编辑 / 赵路、许悦 校对 / 何工劳 Tel:(010)62580618 E-mail:news@stimes.cn

重点实验室巡礼

厚积薄发 “晶”光灿烂

——走进中国科学院光电材料化学与物理重点实验室

■本报见习记者 任芳言

生活在现代社会的人不会对激光感到陌生，但鲜为大众知晓的是，随频率变换，激光衍生的应用遍及各行各业，而这变换的关键之一就是一种光电材料：非线性光学晶体。

在中国科学院光电材料化学与物理重点实验室，光电材料研究财富的累积，已经历了几代人——诞生于上世纪 80 年代的硼酸盐系列非线性光学晶体，打响了“中国牌”晶体的名号；世纪之交诞生的氟代硼铍酸钾晶体（KBBF），突破了激光波长 200 纳米的限制，在这片天地独领风骚……

接过前人衣钵，成立十余载，中科院光电材料化学与物理重点实验室形成了一批又一批中坚力量。他们颠覆、创造，不断超越。

问“晶”：连接基础与应用

自激光问世后，科学家就一直在研究非线性光学晶体。

当激光光束够强、光波电场效应足够大时，光和介质的相互作用会产生非线性效应，而非线性光学晶体则能让激光变频。据此特性研发出的固体激光器，可用于跟踪测距、光刻、同位素分离、高分辨成像等多个领域。

而晶体乃至所有光电材料的性能，恰恰取决于其组成和结构。因此，研究光电材料难免会产生追问：材料背后的物质、结构、成分都在起什么作用？其中最关键的是哪方面？

问底材料，深入微观世界，是材料人为之奋斗的目标。

早在上世纪 60 年代，我国结构化学奠基人之一、中国科学院院士卢嘉锡出任中国科学院福建物质结构研究所（以下简称物构所）首任所长时，就定下了发展结构化学、晶体材料和催化等一系列学科发展方向。

世纪交替，以基础研究为重点的结构化学国家重点实验室和以创新产业化为己任的国家光电子晶体材料工程技术研究中心应运而生。

前有物构所在结构化学领域打下的雄厚基础，后有处于工程产业化前沿的实战经验，2001 年，物构所又成立了材料化学与物理研究室。以此为根基，该研究室于 2008 年被批准成立中科院光电材料化学与物理重点实验室。

“实验室本身的定位很清晰：揭示材料内部化学机理，往下游器件方面拓展，解决国家战略需求。”物构所副所长、实验室学术带头人林文雄告诉《中国科学报》。

实际上，在前沿基础研究与实际应用之间找定位，是一个非常现实的问题——一项研究成果从实验室走出再到产业化，完整链条的形成绝不仅靠一头一尾。

为此，实验室的几大研究重点都有明确指向：研究材料构效关系，为的是设计新型功能材料；探索生长机理，为的是制备超大尺寸和特定功能微晶材料；研发材料分析新装备，为的是开拓更广阔的应用天地。

“实验室是承上启下的桥梁，在工程应用和战略研究中起引导作用。”林文雄表示，材料的发展路径决不能只为求新求奇，“材料一定是从料成材，从材成器”。

结“晶”：十年一剑，薪火相传

多年来，中科院光电材料化学与物理重点实验室成员有个共识：一种材料的研发往往要耐得住寂寞。“做成一件比较像样的事儿，没有潜下心来、没有十年八年，很难做成。”实验室原主任、物构所党委书记黄艺东表示。

“BBO（偏硼酸钡）和 LBO（三硼酸锂）这两种晶体的发现很能说明问题。”实验室主任叶宁举了自己导师、中国科学院院士陈创天的例子。

受卢嘉锡嘱托，1962 年从北京大学物理系毕业的陈创天在物构所开始学习结构化学知识。苦心钻研近十年后，他提出了著名的阴离子基团理论，找到了非线性光学晶体材料宏观效应与微观结构间的关联，并以此为指导，带领团队苦干数年，BBO 和 LBO 晶体终于得以问世。当时国际上普遍认为用固体激光器产生波长小于 200 纳米的激光几乎不可能，但陈创天等人借着此前打下的基础，又研制出 KBBF 晶体，让激光最短波长达到 184.7 纳米，在深紫外激光领域大展身手。

从上世纪 60 年代开启理论研究，到 1993 年 KBBF 晶体问世，陈创天等人打破了中国人在晶体生长领域仿制、跟跑的局面。

“有了晶体这个方向，才有了后面的实验室，才有这么多科学家凝聚在这里工作。”叶宁坦言，“直到今天，实验室的发展仍遵循这样的逻辑，先有目标，做怎样的材料，摸清这样的材料需要什么样的结构，然后通过大量实验合成目标结构。”

以 KBBF 晶体的结构为设计模板，叶宁等人在保持其结构和性能优势的同时，又合成出新的同族深紫外非线性光学晶体 ABBF 和 γ-BBF，有望克服上一代晶体顽固的层状习性，其最短相位匹配波长分别为 173.9 纳米和 146 纳米。

中国科学家在深紫外非线性光学晶体方面取得的成果，又一次笑傲全球。

“原理上可行、没有人做、经过努力有望突破，这是材料学角度的‘从 0 到 1’。”在黄艺东看来，身为中科院重点实验室，更应立足学科发展角度，带着自己的判断力开拓进取。

激光本身具有单色性好、方向性强的特性，在精密测距中已有应用。但激光功率稍微一高就可能损伤人眼，有没有晶体材料能让激光可用且对人眼安全？带着这一朴素的目标，黄艺东带领课题组开始攻关。

他们反复筛选基质晶体、调节离子浓度，最终研发出 1.55 微米波段、对人眼安全的激光晶体。在自动驾驶技术日益发展的当下，这块潜心研发了十余年的晶体迎来了春天。

耀“晶”：灵活调整，极致变换

材料学家有句调侃的话：晶体生长的第一定律是没有定律。玩笑之余也说明寻找晶体外在效应与内部构造间的关联有多难。

不过，这句话可用另一个风趣的说法破解：一个“屁股”和两个“拳头”。前者即结构化学，后者即晶体材料和催化。卢嘉锡曾不止一次提到这个说法：“只有‘屁股’坐稳了，‘拳头’才能打出去。”

先有方向再下手，这一正向循环让人们对晶体结构、设计和生长有了愈发深刻的理解，陈创天、叶宁等人的一系列成果便是最佳案例。

不过，中科院光电材料化学与物理重点实验室的研究目标并不拘泥于找到新晶体。“倒推的例子也有。”叶宁表示，“让现有的晶体发挥出更优异的性能，也需要牢记‘拳头’与‘屁股’的关联，对于晶体在应用过程中出现问题，我们就把它翻过来凝练，找出内在的科学原理，再通过试验解决。”

以 BBO 晶体为例，其在数十年的应用中展示出优良性能，但在某些场景中，晶体会发生潮解现象。潮解的本质原因是物质从空气中吸收或吸附水分，即物质与水发生化学反应，这与晶体结构相关。

2012 年，实验室学术带头人、中国科学院院士洪茂椿带领实验室成员，在晶体内部进行原子替换和掺杂，制备出几乎不潮解、倍频效应和光损伤阈值都大有提高的改性偏硼酸钡单晶体 BB-SAG。

两年后，通过与中科院物理研究所合作，洪茂椿等人用这种新型晶体在 195~205 纳米的深紫外波长内获得了线宽更小、单频稳定性更佳的激光输出。

让老牌晶体发挥更强的作用，意味着晶体在各方面的性能指标都要再上台阶。

现如今，对一种晶体的性能作评价更注重综合表现。

已有半个多世纪历史的磷酸二氢钾（KDP）晶体在大口径、高功率激光装置中有着不可替代的作用。国家战略需求一步步扩大，对 KDP 的要求也随之提高——不仅要兼顾晶体的大尺寸和质量，其生长速度也要再快一步。

加入实验室已有 17 年的物构所研究员郑国宗，自进组起，就开始在 KDP 晶体生长上下功夫。“从一两厘米做起，一直到 43 厘米那么大，这需要一代代科研人员把它做下去。我们的目标不仅是越大越好，还要提高成功率，然后是晶体的性能指标。”郑国宗说。

从晶体培养槽，再到配套控温及转动装备，郑国宗等人给出了一套完整的设计方案，解决了大过冷度下 KDP 晶体生长溶液的稳定性难题。最终，晶体生长速度从每天 1~2 毫米提高到 10~15 毫米，晶块口径最大可达 54 厘米以上。这套方案问世后，很快被同行视为标杆，圈内制备 KDP 晶体的通用方法就此改写。

育“晶”：为后人铺路

在中科院光电材料化学与物理重点实验室骨干、物构所副研究员郭旺看来，好的平台才能提供好的科研条件。他所在的课题组专攻激光透明陶瓷，是中科院为数不多的研究这块“硬骨头”的团队。

“透明陶瓷是陶瓷领域的皇冠，激光陶瓷是皇冠上的明珠。一个材料没有十年磨一剑，肯定是不够的。”已有 13 年工作经验的郭旺，深知稳定支持的可贵。

得益于中科院及重点实验室平台的支撑，郭旺和同事于 2013 年开始研发透明陶瓷在另外一个领域的应用——大功率 LED 封装荧光陶瓷材料。他们在材料中掺入几种稀土作为发光离子，经过高温高真空烧结出高量子效率、高热导率荧光陶瓷材料，解决了大功率 LED 散热导热难题，最终实现了千瓦级荧光陶瓷的 LED 光源封装。

“我们希望能把陶瓷的功能再扩展一些。”郭旺表示，封装技术在整个 LED 产业中处于中游，近年来他们还在荧光陶瓷的工艺配方、产业转化上下功夫，突破了许多从实验室到产业的转化难题。

谈及实验室的价值观，黄艺东表示，“实验室最主要的特色，就是对材料的‘穷追不舍’。我们搞材料，不只是制备，还要问结构背后的原因是什么。一个新的材料结构做出来后，我们还要再研究，目前具备类似结构的材料有哪些、有可能实现哪些功能。我们凡事都要把宏观微观紧密联系在一起。”

实验室除了平台、基金项目等提供的固定支持，还会向研究所争取一部分相对灵活的经费。2014 年前后，物构所开始布局前瞻跨越项目，每个独立方向可获 300 万元支持，而且，考评方式不唯论文、不唯影响因子。

好钢用在刀刃上。林文雄、黄艺东和叶宁等人达成一致：这样的机会，是用来给年轻人铺路的。

物构所副研究员、实验室成员陈晨龙是前瞻跨越项目的获得者之一。

在别人看来，陈晨龙不善交流，也没什么科研管理经验。采访时，他本人也承认，自己“既不会讲话，也不会找关系”。但就是这样一个左右不逢源的人，找到了氮化镓这种重要半导体材料的“独门生长秘籍”。

除了是 LED 的关键元材料，氮化镓还可用于高功率射频器件、激光雷达。但这种晶体制备往往要以蓝宝石、碳化硅为衬底，制作出的成品还会受晶体生长极性方向的限制。经过多年研究积累，陈晨龙找到了一种与氮化镓结构匹配度较高的镓酸锂晶体，可通过特殊的化学反应转化为多孔氮化镓，将之作为衬底，有望制备出尺寸更大的非极性氮化镓晶体——目前一块 0.5 平方厘米的非极性氮化镓晶体，市场价格可达上千元。

为此，物构所组织了多次专家讨论会，还专门成立攻关协调组，解决从设备购买到考评机制等大事小事。“我们的机制是什么？扶着他走。”林文雄坦言，“不承担风险就不可能有新的增长点，我们应该有基本判断和担当。”

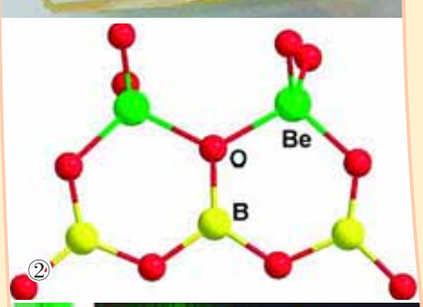
作为所领导，黄艺东深知其中风险。“既然是重点实验室，做原创性研究责无旁贷。”

对中科院光电材料化学与物理重点实验室而言，知难而上是历史使命。

“我们要给后代留一些遗产、一些有战斗力的方向。”林文雄表示。

（本报记者甘晓对本文亦有贡献）

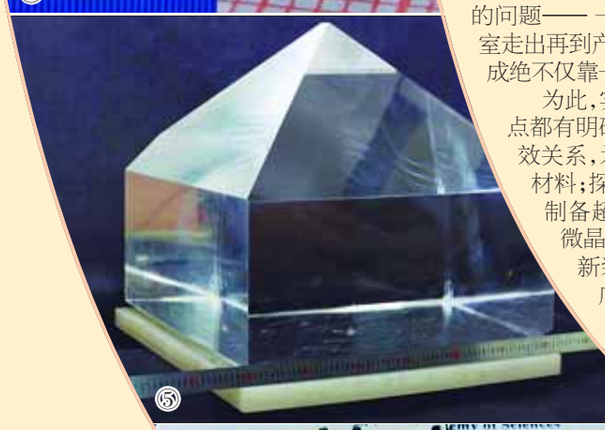
①超大口径 LBO 晶体，口径可达 10 厘米以上。



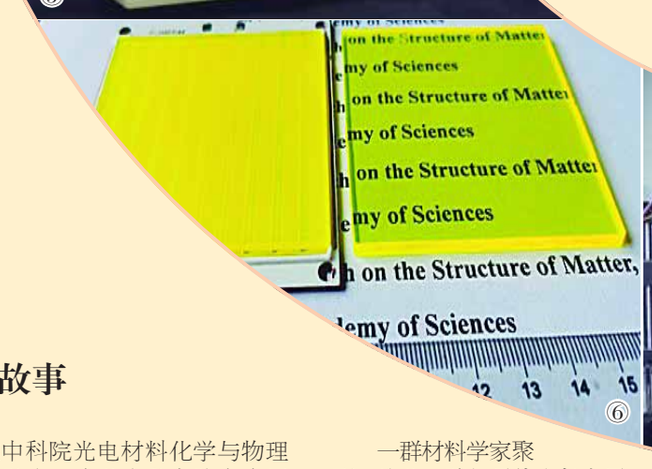
②类萘构型双环 B-Be-O 新型大共轭阴离子基团

③激光自准直折射率测量系统

④紫外低吸收四硼酸铝钇（YAB）晶体毛坯与器件



⑤实验室在国内首先提出 KDP 晶体的快速生长技术，图为通过该技术制备出的大尺寸 KDP 晶体。



⑥荧光透明陶瓷及荧光陶瓷封装的大功率 COB 光源。

⑦实验人员讲解设备操作规程。

⑧科研人员讨论分析实验数据。

⑨实验室成员调试光路系统。

实验室小故事

生机与活力

在中科院光电材料化学与物理重点实验室，实验室秘书陈白泉用“活力”一词形容这支潜心晶体材料研究的团队。

除 60 名固定人员外，实验室还有百余名流动人员和在读研究生。大家以课题组为单位开展研究，组与组之间平日里也不乏交流碰撞。

郑国宗所在的课题组专攻 KDP 晶体，但他们与实验室内研究 LBO、BBO 晶体的同事都有合作。探讨的内容多了，几个研究室的小分队就直接在会议室碰头。“课题组的会议室比较宽敞，有问题的话，我们会直接把实验室里的龙西法、吴少凡等老师请过来，请他们当一下评审专家，模拟一下评审答辩。”郑国宗说。

一群材料学家聚到一块儿，聊起晶体生长布局、炉体结构，话头一开就停不下来。

晶体生长是一个漫长的过程。物构所园区的大楼里时常灯火通明。当大家没日没夜沉浸在工作中时，叶宁也会劝说大家：不要那么拼，要注意劳逸结合。

但作为中科院光电材料化学与物理重点实验室主任，叶宁在为科研人员争取机会时，从来不遗余力。陈晨龙关于氮化镓晶体生长的研究，就是叶宁主动在物构所的战略研讨会上提出的。

在符合实验室运行规定的前提下，陈晨龙在拿到前瞻跨越项目前，还获得了来自中科院重点实验室的经费支持。“只要给我工作的条件，我就去做。”陈晨龙自诩“佛系”“没什么高追求”，但他常常要花时间与设备厂商抠细节、做沟通。晶体生长和转化设备价格昂贵，他想把每笔研究经费都用到实处。

“我喜欢研究多孔氮化镓晶体，因为有意义，能真正给国家相关领域发展带来贡献。”陈晨龙表示。

为了培养像陈晨龙这样充满活力的青年人才，实验室鼓励年轻人争取各种培优项目。物构所科技处处长郑发鲲介绍，针对青年科研人员，实验室特别设有“春苗计划”，每年遴选 4~5 名人才给予资金支持。而衡量标准也是以成果的原创性、影响力为重点。

“最重要的是符合实验室的学科定位。”叶宁说。

这一思路在实验室整体考评机制上也有体现，即对基础研究和应用研究进行区分。如果偏向应用研究，科研人员可以不拘泥于论文发表量，将项目方的用户评价报告作为评定职称的依据。

“对人才的要求不能太高，又要他找课题，又要他做应用。不能苛求一个人完美无缺。”林文雄说，“重点实验室这个体制机制，能包容很多人。”

（任芳言）

中国科学院光电材料化学与物理重点实验室简介

中国科学院光电材料化学与物理实验室，依托单位为中国科学院福建物质结构研究所，前身为 2001 年成立的材料化学与物理研究室，后于 2008 年获批，升格为中科院重点实验室。

实验室以光电材料为研究重点，以材料微观、介观结构为基础，着重解决材料发展过程中新出现的结构与制备、性能间的关系问题，再进行性能表征和元器件研制，形成涵盖技术链“上中下游”的系统研究范式，成为国际光电子领域为数不多、具备完整技术链的特色队伍。

实验室成立以来，连续 3 次在中科院组织的 5 年一度的材料领域重点实验室评估中排名第一。未来，实验室将充分发挥学科交叉特色，加强有亮色的前沿基础研究。