

|        |      |
|--------|------|
| 批准立项年份 | 2009 |
| 通过验收年份 | 2012 |

# 教育部重点实验室年度报告

(2017年1月——2017年12月)

**实验室名称：人工结构及量子调控教育部重点实验室**

**实验室主任：沈文忠**

**实验室联系人/联系电话：蒋震宗/021-54743242**

**E-mail 地址：wzshen@sjtu.edu.cn; zzjiang@sjtu.edu.cn**

**依托单位名称：上海交通大学**

**依托单位联系人/联系电话：谭华/021-34206894**

2018年3月9日填报

## 填写说明

一、年度报告中各项指标只统计当年产生的数据，起止时间为1月1日至12月31日。年度报告的表格行数可据实调整，不设附件，请做好相关成果支撑材料的存档工作。年度报告经依托高校考核通过后，于次年3月31日前在实验室网站公开。

二、“研究水平与贡献”栏中，各项统计数据均为本年度由实验室人员在本实验室完成的重大科研成果，以及通过国内外合作研究取得的重要成果。其中：

1.“论文与专著”栏中，成果署名须有实验室。专著指正式出版的学术著作，不包括译著、论文集等。未正式发表的论文、专著不得统计。

2.“奖励”栏中，取奖项排名最靠前的实验室人员，按照其排名计算系数。系数计算方式为： $1/\text{实验室最靠前人员排名}$ 。例如：在某奖项的获奖人员中，排名最靠前的实验室人员为第一完成人，则系数为1；若排名最靠前的为第二完成人，则系数为 $1/2=0.5$ 。实验室在年度内获某项奖励多次的，系数累加计算。部委（省）级奖指部委（省）级对应国家科学技术奖相应系列奖。一个成果若获两级奖励，填报最高级者。未正式批准的奖励不统计。

3.“承担任务研究经费”指本年度内实验室实际到账的研究经费、运行补助费和设备更新费。

4.“发明专利与成果转化”栏中，某些行业批准的具有知识产权意义的国家级证书（如：新医药、新农药、新软件证书等）视同发明专利填报。国内外同内容专利不得重复统计。

5.“标准与规范”指参与制定国家标准、行业/地方标准的数量。

三、“研究队伍建设”栏中：

1.除特别说明统计年度数据外，均统计相关类型人员总数。固定人员指高等学校聘用的聘期2年以上的全职人员；流动人员指访问学者、博士后研究人员等。

2.“40岁以下”是指截至当年年底，不超过40周岁。

3.“科技人才”和“国际学术机构任职”栏，只统计固定人员。

4.“国际学术机构任职”指在国际学术组织和学术刊物任职情况。

四、“开放与运行管理”栏中：

1.“承办学术会议”包括国际学术会议和国内学术会议。其中，国内学术会议是指由主管部门或全国性一级学会批准的学术会议。

2.“国际合作项目”包括实验室承担的自然科学基金委、科技部、外专局等部门主管的国际科技合作项目，参与的国际重大科技合作计划/工程（如：ITER、CERN等）项目研究，以及双方单位之间正式签订协议书的国际合作项目。

# 一、简表

|                |       |                   |                  |                |      |          |
|----------------|-------|-------------------|------------------|----------------|------|----------|
| 实验室名称          |       | 人工结构及量子调控教育部重点实验室 |                  |                |      |          |
| 研究方向<br>(据实增删) |       | 研究方向 1            | 人工材料物性的计算研究与结构设计 |                |      |          |
|                |       | 研究方向 2            | 半导体量子结构与量子过程调控   |                |      |          |
|                |       | 研究方向 3            | 高温超导材料生长调控与机理    |                |      |          |
|                |       | 研究方向 4            | 表面和界面量子现象与调控     |                |      |          |
|                |       | 研究方向 5            | 小量子系统凝聚态理论       |                |      |          |
| 实验室主任          | 姓名    | 沈文忠               | 研究方向             | 半导体量子结构与量子过程调控 |      |          |
|                | 出生日期  | 1968-5-22         | 职称               | 教授             | 任职时间 | 2009 年-今 |
| 实验室副主任         | 姓名    | 贾金锋               | 研究方向             | 表面和界面量子现象与调控   |      |          |
|                | 出生日期  | 1966-3-27         | 职称               | 教授             | 任职时间 | 2012 年-今 |
| 实验室副主任         | 姓名    | 朱卡的               | 研究方向             | 小量子系统凝聚态理论     |      |          |
|                | 出生日期  | 1960-6-15         | 职称               | 教授             | 任职时间 | 2012 年-今 |
| 实验室副主任         | 姓名    | 钱冬                | 研究方向             | 表面和界面量子现象与调控   |      |          |
|                | 出生日期  | 1977-1-24         | 职称               | 教授             | 任职时间 | 2012 年-今 |
| 学术委员会主任        | 姓名    | 甘子钊               | 研究方向             | 高温超导材料生长调控与机理  |      |          |
|                | 出生日期  | 1938-4-16         | 职称               | 教授(院士)         | 任职时间 | 2009 年-今 |
| 研究水平<br>与贡献    | 论文与专著 | 发表论文              | SCI              | 52 篇           | EI   | 0 篇(未统计) |
|                |       | 科技专著              | 国内出版             | 0 部            | 国外出版 | 0 部      |
|                | 奖励    | 国家自然科学奖           | 一等奖              | 0 项            | 二等奖  | 0 项      |
|                |       | 国家技术发明奖           | 一等奖              | 0 项            | 二等奖  | 0 项      |
|                |       | 国家科学技术进步奖         | 一等奖              | 0 项            | 二等奖  | 0 项      |
| 省、部级科技奖励       |       | 一等奖               | 0 项              | 二等奖            | 0 项  |          |

|            |              |                 |                                 |                  |                  |  |
|------------|--------------|-----------------|---------------------------------|------------------|------------------|--|
|            | 项目到账总经费      | 2088.48 万元      | 纵向经费                            | 1791.68 万元       | 横向经费             | 296.8 万元   |
|            | 发明专利与成果转化    | 发明专利            | 申请数                             | 9 项              | 授权数              | 7 项  |
|            |              | 成果转化            | 转化数                             | 2 项              | 转化总经费            | 成果年度产值：<br>超过 6.5 亿                              |
|            | 标准与规范        | 国家标准            | 0 项                             |                  | 行业/地方标准          | 0 项  |
| 研究队伍<br>建设 | 科技人才         | 实验室固定人员         | 42 人                            | 实验室流动人员          | 16 人             |  |
|            |              | 院士              | 1 人                             | 千人计划             | 长期 2 人<br>短期 0 人 |  |
|            |              | 长江学者            | 特聘 5 人<br>讲座 1 人                | 国家杰出青年基金         | 6 人              |  |
|            |              | 青年长江            | 1 人                             | 国家优秀青年基金         | 0 人              |  |
|            |              | 青年千人计划          | 7 人                             | 其他国家、省部级<br>人才计划 | 30 人             |  |
|            |              | 自然科学基金委<br>创新群体 | 1 个                             | 科技部重点领域创新团队      | 1 个              |  |
|            |              | 教育部创新团队         | 2 个                             |                  |                  |  |
|            | 国际学术<br>机构任职 | <b>姓名</b>       | <b>任职机构或组织</b>                  |                  |                  | <b>职务</b>  |
|            |              | 刘 茨             | 美国物理学会（APS）                     |                  |                  | 会士   |
|            |              | 贾金锋             | 《Surface Review and Letters》    |                  |                  | 副主编  |
|            |              | 马红孺             | 《Chinese Physics Letters》       |                  |                  | 副主编  |
|            |              | 贾金锋             | 《Advanced Quantum Technologies》 |                  |                  | 编委   |
|            |              | 贾金锋             | 《Nature quantum materials》      |                  |                  | 编委   |
|            |              | 贾金锋             | 《Condensed Matter》              |                  |                  | 编委   |
|            |              | 沈文忠             | 《Nano-Micro Letters》            |                  |                  | 编委   |
|            |              | 刘灿华             | 美国物理联合会（AIP）                    |                  |                  | AIP<br>Publication<br>China<br>Advisory<br>Board |
|            |              | 朱卡的             | 《EPJ Quantum Technology》        |                  |                  | 编委   |
|            |              | 朱卡的             | 《Scientific Reports》            |                  |                  | 编委   |

|           |                |                    |     |   |   |        |   |
|-----------|----------------|--------------------|-----|---|---|--------|---|
|           |                | 刘 荧                |     | 《Chinese Physics B》   |   |        | 编委                                      |
|           |                | 沈文忠                |     | International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC) |   |        | International Advisory Committee Member |
|           |                | 沈文忠                |     | International Conference on Silicon Photovoltaics                     |   |        | Reviewing Committee Member              |
|           | 访问学者           | 国内                 |     | 0 人   | 国外  |        | 2 人                                     |
|           | 博士后            | 本年度进站博士后           |     | 10 人  | 本年度出站博士后  |        | 1 人                                     |
| 学科发展与人才培养 | 依托学科<br>(据实增删) | 学科 1               | 物理学 | 学科 2  | 材料科学  | 学科 3   |   |
|           | 研究生培养          | 在读博士生              |     | 71 人  | 在读硕士生   |        | 36 人                                    |
|           | 承担本科课程         | 1962 学时            |     |   | 承担研究生课程   |        | 604 学时                                  |
|           | 大专院校教材         | 0 部                |     |   |   |        |   |
| 开放与运行管理   | 承办学术会议         | 国际                 | 2 次 |   | 国内<br>(含港澳台)  | 4 次    |   |
|           | 年度新增国际合作项目     |                    |     |   | 4 项   |        |   |
|           | 实验室面积          | 2320m <sup>2</sup> |     | 实验室网址   | <a href="http://klasqc.physics.sjtu.edu.cn/">http://klasqc.physics.sjtu.edu.cn/</a> |        |   |
|           | 主管部门年度经费投入     | (直属高校不填)万元         |     | 依托单位年度经费投入  |   | 130 万元 |   |

## 二、研究水平与贡献

### 1、主要研究成果与贡献

结合研究方向，简要概述本年度实验室取得的重要研究成果与进展，包括论文和专著、标准和规范、发明专利、仪器研发方法创新、政策咨询、基础性工作等。总结实验室对国家战略需求、地方经济社会发展、行业产业科技创新的贡献，以及产生的社会影响和效益。

上海交通大学“人工结构与量子调控”教育部重点实验室建设项目于2009年2月获批启动，2012年6月实验室顺利通过教育部的验收，正式成为教育部重点实验室。2015年度数理、地学领域教育部重点实验室五年工作评估中被评为优秀类实验室。

实验室获批建设以来，从国家高新技术需求和学科前沿的有机结合点出发，针对人工电子/光子结构体系及其相应的量子调控中的重大基础科学问题，选取已在人工结构及量子调控领域有雄厚工作基础和条件、可望在国际科技竞争中占有一席之地的有限目标作为突破口，形成了五个特色鲜明的研究方向：（1）人工材料物性的计算研究与结构设计，（2）半导体量子结构与量子过程调控，（3）高温超导材料生长调控与机理，（4）表面和界面量子现象与调控，（5）小量子系统凝聚态理论。成立以来实验室围绕人工电子/光子结构，以人工结构设计、构造与组装、特异性能表征及应用、量子过程调控、原型器件与理论分析这一系统研究工作为主线，不仅在拓扑绝缘体量子现象、半导体量子器件、高温超导材料物理和小量子系统凝聚态基础理论等方面取得一批国际学术界领先的基础研究成果，而且成功开拓相关第二代高温超导带材和高效硅基太阳电池技术的产业化应用，已经成为国内外有显著特色的人工结构及量子调控领域创新研究基地。

实验室依托于上海交通大学物理与天文系凝聚态物理国家重点学科，已形成一支相对稳定、学术水平高、具有创新意识和团队精神的学术队伍。近年来，实验室从学科建设和队伍建设实际出发，按重点领域和优先次序，持续对学科和人员结构进行优化。本年度引进“青年千人计划”学者王世勇特别研究员、“上海市启明星计划”学者蔡子特别研究员；培养史志文特别研究员、张文涛特别研究员入选“青年千人计划”。实验室整体人才队伍不断壮大，学科布局和人员梯队更加合理。至2017年底，实验室在职人员有固定人员42人、行政服务人员5人，其中正教授18人，40岁以下研究骨干15人。此外，还有兼职教授、访问学者及博士后15人。

固定人员中包括中国科学院院士一人（雷啸霖）、国家“千人计划”入选者二人（刘荧、顾威）和一批优秀学术带头人。学术带头人中六人获国家杰出青年科学基金（沈文忠、贾金锋、郑杭、马红孺、刘荧、王孝群），六人为教育部“长

江学者奖励计划”特聘/讲座教授（沈文忠、贾金锋、马红孺、姚忻、刘茷、钱冬），五人为“百千万人才工程”国家级人选（郑杭、马红孺、沈文忠、贾金锋，王孝群），两人曾入选“教育部跨世纪优秀人才计划”（朱卡的、马红孺）；此外，还有二人入选上海市“领军人才计划”（马红孺、贾金锋）。

在中青年学术骨干中，有七人入选国家“青年千人计划”（罗卫东、李耀义、马杰、郑浩、张文涛、史志文、王世勇），二人入选上海市“千人计划”（李贻杰、郑浩），一人入选教育部“青年长江学者”及上海市“曙光学者”计划（刘灿华）、四人入选“教育部新世纪优秀人才”计划（董兵、刘世勇、钱冬、刘灿华），一人入选中组部“拔尖人才计划”及上海市“曙光学者”、“启明星”计划（钱冬），二人入选上海市“东方学者”（钱冬、史志文），三人入选上海市“浦江人才”计划（董兵、刘灿华、管丹丹），一人入选上海市“启明星”计划（蔡子）。

贾金锋教授带领的“新型量子材料物理和器件”研究团队入选 2015 年度国家自然科学基金委创新研究群体。沈文忠教授带领的“半导体量子结构与量子过程调控”群体为教育部“长江学者与创新团队发展计划”2005 年创新团队（2013 年获滚动支持）。王孝群教授领衔的“计算物理方法的发展及其在新奇量子效应研究中的应用”群体入选 2007 年度教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队。实验室部分学术带头人参与的“人工微结构科学与技术协同创新中心”入选教育部“2011 计划”（南京大学为牵头单位）。

2017 年度，贾金锋教授带领的“新型量子材料物理和器件创新团队”入选科技部创新人才推进计划重点领域创新团队（2016）。实验室年度发表 SCI 论文 52 篇，其中以第一完成单位完成 35 篇，包括在影响因子 7.0 以上的国际一流期刊上正式发表论文 4 篇：在 Nano Letters 上发表论文二篇（最新影响因子 12.712）；在 Advanced Functional Materials 上发表论文一篇（最新影响因子 12.124）；在 Advanced Science 上发表论文一篇（最新影响因子 9.034）。以上重要论文，实验室均为第一作者或通讯作者单位。实验室固定人员与其他科研机构合作在 ACS Nano 上发表论文二篇（最新影响因子 13.942），在 Nano Letters 上发表论文二篇（最新影响因子 12.712），在 Chemistry of Materials 上发表论文一篇（最新影响因子 9.466），在 Physical Review Letters 上发表论文一篇（最新影响因子 8.462）。此外，2017 年以通讯作者单位完成的一项工作已在 Nature Nanotechnology（最新影响因子 38.986）在线发表，将于 2018 年正式发表。

2017 年 11 月，美国科睿唯安(Clarivate Analytics)在线公布了全球 2017 年“高被引科学家(2017 Highly Cited Researchers)”名单。在物理学科中，全球共计 194 名科研精英入选高被引学者榜单，国内学者入选 14 人，实验室学术带头人钱冬教授入选。2018 年 2 月，美国物理学会在纽约公布了 2018 年度杰出审稿人

(Outstanding Referee)名单以表彰他们在审阅物理评论系列期刊的文章中做出的杰出工作，实验室学术带头人顾威教授当选。美国物理学会 2018 年杰出审稿人项目从近 30 年来为物理评论期刊审阅稿件的 67000 余名审稿人中，评选出了来自 29 个国家的 147 位杰出审稿人，中国（包括港澳台地区）共 3 人入选。

2017 年度，实验室组织大型全国性学术会议一次（第十三届中国太阳级硅及光伏发电研讨会）；合作组织大型全国性学术会议一次（第三届凝聚态物理会议），组织国际研讨会二次；主持全国性学术会议分会一次；主持行业协会年会一次。实验室固定人员参加国际会议 34 人次，其中作邀请报告 18 人次；参加国内会议 30 余人次，作邀请报告 13 人次。本年度获国家发明专利授权 7 件；年度经费到款 2088.48 万元。指导研究生获国际会议 Best Presentation Award 奖 1 人，国内权威会议优秀论文奖 2 篇；培养研究生获“国家奖学金”等各类奖励 22 人次；指导本科生获第四届“钱学森杯”暨第十五届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品大赛一等奖 1 项；全国大学生物理学术竞赛二等奖 1 项，上海市大学生物理学术竞赛二等奖 1 项，全国节能减排大赛三等奖 1 项；获上海交通大学教学成果奖一等奖 1 项（第一完成人），上海交通大学第一届教书育人奖三等奖 1 人，优秀教师奖 2 人。

各方向年度主要科研内容和成果如下：

#### 研究方向一：人工材料物性的计算研究与结构设计

该方向本年度的主要进展包括：1) 非超导 FeSe 薄膜中静态磁序的缺失。FeSe 是结构最简单的铁基超导体，有很多研究工作关注其电子结构和磁性。其中在理论和实验两方面都有一些不一致甚至矛盾的研究结果，尤其在其磁性方面更是如此。本研究工作中，我们通过结合原子尺度的自旋极化 STM 测量与对称性分析及第一性原理计算来研究 FeSe 薄膜中 Se 空位的磁性，直接揭示了 FeSe 薄膜中静态磁序的缺失。计算中 LDA 近似与 GGA 近似结果的差异暗示了 FeSe 接近磁临界点【Physical Review B **96**, 214426 (2017)】。2) 钙钛矿氧化物  $\text{Ba}_8\text{CoNb}_6\text{O}_{24}$  无长程有序磁性的研究。由于自旋 1/2 的 Co 离子的三角形链层被六层无磁性的 Nb 离子隔开，钙钛矿氧化物  $\text{Ba}_8\text{CoNb}_6\text{O}_{24}$  被认为是十分理想的二维材料。结合自旋波的理论计算，我们对其磁化率、比热和中子散射谱进行了研究：发现在温度降低至 0.06K 时，该氧化物的磁性还是仍处于无序态。基于 Mermin 和 Wagner 关于对称性在有限温度破缺的理论，我们揭示了  $\text{Ba}_8\text{CoNb}_6\text{O}_{24}$  是一种典型的三角海森堡体系，相应的相变是一种零温相变【Physical Review B **95**, 060412(R) (2017)】。



## 研究方向二：半导体量子结构与量子过程调控

该方向主要从事太阳能光伏科学技术与新型光电子器件的应用基础研究工作，在半导体纳米结构的可控制备、光电特性量子调控及新型太阳电池的应用基础研究方面取得较大进展。本年度取得的重要阶段性突破包括：1) 创新提出并实现了一种完全基于电化学合成方法的钙钛矿太阳电池制备技术路线，制备的平面钙钛矿太阳电池界面条件好， $1\text{cm}^2$  尺寸电池效率达到 16%，电池的回滞效应非常小；同时电场辅助沉积法中独特的电流自退火效应，使整个制备时间缩短到分钟级别（2min）。该方法的系统研究成果已经以封底论文的形式发表在【Advanced Functional Materials 27, 1606156 (2017)】[同时网站专题报道 <http://www.x-mol.com/news/6634>]。2) 利用硅纳米金字塔 (SiNPs) 作为表面织构，实现了大面积 ( $156\text{mm} \times 156\text{mm}$ ) 的准全向太阳电池，它可以在很宽的入射角范围内保持高的电池性能；与常规微米金字塔 (SiMPs) 绒面电池相比，发现 SiNPs 绒面太阳电池具有更低的载流子复合速率，从而有更优越的电性能，表现出与其它硅纳米绒面电池截然不同的特性；我们发现 SiNPs 绒面同质结 (或异质结) 太阳电池与相应的 SiMPs 绒面电池相比可以实现更高的日发电量，相对增值最大达 2.5%。相关工作发表在【Advanced Science 4, 1700200 (2017)】[同时网站专题报道 <http://www.materialsvIEWSchina.com/2017/07/25841/>]。3) 实现了一种薄层  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (~4nm) 及  $\text{SiN}_x\text{:H}$  (~75nm) 复合膜层结构有效钝化 n 型双面晶硅太阳电池 (前表面采取  $\text{BBr}_3$  扩散形成发射极，背表面采用磷离子注入形成背表面场) 硼掺杂  $\text{p}^+$  发射极的方法，在大面积 ( $238.95\text{cm}^2$ ) 电池上实现了正面 20.89% 和背面 18.45% 的转换效率。相关工作以封面论文形式发表在光伏领域最高学术刊物【Progress in Photovoltaics: Research & Applications 25, 280 (2017)】。实现了一种简化工艺及技术路线的高效背结背接触 (BJBC) 晶硅太阳电池的制备过程，通过湿法化学工艺、共扩散、磷离子注入和退火氧化、激光图形化和 PECVD 制备钝化减反射膜工艺，在小面积 ( $4.04\text{cm}^2$ ) 的 BJBC 晶硅太阳电池上获得了经过第三方认证 (新加坡 SERIS) 的 22.20% 的转换效率；在较大尺寸 ( $6 \times 6\text{cm}^2$ ) 的硅片上实现了 21.43% 的转换效率。相关工作也发表在【Progress in Photovoltaics: Research & Applications 25, 441 (2017)】。4) 利用中性 NaBr 溶液为电解液，在电化学刻蚀过程采用线性扫描的刻蚀电压，一步法直接制得大面积、高度有序的 GaP 纳米孔阵列。GaP 纳米孔表面呈三角形状，内部孔壁为起伏的锯齿形，进一步增加了纳米结构的比表面积和对光的吸收。将所制得的三维 GaP 纳米孔阵列用于光电化学产氢体系的光阳极，表现出良好的光电化学性能。最大光电流密度为  $5.65\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，是平面 GaP 光电极的 58.3 倍，表明三维 GaP 纳米孔阵列有助于提升 GaP 光电极的光电化学产氢性能。电化学阻抗谱和光致发光谱分析表明，与酸性刻蚀溶液相比，中性溶液能够有效钝化纳米孔表面态，促进纳米结构光电化学性能的提高。相关工作发表在【Chem. Commun. 53, 12333-12336 (2017)】。5) 创新性

地提出了一种工作于光纤通信波段的半导体红外上转换单光子探测方案,该方案将 InGaAs 光电探测器 (PD) /GaAs 发光二极管 (LED) 上转换器件与 Si 单光子雪崩二极管 (SPAD) 高效集成,1.55 微米波长光子在上转换器件内实现向 0.87 微米波长光子的转换,进而耦合进入 Si SPAD 并为其所探测。该方案不仅可以获得与现有最好的 InGaAs SPAD 相媲美的性能 (200K 下的噪声等效功率为  $1.39 \times 10^{-18} \text{WHz}^{1/2}$ ),同时还规避了 InGaAs 单光子雪崩二极管暗计数高、后脉冲效应明显等不良因素,具备重大的应用前景。相关工作发表在【Scientific Reports 7, 15341-(1-12) (2017)】上。

该方向另外的两项进展包括: 1) 表面等离激元的界面反射相位。二维表面极化子有许多优异性质,比如有很强的空间限域效应、较高的质量因子、电场可调控等等,可用于制备小型化光子器件。然而,关于二维表面极化子的许多基本性质现在还没有研究清楚。运用实验和理论手段系统研究了二维极化子在界面边缘处反射的性质。实验发现二维极化子在界面反射时会获得一个额外的相位移动,相移的大小为  $\pi/4$ 。理论研究表明,该相位移动来自于一个类似于 Goos-Hanchen 全内反射的相移。该发现为设计基于表面极化子的器件提供了重要的实验和理论基础,该成果发表在【Nano Letters 17, 1768-1774 (2017)】。2) 石墨烯堆叠位错的近场光学成像及纳米操纵。拓扑位错和层错在很大程度上影响着晶体材料的性质和功能。比如,金属材料中位错的密度决定着材料的机械强度;双层石墨烯堆叠畴壁会局域地改变石墨烯的能带结构并出现沿着畴壁的拓扑边缘态。人们已经在控制材料位错来改变其特性方面做了很多尝试,但是操作单个位错来改变局部的材料性质一直是一个很大的挑战。运用扫描近场光学技术首次实现了双层和三层石墨烯中单个堆叠位错的纳米操纵。运用这种技术,可以对石墨烯中的位错进行移位、拆分甚至完全擦除,从而获得完美的没有位错的大面积单晶石墨烯。该发现为石墨烯在纳米光电子器件领域的应用提供了技术保障,另一方面,该发现也为研究石墨烯堆叠畴壁中丰富的物理提供了一个平台。该成果发表在【Nature Nanotechnology, DOI: 10.1038/s41565-017-0042-6】。

### 研究方向三: 高温超导材料生长调控与机理

本年度的主要研究进展包括: 1) 开展了 C276 金属基带上超导薄膜厚膜、超导薄膜的掺杂和准多层膜研究工作。明确了 REBCO 超导薄膜的厚度效应,通过种子层技术和多层制备技术抑制了厚度效应,从而在超导薄膜的载流方面实现了突破,制备出 3.5 微米厚、具备高临界电流密度的  $\text{Y}_{0.5}\text{Gd}_{0.5}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (YGBCO) 超导薄膜,在液氮温度、自场下临界电流达到 860A/8mm,也即是 1075A/cm。研究了  $\text{BaHfO}_3$  (BHO)、 $\text{BaZrO}_3$  (BZO)、 $\text{CeO}_2$  和  $\text{SrTiO}_3$  (STO) 第二相纳米颗粒与超导性能之间的关系,阐明了 BHO 和 BZO 为最佳掺杂相。通过种子层技术提高了 5%BHO 掺杂的 YGBCO 超导薄膜的临界电流密度和磁通钉扎,在 4.2K,

0-9T 和 65K,0-9T,磁通钉扎力密度  $F_p$  的最大值分别为  $860\text{GN/m}^3$  和  $15.8\text{GN/m}^3$ , 与没有种子层的 5%BHO 掺杂 YGBCO 超导薄膜的  $F_{p4.2, \max}=577.6\text{GN/m}^3$ ,  $F_{p65, \max}=11.7\text{GN/m}^3$  比较, 分别有了 49%和 35%的提高。研究了 STO 和  $\text{CeO}_2$  作为夹层的 YGBCO 多层膜, 阐明了界面相互作用以及夹层材料与超导薄膜表面形貌和微结构之间的关系, 合适的夹层不但能够提高超导薄膜在自场下的临界电流密度, 还能作为有效的磁通钉扎中心, 进而提高其在磁场下的性能。此外, 还探索了 REBCO 超导薄膜的溶液处理和电化学处理, 发现在合适的溶液中浸泡和电化学处理, 能够提高 REBCO 超导薄膜的超导转变温度, 这为以后继续提高超导转变温度提供了思路, 奠定了基础。在产业化方面, 公里级带材临界电流达到 300 安培以上, 在中国率先实现了 YBCO 高温超导带材的商业化生产与销售。YBCO 带材性能指标处于世界先进行列, 在 2017 年 9 月举行的欧洲应用超导大会上, 有关 YBCO 超导材料的大会报告中上海交大和上海超导公司作为中国该领域的代表受到了重点介绍。2) 在超导物理机制和器件应用, 在高性能超导块材制备, 薄膜微结构人工调控及超导薄膜热稳定性等方面取得重要结果。采用新型不含预置 Y211 的前驱体粉末,  $\text{Y}_2\text{O}_3+\text{Ba}_x\text{-Cu}_y\text{-O}$ , 避免了预置 Y211 导致的颗粒粗化和外延生长, 成功实现在高温下爆发式形成 Y211 纳米颗粒, 制备出高性能 YBCO 块材【*J. Am. Ceram. Soc.* **100**, 3858-3864 (2017)】。该项成果受到审稿人高度评价, 认为 30 年来取得的一项主要研究进展, 和最近 15 年取得的最重要的研究进展: "...is a significant advance in the quality of trapped field magnets. It is a major advance in a technique that has been pursued for 30 years, and the first significant advance in 15 years."。在低过饱和度状态下, 在部分腐蚀的 c-YBCO/NGO 衬底上, 制备出新颖的具有单结晶品质 a/c 晶界结构【*Scripta Materialia* **177**, 54-58 (2017)】。提出了通过化学掺杂提高熔化形核势垒、转变熔化机制的新思路, 通过在 Y123 体系中掺杂 Fe 元素, 导致突发式的均质熔化形核, 实现了近完全包晶反应【*J. Am. Ceram. Soc.* **100**, 1804-1813 (2017)】。3)  $\text{NbS}_2$  单晶的 2H- $\text{NbS}_2$  单晶生长及化学组成对其超导性质的影响研究。实验组通过调节晶体的生长条件, 获得了高质量的 2H- $\text{NbS}_2$  单晶。 $\text{NbS}_2$  单晶的超导转变温度保持在 6.2K 附近, 而其剩余电阻率 (RRR) 分布在 10 至 65 的范围。通过对 2H- $\text{NbS}_2$  单晶的退火实验调节样品的 S 的含量, 我们发现该材料的晶格常数和超导转变温度均随 S 的组分的变化而改变, 提出 S 的缺位导致了 Nb 插层的出现, 增加了 c 轴晶格常数进而影响了超导转变温度。另一方面, 实验通过用机械解理的方法, 将 2H- $\text{NbS}_2$  单晶解理到纳米厚度, 并结合原子力显微镜和光学显微镜对纳米薄片进行厚度表征, 建立了光学显微镜下纳米薄片的色码; 同时将 2H- $\text{NbS}_2$  纳米薄片做成器件, 用四电极的方法测量其电学性质, 发现当纳米薄片的层数降低, 会使超导转变温度降低。2H- $\text{NbS}_2$  的超导转变温度由体材料的 6.2K 降低至 20nm 的 4.9K 和 10nm 的 3.4K。我们指出可能是因为随着厚度降低, 电声子耦合加强导致超导转变温度降低【*Physica C* **538**, 27 (2017)】。4) 二维材料  $\text{TaSe}_2$  的 Li 离子插层研究。 $\text{TaSe}_2$

的体材料呈金属性而且超导转变温度很低 (0.15K), 但几层原子层厚的 TaSe<sub>2</sub> 晶体的超导温度升高。然而, 电荷密度波随厚度的变化不同。实验组用机械解理的方法得到并研究了薄的 TaSe<sub>2</sub> 晶体的超导和量子输运并且通过离子液体调节了它的电学输运性质, 同时揭示了离子液体 gating 过程中的 Li 离子插层的微观过程【Appl. Phys. Lett. **112**, 023502 (2018)】。值得一提的是, 该文章被 APL 选为 Editor's Pick, 作为推荐文章, 在 APL 主页及其 Facebook, Tweeter 等被重点宣传。

5) 准一维半金属 Ta<sub>2</sub>NiSe<sub>7</sub> 的电荷密度波 (CDW) 研究。实验组测量了准一维电荷密度波材料 Ta<sub>2</sub>NiSe<sub>7</sub> 的低温输运性质, 发现了磁阻在 CDW 转变温度之下出现了形状的变化, 该变化可用两能带轨道磁阻模型定量描述, 增进了对该材料电荷密度波的机制的理解。随后, 实验组发现该材料表现出特异的磁阻各向异性, 即在晶体的 b 方向的输运中, 在 ac 面内旋转磁场的磁阻的对称轴在 CDW 转变温度以下开始转动, 到最低温 2 K 时旋转角度高达 25 度, 而在 bc 面内和 ab 面内转动磁场时对称轴均未发生改变。该现象揭示了该体系中可能存在的强自旋-轨道耦合, 可能使该材料成为研究在电子相互作用, 自旋轨道耦合相互作用下的 CDW 行为的理想体系【Appl. Phys. Lett. **111**, 052405 (2017)】。

6) Ca<sub>3</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 的能带依赖的电输运研究。课题组近期发展了具有“k 选择”性的热电输运测量。该测量方法从传统的热电效应测量出发, 通过对单晶样品沿不同方向切割加工, 是的测量时的温度梯度沿着不同的晶体方向。从玻尔兹曼定态方程出发, 可以发现, 热电势信号中始终存在  $v_k \cdot \cos\theta_k$  的一项, 即具有不同费米速度  $v_k$  的载流子的贡献总是耦合到一个  $\cos\theta_k$  系数。基于这样的考虑, 当沿着不同晶体方向外加温度梯度时, 测量到的就是具有不同  $v_k$  的载流子的贡献。在 Ca<sub>3</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 中, 我们通过“k 选择”性的热电测量, 很明显的证明了沿着 M 和 M' 两个方向分别存在电子和空穴型的费米口袋, 对于解决 Ca<sub>3</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 的低温电子结构这一长期悬而未决的问题提供了重要实验证据【Phys. Rev. B: Rapid Communications **97**, 041113(R) (2018)】。

#### 研究方向四：表面和界面量子现象与调控

本年度的主要研究进展包括：1) 一维拓扑边缘态与超导态共存。随着 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>/NbSe<sub>2</sub> 等三维拓扑绝缘体/超导体异质结构研究的成功, 表面与低维实验室继续开展二维拓扑绝缘体/超导体异质结构方面的研究。其中, 超薄 Bi(111)薄膜被理论预言是一种二维拓扑绝缘体, 且其作为单质元素更有利于应用。但是 freestanding 的 Bi(111)薄膜非常难制备。该实验室利用分子束外延生长技术成功地在 NbSe<sub>2</sub> 超导基底上制备出超薄 Bi(111)薄膜。角分辨光电子能谱 (ARPES) 结果与理论计算 (DFT) 的能带结构非常吻合, 表明该 Bi(111)薄膜 quasi-freestanding。利用扫描隧道显微镜/显微谱 (STM/STS) 发现其一个边缘存在一维拓扑边缘态, 同时探测到近邻效应诱发的超导能隙。这个体系可能成为探寻 Majorana 费米子新材料, 有助于发展新的超导自旋电子器件【Nano Letters **17**, 3035 (2017)】。

2) 基于四电极 STM 的原位双线圈互感技术的研制。扫描隧道显微镜 (STM) 能够在原子尺度下获取导电晶体的表面原子排列和电子结构信息,已在凝聚态物理研究领域受到了广泛的应用,成为研究新奇量子效应和现象的强力工具。不过,普通的 STM 探头只有一个电极,这让它只局限于对样品进行结构表征。2015 年,该实验室发明了具有四个电极的 STM 探头从而将一台极低温强磁场 STM 的功能拓展到了物性测量方面,实现了表面电输运测量的功能【Review of Scientific Instruments **86**, 053903 (2015)】。2016 年,该实验室进一步在该四电极 STM 探头的基础上,研制出了双线圈互感技术,首次实现了对超导薄膜的抗磁响应进行原位测量【Review of Scientific Instruments **88**, 073902 (2017)】。该套设备集样品制备、结构表征和物性测量于一体,用有限的经费实现了大型真空互联系统所追求的功能与作用。目前,国内外多个研究团队已购置或正在研发类似的实验设备。

3) 类铁基超导结构的高温铁磁半导体电子结构的研究。稀磁半导体具有重要应用前景,在过去几十年一直受到广泛的关注,其中以 MnGaAs 薄膜为代表。但是其背后的物理机理一直不清楚。最近一种具有和铁基超导类似晶体结构新高温铁磁半导体 ( $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x(\text{Zn}_{1-y}\text{Mn}_y)_2\text{As}_2$ ) 被实验所发现,其居里温度已经超过 MnGaAs,最有意思的是这种材料中磁性掺杂和载流子掺杂是完全独立的。基于密度泛函的理论认为,掺杂 Mn 原子的局域 3d 电子和母体中巡游的 As 4p 电子的杂化是导致体系出现长程铁磁性的原因。该研究方向成员第一次利用真空紫外角分辨光电子能谱在该材料母体上获得了极高分辨率的低能电子能带结构,首次在实验上发现 Mn 的掺杂能够导致总的能带宽度增大了 10%,这个数值和理论预言非常接近,从实验上支持杂化导致长程铁磁性的观点。同时,实验也发现 Mn 和 As 之间存在的电荷转移要比密度泛函给出的结果要强很多。这些发现为进一步从理论上理解高温铁磁半导体的形成机理提供了重要支持【Appl. Phys. Lett. **111**, 062106 (2017)】。

#### 研究方向五: 小量子系统凝聚态理论

探索研究光与物质相互作用的新方法和新物理效应,通过对经典量子光与物质作用模型物理研究,集中体现了方法有效性,同时揭示了新的物理现象:量子芝诺中库的记忆效应使得退相干率时间相关性,强驱动导致反旋转波相互作用的物理效应。这些现象都可在当前激烈竞争的量子信息处理系统得到验证。本年度课题组对双光子量子 Rabi 模型量子动力学、量子芝诺效应、双驱动量子场量子比特动力学研究取得了重要结果。本年度的主要研究进展包括: 1) 双光子 Rabi 模型能谱和动力学。我们采用么正变换为基础的简单解析方法,在较大的耦合强度范围内研究了双光子 Rabi 模型计算基态、激发光谱和量子动力学演化。一方面,该简明的解析方法具有旋转波近似方法 (RWA) 相同的数学简单性,另一方面通过与矩阵对角化得到的数值精确结果做定量比较,证明了变换旋转波方法计算结果不仅在弱耦合情况下是精确的,而且在中强耦合情况下也是正确的。在中间

的超强耦合时，计算出的基态和低激发态几乎是一样的。因此，该方法给出的能谱计算超出一般的RWA结果。同时，我们通过计算强耦合条件下布局数、相干性、光子压缩等动力学展现反旋转波相互作用，在光子频率大于量子比特跃迁频率，动力学变得复杂。研究结果发表在【J. Phys. A: Math. Theor. **50**, 074002(2017)】，得到国际同行密切跟踪研究，至2017年底已获他引3次。2) 开放系统芝诺效应与非马尔科夫效应。传统的开放量子系统中的芝诺效应与反芝诺效应隐含假设了：环境态在每一个即时的系统投影测量时反复地回到其原先的状态（系统和环境的直积态），并且忽略了库的场算符在不同芝诺间隔的关联。然而，这一假设在实际条件下并不一定正确，尤其是库拥有一个无法忽略的记忆效应时，并且系统反复地投影到一般形式的叠加态也会影响这一假设的合理性。我们发现，与传统做法得到的恒定衰减率相反，我们所得到的生存概率的衰减率，一般会依赖于演化时间，并且表现出振荡的行为。在拥有较强的库关联情况下，芝诺效应与反芝诺效应的转变点敏感地依赖于测量次数 $N$ 。在某些特定参数区间，对于一个固定的测量次数 $N$ ，传统做法所预言的芝诺效应区，在事实上已经在反芝诺效应区【Phys. Rev. A **96**, 032101 (2017)】。多位国际同行致信讨论研究成果和可能实验方案，至2017年底文章获他引5次。3) 带有频率调整的Rabi模型：Bloch-Siegert移动。为了放大横向场中反旋波作用物理，我们应用反旋杂化旋转波方法研究了带有慢调制纵向场的Rabi模型，给出了动力学和该模型的共振移动。基于么正变换的反旋杂化旋转波方法可将非周期哈密顿量变为周期哈密顿量，这样可以用Floquet理论处理。通过与很宽参数区间范围内数值精确比较，我们证实我们得到有效哈密顿量和传统的旋转波哈密顿量的有效性。有趣的是，在某些参数区间，纵向磁场可用于调整共振宽度以至于共振宽度可与Bloch-Siegert移动幅度相比较，这反过来说明反旋转波项十分重要，而此情况下中等耦合强度下旋转波哈密顿量完全失效。利用有效哈密顿量，我们确定双色驱动量子比特的共振位置与反旋转波和纵向驱动的物理效应。【Phys. Rev. A **96**, 033802 (2017)】。

该方向另外一项研究进展是超导杂化电路中声子辅助的Andreev隧穿过程的完全计数统计。采用非平衡格林函数方法，我们研究了连接超导电极的杂化分子结单电子器件在强电子-声子作用条件下的完全计数统计性质。关键是我们发展了能正确计算强电声子相互作用在非平衡条件下的推迟自能技术—dressed tunneling近似。我们的研究发现：(1) 线性Andreev电导谱中没有声子效应引起的边峰；(2) 非线性电流表现出负微分电导行为；(3) 指出在电子-空穴对称及非对称能级情况下存在两种不同的声子辅助的Andreev反射机制【Phys. Rev. B **95**, 035409 (2017)】。

## 2、承担科研任务

概述实验室本年度科研任务总体情况。

实验室面向国家在人工结构和量子调控领域的重大需求,着力解决拓扑绝缘体相关量子现象、半导体量子器件物理和高温超导电性机理领域的关键科学问题,并开拓相关研究成果的转化和应用,承担了一批重要的科研项目。

2017 年度启动的主要项目包括:贾金锋教授主持的自然科学基金重点项目:“人造拓扑超导体与 Majorana 费米子的研究”;钱冬教授主持的项目获基金委大科学装置联合基金重点项目:“大能隙量子自旋霍尔效应薄膜研究”;史志文、张文涛、王世勇三位特别研究员的“青年千人计划”。

2017 年度在研的其他任务(开始时间为 2017 年之前)还包括:王孝群教授为首席科学家的国家重点研发计划“量子调控与量子信息”重点专项“量子自旋阻挫体系和自旋液体中的新奇量子效应及调控研究”;国家重点研发计划重点专项课题两项:“拓扑二维体系的界面量子调控”、“界面和拓扑超导研究”,钱冬教授和刘灿华教授分别为课题负责人;贾金锋教授主持的自然科学基金委创新群体项目“新型量子材料物理和器件”、“973”课题“新型量子材料中自旋与谷的电学操控与输运”、自然科学基金委集成重点项目“液氮温区 FeSe 界面超导体的探索”;沈文忠教授主持的自然科学基金委重点项目“基于半导体纳米结构的波长转换技术在硅基太阳能电池上的应用研究”、“新南威尔士大学光伏与可再生能源工程学院—上海交通大学太阳能研究所—嘉兴光伏高新技术产业园区共建光伏产业创新研究中心”项目、企业重大合作项目(中天光伏材料有限公司);李贻杰教授主持上海市科委高新技术产业化项目“第二代高温超导带材性能提升关键工艺及产线智能化控制技术开发”;承担中组部“青年千人计划”四项、“拔尖人才”一项;上海市“东方学者”项目一项,主持国家自然科学基金面上项目 17 项,青年项目 2 项。

2017 年在研各类项目 80 余项,合同总金额超过 1.32 亿元,其中超过 100 万的主要项目(所有自然科学基金面上、青年项目作为一个项目) 21 项,合同经费共 1.22 亿元。年度科研经费实际到款 2088.48 万元,其中超过 90% 来至合同金额超过 100 万元的国家和省部级重大项目以及重大横向课题。

在项目申请方面,2017 年新立项项目 20 余项,合同经费总额近 1200 万元。主要包括:郑浩特别研究员主持的“新型拓扑超导体和马约拉纳准粒子的实验室研究”项目获自然科学基金重大项目资助(560 万元);马杰特别研究员、史志文特别研究员、吕智国副教授的 3 项自然科学基金面上项目获批立项。此外,沈文忠教授的上海市科委项目、蔡子特别研究员的上海市“启明星”计划、马杰特

别研究员的自然科学基金委联合基金项目；以及 10 余项与企业合作的横向课题等项目都将于 2018 年启动。

这些重大项目的启动与设立，将促进实验室创新性研究的充分开展，有利于在科学前沿领域实现重点突破。同时，充足的科研经费也为实验室新一年度的研究任务的顺利执行提供有力的保障。

在执行国家/省部级重大基础研究任务的同时，实验室紧紧围绕国家光伏、超导材料领域重大战略决策，大力推动具有前瞻性、颠覆性、引领性技术创新成果的转化，为相关产业转型升级提供新技术、新产品，为企业跨越式发展提供战略支撑。本年度与上海超导科技股份有限公司、中天科技、协鑫集成、航天机电、隆基乐叶光伏等国内外知名企业继续保持密切合作，有力地推动了科学技术的产业化。其中，实验室成果转化的中天光伏材料有限公司的“太阳电池背板产品”销售额二年内增长了 4 倍，2017 年度销售额达 6.5 亿人民币；获得实验室“第二代高温超导带材制造”技术的上海超导科技股份有限公司 2017 年实现公里级带材临界电流达到 300 安培以上，在中国率先实现了 YBCO 高温超导带材的商业化生产与销售。YBCO 带材性能指标处于世界先进行列，在 2017 年 9 月举行的欧洲应用超导大会上，有关 YBCO 超导材料的大会报告中将上海交大和上海超导公司作为中国该领域的代表进行了重点介绍。

本年度承担主要任务（合同经费超过 100 万元）如下：

| 序号 | 项目/课题名称                        | 编号             | 负责人           | 起止时间      | 经费(万元) | 类别              |
|----|--------------------------------|----------------|---------------|-----------|--------|-----------------|
| 1  | 量子自旋阻挫体系 and 自旋液体中的新奇量子效应及调控研究 | 2016YFA0300500 | 王孝群<br>(项目首席) | 2016-2021 | 3200   | 科技部国家重点研发计划项目   |
| 2  | 新型量子材料物理和器件                    | /              | 贾金锋           | 2016-2018 | 1200   | 国家自然科学基金委创新研究群体 |
| 3  | 拓扑二维体系的界面量子调控                  | /              | 钱冬            | 2016-2021 | 847    | 科技部国家重点研发计划项目课题 |
| 4  | 界面和拓扑超导研究                      | /              | 刘灿华           | 2016-2021 | 730    | 科技部国家重点研发计划项目课题 |



|    |                                |              |     |           |         |                  |
|----|--------------------------------|--------------|-----|-----------|---------|------------------|
| 5  | 新型量子材料中自旋与谷的电学操控与输运            | 2013CB921902 | 贾金峰 | 2013-2017 | 597     | “973”计划          |
| 6  | 基于半导体纳米结构的波长转换技术在硅基太阳能电池上的应用研究 | 61234005     | 沈文忠 | 2013-2017 | 300     | 自然科学基金重点项目       |
| 7  | 液氮温区 FeSe 界面超导体的探索             | 91421312     | 贾金峰 | 2015-2017 | 300     | 自然科学基金委集成重点项目    |
| 8  | 人造拓扑超导体与 Majorana 费米子的研究       | /            | 贾金峰 | 2017-2021 | 310     | 自然科学基金重点项目       |
| 9  | 大能隙量子自旋霍尔效应薄膜研究                | /            | 钱冬  | 2017-2020 | 267     | 基金委大科学装置联合基金重点项目 |
| 10 | 青年千人计划启动资金                     | /            | 李耀义 | 2016-2018 | 200+100 | 中组部青年千人计划及校内配套   |
| 11 | 青年千人计划启动资金                     | /            | 马杰  | 2016-2018 | 200+100 | 中组部青年千人计划及校内配套   |
| 12 | 青年千人计划启动资金                     | /            | 史志文 | 2017-2019 | 200+100 | 中组部青年千人计划及校内配套   |
| 13 | 青年千人计划启动资金                     | /            | 张文涛 | 2017-2019 | 200+100 | 中组部青年千人计划及校内配套   |
| 14 | 青年千人计划启动资金                     | /            | 王世勇 | 2017-2019 | 200+100 | 中组部青年千人计划及校内配套   |
| 15 | 青年千人计划启动资金                     | /            | 郑浩  | 2016-2018 | 200+100 | 中组部青年千人计划及校内配套   |
| 16 | 凝聚态物理及功能材料的第一性原理研究             | 2013-131-5   | 罗卫东 | 2013-2016 | 200+60  | 中组部青年千人计划及校内配套   |
| 17 | “东方学者”岗位计划特聘教                  | /            | 史志文 | 2016-2018 | 100     | 上海市“东方学者”        |

|           |   |              |            |                          |         |                     |
|-----------|---|--------------|------------|--------------------------|---------|---------------------|
|           | 授资助经费   |              |            |                          |         |                     |
| 18        | 新南威尔士大学光伏与可再生能源工程学院—上海交通大学太阳能研究所—嘉兴光伏高新技术产业园区共建光伏产业创新研究中心 | 15H300000247 | 沈文忠        | 2016-2017                | 350     | 三方合作国际项目            |
| 19        | 光伏材料产学研项目合作   | /            | 沈文忠        | 2013-2016<br>(合同延至2019年) | 500     | 中天光伏材料有限公司企业横向合作项目  |
| 20        | 第二代高温超导带材性能提升关键工艺及产线智能化控制技术开发                             | 16521108302  | 李贻杰        | 2016-2018                | 250     | 上海市科委高新技术产业化项目      |
| 21        | 2017年度在研自然科学基金面上项目17项,青年项目2项                              | /            | 沈文忠等       |                          | 1148+64 | 自然科学基金面上项目、青年项目17+2 |
| 以下为年度新增项目 |   |              |            |                          |         |                     |
| 22        | 新型拓扑超导体和马约拉纳准粒子的实验室研究                                     | /            | 郑浩         | 2018-2022                | 560     | 国家自然科学基金重大项目        |
| 23        | 年度新增自然科学基金面上项目3项、联合基金项目1项                                 | /            | 马杰、史志文、吕智国 | 2018-2022                | 269     | 自然科学基金              |

2017年在研各类项目80余项,合同总金额超过1.32亿元,其中超过100万的主要项目(所有自然科学基金面上、青年项目作为一个项目)21项,合同经费共1.22亿元。年度科研经费实际到款2088.48万元,年度新增各类科研项目20余项,其中主要项目(开始时间为2018年1月)2项,合同金额829万元。

### 三、研究队伍建设

#### 1、各研究方向及研究队伍

| 研究方向               | 学术带头人            | 主要骨干                     |
|--------------------|------------------|--------------------------|
| 1、人工材料物性的计算研究与结构设计 | 孙弘、马红孺<br>王孝群、顾威 | 罗卫东、马杰、蔡子                |
| 2、半导体量子结构与量子过程调控   | 沈文忠              | 郑茂俊、史志文、张月蘅、刘洪、徐林、李正平、潘葳 |
| 3、高温超导材料生长调控与机理    | 姚忻、刘荧<br>李贻杰     | 刘林飞、邢辉                   |
| 4、表面和界面量子现象与调控     | 贾金锋、钱冬<br>刘灿华    | 管丹丹、李耀义、张文涛、郑浩、王世勇       |
| 5、小量子系统凝聚态理论       | 雷啸霖、郑杭<br>朱卡的、董兵 | 王沁、吕智国、罗旭东、刘世勇、丁国辉       |

#### 2、本年度固定人员情况

| 序号 | 姓名  | 性别 | 年龄 | 最后学位 | 类型   | 技术职称   | 在实验室工作期限 |
|----|-----|----|----|------|------|--------|----------|
| 1  | 沈文忠 | 男  | 49 | 博士   | 研究人员 | 教授     | 2010年至今  |
| 2  | 雷啸霖 | 男  | 79 | 学士   | 研究人员 | 教授(院士) | 2010年至今  |
| 3  | 刘 荧 | 男  | 55 | 博士   | 研究人员 | 教授     | 2012年至今  |
| 4  | 王孝群 | 男  | 55 | 博士   | 研究人员 | 教授     | 2013年至今  |
| 5  | 马红孺 | 男  | 57 | 博士   | 研究人员 | 教授     | 2010年至今  |
| 6  | 郑 杭 | 男  | 66 | 博士   | 研究人员 | 教授     | 2010年至今  |
| 7  | 贾金锋 | 男  | 50 | 博士   | 研究人员 | 教授     | 2010年至今  |
| 8  | 顾 威 | 男  | 48 | 博士   | 研究人员 | 教授     | 2015年至今  |
| 9  | 孙 弘 | 男  | 60 | 博士   | 研究人员 | 教授     | 2010年至今  |

|    |     |   |    |    |      |       |          |
|----|-----|---|----|----|------|-------|----------|
| 10 | 朱卡的 | 男 | 57 | 博士 | 研究人员 | 教授    | 2010 年至今 |
| 11 | 姚 忻 | 男 | 62 | 博士 | 研究人员 | 教授    | 2010 年至今 |
| 12 | 李贻杰 | 男 | 55 | 博士 | 研究人员 | 教授    | 2010 年至今 |
| 13 | 钱 冬 | 男 | 40 | 博士 | 研究人员 | 教授    | 2010 年至今 |
| 14 | 董 兵 | 男 | 49 | 博士 | 研究人员 | 教授    | 2010 年至今 |
| 15 | 郑茂俊 | 男 | 55 | 博士 | 研究人员 | 教授    | 2010 年至今 |
| 16 | 王 沁 | 男 | 57 | 博士 | 研究人员 | 教授    | 2010 年至今 |
| 17 | 袁晓忠 | 男 | 55 | 博士 | 研究人员 | 教授    | 2010 年至今 |
| 18 | 刘灿华 | 男 | 41 | 博士 | 研究人员 | 教授    | 2010 年至今 |
| 19 | 郑 浩 | 男 | 37 | 博士 | 研究人员 | 特别研究员 | 2016 年至今 |
| 20 | 王世勇 | 男 | 31 | 博士 | 研究人员 | 特别研究员 | 2017 年至今 |
| 21 | 罗卫东 | 男 | 39 | 博士 | 研究人员 | 特别研究员 | 2013 年至今 |
| 22 | 张文涛 | 男 | 32 | 博士 | 研究人员 | 特别研究员 | 2015 年至今 |
| 23 | 史志文 | 男 | 34 | 博士 | 研究人员 | 特别研究员 | 2015 年至今 |
| 24 | 李耀义 | 男 | 33 | 博士 | 研究人员 | 特别研究员 | 2015 年至今 |
| 25 | 马 杰 | 男 | 33 | 博士 | 研究人员 | 特别研究员 | 2015 年至今 |
| 26 | 蔡 子 | 男 | 33 | 博士 | 研究人员 | 特别研究员 | 2017 年至今 |
| 27 | 邢 辉 | 男 | 34 | 博士 | 研究人员 | 助理研究员 | 2015 年至今 |
| 28 | 刘世勇 | 男 | 41 | 博士 | 研究人员 | 副教授   | 2010 年至今 |
| 29 | 吕智国 | 男 | 42 | 博士 | 研究人员 | 副教授   | 2010 年至今 |

|         |     |   |    |    |      |       |          |
|---------|-----|---|----|----|------|-------|----------|
| 30      | 罗旭东 | 男 | 43 | 博士 | 研究人员 | 副教授   | 2010 年至今 |
| 31      | 李 晟 | 男 | 41 | 博士 | 研究人员 | 副教授   | 2010 年至今 |
| 32      | 张月蕻 | 女 | 43 | 博士 | 研究人员 | 副教授   | 2010 年至今 |
| 33      | 徐 林 | 男 | 45 | 博士 | 研究人员 | 副研究员  | 2010 年至今 |
| 34      | 丁国辉 | 男 | 47 | 博士 | 研究人员 | 副教授   | 2010 年至今 |
| 35      | 刘 洪 | 男 | 39 | 博士 | 研究人员 | 副研究员  | 2011 年至今 |
| 36      | 刘林飞 | 女 | 37 | 博士 | 研究人员 | 副研究员  | 2010 年至今 |
| 37      | 管丹丹 | 女 | 35 | 博士 | 技术人员 | 副研究员  | 2013 年至今 |
| 38      | 潘 葳 | 女 | 36 | 博士 | 研究人员 | 讲师    | 2010 年至今 |
| 39      | 李正平 | 男 | 41 | 博士 | 技术人员 | 助理研究员 | 2013 年至今 |
| 40      | 蒋立峰 | 男 | 40 | 博士 | 管理人员 | 讲师    | 2010 年至今 |
| 41      | 赵西梅 | 女 | 43 | 硕士 | 管理人员 | 讲师    | 2010 年至今 |
| 42      | 蒋震宗 | 男 | 39 | 学士 | 技术人员 | 工程师   | 2010 年至今 |
| 以下为行政人员 |     |   |    |    |      |       |          |
| 43      | 徐秀琴 | 女 | 63 | 学士 | 行政人员 |       | 2010 年至今 |
| 44      | 韩 辉 | 女 | 35 | 硕士 | 行政人员 |       | 2013 年至今 |
| 45      | 纪敏捷 | 女 | 33 | 硕士 | 行政人员 |       | 2015 年至今 |
| 46      | 程 莹 | 女 | 33 | 硕士 | 行政人员 |       | 2016 年至今 |
| 47      | 杨家林 | 女 | 31 | 学士 | 行政人员 |       | 2016 年至今 |

### 3、本年度流动人员情况

|                            | 姓名                   | 性别 | 年龄 | 从事专业  | 技术职称  | 来自国家 | 工作单位            | 在实验室工作期限           |
|----------------------------|----------------------|----|----|-------|---|------|-----------------|--------------------|
| 1                          | Anthony J. Leggett   | 男  | 77 | 凝聚态物理 | 教授, 诺贝尔物理学奖获得者, 美国科学院、美国知识学会、美国艺术与科学学院院士, 俄罗斯科学院外籍院士, 英国皇家学会、美国物理学会、美国物理联合会会士, 英国物理学会荣誉院士 | 美国   | 伊利诺伊大学厄巴纳—香潘恩分校 | 2013 年至今<br>每年一个月  |
| 2                          | 周海东                  | 男  | 39 | 材料科学  | 副教授   | 美国   | 田耐西大学           | 2017 年起<br>每年 2 个月 |
| 以上为兼职教授(访问学者), 以下为博士后研究人员: |                      |    |    |       |   |      |                 |                    |
| 3                          | Daniel Crow          | 男  | 32 | 凝聚态物理 | 导师: 刘 茨   | 美国   |                 | 2017 年至今           |
| 4                          | 钟思华                  | 男  | 30 | 凝聚态物理 | 导师: 郑茂俊   | 中国   |                 | 2015 年至今           |
| 5                          | 顾亮亮                  | 男  | 31 | 凝聚态物理 | 导师: 雷啸霖   | 中国   |                 | 2016 年至今           |
| 6                          | Anthony Charles Hegg | 男  | 29 | 凝聚态物理 | 导师: 王孝群   | 美国   |                 | 2017 年至今           |
| 7                          | 黄易珍                  | 女  | 33 | 凝聚态物理 | 导师: 蔡 子   | 中国   |                 | 2017 年至今           |
| 8                          | 李传维                  | 男  | 32 | 凝聚态物理 | 导师: 王孝群   | 中国   |                 | 2017 年至今           |
| 9                          | 马国立                  | 男  | 33 | 凝聚态物理 | 导师: 郑茂俊   | 中国   | 2017 年出站        | 2015 年至今           |
| 10                         | 唐天威                  | 男  | 28 | 凝聚态物理 | 导师: 钱 冬   | 中国   |                 | 2017 年至今           |
| 11                         | 王国华                  | 男  | 32 | 凝聚态物理 | 导师: 钱 冬   | 中国   |                 | 2016 年至今           |
| 12                         | 任清勇                  | 男  | 31 | 凝聚态物理 | 导师: 马 杰   | 中国   |                 | 2017 年至今           |
| 13                         | Sudeshna Sen         | 女  | 31 | 凝聚态物理 | 导师: 顾 威   | 印度   |                 | 2017 年至今           |
| 14                         | 王顺权                  | 男  | 34 | 凝聚态物理 | 导师: 沈文忠   | 中国   | 与企业合作培养         | 2017 年至今           |
| 15                         | 杨黎飞                  | 男  | 32 | 凝聚态物理 | 导师: 沈文忠   | 中国   | 与企业合作培养         | 2017 年至今           |
| 16                         | 王 锐                  | 男  | 31 | 凝聚态物理 | 导师: 王孝群   | 中国   |                 | 2017 年至今           |

## 四、学科发展与人才培养

### 1、学科发展

简述实验室所依托学科的年度发展情况,包括科学研究对学科建设的支撑作用,以及推动学科交叉与新兴学科建设的情况。

实验室所依托的上海交通大学物理与天文学院凝聚态物理学科 2002 年被教育部批准为国家重点学科,但当时主要研究方向为凝聚态物理理论、软凝聚体物理理论与实验、半导体光电子物理和超导单晶生长等方面,研究力量还是比较单薄和分散的。2006 年初我国明确将“量子调控与未来信息科学技术基础”列入国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020)重点研究领域,当时我们就认识到量子调控势必承载在人工结构新材料上,人工结构及量子调控研究会是凝聚态物理、材料物理、电子信息最活跃的前沿领域,因为它不仅能为未来信息、材料科学奠定新的物理基础,也能为量子新物态、新材料、新器件的发展提供新思路,将是 21 世纪高新技术发展的重要基础。

在这样的背景下,凝聚态物理国家重点学科从国家需求和学科前沿的有机结合点出发,针对人工电子/光子结构体系及其相应的量子调控中的重大基础科学问题,选取已在人工结构及量子调控领域有雄厚工作基础和条件、可望在国际科技竞争中占有一席之地的有限目标作为突破口。结合理论物理学科,将凝聚态物理理论方向集中于人工材料物性的计算研究与结构设计和小量子系统凝聚态理论领域;引进优秀人才将半导体光电子物理和超导单晶生长方向分别拓展为与半导体量子器件密切相关的半导体量子结构与量子过程调控和高温超导材料生长调控与机理研究领域。2009 年 2 月我们的“人工结构及量子调控”教育部重点实验室获批建设;2010 年起又进一步根据国际上拓扑绝缘体研究热潮,引进了表面和界面量子现象与调控优秀研究团队,2012 年 6 月实验室顺利通过教育部组织的验收。通过验收几年以来,实验室着重加强了杰出人才的引进和培养,凝聚研究方向和研究内容,已经逐步成为国内外有显著特色的人工结构及量子调控领域创新研究基地。在 2015 年度数理、地学领域教育部重点实验室五年工作评估中被评为优秀类实验室。

近两年来,在“新型量子材料物理与器件”国家自然科学基金委创新研究群体项目、“量子自旋阻挫体系和自旋液体中的新奇量子效应及调控研究”国家重点研发计划重点专项、科技部重点领域创新团队项目等国家重大科研、团队建设项目的带动下,上海交通大学将实验室作为凝聚态物理国家重点学科建设的主要载体,加大投入,重点予以建设。随着“985—新一轮学科建设”、“青年千人计划启动经费及校内配套”、“东方学者”“上海市千人计划”等人才项目的展

开,以及新进的多位海外归国优秀中青年科研人员的全职投入,实验室呈现出良好的发展态势,并瞄准国际学术前沿和国民经济发展需求对研究方向的原有布局进行了完善和加强。目前实验室已形成了五个研究方向,七支各有特色的研究团队,具有开放民主、紧密协作的学术氛围和团队文化。已在拓扑绝缘体量子现象、半导体量子器件、高温超导材料物理和小量子系统凝聚态基础理论等方面取得一批国际学术界领先的基础研究成果,同时成功开拓相关第二代高温超导带材和高效硅基太阳能电池技术的产业化应用。

“人工结构及量子调控”教育部重点实验室的建设支撑了上海交通大学凝聚态物理国家重点学科的发展,并有力地推动了与我校理论物理、材料物理和微电子与固体电子学等学科的交叉与合作,为我校物理学一级学科几年来的快速发展做了重要贡献。在2017年公布的教育部第四轮一级学科整体水平评估中,上海交通大学物理学被评为A类学科,在参评的127所高校中排名并列第三位。同时,上海交通大学对凝聚态物理学科的重点建设,也为实验室的发展带来了机遇。

## 2、科教融合推动教学发展

简要介绍实验室人员承担依托单位教学任务情况,主要包括开设主讲课程、编写教材、教改项目、教学成果等,以及将本领域前沿研究情况、实验室科研成果转化为教学资源的情况。

本实验室的教学工作着眼于国家发展和人的全面发展需要,坚持传授知识、培养能力、提高素质协调发展,着力提高学生的学习能力、实践能力和创新能力。实验室学术带头人在潜心科研的同时,也时刻铭记为社会培养、输送高素质人才是高等学校教师的主要任务。因此,实验室所有教授均担任了本科生、研究生基础课程或主要专业课程的主讲教师;共6位教授、副教授担任教学为主岗位,不安排科研任务;新进以科研为主的中青年教师,也必须承担本科生、研究生的培养工作。本年度,共有21位教师担任本科教学工作,开设23门课程,授课1962学时;15位教师担任研究生教学工作,开设17门研究生专业课,授课604学时;13位教师被列入上海交大致远学院物理学师资队伍;指导8人完成本科生毕业设计。在实验室学术带头人开设的课程中,不仅有基础理论知识课程,还有专门介绍凝聚态学科前沿热点、最新成果的《固体物理专题》、《物理研究实践》、《专业物理实验》等专题课程;针对不同的学生类型,部分课程采用双语教学或者全英语授课。本年度,袁晓忠教授获得上海交通大学首届教书育人奖三等奖;潘葳老师获“高等教育杯”全国高等物理基础课程青年教师讲课比赛上海赛区二等奖;吕智国副教授获2017年度上海交通大学优秀教师三等奖;管丹丹副研究员获上海交通大学李兰馨青年教师奖;郑茂俊教授为第一完成人的《研究型系列物理专



业实验建设与实践》荣获 2017 年上海交通大学校级教学成果奖一等奖，吕智国副教授主持了大学物理课程教改国家级项目《大学物理助教对工科人才培养的作用及助教培训模式探索》及学校项目《工科物理多模式混合教学法探索》。

在教学实践中，实验室教师积极探索并建立以问题和课题为核心的教学模式，倡导以本科学生为主体的创新性实验改革，鼓励学生开展课外科技、实验和创新实践活动，积极参与到国际前沿学术研究中。本年度，实验室学术带头人姚忻教授指导本科生杜舸海获第四届“钱学森杯”暨第十五届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品大赛一等奖及 2017 年交大优异学士学位论文 (top1%)，指导本科生梁昆获 2017 年第十四届全国超导学术研讨会 poster 论文一等奖，指导博士生钱俊参加在日本东京举行的第十届国际高温超导块体制备和应用会获得 Best Presentation Award 奖。实验室主任沈文忠教授指导本科生蔡怀鹏、张天骄、夏人杰完成的作品《基于太阳能的分布式水质监测系统》荣获“神雾杯”第十届全国大学生节能减排社会实践及科技竞赛三等奖。中国大学生物理学术竞赛 (CUPT) 是实践国家教育中长期发展规划纲要的重要大学生创新竞赛活动，是国内具有重要影响力的大学生物理竞技赛事之一，被列入中国物理学会物理教学指导委员会的工作计划。潘葳老师带队参加 2017 年第八届中国大学生物理学术竞赛 (CUPT)，荣获二等奖。以上成果的取得表明了实验室引导大学生进行创新性科学实践的教学工作是卓有成效的。

### 3、人才培养

#### (1) 人才培养总体情况

简述实验室人才培养的代表性举措和效果，包括跨学科、跨院系的人才交流和培养，与国内、国际科研机构或企业联合培养创新人才等。

“围绕提高自主创新能力、建设创新型国家，以高层次创新型科技人才为重点，努力造就一批世界水平的科学家、科技领军人才、工程师和高水平创新团队，注重培养一线创新人才和青年科技人才，建设宏大的创新型科技人才队伍。”是《国家中长期人才发展规划纲要》对高等院校人才培养方向的指导方针。实验室成立以来以培养拔尖创新人才为宗旨，以“知识探究、能力建设、人格养成”三位一体为理念，以“创新性、多元化和国际化”为驱动，形成了有自身特色的人才培养模式。年度代表性举措及成果包括：

#### 1、坚持“少而精”的教学模式，培养精英型科技人才

实验室将研究生的培养目标定位为物理学基础学科培养一批精英型人才，因

此，长期以来坚持“少而精”的教学模式。由一批热爱教育事业、学术造诣深厚、具有国际视野的导师，对有志于攀登世界科学高峰的优秀学生予以精心的专门指导。要求研究生不仅应具有扎实的科学文化知识、精良的专业技能、高尚的道德情操、健康的身体及心理素质，而且应该具有适应科学技术不断发展、解决实际问题的能力及创新能力。在导师的全心投入和重点指导下，实验室培养了一批掌握本领域坚实的基础理论和宽广的专门知识，掌握解决实际问题的先进方法和现代技术手段，了解本专业的国内外现状和发展方向，勇于在学术前沿深入探索的优秀研究生代表。研究生以第一作者在 Science、Nature Materials 等顶尖学术期刊上发表一批高水平论文，已成为实验室科研工作的中坚力量。

本年度，实验室博士研究生葛剑峰同学的博士论文《基于 STM 的微区四探针的研制与界面超导电性的原位测量》获得上海交通大学首届优秀博士学位论文奖（全校 14 篇）。葛剑峰同学在实验室学术带头人刘灿华教授的指导下，从事表面与界面效应及物理方向的研究。博士期间，他先是协助导师开发研制了世界首台可在极低温和强磁场环境下实现原位微区四探针电输运测量的扫描隧道显微镜。随后，他使用这套仪器设备，在 SrTiO<sub>3</sub> 单晶衬底表面制备出单层 FeSe 薄膜，并成功检测到了该薄膜的超导电输运特性和转变温度 ( $T_c$ ) 在 100K 以上的超导相变，从而发现了铜基超导体以外的首个也是唯一的常压下  $T_c$  进入液氮温区的超导材料。他的这一研究成果以第一作者发表于国际顶级期刊《Nature Materials》上。在博士研究生期间，他还曾获得博士生国家奖学金、人工微结构科学与技术协同创新中心英才奖特等奖等。目前葛剑峰同学在哈佛大学的 Jenny Hoffamn 教授实验组做博士后，继续相关领域的研究工作。

## 2、注重应用型人才培养

科学技术的进步最终要体现在对生产力的推动上，科研成果的转化与应用离不开技术、应用型人才的培养。实验室根据部分研究方向与产业化应用紧密结合的特色，有针对性对部分学生制定了特殊的研究生培养方案，要求高年级硕士研究生和博士生在结束基础理论课程后，必须有一半时间深入企业了解研究领域的产业化流程与标准，了解行业发展的瓶颈，并且在实验室获得的研究成果必须经过企业的中试生产线的验证。在太阳能光伏和第二代高温超导带材领域，实验室与国内外知名企业密切合作，一方面实验室为企业培训和输送了一批具有专业知识背景的人才，另一方面，企业为青年教师、研究生提供了科研成果测试和应用的实践平台。这样的举措，使得科研成果更加贴近产业化应用，更加符合企业需求，能更好的服务于国民经济。

实验室主任、国内光伏科学与技术领域著名学者沈文忠教授课题组长期以来

把科研工作的目光聚焦于新型太阳电池的应用基础研究,以是否具有产业化应用前景,是否有利于企业产业升级作为研究生科研工作的重要评价标准。2017 年度,课题组创新提出并实现了一种完全基于电化学合成方法的钙钛矿太阳电池制备技术路线,制备的平面钙钛矿太阳电池界面条件好,1cm<sup>2</sup> 尺寸电池效率达到 16%, 电池的回滞效应非常小;同时电场辅助沉积法中独特的电流自退火效应,使整个制备时间缩短到分钟级别(2min),实现了对高质量钙钛矿薄膜的高效制备。太阳电池可重复性高且具备了极高的稳定性,有利于钙钛矿太阳电池的进一步产业化推进。该方法的系统研究成果已经以封底论文的形式发表在【Advanced Functional Materials 27, 1606156 (2017)】。这项工作中,实验室研究生周烽同学承担了大量实验和测试工作,他也是论文的共同第一作者。

国际光伏科学与技术领域最高水平学术刊物《光伏研究及应用进展》在 2017 年连续报道了沈文忠教授课题组工业化高效晶体硅双面太阳电池、高效晶体硅背结背接触(BJBC)太阳电池领域的研究成果【Prog. Photovoltaics: Res. & Appl. 25, 280-290 (2017), IF:7.365】(封面论文)、【Prog. Photovoltaics: Res. & Appl. 25, 441-451 (2017), IF:7.365】。这两项成果都是与上市公司上海航天汽车机电股份有限公司(股票代码 600151)合作完成的,相关技术已经在企业高效晶硅太阳电池中试生产线上取得较好的进展,有工业化应用的前景。两篇文章的第一作者均为沈文忠教授指导的博士研究生鲁桂林同学,鲁桂林同学博士毕业以后,进入了光伏企业工作,成为公司研发部门骨干技术人员,继续从事新型太阳电池的研究工作。

### 3、增加良性竞争机制,探索创新型人才联合培养的模式

实验室还积极探索和实践与国内科研机构间联合培养创新人才的新途径,取得了优异成绩。“人工微结构科学与技术协同创新中心(CICAM)”是由本实验室为主体的上海交通大学凝聚态物理研究团队与南京大学(牵头单位)、复旦大学、浙江大学、中国科技大学及中科院合肥物质科学研究院共六家凝聚态物理研究领域的科研人员构成的科研机构,成立于 2014 年。CICAM 将六家科研机构的研究队伍纳入了统一培养和奖励体系,鼓励和推动六家单位各课题组研究生间的交换、交流与合作、竞争。为表彰和激励该中心所属研究组的优秀博士研究生,CICAM 每年度设立三项奖励计划,包括优秀博士后奖、研究生英才奖和研究生入学奖。本年度,实验室有 8 名在读博士研究生获得 CICAM 优秀研究生奖励计划英才奖一、二等奖,1 人获入学奖一等奖。沈文忠教授指导的钟思华博士因两年来在太阳能光伏领域出色的工作荣获中心优秀博士后 B 类奖,并获得国家优秀博士后基金资助。

#### 4、建立具有国际化视角的教学科研一体化教师队伍，坚持以人为本的教育理念

教师队伍水平的高低直接决定了人才培养的高度。教师的视野，决定了他施教的广度和深度。为学生提供国际化教育，培养拥有全球视野的创新型人才是世界一流大学的共识。依托单位上海交通大学正在朝着“双一流”大学的建设目标迈进，实验室以此为契机，近年来在吸引和培养高水平中青年科研人员方面取得长足进步。实验室 42 名固定人员中，有 25 人拥有超过一年的海外高水平科研机构工作、学习的经历；2014 年起，新引进的年轻人员均具有世界一流大学博士学位和学术工作经历，在学科前沿领域开展创新性研究，取得重要的研究成果，具有很强的学术潜力，研究工作至少达到了世界一流大学助理教授水平。以“青年千人”计划为主的海外归国青年学者已经在实验室承担越来越重要的研究工作，成为实验室科研工作可持续发展的重要保障。目前实验室有中科院院士和“千人计划”3 人，有“长江学者”“杰青”12 人；有“青年千人”“青年长江学者”“上海市千人”等 30 人的各类国家/省部级中青年人才计划获得者，已形成一支老中青结合的具有国际化视野的高水平人才梯队。

实验室骨干人员既是一名科研工作者也是人民教师，承担科研和教学两项基本工作。如何把科研和教学两项任务有机的结合起来，建立一支既具备高水平的科研能力，又具备良好的教学能力的教学科研一体化教师队伍，是实验室人才培养的关键。实验室根据各位老师的特点制定不同的分工，取长补短，互相合作。并关注每位教师个体的发展，将教师个人特长、利益目标和实验室整体利益目标相结合。承认能力差异，在管理上重心下移，考核和激励不作一刀切，不作硬性规定。使得每位教师充分发挥其特长和自身价值，快乐工作，真正实现教育以人为本的宗旨。本年度实验室年轻教师引进和培养方面，引进“青年千人计划”学者王世勇特别研究员、“上海市启明星计划”学者蔡子特别研究员；培养史志文特别研究员、张文涛特别研究员入选“青年千人计划”；派出年轻教师刘洪副研究员、钟思华博士前往法国、瑞士科研机构访学。在教学方面，袁晓忠教授获得上海交通大学首届教书育人奖三等奖；潘葳老师获“高等教育杯”全国高等物理基础课程青年教师讲课比赛上海赛区二等奖；吕智国副教授获 2017 年度上海交通大学优秀教师三等奖；管丹丹副研究员获上海交通大学李兰馨青年教师奖；郑茂俊教授为第一完成人的《研究型系列物理专业实验建设与实践》荣获 2017 年上海交通大学校级教学成果奖一等奖，吕智国副教授主持了大学物理课程教改国家级项目《大学物理助教对工科人才培养的作用及助教培训模式探索》及学校项目《工科物理多模式混合教学法探索》。

## (2) 研究生代表性成果（列举不超过 3 项）

简述研究生在实验室平台的锻炼中，取得的代表性科研成果，包括高水平论文发表、国际学术会议大会发言、挑战杯获奖、国际竞赛获奖等。

在研究生培养过程中，实验室十分重视学生的创新能力、独立工作能力的培养，始终坚持高标准、严要求，并制定了规范的研究生管理条例和学术论文发表条例。在实验室严谨求实、着重创新的良好学术氛围下，涌现了一批优秀的研究生，其中：

2017 年度，博士研究生葛剑锋的学位论文《基于 STM 的微区四探针的研制与界面超导电性的原位测量》获得上海交通大学首届优秀博士学位论文奖（全校共 14 篇）。葛剑锋同学在刘灿华教授的指导下，从事表面与界面效应及物理方向的研究。博士期间，他先是协助导师开发研制了世界首台可在极低温和强磁场环境下实现原位微区四探针电输运测量的扫描隧道显微镜。随后，他使用这套仪器设备，在 SrTiO<sub>3</sub> 单晶衬底表面制备出单层 FeSe 薄膜，并成功检测到了该薄膜的超导电输运特性和转变温度 ( $T_c$ ) 在 100K 以上的超导相变，从而发现了铜基超导体以外的首个也是唯一的常压下  $T_c$  进入液氮温区的超导材料。他的这一研究成果以第一作者发表于国际顶级期刊《Nature Materials》上。Nature Physics 两篇评论文章【Nat. Phys. **10**, 892 (2014), Nat. Phys. **12**, 22 (2016)】曾重点介绍该工作的主要结果，强调了该工作首创的原位微区四探针与扫描隧道显微镜相结合方法是“重要的技术手段”。评论文章还指出该工作在高温超导发展中具有重要的意义，它“激发了大量理论研究对于单层硒化铁薄膜的兴趣”，是迈向“室温超导的 BCS 高速公路”的重要环节。在博士研究生期间，葛剑峰同学还曾获得博士生国家奖学金、人工微结构科学与技术协同创新中心英才奖特等奖等。

贾金锋教授指导的博士研究生孙昊桦同学 2017 年以第一作者在包括 Nano Letters、NPJ Quantum Materials（自然合作期刊）等国际一流学术期刊在内的学术期刊上发表 SCI 论文三篇。孙昊桦同学在 2016 年度就因其在实验中首次观测到人工拓扑超导体量子磁通中的 Majorana 费米子态的自旋相关性质的成果【Phys. Rev. Lett. **116**, 257003 (2016)】，荣获 2016 年度博士生国家奖学金，同时获得“人工微结构科学与技术”协同创新中心研究生英才奖特等奖。

此外，沈文忠教授课题组的硕士研究生周烽以第一作者身份在国际一流学术期刊 Advanced Functional Materials 上发表封底论文【Adv. Funct. Mater. **27**, 1606156 (2017)】；博士生钱俊，硕士生刘艳、何佳鸣获得 2017 年研究生国家奖学金；吴昊、张玲、鲁贵林、孙昊桦同学获 2017 年度“人工微结构科学与

技术”协同创新中心研究生英才奖一等奖；李强、何伟、尤玉秀、段明超同学获 2017 年度“人工微结构科学与技术”协同创新中心研究生英才奖二等奖；胡成同学获“人工微结构科学与技术”协同创新中心研究生入学奖一等奖；本科生杜舸海获第四届“钱学森杯”暨第十五届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品大赛一等奖及 2017 年上海交通大学优异学士学位论文 (top1%)，本科生梁昆获 2017 年第十四届全国超导学术研讨会 poster 论文一等奖。博士生庄宇峰论文《金刚线切割多晶硅湿法黑硅制绒技术及电池应用》被评为 2017 年第 13 届中国太阳级硅及光伏发电研讨会大会优秀论文；博士生钱俊参加在日本东京举行的第十届国际高温超导块体制备和应用会议获得 Best Presentation Award 奖。

### (3) 研究生参加国际会议情况（列举 5 项以内）

| 序号 | 参加会议形式 | 学生姓名 | 硕士/博士 | 参加会议名称及会议主办方  | 导师  |
|----|--------|------|-------|---|-----|
| 1  | 口头报告   | 钱俊   | 博士    | The 10th International Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials<br>Shibaura Institute of Technology | 姚忻  |
| 2  | 口头报告   | 文理斌  | 博士    | APS March meeting 2017<br>American Physical Society   | 刘荧  |
| 3  | Poster | 吴祥   | 博士    | EUCAS 2017, Geneva, September 17-21, 2017,<br>European Society for Applied Superconductivity (ESAS)   | 李贻杰 |
| 4  | Poster | 姚艳婕  | 博士    | EUCAS 2017, Geneva, September 17-21, 2017,<br>European Society for Applied Superconductivity (ESAS)   | 李贻杰 |
| 5  | Poster | 徐锦秋  | 博士    | International Conference on Neutron Scattering 2017 (ICNS 2017)<br>The Organizing Committee of ICNS 2017  | 马杰  |

## 五、开放交流与运行管理

### 1、开放交流

#### (1) 开放课题设置情况

简述实验室在本年度内设置开放课题概况。

实验室于 2012 年通过教育部验收以后，遵循《教育部重点实验室建设与运行管理办法》的规定，充分开放运行，建立访问学者制度，设立开放课题，吸引优秀人才开展合作研究。2013 年度开始设立实验室开放课题。在实验室网站专门设立了开放课题专栏，公开接受课题申请。

实验室的开放课题特别面向国内优秀的年轻学者，希望能为他们明确研究方向、加快科研启动提供帮助。通过验收以来，经学术委员会审核通过，已为国内青年学者设立开放课题 9 项，其中 2013 年度 4 项，2014 年度 1 项，2016 年度 4 项，资助经费共 36 万元，课题执行期为两年。在这些开放课题的资助下，2013-2017 年度共发表了包括 Phys. Rev. Lett.、Nanoscale 在内的 15 篇高水平 SCI 论文。

目前在研的四项开放课题为 2016 年度设立，分别资助了中国科学院物理研究所、电子科技大学（2 人）、上海师范大学的四位年轻学者，开放课题名单见下页表格，四项开放课题负责人的申请时平均年龄为 37 岁。

2017 年度至今，开放课题申请者共发表标注实验室名称的 SCI 论文 4 篇（其中 2017 年度论文 3 篇），列表如下：

1. Rapid and sensitive detection of malachite green and melamine with silver film over nanospheres by surface-enhanced Raman scattering, G. N. Xiao, W. B. Huang, Z. H. Li, Plasmonics, **12**, 1169-1175 (2017).
2. Highly sensitive, reproducible and stable SERS substrate based on reduced graphene oxide/silver nanoparticles coated weighing paper, G. N. Xiao, Y. X. Li, W. Z. Shi, L. Shen, Q. Chen, L. Huang, Appl. Surf. Sci. **404**, 334 (2017).
3. Rapid and controllable a-Si:H-to-nc-Si:H transition induced by a high-density plasmaroute, H. P. Zhou, M. Xu, S. Xu, L. X. Xu, H. Ji, S. Q. Xiao and Y. Y. Feng, J. Phys. D: Appl. Phys. **50**, 385103 (2017)
4. A comparative study on the direct deposition of  $\mu$ c-Si:H and plasma-induced recrystallization of a-Si:H: Insight into Si crystallization in a high-density plasma, H. P. Zhou, M. Xu, S. Xu, Y. Y. Feng, L. X. Xu, D. Y. Wei and S. Q. Xiao, Appl. Surf. Sci. **433**, 285-291 (2018)

开放课题的设立，为实验室与国内各单位学者间创造了学术接触、交流和讨论的良好环境。有利于拓宽原有研究方向的学术空间，有利于在学术方向上的集思广益、优势互补，形成创新机制，并有效提升了实验室在领域内的影响力和知名度。

实验室开放课题列表:

| 序号 | 课题名称                                  | 经费额度 | 承担人 | 职称    | 承担人单位    | 课题起止时间        |
|----|---------------------------------------|------|-----|-------|----------|---------------|
| 1  | 宽禁带窗口层硅基异质结太阳能电池界面钝化与载流子输运机理研究        | 4万   | 周海平 | 副教授   | 电子科技大学   | 2016.7-2018.7 |
| 2  | 高热稳定性薄膜探索、制备及其应用                      | 4万   | 熊杰  | 教授    | 电子科技大学   | 2016.7-2018.7 |
| 3  | FeSe/SrTiO <sub>3</sub> 超导薄膜的声子振动模式研究 | 4万   | 单欣岩 | 高级工程师 | 中科院物理研究所 | 2016.7-2018.7 |
| 4  | 表面增强拉曼光谱技术快速检测非法食品添加剂                 | 4万   | 肖桂娜 | 副教授   | 上海师范大学   | 2016.7-2018.7 |



(2) 主办或承办大型学术会议情况

| 序号 | 会议名称  | 主办单位名称  | 会议主席                                    | 召开时间           | 参加人数 | 类别    |
|----|---|---|---|----------------|------|-------|
| 1  | 2017 第十三届中国太阳级硅及光伏发电研讨会 (13 <sup>th</sup> CSPV)                               | 半导体量子结构与量子过程调控团队 (上海交通大学太阳能研究所)、中国可再生能源学会、浙江大学、中山大学     | 石定寰<br>朱俊生<br><b>沈文忠</b><br>(会议副主席、秘书长) | 2017.11.16-18  | 1000 | 全国    |
| 2  | 第三届凝聚态物理会议 (CCMP 2017)  | 上海交大凝聚态物理研究所暨人工结构及量子调控教育部重点实验室、复旦大学、中国科学院物理研究所          | 王孝群<br>沈健<br>向涛                         | 2017.6.24-27   | 1000 | 全国    |
| 3  | The 2017 International Workshop: Topological matter meets quantum information | 高温超导材料生长调控与机理团队/上海市复杂物理中心                               | 刘茨<br>贾金锋                               | 2017.6.13-17   | 60   | 国际研讨会 |
| 4  | 物理中的拓扑国际研讨会   | 表面和界面量子现象与调控团队/李政道研究所                                   | 贾金锋<br>傅亮                               | 2017.5.30-6.12 | 100  | 国际研讨会 |
| 5  | 2017 上海市太阳能学会年会暨分布式阳光论坛   | 半导体量子结构与量子过程调控团队 (上海交通大学太阳能研究所)、协鑫集成科技股份有限公司、阳光电源股份有限公司 | <b>沈文忠</b>                              | 2017.7.21      | 200  | 国内研讨会 |
| 6  | 2017 年全国电子显微学年会扫描探针显微镜分会  | 中国电子显微镜学会   | 贾金锋<br>(分会主席)                           | 2017.10.17-22  | 120  | 国内研讨会 |

### (3) 国内外学术交流与合作情况

请列出实验室在本年度内参加国内外学术交流与合作的概况,包括与国外研究机构共建实验室、承担重大国际合作项目或机构建设、参与国际重大科研计划、在国际重要学术会议做特邀报告的情况。请按国内合作与国际合作分类填写。

实验室坚持请进来和走出去相结合,积极开展与国内外科研机构的合作与交流,取得了一批实质性的合作成果,国内外的学术地位与影响力正在稳步提升。本年度,继续邀请 2003 年诺贝尔物理学奖获得者、著名物理学家 Anthony J. Leggett 教授担任兼职教授;邀请美国田纳西大学副教授周海东来实验室做访问学者。派出年轻教师刘洪副研究员、钟思华博士前往法国、瑞士科研机构访学。邀请国内外著名专家定期作学术报告,年度内邀请 41 位海内外著名学者作专题学术报告。年度内,组织大型全国性学术会议一次(第十三届中国太阳级硅及光伏发电研讨会);合作组织全国性学术会议一次(第三届凝聚态物理会议),组织国际研讨会二次;主持全国性学术会议分会一次;主持行业协会年会一次。实验室固定人员参加国际会议 34 人次,其中作邀请报告 18 人次;参加国内会议 30 余人次,作邀请报告 13 人次。研究生参加国际会议 6 次,国内会议 19 次;指导研究生获国际会议 Best Presentation Award 奖 1 人,国内权威会议优秀论文奖 2 篇。

国内交流方面,实验室骨干团队继续与南京大学(牵头单位)、复旦大学、浙江大学、中国科技大学及中科院合肥物质科学研究院五家单位联合深入开展教育部“2011 计划”——“人工微结构科学与技术协同创新中心(CICAM)”项目的科研工作。项目针对后摩尔时代人类信息技术可持续发展的迫切需求,以新型微结构材料中的量子调控科学与技术为核心,推动信息载体和信息处理手段从经典到量子系统的演变,力争为新一代信息技术革命奠定材料和器件物理基础,已取得了阶段性成果。

国际交流方面,实验室继续与美国、英国、日本、法国、韩国、加拿大等 10 余个国家的高水平的科研机构保持密切的学术合作。实验室年度在研各类国际合作项目 9 项,其中 2017 年新增的科学研究国际合作项目 4 项,包括:顾威教授与美国佛罗里达亚州立大学、美国高磁实验室的合作项目:“Nature of Mott transition in real materials”;顾威教授与美国路易斯安那州立大学、中科院物理所的合作项目:“Nature of Mott transition in real materials”;史志文特别研究员与美国加州大学伯克利分校的合作项目:“低维材料的近场光学研究”;马杰教授与美国田纳西大学、美国橡树岭国家实验室、美国国家计量标准局合作的项目:“量子自旋液体合作研究”等。

沈文忠教授带领的太阳能光伏研究团队与新南威尔士大学光伏与可再生能源工程院、嘉兴市政府共同创建的嘉兴光伏高新技术产业园区光伏产业创新研究中心于 2016 年 6 月正式运营，研究中心拥有场地 2000 多平方米，其中办公、展示、培训场地 400 多平方米，试验测试场地 1600 多平方米。该国际合作项目建设在 2017 年度继续深入推进，2017 年初嘉兴光伏众创空间在研究中心挂牌，成为我国光伏行业产学研结合的示范基地和创业孵化器，研究中心还立项了多个有产业化前景的光伏项目。

#### (4) 科学传播

简述实验室本年度在科学传播方面的举措和效果。

作为依托高等院校的科研单位，实验室不仅肩负科研与教学两项重要任务，也承担着进行科学传播的社会责任。本年度实验室的科学传播主要面向青少年，包括大学生和中学生，主要举措与成果如下：

- 1、定期邀请物理学各个领域的著名大师、学者做科学报告，向实验室研究生介绍物理学各分支的发展历史和最新研究进展。
- 2、实验室继续成为上海电力学院数理学院的“本科生科学认识实践”课程的合作基地。2017 年 12 月，接待该校本科生 80 余人进行科学实践，实验室主任沈文忠教授专门作学术报告。这些活动，给予校外大学生利用实验室先进平台进行科研基本训练的机会，也让他们近距离的接触到凝聚态物理学科的学术前沿，以吸引更多优秀学生致力于物理学。
- 3、2017 年 5 月参与举办 2017 年第八届两岸三地知名高校物理学科博士生学术创新论坛。此次论坛历时三天，吸引包括北京大学、清华大学、南京大学、中国科技大学、西安交通大学、华中科技大学、台湾大学、香港科技大学、香港理工大学、中国科学院上海光学精密机械研究所等 22 所高校、科研院所的相关学科近百名博士生以及上海交通大学物理相关学科两百余名研究生共同参与，实验室学术带头人担任了论坛学术委员会成员。贾金锋教授、顾威教授分别为论坛作主题报告。
- 4、2017 年 6 月 8 日，实验室组织上海交通大学物理、环境、电信、材料、船建等学院研究生 30 余人共同赴合作企业苏州协鑫集团交流学习，使在校学生对新能源领域的科技进展有了深切的感知和体会，并且深深地感受到了优秀企业的企业文化。

5、2017年7月3日至2016年7月9日，上海交通大学物理与天文学院联合中科院物理所举办了第七届全国优秀本科生物理学及其交叉学科暑期学校，面向全国著名高校的大三优秀本科生，全面介绍物理学的各个二级学科。实验室学术带头人担任暑期学校中凝聚态学科的主讲教师，受到了学员的好评，实验室也对暑期学校学员全面开放。

6、实验室参与组织本科生“维裕杯”科创竞赛，实验室部分老师担任了竞赛指导老师，部分学术带头人担任竞赛评委。张文涛特别研究员指导郝笃行同学获得了本次比赛的二等奖。“维裕杯”以上海交通大学物理系首任系主任裘维裕先生之名命名，旨在为物理与天文学院学生提供一个交流、互动和展示的学术平台，增强物理与天文学院本科生和研究生之间的科研交流，提高学生的思辨能力和口头表达能力。“维裕杯”科创竞赛受到了昂立集团的资助。

7、实验室2017年度参与举办“中学生英才计划”物理夏令营，对中学生开放实验室，激发中学生对科学研究的浓厚兴趣。中国科协、教育部于2013年开展了中学生科技创新后备人才培养计划（简称“英才计划”）。该计划的主要任务是选拔一批品学兼优、学有余力，具有创新潜质的中学生走进大学，在自然科学基础学科领域的著名科学家指导下参加科学研究项目、科技社团活动、学术研讨和科研实践等活动。

## 2、运行管理

### (1) 学术委员会成员

| 序号 | 姓名           | 性别 | 职称         | 年龄 | 所在单位         | 是否外籍 |
|----|--------------|----|------------|----|--------------|------|
| 1  | 甘子钊<br>(主任)  | 男  | 教授<br>(院士) | 79 | 北京大学         | 否    |
| 2  | 沈学础<br>(副主任) | 男  | 教授<br>(院士) | 79 | 复旦大学         | 否    |
| 3  | 薛其坤<br>(副主任) | 男  | 教授<br>(院士) | 54 | 清华大学         | 否    |
| 4  | 祝世宁<br>(副主任) | 男  | 教授<br>(院士) | 68 | 南京大学         | 否    |
| 5  | 陶瑞宝          | 男  | 教授<br>(院士) | 80 | 复旦大学         | 否    |
| 6  | 孙昌璞          | 男  | 教授<br>(院士) | 55 | 北京计算科学研究中心   | 否    |
| 7  | 闻海虎          | 男  | 教授         | 54 | 南京大学         | 否    |
| 8  | 陆卫           | 男  | 研究员        | 55 | 中科院上海技术物理研究所 | 否    |
| 9  | 陈鸿           | 男  | 教授         | 57 | 同济大学         | 否    |
| 10 | 张文清          | 男  | 研究员        | 51 | 中科院上海硅酸盐研究所  | 否    |
| 11 | 雷啸霖          | 男  | 教授<br>(院士) | 79 | 上海交通大学       | 否    |
| 12 | 郑杭           | 男  | 教授         | 66 | 上海交通大学       | 否    |
| 13 | 马红孺          | 男  | 教授         | 57 | 上海交通大学       | 否    |
| 14 | 沈文忠          | 男  | 教授         | 49 | 上海交通大学       | 否    |

## (2) 学术委员会工作情况

请简要介绍本年度召开的学术委员会情况，包括召开时间、地点、出席人员、缺席人员，以及会议纪要。

按《教育部重点实验室建设与运行管理办法》的要求，实验室成立了由十四位知名学者组成的学术委员会，指导实验室的学术方向，评估实验室的研究成果，审议实验室的重大学术活动和年度工作计划、审批开放研究课题。实验室同时制定了《人工结构及量子调控教育部重点实验室学术委员会工作条例》，对学术委员会的组成和相关职能进行规范。

实验室通过验收以来每年均举行学术委员会会议。为了完整的对年度工作进行梳理后向学术委员会汇报，每年的学术委员会会议均在次年度的4-5月份举行，2017年度的学术委员会将于2018年上半年举行。

2017年4月25日，我们在上海交通大学闵行校区举行了实验室2016年度的学术委员会会议，参加会议的有学术委员会主任：北京大学甘子钊院士；副主任：复旦大学沈学础院士，南京大学祝世宁院士；委员：复旦大学陶瑞宝院士，南京大学闻海虎教授，同济大学陈鸿教授，中科院上海硅酸盐研究所张文清研究员，上海交通大学的雷啸霖院士、郑杭教授、马红孺教授和沈文忠教授。实到委员11人，超过学术委员会总人数的三分之二。上海交通大学物理与天文学院院长王孝群教授，院党委书记朱卡的教授，以及实验室学术带头人、骨干教师、校科研院代表等20余人也参加了会议。

委员们认真听取了实验室主任沈文忠教授作的实验室2016年度建设进展报告，还听取了刘灿华教授、马杰特别研究员、钟思华博士分别作的学术进展报告，对实验室的发展进行了讨论。学术委员会对实验室的年度工作予以了肯定，并提出了宝贵意见和建议。会议纪要如下：

## 上海交通大学“人工结构及量子调控”教育部重点实验室 2016年度学术委员会会议纪要

2017年4月25日，“人工结构及量子调控”教育部重点实验室在上海交通大学物理与天文学院召开了2016年度实验室学术委员会会议。委员们认真听取了实验室主任沈文忠教授作的实验室2016年度建设进展报告，还听取了刘灿华教授、马杰特别研究员、钟思华博士分别作的学术进展报告，对实验室的发展进行了讨论，形成如下意见：

- 1、实验室2016年度在前沿基础研究、应用基础研究和产业化应用三个方面均取得了一些突出的研究成果。基础研究领域中“实验证实马约拉纳费米子的存在”的成果受到了学术界广泛关注和认可；在高效硅基太阳能电池和第二代高温超导带材成果转化上也取得了很好的社会评价和经济效益。相信实验室会继续坚持基础研究与科技成果产业化应用并重的自身特色。
- 2、实验室面向国家重大战略需求，承担了“国家重点研发计划专项”、“973”项目、“国家自然科学基金委创新群体、重点项目”等一批重要的科研项目，科研经费大幅提高。希望实验室抓住机遇，以重大项目为驱动，加快人才队伍建设、完善大型实验平台、增加国内外学术交流和合作。
- 3、实验室人才发展和人才培养成效显著，已形成一支老中青结合的研究队伍，其中青年学者已经成为实验室科研工作可持续发展的主要力量，活跃在国际相关前沿领域。希望实验室在引进高水平人才的同时，继续大力扶持现有团队，注重协同合作，继续保持实验室的凝聚力。
- 4、希望实验室在总结成绩的同时，应更加关注国家经济转型和创新发展的迫切需求，瞄准国家重点实验室的建设目标，进一步完善中长期发展规划，加强顶层设计，在保持自身特色的同时，开拓和布局新的研究领域。建议上海交通大学及物理与天文学院继续大力支持和推动实验室的建设，为物理学学科发展和上海交通大学“双一流”建设做出重大贡献。

学术委员会主任：

2017年4月25日

### (3) 主管部门和依托单位支持情况

简述主管部门和依托单位本年度为实验室提供实验室建设和基本运行经费、相对集中的科研场所和仪器设备等条件保障的情况，在学科建设、人才引进、团队建设、研究生培养指标、自主选题研究等方面给予优先支持的情况。

本实验室是依托单位上海交通大学校内注册的独立实验室，在实验室用房、设备管理、人员编制等方面独立统计，并给予专职管理人员名额。上海交通大学本年度为实验室划拨 130 万元的基本运行经费，由实验室主任负责，专款专用，保证了实验室正常运转。同时，近年来，学校已投入“985”新一轮学科建设经费、“青年千人”配套、教育部“中央高校改善基本办学条件经费项目”等超过 2000 万元经费为实验室新引进的海外归国青年科技人才提供科研启动经费。利用这些投入，实验室正在搭建新的具有国际领先水平的材料生长及测试平台，这些平台的建立，为实验室的可持续发展奠定扎实的基础。

上海交通大学为实验室提供的科研用房全部集中在上海交通大学闵行校区物理/物理实验群楼，分别在一、九和十层，总面积约 2320 平方米，下设计算凝聚态物理实验室、凝聚态光谱与光电子物理实验室、超导和其它功能晶体生长实验室、高温超导带材实验室、表面和界面量子现象与调控实验室以及太阳能研究所等。上海超导科技股份有限公司为上海交通大学建造的新理科大楼在 2017 年度已经完成建造，并开始进行室内装修，实验室将在 2018 年度完成整体搬迁。届时本实验室的科研用房面积又将进一步增加，并且场地布局更加合理，科研环境更加安全规范。

实验室的建设运行中，关系到实验室发展大局的中长期规划通常由学术委员会及实验室主任、学术带头人共同讨论制定，依托单位配合实施。上海交通大学在人才引进、团队建设、研究生培养指标、自主选题研究等方面给予了充分的支持。依托单位在管理上给予的自主权及优先权，为实验室更好的凝练研究方向，完善学科结构提供了良好的条件。

上海交通大学十分重视对创新基地的培育和考核。学校科学技术发展研究院每年组织专家集中对校内各省部级重点实验室（2017 年为 30 个）进行考核，并将考核结果与实验室运行经费挂钩，促进了校内各实验室间的良性竞争。截至 2017 年度，本实验室已经连续五年在上海交通大学校内评估中获评“优秀”。



### 3、仪器设备

简述本年度实验室大型仪器设备的使用、开放共享情况，研制新设备和升级改造旧设备等方面的情况。

截至 2017 年底，本实验室共有 20 万元以上的大型设备 66 台（套），总价值 9916 万元。其中年度新增 20 万元以上设备 3 台（套），共计 1485 万元。2017 年度，表面和界面量子现象与调控方向、高温超导材料生长调控与机理研究方向的新测试平台已基本完成。其中，表面和界面量子现象与调控方向购置两套极低温强磁场扫描隧道显微镜(1400 万元)；张文涛特别研究员已完成时间分辨角分辨光电子能谱仪系统的研制，各项参数已经达到最优状态。该时间分辨角分辨光电子能谱仪的时间分辨率好于 170 飞秒，能量分辨率约 20meV，样品温度最低能达 2K，达到了国际先进水平。高温超导材料生长调控与机理研究方向刘茨教授团队的极低温、矢量磁场电输运测量系统的搭建已经完成并投入使用，因科研需要，年度新增共聚焦拉曼光谱仪一台（85 万元）。

实验室大型仪器设备均设专职管理员，负责重大仪器设备的登记、使用与维护。在所制定的《人工结构及量子调控教育部重点实验室管理条例》中，对实验室的设备购置、大型仪器设备使用与维护做出明确规范。实验室的管理贯彻“三个整合、两个保证”的原则，即实验设施整合、研究队伍整合、学科交叉整合，保证稳定的主体研究队伍、保证固定集中的实验研究平台与仪器共享平台，现有的大部分的平台与上海交通大学其他实验平台实行资源共享。实验室仪器设备在优先满足本实验室科学研究、教学实验需求的前提下，面向社会、开放使用，以提高使用效率。

实验室鼓励固定人员积极开发仪器的新功能，表面和界面量子现象与调控方向刘灿华教授近年来利用已有设备完成了基于四电极 STM 的原位双线圈互感技术的设备研制。扫描隧道显微镜 (STM) 能够在原子尺度下获取导电晶体的表面原子排列和电子结构信息，已在凝聚态物理研究领域受到了广泛的应用，成为研究新奇量子效应和现象的强力工具。不过，普通的 STM 探头只有一个电极，这让它只局限于对样品进行结构表征。2015 年，该实验室发明了具有四个电极的 STM 探头从而将一台极低温强磁场 STM 的功能拓展到了物性测量方面，实现了表面电输运测量的功能【Review of Scientific Instruments **86**, 053903 (2015)】。2016 年，该实验室进一步在该四电极 STM 探头的基础上，研制出了双线圈互感技术，首次实现了对超导薄膜的抗磁响应进行原位测量【Review of Scientific Instruments **88**, 073902 (2017)】。该套设备集样品制备、结构表征和物性测量于一体，用有限的经费实现了大型真空互联系统所追求的功能与作用。目前，国内外多个研究团队已购置或正在研发着类似的实验设备。对已有设备平台进行升级改造和整合，并摸索出具有自主知识产权的材料生长和测试的创新性工艺，已成为实验室物理基础研究取得重要成果的关键和基础。

## 六、审核意见

### 1、实验室负责人意见

实验室承诺所填内容属实，数据准确可靠。

本人承诺所填写内容属实，数据准确可靠。

数据审核人：蒋震宗

实验室主任：沈文忠

(单位公章)

2018年3月9日

### 2、依托高校意见

依托单位年度考核意见：

(需明确是否通过本年度考核，并提及下一步对实验室的支持。)

依托单位负责人签字：

(单位公章)

年 月 日