

# 我院磁学和磁性材料研究的若干进展

赵 见 高

(物理研究所)

**〔摘要〕** 本文论述了现代磁学和磁性材料发展的若干特点,并围绕我院物理研究所磁学开放研究实验室所做的工作,阐述了中国科学院磁学研究水平及在国内和国际的地位。文中还对如何提高我院磁学和磁性材料研究水平提出了建议。

## 一、引 言

现代物质文明离不开电气化、自动化和信息化,而磁学和磁性材料在其中起着重要的作用。从电的产生、输送到各种应用,甚至整个电力工业都与磁性材料有密切的关系。铁芯材料的不断完善促进了电力工业的发展。在自动控制过程中不可缺少的各类敏感材料和微电机,常常离不开磁性材料。作为信息时代的重要标志——计算机的出现和发展,一直是与磁记录材料和器件的发展紧密相连的。磁鼓、磁芯、磁带、硬磁盘、软磁盘、磁记录头、磁光盘、磁泡存贮器等所用磁记录材料的研究,已经形成成为磁学研究中的一个重要领域。在现代通讯中,无论是有线还是无线通讯,也都离不开磁性功能器件。磁学和磁性材料的任何新进展都会给社会带来新的进步。因此,每个发达国家对这方面的研究和应用都十分重视。有些国家专门建有国家级磁学实验室,如:美国麻省理工学院的美国磁体实验室,法国国家科学研究中心的奈耳磁学研究实验室等,它们对世界的磁学发展都作出过重大的贡献

## 二、现代磁学和磁性材料发展的特点

经过千余年,特别是近 300 年的快速发展,磁学已经形成了从基础到应用,从理论到实验都相当完整的体系。从近 10 年来磁学的研究趋势看,有以下一些特点。

### 1. 磁学研究的对象逐步向极端情形逼近

无序系统磁性研究,就是对原子结构或自旋结构趋于极端无规的样品进行研究。当以每秒一百万度以上的冷却速率对汽态或液态合金淬火时,就可以获得原子结构拓扑无序的非晶态金属,或是仅有旋转对称性而缺乏平移对称性的准晶态金属。对自旋取向无序的“自旋玻璃”的研究,使物理学家、生物物理学家及神经网络计算机专家都能从中得到启发和借鉴。目前,日益活跃的磁性超微粒子、磁性超薄膜及磁性超晶格的研究,则将样品向准零维、二维等极端情况发展。这时样品的尺寸效应、表面和介面效应、量子效应都成了主要研究内容。

### 2. 磁学研究手段向极端条件发展

譬如极强、极弱的磁场,极低的温度,极高的压强等等。磁场强度从螺线管的  $10^{-2}$  特斯拉、

普通电磁铁的 1—3 特斯拉和超导磁体的 5—15 特斯拉发展到准静态脉冲强场 40—60 特斯拉, 动态脉冲强场 150 特斯拉乃至超导场与脉冲场相结合而产生的数百特斯拉的强磁场。这些强磁场均已在磁学研究中发挥作用, 并发现了若干新现象。譬如: 由反铁磁相到铁磁相的相变、铁磁体的一级磁相变等等。相反的极端则是极弱的磁场, 当然这时就必需彻底屏蔽约  $10^{-5}$  特斯拉的地磁场的干扰。在这一极端条件下, 对生物磁性的研究将会有特殊的帮助, 因为脑磁、心磁、肺磁等生物磁的强度仅在  $10^{-8}$ — $10^{-13}$  特斯拉左右, 没有相应的极弱磁场将无法开展研究工作。磁学研究的温度范围也在向低温或极低温发展, 特别是对磁性比热、重费米子磁性和磁性混合价系统的研究更是如此。即使一般的内禀磁性研究也都离不开液氦条件。至于高压强或超高压强下的磁性研究和相变研究, 目前虽还不普遍, 但也发现了一些有趣的现象。随着实验技术的发展, 这一极端条件也将会发挥出更大的作用。

### 3. 磁学正向边缘学科发展

基本粒子的磁性, 特别是对磁单极子的探测已不仅是基本粒子学家和磁学家关心的问题; 天体物理研究中高达  $10^{8-9}$  特斯拉的中子星表面磁场、太阳黑子、木星磁场异常等现象也都成为有广泛兴趣的课题; 与地球物理及岩石学相联系的大陆岩石圈深部磁性岩石的研究, 在区域航磁及磁卫星观测、地震及能源矿产预测等方面都有重要价值; 生物磁学已愈来愈引起人类的关注; 对纯有机铁磁性的研究已在化学界和磁学界得到高度的重视。

即使在物理学范围内, 磁与其它分支学科的交叉也日益加强。除研究历史已较长的磁光效应、磁电效应、磁热效应、磁致伸缩等以外, 近来对磁有序与超导的共存、铁磁铁电共存、铁磁性透光材料、磁声效应等也有不少研究。

### 4. 磁性材料的研究特点

各类磁性材料的研究都有很强的应用背景, 与生产密切相关。因此不少人甚至认为磁性材料乃至磁学都可以归入工程类或材料科学类, 而不是归入物理类。磁性材料的发展不断出现突破, 一次又一次地引起科学界和企业界的震惊。譬如: 50 年代铁氧体的出现, 相继促进了硬磁、软磁、特别是微波磁学的全面发展; 70 年代非晶态磁性研究的快速发展, 对软磁, 特别是变压器铁芯等行业产生了冲击; 硬磁材料又称永磁材料, 几乎每十年都要上一新台阶。特别是 1984 年铁基的新永磁体——钕铁硼的出现, 在我国改革开放的机遇中更得到充分的发展, 引起国内外的特别注意; 磁存贮介质的改进使存贮密度不断提高, 这对计算机的迅速更新换代起了极大的促进作用。所有这些事实都使人们对磁学这一古老的学科刮目相看, 密切注视着它可能焕发出来的又一次青春活力。

由于磁学和磁性材料研究有着不同的特点, 因此在组织和发展该领域的工作时需注意采用不同的方法。磁性材料研究常有明确的应用背景, 研究成果可直接转化为工业生产, 对国民经济产生影响。因此, 建立适当规模的中间试验基地, 以加快这种转化过程就显得特别重要。过去我院的许多成果因没有中试基地, 往往从实验室直接推广到工厂, 为此走了不少弯路。目前尚没有较好的磁性材料的中试力量, 需要注意组织充实。基于磁学的基础研究向交叉领域发展的趋势, 组织不同学科的科学家的联合研究, 则最能发挥科学院的优势。开放研究实验室正是组织集体联合研究的最好形式。而保证研究中所需要的极端条件以及样品制备等条件, 则是跟踪国际先进水平, 做出创造性成果所必不可少的前提。

### 三、我院磁学和磁性材料研究

我国对现代磁学的研究起步较晚。我院物理研究所原所长施汝为先生 20 年代在叶企孙教授的指导下, 开始了中国国内最早的近代磁学研究。1934 年施汝为在美国以“铁钴单晶体的磁性”的论文获得博士学位后, 回国即任中央研究院物理研究所研究员, 建立了中国第一个近代磁学研究实验室。中华人民共和国成立后, 施汝为和潘孝硕先生又在中国科学院应用物理研究所(1958 年改为物理研究所)建立了磁学研究组(室)。在开展磁学研究的同时, 为全国培养了几代磁学研究和教学骨干。院内相继在上海冶金研究所和沈阳金属研究所也建立了磁学和磁性材料的研究队伍。经过最近 20 年的努力, 我院已具有一支人员素质较高的研究队伍, 并拥有一批先进的研究设备, 成为国家唯一的磁学领域的开放研究实验室, 被全国磁学界称之为中国磁学基础研究和应用基础研究的基地, 新磁性材料诞生的摇篮, 学术活动的中心, 中外磁学工作者联系的桥梁, 培养青年磁学人才的场所。近年来取得不少国际先进水平的成果。现将部分重要研究进展举例分述如下:

#### 1. 有机物的磁性

过去人们从未设想过由碳、氢、氧、氮四种元素组成的纯有机体会存在强磁性, 但在有机导体、有机光学材料等研究取得很大进展的推动下, 有机铁磁体的研究也日益受到国际学术界的重视。这一研究如果获得成功, 不仅对铁磁学中磁矩来源、交换作用等基本问题提出挑战, 而且会对生物磁性及磁对生物体的影响等问题给出有说服力的解释。从材料应用的角度看, 根据有机材料具有绝缘、质轻、易设计合成等特点, 将会在微波通讯、隐身材料、航天材料等特殊场合获得应用, 特别是与有机导线、有机开关、有机逻辑元件这些已研制成功的有机材料相配合, 可以在分子水平上制成磁存储器件, 对计算机的发展将是一次革命。

在国际上对有机铁磁体是否确实存在还有争议的情况下, 我院对此作了有效的研究。不仅重复了国外的工作, 而且研制出几种新的有机铁磁体, 测出其磁滞回线以排除顺磁性的可能, 确证了铁磁性的存在。进一步又通过与聚合物和单体的比较, 氮氧自由基逐步被取代时磁性的相应下降等多种途径, 论证了铁磁性确实来自有机成份氮氧自由基, 排除了国际上对铁污染的疑虑。我院还研制出厘米量级的小分子氮氧自由基铁磁单晶体, 对深入研究有机铁磁性创造了极好的条件。

#### 2. 稀土合金的永磁性

稀土合金永磁性的研究在 20 多年中一直是国际磁学界的热门课题之一。然而所获得的磁体都含有元素钴, 由于钴资源紧缺, 必须另找出路。1970 年曾提出以铁代钴的思想, 我们从非晶态研究着手作了大量实验。自 1984 年国际上研制成功钕铁硼永磁体, 成为当年 10 大科技新闻之一后, 由于我院有坚实的基础研究的积累, 因而仅用几个月时间就研制成功并立即推广至工厂, 产生了经济效益。现在我国已成为世界上钕铁硼第三生产大国, 我院在国内又处于领先水平。在此基础上我们继续组织了碳和氮掺杂的稀土永磁体的新探索。目前作出近似单相的钕铁氮材料, 内禀矫顽力高达 1 万 6 千奥, 并以电子态计算、中子衍射等手段对这类新材料作出高水平的工作, 同时还发现了潜力更大的新材料类型, 为此在 1991 年的国际磁学会议上我们应邀做了学术报告。

### 3. 磁信息存贮材料

磁信息存贮材料是磁性材料中极重要的一大类。在与生产直接挂勾的磁记录粉研究中,我院对国家高质量磁记录粉的生产提供了丰富的研究数据和有效指导。对下一代存贮方法和存贮介质的探索则始终是我们的研究重点。

磁光盘具有极高的信息存贮密度,无机械接触,使用可靠。近年来已有非晶膜的磁光软盘问世,未来几年内磁光盘将会占磁存贮材料市场的 60% 左右。然而目前研究、使用的磁光盘介质的磁光偏转角仅 0.4—0.7 度,温度稳定性也不好。我们基于认真的调研和过去工作的积累,大胆探索了锰铋基材料,在适当的掺杂下全面提高了性能。如磁光偏转角可达 2.0—2.5 度,比以前提高了近 5 倍,晶粒尺度却下降了近 10 倍,大大提高了信噪比,还克服了高温相引起的温度稳定性差的缺点。我们的研究成果受到国外学术界和企业界的重视,认为很有希望成为第二代磁光盘材料。这一成果在几个国家都获得了专利权。

除了磁光存贮介质的研究外,近年来对布洛赫线存贮方案的研究倍受重视。这是基于磁泡存贮的研究而发展出来的新存贮方案。磁泡操作中有时失灵的原因来自所谓“硬泡”,其来源是畴壁中存在垂直布洛赫线的微结构。我们在工艺上进行了改进,很快就解决了这一问题。而且我们对布洛赫线的物理问题作了认真的研究,还掌握了重复产生和消灭各种软泡和硬泡的规律和实验手段。当国际上有人提出以布洛赫线为存贮单元,从而将存贮密度提高近百倍的新方案后,我们的研究积累就立即使我国进入了该领域的先进行列。我们首先对布洛赫线形成和解体的温度关系作了系统的研究,得到若干对布洛赫线存贮器研制有指导意义的结果,譬如使用温度上限、温度稳定性、提高温度特性的途径等。另外,我们还研究了磁泡畴壁及布洛赫线的形成规律,发现了区别“软泡”和“硬泡”的内在特征,从而对这种按“软”“硬”来分类的方法提出了新的改进和更有物理内涵的见解,并据此提出了布洛赫存贮器存贮容量极限的估算方法。我们实验室的这些研究对布洛赫线存贮器研究的发展起了较大的推动作用。为此,磁学的国际学术刊物在发行第 100 卷纪念刊中,邀请我院有关专家就此课题撰写了综述。

### 4. 亚稳态磁性材料

利用特殊的工艺手段获得通常得不到的亚稳态材料,是探索新材料的一个重要途径。70 年代中,我院在国内最早开展快速冷却亚稳态合金的研究,大大促进了我国非晶态合金研究和生产的步伐。80 年代,我们又从事了稀土亚稳态合金的研究,使我院能在钕铁硼永磁体刚刚出世时就以最快的速度进入国际先进行列。近年来,我们对富铁区稀土硼三元系作了系统的亚稳相研究,发现铁硼基亚稳合金可具有优良的永磁性。另外对钴铝亚稳相等也作了仔细的研究,这些结果有可能在研制塑料磁体中获得应用,并得到了国内外同行的极大重视。

上面仅围绕磁学开放研究实验室的部分工作略作介绍,以说明我院磁学研究水平及在国际国内的地位,并对进一步提高我院磁学和磁性材料研究水平提出若干个人的粗浅看法。相信经过各有关方面的不断努力,我院的磁学和磁性材料研究一定会继续对国际学术界作出更大的贡献,在国民经济发展中发挥更大的作用。