

物理所光学研究的历史和现状

魏志义 张杰

(中国科学院物理研究所 光物理重点实验室 北京 100190)

摘要 光学是物理所最早设置的学科方向之一,伴随物理所的发展历史,取得过许多重要的成就.文章在回顾与光学相关的这段历史的基础上,概述了物理所人在光学领域所取得的主要学术成就及人才培养和队伍建设情况,最后简要介绍了目前开展的研究工作,浅析了进一步发展所面临的不足和对策.

关键词 光学,激光,光物理,光谱学,光学进展

History and status of optics research in the Institute of Physics

WEI Zhi-Yi ZHANG Jie

(Key Laboratory of Optical Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract Optics was one of the earliest research fields in the Institute of Physics, and over the years remarkable progress has been made. The history of this development is reviewed, with an account of the academic achievements and the people involved. Finally, we briefly summarize our current research activities and outline the new challenges and opportunities for optical physics in the future.

Keywords optics, laser, optical physics, spectroscopy, development.

今年是中国科学院物理研究所 80 周年华诞,在 80 年的发展历程中,作为物理所的重要学科方向之一,光学研究分享了物理所岁月底蕴所给予的丰肥沃土,吸引并培养了数代杰出的科学家,回报了许多优秀的科研成果,为物理所的发展壮大、为我国光科学技术的进步,做出了重要贡献.

1 学科设置与发展

光学是一门古老而又不断焕发青春的学科,上世纪初现代物理大厦的形成,可以说是先从光学研究相关的突破开始的.1928 年,中央研究院物理研究所在上海成立之初,就先行采购了以光学、电学为主的科研仪器.次年北平研究院物理研究所成立,首先开展光谱学研究^[1].1948 年王大珩先生留学回国后,先在北平物理所短期工作开展光学研究^[2].至 1950 年两个物理所合并成立新的中国科学院应用物理研究所之时,在组建的光谱学、应用光学、结晶学、磁学、金属物理五个业务研究机构中,有两个就与光学相关.合所后的首任所长严济慈,不仅是中国现代物理学研究工作的创始人之一,也是我国光学研究和光学仪器研制工作的奠基人之一.在 50 年代

的大部分时间里,物理所研究单位以组划分,光学为第一研究组,这期间北京大学光学教研室主任赵广增(1902—1987)兼任光学组组长,张志三(1920—2003 年)为秘书,研究成员有孙湘、李维成、徐世秋、王传钰、彭子和、唐福海、徐积仁、张遵遼、张洪钧等人,组建有激子光谱、拉曼光谱及红外光谱、真空紫外光谱、光谱分析四个研究课题组.为了配合当时国家经济建设的需要,应石油、地质等部门的要求,研究组不仅开设了光谱学习班,为有关厂矿培养技术人员约 20 人,而且承担了国产石油的鉴定工作^[3],为我国石油工业的拉曼光谱分析奠定了基础.1959 年,张志三与张遵遼、邱元武、钟权德一起,又组建了波谱研究小组,孙湘和张洪钧等人组建了高温等离子体研究小组.在那一代科学家的努力下,物理所建立起了国内有重要影响的分子振动光谱实验室,拥有德国进口的红外光谱仪等先进设备,研究工作也从支援国家建设逐渐扩展到基础科学研究,不少单位也派人来物理所先后进行过物理、化学、生物、天文等方面的合作研究.

2008-05-27 收到

1959 年 6 月,研究组扩大为研究室,张志三任光谱学实验室主任。当时国际上受激辐射的研究正在向光学波段推进,国内中国科学院长春光学精密机械研究所、电子研究所等单位也启动了相关内容的研究^[4,5]。在吴有训的建议下,徐积仁、张遵遼、张志三等人独立开展了这一课题的工作,并继王之江等人之后^[6],于 1962 年利用本所张乐慧生长的红宝石晶体实现激光输出,次年在《科学通报》发表了国内较早的激光实验论文^[7-10]。1965 年初,由于研制的红宝石晶体的出色质量及产生激光的优良性能,物理所在全国科技项目表彰会上获奖。此外理论室的陈春先等人也参与了激光的研究,霍裕平等人还进行了激光理论的工作^[11],聂玉昕等人开展了大功率钕玻璃激光的研究,获得了输出能量超过 10mJ 的纳秒激光脉冲,徐积仁等人后又研制成功大口径的晶体 Q 开关。由于这些工作的发展,1969 年物理所成立了激光研究室(第三研究室),由抗美援朝复员的少将乔星南任党支部书记,魏守安任业务主任,实验室同时还配有玻璃加工组,总人数达 70 多人,实验室总面积达 900m²。研究业务主要是激光大屏幕显示及雷达二维处理两个方面,其中激光大屏幕显示又分激光器件、激光束偏转扫描和激光调制三个科研小组,由张道中、俞祖和、陈代远负责。至 1974 年,实验室在激光器件研究方面研制成功光束质量及输出都达国际水平的蓝绿氩离子激光和红光氦离子激光^[12],用一套全新的偏转方案实现了 2 × 2m² 的激光二维大面积显示。同时也开始了国际交流。这一年周岳亮在王大珩的带队下,随上海光机所林尊琪等人赴美国、加拿大访问,诺贝尔奖获得者、著名的美国非线性光学专家 Bloembergen 教授到物理所访问,加州大学柏克利分校的沈元壤教授第一次回国并到物理所参观。

随着光学研究工作的进一步发展,1974 年实验室又作了新的调整,薛大鹏任党支部书记,周岳亮任科研生产领导小组组长,至 1977 年先后设立了激光全息及信息处理、非线性光学、氩离子激光、二氧化碳激光、固体激光、半导体激光及理论等研究组,研制成功室温运转的砷化镓半导体激光器^[13]和横向激励的二氧化碳激光器,多项成果获全国科技大会奖及中科院重大科技成果奖。

改革开放后,光学研究迎来了全新的发展机遇。1978 年 10 月,根据中国科学院的规划精神,明确物理所以凝聚态物理为主要发展方向,光学物理为主要研究领域之一。在光学、激光物理与技术等方面,

开展了皮秒光谱学、原子激光光谱学、分子光谱学、非线性光学、光信息处理、激光理论、激光技术及激光干涉测量等工作,研制成功高功率单频氩离子激光^[14]、氮分子激光^[15]及被动锁模 Nd:YAG 激光^[16],后者并用于凝聚态物质的瞬态效应和化学与生物反应的能量转移过程研究;横向激励二氧化碳激光的单脉冲能量达到 5J,寿命达到 10⁶ 发^[17];在沈元壤教授和张志三的指导下,建成脉冲闪光灯泵浦的重复频率染料激光器^[18]。这期间研究室工作人员达到 92 人。



图 1 1978 年沈元壤教授访问时与所领导和部分激光研究室研究人员的合影

1984 年物理所撤消研究室建制后,在三联办成立的有关光学研究的课题组有 11 个,研究方向分别为紫外辐射、共振多光子电离、非线性光学和光谱学、光学一般变换与光计算、激光增强催化、激光分子动力学、液晶光学双稳态中的混沌、表面非线性光学、激发原子和分子动力学的基础研究、拉曼散射和荧光光谱、布里渊散射表面增强拉曼散射。此外七联办还设立有可调谐激光研究组,研究开发部设立有激光测量组。随着光学学科的发展和课题组的调整,至 1993 年又新成立非线性光学的新效应及应用课题组。这期间在原子分子动力学的理论研究、光学双稳态中混沌(光学混沌)的研究、四波混频与四波混频光谱学的理论与实验研究、光学信息处理的理论与实验研究、凝聚态物质的光散射研究等方面初步形成自己的特色。值得一提的是在激光诱导化学反应合成纳米颗粒和薄膜研究方面,实验室于 1985 年合成出质量优于美国和德国、平均粒度为 23nm 的 SiC 纳米颗粒^[19],这也是国内首次研究并制备出的纳米颗粒。所研制的首台微波激励实用型 kW 级 CO₂ 激光器被 1991 年的 Laser Focus World 所报道^[20],引起了国内外同行的关注(图 2)。

1994 年 12 月,经中国科学院组织专家评审,物理所成立光物理实验室并作为院级开放实验室正式



图 2 德国研究技术部代表团参观 CO₂ 激光器

对国内外开放,实验室定位主要研究方向为光与物质相互作用的基础研究,同时开展新材料在光学,尤其是在光子学领域的应用基础研究。杨国桢任首任实验室主任,设有 5 个研究组和公共实验室,在开展光折变效应、激光法薄膜制备、光学混沌等研究的同时,也开展了超强激光物理、极紫外及高次谐波的产生、光镊、光子晶体、THz 相干辐射与机理、飞秒超快过程、参量激光与大功率全固态激光等前沿课题的研究,通过客座研究课题的方式,陈创天、吴以成、孔繁熬、张杰、张希成、张景园、朱湘东等国内外有重要影响的专家先后来实验室开展合作研究。1999 年实验室换届并由张道中出任实验室主任时,进入科学院创新岗位的研究组有 6 个,分别开展光子晶体特性与应用、超快光谱、薄膜与超晶格物理及光学非线性、光量子信息与原子相干性研究、超强超短激光物理及与物质相互作用、可调谐全固态激光的研究和应用等工作,在光子晶体机理、激光分子束外延、飞秒 TW 激光装置、多波长参量激光等方面取得一批重要成果。2005 年,基于飞秒激光在频率测量中的应用和计量测试高技术联合实验室(于 1999 年应王大珩先生的建议由物理所作为依托单位)的实质发展,成立超短激光脉冲与量子频标研究组。2006 年,张杰出任光物理实验室主任。

2 科研成果与人才

物理所光学研究在不断发展的过程中,先后取得了一系列有重要影响的学术成果,并在不同时期完成了满足国家重要需求的工作,培养了许多优秀的人才。

早在抗战内迁昆明期间,北平物理研究所就建有 15 人的光学厂,在严济慈的领导下,张志三等人进行了 150 倍显微镜的研究工作,在一年多的时间内,制成了 50 架显微镜,缓解了抗战时期后方部分学校的需要^[21]。当时光学仪器是抗战急需的战略器

材,我国光学研究的奠基人之一龚祖同先生其时就在昆明负责军用望远镜的研究。新中国成立后,上级交给物理所一项紧急任务,要求检查美国在朝鲜战场上投掷的细菌弹各组成部分的元素成分,张志三等人利用光谱分析技术,很好地完成了这一工作并得到卫生部的奖励。为了配合国家经济建设的需要,实验室及时开展了石油、炼钢、地质等行业所需的光谱分析研究。六十年代开始,继获得红宝石激光输出后,孙湘组承担了当时国家有关重要任务的三项光学测试工作,1964 年由张洪钧带队参加了现场试验。1976 年毛泽东主席逝世后,中央制定了遗体保护的“一号任务”,物理所参与了光学照明及低温的工作,在头像及水晶棺的照明设计中,吴令安等人提出了多个有益的技术方法,从而保证了在不同的位置范围及不同的角度,都能达到理想的瞻仰效果。由于该项工作,他们被授予“一号任务”先进集体奖。

1978 年召开的全国科技大会,是新中国成立后一次规模最大、影响最深远的科技会议。在这次会议上,光学信息处理研究、二氧化碳激光器、光学普遍变换、激光波导纤维通信获得大会奖。此外,非相干光处理大运动模糊图像、红外激光多光子吸收分离同位素、脉冲多普勒雷达的光学信息处理获该年度的中科院重大科技成果奖。自此之后,物理所的光学研究与国内其他学科一样,逐渐步入了一个快速发展和水平不断提高的轨道,至 1984 年,先后获得中科院科技成果一等奖一项,二等奖 3 项及其他奖项。1984 年研究所改制后,各个研究组的工作积极性和创新潜力得到进一步发挥,至 1999 年底,光物理实验室共获得国家自然科学三等奖和国家技术发明奖二等奖各 1 项,国家科技进步奖三等奖 3 项;中国科学院自然科学一等奖和二等奖各 1 项,三等奖 2 项,技术发明一等奖 1 项,科技进步一等奖 3 项、二等奖 1 项。

随着新世纪的来临,中国科学院知识创新工程给了光学研究更加接近并进入国际前沿的机会,光物理实验室几个相关研究组通过不懈的努力,在强场物理、氧化物薄膜制备、光子晶体、飞秒激光技术、二极管泵浦激光技术等多个方面初步形成国际影响。自 2000 年以来,已在国际相关学术会议上作邀请报告 100 余次,并成功主办了 X 射线国际激光会议、亚洲原子分子物理会议等多个国际会议。研究工作获国家自然科学二等奖 2 项,北京市科技进步一等奖 2 项,中国科学院技术发明二等奖和科技进步二等奖各 1 项。2007 年,张杰、盛政明、魏志义等人

获中国科学院杰出科研成就集体奖。

人才队伍的培养和建设是研究工作可持续发展的重要环节,早在文革前,光学就有了自己的研究生。1978 年恢复研究生招生时,光学是物理所最早具有博士学位授予权的学科之一,王天眷、张志三先生也是当时仅有的两位博士生导师。至 2005 年,光学博士导师最多时达 18。据不完全统计,物理所光学专业共培养博士 300 多人,其中 5 人次获蔡诗东等离子体物理奖,他们中的大多数目前工作在高等院校、科研机构、跨国高技术公司及政府机关,其中许多人已是所在部门的骨干人员及著名专家,有三位出任大学校长或副校长。在队伍建设方面,自 1991 年以来,有 5 人次获得“海外引进杰出人才计划”及中国科学院“百人计划”的支持,6 人次获得国家杰出青年基金。叶佩弦、傅盘铭、杨国桢、顾本源、张杰、盛政明等人因在光学研究方面的成就先后获中国物理学会饶毓泰物理奖。此外张杰还获得第四届中国青年科学家奖、求是杰出青年学者奖、中国光学学会王大珩光学奖、海外华人物理学会亚洲成就奖及全国先进工作者称号,吴令安获全国三八红旗手称号,陈正豪获第二届“中国科学院十大杰出妇女”奖,魏志义获中国科学院青年科学家奖。李家明、杨国桢、张杰当选中国科学院院士,许祖彦当选中国工程院院士,并先后都获得何梁何利基金科学与技术进步奖。李家明、张杰还分别当选为第三世界科学院院士和德国科学院院士。

3 新时期的研究工作与思考

老一辈物理所人凭借他们的聪明才智和不懈努力,不仅将物理所的光学研究领向了国际前沿,而且也为进一步的持续创新发展提供了雄厚的基础。秉承前辈们开创的事业,目前光物理实验室的几个研究组在纳米光子学、低维氧化物体系的设计制备及其物理研究、相干与非相干多波混频的理论和实验研究、双光子量子干涉与成像、量子保密通信、单光子探测的理论和实验、太赫兹时域光谱和太赫兹与物质相互作用、超强激光作用下的高能量密度物理、阿秒激光物理与技术、光学相干控制、新型全固态锁模激光等方面开展研究。最近几年里先后利用超快光子晶体全光开关获得了 25fs 国际上最快的开关速度,首次在近乎均匀结构的十二重准晶中观察到了负折射和非近场成像效应,利用二维准周期非线性光子晶体实现了准连续波的频率转换;研制成功 II 型激光分子束外延设备,制作出了多种高质量的

钙钛矿氧化物薄膜材料,在钛酸锶、铝酸镧等晶体上观测到皮秒的超快光电效应,在氧化物多层膜结构上观测到电、磁双调制效应,研制出两种纳米团簇增强非线性光学材料;通过自主创新研制成功整体性能可与国外同类工作相媲美的近红外单光子探测器;首次获得 Nd:CNGG、Nd:LuVO₄、Nd:GdVO₄、Nd:GGG 等系列全固态激光的准三能级运行或锁模运行;建成峰值功率大于 350TW 的台面飞秒钛宝石激光装置(图 3)及高精度的新型同步飞秒激光,研制成功能直接产生小于 6fs 脉冲的飞秒钛宝石激光器,并实现载波包络相位的稳定锁定;利用自建 TW 飞秒装置和强场物理研究平台,首次发现了沿靶面方向发射的超热电子束,揭示了飞秒激光脉冲在大气中的自聚焦成丝以及多丝相互作用对等离子体通道长度和稳定性的影响,证明了高信噪比的激光脉冲可以大幅度提高超短 k α X 射线脉冲的产额,提出了超强激光新的质子加速机制——稳相加速,详细分析了等离子体在各种强度的直流电场下的电子分布函数,推导出了一组类似于流体力学方程的公式;实现了输出功率国际先进的三基色激光,并研制出国际上色域面积最大的激光全色显示样机;在对覆盖纳米厚度电介质液膜劈裂共振环阵列的太赫兹响应实验研究中,观察到磁共振峰和电共振峰处的显著透射增强以及和液膜电性质相关的光谱特征,这对于发展基于结构材料的高灵敏太赫兹探测器件具有重要启示。



图 3 物理所自建的 350TW 超强飞秒激光装置

光学相关的物理和技术,一直是国际上活跃的研究内容。利用新的光学手段,人们可以实现并达到前所未有的极端物态,捕捉无法企及的微观过程,通过新的光学现象,人们能够观察到隐藏在视野之外的自然奥秘,从而建立新的物理概念,诠释新的自然规律。在最近十多年的时间里,国际范围内光学及相关的基础研究表现出极强的前沿创新能力,不仅开拓了极端非线性强场物理、阿秒超快物理、量子保密通信、光子晶体器件、原子光学、冷原子物理、相干控

制等新型前沿方向,促成了多项诺贝尔奖的诞生,而且也作为一门高技术工具,在凝聚态物理、半导体物理、高能物理、化学、生命科学、先进制造、信息通讯、精密计量、国防、医疗等领域发挥越来越重要的作用,成为基础研究领域及高技术应用领域取得新进展的重要辅助手段。参考国内外不断升温和扩展的光物理研究,近年来物理所在一些方面还存在着不足,如冷原子物理、原子光学等方面缺乏布局,在量子光学、超快量子控制、精密测量等方面研究力量有待加强。虽然光物理实验室在先进光源与诊断设备方面具有先进的条件,并提供了所内外许多用户开展合作研究,但考虑到不少科研单位相继引进相关设备的情况,说明我们这些仪器的使用效率还没有得到足够的发挥。针对这些情况,我们不仅应该考虑增设冷原子物理、原子光学等领域的研究布局,在量子光学、超快量子控制、精密测量等方面加强研究力量,积极引进上述领域的领军人才和优秀学者,同时也有必要利用现有的基础,进一步发展超短激光脉冲产生、放大及频率扩展等课题的研究,建立起脉宽可提供纳秒、皮秒、飞秒甚至阿秒时间尺度,波长可提供从 THz 相干辐射覆盖到中红外、近红外及可见光、紫外、深紫外和 X 射线波段,峰值功率可提供数百 TW 的全波段综合光学平台。除探索开展光学内容本身的前沿研究外,同时为凝聚态物理、化学、生命科学、先进制造等研究提供先进的光学手段。比较国内外光物理研究和应用快速发展的现状,如何克服人才引进和空间资源上的不足,选择新的突破点以促进光物理研究的进一步发展,是我们目前需要思考和面对的问题。

致谢 本文的撰写得到杨国桢、张道中等人的鼓励和支持,此外周岳亮、张洪钧、徐积仁、聂玉昕、张泽渤、吴令安、叶佩弦、陈正豪、傅盘铭、张治国、冯宝华、吕惠宾、汪力、翁羽翔、李志远、金奎娟、李玉同等人也提供了许多宝贵的素材和有益的建议,高原、张燕等人在材料的整理中做了很多事务性的工作。由于本文基于有限的历史材料,涉及内容的时间跨度又长,重要遗漏,在所难免;不妥之处,拜望指正。在躬逢物理所八十喜庆的时候,谨以此文献给那些为物理所光学研究和发​​展奉献过岁月时光的人们,无论他们的名字是否在本文中出现过。

参 考 文 献

- [1] 物理所大事记,见物理所网页 <http://www.iphy.ac.cn/Chinese/sintroduction/DSJ.htm>
- [2] 宣明主编.《王大珩》,科学出版社,2005年10月第1版,151
- [3] 张志三,张洪钧.物理学报,1959,15(10):559 [Zhang Z S, Zhang H J. Acta Physics Sinica, 1959, 15(10):559(in Chinese)]
- [4] 邓锡铭,王之江.科学通报,1961,6(11):25 [Deng X M, Wang Z J. Chinese Science Bulletin, 1961, 6(11):25(in Chinese)]
- [5] 黄武汉,范果健.科学通报,1962,7(12):1 [Huang W H, Fan G J. Chinese Science Bulletin, 1962, 7(12):1(in Chinese)]
- [6] 王之江.物理学报,1964,20(1):63 [Wang Z J. Acta Physics Sinica, 1964, 20(1):63(in Chinese)]
- [7] 徐积仁,张遵遼,余永柏等.科学通报,1963,8(11):39 [Xu J R, Zhang Z K, She Y B et al. Chinese Science Bulletin, 1963, 8(11):39(in Chinese)]
- [8] 吕大元,余文炎,朴锡斗.科学通报,1963,8(11):45 [Lv D Y, Yu W Y, Piao X D. Chinese Science Bulletin, 1963, 8(11):45(in Chinese)]
- [9] 王之江,汤星里,沈冠群等.科学通报,1964,9(2):151 [Wang Z J, Tang X L, Shen G Q et al. Chinese Science Bulletin, 1964, 9(2):151(in Chinese)]
- [10] 张遵遼,叶茂福.物理学报,1966,22(2):174 [Zhang Z K, Ye M F. Acta Physics Sinica, 1966, 22(2):174(in Chinese)]
- [11] 霍裕平.物理学报,1964,20(10):954 [Huo Y P. Acta Physics Sinica, 1964, 20(10):954(in Chinese)]
- [12] 邱元武,章思俊,张道中等.激光,1974,1(1):17 [Qu Y W, Zhang S J, Zhang D Z et al. Laser, 1974, 1(1):17(in Chinese)]
- [13] 中国科学院物理所半导体激光组.物理,1975,5(4):202(in Chinese)
- [14] 中国科学院物理所光学全息组.物理,1977,6(3):133(in Chinese)
- [15] 张绮香,王庭鸢,张治国.物理学报,1979,28(1):125 [Zhang Q X, Wang T Y, Zhang Z G. Acta Physics Sinica, 1979, 28(1):125(in Chinese)]
- [16] 林金谷,刘承惠,朱振等.物理学报,1980,29(3):406 [Lin J G, Liu C H, Zhu Z et al. Acta Physics Sinica, 1980, 29(3):406(in Chinese)]
- [17] 周岳亮,朱文森,尹燕生等.激光,1980,2(1):475 [Zhou Y L, Zhu W S, Yi Y S et al. Laser, 1980, 2(1):475(in Chinese)]
- [18] 邱元武,俞祖和,张治国等.物理,1979,8(5):269 [Qu Y W, Yu Z H, Zhang Z G et al. Wuli(Physics), 1979, 8(5):269(in Chinese)]
- [19] 赵圣之,张志三,张泽渤等.硅酸盐学报,1988,16(2):189 [Zhao S Z, Zhang Z S, Zhang Z B et al. Journal of the Chinese Ceramic Society, 1988, 16(2):189(in Chinese)]
- [20] Chinese test prototype microwave - excited industrial CO₂ laser, Laser Focus World, 1991, 10 #5
- [21] 张道中.物理,2004,33(4):289 [Zhang D Z. Wuli(Physics) 2004, 33(4):289(in Chinese)]