

新的高温超导体的发现是超导研究发展史上划时代的突破。尽管遇到一些困难,但从当前超导研究的情况看,无疑一直在取得稳定的进步。一旦高温超导技术应用取得决定性突破,其影响将会波及工程技术、计算机、能源、军事、医学、地球物理探矿技术、地震预测技术、精密仪器乃至一些基础学科(如生物磁学、强磁场下物性等)的发展。

一、依靠实验技术进步获取对高温超导体更准确、细致的信息

除继续探索具有更高超导转变温度的超导材料外,制造高质量并具有足够大小的单晶,是提高现已发现的高温超导材料性能复现程度和测定可靠的实验数据的基础,而掌握材料的准确性能也是发展实用技术的前提。同时,倘若实验家无法取得一致的细致结果,也就无法说理论上究竟是否有了进步。新近,由于对高温超导材料晶体化学性质认识的进步,人们已在实验可靠性上取得进展。1990年日本东京大学研究小组给出世界上第一张以原子分辨率表现的高温超导材料 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ 处于超导态下的 STM 照片,STM 表示的是扫描隧道显微术,日本把这新技术扩展到低温下工作,从而能研究高温超导材料的超导态,并成为在研究高温超导体的特定原子位或层固体电子结构问题的直接的有力工具。这项研究直接显示出 Bi 原子层的皱折以及以 2.7nm 为周期的沿晶体 b 轴调制结构;它以扫描隧道谱(STS)表明 $(\text{BiO})_2$ 层为半导体性,具有约 0.1eV 的半导体隙;它也直接表明对超导起作用的是铜氧层,并测出其超导能隙 2Δ , 得出 $2\Delta/k_B T_C = 3.6$ (k_B 为玻耳兹曼常数),接近于 BCS 理论值。这项新技术引入于高温超导研究,初步澄清了令人困惑的问题。

近一年来,对高温超导的角分辨光电发射谱研究迈出了一大步。先后对 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ 及 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_7$ 等作了细致研究。主要成果是肯定了这些系统中费米面的存在,对系统中发生金属非金属相变提出了光谱上的证据,甚至不经模型计算直接测出超导能隙值。理论战线上目前激烈争论的问题之一是:对于高温氧化物超导材料作为强关联系统,能否用费米液体概念描写其载流子系统?一派认为高温氧化物超导体的正常态仍然基本上是通常费米液体,虽然具有强关联效应,能带理论对其电子结构的

描写仍有意义。另一派以安德森为代表,认为高温氧化物超导材料应具有完全不同的基态和元激发谱。这一争论还将继续,不管结局如何,都会对固体物理学中长期居于唯一统治地位的费米液体概念提出挑战甚至有所突破或发展。因而,即使从基础物理战线上看,光电发射谱的结果也是令人关注的。在倒光电发射、共振光电发射、正电子湮灭以及光电导研究上也都有类似工作,这些实验的初步迹象至少表明:不基于费米液体描写的理论是可疑的。然而还需要对谱结果作深入过细的分析以及对不同分析之间进行交锋。我国在这方面的相对薄弱。

二、高温超导电子学技术攻坚有望

经过四年的艰苦努力,在高温超导电子技术方面已在元件、器件方面取得不小进展。高 T_C SQUID 已显示出接近于低温超导 SQUID 的性能,于 77K 温度下工作的 SQUID 前景的实现是肯定的,但目前尚有问题需解决。有人预计在 1991 年底之前,基于高温超导材料的红外探测器将在市场出现,乐观的估计还认为高温超导磁强计会有样品问世。高温超导电子技术产品一经问世,其技术上的影响自不待言。因此,在高温超导电子技术上目前各国竞争激烈,进展细节多不发表。总的看来处于攻坚阶段。

在高温超导电子技术方面的主要问题有:衬底、缓冲层(或称过渡层)、薄膜合成、加工、做超导结、元件、器件及产品等问题。广为尝试的衬底已有 SrTiO_3 , MgO , YSZ , LaAlO_3 , 蓝宝石和 Si。使用时需加缓冲层才能使薄膜质地优良。在衬底与膜材料的晶格匹配、无化学反应、光滑、牢固、无孪晶、低损耗、热胀系数差、大面积以及价廉等一系列指标上,当前各种衬底各有千秋。使用哪种衬底达到生产要求已提到 1991 年研究日程。在薄膜合成技术方面要求薄膜合成过程中技术处理简单、产品性能可靠而所需设备低廉。目前,已有新的薄膜合成。如 1990 年 9 月美国 MIT 报道用 MOD 制作高质量超导薄膜, metal organic deposition。因为掌握薄膜合成技术是超导电子技术的基础,务求极度细致又富有创造性以期生产上能用;还因为与过去的低温超导材料薄膜相比,高温超导材料的各向异性使人们在膜的制作上遇到新问题,必须掌握取向控制技术。

由于高温超导材料的超导相干长度小,使制造高温超导材料结遇到新困难。结中夹一层正常金属(如 Ag)以利用邻近效应是克服这困难的途径之一。另外,已有迹象显示,晶粒间界可加以利用作为提供超导弱连接的一种自然途径。人们正在针对高温超导材料的特点创造性地发展新的制结技术。



章立源

在材料选择上,目前用的最多的是钇、钡、铜、氧材料。日本用 Bi 系或掺铅的 Bi 系材料较多。由于铯蒸汽问题,很少有人应用 Tl 系高温超导材料膜。另外,由于铋氧钡铜高温超导材料是各向同性的,所以在发展商用产品上也有开发的潜力。

总之,用于高温氧化物超导材料的超导电子技术正在稳步发展,许多环节进展速度较快,1991 年可望有某些产品问世。

三、高临界参数超导材料研制稳步发展

制取高 J_c (临界电流密度) 的高温氧化物超导实用线材有些进展, 引用新技术以增进 J_c 值得关注。YBa₂Cu₃O_{7-x} 单晶的临界电流密度,于 77K 和 1 特斯拉下 ($H//c$) 于 $a-b$ 面内约为 $(0.5-1.0) \times 10^4 A/cm^2$ 的量级。用快中子 ($>1MeV$) 辐照高质量晶体, J_c 急剧增加,可达 $J_c(77K, 0.9Tesla) = 6 \times 10^4 A/cm^2$, 可与薄膜情况相比。用质子 ($\sim 3.5MeV$) 辐照晶体亦得 $J_c \sim 2 \times 10^4 A/cm^2$ ($T = 77K, H = 1 Tesla$)。1990 年日本 Oota 等人报道制成功覆盖银层的 BPSCCO 超导带材,厚 0.15mm, 77K 下的 $J_c = 5400 A/cm^2$ (零场)。这方面的工艺技术及钉扎机理研究会继续发展。

在材料制备过程中细致的工艺技术,适当引入新技术处理是重要的。另外,也要注意材料的选择。例如 YBa₂Cu₃O₇ (简称 123) 材料, $T_c \sim 80K$, 它的最大优势在于对氧含的稳定性,也允许作覆金属的复合线; 1990 年 R. S. Liu 等人报道一种过程,获得块体 J_c 达 $1.3 \times 10^7 A/cm^2$ ($T = 6K, H = 1Tesla$)。

1990 年 9 月日本日立研究所称,已制成以钒代铜的高温超导材料,其起始超导转变温度约 160K。据说是在高温氢中把由铯、钒和铷组成的氧化物烧结制成,但尚未见到论文。从总趋势估计,在继续大幅度提高超导转变温度方面上,接连出现“爆炸性”新闻的阶段暂告中止,取而代之的是为达到技术可用产品的深入努力。

四、高温超导理论战线要倾听实验的呼声

四年来高温超导理论推出了大量的新模式。一个理论是否有价值应看它是否与实际相吻合。由于实验技术的进步,现已使许多实验结果减小了各研究集团的分散性,这就逐步出现了细致倾听实验呼声的条件。预计今后新模式的提出会有所减少,而理论家与实验家结合探讨问题的趋势将加强。前述光电发射谱的新实验结果,对研究 Anderson 的理论会有帮助。1990 年日本 Sugai 等人在深入细致研究 BaPb_{1-x}Bi_xO₃ 及 Ba_xK_{1-x}BiO₃ 的喇曼谱时,用实验给予证实。在这些高温氧化物超导系统中有巡游电子态和局域电子态共存,且后者形成双极化子形式。笔者曾于 1987 年初提

出: 高温超导电性起源于巡游电子与局域双极化子的相互作用的模型。Sugai 引用了笔者论文,从喇曼谱提出了支持的论据。这种交流是有益的。

新近的一个热门话题是高温超导的 Anyon 模型。在二维情况下,当两粒子交换时,波函数可变更一任意复相因子 $e^{i\theta}$ (当它为 $+1, -1$ 时则为玻色或费米统计)。由于两粒子交换可给出任意相因子, Wilczek 提出 Anyon 的名称, Anyons 服从的统计叫分数统计。Laughlin 提出高温超导为 Anyons 气体超导的模型。实验家也正在作实验检查其理论结果,今后陆续会有报道。

五、重费米子超导电性研究再出高潮

常把 $\gamma > 400 mJ/mol \cdot K^2$ 时的物质系统称为重费米子系统 (γ 为电子比热系数), 这比一般材料 γ 值大 1—2 个数量级。CeAl₃, YbCu_{4.5}, CeCu, UCd₁₁, U₂Zn₁₇, NpBe₁₃, UPt₃, UBe₁₃, CeCu₂Si₂ 等均为重费米子系统, 后三者还是超导体, 称为重费米子超导体。由于 γ 与 $N(E_F)$ (费米能处的态密度) 成正比, 而 $N(E_F)$ 又与电子有效质量成正比(按自由电子模型), 所以大 γ 值就意味着电子有效质量大, 因而称为重费米子系统。在高温氧化物超导体发现前的几年间, 重费米子超导电性为热门课题, 甚至有专门国际会议讨论。1986 年以后暂为高温超导电浪潮淹没 1990 年第 19 届国际低温物理大会在英国布莱顿召开, 此次会上重费米子系统方面的论文达到论文总数的 7.4%。近年在这领域陆续发现了引人注目的新现象。

以重费米子超导体 UPt₃ 为例, 它于 0.5K 以下处于超导态。仔细研究发现, 低磁场下于超导转变附近有比热的“双跳跃”; 多数人认为存在着两个超导转变点 T_{c1} 和 T_{c2} , 两者相隔约 60mK, 因而预期有两个低场稳定的超导相。当再由电阻率、超声衰减等手段探测反常时, 在 $H-T$ (H 为磁场强度) 平面上, 由比热、电阻率及超声衰减探测所划分的相边界在定性上彼此一致, 显示出有正常相及不只是一个超导相。然而在定量上则相边界有分歧, 实验工作尚须深入探索。至关重要的一点是目前人们对上述可能存在的两超导相的机制尚无明确认识。这也就吸引了理论工作者去探讨。人们期待着揭开这丰富的不同超导态之谜。1991 年肯定会就此进行新的努力。

六、有机超导体的研究战场不容忽视

1980 年发现了第一批有机超导体, 其 T_c 小于 1K。然而有机超导从未被人遗忘。因为一个很自然的问题是: 生物体内存在着超导电性吗? 这是个引人入胜迟早要给出答案的问题。另外, 有机材料的优势在于种类繁多, 把其氢键、碳键改变一下就是新材料, 加工也较容易。只要人类能在这点上有所突破, 那接踵而

她给我插上奋飞的翅膀

南京大学物理系 黄先荣

夜,静极了。南大校园里,灯火通明,象往常一样,做完了功课、预习之后,又翻阅我生活中的伴侣——《现代物理知识》,仿佛只身在北京正负电子对撞机实验大厅里,聆听王淦昌、张文裕、赵忠尧、朱洪元教授给我讲解物理新发现……。

我是一个物理系四年级学生,平时学了不少系统的物理知识,但对许多高深物理知识究竟有什么用,心中总感到迷惑,甚至怀疑现代物理是否陷入繁杂的数学推理之中,变成脱离实际的抽象理论学科。读了《现代物理知识》,对现代物理学的进展与应用有所了解,使我眼界顿开;它介绍的各种新奇的物理思想、实验和重大发现,使我惊叹不已,激起了我对学物理、用物理的强烈兴趣,心中所有的疑虑也烟消云散了。

学校不是真空。随着各种思潮的冲击,在我周围有不少人感到读书无用,学物理更无出路。我自己也

曾受这股厌学风的影响。自从我阅读《现代物理知识》后,这种影响渐渐消除了。我深深被她所介绍的众多科学家的无私、奉献、进取的精神所感动。她教会我们怎样成才、怎样做人;她激励我不辞万苦去登攀科学高峰;她加深了我对物理重要意义与作用的认识,并愿为之献身。是阿,通过阅读《现》,使我明白:社会的进步,国家的强盛,哪一方面不凝结着现代物理知识的应用?实现“四化”,离开物理岂不是纸上谈兵?《现》为我们介绍了物理知识广阔的应用前景,难道能说物理无用、学物理没出路?那么多科学工作者为了探索科学的奥秘,无私地奉献着自己的青春、甚至毕生精力,他们何曾想到、顾到自己的名利、幸福、出路?但他们对社会的贡献却为科技发展、社会进步做了永不磨灭的贡献,使后人世代代记住他们,受他们的益,这不叫出路,还有什么别的出路?

国家的强盛需要我们有雄厚扎实的科学知识,而《现》给我插上了奋飞的翅膀,为我们指明了学物理的远大前途。我已决定做一名《现》的忠实读者,我相信它能增长我们知识面,帮助我了解物理进展的方向,掌握科学工作的方法,提高科学探索的能力,从而使自己具有高尚的人格、远大的志向和一丝不苟的科学态度。愿《现代物理知识》给我更大的帮助!

来的规模必然大大超过目前高温氧化物超导材料。

1990年的纪录是(BEDT-TTF)₂X这一类中,当X为Cu[N(CN)₂]Br时,超导转变温度为12K。请注意,这已达到七十年代高温氧化物超导体Ba(Pb, Bi)O₃的 T_c 水平了!而且十年来,有机超导 T_c 上升的速度已超过了1986年以前,自1911到1986期间平均每年 T_c 提高的速度,(这75年间, T_c 自4.2K提高到23.2K);最后,人们还发现有机超导体与高温氧化物超导体之间有许多相似之处,如高温氧化物超导材料中Cu-O相互作用起本质作用,而有机超导体(BEDT-TTF)-(BEDT-TTF)之间的相互作用很重要。

从以上诸点,可看出绝不能忽视有机超导体这一战场。它在一定的稳定进展点会产生突破。

七、用 SQUID 探测生物磁场的超导技术日臻完善

人的心磁图是1963年由G. M. Baule和R. McFee首次得到,而较为完美的心磁图则是在1970年由D. Cohen, E. Edelsack和J. E. Zimmerman首先应用SQUID测得的。这工作开辟了一个新研究领域,它不仅是有关人体生理学的基础研究,而且近几年来日益显示出它的临床应用的潜力。

研究生物磁信号规律的学科就叫生物磁学。SQUID超导磁强计灵敏度极高,可分辨约 10^{-11} 高斯

的微弱磁信号。人类心磁图最大幅值为 10^{-6} 高斯,肺磁为 10^{-7} — 10^{-6} 高斯,受激脑皮质活动磁水平为 10^{-7} 高斯,胎儿心磁图约在 10^{-8} 高斯水平,显然这些磁信号均在SQUID可查觉的限度之内,而无其它仪器可以替代。这就是利用超导量子干涉仪(SQUID)研究生物磁这一学科突飞猛进的原因。90年代要完成和完善测量生物磁信号仪器,使单沟道SQUID系统发展成为多沟道磁强计装置。1990年芬兰赫尔辛基大学与美国IBM合作制作了24沟道神经磁场梯度计以作脑磁照相术用,还可以研究在某种刺激下大脑皮层反应区的定域,面积。其空间分辨率为1—2毫米,时态分辨优于1毫秒,可测出所测生物体部位的磁场分布。在测量时无须移动杜瓦即可一次定出刺激反应的脑区。此技术在90年代肯定会趋于成熟。

本刊首次突破万份大关

[本刊讯]据科学出版社有关部门获悉,本刊1991年第1期发行量已突破万份大关,达10015份,比1990年同期增长55.93%。这一结果来之不易,是与各级领导的支持、关心、帮助分不开的,是与各地的编委、兼编、通讯员、发行员的努力分不开的。编辑部全体工作人员向他们表示深深地谢意!