



超导与军事

郑成君 南秀华

(石家庄军械工程学院 050003)

20世纪末是一个大动荡、大变化的时代,它的时代特点集中表现为战略格局的重新组合和高科技的迅猛发展,促进世界各国纷纷调整自己的军事战备和国家发展战略.因此,我们每个公民,特别是每个现代军人,都面临着一个如何认识高科技、学习高科技、使用高科技的重要任务.超导技术是当代科技研究最新的、站在最前面的、最富有成就的高科技之一.超导技术的基础是寻找超导材料,并把它们应用于工程技术的各个领域,这是一个具有极其应用前景的广阔领域.

一、超导体的特性与物理机理

实验证明,在一般温度下,金属的电阻同温度有线性关系,温度升高则电阻线性地增加,当温度降低时,则电阻线性地减少.1911年,荷兰科学家昂尼斯(Onnes)在研究低温固体汞(Hg)的电阻,发现汞的电阻在4.2K时,突然降到近于零的值.人们把在一定温度物质出现电阻完全消失的现象称为超导现象.这类物质称超导体,物质由正常状态转变为超导状态(零电阻状态)的温度称为临界温度.到目前为止,已发现的超导材料有28种金属、900多种合金与500多种化合物.

超导体具有以下三种特性:

零电阻效应

某物质在临界温度时,电阻消失的现象,就是零电阻效应.但是临界温度与物质种类有关,不同的超导体临界温度是不同的.同一物质有无外磁场的影响也是不同的.当物质在外磁场作用时,某临界温度要比没有磁场作用时要低.因此,随磁场的增强,临界温度将降低.只有外磁场小于某一量值时,物质才保持超导

体的零电阻效应.这一磁场值称为临界磁场值 H_c .

如果外加磁场比临界磁场 H_c 强,那么,物质的超导电性(或零电阻效应)就不存在了.利用这一特性,可以通过磁场的变化,来控制正常态和超导态的相互转变.

如果将磁场通过金属环,再将环的温度降低到临界温度 T_c 之下,当将磁场撤去,在环中就因磁场变化而产生感应电流,只要温度继续维持在临界温度,这个感应电流亦将持续地在环里流过.这一现象也是超导体的一种特性,称为无阻的流动.也就是说在超导体内部的电场为零.

迈斯纳效应

1933年迈斯纳(Meissner)在实验中发现了下述事实:光把在临界温度以上的锡和铅样品放入磁场中,这时样品内有磁场存在;当他维持磁场不变而降低样品的温度转变为超导体后,结果,其内部也就没有磁场了.这说明,在转变过程中,在超导体表面产生了电流,这电流在其内部产生的磁场完全抵消了原来的磁场,也就是说磁力线不能穿过超导体物质内部,也就是所谓的迈斯纳效应.这一效应表明,超导体具有绝对的抗磁性.

约瑟夫逊效应

1962年,约瑟夫逊(B. D. Josephson)发现,在两块超导体中间夹一薄的绝缘层就形成了一个约瑟夫逊结.

按经典理论,两种超导材料之间的绝缘层是禁止电子通过的,这是因为绝缘层内的电势比超导体中的电势低得多,对电子的运动形成了一个高的“势垒”,绝缘体的电子能量不足以

使它自己爬过这势垒。所以,宏观上没有电流通过。但是量子力学原理指出,即使对于相当高的势垒,能量小的电子也能穿过,好像势垒下边有隧道似的,这种电子通过超导体的约瑟夫逊结中势垒隧道而形成的超导电流的现象,叫做约瑟夫逊效应,也叫做超导隧道效应。

如果绝缘层两端外加电压为零,可以存在一个稳定的超导电流,这便是直流的约瑟夫逊效应。如果绝缘层两端存在一个稳定的电压时,会出现一个高变的超导电流,它的频率 f 多同所加电压 V 成正比,它们满足的关系式:

$$f = 2eV/h$$

h 为普朗克常数,这就是约瑟夫逊交流效应。约瑟夫逊效应的发现,可以应用超导体的这一量子特性作成最灵敏的探测磁场变化的器件。

超导电性是一种宏观量子现象,只有依据量子力学才能给予正确的微观解释。巴丁(Bardeen)、库柏(Cooper)和施莱费(Schrieffer)提出一个微观理论,成功地解释了超导电性,这个理论称为BCS理论,即超导电性的物理机理。

根据这一理论,产生超导现象的关键在于在超导体中电子形成了电子对,叫“库柏对”。金属中的电子不是十分自由的,它们通过点阵离子而发生相互作用。每个电子的负电荷却要吸引晶格离子的正电荷。因此,邻近的离子要向电子微微靠拢,这些微微聚拢的正电荷又反过来吸引其他电子,总效果是一个自由电子对另一个自由电子产生了小的吸引力。在室温下,这种吸引力是非常小的,不会引起任何效果,但当温度降到接近绝对零度时,这吸引力就大得足以使两个电子永久结合成对而形成“库柏对”。

库柏对的两个电子间相距约为 10^4 \AA 的量级,库柏对结合松散,不断形成,也经常解体,互相穿插,形成一个稳定有序的大集体。这时物质进入超导态。在超导态中,电子对是集体起作用的。按经典电子论,用电子和点阵离子的碰撞来解释电阻的形成,根据量力论,晶格中运动着的电子应看作电子波,电阻是电子波遭受

散射形成的,在超导状态下,大量库柏对形成稳定的库柏对系统,在有电流的超导体中,每一个电子对都有一总动量,这总动量与电流方向相反,因而能传送电荷,电子对通过晶格运动时不受阻力。这是因为当电子对中一个电子受晶格散射而改变其动量时,另一个电子对也同时要受到晶格的散射而发生相反的动量改变,结果这电子对的总动量不变。所以晶格既不能减慢也不能加快电子对的运动,这在宏观上就表现为超导体对电流的电阻是零。

二、超导体在军事上的应用

从超导体零电阻效应、迈斯纳效应、约瑟夫逊效应出发,发展了超导体强磁技术和弱磁技术两个应用分支。从而使超导技术在工业、能源、电力、医疗、科研以及军事等方面获得广泛的应用,现主要介绍超导技术在军事方面的应用。

超导量子干涉器(SQUID)是约瑟夫逊效应的一个重要应用,超导量子干涉器是包含一个或二个弱连接结的超导环。弱连接结是两超导体之间有某种可以交换的电子对的微弱联系体系。由于电子对的相干结果,即超导体间出现了宏观的量子干涉效应,用超导量子干涉器制成的强磁针可以探测微弱的磁场和磁场变化,分辨率可达 10^{-15} T 。因此,弱磁针可用于反潜,在海岸线或岛屿基地上的SQUID磁测台站,可以通过对地磁场的监测,并与基地监测手段配合,可以探测潜水艇的活动情况。

SQUID系统可以构成灵敏的低频信号接受机,这在海军低频通讯中具有重要意义。当信号频率降低时,电磁波在海水中的穿透深度增大。利用SQUID作高灵敏度低噪声放大器,与一个用超导线构成的环形天线相联接,就可以构成一个比常规系统体积小、灵敏度高的低频通讯接受机,该接收机可用于航海中的潜艇。

在军事预警领域中,利用约瑟夫逊结做成的超导开关对红外辐射的敏感性可以制成红外探测器,其灵敏度达 $4.2 \times 10^{-11} - 4.2 \times 10^{-12} \text{ J/s}$,此探测器可以探测处于自由飞行阶段的洲际弹道导弹,也可以用于反卫星系统,根据微弱红外辐射确定来犯敌方卫星的位置。

超导计算机是用约瑟夫逊对冷子管作为开关元件,并用单结和 SQUID 制作逻辑和存储电路. 超导计算机具有计算速度快、体积小、功能低、使用方便等优点,其计算速度比目前最先进的半导体计算机快 10—100 倍,而且信息存储量也大为增加,它用于机载预警雷达系统.

数百年来,海军舰艇动力始终未摆脱笨重螺旋桨推进部分,航速无重大突破. 70 年代以来,各国积极开展超导技术在海军舰艇方面的应用研究,并已初见成效. 用超导电磁力推进装置,代替螺旋桨推进部件,使超导舰艇具有结构简单、推力大、航速快、无震动、无噪声、造价低等优点,降低红外辐射,不易被敌发现,从而大大提高了自我生存的能力和快速机动突防能力.

大功率的战略激光武器,不但耗能大,而且笨重. 而超导激光武器,其储存的磁能可无损耗地长期保存,并能随时把强大的能量提供出来,使激光武器机动灵活,随时对敌实施攻击.

目前,航天飞机的发射是由多级巨型运载火箭来完成的. 1990 年,日本研制了一种新型的常温超导材料,是迄今世界上磁悬浮力最强的超导材料. 它不仅可用于制造高速磁悬浮列车,也可以用于发射航天飞机. 用于发射航天飞机的超导磁悬浮发射装置,是一条 3500 米的水平导轨,终端与 200 米高的垂直轨道相连接,形成 90 度的陡坡. 发射时,庞大的航天飞机在磁悬浮力的作用下,沿水平方向前进并逐渐加

速,到达水平终端,又高速垂直向上飞行,即可升空. 采用超导磁悬浮发射装置可成倍减轻航天飞机的重量,增加有效载荷,且推力大、速度高,安全可靠,耗能少,可以重复使用,大量节约经费.

超导技术还可用于超导电磁炮、超导雷达天线、超导接收机、超导卫星、超导离子速武器等等. 可见超导技术的发展前景是极其诱人的,超导技术在未来高科技条件下的战争中,将起到巨大的作用.

超导技术如此重要,但是值得注意的问题是:低温超导实现起来难度大,成本高,难以投入应用,所以超导现象发现十几年来,科学家一直寻求在较高温度下,具有超导电性的材料. 1973 年发现铌三锗薄膜临界温度 $T_c = 23.4\text{K}$,1986 年 4 月美国 IBM 公司的缪勒和柏诺兹博士宣布钡铜氧化物在 35K 时出现超导现象,1987 年超导材料研究出现了划时代的进展. 1987 年初,华裔美籍科学家朱经武、吴茂昂宣布制成了临界温度为 98K 的钡铋铜氧超导材料. 我国物理学家赵忠贤等,同时找到了临界温度 T_c 高于 90K 的钡铋铜氧超导材料. 目前,我国在高温超导材料研制处于世界的先进行列,具体成果有:新研制的铋铅铋钙铜氧超导体临界温度,已达到 132K 和 164K. 这些材料的超导机制,也不能用 BCS 理论解释,中国科学家在超导理论方面正做着开创性的工作.

科苑快讯

超铀缺中子核素镅-235 在我国合成

最近,中国科学院近代物理研究所的一个实验小组,利用中国科学院高能物理所质子直线加速器提供的 35 兆电子伏的质子轰击铀-238 靶,使用氦喷嘴及毛细管传输技术收集反应产物,再用快速化学分离法除去裂变碎片,终于将镅从剩余产物中分离出来,制成样品进行测量. 通过对近百个样品的测量分析,确认镅

-235 (^{235}Am) 合成成功,并测出它的半寿命为 15 ± 5 分钟.

我国科学家在 90 年代初首次合成新核素,迄今已经填补了核素图上的 8 项空白,其中 6 个核素在重质量丰中子区,只有这次合成的原子序数为 95 的镅-235 处在超铀缺中子区.

(孔登明 供稿)

现代物理知识