

* 成果与应用 *

我院“七五”期间新材料研究的成就

钱文藻 都静莹 陈教祥

(中国科学院数理化学局)

新材料是国民经济和国防建设的物质基础,是现代高新技术发展的先导和重要支柱。世界上所有的工业化国家无不将新材料研究视为高层科技决策和规划的当然选择。我院从 50 年代开始,开辟了材料科学若干重要领域的研究工作,在为发展我国国民经济、国防建设服务和培养人才等方面取得了重大成就。“七五”期间,面对国际激烈的经济竞争和突飞猛进的科技发展趋势,面对我国经济翻番对科学技术提出的强烈要求,全院材料领域的广大科技人员怀着崇高的历史责任感和紧迫感,振奋精神、锐意进取,在新材料和材料科学前沿努力探索,积极承担了国家科技攻关、863 高技术、重大基础研究等国家及院的重大科技任务,取得了丰硕成果,开创了我国新材料研究发展的新局面。下面按承担任务的渠道分述“七五”期间我院新材料领域取得的主要成果。

—

国家制定的“七五”新材料科技攻关计划,是要着重解决经济建设的重点行业、军工重点任务以及重大引进项目国产化配套等对新材料的需要。“七五”期间,我院 21 个研究所、500 多名科技人员参加了有机分离膜、高温结构陶瓷、集成电路及光纤通信关键专用材料、复合材料,非晶金属及合金、低合金钢、工程塑料与塑料合金、军工配套等 78 个专题的研究。5 年来已取得了一大批科研成果,并与生产企业密切合作,创造出显著的经济、社会效益。至 1991 年 3 月底,共取得成果 85 项,其中重大成果 40 项,获专利 8 项。

在有机分离膜材料和膜分离技术的研究方面,我院大连化物所、长春应化所、化学所和兰州化物所等单位取得了突出进展。中空纤维氮氢膜分离器 I 型和 II 型研制成功,性能接近美国 Monsanto 同类产品水平,并已在国内外十几个合成氨厂使用,可提供全套制造技术,有小批量生产能力,年经济效益达 2000 万元,顶替进口节约外汇约 150 万美元。50 标准米³/小时卷式富氧膜分离器研制成功,可提供全套制造技术,已用于日用玻璃窑炉助燃,可提高熔化率 14%,降低重油消耗 14.87%,玻璃质量提高一个等级,使烟道气的烟尘排量低于国家标准,每座玻璃熔炉年增产值约 120 万元。上海硅酸盐所研制成功的陶瓷密封环、氮化硅陶瓷电热塞等陶瓷发动机部件已推广应用,年经济效益达 2300 万元,化学所研制成功了 5 μ 集成电路用环氧塑封料连续化生产的先进工艺和设备,并建成 100 吨/年的中试生产线,1989 年已投入生产。该所还开发出 KH407 系列 3 个产品,主要性能指标全部达到日本东电工同类产品技术水平,在国内已被广泛使用。在引进的大规模集成电路生产线上小试、中试获得成功,塑封 16000 多块彩电线路,全部合格,为顶替进口打下了坚实基础。

在我院承担的攻关任务中,已取得一批具有世界先进水平的成果。上海硅酸盐所科技人员采用独创性的快速烧结工艺研制出的氮化硅陶瓷材料,性能优良,用独特的冷加工工艺和技术加工成陶瓷活塞顶,其精度完全满足实用要求,装入大客车已完成了 6000 公里以上的道路试验,全部完好无损,使我国成为世界上第三个进行无冷机装车路试的国家。该所还研制成功以廉价工业莫来石粉、SiC 粉为原料的 SiC(P)/Y-TZP/M 复合材料,在室温及高温下均具有高强度、高韧性,是一种极有前途的绝热机活塞顶新材料,属国内外首创。上海有机所研制成功的全氟磺酸树脂是氯碱工业用全氟离子膜的重要材料之一。产品质量已达到国际同类产品水平,为实现全氟离子膜的国产化提供了原料基础。沈阳金属所研制成功 8 种非晶态金属催化剂,获得了比同类晶态金属材料明显高的活性,选择性和稳定性,在我国开辟了催化剂研制的新路子,对石油化学工业有重要应用前景。半导体所采用新研制的三室超真空非晶硅沉积试验装置,进行了大量材料、电池结构、器件物理及电池工艺试验研究,研制的小面积太阳能电池效率达 11.19%。

与此同时,还研制成功一批具有很强针对性和实用性的军工配套材料,为国防现代化提供了材料基础。沈阳金属所联合长城特钢公司、核工业总公司工程物理研究院协作攻关,研制成功的抗氢脆高强度钢 HR-3,填补了我国空白,已成功地通过了应用试验。上海有机所研制成功多种具有国际同类产品水平的化学推进剂燃速调节剂和高比重陀螺悬浮油,已应用在多种火箭型号上。这些成果不仅对促进武器现代化起了重要作用,其中相当一部分材料还在民用方面开始得到应用。

二

1986 年党中央和国务院批准实施我国的高技术研究发展计划(863 计划),新材料被列为 7 个重点领域之一。我院 17 个研究所 300 多名科技人员参与了这一领域的工作,共主持 29 个课题的研究任务。“七五”结束专家评审结果,任务执行好的和比较好的占 85% 以上,不少成果已达到国际先进水平。

在以信息为核心的新技术革命中,光电子功能材料占有特殊重要地位。863 计划新材料领域在重点安排了具有我国特色的、为国际瞩目的新型非线性光学材料和激光晶体研究的同时,还安排了半导体光电功能材料、特种功能光纤、新型光存贮和显示、新型光电转换材料等的研究项目,我院上海冶金所、上海光机所、半导体所、上海硅酸盐所、长春物理所、感光化学所等 10 个研究所参加了全部有关专题研究。光子灼空(PHB)材料是未来很有希望的高密度光存贮材料,承担该项研究的我院感光化学所、长春物理所的有关科研人员在跟踪中努力创新,研制出的有机和无机 PHB 材料性能均优于国外文献报导水平。其中无机 BaFClBr:Sm^{2+} PHB 材料和 3 个体系有机材料在 4.2K 下,在非均匀谱线内皆可烧孔 1000 个以上。我国独自发展的无机和有机 PHB 材料在国际上首次实现在 77K 下双光子选通光谱烧孔。由感光化学所牵头的高效光电转换材料研究是一项难度较大,探索性、学科综合性很强的任务,在不到 3 年的时间内,他们设计合成了 100 多种有机光敏分子内电子转换化合物,并建立了测试方法,提出了几种分子组装的技术方案,做到了跟踪国际前沿研究方向,并有所创新。

高性能复合材料是 863 新材料研究的一个重点。我院有关研究所在增强剂、高温树脂、金

属基复合材料、高性能结构陶瓷及陶瓷基复合材料等课题研究中,全面完成了“七五”各项指标要求,取得显著进展。沈阳金属所承担的高性能复合材料增强剂 CVD 法 W 芯 SiC 纤维已具备了小批量研制能力。SiC 晶须课题完成了晶须生长连续炉的设计,建立了原料处理、晶须生长、脱碳、精制处理的生产流水线,晶须纯度达到指标要求,力学性能进入国际先进行列,并具有公斤级生产能力。在耐高温树脂方面,化学所,长春应化所研制的高性能聚酰亚胺树脂实验室样品与国外同类产品 PMR-15 类似,聚芳醚酮热塑性树脂也取得了良好进展。在先进陶瓷材料方面,上海硅酸盐所研制成功一种高温性能优异的氮化硅陶瓷材料 YL-1。这是一种极有希望在高温燃气热机、高温轴承等领域应用的候选材料。他们通过多方面的研究,成功地实现了材料强度从室温到 1300℃ 保持不降的目标,在设计思想、研究方案及学术思想上均有创新,研究成功的 YL-1 氮化硅材料综合性能属国际领先。

三

材料科学是发展新型材料和改进、合理使用现有材料的基础。近 30 年来,我院在新材料的基础研究方面始终瞄准前沿开拓,探索,加强学科交叉和联合,精选项目,为开创材料科学基础研究的新局面作出了贡献。“七五”期间我院 29 个研究所承担了金属材料,无机非金属材料、有机高分子材料、复合材料等材料领域的基本物理、化学问题,包括结构—组成—性能关系,材料的表面、界面,材料的疲劳、断裂规律,防腐机理,材料的表征、测试方法等有关自然科学基金课题几百项,重大国家自然科学基金项目 13 项,取得了一大批高水平的研究成果。

当前国际上掀起一个又一个超导“热冲击”的形势下,我院各有关单位积极参与竞争,多年来在超导新材料及其基础研究上取得了许多独创性的成果。1987 年 2 月 24 日,中国科学院数学学部举行新闻发布会,宣布物理所赵忠贤、陈在泉等人获得了超导中点转变温度在液氮温区 92.8K 的新的超导体,并且公布了新材料的组分—钇钡铜氧,在举世瞩目的寻找高 T_c 超导材料的国际竞争中作出了重要贡献。此后,在国家及院重点支持下,我院物理所、上海冶金所,中国科学技术大学、金属所、固体物理所等单位联合国内同行继续深入研究,使我国始终处于该领域研究的世界先进国家行列。中国科技大学研制的 BiPbSbSrCaCuO 超导体临界温度达 132K,经联邦德国原子核研究所重复制备,被认为是目前世界上 T_c 最高的超导体。在探索高温超导机理及物理化学性能的基础研究方面,我院一直与国际上保持着同步发展的趋势,几年当中在国内、外重要学术刊物上发表了近千篇高水平的研究论文。超导薄膜临界电流密度 (J_c) 已稳定在 $3 \sim 4 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$,并可小批量提供制备器件用。高 T_c Bi 系超导线(带)材 J_c (77K, 0T) 稳定达 $1.5 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 左右, YBCO 体材料 J_c (77K, 7.5T) $> 1 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ 。MOCVD 快速生长制备超导薄膜技术及其它制备超导薄膜技术均有一定特色,居世界先进之列。

在“高分子凝聚态的基本物理问题研究”方面,我院化学所、长春应化所、上海有机所等 8 个研究所联合北京大学、成都科大等有关科研人员,在著名高分子物理学家钱人元先生指导下,运用近代理论物理、技术物理中的新理论、新技术和新方法,对柔性链高分子凝聚态、刚性链高分子凝聚态的基本问题;极端条件下(如低温、高温等)高分子材料性能和结构以及许多从应用研究中提出的大品种高分子材料加工过程—结构—性能相互关系、高聚物—高聚物多组

分体系,材料输运性质等基本问题进行了较为深入的研究,获得了很多具有国际先进水平的成果,对推动我国高分子科学的发展起了带头作用,同时对丙纶纺丝、聚丙烯塑料改性、高聚物共混材料的开发、液晶高分子的应用和气体的选择透过等应用研究起到指导作用。

“七五”期间,我院主持的“精细陶瓷的组成、微观结构与性质”、“几种薄膜材料的若干应用基础问题的研究”、“非平衡凝固理论及其应用研究”、“准晶的结构与性能”等国家自然科学基金的重大项目,也都取得了优异成果。

四

在全院重大及重中之重科研项目中,与材料科学和技术相关的重大项目 12 项,重中之重大项目 2 项。

发展激光技术及光电子工业的核心是各种类型激光晶体及其集成化。80 年代以来,我院福建物构所提出并研制成功性能优良的第一块“中国牌”无机非线性光学晶体 BBO,在国际上引起重大反响。为了巩固和发展我院光电晶体材料研制方面的优势,并推动激光器件的研究,“七五”期间将“新技术激光晶体材料与器件的研究”引入院重大项目。承担项目的福建物构所、物理所,上海光机所,上海硅酸盐所、长春光机所、应化所、安徽光机所等单位的科技人员以高功率、全固化、宽调谐激光系统及固体大功率晶体和激光器研究为中心,将先进的晶体材料与器件研究密切结合,通过合理分工、紧密合作,取得了一批高水平的研究成果。在晶体非线性光学效应的粒子基团理论指导下,研制成功又一块“中国牌”非线性光学晶体 LBO,并且首次发现该晶体在 $0.9\text{--}1.3\mu\text{m}$ 波段可实现 90° 非临界相匹配,其调谐范围和温度调谐半宽度均优于 BBO,是目前所有非线性光学晶体中最宽的。其它几种激光基质晶体(包括大尺寸掺钕铝酸钪晶体 Nd:YAP,大直径掺钕钇榴石 Nd:YAG)、激光晶体(四硼酸铝钕 NYAB、掺钛蓝宝石)、光折变晶体钛酸钡、功能晶体四硼酸锂等生长技术及光学性能,一些晶体材料的生长和加工出成率以及元件成品率均有显著提高,保持了国际领先地位。在激光器实用、小型化研制方面,福建物构所在国际上首先获得 Nd:YAP 双波长 1.08 和 $1.34\mu\text{m}$ 连续激光输出,可望用于百瓦级激光器。BBO、钛宝石可调谐激光器系统研制设计思想新颖,实用化水平大大提高,已进入国际先进行列。该项目“七五”期间共发表论文 130 多篇,获专利 6 项,创收了相当数量的外汇。

我国家电、汽车、机械等行业大量引进生产线所需的各种工程塑料的国产化问题急待解决,而这些特殊品种、性能的材料绝大部分在我国还是空白。根据国家发展的需要,“工程塑料”被列入我院“七五”重大开发研究项目,继而又列入院重中之重大项目。几年来承担项目的化学所,长春应化所及上海有机所在聚烯烃工程塑料、高抗冲聚苯乙烯及 ABS 工程塑料的改性、特种工程塑料新型聚芳醚酮、铁氧体塑料永磁材料、新型聚丙烯微孔膜等材料研制和开发应用方面取得重要进展,研制出多种家电、汽车所需的专用材料树脂,性能达到国外同类产品水平,并形成了一定规模的中试生产能力。洗衣机专用的高流动、高韧性改性聚丙烯工程塑料性能达到日本同类产品水平。小本体聚丙烯改性制洗衣机内桶专用料生产技术已转让给安庆石化总公司。ABS 电冰箱专用料的中试经装箱考核性能达到日本进口生产线指标,可以取代进口。一批研究开发成果已陆续进入产品制件开发及批量应用阶段。一步法合成聚芳醚酮完

成了研制和扩试,产品性能达到英国 PEEK 水平,少量产品已在意大利试销。同时还开发了短碳纤维增强 PEK-C 制纺织机锭底和锭环胚用料;共混改性树脂用于氢压机、制冷机和航天工业配套部件。用于汽车仪表外壳、内饰件等的十几种高填充聚丙烯改性专用料,已提供 20 吨专用料的制件装车使用。化学所、长春应化所的多种产品已小批量推向市场,赢得了用户的信任和支持。SBS 增韧及 EPDM 增韧的超高韧聚丙烯汽车保险杠专用工程塑料已提供了 80 吨产品,在新上海、桑塔纳、五十铃等车型上使用,为国家节省了大量资金,化学偶联玻璃纤维增强聚丙烯冷风扇相继完成了 3 个型号专用料的研制和开发,并已生产了 40 吨提供使用;高韧性、高抗冲聚苯乙烯电冰箱、冷藏箱和冰柜门内衬和箱内衬专用料已在吉诺尔、琴岛利勃海尔部分使用,为营口冷藏箱厂提供了 5000 台/月的专用料。化学所、长春应化所已与数家汽车和家电生产厂建立了协作与供货关系,“七五”期间获直接经济效益 114 万元,间接效益 456 万元,并确立了中国科学院在国内工程塑料开发研究的优势地位。

我国稀土储量、产量均居世界首位,但资源的综合利用、稀土工业,特别是稀土深加工的水平及规模与国际先进水平相比存在着相当大的差距。稀土新材料大部分处于仿制阶段,很少有我国独创性的产品。为了加强对稀土的研究和开发,“七五”期间我院 16 个研究所的有关科技人员在南方离子型稀土矿的地质地化、分离分析和综合利用三方面进行了广泛深入的研究。得到了对合理开发、利用南方稀土有价值的地质、地化资料;建立了分离稀土的萃取剂 P507 合成的新工艺;解决了用简易化学方法分析混合稀土中单一稀土、高纯稀土及痕量稀土等分析难题;稀土在钢、有色金属合金及高温涂层、稀土发光、激光材料、稀土催化剂及稀土在农业上的应用均获得大量应用成果。“七五”期间共取得 43 项研究成果、7 项专利,其中 12 项成果获国家及院、部级奖励,仅已推广的成果创直接经济效益约为 1 亿元。

在材料失效过程、机理及防护途径的研究方面,安排了由力学所牵头、金属所、固体物理所、腐蚀与防护研究所参加的“材料的变形、损伤、断裂行为的机制及其力学理论”的院重大项目。该项目从宏观—细观—微观的不同层次及相互连接上揭示了材料在不同温度、不同加载速率和不同环境下由变形、损伤导致断裂的一些现象和规律,在热塑剪切带和大尺寸铜三晶生长研究等方面取得了突破性进展,具有国际先进水平,已发表论文近 200 篇,完成 4 部专著。

以上“七五”期间取得的一系列成果,是我院新材料研究工作整体水平的具体体现和标志,它充分说明了我院在新材料基础、应用和发展不同层次研究中的坚实基础和材料科技队伍的创造才干。我院全体新材料领域的科技人员将进一步团结起来,乘胜前进,在以科技为先导,依靠科技振兴经济,实现我国国民经济和社会发展的第二步战略目标的伟大历史任务中做出更大的成绩。