

CC-IUMRS'96

国外材料发展动向研讨会 摘要集



中国材料研究学会
1996年8月·北京·

前 言

国外材料发展动向研讨会是由国际材联中国委员会(CC-IUMRS)组织召开的系列会议。首届于91年12月在北京回龙观召开,第二届94年6月在成都四川大学召开,今年是第三届。今后计划每两年召开一次。这个会议主要目的—是了解我国材料科技工作者参加国际学术会议的情况,一定程度上反应我国材料科学家在材料各个领域中的国际交往和地位;二是通过近两年的国际会议和其他国际交流,报告和分析讨论国外材料在某些领域中的发展动向,这是一种跨学科的交流,希望我国材料科技工作者从中能得到有益的启示。

'96中国材料研讨会得到了各方面专家学者的支持,其中大部分是CC-IUMRS的委员和C-MRS的理事。他们在百忙中准备了丰富多彩的报告,现在将每个报告的详细摘要编辑成册,发给与会者,以便于讨论,也是对CC-IUMRS活动的一个很好的记载。

这次会议得到了中国科协、国家自然科学基金委员会和“863”专家组的大力支持。在此向在本次会议上提供报告的专家和所有支持者一并表示衷心的感谢。

编 者

1996年7月25日

目 录

纳米材料与先进无机材料的研究趋势.....	严东生 (1)
1995年三次国际会议情况汇报.....	李恒德 (2)
国外钢铁新工艺流程的进展.....	张寿荣 (10)
国外超导材料现状与发展.....	周 廉 (13)
国外环境材料的研究进展及发展动向.....	左铁镛 翁 端 (18)
材料显微学与微分析进展.....	叶恒强 (20)
深亚微米集成电路用半导体硅材料的工艺技术研究.....	屠海令 (23)
从SMMIB'95及IIT'96看材料表面处理发展动向.....	柳襄怀 (31)
国外烧蚀耐热材料发展动向.....	于 翹 (34)
“绿色材料”的发展动向.....	金宗哲 (36)
Smart Window材料进展.....	胡行方 (42)
世界生物材料大会和生物材料发展动向.....	张兴栋 (44)
国外粉末冶金的最新进展 —— 从两次全球性国际会议看发展趋势	黄伯云 邹志强 曲选辉 (49)
国外陶瓷燃料电池研究进展.....	温廷琰 (59)
港台材料研究动向.....	曾汉民 (62)
纳米材料研究的新动向、机遇与挑战.....	张立德 (66)
国外复合材料发展动向.....	吴人洁 (70)
国际热等静压技术发展动向.....	李成功 (75)
国外金属间化合物的发展动向.....	韩雅芳 (78)
材料疲劳国际会议情况及动向.....	王中光 (81)
关于德国新材料发展计划介绍 (暂缺).....	石力开
从国际会议看有机高分子功能材料的发展动向 (暂缺).....	冯汉保

纳米材料与先进无机材料的研究趋势

严东生

中国科学院

1995年12月应邀参加了在日本大坂召开的NEPTIS-4国际会议,是一个小型的报告研讨会,日本以外的参加者全部为邀请报告人,主题是: Nano-Sized Powder and Related Composite Materials. 涉及到多种纳米粉体的制备与表征,特别是湿化学方法,以 Sol-Gel 法为有代表性的制备途径,可制备多种氧化物、非氧化物纳米粉体;其优点是:易于控制粒径大小、可获得高纯度粉体或复合粉体、在温和条件下操作、成本较低、易于放大、工业化等。另外是气相反应、气相合成、及以有机高分子先驱物制备无机及其复合粉体。纳米陶瓷复合体的仿生合成是一个有特色的报告。我们介绍了粉体制备,进而介绍了接近理论密度、大尺寸体粉料的制备,引起同行们的兴趣;特别是对新发现的:纳米体材料经室温循环拉伸疲劳断裂出现局域化超塑性形变现象及其的解释,受到同行们的重视,经深入讨论,得到认同。新原教授再次介绍了他们的研究组对结构陶瓷的纳米-微米复合体系的研究,受到大家的赞赏。这种小型研讨会,有利于讨论和交流思想。

1996年6月至7月将应邀参加三个国际会议。首先是6月下旬在美国加州大学伯克利分校举行的第4届陶瓷显微结构 '96 (Ceramic Microstructures '96)国际会议,包括以下各主题: 1.显微结构与界面; 2.烧结与晶粒长大; 3.胶体制备途径与陶瓷先驱体; 4.纳米结构材料; 5.陶瓷复合材料; 6.电性质与力学性质。

第二个于7月上旬在Hawaii举行第三届纳米结构材料国际会议 (Third International Conference on Nanostructured Materials), 将作特邀报告。主题将包括: 1.纳米结构材料的合成与制备; 2.纳米结构材料的表征与性能; 3.显微结构表征及其与性能关系; 4.热力学、晶粒生长动力学与原子模型; 5.纳米结构材料的近期与远期应用,包括扩大生产、净近成型 (near-net-shape forming) 与过程优化等。

第三个是在7月中旬于澳大利亚召开的第二届环大平洋陶瓷大会 (PACRIM 2), 内容广泛,分列了25个主题。我应邀担任第11分会:非氧化物结构陶瓷的发展分会的主席之一并做报告;还将在第14分会做陶瓷发展的国家报告。

以上三个分会的主要内容将于回国后尽量向材料研究学会的同行们汇报。

— 1996年6月中 —

1995年三次国际会议情况汇报

李恒德

1995年我先后三次分别到西班牙、日本和美国参加国际会议。兹将会议情况作一汇报，汇报将侧重于会议的性质、组织和特色。

一、国际“离子束金属表面改性会议”，SMMIB'95

日期：95年9月4~8日

地点：西班牙圣·塞巴斯梯安

主办：西班牙中央材料工艺所

这是一个国际性的系列会议，自1975年举办以来本次已是第九届。头几届都是在欧洲召开，第五届移至加拿大(86)，第七届(90)在美国华盛顿，第八届(93)在日本金泽，第九届又到欧洲召开。它是一个专业性比较强的会，专门以离子束在非半导体方面的研究和应用为背景和主题。圈子比较小，英国哈威尔等早期致力于金属离子注入研究的一批学者在其中起有很重要的作用。他们和国际上有一批学者多年来在这一领域契而不舍地努力工作，使得这一领域得以持续不断地向前发展。这个会20年来一直坚持下来，致力于这一方面工作进展和学术上的交流。

它的运转一直是靠一个“国际委员会”来操作。这个委员会有15名左右。聘请谁或不让谁当了都由委员会开会决定。李恒德自第七届(90年)起一直担任委员。自第九届(95年)起中国又增加了柳襄怀一名委员。目前共17人。其中英2、美3、德2、日2、丹1、意1、澳1、法1、加1、西1、中2。何时何地召开下一届会议，都由委员会投票表决。

会议的规模一向不算大。本届报到人数为196人，包括了30个国家，分布状况如下(澳、非、拉美个别入之外)：

欧洲：18个国家 138人 占70%

北美：2个国家 21人 占11%

亚洲：7个国家 33人 占17%

参加人最多的国家是西班牙(39), 占20%, 德国(25)、日本(21)、美国(19)、意大利(15), 其次有英国(10)、丹麦(9)、法国(8)、俄国(8)、中国(5)。可见, 这基本上是一个欧洲人为主体的会议, 而且因在西班牙开, 所以西班牙人占了20%, 不过, 亚洲也赶上来了。

文章总数为197篇, 平均参加者每人一篇。其中口述49篇占25%, 其它148篇(75%)均是墙展。中国报告共15篇, 每人平均3篇。

第九届SMMIB会议体现出对于金属离子束改性的成熟感。大胆的推论越来越少了, 代之而占主导地位的是脚踏实地的工作。基础研究不断地透露出一些值得注意或是可以试诸应用的结果。在生产上则更跨出扎实的步伐。特别是丹麦, 由于在研究、开发和生产三个环节上协调努力, 这几年把离子束技术在金属表面改性方面的应用和产业化向前大大地推进。Dynfysik从1987年开始到1994年已制造和安装了8台它所设计和生产的1090-200系列离子注入机。每台售价约为200万美元, 其中6台都是在1992—1994二年内安装的。这种注入机可以作到一机三用, 能够用计算机控制束流扫描系统和靶的三维运动, 并且可将二者联合和同步起来, 大大地消除了“直射射线”的局限性而且可以增大批量, 既可以满足研究和开发的需要也能满足生产服务的需要。他们所以能作到这一点是由于西欧各国的合作开发, 同时也是丹麦科学家找到了一条正确的行之有效的路子。

和国际相比, 我国金属离子束改性工作开展的不是广的, 能发表一些小文章, 但作不到像丹麦那样的多学科合作也得不到工业界的支持。以中国之大, 没有一个单位花得起200万美元去购置一台Dfnfysik的1090-200机的, 更没有哪一个有力的部门能够起到组织、协调或领导的作用。几乎所有的工作都是自发的, 都变成几乎是个人的行为, 谁能争取到一点钱就干一点。作为国家的工业、研究部门或大的单位难以体现宏观上或介观上的行为。

二. 第五届生物医学工程国际会议(The 5th intern. Symp. on Biomedical Eng)

日期: 1995年10月7~8日

地点: 日本京都

主办：日本京都大学生物工程中心

日本京都大学生物医学工程研究中心是日本独一无二，也是世界上罕见的，规模庞大，设备齐全实现医学及工程相互交叉的研究中心。这个中心是1990年正式成立，但实际上是从1978年就成立的“生物材料”中心发展起来的，已有20年的历史。

这个研究中心是日本文部省的一颗明珠，它有充足的经费，文部省资助文举办“生物医学工程国际研讨会”，自1983年起，这是第五次了，平均每三年举办一次。

这次会议的开法很独特。参加会议的人数不到100人，所有会上报告都是特邀的，每个报告都有40分钟，每个报告者的会议费用都由京都大学承担。本次共邀请了11人，作11篇报告，为期二天。除了11篇报告外没有其他活动。这次的十一篇报告有高分子1(美)，骨固定1(荷)，人工关节的摩擦磨损1(英)，骨模型及骨愈合1(瑞士)，骨透视1(美)，眼科材料1(德)，人工肝1(美)，复合材料1(意)，临床1(日)，种植牙1(中)和仿生材料1(中)。从这十一个题目可以看出这个会议的学科交叉的确是十分显著的。

这个小型会议开会的方式给人以十分隆重的感觉。十一个报告分别由十一位主席主持。

组织这样一个会当然要一定的经济实力作为后盾。但毕竟人很少，总起来花费不会太大，我们也可以搞得起。它对承办者在学术上的好处和国际地位的提高是很大的，我们应该尝试。

三．1995年MRS秋季会议

日期：95年11月27～12月1日

地点：波士顿

主办：美国MRS学会

美国MRS每年举办二次年会，春季在西部，秋季在波士顿，年年如此，已成惯例。我国参加这一会议的人很多，对它已有多年的认识和了解。本次会议值得一提的是：

1. 分会的数目大大增加了, 达到了34个之多。

2. 参加的人数不如全盛时多。

3. 各分会的开法很不一样, 百花齐放。

4. 文章总数有4072篇, 其中口述2282篇, 展示1790篇。这一数字包含重复的文章, 估计净篇数约为3800篇。文章较多的会有: GaN(180篇), 离子束(239篇), 相变(186篇), 高温超导(335), 多晶膜(190篇)和有机固体(184)。其次有无序材料(156), 自组装(153)和核废料(165)。有12个分会, 它们的文章各不超过100篇, 短的只36篇, 开一天半就结束。

5. 台湾积极赞助, 值得注视。

6. 奖励种类有所增加, 本次除 Von Hippel 奖之外, 尚有 Turnbull 报告奖, 研究生奖和 MRS 奖章奖。

7. 会议因分会太多, 不得不三个大旅馆同时进行: Marriott, Westin 和 Sheraton。程序复杂, 使人难以应付, 几乎不知所从。

在本届 MRS 秋季年会期间, 也召开了一次 IUMRS 的会议, 到会的人很多, 相当全, 但是是一个非正式会议, 不作出决议。但事实上, 对美国有利的就作, 不利的则不作。参加者一个个唯美国 MRS 马首是瞻。我们提了些不同的看法, 对美国的作法提了些异议, 但没什么人想动真的, 有些事到这时“木已成舟”, 再提也没什么作用了。我们递交了1999年在北京召开 IUMRS-ICAM 会议的申请, 但正式决议要等1996年秋季“正式”会议再议。

1995年三次国际会议情况汇报

李恒德

1995年我先后三次分别到西班牙、日本和美国参加国际会议。兹将会议情况作一汇报，汇报将侧重于会议的性质、组织和特色。

一、国际“离子束金属表面改性会议”，SMMIB'95

日期：95年9月4~8日

地点：西班牙圣·塞巴斯梯安

主办：西班牙中央材料工艺所

这是一个国际性的系列会议，自1975年举办以来本次已是第九届。头几届都是在欧洲召开，第五届移至加拿大(86)，第七届(90)在美国华盛顿，第八届(93)在日本金泽，第九届又到欧洲召开。它是一个专业性比较强的会，专门以离子束在非半导体方面的研究和应用为背景和主题。圈子比较小，英国哈威尔等早期致力于金属离子注入研究的一批学者在其中起有很重要的作用。他们和国际上有一批学者多年来在这一领域契而不舍地努力工作，使得这一领域得以持续不断地向前发展。这个会20年来一直坚持下来，致力于这一方面工作进展和学术上的交流。

它的运转一直是靠一个“国际委员会”来操作。这个委员会有15名左右。聘请谁或不让谁当了都由委员会开会决定。李恒德自第七届(90年)起一直担任委员。自第九届(95年)起中国又增加了柳襄怀一名委员。目前共17人。其中英2、美3、德2、日2、丹1、意1、澳1、法1、加1、西1、中2。何时何地召开下一届会议，都由委员会投票表决。

会议的规模一向不算大。本届报到人数为196人，包括了30个国家，分布状况如下(澳、非、拉美个别人之外)：

欧洲：	18个国家	138人	占70%
北美：	2个国家	21人	占11%
亚洲：	7个国家	33人	占17%

参加人最多的国家是西班牙(39), 占20%, 德国(25)、日本(21)、美国(19)、意大利(15), 其次有英国(10)、丹麦(9)、法国(8)、俄国(8)、中国(5)。可见, 这基本上是一个欧洲人为主体的会议, 而且因在西班牙开, 所以西班牙人占了20%, 不过, 亚洲也赶上来了。

文章总数为197篇, 平均参加者每人一篇。其中口述49篇占25%, 其它148篇(75%)均是墙展。中国报告共15篇, 每人平均3篇。

第九届SMMIB会议体现出对于金属离子束改性的成熟感。大胆的推论越来越少了, 代之而占主导地位的是脚踏实地的工作。基础研究不断地透露出一些值得注意或是可以试诸应用的结果。在生产上则更跨出扎实的步伐。特别是丹麦, 由于在研究、开发和生产三个环节上协调努力, 这几年把离子束技术在金属表面改性方面的应用和产业化向前大大地推进。Dynfysik从1987年开始到1994年已制造和安装了8台它所设计和生产的1090-200系列离子注入机。每台售价约为200万美元, 其中6台都是在1992--1994二年内安装的。这种注入机可以作到一机三用, 能够用计算机控制束流扫描系统和靶的三维运动, 并且可将二者联合和同步起来, 大大地消除了“直射线”的局限性而且可以增大批量, 既可以满足研究和发展的需要也能满足生产服务的需要。他们所以能作到这一点是由于西欧各国的合作开发, 同时也是丹麦科学家找到了一条正确的行之有效的路子。

和国际相比, 我国金属离子束改性工作开展的不是广的, 能发表一些小文章, 但作不到像丹麦那样的多学科合作也得不到工业界的支持。以中国之大, 没有一个单位花得起200万美元去购置一台Dfnfysik的1090-200机的, 更没有哪一个有力的部门能够起到组织、协调或领导的作用。几乎所有的工作都是自发的, 都变成几乎是个人行为, 谁能争取到一点钱就干一点。作为国家的工业、研究部门或大的单位难以体现宏观上或介观上的行为。

二. 第五届生物医学工程国际会议(The 5th intern. Symp. on Biomedical Eng)

日期: 1995年10月7~8日

地点: 日本京都

主办：日本京都大学生物工程中心

日本京都大学生物医学工程研究中心是日本独一无二，也是世界上罕见的，规模庞大，设备齐全实现医学及工程相互交叉的研究中心。这个中心是1990年正式成立，但实际上是从1978年就成立的“生物材料”中心发展起来的，已有20年的历史。

这个研究中心是日本文部省的一颗明珠，它有充足的经费，文部省资助文举办“生物医学工程国际研讨会”，自1983年起，这是第五次了，平均每三年举办一次。

这次会议的开法很独特。参加会议的人数不到100人，所有会上报告都是特邀的，每个报告都有40分钟，每个报告者的会议费用都由京都大学承担。本次共邀请了11人，作11篇报告，为期二天。除了11篇报告外没有其他活动。这次的十一篇报告有高分子1(美)，骨固定1(荷)，人工关节的摩擦磨损1(英)，骨模型及骨愈合1(瑞士)，骨透视1(美)，眼科材料1(德)，人工肝1(美)，复合材料1(意)，临床1(日)，种植牙1(中)和仿生材料1(中)。从这十一个题目可以看出这个会议的学科交叉的确是十分显著的。

这个小型会议开会的方式给人以十分隆重的感觉。十一个报告分别由十一位主席主持。

组织这样一个会当然要一定的经济实力作为后盾。但毕竟人很少，总起来花费不会太大，我们也可以搞得起。它对承办者在学术上的好处和国际地位的提高是很大的，我们应该尝试。

三. 1995年MRS秋季会议

日期：95年11月27~12月1日

地点：波士顿

主办：美国MRS学会

美国MRS每年举办二次年会，春季在西部，秋季在波士顿，年年如此，已成惯例。我国参加这一会议的人很多，对它已有多年的认识和了解。本次会议值得一提的是：

1. 分会的数目大大增加了, 达到了34个之多。

2. 参加的人数不如全盛时多。

3. 各分会的开法很不一样, 百花齐放。

4. 文章总数有4072篇, 其中口述2282篇, 展示1790篇。这一数字包含重复的文章, 估计净篇数约为3800篇。文章较多的会有: GaN(180篇), 离子束(239篇), 相变(186篇), 高温超导(335), 多晶膜(190篇)和有机固体(184)。其次有无序材料(156), 自组装(153)和核废料(165)。有12个分会, 它们的文章各不超过100篇, 短的只36篇, 开一天半就结束。

5. 台湾积极赞助, 值得注视。

6. 奖励种类有所增加, 本次除 Von Hippel 奖之外, 尚有 Turnbull 报告奖, 研究生奖和 MRS 奖章奖。

7. 会议因分会太多, 不得不三个大旅馆同时进行: Marriott, Westin 和 Sheraton。程序复杂, 使人难以应付, 几乎不知所从。

在本届 MRS 秋季年会期间, 也召开了一次 IUMRS 的会议, 到会的人很多, 相当全, 但是是一个非正式会议, 不作出决议。但事实上, 对美国有利的就作, 不利的则不作。参加者一个个唯美国 MRS 马首是瞻。我们提了些不同的看法, 对美国的作法提了些异议, 但没什么人想动真的, 有些事到这时“木已成舟”, 再提也没什么作用了。我们递交了1999年在北京召开 IUMRS-ICAM 会议的申请, 但正式决议要等1996年秋季“正式”会议再议。

国外钢铁新工艺流程的进展

武汉钢铁公司 张寿荣

当前钢铁工艺技术进步可以归纳为两大趋向：一、寻找可以代替传统工艺流程的新的钢铁工业流程；二、现有传统工艺流程的完善化，提高其竞争力。1994年4月成都会议上我所介绍的美国 Nucor 公司的薄板坯连铸工艺属于前者。

钢铁工艺技术进步两大趋向的发展以图表示。

一、钢铁工艺新流程的开发

1. 炼钢前工序工艺新流程的开发

炼钢前工序包括炼焦、烧结(或球团)和高炉。新流程的思路是将这三个工序合并成一个工序，用煤和矿石在一道工序中获得铁水——称之为熔融还原。以图说明。

国际上已有的熔融还原方法在十种以上。有代表性的有 COREX、Hismelt、DIOS、CCF、JUPITER、AISI-DOE 等(图说明)。

虽然方法很多，但真正工业化了的只有 COREX 一种。COREX 取消了焦炉，但必须使用块矿或球团矿，不能使用粉矿，没有达到取消烧结(球团)工序的目标。COREX 实际煤耗约 1000 公斤/t 铁，比高炉高得多。(图说明)单套设备生产能力不高，C1000 年产 30 万吨，C2000 年产在 64 万吨到 80 万吨(表说明)。其他方法尚未实现工业化。

2. 炼钢以后工序工艺新流程的开发

缩短炼钢以后工序工艺流程的思路是：在将铸锭与初轧开坯合并为连铸的基础上，将连铸与热轧粗轧机合并为薄板坯连铸，进一步将工艺缩短为用钢水直接浇位带钢。(用图说明)

薄板坯连铸最早开发的有 CSP、ISP 和 VAI(Conroll)。CSP 法进展快，Nucor 第一台工业化设备投产后情况较好，采用者众。ISP 与 Conroll 以及以后 TSP 现在都得到应用(用表与图说明)。

带钢铸造 Strip Casting 开发单位很多，基本上用于合金钢。第一台工业化

的设备已在新日铁开始建设，计划1997年9月投产。

连铸、薄板坯连铸、带钢连铸的比较如下：

工 艺	生产 成本	建设投资费用		中间 库存	生产 周期	管理 费用
		按绝对总额	按每吨产品			
常规钢厂(生产热轧带钢, 以此为 基础)	100	100	100	大	3周	高
薄板坯连铸 (CSP工艺)	90~ 110	27~33	45~55	无	<1周	低
带钢连铸	110~ 165	9~11	65~120	无	<1周	低

3. 对新流程目前开发情况的评价

(1) 两个热点相比，炼钢以后薄板坯连铸比较成熟。估计到2000年以前，全世界薄板坯产量将近4000万吨。

(2) 有待于进一步研究开发，如COREX煤耗高，薄板坯连铸品种质量问题。

二. 钢铁传统工艺流程的完善化

1. 炼钢以前工艺的完善化

(1) 高炉的大型化，高炉座数减少，单产提高。举数据说明。

(2) 喷煤技术大发展

大喷煤已成为大趋势，一般100kg/t铁，高者达200kg/t以上，接近于煤/焦 ≈ 1 。举例说明。

焦炉大修的到来将因PCI大发展而不成威胁。

(3) 精料技术的进步

2. 炼钢工艺完善化

(1) 质量进一步提高，新品种增加。

(2) 改进工艺、降低成本。

(3) 电炉钢比例增加。

(4) 炼钢原料的多元化。

3. 炼钢以后工艺的完善化

(1) 连铸的工艺改进

提高质量

提高拉速

(2) 热送热装、降低能耗

(3) 热轧工艺改进

板形控制；控冷技术；无头热轧技术。

以图说明千叶新建热连轧机新工艺

(4) 轧钢工艺的连续化、自动化。

(5) 新品种的开发

三. 钢铁工艺技术进步两大趋向的竞争

1. 新工艺流程的核心是工序简化，提高劳动生产率。八十年代中期，钢铁联合企业劳动生产率在500~600t/人·年。Nucor投产后劳动生产率达到了2000t/人·年(~1 man.hour/t)，成本大大低于大钢厂。但质量仍有问题，有的品种生产不出来。毕竟把大钢厂的板材市场拿走了一块。COREX法目前规模偏小，煤耗高，不可能取代传统的大高炉。

2. 在与Minimill的竞争中，大钢厂取得显著的技术进步。有的企业劳动生产率已达到1000吨/人·年以上，且品种质量优良，足以与Minimill竞争。

3. Minimill的发展，废钢供应是限制因素。废钢价上升，Minimill优势削弱。

4. 新工艺流程还存在许多问题，有待研究开发。

5. 21世纪将是传统工艺与新工艺流程并存：传统高炉与直接还原、熔融还原并存；传统连铸、热轧、薄板坯连铸与Strip Casting并存。

6. 钢铁工业是工艺技术竞争激烈的领域，我国必须急起直追。

国外超导材料现状与发展

周 廉

(西北有色金属研究院, 西安市 51 号信箱, 710016)

1986 年 J. G. Bednorz & K. M. Muller 发现氧化物高温超导体, 是最近几十年来在物理学和材料科学领域中重大突破之一。十年来, 它在全世界范围引起公众和政府的极大关注, 各国众多科学工作者参与了超导研究与发展工作, 人们期望着高温超导体发现与应用最终会给社会带来巨大的技术变革。

自超导体发现以来, 人们一直在努力寻找更高 T_c 的超导体。图 1 给出了最高 T_c 值随着年代的变化情况, 在高温超导体出现以前的 75 年间, 最高 T_c 值约以每年 0.25K 的平均速度平缓升高。而高温超导体发现以后的两年间, 超导体的转变温度就提高了约 100K。目前, 最高的 T_c 已达到 135K(HgBaCaCuO) 和 160K(HgBaCuO, 高压下)。

高温超导发展最终目标是实用化、商品化和工业化, 但是 HTS 材料发展首先遇到来自层状的晶体结构的障碍, 而导致多晶体材料存在“弱连接”, J_c 的各向异性, 缺少有效的钉扎中心, 以及影响到使用性能的不可逆线和磁通蠕变等, 但近几年来通过对材料的物理方面基础研究, 我们已经克服了这些障碍, 使 HTS 逐步达到了使用要求。

在高温超导材料制造技术方面围绕着 J_c 的提高和成材化开展了大量的研究工作, 首先在 YBCO 块材制造技术方面。取得了重要进展。目前, YBCO 体材料的 J_c 值已达到 10^5 A/cm^2 (77K, 1T)。作为磁悬浮方面的应用, 大块材料的磁浮力已达到 15 N/cm^2 (77K)。最近日本钢铁公司制备的 $\phi 80 \text{ mm}$ YBCO 块能浮起 58kg 重的物品。作为永久磁体, YBCO 块材已能捕获 3.1T(77K) 的磁场。日本的 ISTECH 中心通过控制氧分压, 成功地制备出了 $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 体材和大尺寸单

晶,其性能在某些方面优于 YBCO 超导体。

高温超导长线制备技术首先在 Bi2223 线材上获得实现。1994 年美国 ASC 公司制造了 1160 米 Bi2223 长带, J_c 值达 $1.27 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 。目前世界上几个研究发展小组, ASC, IGC, 住友等均制成多芯轧制长带, 其典型 $J_c(77\text{K}, \text{自场})$ 性能达到 $1.78 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ (ASC, 280 米), $1.05 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ (IGC, 850 米) 和 $1.77 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ (住友, 1200 米)。Bi2223 线材制成的小磁体, 在 4.2K, 20K, 77K, 自场下分别产生 4T, 3T, 0.36T 的磁场。高温氧化物超导体的 J_c 特性及应用范围如图 2 所示。图 3 为 Bi 系带材 J_c 随长度的变化, 图 4 为高温超导磁体的应用。

最近 HTS 材料制备技术的主要突破是在柔性镍基带上, 用离子束辅助沉积技术, 沉积一层 YSZ 作为隔离层, 然后用 PLD 激光技术把 Y-123 沉积在 YSZ 上, 得到外延 YBCO 厚膜 ($1 \sim 2 \mu\text{m}$)。1995 年, 美国 Los Alamos 实验室采用这种技术, 制备的 YBCO 厚膜 J_c 达 10^5 A/cm^2 (77K, 5T, $H \perp$ 带表面), 从而开创了一条制备在液氮温区下使用的线材的道路。美国橡树岭实验室采用 LABiTS 技术在双轴取向银基带上, 获得 J_c 值为 $2 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$, 0T, $1.5 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$, 1T, 77K。同时, 日本的 Fujikura Ltd, 住友电气电子集团, Freyhart 小组等也正发展这种方法, 并获得了很好的结果。Fujikura 小组最近制取了 0.8m 的 YBCO 长带, 其 J_c 达 $1.7 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ (77K, 0T)。目前在美国、日本同时在采用 MOCVD 方法制取 YBCO 长带, 日本的 Fujikura Ltd 采用 MOCVD 制备的 16cm YBCO 带的 J_c 达到 $2.1 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ (77K, 0T)。由于 MOCVD 方法生产效率高, 如果与 RABiTS (轧制辅助双轴织构) 技术结合起来有可能成为一种制备 YBCO 带材的有效方法。

自 1994 年以来, 高温超导的应用获得了许多主要进展, 其中包括, 电流引线 (2000A), 500KVA 变压器, 200hp 的马达, 50M 的输电线, 用于 1GHz NMR 的 25T 超导磁体, 故障限流器等。高温超导 SQUID 已有商品出售, 超导电子学器件在微波、通信方面的应用已获得明显进展。

总之, 十年来高温超导的研究与发展获得重要进展, 可以说过去十年是超导材料科学发展的十年, 人们预计未来十年是开拓应用和市场的十年, 预计到 2020 年世界超导产业可达 1220 亿美元的销售额。因此, 超导材料的发展给人们带来了巨大的机遇和严峻的挑战。