

研晶育人 一生无悔

——深切缅怀蒋民华先生

DOI:10.16553/j.cnki.issn1000-985x.2021.04.002

陶绪堂, 黄柏标, 徐现刚, 赵 显

(山东大学, 晶体材料国家重点实验室)

2011年5月6日4时56分, 我们敬爱的导师蒋民华先生在济南病逝, 至今已经十年了。

十年来, 我们像一群失去父亲的孩子, 会经常想念他, 甚至在梦里见到他。每天早晨上班经过他的铜像前, 总会停下匆匆的脚步, 心中默默地和先生打声招呼, 向先生倾诉我们的思念!

十年来, 我们对先生的思念没有因为时间的流逝减弱, 对他老人家的缅怀与日俱增。他的离去, 使我们缺少了运筹帷幄的主帅, 实验室失去了一位卓越的领航舵手!

山东大学的晶体材料研究始于1958年, 在蒋先生的带领下, 经过几代人的艰苦奋斗, 从无到有、从弱到强、从一棵幼苗成长为大树。这棵大树, 主干是晶体, 树杈是各分支方向, 顶端是研究的前沿, 应用驱动是它的阳光, 学科交叉、基础研究是它的土壤和根。而蒋先生, 就是栽培这棵大树最辛勤的那位园丁。

做研究, 定向 + 布局, 写就佳话

蒋先生对晶体事业的最大贡献在于, 他始终能够把握着正确的研究方向。方向是他时时思索的问题, 他对研究方向有着独到的敏锐眼光。在他看来, 方向的把握以及适时的调整至关重要。为此, 他不但关注本领域的发展, 也时时关注其他相关领域的发展, 在观察的同时, 不失时机地作出应对和调整。

20世纪70年代末, 蒋先生从德国 Haussuehl 教授处短期工作受到启示, 萌发了在有机和半有机(有机-无机复合)方向上探索非线性晶体材料的设想, 开国内晶体材料探索有机/无机复合非线性晶体材料之先河, 从而为精氨酸磷酸盐(LAP)晶体获得国家发明一等奖奠定了基础。

20世纪80年代初, 国际上出现了一种新的高效激光倍频晶体——磷酸氧钛钾(KTP), 美国少数实验室采用高温高压条件生长, 对设备和工艺条件要求很苛刻。通过国内外调研和综合分析, 蒋先生敏锐感觉到这是一种非常有前途的新材料, 当机立断组织精兵强将, 结合我国实际另辟蹊径开展晶体生长研究。他选定助熔剂法为主攻方向, 系统研究了KTP在磷酸盐助剂中生长的物理化学过程, 以及不同助熔剂、工艺条件对KTP晶体生长的影响, 使助熔剂生长KTP晶体的工艺首次实现了突破, 稳定而批量地生长出高质量的KTP晶体。1985年经日本权威机构全面测试, 我们生长的KTP晶体的主要指标超过美国同类晶体, 外商纷纷要求购买。高质量KTP晶体不但打破了国外的技术封锁, 而且实现了我国高技术产品出口“零的突破”, 《人民日报》1986年11月2日以“教授言商”为题作了专门报道和评论, 成为当时的一段佳话。

由于历史原因, 中国的晶体生长和半导体研究是独立发展的, 山大晶体所也一直未曾涉及半导体晶体研究。但是, 先生深知半导体的重要性, 一直在寻找机会将我国的单晶优势与半导体结合。20世纪80年代中期, 山东大学迎来了建设晶体材料国家重点实验室的重要发展期, 蒋先生力排众议提出了重大方向调整——率领晶体所进入半导体研究领域。他安排黄柏标、任红文两位年轻人领军, 以“化学+光学”学科背景相互协作, 以MOCVD半导体薄膜为切入点。正是基于此, 才有山大晶体所后来在半导体方面的成绩。

先生历来主张研究工作要有重点、有主线, 集中有限资源解决重要问题, 有所为, 有所不为。20世纪80年代中期, 高温超导取得重大突破, 形成了世界范围的超导研究热潮。山大晶体所很多老师想加入这个领域, 并有若干人已尝试生长超导晶体。当时, 先生不赞同大家随便跟风, 很多人对此表示不解和反对, 但后来的事实证明了先生的远见卓识。因为不久, 国家科委就下文让各单位停止上没计划的高温超导项目, 并把相关工作集中在几个有基础的研究单位。

顺应材料低维化发展的趋势, 长期从事体块晶体生长的蒋先生也在积极布局相关研究。他认为晶体生

长的初期就是成核,这是比纳米还小的范畴,里面有无数的科学问题值得长期研究。他曾于 2004 年 10 月和 2008 年 6 月,两次邀请国际著名纳米材料专家王中林院士来校讲授纳米材料和纳米压电电子学。2005 年 3 月,在弟子刘向阳的牵线搭桥下,他更是带队赴新加坡国立大学访问,与新加坡国立大学理学院签订了共建“生物微/纳米功能材料中心”协议书,商讨了两校在学者交流、学生培养和科研合作等方面的事宜,并成功入选国家外专局“111”引智基地,对晶体所从结晶学角度开展纳米材料研究产生了重要作用。



图 1 蒋先生在 MOCVD 实验室指导实验
(自左至右:任红文、刘士文、黄柏标、蒋民华、徐现刚、于淑琴)



图 2 2005 年与新加坡国立大学理学院合作签约留影
(从左至右:刘向阳、许国勤、蒋民华、胡祖协、陶绪堂、季伟、赵显)

育人才,出难题+压担子,屡结硕果

在人才培养方面,蒋先生的工作重点不是单纯教学生研究,而是教他们如何做研究。为此,他敢于给学生出难题、压担子,同时又给予充分的自主权,让学生在不断克服困难的过程中,建立起自信心。

1983 年,黄柏标、孙大亮、刘志华、王军、田玉金、陶绪堂六人成为蒋先生的硕士研究生。选课题时,蒋先生把大家召集在一起,给出了六个不同的课题,包括激光自倍频、有机金属化学气相沉积(MOCVD)、有机-金属配合物非线性光学材料、钕铁硼高效永磁材料、尿素晶体生长、晶体生长理论等,让大家根据自己的兴趣和基础选择课题。这些课题多是当时国内外最前沿的研究项目,难度很大。

最终,王军在陆宝生教授协助指导下在 NYAB 晶体的激光自倍频研究方面获得突破,被评为 1986 年中国十大科技新闻,20 多年后,实验室王继扬教授等与青岛镭视合作,实现了 YCOB 类激光自倍频晶体器件的产业化应用;黄柏标等从事的 MOCVD III-V 族半导体晶体材料研究,最早在国内实现高亮度发光二极管材料的产业化,成为今天浪潮-华光光电子公司的基础产业;陶绪堂从事有机-无机复合新材料研究,后来获得国家教委和山东省科技进步一等奖等。可以说,蒋先生将人才培养紧密结合新的研究方向和研究课题的做法,获得了大面积的丰收。

20 世纪 80 年代中期,蒋先生意识到了晶体从体块向薄膜和低维方向发展的重要性,于是做出了向薄膜材料方向进军的决定。他对研究生施路平说:“薄膜是未来的方向,我们应该、也一定要上,光电子特别是集成光电子是未来的主流,这个课题可以有机地把材料和器件结合起来,是个好的课题。”但他也知道,这个课题难度不小,“坦诚地讲,我对薄膜和集成光电子知道不多,所以研究主要靠你自己摸索,而我将帮你把关。另外一个问题就是所里没这方面的基础,我将想办法给你创造条件,也可和外面进行合作。”为了使晶体所第一个薄膜集成光电子方面的研究进展顺利,他还特意安排了精于 KTP 生长的刘耀岗教授和晶体物理方面的领头人邵宗书教授做施路平的副导师,并亲自写信给上海交通大学和中国科学院长春光学精密机械与物理研究所的专家陈益新、于荣金教授,请他们协助。这时施路平才发现,先生早已为此做了很多准备,花了很多心思。直至今日,已成为清华大学类脑计算中心主任的施路平教授都在感慨:“先生是有大智慧的人”。

蒋先生是凝聚态物理和材料学两个学科的学术带头人,培养出的硕士生、博士生遍布世界各地,许多已经成为国际功能晶体领域的佼佼者和新星。他结合国家科研任务指导研究生进行晶体生长和晶体材料基础研究,既出了成果,也培养了人才。曾任山大副校长的许东教授是高考恢复后的第一批研究生,先生领他进入有机及有机-金属配合物非线性光学的研究领域。这是先生经过深思熟虑确认能出成果、出大成果的领域,先生就是有胆量和魄力把重担交给一个才进入这个领域的硕士生。这是他多年以来的育人理念,即在困境中锻炼人才,也是先生知人善任的体现。先生很善于观察学生的特点,进而有针对性地因材施教。越是他

认为有潜质的学生,他就越注意激发其潜能,反而会减少相应的指导。许东也不负先生期望,他潜心研究,勇于实践,取得一项又一项重要突破,推出了一个又一个成果。在有了一定基础后,先生更加放手,让许东挑大梁。后来的国家发明一等奖,正是对导师善于把握方向、知人善任、敢于培养,学生锐意进取、勇挑重担、大胆创新的最好回报。



图3 蒋先生指导学生

(自左至右:窦硕星、张囡、蒋民华、施路平、张曰理)



图4 蒋先生与水溶液晶体生长组讨论

(自左至右:张囡、许东、蒋民华、刘明果、侯文博、孙所英)

蒋先生教我们做事,更教我们做人。无论在国内,还是出国多年的学生,都会与先生始终保持紧密联系。他不但对我们这些及门弟子关怀备至,对国内许多青年才俊也给予了众多提携和帮助。他生前常与我们说这样一句话:“对年轻人,关键时候你帮他一下,说不定就起来了,同行要相互支持!”许多年轻人正是在蒋先生的关怀下,逐步成长为各自领域的领军人才,他为我国人工晶体及相关学科领域的发展居功至伟。

图报国,重需求+创产业,一次次突破

蒋先生特别重视晶体材料研究的应用导向、需求牵引,走出了一条研究、开发、产品化的路子。建所初期,蒋先生就确定了以应用为导向的研究路子,并始终注意将研究成果进行产业化转化。20世纪80年代,随着国家改革开放不断深入,先生不失时机地将研究成果推向市场。1985年KTP晶体生长技术获得突破后,在国家教委的支持下,他借款100万元,当年就搞起了小规模的生产。蒋先生亲自联系外商,亲自到广交会谈判。采用新方法生长KTP的装置简单,成本低廉质量高,第一批订货就达30多万美元。这不但在国际上开创了采用熔盐法批量生长KTP晶体的先河,还开创了我国高技术产品向西方工业国家出口的先例,被称为“零的突破”!此后,KTP晶体在全国多地开花结果,产生了极大的经济效益。

信息时代,半导体材料是主体。在国家计委和山东省的支持下,蒋先生等承担了国家产业化前期关键技术开发重大项目“半导体发光器件外延工艺与管芯技术”,以此为契机,开展了一项全新模式的研究开发工作,并与华光集团联合建立了山东华光光电子公司。在这个项目中,蒋先生担任总技术负责人,把整个课题组“连锅”端到了公司,实现了高亮度发光二极管材料和器件的产业化。这一成果于2002年通过国家验收。《科学时报》、新华网等媒体进行了报道,称该成果标志着我国半导体发光器件拥有了自己的“中国心”,打破了半导体外延材料与管芯技术被欧美发达国家和地区垄断的局面。作为高亮度发光二极管的研制和产业化的开拓者,山东大学的这项成果为后来中国半导体照明产业的高速发展奠定了基础。现在,公司更名为浪潮华光光电子公司,已成为我国半导体照明和功率半导体激光器的重要研究和产业化基地。



图5 2002年《科学时报》报道截图

21 世纪初,根据半导体材料的发展需要,蒋先生又看准时机,决定切入宽禁带半导体单晶新领域。碳化硅(SiC)是宽禁带半导体的典型代表,是制作高温、高频、高迁移率、大功率半导体器件的关键材料,也是功率型固体照明的理想衬底。以 SiC 为基础的大功率半导体器件的发展瓶颈在于高质量的 SiC 单晶生长及其产业化,美国将其视为战略物资并对我国实施禁运。我国生长 SiC 没有工作基础,起步又晚,难度之大可以想象,要后来居上,就得尝试跨越式发展。为此,蒋先生作出了几方面的重大决策:(1)要从产业化着眼,高起点地进行研发。他抓住“211”工程二期的大好机遇,重点投入,从国外购进两台先进的生长设备,以加快研发速度。(2)要生长和加工并举。SiC 是硬度仅次于金刚石的晶体,极难加工,在生长 SiC 晶体的同时,需要解决 SiC 切磨抛技术。为此,蒋先生在晶体加工方向安排博士研究生陈秀芳开展系统研究。在蒋先生的亲自指导下,她率先突破 SiC 衬底的加工难关,实现从单片发展到成批加工,最终达到了“开盒即用”的高标准要求。(3)在充分熟悉生长工艺和消化吸收的基础上,通过集成创新,研制先进的 SiC 单晶生长设备,并生长出质量不逊于进口设备生长的 SiC 单晶。

至此,在蒋先生的安排和指导下,碳化硅单晶产业化的各个难关均被成功攻破,实现了从单晶生长炉制造、单晶生长、衬底加工和应用的全部国产化,为半绝缘碳化硅晶体实现国产化、打破美国禁运、在国内形成以山大 SiC 技术支撑的产业做出了突出贡献。

蒋先生提出“需求牵引,单晶为本”的思想一直贯穿了他的整个学术生涯,从最早的为了满足海军水下声呐探测的酒石酸钾钠晶体到应用于国家重大工程的 KDP、DKDP 晶体;从非线性光学晶体到自倍频晶体;从体块晶体到薄膜晶体、纳米材料;从关注晶体材料的基本科学问题到光电子器件研制、应用。满足国家重大需求,以产业应用为导向,是蒋先生布局研究方向,组织科研队伍,建设科研平台的最原始动力。



图 6 蒋先生、徐现刚(左 1)与学生组成的碳化硅研发团队

怀念、继承、永在

在学生们看来,思维活跃、身体健康、爬山涉水绝不输年轻人的蒋先生,活到九十岁不是什么难事。大家都以为,这样就可以长期幸福地接受先生睿智的指导,一直一起工作下去的。然而 2008 年 11 月,一向身体不错的蒋先生,在杭州参加学术会议时突发心脏病,医院先后三次下达病危通知,最终,先生靠着顽强的毅力、自身的身体素质、医护人员的治疗和家人、亲友、学生的照料,逃过一“劫”。也是在那时,他意识到自己以往的工作节奏不利于健康,在浙江医院治疗时写下了《病中随感》:

刚过七十三,又涉险坎关。命运玩魔幻,生死顷刻间。

患难见真情,抢救协力行。弟子争值班,关爱难忘怀。

人生须服老,万事半拍慢。劳碌成习惯,转轨也很难。

养生先淡出,心态要和谐。世事浮云散,悠悠见南山。

这次突发的重病,给蒋先生敲响了警钟。他出院后开始调整自己的生活。2009 年起,他一直遵医嘱确保血压平稳。他曾在日记中写道:“一年来,从住院、休养到半天上班,我不能劳累,没有想到自己也由一个‘劳碌命’变成了‘散淡的人’,一开始很不习惯,好在头脑还行,想利用这段时间写点东西。”历时八个多月,先生完全靠自己打字,完成了他的《散忆集》。他信心满满地说,趁现在脑子好用,还要继续写下去。他在《散忆集》的“有惊无险”一文中提到了对自己健康状况的重视,希望放慢自己前行的脚步,希望身体能够一天天好起来,希望自己能够为

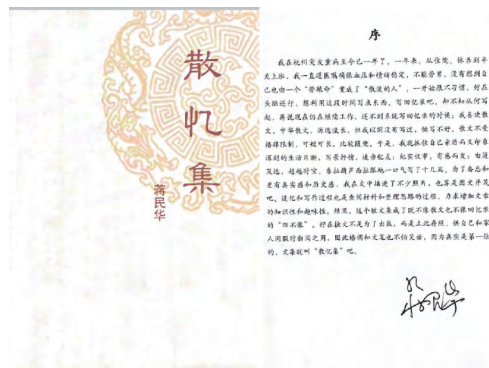


图 7 《散忆集》

晶体所的发展再尽一份力量,希望能和家人一起多享受一点天伦之乐。

天不遂人愿。2010年1月,先生因为头晕、视力下降等原因再次入院检查,结果令人震惊!他患上了恶性脑细胞胶质瘤,需要立刻手术。并且,术后病人一般平均生存期是八个月。这一消息,对学生们来说犹如晴天霹雳,难以接受!

为了挽救蒋先生的生命,学校、单位领导与师生行动起来。学生北上北京,南下广州,遍访名医,寻求治病良方,从北京301医院请来了全国最著名的脑瘤专家主持手术,大家都祈盼奇迹能够再次出现。经过8小时的手术,医生成功摘除了先生颅内的三个肿瘤,术后效果令人满意。蒋先生的大脑似乎没有因为手术受到丝毫影响,记忆力、思维一如既往,大家悬着的心稍稍放下了一些。接下来的放疗,先生依然坚强乐观。他对自己的病心知肚明,但是为了避免大家伤心,从不在我们面前提及自己的病情。对放疗,他戏称为照射治疗,像晶体加工一样,是除去毛刺。他说:“我是用脑子工作的,只要大脑还能用就行了。”他还乐呵呵地对我们说笑话,谈自己年轻时的经历,还要带我们去浙江老家看美景、品美食,大家无不为了他的坚强所感动。

他甚至和我们聊到,我们搞晶体生长的,要想方设法长好晶体,但还可以开展一些拟制晶体生长的研究,例如影响锂电池寿命和安全性的枝晶生长、痛风病中的尿酸结晶等。住院期间,他还多次要我们找吉林大学超硬材料国家重点实验室、浙江大学硅材料国家重点实验室、中山大学光电材料国家重点实验室等单位的朋友商量,看能否联合建设相关领域的国家实验室。2010年5月,手术后3个多月,蒋先生用颤抖的手写下了对山大晶体事业的“发展蓝图——一二三构想”:

奔向一个目标:

山大特色,中国一流,世界水平;

中国特色,世界一流,国际领先。

建设二个平台:晶体材料国家实验室、全固态激光国家工程实验室。

夯实三个学科:材料科学与工程、凝聚态物理、光学工程。

唱好三部曲:看准方向、埋头苦干、有所发现。

四条措施:坚持方向,需求牵引、单晶为本,敬业团结,育晶育人。

面对在重病之中还不忘事业发展的先生,泪水常在我们眼里打转,只能请他放心,我们会按照他的要求,薪火相传,做好晶体材料研究。

2011年4月,先生病情暂时稳定,终于可以出院了,他高兴极了,在医院即兴赋诗一首《出院》,以表达高兴之情。“住院日子何时了,遭罪知多少。两次重病敲警钟,健康不堪回首反思中。事业工作今犹在,只是做法改。抛掉尘虑几多忧,恰似一江春水向东流。”出院短短两周时间里,只要身体状况允许,他都让我们陪他出去走走,想尽早恢复体力,重返工作岗位。然而,病魔无情,短暂的稳定之后,先生的身体开始每况愈下,由于放疗后引起的脑水肿,先生又一次住进了医院。看着他一天天的虚弱,我们竟束手无策,真是心如刀割!经过十六个月与病魔的顽强抗争,先生还是离开了我们……

2011年5月8日13:00时,蒋民华院士遗体告别仪式在济南市粟山殡仪馆举行。这天早晨,突然风雨交加、电闪雷鸣。当时我们就想,莫不是老天也了解我们的心情,为我们失去敬爱的先生而“泪水化作倾盆雨了”?当时很多朋友从全国各地赶来向先生告别,我们紧急准备了几百把雨伞。但令人难以置信的是,告别仪式期间,竟然风停雨住了,而等告别结束大家坐上大巴车离开时,雨又淅淅沥沥下了起来……

2012年5月,先生离开一周年,我们这些学生集资,为敬爱的先生塑了铜像,寄托我们的思念。自那以

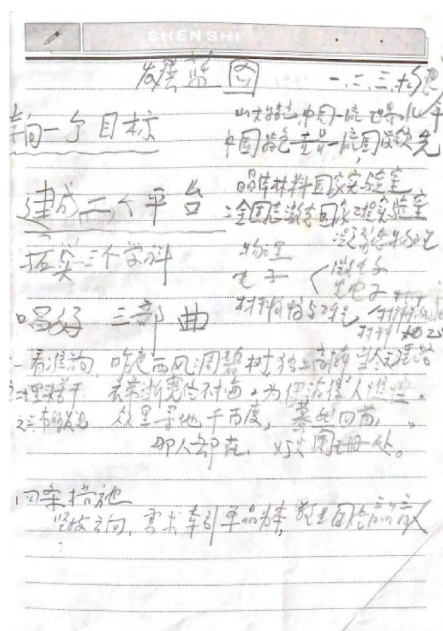


图8 蒋先生病重期间写下的山大晶体发展蓝图

后,每年 5 月,我们都举行“纪念蒋民华院士学术报告会”,邀请国内外相关专家学者作学术报告,以最新的学术成果纪念先生。在学校的支持下,我们坚持举办“蒋民华班”和“未来晶体之星”暑期学习班,培养学术新人和晶体事业的接班人。按照蒋先生的设计,我们制定了“从体块晶体到微纳米晶体,从材料、器件到产业应用”的“多维度、全链条”晶体材料研究的长期规划。在“破五唯”的新形势下,我们坚信,蒋先生制定的“为经济建设服务、为国防建设服务”的“双为”方针,一定会发扬光大。最近,我们建成了“新一代半导体材料集成攻关大平台”“激光与红外系统集成技术教育部重点实验室”等多个科研平台,在宽禁带半导体氧化镓晶体、光催化、微距升华法生长晶体、双光子荧光探针等研究方面获得了重要进展。应广大同行的要求,先生 1980 年编著的《晶体物理》一书已经由何京良等进行修订,即将重新出版。这些,就是我们对先生嘱托的回答。



图 9 参加告别仪式的人群



图 10 2012 年 5 月蒋民华院士铜像揭幕暨学术纪念会

蒋先生,是您为主创建了山东大学晶体材料研究所和晶体材料国家重点实验室;是以您和闵乃本先生、陈创天先生为代表的老一辈晶体材料科学家秉承“美美与共、各美其美”的宽广胸怀,让中国晶体研究有了走向世界的实力,获得了国际同行的赞誉,开创了中国晶体材料研究的辉煌时代;是您创造了我国高技术产品出口“零的突破”;是您带领团队开创了有机-无机复合非线性晶体研究领域,提出了亚稳相生长 DKDP 晶体的方法,获得了山东省首个国家自然科学基金委创新研究群体,基于科研成果建立了多个高技术公司,解决了多项被发达国家“卡脖子”的技术!您是大家公认的晶体材料领路人,您是学生眼中的“良师慈父”!您永远活在我们心中!



图 11 2007 年国家自然科学基金委创新研究群体成员合影

(前排自左至右:黄柏标、陶绪堂、蒋民华、徐现刚、何京良;后排自左至右:刘铎、胡小波、张怀金、郝育鹏、刘宏、崔得良、王圣来)

先生,请您放心!前进道路上的任何艰难险阻,我们都能克服。打造中国特色、世界一流的晶体材料研究基地的目标,一定能实现。您开创的事业,一定能发扬光大!您给我们留下的精神财富,永在!

“紀念蔣民華先生逝世 10 周年” 專題

名誉主编 王继扬

客座主编



陶绪堂（1962—），男，山东大学讲席教授，《人工晶体学报》副主编。国家杰出青年科学基金获得者，长江学者特聘教授，基金委创新群体学术带头人。致力于晶体材料研究，提倡从体块晶体到微纳米晶体，从材料、器件到产业化应用的多维度、全链条研究理念。在国际权威杂志上发表学术论文 400 余篇，2014—2020 连续 7 年入选爱思唯尔“中国高被引学者”榜单。



徐现刚（1965—），男，山东大学教授，《人工晶体学报》编委，国家杰出青年科学基金获得者，长江学者特聘教授。现任山东大学新一代半导体材料研究院主任。主要研究领域包括 SiC 单晶制备及器件、超宽禁带半导体材料及器件、化合物半导体薄膜材料生长及器件。发表论文 400 余篇，授权发明专利 100 余项。曾获山东省科技进步一等奖（2003 年）、国防科学技术进步一等奖（2009 年）、山东省技术发明一等奖（2013 年，第一完成人）。



黄柏标（1962—），男，山东大学教授，山东省“泰山学者”特聘教授。主要从事能源与环境材料及其应用研究工作。在新型高效光催化材料的设计、制备及其性能研究方面取得了系列创新性研究成果。在国际知名学术期刊发表论文 500 余篇，其中 27 篇入选“ESI 高被引论文”，授权发明专利 30 余项。2018—2020 年入选“全球高被引科学家”，2014—2020 连续 7 年入选爱思唯尔“中国高被引学者”榜单。曾获山东省科技进步一等奖 1 项、二等奖 1 项，山东省自然科学二等奖 1 项，教育部自然科学二等奖 1 项。



于浩海（1981—），男，山东大学教授，《人工晶体学报》编委，国家杰出青年科学基金获得者，山东省杰出青年基金获得者，德国“洪堡学者”。现任山东大学晶体材料国家重点实验室常务副主任。主要从事激光与非线性光学晶体、晶体物理、激光技术与器件等方面的研究工作。