

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

(2019年1月——2019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**

2020年3月11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 (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 与贡献	论文与专著	发表论文	SCI	75 篇	EI	0 篇 (未统计)
		科技专著	国内出版	0 部	国外出版	1 部 (章节)
	奖励	国家自然科学奖	一等奖	0 项	二等奖	1 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	1 项	

	项目到账总经费	2524.01 万元	纵向经费	2194.51 万元	横向经费	329.5 万元	
	发明专利与成果转化	发明专利	申请数	7 项	授权数	1 项	
		成果转化	转化数	1 项	转化总经费	成果年度产值： 超过 4.2 亿	
	标准与规范	国家标准	0 项		行业/地方标准	1 项	
研究队伍 建设	科技人才	实验室固定人员	44 人	实验室流动人员	19 人		
		院士	1 人	千人计划	长期 2 人 短期 0 人		
		长江学者	特聘 5 人 讲座 1 人	国家杰出青年基金	6 人		
		国家“万人计划” 领军人才	2 人	青年长江	1 人		
		青年千人计划	9 人	国家优秀青年基金	0 人		
		其他国家、省部级 人才计划	35 人	自然科学基金委 创新群体	1 个		
		教育部创新团队	2 个	科技部重点领域创新团队	1 个		
	国际学术 机构任职	<b>姓名</b>	<b>任职机构或组织</b>			<b>职务</b>	
		刘 荧	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	《NPJ Quantum Materials》			编委	
		贾金锋	《Condensed Matter》			编委	
		沈文忠	《Nano-Micro Letters》			Editorial Board Member	
		沈文忠	《Frontiers in Energy》			编委	
		刘灿华	美国物理联合会（AIP）			AIP Publication China Advisory Board	
		朱卡的	《EPJ Quantum Technology》			编委	

		朱卡的		《Scientific Reports》		编委
		刘 荧		《Chinese Physics B》		编委
		郑 浩		《Applied Science》		Guest Editor
		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		1 人	国外	2 人
	博士后	本年度进站博士后		4 人	本年度出站博士后	4 人
学科发展与人才培养	依托学科 (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		94 人	在读硕士生	
	承担本科课程	1898 学时		承担研究生课程		698 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	1 次		国内 (含港澳台)	4 次
	年度新增国际合作项目				5 项	
	实验室面积	3600m <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	150 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。

#### 实验室简介

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能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，实验室引进 Simons 基金会多电子问题合作组的学者秦明普、劳伦斯伯克利国家实验室博士后研究员陈鹏两位青年人才。其中，陈鹏副教授入选 2019 年度国家“青年千人”计划。培养钱冬教授入选 2019

年度国家“万人计划”科技创新领军人才，史志文特别研究员入选 2019 年度上海市“曙光学者”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 2020 年 1 月，实验室在职人员有固定人员 44 人、行政服务人员 6 人，其中正教授 19 人，40 岁以下研究骨干 13 人。此外，还有兼职教授、访问学者及博士后等流动人员 19 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（顾威、刘荧）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、刘荧、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），两人入选国家“万人计划”科技创新领军人才（贾金锋、钱冬），两人曾入选“教育部跨世纪优秀人才计划”（朱卡的、马红孺），一人入选中组部“拔尖人才计划”、科技部中青年科技创新领军人才（钱冬）；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，有九人入选国家“青年千人计划”（罗卫东、李耀义、马杰、郑浩、张文涛、史志文、蔡子、王世勇、陈鹏），三人入选上海市“千人计划”（李贻杰、郑浩、史志文），一人入选教育部“青年长江学者”（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），四人入选上海市“曙光学者”（钱冬、刘灿华、郑浩、史志文），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），二人入选上海市“启明星”计划（钱冬、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和 2016 年科技部创新人才推进计划重点领域创新团队。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）。

## 年度成果综述

2019 年度，贾金锋教授带领的表面和界面量子现象与调控团队的研究成果“拓扑量子材料制备与量子特性的实验研究”，荣获 2019 年度国家自然科学基金二等奖，贾金锋教授为第一完成人。本研究成果共五位完成人，第二至第五完成人分别为钱冬教授、刘灿华教授、高春雷教授、管丹丹特别研究员，均为实验室固定人员（高春雷教授 2012-2015 年为实验室学术带头人），上海交通大学为唯一完成单位。本年度，由教育部推荐，上海交通大学为牵头单位、贾金锋教授为项目负责人的国家重点研发计划“量子调控与量子信息”重点专项项目“马约拉纳零能模的构筑与操控”获批立项。

2019 年 11 月，美国科睿唯安(Clarivate Analytics)在线公布了全球 2019 年“高被引科学家(2019 Highly Cited Researchers)”名单。上海交通大学共入选 16 人，实验室贾金锋教授、钱冬教授、郑浩特别研究员入选。其中，钱冬教授为连续第三年、贾金锋教授为连续第二年入选全球高被引科学家榜单。

沈文忠教授因在新能源领域的杰出工作，荣获亚洲光伏产业协会 (APVIA) 颁发的杰出科技贡献奖。本奖项每两年颁发一次，旨在表彰在光伏领域做出的突出贡献和取得的重大发明创造的组织和个人。沈文忠教授主编（排名第一）上海市住房和城乡建设管理委员会《太阳能光伏发电建筑应用技术标准》，2019 年完成征求意见稿。沈文忠教授 2019 年还荣获中国电力科学进步二等奖（排名第四），并入选山东省人民政府战略性新兴产业创新类“泰山产业领军人才”计划。

实验室紧紧围绕国家光伏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。本年度与中天光伏材料有限公司、江苏林洋光伏科技有限公司、协鑫集成、隆基乐叶光伏、东方日升等国内外知名企业继续保持密切合作，推动科学技术的产业化。实验室参与研发的硅异质结太阳能电池组件和电池组件背板两个产品代表上海交通大学参加 2019 年 9 月在国家会展中心（上海）举办的第 21 届中国国际工业博览会。成果转化的中天光伏材料有限公司的“太阳能电池背板产品”2019 年度销售额达 4.2 亿人民币。

本年度，实验室固定人员发表 SCI 论文 75 篇，其中实验室为通讯作者单位完成 56 篇。年度论文中包括在影响因子 7.0 以上的国际一流期刊上正式发表论文 17 篇，其中为主发表 14 篇，合作发表 3 篇。



为主发表的 14 篇高水平论文包括: Advanced Materials (最新影响因子 25.809) , Nature Communications 一篇 (最新影响因子 11.878) , Nano Energy 一篇 (最新影响因子 15.548) , Nano Letters 一篇 (最新影响因子 12.279), Physical Review X 一篇 (最新影响因子 12.211) , Physical Review Letters 二篇 (最新影响因子 9.227) , Journal of Materials Chemistry A 一篇 (最新影响因子 10.733) , Nano Research 一篇 (最新影响因子 8.515) , ACS Applied Materials & Interfaces (最新影响因子 8.456) , Carbon 二篇 (最新影响因子 7.466) , 2D Material 一篇 (最新影响因子 7.343) , Advanced Optical Materials 一篇 (最新影响因子 7.125) 。以上重要论文, 实验室均为第一作者或通讯作者单位。与其他科研机构合作发表的 3 篇高水平论文包括: Nature 一篇 (最新影响因子 43.07) , Nature Physics 一篇 (最新影响因子 20.113) , Nature Chemistry 一篇 (最新影响因子 23.193) 。

本年度, 实验室组织国际会议一次 (第十七届半导体界面国际会议) , 组织大型全国性学术会议一次 (第十五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 CCMP 2019 (第五届凝聚态物理会议); 组织学术研讨会一次 (量子材料与物理前沿研讨会); 主持行业协会年会一次 (上海市太阳能学会年会暨鑫单晶叠瓦技术研讨会)。实验室固定人员参加国际会议 45 人次, 其中作邀请报告 34 人次; 参加国内会议 40 余人次, 作邀请报告 12 人次。研究生参加国际会议 7 人次, 国内会议 37 人次; 指导博士后、研究生获权威会议优秀论文奖 3 篇。培养研究生获上海交通大学“学术之星” 1 人; 获“国家奖学金” 等各类奖励 22 人次; 指导学生获全国大学生物理学术竞赛二等奖 1 项, 大学生物理学术竞赛华东赛区特等奖 1 项、大学生物理学术竞赛上海赛区一等奖 2 项; 指导学生获 2019 年“TESCAN & Thermo Fisher Scientific 杯” 全国大学生微结构摄影大赛三等奖。获上海交通大学第六届卓越教学奖 1 项, 唐立新教学名师奖 1 项, 烛光奖 1 项, 教书育人提名奖 1 项; 高等学校第十四届物理演示实验教学仪器展示三等奖 2 项; 主持国家级教学项目 1 项, 参与 1 项。实验室成员完成 Wiley 出版社的全英文教材《Advanced Topological Insulators》章节的撰写。年度新增国际交流项目 5 项, 申请国家发明专利 7 件, 获国家发明专利授权 1 件; 年度经费到款 2524.01 万元。

## 主要研究内容与进展

实验室表面和界面量子现象与调控团队近年来采用先进的材料制备手段和原位物性测量技术，深入开展拓扑量子材料制备与量子特性的实验研究。利用超导近邻效应实现二维拓扑超导体的实验方法，在国际上首次制备出具有原子级平整界面的三维拓扑绝缘体/超导体异质结，证明了该体系为二维拓扑超导体，观察到了马约拉纳零能模存在的确凿证据。后被国际上很多研究组重复并进一步证实，为探索拓扑量子计算等奠定了基础。在国际上首次制备出锡烯薄膜，开启了锡烯实验研究大门。该工作在国际引起了极大的学术反响，已经成为一个热点研究方向。以上研究成果荣获 2019 年度国家自然科学二等奖。

实验室本年度科研工作继续围绕新型量子材料研究展开，并在太阳能光伏科学技术与新型光电子器件、第二代高温超导带材制备技术、材料物性的计算研究、光机械量子物理的应用等领域取得重要进展。

### 年度进展 1：拓扑晶体绝缘体的拓扑超导电性研究

拓扑超导体在体内具有全开的超导能隙，在表面具有无能隙的拓扑表面态。理论预言，在拓扑超导体磁通涡旋中能够形成 Majorana 零能模，其具有非阿贝尔统计特性，适合用于构建拓扑量子比特，有望实现可容错的拓扑量子计算。所以，拓扑超导体是目前一个非常热门的前沿研究领域。拓扑绝缘体的拓扑表面态受时间反演对称性保护，而拓扑晶体绝缘体的拓扑表面态受晶体对称性保护。理论计算表明超导的拓扑晶体绝缘体是一种新型的拓扑超导体。虽然人们已经在拓扑晶体绝缘体中诱导出超导电性，但是实验测得的超导能隙特征和普通超导体的能隙特征类似，这使得超导的拓扑晶体绝缘体是否具有拓扑超导电性存在争议。

本年度，课题组利用分子束外延生长技术，制备出原子级平整的拓扑晶体绝缘体  $\text{Sn}_{1-x}\text{Pb}_x\text{Te}$  与超导体 Pb 形成的侧向和纵向异质结。变温实验发现  $\text{Sn}_{1-x}\text{Pb}_x\text{Te}$  的超导转变温度  $T_c$  不低于 6.5K，这比之前用 In 掺杂  $\text{Sn}_{1-x}\text{Pb}_x\text{Te}$  得到的最高  $T_c = 4.7\text{K}$  还要高。另外，在 4.2K 下，超导能隙的衰减长度估计在 200nm 以上，远大于之前报道的其他超导体异质结的衰减长度。由于超导针尖具有更高的能量分辨率，通过对比在  $\text{Sn}_{1-x}\text{Pb}_x\text{Te}$  和 Pb 岛上测得的超导能隙，发现  $\text{Sn}_{1-x}\text{Pb}_x\text{Te}$  的超导能隙具有“peak-dip-hump”特征。这与理论计算的超导拓扑绝缘体和拓扑晶体绝缘体在具有拓扑超导电性时的超导能隙特征一致。另外准粒子干涉技术进一步证明在  $\text{Sn}_{1-x}\text{Pb}_x\text{Te}$  的超导能隙里有无能隙的表面态存在。在倒空间中干涉图案具有四重对称性，在实空间中干涉图案呈条状分部。

该工作在拓扑晶体绝缘体中首次观测到 peak-dip-hump 型超导能隙特征以及超导能隙内存在四重对称性干涉图,为超导拓扑晶体绝缘体存在拓扑超导电性提供了有力的证据,也为研究其它拓扑材料的拓扑超导电性提供了一种有效的表征方法。另外拓扑晶体绝缘体  $\text{Sn}_{1-x}\text{Pb}_x\text{Te}$  与超导体 Pb 形成的异质结在 4.2K 下具有很强的超导近邻效应,为今后研制大尺寸拓扑超导器件以及探测拓扑晶体绝缘体 Majorana 零能模提供了新的平台。【Advanced Materials 31, 1905582, (2019)】。

### 年度进展 2: 观察到双分子层厚的 FeSe 超导薄膜的迈斯纳效应

利用自行研制的多功能扫描隧道显微镜 (STM+) , 成功地测量到了双分子层厚度的 FeSe 薄膜表面吸附钾原子之后的抗磁响应,观察到了钾原子吸附量对该薄膜超导特性的调控作用,并获得了各种超导参数(超导能隙、超导转变温度和超流密度等)在调控作用下的变化,从而揭示了相刚度而非配对势是决定 FeSe 超导层的超导转变温度的主要因素。这一研究成果清楚的回答了非常规超导研究领域的一个长期以来存在的问题:超导转变温度的决定性因素是什么?这对进一步深入理解非常规超导机理具有重要意义。【Phys. Rev. Lett. 123, 257001 (2019)】。

### 年度进展 3: 新结构晶硅太阳能电池研究与开发

1) 创新提出并实现了一种带有径向 pn 结的微米绒面,这种绒面不仅具有与纳米线一样的黑硅效果,而且形成径向 pn 结构建表面场钝化,极大地抑制了表面及俄歇复合。实验和理论计算相结合研究发现,合理的掺杂以及绒面尺寸的选择是形成径向 pn 结和抑制两大复合的关键,带有径向 pn 结的黑硅绒面太阳能电池相比于全死结的黑硅绒面电池有 37.8% 的效率提升。【Nano Energy 58, 817-824 (2019)】。2) 将纳米金字塔结构与良好的钝化技术相结合,在  $37\mu\text{m}$  的晶硅太阳能电池上实现了 15.1% 的效率,开压近 700mV。工作的两大特色是硅纳米金字塔制绒的超薄太阳能电池的光吸收特性具有准全向性,展示出可全天输出更高功率的潜力;铜金属化电极以代替银金属电极,降低成本的同时可提供有竞争力的电池效率。研究成果发表在【Advanced Electronic Materials 5, 1800858-(1-7) (2019)】。3) 在太阳能电池产业化开发方面,成功实现效率超过 21% 的 n 型晶硅双面太阳能电池,具有前表面选择性发射极 SE 及背表面的 TOPCon 结构,电池的双面率超过 85%;理论优化预测可得到效率超过 24% 的 TOPCon 结构 n 型双面晶硅太阳能电池。研究成果发表在 Solar Energy 193, 494-501 (2019)。提供了一种提高铸锭单晶背钝化 PERC 效率的产业化技术路径。通过在背面采用三层  $\text{SiN}_x\text{:H}$  钝化膜来代替常规双层  $\text{SiN}_x\text{:H}$  钝化膜,电池长波响应得到改善,推升效率 0.15%;优化选择性发射极技术和优化激光开窗工艺,效率较常

规工艺分别提升 0.19% 和 0.26%。兼容三项工艺，提高 PERC 效率达 22.2%，最高效率 22.5%，与目前的 Cz 单晶硅 PERC 电池效率相当。研究成果发表在【Solar Energy Materials and Solar Cells **204**, 110202-(1-9) (2020)】。

#### 年度进展 4：太赫兹无像元成像器件

新型光电子器件研究方面，本年度实现了一种全新的结构紧凑的、宽谱、高速、太赫兹无像元成像器件。传统的成像一般是焦平面阵列成像，采用探测器阵列+硅读出电路，一个像素对应一个独立的探测器单元。在低温下会遇到读出电路失效的问题。课题组直接利用一个大面积的单元器件，通过光子频率上转换的方案，抑制信号的横向扩散，整副图像在器件被直接探测“传导”并还原，实现无像素成像。无需使用读出电路，克服了焦平面阵列的技术困难，制备简单，免去了繁琐的集成工艺，降低了成本。【Nature Communications **10**, 3513 (2019)】。

#### 年度进展 5：时间分辨角分辨光电子能谱仪研制和磁性拓扑绝缘体材料电子结构表征

时间分辨角分辨光电子能谱仪是探测固体材料中超快电子结构的有力工具，课题组首次成功将 KBBF 晶体用在时间分辨角分辨光电子能谱实验中并且可以与 BBO 晶体进行切换实现不同的分辨功能；其中使用 BBO 晶体的时间分辨功能具备超高的能量和时间分辨率，能量分辨率达到 19 meV，时间分辨率为 130 fs，时间能量分辨率乘积为 2470 meV\*fs，为国际先进水平；利用该仪器观察到 FeSe 超导体中振荡周期为 187 fs 的声子，并成功测到拓扑绝缘材料 Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> 的非占据态和利用改变探测光偏振的办法测到其能带的电子极化现象；利用 KBBF 晶体实现了更大动量和能量范围的探测，成功在 YbCd<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub> 晶体中测到非占据价带顶。仪器研制工作发表在【Rev. Sci. Instrum. **90**, 063905 (2019)】。利用上述时间分辨角分辨光电子能谱仪，对 p 型磁性拓扑绝缘材料 EuSn<sub>2</sub>As<sub>2</sub> 中成功探测到非占据狄拉克色散。在磁性拓扑绝缘体中，磁有序与非平庸拓扑态的相互作用能产生非常有趣的拓扑量子现象，比如反常量子霍尔效应、手性 Majorana 磁性拓扑绝缘性等。EuSn<sub>2</sub>As<sub>2</sub> 可能是其中一种代表性的材料，但由于其材料严重的空穴掺杂，其狄拉克点位于费米能级以上，常规角分辨光电子能谱实验不能对其进行探测。使用时间分辨角分辨光电子能谱仪，在超短激光脉冲激发后，成功探测到费米能级以上 400 meV 的狄拉克色散，所测到的结果与理论预期符合很好。文章发表在【Phys. Rev. X **9**, 041039 (2019)】。

#### 年度进展 6：极性二维材料中的局域应变表征

应变可以在很大程度上改变材料原有的光学、电学性质甚至引起结构相

变，因此研究材料中的应变分布有重要的价值。然而，此前一直缺少一种在纳米尺度上探测二维材料局域应变的有效技术手段。课题组发展了一种利用红外扫描近场光学显微镜探测二维晶体材料局域应变的技术，并利用该技术系统研究了六方氮化硼中的局域应变分布。该技术原理基于对应变导致材料声子频率移动引起的红外光学响应变化的探测。当材料某区域存在应变时，该区域的声子频率会发生蓝移（由压应变引起）或红移（由张应变引起），声子频率移动会导致其对该频率红外光的响应发生变化。该探测运用近场光学技术，空间分辨率可达 10 纳米左右，非常适合探测材料中局域应变在纳米尺度上的分布。同时还具备高达  $10^{-4}$  的探测灵敏度，即可探测出材料中万分之一的微小应变。该探测技术适用于所有极性二维材料中局域应变的探测，同时该研究也为未来纳米光子器件提供了一种基于应变来操控光在纳米尺度上传播的新手段。相关成果发表在【Nano Letters 19(3), 1982-1989(2019)】。

#### 年度进展 7：二维范德华层状材料的器件制备和量子输运研究

课题组选取二维范德华层状材料 TaSe<sub>2</sub>，在同行中首次制备出不同厚度的 2H-TaSe<sub>2</sub> 的场效应晶体管器件，并用于其离子插层效应的研究。基于该晶体管器件的输运测量揭示了离子液体栅极作用下的 Li 离子插层的微观过程，并得到了该体系的电荷密度波随 Li 离子插层的变化相图。该结果在 2018 年发表时，被杂志编辑选为特选文章【editor's pick, Appl. Phys. Lett. 112, 023502 (2018)】。2019 年 10 月，该文章被评为 Top article in the Device Physics section of APL in 2019 (APL 2019 年器件物理最佳论文)。本年度，在基于二维范德华层状材料 TaSe<sub>2</sub> 的场效应晶体管器件的量子输运测量中，首次观察到该体系的电子弱局域化-弱反局域化的可控的转变行为。研究发现其弱局域化-弱反局域化的转变可由温度和栅极电场分别独立控制，其机制源于自旋-轨道耦合与电-声子耦合的相对强弱关系。该结果发表于【Phys. Rev. Materials 3, 104003 (2019)】。

#### 年度进展 8：三层 ABC 堆叠石墨烯超晶格中强关联物理现象研究

超晶格周期势可以改变石墨烯的本征能带结构并出现斜率近似于零的平带。在平带中，电子的动能近似为零，库仑相互作用势能起主导作用，系统可以显现出强关联物理现象。课题组与加州大学伯克利分校的王枫教授以及复旦大学的张远波教授合作，在液氮温度下研究了三层 ABC 堆叠石墨烯/氮化硼超晶格的输运现象，发现当费米面处在  $1/4$  与  $1/2$  填充位置（对应每个超晶格原胞中 1 个与 2 个电子）时样品电阻出现极大值，表明该系统中出现了 Mott 绝缘态。进一步降低温度到 1K 以下，发现该系统电阻将为零，出现超导态。相关成果发表在【Nature 572 215-219 (2019)】与【Nature Physics 15, 237-

241(2019)】。课题组在该研究项目中主要承担样品制备工作。

### 年度进展 9：低维磁性材料生长与物性研究。

1) 新型二维  $S=5/2$  三角形晶格反铁磁体  $Ba_8MnNb_6O_{24}$  的材料生长与物性研究。基于之前对正三角晶格  $Ba_3CoSb_2O_9$  体系 (Co 三角形为正三角形, 从而去除了 DM 相互作用的影响) 的量子态研究, 发现面间相互作用在该类三角晶格体系有很大的作用。分别对八阶钙钛矿三角晶格  $Ba_8CoNb_6O_{24}$  (Co-三角层) 和三阶钙钛矿三角晶格  $Ba_3MnNb_2O_9$  (高自旋  $S=5/2$ ) 进行了研究: 前者仍存在着很强的量子效应【Phys. Rev. B **95**, 060412(R) 2017】, 而后者基本上可以用 Heisenberg 模型理解。因此, 研究了  $Ba_8MnNb_6O_{24}$  样品。 $Ba_8MnNb_6O_{24}$  的晶格及磁结构。与  $Ba_8CoNb_6O_{24}$  在 0T 下, 没有长程有序不同;  $Ba_8MnNb_6O_{24}$  的相图与  $Ba_3MnNb_2O_9$  的相图更类似, 但是相变场更低。另外, 50mK 的磁信号虽然与线性自旋波理论进本相符, 但是低能和低 Q 强度弱了不少, 所以  $Ba_8MnNb_6O_{24}$  存在弱的量子效应。因此, 面间相互作用与高自旋相比, 对量子效应的抑制更大。【Physical Review Materials **3**, 054412 (2019)】。2) 低维材料  $BaM_2Si_2O_7$  ( $M=Cu, Co, Mn$ ) 体系的磁性研究。 $BaM_2Si_2O_7$  ( $M=Cu, Co, Mn$ ) 体系具有典型的一维或准二维磁结构, 在磁化强度、比热的测量基础上对单晶样品  $BaMn_2Si_2O_7$  进行了晶体中子衍射测量, 在确定自旋结构的。同时, 研究了  $BaMn_2Si_2O_7$  材料沿 b 轴施加磁场的磁相图: 在磁场为 6T 左右时, 存在的自旋反转现象。此外, 磁化强度和比热测量证实了  $BaCo_2Si_2O_7$  的弱铁磁性。基于局部自旋密度近似, 利用库仑能 (LSDA+U) 计算了  $BaM_2Si_2O_7$  ( $M=Cu, Co, Mn$ ) 体系相应电子能谱以及磁交换作用, 讨论了三种材料磁差的来源。【Physical Review B **100**, 035131 (2019)】。

### 年度进展 10：适合强场应用的 YBCO 高温超导薄膜和 FeSeTe 涂层导体制备

1) 在 YBCO 高温超导薄膜研究方面, 通过优化工艺提高了  $BaHfO_3$  (BHO) 掺杂 YGBCO 薄膜的性能和厚度, 有效抑制了厚度效应, 制备出厚度大于 1 微米厚、具有良好 C 轴取向和光滑表面的 BHO 掺杂厚膜, 在 77 K、自场下临界电流大于 150 A, 相比于 2018 年提高了一倍以上, 并且随着厚度增加, 临界电流几乎线性增加。2) 在铁基超导 FeSeTe 涂层导体制备方面, 采用卷对卷脉冲激光沉积系统在金属基带上制备出具有纯 C 轴取向和光滑表面的缓冲层, 并制备了几十米缓冲层带材, 为 FeSeTe 薄膜制备奠定了基础; 在  $CeO_2$  缓冲层上, 采用脉冲激光沉积方法在不同条件下制备一系列 FeSeTe 薄膜, 初步探索工艺参数和靶材对 FeSeTe 薄膜的结构的影响, 研发出具有纯 C 轴取

向的 FeSeTe 薄膜，面内织构度与衬底相匹配，薄膜表面光滑，超导转变温度达到 13 K 左右。

### 年度进展 11：各向异性应力对金刚石熔点及其相图的影响

首次计算报道了各向异性应力对金刚石熔点及其相图的影响。激光加热金刚石对顶砧 (LHDAC) 是目前产生稳定极端高温高压的唯一器件，可产生 700、0K 和 300GPa 的高温高压，用于实验模拟地球球心等的极端环境状态。前人对金刚石熔点随压力的变化 (相图) 进行了大量的理论和实验研究，但都假设压力为各向同性压力。我们建立了第一性原理分子动力学计算方法，首次计算研究了各向异性应力 (如切向应力) 对金刚石相图的影响。我们的计算结果表明，由于在高压状态下 LHDAC 金刚石压头表面发生很大畸变，产生切向应力，会大大降低金刚石的熔点温度。在 300GPa 时 LHDAC 能承受的温度下降为 6000K 左右。对金刚石在超高温高压环境的应用提出了新的理论指导。【Carbon 155, 361 (2019)】。

### 年度进展 12：基于纳米悬浮颗粒的量子光力学超灵敏探测

1) 基于光力学原理提出在微米尺度探测 4+2 维时空存在的实验方案。证明当存在大尺度额外维时空时，在两个悬浮振子间的引力相互作用将导致光力学系统中的模式劈裂。利用泵浦探测技术可以读出这一极弱的频谱劈裂。利用量子耦合原理提出方案有效地降低了卡西米尔力耦合，并研究了静电力背景噪声。结果表明可以在低噪声下利用悬浮光力学方法探测大尺度额外维时空，因此该方案不需要 iso 技术。【Eur. Phys. J. C 79,18 (2019)】。2) 创新的引入了短时间测量方案，目的在于消除由光力冷却诱导的机械衰退。悬浮在真空中的纳米颗粒具有极低的机械耗散，使其与热环境间强烈地解耦合。因此基态测量可以在光力冷却后的一个短取样时间条件下完成。该方案使得千分之一道尔顿的质量测量精度成为可能。这一质量分辨率容许在实验中对单原子，单分子的静止质量进行超精密测量。【IEEE Sensor Journal 19,7269-7274 (2019)】。3) 利用悬浮光力学系统进行单光子器件的设计。因为悬浮颗粒具有极高的机械 Q 值，这大大地增强了探测光信号的强度，甚至单光子流可以诱导大光克尔效应。理论研究了这一单光子诱导的非线性光学效应并预计可以将该现象应用于超快光开关的设计方案中。【Optics Communications 450, 236-240 (2019)】。

## 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,承担新了一批重要的科研项目。

2019 年度启动的主要项目包括:沈文忠教授主持的自然科学基金重点项目:“新型钙钛矿/硅异质结两端叠层太阳能电池物理与器件研究”(直接经费 310 万)和国家重点研发计划项目课题:“双面电池先进结构设计仿真和表面钝化技术研究”(课题经费 467 万);李贻杰教授国家重点研发计划项目课题:“面向强场应用的百米级 FeSeTe 涂层超导带材关键技术研究”(课题经费 675 万);贾金锋教授主持的国家自然科学基金委员会与香港研究资助局联合科研资助合作研究项目“在拓扑晶体绝缘体/超导体异质结中寻找 Majorana 零能模”(课题经费 100 万);沈文忠教授与江苏林洋光伏科技有限公司的产学研合作项目“24%钝化接触低成本晶硅电池关键技术研发”(300 万)。此外,还有郑浩特别研究员的上海市“曙光学者”计划、史志文特别研究员的上海市“千人计划”项目;李贻杰教授的基金委联合基金项目、刘灿华教授的面上项目、邢辉副研究员的青年项目等共计 20 余项。

2019 年度在研的其他重要项目(开始时间为 2019 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”、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”;郑浩特别研究员主持的自然科学基金重大项目课题:“新型拓扑超导体和马约拉纳准粒子的实验室研究”,沈文忠教授主持的企业重大合作项目(中天光伏材料有限公司);承担中组部“青年千人计划”五项、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 15 项,青年项目 1 项。

在项目申请方面,2019 年新立项项目 20 余项(大部分项目开始时间为 2020 年)。主要有:由教育部推荐,上海交通大学为牵头单位,贾金锋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“马约拉纳



零能模的构筑和操控”（总经费 1857 万元）；贾金锋教授主持的上海市 2019 年度“科技创新行动计划”基础研究领域项目“拓扑超导材料与器件”（课题经费 400 万元）；沈文忠教授、刘灿华教授、王世勇特别研究员、张文涛特别研究员的国家自然科学基金面上项目（总计 254 万元）；张月衡教授的 JW 科技委项目、上海市自然科学基金。史志文特别研究员的上海市“曙光学者”计划、陈鹏副教授的国家“青年千人”计划以及 10 余项与企业合作的横向课题等。

2019 年在研各类项目 70 余项，合同总金额超过 1.40 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 1.25 亿元。年度科研经费实际到款 2524.01 万元，其中超过 80% 来自合同金额超过 100 万元的国家和省部级重大项目以及重大横向课题。年度新增各类科研项目 20 项，其中主要项目 3 项，合同金额 2511 万元。

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过程中，实验室重视项目的过程管理，项目负责人注重科研项目质量和效益，确保高质量完成项目既定任务。

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 (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	11521404	贾金锋	2016-2021	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	2016YFA0301003	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	2016YFA0300403	刘灿华	2016-2021	730	科技部国家重点研发计划项目课题
5	面向强场应用的百米级 FeSeTe 涂层超导带材关键技术研究	2018YFA0704302	李贻杰	2019-2024	675	科技部国家重点研发计划项目课题
6	双面电池先进结构设计仿真和表面钝化技术研究	2018YFB1500501	沈文忠	2019-2021	467	科技部国家重点研发计划项目课题
7	新型拓扑超导体和马约拉纳准粒子的实验室研究	11790313	郑浩	2018-2022	560	国家自然科学基金重大项目
8	人造拓扑超导体与 Majorana 费米子的研究	11634009	贾金锋	2017-2021	310	自然科学基金重点项目
9	新型钙钛矿/硅异质结两端叠层太阳能电池物理与器件研究	11834011	沈文忠	2019-2023	310	自然科学基金重点项目
10	大能隙量子自旋霍尔效应薄膜研究	U1632272	钱冬	2017-2020	267	基金委大科学装置联合基金重点项目
11	光伏材料产学研项目合作—24%钝化接触低成本晶硅电池关键技术研发	/	沈文忠	2019-2022	300	江苏林洋光伏科技有限公司
12	光伏材料产学研项目合作	/	沈文忠	2013-2019 (合同延长)	500	中天光伏材料有限公司

						企业横向合作项目
13	沈阳材料科学国家研究中心量子材料联合研究分部	/	贾金锋	2019-2022	200	沈阳材料科学国家研究中心
14	在拓扑晶体绝缘体/超导体异质节中寻找 Majorana 零能模	1181101036	贾金锋	2019-2022	100	NSFC 与香港研究资助局联合科研资助合作项目
15	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
16	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
17	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
18	青年千人计划启动资金	/	蔡子	2018-2020	200+100	中组部青年千人计划及校内配套
19	青年千人计划启动资金	/	陈鹏	2019-2021	200+100	中组部青年千人计划及校内配套
20	“东方学者”岗位计划特聘教授资助经费	ZXDF072018	史志文	2016-2019	100	上海市“东方学者”
21	2019 年度在研自然科学基金面上项目 15 项，青年项目 1 项	/	沈文忠等		1241+32	自然科学基金面上项目、青年项目 15+1
以下为年度新增项目						
22	马约拉纳零能模的构筑和操控	2019YFA0308600	贾金锋 (项目首席)	2020-2024	1857	科技部国家重点研发计划项目
23	拓扑超导材料与器件	/	贾金锋	2020-2022	400	上海市 2019 年度“科技创新行动计划”基础研究领域项目
24	2019 年自然科学基金面上项目 4 项		沈文忠 刘灿华 王世勇 张文涛	2019-2022	254	自然科学基金面上项目

### 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 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	张月蘅、史志文、 郑茂俊、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 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 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 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	51	博士	研究人员	教授	2010年至今
2	雷啸霖	男	81	学士	研究人员	教授 (院士)	2010年至今
3	刘 荧	男	57	博士	研究人员	教授	2012年至今
4	王孝群	男	57	博士	研究人员	教授	2013年至今
5	马红孺	男	59	博士	研究人员	教授	2010年至今
6	郑 杭	男	68	博士	研究人员	教授	2010年至今
7	贾金锋	男	52	博士	研究人员	教授	2010年至今
8	顾 威	男	50	博士	研究人员	教授	2015年至今

9	孙弘	男	62	博士	研究人员	教授	2010年至今
10	朱卡的	男	59	博士	研究人员	教授	2010年至今
11	姚忻	男	64	博士	研究人员	教授	2010年至今
12	李贻杰	男	57	博士	研究人员	教授	2010年至今
13	钱冬	男	42	博士	研究人员	教授	2010年至今
14	董兵	男	51	博士	研究人员	教授	2010年至今
15	郑茂俊	男	57	博士	研究人员	教授	2010年至今
16	王沁	男	59	博士	教学为主	教授	2010年至今
17	袁晓忠	男	57	博士	教学为主	教授	2010年至今
18	刘灿华	男	43	博士	研究人员	教授	2010年至今
19	张月蘅	女	45	博士	研究人员	教授	2010年至今
20	郑浩	男	39	博士	研究人员	特别研究员	2016年至今
21	王世勇	男	33	博士	研究人员	特别研究员	2017年至今
22	罗卫东	男	41	博士	研究人员	特别研究员	2013年至今
23	张文涛	男	34	博士	研究人员	特别研究员	2015年至今
24	史志文	男	36	博士	研究人员	特别研究员	2015年至今
25	李耀义	男	35	博士	研究人员	特别研究员	2015年至今
26	马杰	男	35	博士	研究人员	特别研究员	2015年至今
27	蔡子	男	35	博士	研究人员	特别研究员	2017年至今
28	陈鹏	男	34	博士	研究人员	副教授	2019年至今
29	秦明普	男	34	博士	研究人员	副教授	2019年至今
30	刘世勇	男	43	博士	研究人员	副教授	2010年至今

31	吕智国	男	44	博士	研究人员	副教授	2010 年至今
32	罗旭东	男	45	博士	研究人员	副教授	2010 年至今
33	李 晟	男	43	博士	教学为主	副教授	2010 年至今
34	丁国辉	男	49	博士	研究人员	副教授	2010 年至今
35	潘 葳	女	38	博士	研究人员	副教授	2010 年至今
36	刘 洪	男	41	博士	专职科研	副研究员	2011 年至今
37	刘林飞	女	39	博士	专职科研	副研究员	2010 年至今
38	管丹丹	女	37	博士	专职科研	副研究员	2013 年至今
39	邢 辉	男	36	博士	专职科研	副研究员	2015 年至今
40	徐 林	男	47	博士	研究人员	副研究员	2010 年至今
41	李正平	男	43	博士	专职科研	助理研究员	2013 年至今
42	蒋立峰	男	42	博士	管理人员	讲师	2010 年至今
43	赵西梅	女	45	硕士	管理人员	讲师	2010 年至今
44	蒋震宗	男	41	学士	技术人员	工程师	2010 年至今
以下为行政人员							
45	徐秀琴	女	65	学士	行政人员		2010 年至今
46	韩 辉	女	37	硕士	行政人员		2013 年至今
47	纪敏捷	女	35	硕士	行政人员		2015 年至今
48	程 莹	女	35	硕士	行政人员		2016 年至今
49	黄彬彬	女	34	学士	行政人员		2018 年至今
50	杨家林	女	32	学士	行政人员		2017 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	79	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 每年一个月
2	周海东	男	41	材料科学	副教授	美国	田耐西大学	2017 年起 每年 1 个月
3	任杰	男	42	物理学	副教授	中国	常州理工大学	2018 年起 每年 1 个月
以上为兼职教授(访问学者)，以下为博士后研究人员：								
4	钟思华	男	32	凝聚态物理	导师：郑茂俊	中国		2015 年- 2019 年
5	顾亮亮	男	33	凝聚态物理	导师：雷啸霖	中国		2016 年- 2019 年
6	王锐	男	33	凝聚态物理	导师：王孝群	中国		2017 年- 2019 年
7	王瞰	男	29	凝聚态物理	导师：沈文忠	中国		2018 年- 2019 年
8	Anthony Charles Hegg	男	31	凝聚态物理	导师：顾威	美国		2016 年至今
9	王国华	男	39	凝聚态物理	导师：马杰	中国		2016 年至今

10	陈传	男	35	凝聚态物理	导师：李贻杰	中国	与企业合作培养	2017 年至今
11	黄易珍	女	35	凝聚态物理	导师：蔡子	中国		2017 年至今
12	唐天威	男	30	凝聚态物理	导师：钱冬	中国		2017 年至今
13	景强	男	37	凝聚态物理	导师：钱冬	中国		2017 年至今
14	任清勇	男	33	凝聚态物理	导师：马杰	中国		2017 年至今
15	王顺权	男	36	凝聚态物理	导师：沈文忠	中国	与企业合作培养	2017 年至今
16	罗添文	男	33	凝聚态物理	导师：李贻杰	中国	与企业合作培养	2018 年至今
17	苏威	男	33	凝聚态物理	导师：王孝群	中国		2018 年至今
18	Waqas Mahmood	男	36	凝聚态物理	导师：董兵	巴基斯坦		2018 年至今
19	林高庭	男	32	凝聚态物理	导师：马杰	中国		2019 年至今
20	Rathinam Vasudevan	男	34	凝聚态物理	导师：马杰	印度		2019 年至今
21	杨毅	女	28	凝聚态物理	导师：贾金锋	中国		2019 年至今
22	刘键	男	33	凝聚态物理	导师：朱卡的	中国		2019 年至今
23	朱海龙	男	28	凝聚态物理	导师：贾金锋	中国		2020 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、软凝聚态物理理论与实验、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。

2015 年起，科技部开始实施国家重点研发计划。该计划针对量子调控与量子信息领域的重大科学问题和瓶颈技术，设立“量子调控与量子信息”重点专项。总体目标是瞄准我国未来信息技术和社会发展的需求，开展基础性、战略性和前瞻性探索研究和关键技术攻关，产生一批原创性的具有重要意义和重要国际影响的研究成果，并在若干方面将研究成果转化为可预期的具有市场价值

的产品，为我国在未来的国际战略竞争中抢占核心技术的制高点打下坚实基础。

2016年，实验室学术带头人作为项目负责人承担了国家重点研发计划“量子调控与量子信息”重点专项项目“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”，该项目在2018年举行的项目中期评估中获得“优秀”评价。近年来，实验室表面和界面量子现象与调控团队在“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、科技部重点领域创新团队项目等团队建设项目的带动上，研究团队得到充实与加强。在拓扑量子材料制备与量子特性的实验研究中，取得一系列具有国际影响的重要成果，荣获2019年国家自然科学二等奖。2019年度，由教育部推荐，上海交通大学为牵头单位，表面和界面量子现象与调控团队学术带头人作为项目负责人承担了国家重点研发计划“量子调控与量子信息”重点专项项目“马约拉纳零能模的构筑与操控”。以上两项国家重点研发计划项目“量子调控与量子信息”重点专项项目的立项与实施，确立了实验室今后3-5年科研的主要攻关方向。

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校内配套”、“东方学者”“上海市千人计划”“曙光学者”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。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。2018年底公布的上海市高峰高原学科中，上海交通大学物理学入选II类高峰学科。2020年3月，QS全球教育集团公布了第十次世界大学学科排名，上海交通大学物理与天文学科首次跻身TOP50，位居全球第48位。

## 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 60 岁以下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；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 20 位教师担任本科教学工作，开设 25 门课程，授课 1898 学时；19 位教师担任研究生教学工作，开设 15 门研究生专业课，授课 698 学时；13 位教师被列入上海交大致远学院物理学师资队伍，张文涛特别研究员、史志文特别研究员分别指导本科生开展“致远学者”项目；指导 11 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。2019 年度，吕智国副教授荣获上海交通大学第六届卓越教学奖（全校仅 5 名）、唐立新教学名师奖；潘葳副教授获上海交通大学教书育人奖提名奖、烛光奖一等奖，并主持国家级教学项目 1 项，校级项目 2 项。

“本科生研究计划（简称 PRP）”是上海交通大学为培养具有“宽厚、复合、开放、创新”特征的高素质创新人才而制定的一项教学改革，实验室结合本领域的研究情况，年度内设立适合本科生完成的 PRP 项目 9 项（其中一项为上海市级创新实践项目）。将基础理论与科学实践相结合，引导学生进行创新性科学实践，大大拓宽了本科生的科学视角，也为他们研究生阶段更快熟悉科研工作打下了坚实的基础。

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，鼓励学生开展课外科技、实验和创新实践活动，积极参与到前沿学术研究中。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 2019 年第十届中国大学生物理学术竞赛（CUPT），荣获上海大学生物理学术竞赛一等奖两项，华东赛区比赛特等奖，全国决赛二等奖。

### 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，实验室博士研究生白鹏同学当选第四届上海交通大学研究生“学术之星”（全校共 10 人）。白鹏同学曾荣获优秀博士生入学奖、校优秀博士生奖学金、国家奖学金。博士期间已发表 SCI 学术论文 6 篇，其中一作 5 篇，二作一篇。申请国家发明专利 3 项。作为主要完成人参与国家自然科学基金重大研究计划、JK863 计划重点项目、国家自然科学基金面上项目等共 7 项。受邀担任英国 IOP 旗下 Journal of Physics Communications 期刊审稿人。白鹏同学已确定博士毕业后将在中国航天科技集团公司第九研究院从事博士后研究工作。

## 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科研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。本年度，课题组成功实现效率超过 21% 的 n 型晶硅双面太阳电池，具有前表面选择性发射极 SE 及背表面的 TOPCon 结构，电池的双面率超过 85%；理论优化预测可得到效率超过 24% 的 TOPCon 结构 n 型双面晶硅太阳电池【Solar Energy **193**, 494-501 (2019)】。提供了一种提高铸锭单晶背钝化 PERC 效率的产业化技术路径。通过在背面采用三层 SiN<sub>x</sub>:H 钝化膜来代替常规双层 SiN<sub>x</sub>:H 钝化膜，电池长波响应得到改善，推升效率 0.15%；优化选择性发射极技术和优化激光开窗工艺，效率较常规工艺分别提升 0.19% 和 0.26%。兼容三项工艺，提高 PERC 效率达 22.2%，最高效率 22.5%，与目前的 Cz 单晶硅 PERC 电池效率相当。研究成果发表在【Solar Energy Materials and Solar Cells **204**, 110202-(1-9) (2020)】。以上两项太阳电池产业化开发方面的研究成果，均在合作光伏企业中完成工艺和产品测试。完成以上这两项研究工作的同学（第一作者），也已经确定了毕业去向。他们作为企业紧缺的技术型人才，将进入企业从事研发工作。

## 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外科研机构间联合培养创新人才的新途径，取得了优异成绩。本年度，博士生王闻捷同学继续在澳大利亚国立大学进行交流学习，林豪、吴飞同学在中国科学院宁波材料技术与工程研究所进行长期交流（两位同学 2019 年毕业）。2019 年初，博士生丁东赴挪威能源技

术研究院短期交流。

本年度，沈文忠教授指导博士生林豪、吴飞同学创新提出并实现了一种带有径向 pn 结的微米绒面，这种绒面不仅具有与纳米线一样的黑硅效果，而且形成径向 pn 结构建表面场钝化，极大地抑制了表面及俄歇复合。实验和理论计算相结合研究发现，合理的掺杂以及绒面尺寸的选择是形成径向 pn 结和抑制两大复合的关键，带有径向 pn 结的黑硅绒面太阳电池相比于全死结的黑硅绒面电池有 37.8% 的效率提升。研究成果发表在【Nano Energy 58, 817-824 (2019)】。本成果大部分的测试和实验工作在中国科学院宁波材料技术与工程研究所完成。

“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生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 2 名在读博士研究生获得 CICAM 优秀研究生奖励计划英才奖。

#### **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 44 名固定人员中，有 27 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，国家“万人计划”2 人，有“长江学者”“杰青”12 人；有“青年千人”9 人，“青年长江学者”“上海市千人”等 35 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，在科研为主的中青年教师引进和培养方面，引进陈鹏副教授入选国家“青年千人”计划，培养钱冬教授入选 2019 年第四批国家“万人计划” 科技创业领军人才，史志文特别研究员 2019 年度上海市“曙光学者”计划；派出年轻教师刘洪副研究员、管丹丹特别副研究员、钟思华博士前往法国、美国、瑞士科研机构 1-2 年的中长期访学。在教学方面，吕智国副教授荣获上海交通大学第六届卓越教学奖（全校仅 5 名）、唐立新教学名师奖；潘葳副教授获上海交通大学教书育人奖提名奖、烛光奖一等奖，并主持国家级教学项目 1 项，校级项目 2 项；多位老师参与校级教学改革和教学研究项目 10 余项。

## (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。研究生已成为实验室科研工作的中坚力量，其中优秀研究生代表有：

1、半导体量子结构与量子过程调控方向在沈文忠教授的带领下，本年度获得重大进展，团队研究生做出了重要贡献。其中，沈文忠教授指导博士生林豪同学和硕士生吴飞以共同第一作者在国际能源顶尖期刊 Nano Energy（影响因子 15.548）上发表论文；史志文特别研究员指导博士生吕博赛以第一作者在 Nano Letters（影响因子 12.279）上发表论文；张月蘅教授指导白鹏同学以第一作者在 Nature Communications（影响因子 11.873）上发表论文。2019 年 12 月，上海交通大学公布了第四届研究生学术之星评选结果，白鹏同学当选校内“十大学术之星”。

2、表面和界面量子现象与调控研究方向在贾金锋教授的带领下，形成了严谨求实、着重创新的良好学术氛围。2019 年度，贾金锋教授和李耀义特别研究员指导的博士研究生杨浩同学以第一作者在 Advanced Materials（影响因子 25.809）上发表论文。贾金锋教授和刘灿华教授指导的博士生姚钢同学以第一作者在 Physical Review Letters（影响因子 9.227）上发表论文。

3、朱联等 7 位研究生参加国际学术会议 7 次，做口头报告 4 次。22 位研究生获各等级奖学金，其中朱联等三位博士生获博士生国家奖学金。吕镱同学在国内权威会议上提交的论文荣获大会优秀论文奖。



(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	朱朕、聂 晓昂、张 文翔	博士	APS March meeting 2019 <i>American Physical Society</i>	郑浩、 贾金锋
2	口头报告	尹伊倩	硕士	The 32nd International Superconductivity Symposium (ISS2019) <i>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)</i>	姚忻
3	Poster	李云龙	博士	40th International Conference on Vacuum Ultraviolet and X-ray Radiation Physics	贾金锋
4	Poster	胡佳元	博士	2019 Gordon Godfrey Workshop on "Spins, Topology and Strong Electron Correlations"	贾金锋
5	Poster	黄思敏	博士	The 32nd International Superconductivity Symposium (ISS2019) <i>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)</i>	姚忻

## 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。通过验收以来至 2019 年底，经学术委员会审核通过或推荐，已为国内青年学者设立开放课题 13 项，其中 2013 年度 4 项，2014 年度 1 项，2016 年度 4 项，2018 年 2 项（另有延长资助 1 项），2019 年度 2 项资助经费共 52 万元，课题执行期为两年。在这些开放课题的资助下，2013-2019 年度共发表了包括 Phys. Rev. Lett.、Nanoscale 在内的 19 篇高水平 SCI 论文。其中，2019 年度根据学术委员会委员建议，新设的开放课题二项，分别资助了宁夏大学沈宏君教授和上海工程技术大学郝惠莲副教授。2019 年度在研开放课题共 5 项。

2019 年度，发表标注实验室名称的 SCI 论文 1 篇：

Large-area MACE Si nano-inverted-pyramids for PERC solar cell application, Z. G. Huang, K. Gao, X. G. Wang, C. Xu, **X. M. Song**, L. X. Shi, Y. Zhang, B. Hoex, and W. Z. Shen, Solar Energy **188**, 2019, 300-304

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	2016.7-2020.6 (延长资助)
2	ITO/n-Si 异质结中超薄界面层的性质与功能研究	4万	宋晓敏	讲师	淮海工学院	2018.7-2020.6
3	纳米双手性多层螺旋带生长机理和机械性质的研究	4万	戴璐	副教授	苏州科技大学	2018.7-2020.6
4	有序胶体硅纳米晶(Si NCs)薄膜的制备	4万	郝惠莲	副教授	上海工程技术大学	2019.12-2021.11
5	结合光子晶体-表面等离子体的薄膜太阳能电池吸收效率提升的研究	4万	沈宏君	教授	宁夏大学	2019.12-2021.11

(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	2019 第十五届中国太阳级硅及光伏发电研讨会 (15 <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 朱俊生 <b>沈文忠</b> (会议副主席、秘书长)	2019.11.21-23	1000	全国
2	第五届凝聚态物理会议 (CCMP 2019)	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	陈 澍 王孝群 沈健	2019.6.28-30	900	全国
3	第十七届半导体界面国际会议	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/李政道研究所	<b>贾金锋</b>	2019.6.24-28	110	国际研讨会
4	2019 上海市太阳能学会年会暨鑫单晶叠瓦技术研讨会	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	<b>沈文忠</b>	2019.6.25	150	国内研讨会
5	量子材料与物理前沿研讨会	表面和界面量子现象与调控团队	<b>贾金锋</b>	2019.12.6-7	50	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、常州理工大学任杰副教授来实验室做访问学者,获实质性科研成果,发表在【Physical Review Materials 3, 054412 (2019)】、【ACS Applied Materials & Interfaces 11, 17531-17538(2019)】上。派出年轻教师刘洪副研究员、管丹丹特别副研究员、钟思华博士前往法国、美国、瑞士科研机构访学。派出博士生王闻捷前往澳大利亚国立大学、博士生丁东前往挪威能源技术研究院交流学习。邀请国内外著名专家定期作学术报告,本年度共邀请 31 位海内外著名学者作专题学术报告。

本年度,实验室组织国际会议一次(第十七届半导体界面国际会议),组织大型全国性学术会议一次(第十五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 CCMP 2019 (第五届凝聚态物理会议);组织学术研讨会一次(量子材料与物理前沿研讨会);主持行业协会年会一次(上海市太阳能学会年会暨鑫单晶叠瓦技术研讨会)。实验室固定人员及研究生年度境外出访 60 余人次,邀请外宾来访 30 余人次。其中,固定人员参加国际会议 45 人次,作邀请报告 34 人次;参加国内会议 40 余人次,作邀请报告 12 人次。研究生参加国际会议 7 人次,国内会议 37 人次;指导博士后及研究生获权威会议优秀论文奖 3 篇。

国内交流方面,2017 年 12 月科技部批准组建包括沈阳材料科学国家研究中心在内的 6 个国家研究中心。实验室表面和界面量子现象与调控团队于 2019 年度加入建设沈阳材料科学国家研究中心量子材料联合研究分部。沈阳材料科学国家研究中心定位于创建国际一流的综合性材料基础研究平台,在已经形成优势学科基础上,进一步交叉融合,开展材料科技领域的前瞻性、战略性、前沿性学科交叉基础研究。2019 年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 个国家的高水平的科研机构保持密切的学术合作。实验室在研各类国际合作项目 5 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”；贾金锋教授与香港科技大学的基金委国际(地区)合作与交流项目“在拓扑晶体绝缘体/超导体异质节中寻找 Majorana 零能模”等。

2019 年度，沈文忠教授执行中国与罗马尼亚科技合作委员会第 43 届例会交流项目“增加光伏发电自有率的热能转换与储存系统”，邀请罗方人员访华一周。新增“中国-挪威”新能源合作项目，受挪威方邀请，2019 年初派出博士研究生赴挪威能源技术研究院(Institute for Energy Technology)交流(6 个月)。姚忻教授执行科技部中-斯科技合作项目，访问斯洛伐克科学院物理所，邀请并接待斯洛伐克科学院院士 P. Diko 教授访华。王孝群教授申请获得 2019 年《亚洲自旋阻挫与自选液体前沿研讨会》、2020 年《国际自旋阻挫与自选液体前沿研讨会》的举办权。姚忻教授获批“上海交通大学-多伦多大学学术交流项目”。

沈文忠教授带领的太阳能光伏科学研究团队与新南威尔士大学光伏与可再生能源工程学院、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 月正式挂牌，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。2017 年初在研究中心设立嘉兴光伏众创空间。2019 年度，该国际合作项目建设在持续深入推进，成为我国光伏行业产学研结合的示范基地和创业孵化器，研究中心多个光伏项目已进入实际运营阶段。

#### (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。实验室的科学传播举措主要体现了面向大社会大众、面向大学生，倾向科学研究相对落后地区的特点。本年度主要举措与成果如下：

- 1、沈文忠教授主编（排名第一）上海市住房和城乡建设管理委员会《太阳能光伏发电建筑应用技术标准》，2019年已完成征求意见稿。
- 2、实验室参与研发的硅异质结太阳电池组件和电池组件背板两个产品代表上海交通大学参加2019年9月在国家会展中心（上海）举办的第21届中国国际工业博览会。
- 3、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，本年度为该课程编写《实验室平台介绍》作为教材。2019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，并联系国内知名光伏企业接待学生参观访问。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高科技企业，以吸引更多优秀学生投身新能源领域学习和工作。
- 4、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前沿及最新研究进展。
- 5、实验室学术委员兼学术带头人马红孺教授始终将科学传播作为一名科技工作者和人民教师的职责和义务。在本年度学术委员会通讯评议中，他指出：“……在实验室已经取得很大成果，保持优秀的同时，建议考虑适当关注我国科学研究地区间发展极不平衡的现状，以一定方式如对口支援，培训等方式支持一个或数个中西部相关机构或课题组的发展”。对这条意见，实验室主任高度重视，2019年定向资助宁夏大学开放课题一项。马红孺教授本人2019年4-6月访问宁夏大学期间，在两个月内为宁夏大学物理学专业本科学子连续进行了8次专业导论的讲座，通过“经典物理学”“狭义相对论”“量子物理和原子物理”“原子核物理”“凝聚态物理”“基本粒子和经典物理的现代应用”等精彩讲座，向宁夏大学的本科生介绍物理学的基本原理和发展历程。马红孺老师深厚的理论功底，严谨的科学态度，深入浅出的讲解激发同学们物理学习的兴趣和激情。

## 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 (主任)	男	教授 (院士)	81	北京大学	否
2	沈学础 (副主任)	男	教授 (院士)	81	复旦大学	否
3	薛其坤 (副主任)	男	教授 (院士)	56	清华大学	否
4	祝世宁 (副主任)	男	教授 (院士)	70	南京大学	否
5	陶瑞宝	男	教授 (院士)	82	复旦大学	否
6	孙昌璞	男	教授 (院士)	57	北京计算科学研究中心	否
7	闻海虎	男	教授	56	南京大学	否
8	陆 卫	男	研究员	57	中科院上海技术物理研究所	否
9	陈 鸿	男	教授	59	同济大学	否
10	张文清	男	研究员	53	南方科技大学	否
11	雷啸霖	男	教授 (院士)	81	上海交通大学	否
12	郑 杭	男	教授	68	上海交通大学	否
13	马红孺	男	教授	59	上海交通大学	否
14	沈文忠	男	教授	51	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，2019年度的学术委员会计划于2020年上半年举行。

本年度，原定于2019年上半年在本校新建设的理科综合大楼内进行实验室2018年度学术委员会会议，同时请学术委员对新实验室进行现场考察。但新理科楼因工期延误、消防验收逾期等原因延迟交房，导致物理与天文学院2019年5月份开始陆续搬入新楼，新实验室装修施工2019年底才开始。因此我们将2018年度学术委员会召开的形式由现场会议变为通讯评议。通过函评的方式向学术委员会介绍实验室的年度工作进展，请学术委员予以评议。我们的评议评审材料寄出后，收到了14位学术委员中的11位委员的反馈，超过学术委员会总人数的三分之二。给予评议和评审的委员包括：复旦大学沈学础院士（副主任），清华大学薛其坤院士（副主任），复旦大学陶瑞宝院士，中科院上海技术物理研究所陆卫研究员，南京大学闻海虎教授，同济大学陈鸿教授，南方科技大学张文清教授，上海交通大学的雷啸霖院士、马红孺教授、郑杭教授和沈文忠教授。

学术委员会对实验室2018年的工作高度评价，11位委员中9位对实验室总体评价“优秀”。同时，部分委员“开放交流与运行管理”方面的进一步提高也提出了宝贵建议。以下为评议函、评议反馈表及学术委员会副主任意见：



上海交通大学人工结构及量子调控教育部重点实验室  
Laboratory of Artificial Structures and Quantum Control, Ministry of Education

尊敬的重点实验室学术委员：

您好！

去年，本实验室通讯评审材料寄出后，得到学术委员们一如既往的指导和帮助，收到绝大多数委员的认真反馈。在此，我向各位致以衷心感谢！但是我们对委员们“明年在上海交通大学新理科楼内建设完成全新的实验室，迎接各位委员的现场考察”的承诺，恐怕无法兑现了。本校新建设的理科综合大楼，因为工期延误、消防验收逾期等原因延迟一年时间交房，导致物理与天文学院没有至今仍未完成搬迁。院行政办公室于今年5月份开始陆续搬入新楼，新实验室装修施工将于6月份开始，预计2019年底才能整体建成并投入使用。

因此原因，今年仍不便召开现场学术委员会。我们总结了过去一年的工作并编制成年报，继续通过函评的方式向您介绍实验室的年度工作进展，请予以评议。

明年，实验室将迎来教育部对重点实验室2015-2019五年工作的评估。积土为山、积水为海，我们深知任何一点进步和突破都要靠不断努力才获得。“清谈可以饱，梦想接无由”，追求梦想就必须奋发图强！新的一年，我们将继续以脚踏实地、积极进取的工作态度对待各项科研、教学任务，决不辜负各位委员的殷切希望。实验室全体人员奋斗的热情和初心从未改变。

敬颂  
教祺！

上海交通大学

沈文忠

2019.5.6



上海交通大学人工结构及量子调控教育部重点实验室  
Laboratory of Artificial Structures and Quantum Control, Ministry of Education

## 教育部重点实验室 2018 年年度报告 学术委员函评反馈汇总

2018 年年报评议					
学术委员评价	研究水平与贡献	研究队伍建设	学科发展与人才培养	开放交流与运行管理	总体评价
沈学础	优秀	优秀	优秀	良好	优秀
薛其坤	/	/	/	/	无意见
陶瑞宝	优秀	优秀	优秀	优秀	优秀
陆卫	优秀	优秀	优秀	良好	优秀
陈鸿	优秀	优秀	优秀	优秀	优秀
张文清	✓	✓	✓	✓	✓
闻海虎	优秀	良好	优秀	优秀	优秀
雷啸霖	优秀	优秀	优秀	良好	优秀
马红孺	优秀	优秀	优秀	优秀	优秀
郑杭	优秀	优秀	优秀	优秀	优秀
沈文忠	优秀	优秀	优秀	优秀	优秀



《人工结构及量子调控教育部重点实验室 2018 年度报告》

学术委员评价

(请提出宝贵意见和建议)

若干年来,人工结构及量子调控教育部重点实验室不断进歩,杰出人才聚集,研究成果卓著,对外开放交流不断扩太和提高水平.举办国内外重大国际学术会议影响深远.实验室应该有条件进入国家重点实验室序列.国家人民对我们的期望也越来越高.希望继续努力.尤其是出重太原,创造性科研成果.并有一些年青人选为两院

院士

签名: 沈学础

日期: 2019.6.3

(请将本页扫描或拍照通过邮件发送至 zzjiang@sjtu.edu.cn)

请用“优秀”、“良好”、“合格”、“不合格”予以评价

研究水平与贡献	研究队伍建设	学科发展与人才培养	开放交流与运行管理	总体评价
优秀	优秀	优秀	优秀	优秀



### (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每年至少 100 万元的基本运行经费（具体额度由考核结果而定），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 2500 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，实验室几年内搭建起了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办公用房在上海交通大学闵行校区新理科楼 5 号楼七、八层，总面积超过 1200 平米。科研用房全部集中在上海交通大学闵行校区新理科楼 4 号楼，分别在一、三和四层，总面积约 2400 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。2019 年已基本完成办公室搬迁，科研实验室将于 2020 年完成搬迁。届时本实验室的办公条件将得到改善，科研场地布局将更加合理，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（2019 年为 31 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 2019 年度，本实验室已经连续七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 2019 年底，本实验室共有 20 万元以上的大型设备 77 台（套），总价值 11359 万元。其中年度新增 20 万元以上设备 8 台（套），共计 815 万元。2019 年度，表面和界面量子现象与调控方向新增 X 射线衍射仪、气体提纯液化系统、可编程 STM 控制器、制冷杜瓦等辅助设备 4 台（套），总计 225 万元；人工材料物性的计算研究与结构设计方向的马杰特别研究员课题组新搭建综合物性测量系统（PPMS）一套（400 万元）和光学浮区炉一套（90 万元），以及单晶 Laue 衍射仪、粉末 XRD 衍射仪各一套（共 100 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，刘灿华教授课题组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（STM+）研制。2015 年，该课题组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，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)】。2018 年，该课题组完成了两项国家发明专利的申请，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。2019 年度刘灿华教授、贾金锋教授团队利用自行研制的 STM+ 系统，观察到双分子层厚的 FeSe 超导薄膜的迈斯纳效应，研究成果发表在【Phys. Rev. Lett. 123, 257001 (2019)】。

张文涛特别研究员用两年时间完成时间分辨角分辨光电子能谱系统的研制（设备总价值 839 万元），目前仪器研制完成，性能达到国际领先水平。2019 年发表仪器研制文章【Review of Scientific Instruments **90**, 063905 (2019)】，并申请国家发明专利“一种模块化的真空紫外激光装置”。2019 年度使用该仪器进行磁性拓扑绝缘体材料电子结构表征研究，成果发表在【Physical Review X **9**, 041039 (2019)】。

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工艺、创新装置，已成为实验室实验物理基础研究方向持续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)

2020年3月11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