

## 信息存储时代的物理英雄

——记 2007 年诺贝尔物理学奖获得者阿尔贝·费尔和彼得·格伦贝格



彼得·格伦贝格  
(Peter Grünberg)

阿尔贝·费尔  
(Albert Fert)

2007 年 12 月 10 日,法国物理学家阿尔贝·费尔(Albert Fert)和德国物理学家彼得·格伦贝格(Peter Grünberg)分别获得了一枚印着蓝白红标志的 2007 年诺贝尔物理奖章。他们各自独立发现的巨磁阻效应(giant magnetoresistance, GMR),导致了具有海量存储硬盘技术的出现,从而引发了一场信息存储技术的革命,给我们的生活带来了极大的便利:用 MP3 聆听音乐,拿数码相机记录生活,甚至能够让我们十分轻松地将一个“图书馆”随身携带。

本刊编辑通过电子邮件向两位获奖科学家表示了祝贺,并采访了格伦贝格博士。另外还通过与两位著名科学家有过接触的物理学同行了解了这两位科学家在生活和研究经历中一些鲜为人知的细节,在此一并整理发表,以飨读者,期望能够对我国的物理学者们有所启发。

### 广泛的爱好、幸福的家庭

今年的两位诺贝尔物理学奖得主,不仅在科学道路上“英雄所见略同”,先后独立地发现了巨磁电阻效应,而且两人在生活喜好等方面,也有诸多惊人的相似之处,比如他们都十分着迷音乐和体育,各自都拥有一个幸福美满的家庭。

阿尔贝·费尔于 1938 年出生在法国西南部的城市卡尔卡松。由于父亲参加了第二次世界大战,费尔是在乡村祖父的家中度过他的童年的。祖父是一

位小学老师,40 岁的那年,因为不满并揭露社会制度的黑暗而愤然辞职。年幼的费尔一直十分依恋祖父,并深受其正直、坚强等性格的影响。从少年时代开始,费尔开始沉迷于橄榄球。那时,橄榄球正风行于整个法国。他对自己在 Domec 球场与 1'ASC 球队的 13 人橄榄球比赛,至今还记忆犹新。如今,他还常常十分自豪地告诉别人,他在图卢兹打了 20 年的 15 人橄榄球,并且打开放的一半或三分之一线!

17 岁那年费尔参加了高考,虽然数学和物理的成绩都很不错,但他似乎更加喜欢文学。在图卢兹上高中的时候,他甚至还参加了拉丁语和希腊语的考试。事实上,他曾参加过两次高考,选择的专业分别是文学和科学。19 岁那年,由于数学成绩优秀,费尔进入巴黎高等师范学校的大学预科班。1962 年,费尔在巴黎高等师范学院获得数学和物理硕士学位。他决定像自己的父亲和哥哥一样,把物理学当作他的终身职业。

除了钟情于物理学的研究,费尔还热爱摄影、电影和爵士乐。他的这些爱好也影响和延伸到了自己的子女身上。儿子 Bruno 成为摄影家,获得过世界记者奖。女儿 Ariane 是一位电影编剧,写过电影《速去迟归》(Pars vite et reviens tard)等剧本。

彼得·格伦贝格 1939 年出生于今属捷克的皮尔森(Pilsen)。1946 年移民至德国黑森州的劳特巴赫(Lauterbach),并且在那儿一直呆到高中毕业。格伦贝格与费尔一样喜欢音乐。费尔最喜欢的乐手是美国爵士乐钢琴家塞罗尼斯·蒙克,而格伦贝格似乎对古典音乐更加痴迷,而且他还是一名吉他爱好者。当笔者问他:“正是有了您的发现才导致了 MP3 的出现。我想知道,您现在在用 MP3 欣赏音乐的时候,是否有一种特别的感觉呢?”格伦贝格回答道:“我确实是一名音乐爱好者,并且常常从网上下载从广播中听到的好听的音乐。但是,当我在家享受这些的时候,我感受到的只有音乐本身,而不是我的发现。”

除了音乐之外,格伦贝格酷爱体育活动,他几十年如一日,每天都是骑着自行车穿行于被厚厚的森林包裹着的尤利希研究中心。另外他还擅长滑雪,尤

其十分痴迷乒乓球,甚至会专程开车去别的城市看乒乓球比赛。他经常与来自中国的研究人员切磋乒乓球的技艺。或许正是由于喜爱乒乓球的缘故,他与很多中国人有着来往,甚至中午到研究中心的食堂吃饭时,也会不时地与食堂里的中国大厨聊上几句。他在尤利希小镇的两处房产的房客也都是中国人。

1966年,格伦贝格与 Helma 结婚,养育了3个孩子。他的妻子 Helma 也在尤利希研究中心工作。1999—2003年,Helma 曾是尤利希研究中心国际俱乐部负责人,主要负责安置来自不同文化背景的外国访问学者家庭,帮助他们尽快地适应德国的生活和工作。

当笔者请他谈谈家庭对事业的影响时,他回答说:“我的家庭对我的工作给予了巨大的支持。我对我的妻子和三个子女对我从事的工作的理解充满了感激。我希望,即将到来的圣诞节期间,我们全家能够好好地花些时间来享受一下。”

## “好奇心导致的发现”并非出自偶然

两位不同国籍的科学家,费尔和格伦贝格沿着不同的轨迹,共同登上了同一座科学高峰—发现了巨磁电阻效应。尽管两位科学家取得一生中最重要的发现的历程不尽相同,但有一点毋庸置疑:这项新效应的发现还得益于20世纪70年代末发展起来的材料制备新技术—超晶格材料制备。超晶格的出现是材料科学发展中的一个重要里程碑,也是物理学发展史中的一个重要事件。这种新材料制备的意义不仅在于生产出新的人为可控制的材料,更重要的还在于这些材料中陆续发现一些新效应和性质。实现巨磁电阻效应的材料,其薄层结构只能有几个原子层的厚度。在纳米尺度范围内操纵原子技术的发展,确实都帮了他们两位“英雄”的大忙。

在磁场作用下,磁性金属内部电子自旋方向发生改变而导致电阻改变的现象,被称为磁阻效应。这种效应,早在1857年就被英国的开尔文勋爵发现。不过,这种改变的幅度并不大,通常只在1%到2%之间。很长的一段时间里,人们还不知道可以通过制造足够薄的金属磁性多层薄膜来利用这些特性。因此,在巨磁电阻效应被发现之前,存储数据所需要的磁场要保持一定的强度,数据点不能做的太小,磁盘容量也受到很大限制。

到了20世纪70年代,在铁磁性金属和非铁磁性金属组成的磁性超晶格中,由于发现了新的自旋

波模式,磁阻反常变化等现象,引起了人们广泛的兴趣。磁性超晶格不仅在其基础研究方面,而且在应用方面显示出广阔的前景,使得科学家们首先开始深入了解这种效应的基本原理:在由磁性材料和非磁性材料间组成的纳米多层膜中,特别是两种材料接触的表面,电子沿相反方向旋转,在外来磁场的作用下,电子会大大增加电流穿越“三明治”层的阻力。而且磁场的方向会影响到不同自旋方向的电子在导体中运动的能力。于是,制造出纳米尺度的“三明治”膜层便成为了实现巨磁效应的关键。正是在这些认识的基础上,费尔和格伦贝格向前迈出了超越前人的的一大步!

1969年,格伦贝格在德国达姆施塔特工业大学获得博士学位。从1972年开始,格伦贝格一直担任德国尤利希研究中心固体问题研究所的教授,从事铁磁性金属薄膜上表面和界面的磁有序状态方面的研究。1985年,格伦贝格去美国著名的阿贡国家实验室学术休假。休假即将结束时,他脑海中突然冒出用铁/铬/铁金属膜片做成“三明治”薄膜样品的念头。于是,他立刻找到该实验室的技术人员 H. Sowers。格伦贝格随机地选择了铬的厚度,让 H. Sowers 将铬膜片置入两个铁膜片之间,用分子束外延方法制备成了几块不同的纳米尺度的“三明治”薄膜样品。休假结束回国的时候,格伦贝格将做好的几块样品也随身带回了德国。1986年,他在自己的实验室里用激光布里渊散射方法测试这些样品。在测量具有不同非磁性层厚度的 Fe/Cr/Fe 双层薄膜的布里渊散射时发现,随着铬膜片厚度的变化,上下两层铁的磁矩可以平行排列(铁磁耦合),也可以反平行排列(反铁磁耦合)。后来,格伦贝格在其中的一块铬层厚度为  $8\text{\AA}$  的反铁磁耦合样品中观测到6%的磁电阻变化,这一结果比一般的磁电阻效应要大好几倍。正因为当初发现这块样品奇异的物理性能,而做深入的机理与应用研究,20年后,它最终帮助格伦贝格获得了诺贝尔物理学奖!

诺贝尔奖评审委员会在宣布物理奖时说,这是一次“好奇心导致的发现”。笔者好奇地问格伦贝格:“您是不是也认为这一重要的发现是偶然取得的呢?”他回答说:“1988年巨磁电阻效应的发现不是偶然的现象。自从1986年发现了反铁磁耦合现象后,我们就开始着手寻找能够改变磁场电阻的材料。真正让我们感到惊讶的是巨磁电阻效应的强度。”

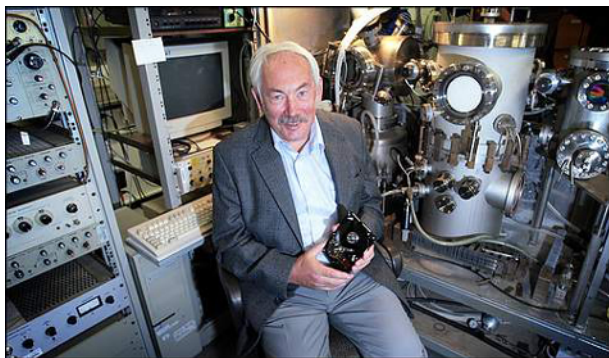
和格伦贝格相比,费尔取得的重要发现并不具有“偶然”和传奇的色彩。1970年,费尔在巴黎南大

学完成了他的博士论文“镍和铁的输运性质”。这篇论文研究的是已经被英国人 Nevill Mott<sup>1)</sup>提及过的内容:自旋对电子在固体内行为的影响。之后,费尔留在巴黎南大学的固体物理实验室工作。经过多年锲而不舍的努力,费尔终于在1988年发现了巨磁电阻效应。费尔及其同事在由铁和铬组成的多达120层的多层膜材料样品中,发现磁场下电阻变化了50%,他将这种效应命名为“巨磁电阻”效应,并正确阐述了巨磁电阻的起因和由巨磁电阻效应所引起的电子自旋的作用。

## 拒绝做与世隔绝的研究者

与我们熟悉的不少日夜埋身于实验室、心无旁骛的自然科学家相比,今年的两位诺贝尔物理学奖得主多少有些与众不同。他们并不满足于仅仅完成实验和撰写论文,对所从事工作的应用前景都保持了高度的敏锐性,拒绝做一个与世隔绝的研究者。科学向技术的迅速转变不仅改变了他们的人生,而且还更多地影响了身边的世界。

费尔除整日忙于自己团队的研究和给巴黎南大学的学生上课之外,一直就热衷于推动公共实验室和工业的联系。但他从没有想过自己的发明会被应用得如此广泛。他说:“当我在杂货店里看到售货员在电脑上输入,我便说,哇!他正使用我想出来的东西,太好了。自1995年以来,费尔已经取得了一大批专利,不少专利已有产品投入市场。



格伦贝格在实验室

格伦贝格对专利的敏锐性一点不亚于费尔。早在他发表那篇让他闻名遐迩的研究论文的同时,他便为自己的发现申请了专利。之后,这项专利被IBM等硬盘厂商购买,每年给尤利希研究中心带来近千万欧元的收入,格伦贝格每年也会获得100万欧元的专利奖金。笔者问:“您当时立刻就想到了这一发

现的应用价值了吗?”格伦贝格说:“作为传感器的应用是十分显而易见的,因此我们立刻就申请了专利。但是第一个硬盘被卖出去,我们足足等了9年的时间。”

## 科学和工业技术应用的完美结合

今年的诺贝尔物理学奖授予了费尔和格伦贝格,无疑是科学界对两位物理学家在物理科学领域取得的杰出科学贡献的最高奖赏。然而不可否认的是:工业技术的迅速和广泛应用才使得我们更多地了解了他们的成就。

尽管当时两位科学家的发现立即震惊了科学界,然而轰动效应过后一切又归于平静,原因是他们实验所用的材料是在实验室里一点点生成的,材料繁杂而稀少,而且实验必须在低温、真空、高磁场的环境下进行,所以工业界并不看好这项实验技术的应用和推广。

如果不是一次偶然,巨磁电阻效应的巨大应用也许会被推迟更久。1990年很寻常的一天,国际商用机器公司(IBM)阿尔马登研究中心的研究员斯图尔特·帕金(Stuart Parkin)在浏览旧报纸时,偶然看到了费尔和格伦贝格的研究成果,他立刻就意识到巨磁电阻的重要价值。据说,帕金是一位说话快、走路快、开车快的,典型的介于天才和“疯子”之间的一位奇才。难怪他的母亲回忆说:“如果不让帕金用够了脑筋,他就睡不着觉。”

当帕金意识到巨磁电阻的重要性后,他便开始在实验室里白天黑夜地工作。帕金使用不同的材料和不同的薄膜体积,一块样品一块样品地制出了3万多种多层膜组合。可想而知,这是一项多么繁重而枯燥的实验工作,帕金却乐此不疲,甚至专注到了足不出户的地步。

1991年,他终于成功地找到了一种金属材料,可以最大限度地发挥巨磁电阻结构的作用。1994年,帕金找到了可进行大规模生产的方法,研制出信号变化灵敏度更高的读出磁头,将磁盘记录密度一下子提高了17倍。1997年,IBM公司的商用巨磁电阻磁头问世,从此在每一台笔记本电脑、MP3音乐播放器等各类数字电子产品中都开始流动着这个物理效应“幽灵”。之后,IBM公司将这项理论物理实

1) Nevill Mott(1905—1996)因对磁性和无序体系电子结构的基本研究获1977年诺贝尔物理学奖

实验室的研究成果成功地运用到商业化的信息产业中,最终成为这项发明的最大赢家。2006年,IBM公司以21亿美元的不菲价格将硬盘光驱业务卖给了日立数字系统公司。目前世界上大约60%的硬盘磁头都是中国制造。从1988年巨磁电阻效应的发现到如今的巨大市场,其速度在科学的发展历史上也不多见,更为耐人寻味的恐怕还有这一发展的不寻常的轨迹。欧洲科学家的发现—美国企业家的开发—中国工业界的加工!

不少人认为帕金所做的贡献完全可以和两位物理学奖得主相媲美,并且为帕金没有能够和他们分享今年的诺贝尔奖而感到惋惜。事实上,之前他已经和我们一起获得了不少的国际大奖。例如,因为在巨磁电阻效应方面的先驱性工作,1994年和1997年,帕金和费尔、格伦贝格先后分享了美国物理协会颁发的新材料James C. McGroddy奖和欧洲物理协会颁发的惠普欧洲物理奖。帕金最终没有获得诺贝尔奖或许是因为他的贡献更多地体现在技术和工业应用,而做出主要科学发现的是费尔和格伦贝格。

## 永不停息的探索者

从1995年至今,费尔一直担任着法国国家科学研究中心(CNRS/Thales)物理研究联合小组的科学主管。同事眼中的费尔热情、谦虚,是一位唯美主义者,属于那种永不停息的一类人。



工作中的费尔

费尔不仅发现了巨磁电阻效应,他对自旋电子学的发展也作出了卓越的贡献,尤其在被称为“旋转转移”现象的领域。他迄今已经发表了近300篇论文。费尔取得了多种重要奖项,包括1994年美国物理学会颁发的新材料国际奖,1997年欧洲物理协会颁发的

欧洲物理学大奖,以及2003年法国国家科学研究中心金奖。他还获得了法国科学院金质勋章以及日本国际奖。2004年他被选为法国科学院院士。作为一个69岁的老人,他是否准备退休呢?针对人们的好奇心,他会笑着回答:不会,我还有很多对自旋电子学深入研究的计划,例如它们在电信行业的应用等。关于诺贝尔奖,费尔坦白地说,这是一个很大的荣誉:“这是我们在事业中能得到的最高的荣誉,是对我工作的一种肯定并授予了一定的威望。”他说:“在物理学研究中绝对没有办法确信自己的哪些梦想可以实现。”

在同事的眼中,格伦贝格是一个典型的德国人,研究态度认真,研究工作深入。由于发现了巨磁电阻效应,格伦贝格已获得多个国际科研奖项。今年4月,格伦贝格获日本国际奖后,同行们纷纷向他祝福:“剩下的就是诺贝尔奖了。”格伦贝格坦然自若地回答说:“大家都这么说,我也一直是这么想的。”

众所周知,费尔和格伦贝格异曲同工,分别独立发现了巨磁电阻效应。他们的关系和学术交往过程也引起了许多人包括笔者的好奇。笔者问格伦贝格:“您是如何评价费尔的贡献的?”他说:“费尔和我完全是各自独立发现了巨磁电阻效应。直到我们各自发现了几个月以后,我们才在一次会议上见面,并且谈起了我们的工作,并进行了讨论。那时候我们才意识到,我们发现了同一个东西!从那以后,许多研究机构 and 研究人员又作出了许多的贡献。毫无疑问,在我们发现之后,整个的自旋电子学领域出现了一片繁荣的景象。”

Tony Bland(剑桥大学物理学家)评论说:“费尔准确地描述了现象背后的物理,而格伦贝格则一下子看到了这种效应在技术应用上的重要性。”

费尔也说:“格林贝尔是我一直很钦佩的一个人,我们之间有着长久的友谊。”两位谦虚的科学家用自己的言行为许多同行做出了表率,同行未必相轻!

## 格伦贝格与中国同行的合作

格伦贝格的得奖也令许多中国同行感到高兴和骄傲。说起来,他和许多中国物理科学界同行,还有许多不为常人所知的不寻常交往。

中国科学院物理研究所于1980年便开始与德国尤利希研究中心建立交流合作关系。1982年,格伦贝格所在的实验室负责人来中科院物理所访问,并与磁学实验室签订了交流合作协议。

1984—1985年,物理所磁学室的庞玉璋到尤利

希研究中心作访问学者. 1985年,格伦贝格从美国 Argonne 学术中心度假回来,将带回来的几块样品交给了庞玉璋,并安排他用光学方法测量样品.结果在实验中发现了反铁磁耦合现象.因为庞玉璋参与了部分工作,成为格伦贝格发表在《Physical Review Letters》那篇著名文章的第三作者<sup>2)</sup>. 1986年,庞玉璋回国后,由于工作安排需要,转向去做其他方面的研究,没能在巨磁电阻方面继续深入研究.这多少令人有些遗憾!



中科院物理所磁学实验室的穆斯堡尔谱仪

1985年4月,中科院物理所磁学实验室的张鹏翔前往尤利希研究中心,进行为期半年的访问交流,并与格伦贝格建立了良好的合作关系. 1986年,张鹏翔回国后,与格伦贝格一起申请了“西德大众汽车”合作研究项目. 1992年,格伦贝格用申请的合作经费在德国 Omicron 公司购买了一台价格不菲的穆斯堡尔波谱仪. 这台仪器运到中国后,至今还在中科院物理所磁学实验室使用. 这台超精细相互作用研究设备,用于磁性金属/稀磁半导体分子束外延生长和原位分析. 事实上,这些年中科院物理所磁学实验室在多层膜方面也做出了不少开创性的工作. 在全世界至今发现具有 GMR 效应的 20 多种金属多层膜中,有三种就是中科院物理所磁学实验室发现的!

此外,磁学实验室也持续开展了有关新型磁电阻材料和器件及其物理研究,在纳米环状磁性隧道结及其新型磁随机存储器原理型器件研制方面也取得了重大进展. 2004年,格伦贝格应邀来中科院物理所访问时,还专门来到磁学国家重点实验室参观了这台仪器.

巨磁电阻效应的发现很大程度上得益于纳米科学的迅猛发展. 笔者在采访中请格伦贝格谈谈对中国的纳米科学研究有什么评价和建议. 他坦诚地回答说:“实话讲,我对中国在这一领域的研究活动不是很熟悉,所以也无法提出具体的建议. 但是我可以告诉你们,我们尤利希研究中心的研究领域很宽,因此我们得以从事许多问题的探讨,从自旋电子学方法研究到先进互补金属氧化物半导体,一直到生物电子学的研究. 这些研究工作得到了强有力的基础设施和技术人力方面的支撑.”

格伦贝格不仅与中国科学院物理所的一些科研人员一直保持着联系,事实上,他非常愿意与世界上各国的同行学者交流最新的学术动态和进展. 他认为,有好东西就应该多做宣传,一定要让更多的人了解,好相互学习、借鉴. 只有这样,才能拓宽自己的研究思路,走出“象牙塔”. 无论是两位诺贝尔物理学奖得主还是帕金的传奇经历似乎都验证了他的这一见解.

感谢费尔·格伦贝格和帕金,他们让我们今天的生活变得如此便捷. 未来的“存储世界”将会迎来怎样的改变? 谁将会成为下一个信息存储时代的物理英雄? 我们充满着期待.

致谢 本文得到了 Romain Amiot 博士、邓蕴博士、曹则贤研究员和刘玉龙研究员的热情帮助,在此表示衷心的感谢.

(本刊编辑:王进萍)

2) 参见 Phys. Rev. Lett., 1986年,第61卷,第2442页