

文章编号:1000-582X(2002)08-0142-03

超导理论与应用研究的最新进展

林德华, 佟存柱, 张杰, 毋志民

(重庆大学数理学院应用科学与技术系, 重庆 400044)

摘要:介绍了超导理论与应用研究近况,特别是2001年的最新进展。在高温超导体微观机理的新认识方面,已有证据显示,在高温超导体中存在很强的电子-声子耦合作用;在新型超导材料探索方面,主要有二硼化镁(MgB_2),有机聚合物(P3HT),碳60等。超导材料具有现实和潜在的良好应用前景,特别是在能源、电力、交通、微波通信、计算机、医学和各种检测器等领域。

关键词:超导电性;微观机理;超导应用

中图分类号:O511

文献标识码:A

目前超导理论与应用研究的前沿工作有:进一步提高超导临界温度 T_c ,争取实现室温超导;同时探索新型的超导材料。探索高温超导的微观机理,进一步建立统一的微观理论。改善已有超导材料和器件的性能,努力使之实用化。

1 国际发展状况

1.1 高温超导微观机理的探索

通常认为,在1985年以前发现的工作在液氮温区(4.2 K)的超导材料称为低温超导体;在1986年以后发现的工作在液氮温区(77 K)的超导材料称为高温超导体。1957年发表的BCS理论认为,低温超导电性源于电子通过声子相互吸引形成库珀电子对,使材料处于超导状态。1986年后发现的高温超导电性,则不能用BCS理论来解释,它的微观机制与声子无关,至今还未发现一个公认的高温超导微观理论。东京大学和斯坦福大学的科学家在2001年的英国《自然》杂志上发表的研究成果^[1]中称,已经通过实验找到了声子与高温超导电性有关的直接证据。这一新发现推翻了认为声子与高温超导电性无关的定论;这一新理论不但能解释低温超导电性,同时也能有效的解释高温超导的微观机理,为建立统一的超导微观理论向前迈出了可喜的一步,同时也为寻找新型的超导材料提供了有益的启示和线索。

1.2 二硼化镁(MgB_2)超导电性的发现和硼元素超导特性的探索

日本科学家很偶然地发现,一种很普通的金属化合物二硼化镁(MgB_2)在39 K时,具有很好的超导电性,它是迄今发现的临界温度最高、性质特别稳定的一种二元超导材料。过去发现的 T_c 最高的二元化合物是铌三锗 $GeNb_3$, $T_c = 23.2$ K。 MgB_2 超导电性的发现为研制低成本、高性能的超导材料开辟了新路。2001年1月日本青山学院理工系固体物理教授秋光纯宣布,他将纯度为99.9%的镁粉与纯度为99%的无定形硼粉按1:2的比例混合,压制成小球后在高压 N_2 气中加热,得到二硼化镁,它的 T_c 已超过了BCS理论所预言 T_c 的上限。这一新发现已发表在今年3月出版的英国《自然》杂志上^[2]。专家普遍认为二硼化镁是一种常见的廉价化合物,性质稳定,成分简单,这些优点是复杂昂贵的铜氧化物超导材料所不能相比的。如果能够通过掺杂大幅度提高其 T_c ,二硼化镁将极有可能成为廉价、实用的新型超导材料。 MgB_2 优良的超导电性引起人们对硼元素自身超导特性的关注,最近美国华盛顿 Carnegie 研究所的 R·Hemley 教授发现^[3],在高压条件下硼元素具有超导电性,它的 T_c 为6 K,与其它轻元素的 T_c 相比,相对是较高的,因此它将成为寻找新型超导材料的重要目标之一。

重庆大学数理学院研究生张杰在中国科学院物理研究所的帮助下,测量了常压和高压合成 MgB_2 超导样品6k-80k的比热^[4],并在数据拟合中考虑了爱因斯坦振动模的贡献,得到了电子比热数据,解释了超声

• 收稿日期:2002-04-20

作者简介:林德华(1945-),男,江苏人,重庆大学副教授。主要从事低温和超导的研究。

测量得到的德拜温度和低温比热拟合结果之间的巨大差异,并且在12 K附近观察到了,异常的电子比热,此异常来源于 MgB_2 的第2个能隙,此外,对高压和常压合成对样品的影响做了初步分析。

1.3 有机聚合物(P3HT)超导材料的发现

今年3月,美国朗讯科技公司贝尔实验室的科学家发现,一种有机聚合物在低温下表现出超导电性,这是人们首次发现有机聚合物能够成为超导材料,贝尔实验室的这些科学家在英国《自然》杂志上撰文说^[5],他们利用有机聚合物——聚3己基噻吩(P3HT)的溶液,研制出结构有规则的P3HT薄膜,在绝对温度2.35 K时,具有超导电性,尽管它的 T_c 相当低,但是这个发现的科学意义是不可低估的。它意味着有机聚合物材料导电性的可调整范围比人们原先认为的更广阔,不仅能作绝缘体、导体,还有希望在超导领域一展“身手”。

1.4 C-60的高温超导电性

最近美国科学家发现,由60个碳原子组成的俗称“布基球”的碳分子具有高温超导特性。科学家认为,借助这一发现可能研制出新的超速计算机。美国朗讯科技公司贝尔实验室的科学家发现,当碳“布基球”分子与2种有机化合物氯仿和溴仿结合在一起,冷却至大约117 K时具有超导电性,这项成果已在美国《科学》杂志上发表^[6]。科学家认为,“布基球”的这种新特性,使它可能制成未来超高速计算机的关键元件,实现超导转变,电阻损耗几乎可以降至为零,从而使计算速度有极大的提高,而“布基球”的成本远低于铜氧化物高温超导体,因此应用前景看好。

1.5 超导产业规模迅猛扩大

在前不久召开的第13届国际超导研讨会期间,日本超导技术研究所所长、著名科学家田中昭二认为,超导应用研究近年来发展迅速,在电力、运输和通信等国家基础设施方面应用的可能性正在增大,到2005年至2010年,超导产业规模将会迅猛扩大。田中首先指出,超导滤波器正迅速普及,随着无线通信,特别是移动电话的发展,频带的有效利用正成为重要课题,超导滤波器由于在选择频率方面具有优良的性能而得到广泛应用,目前全世界已有近千个地面站采用了这种超导装置。在谈到线材制造技术的发展时,田中认为,第一代超导线材——铋氧化物线材已达到商业化水平。例如,长度超过1 000 m、厚0.25 mm、宽4 mm的质量均匀能够通过大电流的线材,目前已开始大批量生产;东京电力公司还试制成功长度100 m、3相、66 kV的超导电缆;日本中部电力公司和富士库拉公司成功开发

出高性能的超导电缆,其交流损耗仅为铜制电缆的1/300。这2家公司开发的超导电缆是由3层铋系超导薄膜状线材绞绞而成,内层与外层相互交错形成带状,用它包裹芯材成为超导电缆。这种“积层转移结构”可以避免电流偏流现象产生的高电阻,因此大大减少了交流损耗,其每米长度的交流损耗仅为0.1 W,比欧美国家开发的最高性能的超导电缆还少一半。此外日本通产省工业技术院正在加紧研究开发高性能的超导电缆、超导变压器、超导限流器和超导蓄电装置等,预计5年左右达到目标。目前各国都在积极开发第二代超导线材——钇系列线材,其中含钇的YBCO(钇铋铜氧)和含铋的NBCO(铋铋铜氧)这2种线材,由于有优良的磁场特性,将来有可能成为超导线材的主流。

还有2种最有前途的电子元件:其一是超导量子干涉器件(也称SQUID),其二是单一磁通量子元件。前者能够测量极弱的磁性,可达 10^{-16} T,因而可以用在医学和材料的无损检测等方面,后者具有运算速度快,耗能少等优异特性,有望作为新的信号处理元件。

1.6 新型超导集成块

12月出版的美国《电气电子工程师学会分析》杂志报道,美研究人员研制出一种新型的超导集成电路,它的时钟频率能够达到100吉(1吉= 10^9 Hz),新设计的这种“高速单通道量子”逻辑电路采用的是低温超导材料铌,工作温度需要液氦环境。

2 国内新进展

2.1 世界第一台高温超导磁悬浮试验列车

2001年5月19日,西南交大在自己的试验场将世界上第1台高温超导磁悬浮载人实验车“世纪号”,正式向前来的嘉宾和师生员工开放并让他们乘坐,整个车身漂浮在轨道上方,平稳性能令人惊奇,可惜实验轨道只有20多米长,车速提不起来。该实验车后来在北京展览时,国家主席江泽民同时也作为交大的校友亲自乘坐了“世纪号”,并表示赞赏。磁悬浮原理基于超导的完全抗磁性效应。

2.2 大面积双面超导薄膜材料及通信应用

北京有色金属总院研制成功的大面积双面钇钡铜氧超导薄膜材料,面积达2 000 cm^2 ,今年6月初正式通过评审验收,其材料性能达到国际同类材料的先进水平,填补了国内的一项空白,大大推进了我国超导技术的实用化进程。高温超导薄膜具有优异的电性能指标和极低的微波表面电阻,且易于集成。用这种薄膜材料制备的微波器件,具有插入损耗小,能耗低,体积小和重量轻等优点,以这种材料为关键材料的移动通信

子系统将成为新一代通信工程的升级产品。

令现代人惶恐的手机辐射将遇到一个新的克星——超导薄膜。若用北京有色金属院研制的超导薄膜,可使现有的手机地面基站接收距离增长 1 倍,手机功率降低一半也可正常使用,相应的手机辐射也就大大降低。

2.3 铋系超导线材

今年 4 月中旬,清华大学应用超导研究中心研制成功了长度为 340 m 的铋系高温超导线材,创下了国内高温超导导线的最长纪录。这种新材料损耗小,制成的器件体积小,重量轻,效率高,可广泛用于民用和国防领域,对中国国民经济和国防建设具有重大的战略意义。

2.4 纳米超导线

今年 7 月初,香港科技大学正式宣布,成功地开发出全球最细的纳米超导线。这种超导线实际上就是直径只有 0.4 纳米的单壁纳米碳管,在绝对温度 15 K 以下出现特殊的微超导电性,这种首次开发出的纳米超导线,还有许多性质尚待进一步研究开发。

3 结 论

上述介绍仅是超导理论与应用研究的部分最新进展,但已使我们感到深受鼓舞。事实上,超导电性是物

质很普遍的特性之一,这种特性已经在多种物质结构中发现。超导的零电阻性、完全抗磁性以及超导电子对电波的长程相干性、磁通量子化等特性,为我们的基础研究和实用化进程提供了越来越广阔的舞台。

参考文献:

- [1] LANZARA A, BOGDANOV P V, Zhou X J. Evidence for ubiquitous strong electron - phonon coupling in high - temperature superconductors[J]. Nature, 2001, (8): 412, 510 - 514.
- [2] NAGAMATSU J, NAGAMATSU, NAKAGAWA N. Superconductivity at 39 K in magnesium diboride[J]. Nature, 2001(3): 410, 63 - 64.
- [3] EREMETS M I, STRUZHNIKIN V V, MAO H. Superconductivity in Boron[J]. Science, 2001, (7): 272 - 274.
- [4] 张杰, 雒建林, 白海洋, 等. 常压和高压合成 MgB_2 的低温比热及两个超导能隙研究[J]. 物理学报, 2002, 51(2): 342 - 346.
- [5] JEROME D, BECHGAARD KLAUS. Condensed - matter physics: Superconducting plastic[J]. Nature, 2001, (3): 410, 162 - 163.
- [6] SCHÖN J H., KLOC C, BATLOGG B. High - Temperature Superconductivity in Lattice - Expanded C60 [J]. Science, 2001, 293: 2 432 - 2 434.

New Progress of Research on Theory and Application of Superconductivity

Lin De - hua, Dong Cun - zhu, Zhang Jie, Wu Zhi - min

(Department of Applied Science and Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This article introduces new progress of research on theory and application of superconductivity, especially for year 2001. In reconsidering superconductive microscopic mechanism, the evidence shows to exist for strong electron-phonon coupling in high-temperature superconductors. In exploring new superconductive materials, there mainly are MgB_2 , P3HT and C60, etc. superconductive applications outlook both practical and potential seem good, especially, such as energy resource, electric force, microwave telecommunication, computer, medical cave and various detectors, etc.

Key words: superconductivity; microscopic mechanism; superconductive application

(责任编辑 成孝义)