



“中国牌”晶体的探索历程 ——陈创天院士访谈录

陈崇斌 访问整理

(中国科学技术大学 科技史与科技考古系, 合肥 230026)

摘要 BBO、LBO、KBBF 是中国科学家发明的优质非线性光学晶体, 被国际学术界誉为“中国牌”晶体。作为这项研究的主要领导者, 陈创天院士回顾了指导这项研究的基本理论——阴离子基团理论的提出以及 BBO 等优质非线性光学晶体的发现过程。

关键词 中国 非线性光学晶体 历史

中图分类号 N092: O4-092

文献标识码 E **文章编号** 1673-1441(2011)01-0083-12

目前国际上能够实用化的优质非线性光学晶体共有 4 种, 分别是 BBO、LBO、KBBF、KTP。其中 KTP 晶体是美国杜邦公司发明的, 其余 3 种均是在中国科学院陈创天(1937—)院士的阴离子基团理论指导下, 并由他的研究组和合作者一起发现和发展出来的。这三种晶体中, BBO、LBO 在 20 世纪 90 年代被国际学术界誉为“中国牌”晶体, KBBF 是中国首个对西方发达国家实行技术禁运的产品。因此, 非线性光学晶体研究被国际学术界认为是中国当代最有国际影响力的科学研究之一。笔者对陈创天先生的访谈真实再现了“中国牌”晶体的探索历程。

访谈时间: 2010 年元月 23 日上午 9:00—10:20

访谈地点: 中国科学院理化技术研究所陈创天院士办公室

1 阴离子基团理论的提出

陈崇斌(以下用“问”): 非线性光学材料是中国激光发展历史中少有的亮点之一。您是中国非线性光学材料方面的专家, 发明了 BBO、LBO、KBBF 等多种优质非线性光学晶体, 为此国际上最著名的 *Nature* 杂志在 2009 年 2 月刊载了一篇文章^[1], 专门介绍了您关于 KBBF 方面的研究工作, 这在中国科学技术的发展历史中是少有的。近年来国内也有一些杂志刊载了介绍您的文章^[2-4], 但这些文章还没有把您开展非线性光学晶体研究的

收稿日期: 2010-09-26; 修回日期: 2011-01-22

作者简介: 陈崇斌, 1969 年生, 安徽萧县人, 中国科学技术大学科技史与科技考古系博士后, 主要研究物理学史, ccb@mail.ustc.edu.cn。



科学思维过程讲清楚,所以今天想请您重点从科学思想发展的角度谈谈您从事非线性光学晶体研究的历程。

我已经了解到 BBO、LBO、KBBF 这些优质非线性晶体是在您提出的阴离子基团理论指导下研究出来的,所以先请您谈谈您的这个理论是怎样产生的?

陈创天(以下用“答”):好的。讲中国非线性光学材料的历史,应该讲它的一个指导思想,那就是要走自己的路。这个工作是这样开始的。

我 1962 年从北京大学物理系毕业后,被分配到一个搞化学研究的研究所,就是中国科学院福建物质结构研究所,当时叫华东物质结构研究所。当时,我们的老所长卢嘉锡^①先生认为我是学理论物理的,到了一个化学所,必须要了解化学方面的情况。所以,我从 62 年 11 月到研究所,一直到 65 年这段时间,主要在学习理论化学方面的知识。

65 年,我开始选题。当时福建物质结构研究所主要是搞微观结构和宏观性质之间关系方面的研究。从晶体材料的角度,在物质结构所主要有个方向,一个是激光材料,一个是非线性光学材料。到底从这两种材料中选哪个作为研究方向呢?我经过慎重考虑,决定选择非线性光学材料这个方向。当时,我判定激光材料的性质跟杂质的激发态的性质有关,这个从理论方面很难估计,一定要做大量的实验,而当时福建物质结构所刚刚建立,条件比较差,没有实验条件,是不可能做这个事情。反过来看,非线性光学晶体的非线性光学效应主要是由晶体的基本结构所决定的,这个从理论角度,特别是用量子化学的方法来做微观结构与宏观性质的关系,是可以做的,做起来相对比较容易,也不需要太多的实验设备。根据这个情况,结合自己的特点,我就选定了非线性光学材料结构和性能之间的关系作为我的研究方向,这个也得到了卢嘉锡先生的支持。

1966 年,“文化大革命”运动开始了,这个对我们国家是一个灾难性的事情,但对我来讲,却是一个非常有利的机遇,因为当时大家都在搞“文化大革命”运动,我不愿意参加,就在家专心做理论计算。那时我周围的环境很安静,所以能专心去做非线性光学效应的微观结构与宏观性质相互关系的研究。这样大概做了两年,到 68 年就基本形成了现在国际上比较有名的非线性光学效应的阴离子基团理论。这个理论的基本意思是说,非线性光学效应是一种局域化的效应,是组成晶体的基本单元——阴离子基团的微观系数的几何迭加,阴离子基团的微观倍频系数可以通过阴离子基团的局域化、量子化学轨道理论,通过二级微扰理论算出来。当时我花了一年多的时间完成理论推导工作,又花了一年的时间来计算。那时,计算非常困难,没有现在的计算机,只有一个手摇的计算机,当时计算花了我整整一年的时间,现在我的学生做,大概只需要一、两分钟就可以算完了。第一个算出的是钛酸钡晶体的非线性系数,后来又算了其它一些晶体的非线性光学系数。到了 69 年,晶体非线性光学效应的阴离子基团理论就已经基本形成了。

这时,“文化大革命”运动进入“肃反”阶段,大家的研究工作基本都停了,所以我的理

^① 卢嘉锡(1915—2001年),福建厦门人(原籍台湾台南),物理化学家、化学教育家和科技组织领导者,中国科学院院士。1934年毕业于厦门大学,1937年至1939年在英国伦敦大学化学系学习,获哲学博士学位。曾任厦门大学理学院院长、研究部部长,福州大学副校长,中国科学院福建物质结构研究所研究员、所长,1981—1988年间任中国科学院院长。

论工作也没有办法进行下去,要参加“肃反”运动。到了69年底,“肃反”运动结束,工宣队认为,做理论计算是修正主义的,叫我要么上山下乡,要么参加实验工作。我选择了实验工作,选择的也是非线性光学晶体生长。这样,我一边做实验,一边做理论计算。到1972年,我基本写成了三篇文章,一篇是关于钛酸钡的,一篇关于铌酸锂的,一篇关于碘酸锂的。当时国内的杂志都被封起来了,论文也没有杂志可发表,也不知道计算对不对。那个时候我们的作风还是很严格的,我们的所长卢嘉锡先生认为他不是搞量子化学的,他没有能力判断这个理论正确与否,卢先生就把它推荐给唐敖庆^①先生。唐先生是当时最著名的量子化学专家,全国算是一把手的。于是,文章就让唐先生去审,唐先生大概花了三个月的时间来审这三篇文章,认为计算方法可行,计算结果也可信,于是唐先生签字正式认可了这个事情。这样,论文虽然没有办法发表,卢先生,还有我,都相信这个计算是正确的,比较好地解释了氧化物晶体的基本结构,特别是钛酸钡、铌酸锂等晶体的基团结构与宏观非线性光学效应的关系。

1973年,我又做了一些实验工作。1974年,当林彪事件发生后,整个“文化大革命”的氛围变得比较宽松了,我们召开了第三次全国晶体学术会议,我觉得那次会议起了非常大的作用。那次会议是我们的卢嘉锡先生亲自主持的,会上我们首次介绍了阴离子基团理论。我觉得那次会议最重要的是会上提出了一个目标。这以前非线性光学材料都是跟着国外走的,当时国际上主要有两个中心,一个是贝尔实验室,一个是杜邦的研究发展中心。假如我们今后的材料研究继续跟着他们走的话,那一定没有出路,走不出我们自己的路,按现在的话讲,走不出中国特色,当时说要“自力更生”。那时,我们提出,一定要在非线性光学领域走我们自己的路,找我们自己的新材料。当时,卢先生是这样说的:“我不下地狱,谁下地狱!为了探索非线性光学材料,福建物质结构所先下!即使下地狱,也要干!”。但是探索新材料光有这样的决心还不行,还要有实际的科学依据啊,科学依据就是我们这个理论,我们这个理论基本上可以解释晶体的微观结构跟宏观效应的关系。所以,从1974年开始,我们就正式决定要用自己的理论模型探索新材料。但是,接着(75年)就是“批林、批孔、批周公”,又没办法搞了。

1976年,《物理学报》复刊。当时《物理学报》的主编是李荫远^②先生,李荫远先生亲自审查了我的三篇论文,他也看了唐敖庆先生给的结论。论文审查顺利通过,于是1976年《物理学报》连续发表了我的那三篇文章^[5-7]。虽然阴离子基团理论是1976年才正式发表的,但我们介入到非线性光学晶体的研究是很早的,我们68年就开始用量子化学的方法来从事非线性光学材料的理论计算,在国际上是第一个。因为76年连续发表了几篇论文,我也有幸参加了78年的全国科学大会。

问:您在《物理学报》发表的三篇论文并没有硼酸盐系统方面的研究,硼酸盐系统的

① 唐敖庆(1915—2008年),江苏宜兴人,理论化学家、教育家和科技组织领导者,中国科学院院士。1936年,唐敖庆考入北京大学,1940年毕业于西南联大;1946—1949年美国哥伦比亚大学留学,获博士学位。曾任吉林大学校长、国家自然科学基金委员会主任、国家自然科学基金奖励委员会主任。中国理论化学研究的开拓者。

② 李荫远(1919年—),四川成都人,物理学家,中国科学院物理研究所研究员,中国科学院院士。1943年毕业于西南联合大学。1951年获美国伊利诺伊州立大学物理学博士学位。中国固体物理理论研究的开拓者之一。

研究是怎样开始的?

答:这个是经过了一段时间的摸索才决定搞硼酸盐系统的。1977年,我们正式进行非线性光学材料的探索工作,卢先生任命我为非线性光学材料探索组的组长。77年探索组开始组建,78年开始结构选型。开始选化合物时,我们先选的氧八面体。经过一段时间的摸索,我们觉得,贝尔实验室已经把氧八面体的都搞过了,像铌酸锂、钛酸锂等,不可能漏下,而且我们实验室的条件又比不上贝尔实验室;杜邦的研究发展中心研制出了KTP晶体,性能也很好,所以,我们感觉在氧八面体方面已经比不过人家了。另外,磷酸盐系统是四配位的,按照基团理论分析,四配位基团的非线性光学效应比较低。我们按照基团理论进行一个一个地分析后觉得,在可见光区域有铌酸锂、钛酸锂、KTP等这些材料,要想压过他们很难;而紫外光谱区,当时就一个材料——尿素,而且潮解很厉害,很不好用,所以就决定搞紫外光谱区的非线性光学晶体。当时,我们发现在紫外区有个材料叫五硼酸钾,五硼酸钾紫外透过性能很好,但倍频系数很小。我们通过计算发现,它的倍频系数小的主要原因是它的基本结构是四配位的。因此,我们就叫一个懂化学的同志,找硼酸盐中除硼氧四配位基团以外的化合物,看还有没有非四配位的基团。不到两个月,他就查到了(B_3O_6)基团,是平面的。我们对这个比较熟悉,觉得非常值得搞,所以,到79年上半年我们决定在硼酸盐氧化合物体系中探索新型非线性光学晶体。后来,我们就找到了以(B_3O_6)基团为基本结构单元的化合物BBO(低温相 BaB_2O_4 , β - BaB_2O_4),再后来又找到了以(B_3O_7)和(BO_3)基团为基本结构单元的其它硼酸盐非线性光学晶体LBO(LiB_3O_5), KBBF($KB_e_2BO_3F_2$)等等。

问:应该说,BBO的发现从实验上证明了阴离子基团理论的正确性,后来这个基团理论还有没有新的发展?

答:阴离子基团理论的基本思想在70年代就已经成熟,后来的发展主要在计算方法方面。计算方法的基本定型是在80年代中后期,主要工作是你们科大的校友李如康做的。他把阴离子基团理论方法编成了计算机程序,利用这个程序可以对所有硼酸盐晶体的非线性光学效应进行计算,不仅计算快,而且计算的结果也非常准确。

1987年,我们又长出了新型非线性光学晶体三硼酸锂(LiB_3O_5 , 简称LBO)。在发现三硼酸锂的时候有个小插曲。在我们公布三硼酸锂的时候,美国Livemore实验室搞非线性光学的头叫David Eimerl同时公布了一个四硼酸锂晶体。四硼酸锂晶体是一种很好的压电晶体材料,晶体生长比较容易,可以长得很大,但它的非线性光学效应很低,没有三硼酸锂好,因为它是四配位基团结构的。David Eimerl就问我:“从晶体生长的角度来讲,应该长四硼酸锂,为什么你偏偏去长不好长的三硼酸锂?”我就笑着回答说:“那是因为你没有我们这个理论,我们已经用理论模型把三硼酸锂、四硼酸锂的倍频系数算出来了,算出的结果是三硼酸锂的倍频系数比四硼酸锂大4倍,从非线性光学效应的角度,我们应当生长三硼酸锂,而不应当去生长四硼酸锂。”这说明,理论工作对探索新材料起到了非常决定性的作用。

问:是这样。目前基于阴离子基团理论发明的非线性光学晶体有多少?

答:现在已经有很多了。除BBO外,基于 B_3O_7 基团的,现在有LBO、CBO(CsB_3O_5)、

CLBO($\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$)。CBO 是吴以成^①院士生长出来的,CLBO 是吴以成的学生做实验时漏掉了,日本人后来发现的。CLBO 是 CBO 和 LBO 按照 1:1 比例配出来的,但当时吴以成的学生,做实验马虎,不是严格按照 1:1 的比例来配,所以他的学生说没效应,错过了发现 CLBO 的机会。吴以成曾经到大阪大学 Sasaki 教授研究组做过访问学者,Sasaki 的学生就严格按照 1:1 的比例配,结果他们发现了 CLBO。不过,Sasaki 教授承认 CLBO 是在(B_3O_7)基团启发下发现的。到 1991 年,我们又发现了基于(BO_3)基团的 KBBF($\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$),它的深紫外性能非常好,但是生长晶体很困难。目前,基于(BO_3)基团的晶体大概也已经有 5、6 个了。

目前在非线性光学材料领域,可以实用化的晶体主要是硼酸盐系统。像 BBO,已经实用化了,LBO 也实用化了,将来 KBBF 也将逐步实用化。其它类型的只有一个 KTP,就是磷酸钛氧钾(KTiOPO_4)。CLBO 晶体太容易潮解,它必须有电子恒温的 150 度装置才能用。所以,目前在非线性光学领域,从可见、紫外,到深紫外,基本上用的是硼酸盐体系的晶体。可见光 532nm、355nm 用 LBO,266nm 用 BBO、CLBO,深紫外是 KBBF。目前我们还在发展一大批新的硼酸盐系统的晶体,比如 KBBF 系统的,又发现两个,RBBF,CBBF。从目前来讲,硼酸盐系统的非线性光学晶体不下 20 种。

2 非线性光学晶体的探索过程

问:听您这么介绍,我对阴离子基团理论有了更深刻的了解,下面请您谈谈 BBO 的发现过程。

答:正式进行非线性光学材料的探索工作是从 1977 年开始的。1977 年,卢先生任命我为非线性光学材料探索组的组长。当时能开始做这个研究的有这么几个条件,一是我们有决心要探索新材料,第二是我们有理论基础,第三是我们在“文化大革命”期间已有自己的晶体生长组,我自己还把光学测试设备也搞起来了。这样,我们有理论计算,有结构选型,有晶体生长,有性能测试,搞了一套比较完整的研究体系。虽然当时设备还是比较差,但思想已经比较系统。

前面我已说过,氧八面体的材料已经被美国人找过了,跟着做没有出路,我们开始找硼酸盐系统的。到 1979 年 7、8 月份的时候,我们找到了基于(B_3O_6)基团的偏硼酸钡。根据文献记载,偏硼酸钡有高温和低温两相,而且都是有对称中心的,没有非线性光学效应。于是我们就搞掺杂,对阳离子进行取代。当时我们就用钠离子部份取代钡离子,希望搞出新的具有非线性光学效应的化合物。后来做实验发现,用离子钠部份取代钡离子后,当钠与钡的摩尔比是 4:6 时,合成出一种“新”化合物,非线性光学效应非常强,效应达到 KDP 的 5 倍多。我们非常高兴,认为我们已经研制出了一种新的非线性光学材料——偏硼酸钡钠,1979 年苏州会议时我们就公布了这个结果。但是,科学的事情发展就是这么

① 吴以成(1946—),广西玉林人。功能材料专家,中国科学院理化技术研究所研究员,中国工程院院士。1970 年毕业于中国科学技术大学,1986 年在中国科学院福建物质结构研究所获博士学位。长期从事非线性光学材料研究。

有趣,但了年底的时候,我们用提拉的方法生长出此单晶,然后去做化学分析时发现(当时不知道用溶剂法),新材料中钠是微量元素,其基本结构还是偏硼酸钡,当时就意识到,低温相偏硼酸钡的结构可能定错了,猜测氧化钠可能只是起到了助溶剂的作用。为了搞清这个问题,我派了一个学生到物理所梁敬魁^①院士研究组做相图,做出的相图证实了我们的猜想,我们生长出来的晶体实际是低温相偏硼酸钡,氧化钠只是起了一个助溶剂的作用。因为高温相的偏硼酸钡有对称中心,没有非线性光学效应。只有掺助溶剂进去,帮助降低结晶温度,在 925 度以下生长出来的晶体是低温相偏硼酸钡,而低温相偏硼酸钡是没有对称中心的,有非线性光学效应。大概花了半年多的时间,到 1980 年,我们基本上已经肯定,低温相偏硼酸钡具有大的非线性光学效应的,当时就简化写为 BBO(β -BaB₂O₄)。

当时性能测试要有厘米级尺寸的单晶,但是那个时候晶体长不大,我们就下决心重点生长晶体。当时我觉得我们研究组的力量已经不够,就把研究组扩大为一个实验室。实验室有理论计算组、有合成组、有晶体生长,有性能测试,工作非常系统。80 年 6、7 月份时我们已经确定氧化钠是助溶剂,就用溶剂法生长大尺寸晶体。到 83 年年底,我们长出了一块厘米级尺寸的低温相偏硼酸钡单晶。有了单晶,我们很快进行了测试,经过半年多的测试,测试它的折射率,测定它的倍频系数。当时仪器精度比较差,没有现在的测量设备好,但测试结果却非常好,晶体紫外吸收边能到 185nm 左右,倍频系数是当时常用的 KDP 的 6 倍,双折射率很大,能做 Nd:YAG 激光的二倍频、三倍频、四倍频,所以大家一下就断定这是一个非常好的非线性光学材料。84 年,我们做了成果鉴定。做鉴定的时候,大家就提出来,这个晶体性能很优秀,比其它晶体好很多,希望中国科学家先用,然而当时我们国家的科研水平还不高,使用效果并不理想。

1984 年,国际激光学术会议在广州召开,这是中国第一次举办这个专题的国际会议。会议是王大珩先生主持的,他让我在会上做个报告。我就在会议上报告了 BBO 的性能测试结果。这个报告并没有引起中国科学家的注意,唯一对这个结果关注的是一位从斯坦福大学来的副教授。当时斯坦福大学应用物理系的激光非线性效应研究在国际上非常有名,国际上激光领域非常著名的拜尔(R. Byer)教授就在斯坦福。这位副教授回去后就向 Byer 汇报说,会议多数报告总体没有什么新意,唯一有新意的是我们关于 BBO 晶体的非线性光学效应的报告。当时福建物质结构研究所没有名气,我陈创天也没有名气。他们认为,过去从来没听说过的研究所、从来没听说过的这么一个研究人员,搞出这么一个看起来很好的非线性光学材料,他们很怀疑报告的真实性。

1985 年 4 月份,斯坦福大学先进材料研究中心晶体组的主任叫范格尔逊,这个人现在是我非常好的一个朋友,他就亲自到福建物质结构所来,就是要看看 BBO 这个非线性光学材料到底怎么样。我们给他看了晶体,给他看了测试结果,他看后,认为报告的内容还是真实的,但是他对我们的测试结果有些怀疑。因为我们的测试仪器很不先进,自制的激光器,模式很不好。那年下半年 Byer 教授向我发出邀请,让我带着晶体到斯坦福来进

^① 梁敬魁(1931—)福建福州人。无机物理化学家,中国科学院物理研究所研究员,中国科学院院士。1955 年毕业于厦门大学化学系。1960 年在苏联科学院冶金研究所获技术科学副博士学位。长期从事晶体结构化学、材料科学和固体物理三个交叉领域的基础和应用基础研究。

行性能测试。1985年12月份,我就到了斯坦福,跟 Byer 一起进行性能测试。当时我带了三块仅有的 BBO 晶体,因为当时生长还不过关。在斯坦福,我们又对晶体进行了系统的测试,特别是 Nd:YAG 激光的倍频、三倍频、四倍频、五倍频的转化效率。一系列的测试表明,它的转换效率、输出功率比我在物质结构所测定的数据要好得多,例如我们在物质结构所测的倍频转换效率只能到 20%,在斯坦福能够达到 60%,甚至可以达到 70%,为什么呢?第一,他们的激光输出模式好,第二,他们激光的光功率密度强,因为谐波转换效率是跟功率密度成正比的。经过半年多的测试,效果很好,Byer 就说:这是个 super crystal,超级晶体。

1986年,在圣弗朗西斯科,就是旧金山,斯坦福的所在地,召开了国际量子电子学和 CLEO 会议,我代表我们两个单位联合发表了一个报告,报告了 BBO 的性能。这个报告引起非常大的轰动,听报告的人大概有 200 多位,等我报告结束,有 100 多位科学家跟我一起出去,想进一步了解 BBO 的情况,结果后来的会议就没法开了。他们说,这是美国量子电子学会议很少见的一种情况。这个报告是跟斯坦福大学联合发表的,斯坦福在国际上有足够的权威性,所以就再没有人怀疑我们的结果。因此,BBO 成果的发表,中文杂志是 1984 年,英文杂志是 1985 年,但真正被国际认可可是 1986 年。

CLEO 会议后,在美国引起了一个很大的反响。86 年 4 月,美国的 48 位科学家,几乎所有有名的搞非线性光学、激光材料的美国科学家都请到了,在华盛顿召开了一个评估会,他们叫 Research on nonlinear optical materials: an assessment。^[8]他们说,美国现在要提高警惕,为什么国际最先进的非线性光学材料的物理思想不是来自美国,而是来自国外?他们特意把我们研究组跟他们进行了对比,说,我们研究组花了 10 年的时间来进行系统的研究工作,理论计算、晶体生长、性能测试等,最后搞出了这个晶体。他们认为,能搞出这个晶体,是因为我们有一个水平非常高的研究团队。评估报告说,我们有 9 个博士水平的研究人员,理论基础非常好,才做出来这样的晶体,实际上我们没有一个具有博士学位,因为当时没有这个学位制度。还有,中国敢于长期投资,支持了 10 年,他们认为这一点是美国需要学习的。这大概是美国第一次对中国的科研进行系统的评估,这篇文章发表在 1987 年的 *Applied Optics* 上。

1987 年,我们又推出了一个 LBO。这时,我们的研究生开始介入这项研究,其中就有你们学校来的很优秀的研究生,一个是吴以成, he 现在是工程院院士,一个是李如康。吴以成按照基团理论方法,系统地把所有硼酸盐重新进行分类,李如康对每个基团的微观倍频系数进行计算。有了这个工作以后,我们就知道哪些基团是有利于产生大的非线性光学效应,哪些基团是不利的。我们第一个选的(B_3O_6),后来发现这个基团的截止边(截止波长)不能到深紫外,所以就选了(B_3O_7)基团,此基团中的一个硼原子变为四配位结构,部分破坏了平面(B_3O_6)基团的 p 轨道,截止边可以达到 155nm。87 年我们找到了实于(B_3O_7)基团的三硼酸锂(LiB_3O_5),也就是现在所说的 LBO,这也是一个非常优秀的非线性光学材料。

由于有 BBO 研究工作的国际认可过程,LBO 的研究结果很快就得到了国内、国际的充分肯定。86 年,BBO 的成果获得科学院的科学技术进步特等奖。LBO 的成果,90 年获得科学院科学技术进步奖一等奖,91 年获得国家发明一等奖。这两个产品都被美国定为

十大高技术产品,BBO是87年,LBO是89年,中国的激光产品大概也就是这两个在美国得到了认可。所以,中国的非线性光学晶体真正走上国际舞台大概就是86年、87年、88年这个时期。

BBO、LBO后来逐步实现了产业化。应该说,硼酸盐晶体的产业化是按照正规意义上的高技术产业,因为有专利权。

问:好像BBO没有专利?

答:是的。BBO为什么没有申请专利呢?因为BBO发表在1984年,我们国家的专利法是85年批准执行的,所以BBO不能申请专利了。LBO发表在1987年,LBO可以申请专利,LBO的专利一直到前年才结束,为国家赚了很多钱。

问:您们是怎样找到KBBF晶体的?

答:是这样。到80年代末90年代初,在非线性光学晶体方面,BBO已经能够解决紫外谐波光有效功率输出,KTP加上LBO已经可以解决可见光波段谐波光输出问题了,剩下的就是深紫外,就是激光波长要短于200nm。虽然LBO截止边可以达到深紫外155nm,但它的双折射率太小,甚至不能实现Nd:YAG激光的四倍频输出,也就是连紫外266nm相干光都不能输出,更不能输出深紫外激光。当时已有的优质非线性光学晶体BBO、LBO、CBO、CLBO等都做不到这一点,在这种情况下,我们从理论计算结果分析,认为用小平面的(BO_3)基团可能解决深紫外问题。为实现深紫外倍频光输出,我们当时对晶体结构提出三个条件,一个是(BO_3)基团的悬挂键要中和(也就是和其它原子相连);另外一个条件是(BO_3)基团要保持在同一平面上;再一个条件是(BO_3)基团的密度要足够大,密度大,它的非线性光学效应就大。^[9]按照这三个条件,李如康在1989年—1990期间就找到了KBBF,这是目前在深紫外光谱区最好的非线性光学晶体。

3 关于中国非线性光学晶体研究的一些探讨

问:2009年2月,*Nature*杂志专门就您的KBBF研究写了一篇报导,他们是怎样找到这个主题的?

答:是这样。*Nature*杂志亚洲部的一位编辑本来是想调查中国的材料科学,他认为中国的材料科学相对其他学科在国际上还比较先进。为此,他在中国访问了20多位科学家,但最后选定的是非线性光学材料,为什么呢?他通过调查得到的信息表明,中国的非线性光学材料研究有原创性,有理论模型,有新材料的合成,单晶生长,所有这套东西不是跟着外国人在做,是按照我们中国的自己的思路走,在这个领域不是中国向外国学习,而是外国向中国学习,*Nature*认可的是这个。所以,他就从众多的调查研究中选中了这个非常突出的非线性光学晶体研究。由于BBO、LBO的发现已经过去了20多年,所以文章仅仅提了一下,主要写的是KBBF,大概就是这样。

问:*Nature*用的题目是“中国藏匿的晶体”,意思是目前国外不能买到我们的KBBF,是否就是通常人们所说的“技术禁运”?

答:从科学意义上讲,KBBF比BBO、LBO等晶体贡献要大。这是因为,BBO并没有产生新的波长,它的Nd:YAG激光二倍频、三倍频、四倍频、五倍频输出,其它晶体也能做得

到,只不过效率没有 BBO 好罢了;LBO 在工业上有很大用处,在科学上也没有产生新波长;而 KBBF 呢,产生新的波长了,产生了 177.3nm 的深紫外相干光,也就是说,目前 200nm 到 150nm 这个深紫外光谱区,只有 KBBF 晶体和它的棱镜耦合器件才能产生这一光谱区的有效功率输出,所以,它在科学上的意义比 BBO、LBO 大。因此,科学院想让我们国家的科学家在这个新的研究领域多做一点工作,现在我们国家经济形势比较好,科学家也有能力做,所以先对外国封锁一段时间。

问:这是不是我国对外禁运的第一次?

答:是,这是我国在高技术领域对美国说“不”的第一件事情。这是国家的决定,大概还要禁运几年吧,让我们国家的科学家多做点工作,不会长期禁运。

问:为什么跟日本有合作?

答:跟日本合作是这样。毕竟我们国家科学的平均水平还是低,在一些领域,譬如在高功率钛宝石激光器方面,我们还是有问题,有些实验在国内确实还不能做,所以我们就跟日本进行合作,特别想在 193nm 光刻技术系统应用方面做出点东西来。与日本的合作对推动我们国家的科学水平还是有作用的,比如 KBBF 晶体在光电子能谱方面应用的思想,真正第一个提出来的还是日本科学家。所以,科学院认为,在推动深紫外光源的应用方面,日本还是起了作用的。根据这个情况,我们继续保持跟日本的合作,但是跟其它国家的合作就封住了,欧洲也没有、美国也没有。

问:据我了解,在非线性光学材料方面,我们国家的整体水平很高,除您的研究团队外,人工晶体所沈德忠^①的研究团队、山东大学蒋民华^②的研究团队,还有福建物质所,都做得很好。您觉得原因在哪些方面?

答:外国朋友也经常问我这个问题,说:中国其它的科学搞得不怎么样,为什么晶体材料搞得这么好?我就告诉他,晶体材料在“文革”的时候没停过,一直延续下来,没有断过。第二,晶体材料是非常实用的科学,以应用为目的,以拿得出有用的材料为目的,在这个领域很难弄虚作假,所以晶体材料领域的科学作风比较好。另外,中国晶体界比较团结。这就是中国晶体材料搞得好的原因。还有一个是,我们国家能够长期坚持,美国人比较急于求成。

问:美国人在晶体材料方面不如我们?

答:美国人在非线性光学晶体材料方面确实不如我们,现在他们也在赶,但在其它晶体材料方面他们还是比我们强。

问:前段时间,林尊琪^③先生在科大作了一个关于激光约束核聚变的报告,他在报告中提到了 KDP 晶体。他说,美国目前仍然是对中国实行禁运,不过不久前物质结构所等国内一些单位也取得了重大突破。

① 沈德忠(1940—),贵州贵阳人。人工晶体专家,中非人工晶体研究院研究员,中国工程院院士。1964年毕业于四川大学物理系固体物理专业。长期从事人工晶体的生长研究。

② 蒋民华(1935—),浙江临海人。晶体材料科学家,山东大学材料科学与工程学院院长,中国科学院院士。1956年毕业于山东大学化学系。长期从事人工晶体的生长研究。

③ 林尊琪(1942—),生于北京市,原籍广东潮阳。高功率激光技术专家,中国科学院上海光学精密机械研究所研究员,中国科学院院士。1964年毕业于中国科技大学。主要从事高功率激光驱动器和 X 光激光研究。

答:你说的是 KDP 晶体,现在国内有两家做得比较好,一家是山东大学,一家是福建物质结构所。实际上,我们从 58 年就开始搞 KDP 的晶体生长了,“文革”期间没停过,一直生长到现在。在大尺寸 KDP 晶体研究方面,我们跟美国还有差距,但差距不算大。

实际上,我们国家在非线性光学材料方面,除硼酸盐外,在国际上比较有影响的还有这么几个。一个是山东大学首先用溶剂法长出了 KTP 晶体,把 KTP 的生长成本大大地降了下来,美国人是用水热法生长,成本高。这是我们国家对非线性光学晶体的一个贡献,在国际上非常有影响。这里也有个小插曲。1987 年,美国有一家公司生产半导体的激光修补机,就是半导体哪个线路坏了,用这个机器可以修补。他们卖给中国这个设备时,规定其中产生倍频的 KTP 晶体不能卖给中国。当时我在美国,就笑他们:“现在中国长的 KTP 比你们的好多了!”美国人自己也说:“这是美国国务院的官僚主义!”另外一个 是 铌 酸 锂,铌酸锂的抗激光损伤能力本来很低,我们国家用掺氧化镁的方法,一下子把抗光损伤能力提高了一个量级,这个也是我们国家对非线性光学晶体的一个重要贡献。在器件方面,南京大学闵乃本^①研究团队的光学超晶格也是国际上非常有影响的成果。所以,硼酸盐晶体、溶剂法生长 KTP、铌酸锂掺氧化镁、光学超晶格、声学超晶格,中国的这些贡献是国际公认的。

问:863 项目的成果中有个钛宝石晶体,是不是也做的很好?

答:钛宝石晶体主要还是跟踪外国的在做。在激光晶体方面,我们只有一个钽酸钕长得好,能够卖到国外去,其它的还是有差距。

问:向您请教最后一个问题。在非线性光学材料领域,您是国际上最著名的科学家之一,您觉得您取得成功的原因是什么?

答:我觉得,成功的原因有这么几个。第一,搞科研一定不能功利主义。我 56 年进北京大学,当时正好是提出“向科学进军”的时候,那时已经不提“科学救国”了,“科学救国”是解放以前提的,但那时我们的科学还比较落后,所以,我们就抱定一个目标,要通过我们自己的努力,为国家在科学事业上打个翻身仗,要进入到国际最先进的方面去。那时,我们学生提出说是要拿诺贝尔奖,虽然有点趾高气扬、不切实际,但我们确实为后来从事科学事业打下了思想基础。我年轻的时候每天工作 12 小时。上午 8 点到 12 点,下午 2 点到 6 点,晚上 8 点到 12 点,我一般都是晚上 12 点后才睡觉的,无论是在困难时期,还是在“文化大革命”时期,始终没有间断过,一个主要的信念就是通过努力为国家的科学事业作贡献。我这个不是功利主义的,功利主义是做不好事情的。第二个,我觉得是卢先生的领导功劳。1974 年,我们下定决心,在非线性光学材料方面一定走自己的路,不能跟着别人已有的工作走,这为非线性光学材料的工作奠定了思想基础。

从我本人来讲,我觉得今天其他人很难复制我。第一,我在北京大学念的物理系,学习的是理论物理,念了 6 年,这个 6 年的时间,学的非常好。当时教我们的老师真的是国

^① 闵乃本(1935—),江苏如皋人。物理学家,南京大学教授,中国科学院院士。1959 年毕业于南京大学物理系,1987 年获日本东北大学理学博士学位。主要从事晶体学方面的基础和应用研究。

际一流的科学家,黄昆^①教我们固体物理和固体理论,王竹溪^②先生教我们热力学和统计物理,郭敦仁^③教特殊函数,褚圣麟^④教原子物理,胡宁^⑤教场论。我觉得我们的老师非常优秀,所以我在北京大学受到了非常好的理论物理方面的训练,物理概念非常明确,我们这些人从来没因为基本概念不清而犯错误。而到福建物质结构所后,在卢先生的指导下,我又认真学习了三年化学方面的知识,结构化学、量子化学,群表示理论,所以,理论化学方面的基础也打得比较好。这是从事非线性光学材料研究的必须具备的两个理论基础。另外假如我光做理论研究,对从事材料研究也会有很大困难,因为我对合成不了解。“文化大革命”时期,阴错阳差,我参加了晶体生长,参加了测试。因此,我对各个方面的工作都有了实践经验,这样,我在组织非线性光学材料研究时,就有条件去布局。我想我的这种经历很重要,经历加上个人的努力和机遇,便取得了成功。现在我要找接班人还是有些困难,没有这个经历。晶体材料科学属物理化学领域,你缺哪一个方面都不行。我们当时说几个结合,物理与化学结合,理论与实验结合,这个很重要。没有这些结合,你搞不出新材料。

另外,长期坚持,现在有点追求速度,所以我有些担心。我对学生要求是非常严格的。我经常给他们说,搞科研不能太功利,每个人活在世上,没有功利是不现实的,但你不能太功利。按照我们的话讲,国家、集体一定要放到第一位,个人第二位,个人利益要放在国家利益、集体利益之下。*Nature* 那篇文章说,BBO 发现后,陈创天的工资从 86 元增加到 154 元,陈创天就认为是一个伟大的时刻,外国人就很难理解了,比起 BBO 创造的价值,那也没有增加多少啊,这就需要正确理解国家利益与个人利益的关系。应该说 *Nature* 杂志的编辑还是仔细的,做了详细的调查,虽然那篇文章对科学院有所不满,但文章总体上还是表扬中国科学的。

问:您的经历不能复制,但做科学研究不能功利主义,这是我们可以做到的,也是必须要做到的,我想这是我们最应该学习的一点。谢谢您能抽出宝贵的时间来接受我的访谈!谢谢陈先生!

- ① 黄昆(1919—2005年),浙江嘉兴人。物理学家,中国科学院半导体研究所研究员,中国科学院院士。1941年毕业于燕京大学,1948年于英国布里斯托尔大学获博士学位。中国半导体技术的奠基人,曾任半导体研究所所长。2001年获国家最高科学技术奖。
- ② 王竹溪(1911—1983年),湖北公安人。物理学家,北京大学教授,中国科学院院士。1933年毕业于清华大学,1938年获英国剑桥大学博士学位。主要从事理论物理特别是热力学、统计物理学、数学物理学等方面的研究。
- ③ 郭敦仁(1917—2000年),广东中山县人。物理学家,1940年毕业于西南联合大学。1950年到清华大学物理系任教,1952年后到北京大学物理系任教,主讲数学物理方法、特殊函数、量子力学、经典电动力学等课程。
- ④ 褚圣麟(1905年—),浙江省杭州人。物理学家、教育家。1926年毕业于之江大学,1933—1935年在美国芝加哥大学学习,获博士学位。主要从事高等院校物理学教育事业。
- ⑤ 胡宁(1916—1997年),江苏宿迁人。理论物理学家,中国科学院院士。1938年毕业于西南联合大学物理系,1941年赴美国加州理工学院物理系,1943年获得博士学位。中国基本粒子理论和广义相对论研究的奠基人之一。

参 考 文 献

- 1 Cyranoski D. China's Crystal Cache[J]. *Nature*, 2009, 457:953—955.
- 2 林瑞思. 长路漫漫孜孜求索——记陈创天院士[J]. 中国科技成果, 2009, (20):44—49.
- 3 杨洁. 创新点亮民族之光——著名晶体材料专家、中国科学院院士:陈创天[J]. 科学中国人, 2007, (12):20—25.
- 4 张显峰. 在世界激光科技之巅插上五星红旗[N]. 科技日报, 2006-08-01:8.
- 5 陈创天. 晶体电光和非线性效应的离子基团理论(I) [J]. 物理学报, 1976, (2):146—161.
- 6 陈创天. 晶体电光和非线性效应的离子基团理论(II) [J]. 物理学报, 1977, (2):125—132.
- 7 陈创天. 晶体电光和非线性效应的离子基团理论(III) [J]. 物理学报, 1977, (6):487—498.
- 8 Auston D H, etc. Research on Nonlinear Optical Materials: An Assessment[J]. *Applied Optics*, 1987, 26(2): 211—234.
- 9 陈创天. 紫外、深紫外非线性光学晶体探索十年回顾[J]. 人工晶体学报, 2001, (1):36—42.

The Exploratory Process of the “China Brand” Crystals: An Interview with Academician Chen Chuangtian

Recorded and emended by CHEN Chongbin

(*Department of the History of Science and Archaeometry,*

University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract Nonlinear optical crystals BBO, LBO and KBBF were developed by Chinese scientists, and have been named “China Brand” crystals by foreign scholars. Being the main leader of the research, Academician Chen Chuangtian talks about how the anionic group theory came to be proposed, and how the nonlinear optical crystals such as BBO were developed.

Key words China, nonlinear optical crystal, exploratory process