与探测的实验装置。然而,实验发现,随着量子黑客攻击能力的快速发展,单光子探测器容易受到各种攻击,导致传统 BB84 协议的量子密钥分发可以被完美窃听。测量设备无关的量子密钥分发协议首次在理论上解决了探测系统易受攻击的问题,大大提高了 QKD 系统的实际安全性。通过发展独立激光器干涉技术和高精度的时间相位比特制备技术,结合室温下的上转换单光子探测器,我们完成了国际上第一个完整的测量设备无关的量子密钥分发实验,在 50km 处得到安全成码。相关成果发表于《物理评论快报》[Phys. Rev. Lett. 111, 130502 (2013)],该工作被美国物理学会评为 2013 年物理学年度重要进展。随后,我们发展高速电信号调制系统和光学精确波长调控技术,结合超导单光子探测器和严格的有限密钥安全分析,使该方案的安全距离突破至 200 公里,并将成码率提高了 3 个数量级。相关成果以第二作者身份发表于《物理评论快报》[Phys. Rev. Lett. 113, 190501 (2014)],该工作入选 2014 年中国十大科技进展新闻。随后我们将电子学系统、光学系统和反馈系统分别集成到可移动的机柜中,通过发展抗外界环境干扰的反馈技术实现了在合肥市三个地区进行抵御量子黑客的量子密钥分发外场实验。相关成果以并列第一作者身份发表于《量子电子学选题》[IEEE. J. Sel. Top. Quant. 21, 6600407 (2015)]。

2、安全的远距离实用化量子密码学理论与实验研究

量子密钥分发结合一次一密原理可以实现无条件安全的保密通信。光纤作为量子信道被广泛应用到各个量子密钥分发实验中,由于光纤介质存在损耗,携带量子信息的载体是单光子,因而当前的量子密钥分发

实验都局限在 300km 以内。然而，实现远距离的量子密钥分发是一个重要的实际应用需求。我们通过研究相干叠加态光源结合测量设备无关技术实现了超过 400km 的安全量子密钥分发。相关成果以第一作者身份发表于《光学快报》[Opt . Lett. 39, 5451 (2014)]。量子密钥分发实现了两个参与方的安全加解密通信任务，然而还不能解决多参与方的密码学任务，比如量子秘密共享、量子秘密会议以及三人量子密码等。我们提出基于后选择 GHZ 态测量技术的理论方案，将多方量子通信安全距离提高了两个数量级至百公里的同时免疫所有探测器漏洞攻击。相关成果以并列第一作者发表在《物理评论快报》[Phys. Rev. Lett. 114, 090501 (2015)]。量子密钥分发的量子态制备也可能存在漏洞而受到量子黑客攻击，我们理论上提出了对相位非随机化量子密钥分发系统的攻击，通过发展集成强度调制器的高性能不等臂干涉仪，我们实验演示了国际上第一个光源漏洞的攻击。相关成果以第二作者身份发表于《物理评论 A》[Phys. Rev. A 88, 022308 (2013)]。