

显示度的工作。建议考虑选择合作项目的主要因素包括:(i)有重大或重要科学意义的前沿项目;(ii)我方具有一定的优势,能对该项目做出重要的贡献,例如,物理研究的积累,技术或资源优势;(iii)有一支稳定的对此项合作有兴趣并能胜任合作的队伍和年富力强的学术带头人;(iv)国际合作组提出的条件(经费或设备贡献,包括后期运行费)合理,是我们力所能及的。

一个实验组也必须“有所为,有所不为”,不宜同时参加多个国际合作项目。提倡国内单位联合起来,共同参加一个国际合作项目。可以考虑借鉴国外经验,如英国卢瑟福实验室和大学的合作方式,探索出高能物理研究所与大学优势互补的合作方式。

(3)建议科技部、自然科学基金委和中国科学院协调,共同建立一个固定任期的高能物理国际合作咨询委员会,统一规划和评审我国参加高能物理国际合作项目。评审项目时应考虑国家可能给高能物理国际合作提供的总经费限制。

(4)对国际合作探测器的经费投入应重点支持能促进国内相关探测技术和高技术发展的项目,改变目前多数是劳动力密集或原材料密集设备的贡献方式。

(5)应当保证对参加国际合作的后续经费支持,特别是进行数据分析和网络的支持。建议尽快落实参加LHC实验国际合作所需的数据分析计算环境和网络通讯的经费。

(6)加大对先进加速器技术及应用,同步辐射技术及应用和先进探测器技术研究国际合作及交流的支持。这些方面的合作意义重大:(i)促进国内这些重要研究领域发展;(ii)推动相关高技术的产业化;(iii)为今后参加国际合作提供技术储备。

(7)积极部署和支持可能具备重大科学意义的长远项目的前期研究,如从日本JHF到北京的超长基线中微子振荡实验。

(8)加大对在中国举行的重要国际学术会议和讲习班的支持力度。

INTERNATIONAL COOPERATION IN HIGH-ENERGY PHYSICS RESEARCH

Chen Hesheng

(Institute of High-energy Physics, CAS, Beijing 100039)

Key words particle physics, high-energy, international cooperation

·成果简介·

重大项目“半导体复合光功能材料与器件的基础性研究”成果介绍

何杰 夏传钺

(国家自然科学基金委员会信息科学部,北京 100085)

[关键词] 半导体,复合光功能材料,重大项目,成果

国家自然科学基金“九五”重大项目“半导体复合光功能材料与器件的基础性研究”日前通过验收,顺利结题。该项目的负责人为阙端麟院士,由浙江

大学、山东大学和中国科学院半导体研究所等单位联合承担,并组成以阙端麟院士和蒋民华院士为首、由7名科学家组成的学术领导小组,具体指导与协

本文于2003年2月21日收到。

调各课题的研究工作。以梁敬魁院士、沈德忠院士和方家熊院士为首、由8位科学家组成的验收专家组一致认为该项目全面完成了预定研究内容,达到了预期目标,同意通过验收。

1 背景情况

半导体材料与器件是信息科学技术物质基础的主体,它的每一次重大突破,都引起信息科学技术新的飞跃。近半个世纪以来,半导体材料的研究主要集中在以锗、硅为代表的第一代半导体材料、以砷化镓等为代表的第二代半导体材料、乃至最近兴起的以氮化镓、氧化锌和碳化硅等宽禁带材料为代表的第三代半导体材料,使微电子技术和光电子技术发生了翻天覆地的变化,极大地推动了国民经济的高速发展,促进了社会进步,同时也使半导体学科的范围不断得到了拓展。近年来,光通讯、光计算、光存储、光显示等现代化信息科技呼唤着光子技术,急需有满足高速、大容量、高密度需求的新型半导体材料与之相适应。半导体材料已成为激光、发光、光导、光致变色、光折变等光功能材料研究的首选材料。但是单一的半导体光功能材料,除表现出各自突出的优点外,也具有其固有的局限性,因此,寄希望于某一种单一材料来完成各种复杂的功能,是不现实的。这就为具有多种特异性能或综合性能的、可以人工设计的半导体复合光功能材料与器件的崛起,提供了极为有利的时机。探索满足现代光功能器件要求、性能优异的光功能材料的研究正在迅速地成为一门新兴的学科,它综合分子工程与微观结构工程,紧密地将微观结构和宏观性能联系在一起。

材料的复合化是现代材料科学发展的趋势之一,通过不同结构、不同组成、不同功能的材料复合,可以使材料的基本特性得到互补、优化以及协同增强,产生新性能,形成新材料。国内外对半导体复合光功能材料与器件的研究,虽然还处于起步阶段,但已显示出十分诱人的应用前景,如以有机染料/TiO₂纳米晶体复合材料制备的湿法光电池,其光电转换效率已经超过12%,实现了产业化。

国家自然科学基金委员会信息科学部和工程与材料科学部在“九五”期间,根据近十多年来国内外在新型半导体光功能材料与器件研究领域所取得的进展和存在的科学问题,结合国内的研究工作基础,设立了学科交叉跨度大、前瞻性强的“半导体复合光功能材料与器件的基础性研究”重大项目,旨在系统研究各类半导体材料在纳米级与分子级的复合以及

多种半导体功能复合,寻求复合的物理与化学原理及其性能协同优化、互补等新效应产生的物理起因;探求多类半导体复合光功能材料与器件的设计原则、制备技术以及结构、组成与性能之间的关系;探索基于半导体复合光功能材料的新型器件的工作原理和原型器件。

2 主要研究成果

2.1 理论、概念和方法上的创新成果

在国际上首次计算确定了ReCOB体系激光自倍频晶体的有效非线性系数在空间的分布,提出了这一类低对称性晶体最佳倍频(自倍频)方向不在主折射率面的观点,并从实验上予以证实,为进一步深入研究 and 利用低对称性晶体材料提供了科学基础。还据此设计了全固态LD泵浦的自倍频激光器样机。

发现酞菁/偶氮等二元复合半导体材料的光伏信号在稳态下可随激发能量的改变而发生反转,并存在临界激发能量;通过调节偶氮/酞菁复合光导材料中偶氮和酞菁二者的比例可以调控其稳态光伏信号,不同组成的复合材料可稳定地表现出或正或负的光伏极性,存在着两个临界分子数比。基于上述结果,在国际上率先提出了“光伏极性反转”新概念,具有原创性。该新现象的发现及其新概念的提出,对衍生和发展一类新型的光伏极性反转新概念材料、开发相应的新型光控电子器件具有重要的理论意义。

在国际上首次提出并建立了高效、高稳定无机基有机复合固态可调谐染料激光介质“分步合成”制备新技术,研究确立了基于不同催化机制设计反应历程和分步速率,以实现无机基质的组成剪裁、结构修饰与原位增韧的有效调控方法,突破现有制备方法的工艺可控性和材料光学均匀性差、光散射损耗大以及制备周期长等缺点,有效提高了复合激光介质组成和微结构的均匀性、致密性与抗光学衰退性能以及工艺的可重复性,研制了一系列高效、高稳定、长寿命和良好光学加工性能的高品质无机基复合固态可调谐染料激光介质。为免除光学加工,首创了一种功能化层状复合模板浇铸新方法,成功制备“材料器件一体化”的复合固态染料激光介质,并实现了激光输出。

在国际上首创配合物型蓝紫光倍频晶体——ZnCd(SCN)₄(简称ZCTC),获得国家发明专利。该晶体物化性能稳定,非线性光学系数大,紫外截止波长

短(290 nm),是目前最好的半导体激光器倍频材料之一。研制了激光器原型器件,获得了半导体激光的直接倍频紫光(404 nm)输出,器件接受角大,输出激光的单色性好、发散度小、输出稳定。

首创快成核共沉淀方法合成半导体纳米晶,通过控制合成条件,实现了高价态、大半径离子在纳米晶中的掺杂;通过表面修饰和离子掺杂方法解决了量子效应增强与发光淬灭的矛盾。研究建立了一种原位、即时荧光探针新技术,可在材料合成过程中同步研究复合材料微观化学环境和结构,其中的光学活性物质既具有特定的光功能,又可作为原位荧光探针。该技术不仅为无机/有机复合光功能材料的制备提供了组成和工艺设计的理论及实验依据,同时为研究有机光活性物质的光功能特性与无机基质微观化学环境及结构的相关规律提供了一种简便、可行的新方法。

2.2 在材料与器件制备方面取得丰硕成果

在材料与器件的关键技术上取得了重大突破,首次获得了13种新型半导体复合材料体系和6种新型原型器件。如:研制了高性能复合固态可调谐染料激光介质及其激光器原型器件,激光染料P-567掺杂的复合固态染料激光介质的斜坡效率达57.8%,当激光输出脉冲超过10万次时,其输出能量仅下降 $<15\%$,可调谐范围达50 nm(547 nm—598.2 nm),激光阈值约 $70\mu\text{J}$,而对于掺杂P-red激光染料的复合固态染料激光介质,其激光输出寿命的归一化指标达 466.7GJ/mol ,上述激光输出性能指标均已处于同期国际领先水平;设计并研制出808 nm半导体激光倍频的ZTC晶体器件,实验表明1.46W、808 nm激光通过ZTC倍频器件可得到10.29 mW、404 nm的蓝紫光激光输出,晶体接受角大($2.3\text{mrad}\cdot\text{cm}$);观察到 Mn^{2+} 掺杂CdS纳米晶中的协同发光现象,实现小粒度半导体纳米晶中的三价稀土离子掺杂,可以得到既具有半导体性质又是线状光谱的器件,研究了因掺杂引起的主晶格发光的双峰结构;制备了新型稳定的宽频响有机复合单层光导体,各项技术指标达到实用化水平,在多相多组分有机半导体复合单层光导体的制备技术上取得了突破,主要技术指标:光敏性 $E_{1/2}=0.5\mu\text{J}/\text{cm}^2$;研制了Nd:YCOB晶体LD泵浦冷却控温装置、Nd:YCOB自信频激光谐振腔、以及能长期稳定可靠工作的激光器,在2W的LD泵浦功率下,获得最大连续绿光输出16mW,输出激光束为 TEM_{00} 模,发散度为 2mrad ,长期工作稳定性好于 5% ;用YYbBiIG及

CeYIG材料研制的光纤光隔离器原型,其插入损耗6dB以下,反向隔离达40dB,基于GdBiYIG材料研制的光纤电流传感器实验室原型,其灵敏度 10Oe/mV ,精度 1% ,最大线性偏差 0.9% ;研制的具有类柱状微结构的各向异性光电薄膜及其原型高分辨液晶光阀,其分辨率优于 1280×1024 (有效成像面积 $3\times 2.4\text{cm}^2$);在Si(111)衬底上利用多晶GaN缓冲层生长出了六方结构的GaN单晶薄膜,室温下观察到了较强的带间光致发光,位于365 nm,其半高宽为8nm(74.6 meV)。

已在国内外学术刊物发表论文266篇,其中SCI收录169篇;申请发明专利9项,其中已获授权4项,另获实用新型专利2项。获山东省科学技术进步奖一等奖1项,中国高校科学技术奖二等奖1项。培养了一批年轻专业技术人才,有的还成长为本学科学术带头人,他们已成为我国半导体复合光功能材料与器件研究领域的新生力量,其中培养博士后5名,毕业博士研究生12名,毕业硕士研究生32名。在该项目研究的基础上,部分课题已获“十五”“863计划”支持。

该项目探索性突出,涉及面很宽,交叉度很强,承担任务的各层次人员较多。经常交流、强化组织、严格要求、及时检查,是该项目得以胜利完成的重要组织保证。经过四年的不懈努力,取得了较丰硕的成果。这些成果的获得,在国际上造成了一定的影响,在国内则起到了带动作用。它丰富了半导体学科与材料学科的内容,提高了我国在半导体复合光功能材料与器件研究领域的整体创新能力,为我国参与国际竞争打下了扎实的基础,为形成我国自主知识产权做出了贡献。

3 本领域新进展及发展趋势

在过去的几年中,广大科技工作者开展了卓有成效的探索工作,使无机-有机复合半导体材料与器件的研究充满了生机与活力,并取得了若干重要进展。如:IBM的科学家利用无机半导体材料良好的电荷迁移性能和有机材料加工性能好的特点,制备了复合薄膜场效应晶体管,场效应迁移率达到 $0.6\text{cm}^2/\text{Vs}$,整流比大于 10^4 。日本东芝公司将靛青染料掺入 $\text{SiO}_2/\text{ZrO}_2$ 基质中,制备了电视机显示屏;用分别带有空穴传输单元和发光单元的硅烷化先驱体制备的双层结构有机/无机杂化发光二极管,克服了小分子有机材料易析晶、聚合物材料制备复杂以及电子传输层和空穴传输层平衡困难的缺点,获得

外量子效率达1%(亮度 $100\text{cd}/\text{m}^2$ 时)、27V电压下的亮度达到 $4\,000\text{cd}/\text{m}^2$ 的绿光HLED;意大利学者在直径1cm、厚度1.3mm的盘形多孔无机玻璃(SK11)微粒中浸渍溶有有机激光染料DCM的液晶,获得了温度调控的随机激光输出,可用于温度敏感显示器件;以色列希伯来大学报道了以核/壳型半导体纳米晶与有机聚合物的复合体制作 $1\sim 1.3\mu\text{m}$ 波长可调制的塑性光发射二极管,用于光通讯器件;通过复合,科学家可以在实验室中获得各种形式的聚合物半导体纳米管材料;最近,在单晶硅表面外延并五苯单晶薄膜的复合动态过程实现了原位监测研究。这些高水平的研究成果在*Nature*, *Science*等顶级刊物上连续报道,使无机-有机复合半导体材料成为最活跃、最具有创新潜力和发展空间的研究领域之一。

但是,总体而言,半导体复合光功能材料的研究尚处于起步阶段,所涉及的一些共性的、关键性的基础科学问题的研究还有待深入和提高。即使在各组份材料本身的物理化学性质较清楚的情况下,材料复合的物理、化学机制和表面、界面作用也还不甚清楚,其中包括无机-有机半导体复合材料的物理与化学复合原理,各复合相及其界面的结构、状态、性能与体性能的关联,界面功能传递原理,复合过程的实时监测与控制等关键基础问题。迄今为止对无机-有机半导体复合材料和结构的认识还是太少,需要发展该领域的相关理论、模型和模拟,并将之用于半导体复合材料的设计、性能预测和新器件的构筑中去,从而大大缩短新材料的研发时间,增加新器件的可行性和可预见性,使新材料及其应用的优化得以实现。材料的发展规律表明,新材料的发展是与相应的分析表征和评价技术的进步相伴随的。由于现

有的分析测试表征技术用于无机-有机半导体复合材料的研究存在着许多问题,对材料的许多基本特征、结构及其相互作用的了解和基本数据的积累还很不够,使这一新材料的设计、制备与应用存在着相当的盲目性,亟需发展无机-有机半导体复合材料结构、性能的评价新技术。无机-有机半导体复合材料的稳定性问题也有待于进一步研究,寻求并控制能够保持半导体复合材料优异性能的凝聚态结构及其条件,应是研究的主题。上述基础科学问题既符合材料科学与工程发展的“组成-结构-性能(或功能)”这一永恒研究主题和共性规律,又具有新材料研究发展初期自身的特性。预计在今后若干年里,上述基础科学问题的研究将会成为无机-有机半导体复合材料及其应用领域世界范围内的研究热点。我国在该领域已有较好的研究基础,总体研究水平与国外差距不大,有些方面还处于领先地位。因此该领域研究的总体思路应以强调原始创新和自主知识产权为前提,寻找无机-有机半导体复合材料在信息、生物、航空航天、制造、国防等领域的应用突破口,针对其基础科学问题开展系统而深入的研究,为我国参与本世纪国际高技术竞争奠定基础。同时也为建立一支具有连续性、跨学科的、创新能力强的材料科学基础研究队伍提供可能和保证。本项目的实施及成功经验表明,组织跨学科交叉和联合攻关,是学科跨度大、前瞻性强、难度大的重大项目得以顺利实施的有力保证,对于提高我国的整体研究水平,推动科学技术进步具有重要的示范和带动作用。

本文大部分资料源自国家自然科学基金重大项目“半导体复合光功能材料与器件的基础性研究”的工作总结报告。

INTRODUCTION ON THE ACHIEVEMENTS OF “FOUDAMENTAL RESEARCH ON SEMICONDUCTOR OPTICAL FUNCTION COMPOSITE AND DEVICES”

——Major Project of National Natural Science Foundation of China

He Jie Xia Chuanyue

(Department of Information Sciences, NSFC, Beijing 100085)

Key words semiconductors, optical function composite, major project, achievement