

## 科技自立自强之路

2009年2月,国际期刊《自然》发表题为《中国晶体——藏匿的珍宝》的采访调研文章,认为中国禁运氟代硼酸钾晶体(KBBF),将对美国功能晶体相关领域的研究和生产产生严重影响,并断言“其他国家在晶体生长方面的研究,还无法缩小与中国的差距”。

该文的缘起是中国2007年正式宣布停止对外提供KBBF,美国人不惜重金请求购买或邀请相关中国专家去

美国工作,都被严词拒绝。中国科学家用国际领先的自主创新成果在高科技领域对美国说“不”。

从20世纪60年代开启理论研究,到80年代研制出低温相偏硼酸钡晶体(BBO)、三硼酸锂晶体(LBO),再到90年代研制出KBBF,中国科学院福建物质结构研究所(以下简称福建物构所)等单位的科学家,打破了中国在晶体生长领域仿制、跟跑的局面,让“中国牌”晶体闪耀世界。

几十年过去了,“中国牌”晶体这个“老字号”更显创新活力。很难想象,当年研发“中国牌”晶体的科学家们经历了怎样的奋斗历程。



BBO晶体。

## 3 在高科技领域对外国说“不”

正当外国学者为横空出世的“中国牌”晶体感到震惊时,陈创天、吴以成等中国科学家又在1987年宣布一项新的重磅成果——他们发现并生长出第二块“中国牌”晶体LBO。

与BBO相比,LBO紫外截止波长移到150纳米,是迄今为止实现高功率三倍频输出最好的非线性光学晶体。BBO、LBO分别被美国《激光电子学》杂志评为1987年、1989年“十大尖端产品”。

“BBO和LBO的背后,光研究组就有多个,包括理论组、化学合成组、结构分析组、相图研究组、晶体生长组等。大家互相协作、劲往一块儿使,才有这样的结果。”吴以成说。

山东大学教授王继扬介绍,当时国内晶体研究界有“三驾马车”,分别是福建物构所、山东大学和南京大学,它们在晶体生长、消除晶体畴等方面各有所长,非常团结又能创新,把晶体研究这个国际上本不受重视的领域变成各国争相研究的焦点,敢走新路、勇于自主探索。”

1988年,福建物构所成立成果转化公司——福建福晶科技股份有限公司(以下简称福晶科技),开启了BBO、LBO商业化之路。

“商业化后,外国就眼红了。BBO面世时,中国的专利法还没出台,但LBO研发出来时已有专利法,团队有意识地申请专利将它保护起来。”吴以成说,美国最先坐不

住,他们以专利无效为借口和中国打官司,希望能取消中国的LBO晶体专利权。

“美国最终没有凭借蹩脚的理由得逞。”吴以成回忆,当时国际上关于LBO的研究成果都是中国科学家发表的,团队把整个研究的详细实验记录等收集起来应诉,最终打赢了官司。

这个案例再次印证了团队协作的重要性。“那时候,团队里以林朝熙为代表的知识产权方面的专家就懂得申请专利,他们不是为了报奖,而是要把自主创新成果保护起来。”林文雄说,更关键的是,他们申请的不是晶体生长专利,而是器件专利,很好地避免了国外钻空子侵权。

LBO面世前,美国等国家都在基于LBO等晶体开展多倍频研究,中国科学家也在寻求新突破。

“我国虽已取得领先成果,但当时科研条件仍很落后。”吴以成举例,LBO晶体生长是在坩埚中进行的,耐温1000摄氏度以上的铂金是做坩埚的理想材料。当时铂金比黄金还贵,一小块就上千美元。“我们每次用完坩埚都要称重,如有损耗须说明。然而落后的科研条件没能阻止我们做出领先世界的重大成果。”

外国对中国科学家的态度,也随着“中国牌”晶体的相继面世,从傲慢转向尊重。

吴以成回忆,陈创天讲过这样一件事。BBO面世前,有位中国学者在美国一家实验室工作,有人不

小心打碎了一块杜邦公司生产的非线性光学晶体,中国学者想把碎片带回国研究,但被实验室负责人以保密为由拒绝。没想到数年后,中国就制备出领先世界的BBO。

20世纪90年代,陈创天在日本访问期间,日方曾为他升起中国国旗表示尊敬和欢迎。

研发出BBO、LBO后,陈创天团队意识到,由于微观结构条件限制,二者无法通过简单倍频技术产生深紫外光谱区的谐波光输出。经过反复计算和思考,陈创天等又踏上一条长达10多年的新型非线性光学晶体探索之路,研制出全球独一无二KBBF。

KBBF是目前唯一可直接倍频产生深紫外激光的非线性光学晶体。当时国际激光界普遍认为,用固体激光器产生波长小于200纳米的激光几乎不可能,KBBF则使激光最短波长达到184.7纳米,在深紫外激光领域大展身手。

KBBF独特的薄片层状生长习性,使其难以获得实际应用。为此,陈创天联合中国科学院院士蒋民华团队、中国工程院院士许祖彦团队等开展联合攻关,攻克晶体生长难关,实现多种波长的深紫外激光有效输出,保障了中国在深紫外固体激光方面的国际领先地位。

2007年,KBBF被禁止对外出口。中国科学家用国际领先的自主创新成果,在高科技领域对外国说“不”。

## 逆境中长出的「中国牌」晶体

■本报记者 王昊昊

## 1 不跟在外国人后面走

材料是人类社会进步的里程碑。作为一类重要材料,晶体指能自发生成规则几何多面体形态的物体。随着科技进步和经济发展,人工功能晶体已成为激光设备等不可或缺的基础材料。

激光技术是20世纪“四大科技发明”之一。作为激光设备的上游关键部件,非线性光学晶体可以将某一频率的激光转换成另一频率的激光。

20世纪60年代初,国外已发现一些非线性光学晶体材料,而中国尚未研发出自己的晶体。整体看,国际上非线性光学晶体研发都相对滞后,导致激光器进一步应用乏力。

功能晶体乃至所有功能材料的性能,都取决于其组成和结构,而这需要专业人才深入研究。在那个年代,我国缺乏这方面的人才,谁来研发“中国的晶体”?

1945年,我国结构化学领域开拓者卢嘉锡留学归国,组织队伍开启晶体材料研究,并在国内首次招收以结构化学专业为主的研究生。卢嘉锡1955年当选中国科学院化学学部委员,1981年至1987年任中国科学院院长。

在美国留学期间,卢嘉锡在美国国家科学院院士鲍林的指导下,利用X射线和电子衍射法技术分析研究晶体结构和分子结构;他所设计的卢氏图表载于《国际X射线晶体学学报(第二卷)》,被国际化学界应用了几十年。

国外晶体研究已开展数十年,我国如何赶超?基于对国际国内晶体研究分析,卢嘉锡认为探索新晶体材料,不应受国外学术思想束缚,跟在外国人的后面走,而应在分析、总结国外已有工作基础上走自主创新之路。

“打造科研平台很关键。”福建物构所所长曹荣介绍,1959年,中国科学院福建分院设立并筹建技术物理所、化学所等6个研究所和生物物理研究室。卢嘉锡一直构想建立现代化物质结构研究室,福建分院的设立让他看到了希望。

1960年,卢嘉锡经过深思熟虑,向中国科学院和福建省委提出将福建分院筹建的“六所一室”整合,最终形成福建物构所,卢嘉锡为首任所长。自此,卢嘉锡带领福建物构所的研究团队开始研制非线性光学晶体。

## 2 让人匪夷所思的重大发现

当时,我国缺乏技术,没有经验和专业人才,只能从仿制起步。由于没有理论指导,工作很快就遇到瓶颈。

那时科研条件极为简陋。建所之初,主体建筑是一幢四方形平房,人员主要是复退军人和大中专毕业生,办公和仪器设备是从其他学校搬来的,吃饭就在临时搭建的竹棚里。

即便如此,卢嘉锡还是凭借研究积累,部署了结构化学、非线性光学晶体等研究方向,电子结构之间的关系。

构想有了,关键是靠团队联合开展攻关。为此,卢嘉锡想方设法从高校调来理论物理等专业的毕业生,陈创天(2003年当选中国科学院院士)就是其中之一。

那是1962年,陈创天25岁,刚从北京大学物理系毕业。到福建物构所没几天,卢嘉锡就找到他,语重心长地说:“研究所搞的是结构化学,你的研究重点要从理论物理向结构化学转移。”

卢嘉锡给陈创天介绍了基本知识并列出参考书单,嘱咐他“可边工作边学习,不懂可来问我,相互切磋”。此后3年,陈创天系统学习了结构化学知识,最终选择非线性光学材料结构和性能之间关系为研究方向。

1976年,苦心钻研10年后,陈创天提出阴离子基团理论,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。次年,他被任命为非线性光学材料探索组组长。

据介绍,当时研究所几乎一穷二白,一群怀揣梦想的年轻人自己动手创造科研条件,如自行组装激光器、测试设备等。1979年,研究组发现BBO是一种非常有希望的新型材料。3年后,他们终于生长出大块BBO。

中国科学家以翔实的数据和不懈的实验证明了BBO是非中心对称的晶体,在200纳米至350纳米波长范围内,其透过率可达80%以上。

1986年,陈创天在美国参加一个国际激光与光电子会议,向全世界宣布成功研制出BBO,引起轰动。业界赞誉这是中国人按照自己的科学思想创造出的首块“中国牌”晶体。

吴以成(2005年当选中国科学院院士)正是那一年在福建物构所获得博士学位。他回忆:“陈老师告诉我们,他发言结束后,参会的200多位科学家竟有一多半跟他出去向他进一步了解情况,导致会都没法开了。”

福建物构所副所长、国家光子晶体材料工程技术研究中心主任林文雄1988年被保送到福建物构所读研究生。“教材都把BBO写进去了。”林文雄说,BBO的面世让全世界的科学家感到匪夷所思,他们感受到严峻挑战,认为这样的重大发现不该在中国诞生,而应在美国、日本或欧洲国家。

曹荣感慨,福建物构所取得这样的成就,离不开国家的一贯支持,也得益于中国科学院面向世界科技前沿、面向国家重大需求进行的前瞻布局和建制化研究。



晶体提拉生长车间。

## 4 “老字号”焕发新活力

2000年,洪茂椿(2003年当选中国科学院院士)任福建物构所常务副所长,主持研究所工作。当时,中国科学院基于对知识创新与技术创新的把握,批准福建物构所关于福晶科技改制的申请,做大做强“中国牌”晶体产业。洪茂椿面临的第一个难题,就是让“好酒”走出“深巷”。

“首先要聚人才。”洪茂椿表示,当时福建物构所建所成立已有40多年,老一辈科学家年纪大了,科学家梯队出现了断层。“当时所里引进了一批人才,积极申请系列科研项目,包括多个上亿元的大项目。”

洪茂椿强调,当时申请项目并非盲目扩充研究方向,而是更聚焦科技创新价值链,把知识创新、技术创新与产业创新链接起来,以国家重大需求推动福建物构所的科学研究所。

2008年,福晶科技正式上市。几年里,洪茂椿经常白天忙完,晚上回所里搞科研,企业管理经验是现学现用。好在经过几年努力,人才梯队建起来了,晶体产业发展脉络理顺了。

这个团队人才济济。中国科学院光电材料化学与物理重点实验室主任吴少凡带领团队致力于激光与非线性光学晶体、闪烁晶体新型功能材料研究,成果已在国家重大工程中应用。“90后”研究员罗敏已成长为课题组组长,聚焦非线性光学晶体材料的设计、合成和生长,以学术骨干身份参与国家重大项目和中国科学院战略性先导科技专项等。

走进福晶科技的晶体熔盐车间,工作人员正在一排排晶体生长监控器前观察晶体生长炉的温度。“以前晶体生长都需要工作人员在坩埚旁守着,温度很高,夏天更受不了,现在定时观察显示器即可。”福晶科技董事长陈辉说。

如今的福晶科技已成为全球知名的LBO、BBO、磁光晶体等龙头企业,产品广泛应用于激光、半导体等领域,2023年实现营业收入7.82亿元。

“需求端推动供应,目前公司生产的我国原创晶体占全球此类晶体生产总量的近五成,出口超过四成。”

陈辉说,“国内晶体需求占全球总需求的比例,从20世纪90年代初的不足5%到如今超过五成,说明我们积极应对了产业链转移及国内需求增长等市场变化。”

今天,我国的晶体研究是否依然领先?曹荣表示,我国原创晶体在研制和应用上不断取得新成果,始终领先国际。近年来,福建物构所又取得一系列引领国际的研究成果,使我国成为激光晶体强国。

“当前,我们正积极将人工智能技术应用到晶体设计和生长等环节。”曹荣表示,福建物构所将进一步面向世界科技前沿及国家重大需求,抢占科技制高点,助推我国科技创新事业迈上新台阶。

“纵观我国晶体研究发展史,我感受最深的就是科研没有捷径,是靠一代又一代科学家一步步走出来的。”洪茂椿表示,跟在别人后面永远不是创新。正是有了国家和中国科学院对晶体研究的持续大力支持,有了几代科学家的团结互助、勠力创新,我国晶体研究才长盛不衰。



LBO晶体。



创办初期的福建物构所。



福建物构所建所初期的结构化学研究队伍。



科研人员用提拉法培养晶体。

福建物构所供图  
蒋志海制版