

高 T_c 超导量子干涉器及其应用¹⁾

戴 远 东

(北京大学物理系, 北京 100871)

本文简述了超导量子干涉器的基本用途,高 T_c 超导量子干涉器的研究现状,探讨了高 T_c 超导量子干涉器在我国可能最早实现实用化的优先领域,对我国高 T_c 超导量子干涉器研究和应用工作的计划安排提出了一些设想。

超导量子干涉器(SQUID)是利用超导体的宏观量子相干性和超导约瑟夫森效应制成的灵敏度极高的磁敏感器件。用它制作的超导磁强计和各种电磁测量仪器有广泛的用途,如用于地质与地球物理(大地磁测及古地磁研究等)、

温、高密度和宽能区等为其主要特征,在这种极端条件下,材料的各种性质及其运动过程都将表现出独特的规律。例如,物态方程研究感兴趣的范围很广,压力从几十吉帕到几十太帕,温度 10^2-10^7K ,压缩比从略小于 1 到几十。核物理研究感兴趣的内容有 $1-15\text{MeV}$ 中子核反应的次级中子能谱与角分布, $1\text{eV}-20\text{MeV}$ 入射中子能量与裂变产物产额的关系,轻核间的聚变反应,激发核和不稳定同位素的中子截面等。等离子体物理研究感兴趣的主要是高温、高密度等离子体等。上述这一类核武器物理设计中所需的知识积累和有用参数是难以全部从相关学科的现有公开发表资料中得到的,因为这类课题或者是由于尚未被核武器研究机构之外工作的专家所重视,或者是由于他们得不到相应的条件支持,或者是由于保密的原因。换句话说,核武器研制所需的相当部分的知识基础和数据需要通过核武器研制部门的专题规划和专题研究工作去解决。为此,核武器研制机构必须建立起能再现这些极端条件的实验场地和设备(最重要的有反应堆、爆炸试验场、强流加速器和闪光 X 光机、巨型计算机、压缩气体炮、高功率激光装置等),组织起一支专业背景极不相

物理、生物医学(肺磁、脑磁、心磁及神经磁学等)、军事科学(潜艇探测及水下通信)、计量科学及信息科学等方面的研究。

1) 本文为作者在“八五期间超导战略目标汇报会”上的报告,内容略有删改。

同的科技队伍,在理论研究、实验研究和计算机数值仿真研究方面,进行有相当广度和深度的合作研究和协同攻关工作。

在本文行将结束之际,我们愿意再讲几句话:核武器研制事业来自国家安全需求的推动,它的发展依赖于物理学有关学科的发展;反过来看,核武器的深入研究又可为相关学科的发展注入新的活力,例如,近年来对 X 射线、激光、非平衡现象和冲击波固体化学等方面的研究推动等。

核武器研制事业的每一个进步,又是经济建设和技术进步的催化力量。军事与经济、技术的这种相容性,已为无数事实所说明,处理好了,就可兼而得之。例如,从当前的情况可以设想,它可能在推动下列高、新技术领域的工程与技术进步中起重要作用:

- (1) 能源工程与技术(如聚变-裂变混合堆、激光惯性约束聚变发电和石油开采等);
- (2) 材料科学与工程(如辐射改性、冲击波改性、新材料合成、难熔和陶瓷材料成型技术等);
- (3) 巨型计算机和大规模科学计算方法;
- (4) 强激光工程及技术等。

高 T_c SQUID 的应用技术难度较小,投资不大,易见成效。超导专家委员会和国家超导技术联合研究中心认为,近期内选取高 T_c SQUID 作为高 T_c 超导体实用化的重点是合适的。

一、低 T_c 超导量子干涉器现状

自 1973 年美国加州 Devel 公司(后来成为有名的 SHE 公司)推出首批商用低 T_c SQUID 以来,世界上已有几家公司售出商品 SQUID 五百多台投入使用(这还不包括许多实验室自己研制的 SQUID)。它们大量用作实验室的精密测量仪器,其次用得较多的是生物医学磁测系统。低 T_c SQUID 在大地磁测中已实用化,只是由于低温液氮技术的复杂性使野外使用很不方便,因而未大量推广。在军事方面的应用(如机载和海岸的反潜监测及水下通信等)尚无确切资料,但作为有潜在军事用途的尖端技术,目前 SQUID 仍被列入对我国的禁运清单中。

国内低 T_c SQUID 实验室试制工作已经完成。但与发达国家相比,我国使用液氮有特殊困难。我国氦气价格十分昂贵,限制了液氮的广泛使用,这又在很大程度上影响了使用低 T_c 超导技术(包括 SQUID)的积极性。由于用户不多,使得与 SQUID 配套的二次仪表和其他相关技术的研究不能满足要求,因而 SQUID 一直未能达到商品整机水平,未形成正式产品。

我国几个单位曾进口六套 SQUID 仪器,其中地质矿产部门引进两套,中法青藏地质研究队使用的 SQUID 地磁磁力仪曾以很高的效率采集到许多极有价值的宝贵资料。

二、高 T_c 超导量子干涉器研究进展

高 T_c 超导体发现以后,人们很快研制出工作在液氮温度的高 T_c SQUID。目前用高 T_c 超导薄膜制备的直流 SQUID 在液氮温度下的灵敏度已达到商品低 T_c 射频 SQUID 的水

平。作为实际使用的精密磁测仪器,SQUID 的应用很广。对于某些应用领域(如生物磁学),应用高 T_c SQUID 所需的配套技术——高 T_c 超导磁通变换器技术还未解决,但也有一些领域目前应用高 T_c SQUID 并无明显的技术障碍。

我国高 T_c SQUID 的研制工作是与国外同时起步的。目前用高 T_c 薄膜制作的直流 SQUID 的性能指标与国外最高水平相比还差一点,但用块材料制作的射频 SQUID 与国外先进水平一致,在液氮温度下的灵敏度已能够满足某些应用(例如大地磁测)的要求。

三、目前我国高 T_c 超导技术实用化的重点

高 T_c 超导体在大电流传输、超导磁体等电工上的应用虽然十分吸引人,但高温超导体载流能力的改进和成材工艺的发展还需经过长期努力,而且这方面的实际应用所需投资也很大。从技术难度和投资水平来看,人们普遍认为高温超导技术的应用首先是在超导电子学领域,包括 SQUID、超导微波器件和微电子技术(低温 CMOS 电路的超导连线)等。

我们选取了 SQUID 作为近期我国高 T_c 超导技术应用的 重点,是因为我国在低 T_c SQUID 的研制方面已有相当基础,国内实际应用部门也有较高积极性。特别是地质矿产部门已有使用低 T_c SQUID 的经验,只是由于液氮技术的复杂性和价格昂贵而不能广泛使用。目前大地磁测用感应探头,由于感应探头频带较窄,全频段测量至少要用两套,每套三只(三分量)共六只,而每只长约 1.2m,直径为 0.8m,重量约为 300kg。若用高 T_c 三分量 SQUID,只需将一套很小的探头放入一个几十斤重半米长的液氮容器内就行了,这大大方便了野外工作。野外使用液氮也很方便。虽然对于高 T_c SQUID 的正式使用还存在一些相关技术问题,但立足于国内不难解决,而且所需投资不大。我们认为,抓高 T_c SQUID 的应用既符合中国国

用于超低损耗光纤通信化合物半导体材料

——IV-VI族半导体材料

史智盛 陈伟立 宋航 付义

(中国科学院长春物理研究所, 长春 130021)

本文综述了可用于超低损耗光纤通信的2—4 μm IV-VI族铅盐化合物半导体材料的最新进展及作者在此方面的一些工作。

随着红外光纤及激光器件制作工艺的不断改进,低损耗的光纤通信可望成为现实。理论预言的硫化物及氟化物玻璃光纤的最低损耗为 10^{-2} — 10^{-3} dB/km,波长范围在3.5—4.5 μm 附近,目前已达到的最低损耗为0.9dB/km(2.55 μm)^[1]。在2—2.5 μm 范围内,III-V族化合物半导体材料已取得了较好的进展^[2]。但在大于3 μm 的波段,从商业化实用工艺角度来说,IV-VI族铅盐化合物半导体材料是唯一可使用的材料^[3]。由于IV-VI族铅盐化合物半导体的材料体系多样化,而且具有激光谱线极窄和易调谐等优点,目前已越来越受到人们的重视。近年来IV-VI族化合物半导体器件及材料已取得了令人瞩目的进展。激光器已能在174K(4.4 μm)下连续工作,280K下脉冲工作(3.8 μm)^[4],最短工作波长已达2.6 μm ,这使得它在未来中远红外通信系统中将起主要作用。图1为IV-VI族铅盐化合物半导体材料的波长覆盖范围。

早期的IV-VI族材料如PbTe, PbSe等激光波长皆大于4 μm ,为使禁带宽度增加而研制的PbCdS材料取得了一定的成功,其最短工作波长可达2.5 μm ,但由于欧姆接触电极制作的三分量高 T_c SQUID地磁磁力仪,在野外试验成功后,生产几台样机供实地使用。如果野外定点使用这一技术取得成功,可进一步发展长距离(几百km)多点差分地磁测量,这对沙漠地区勘探石油等矿藏有重要意义。

在推动高 T_c SQUID研制的同时,我们已注意到研制工作和实际应用的结合,并作了具体的安排。1989年底,我们组织了两个小组开始进行高 T_c SQUID大地磁测试验。初步试验结果令人鼓舞。

国外的低 T_c SQUID已大量用于实验室精密测量中。研制实验室用高 T_c SQUID对于推动高 T_c SQUID技术的发展和具有重要应用意义。我国在抓好大地磁测的同时也要研制几种实验室精密测量仪器,但不宜面宽,在实验室研究的基础上,先小批量试制磁化率计、岩石磁力仪等,打破国外禁运,满足国内需要。在高 T_c 超导磁通变换器研究成功以后,可研制在生物医学上有重大价值的高 T_c SQUID生物磁力仪。

SQUID作为测量仪器使用时,往往需要某些特殊的配套技术,例如大地磁测和生物磁研究需要无磁性的玻璃钢液氮容器,生物磁研究和许多实验室测量仪器需要超导磁通变换器和超导磁屏蔽等。我们选取大地磁测作为高 T_c SQUID应用重点,技术上遇到的问题和所需要的配套技术较易解决,在大地磁测中所用磁通变换器技术困难较小,所需无磁玻璃钢液氮容器国内也能解决。我们设想第一步是完成定点