



都有为,浙江杭州人,中国科学院院士,现任南京大学物理系教授。长期从事磁学和磁性材料的教学和研究工作,开展对磁性、磁输运性质与材料组成、微结构关系的研究。曾获国家自然科学奖二等奖、江苏省科技进步奖一等奖、2007 年度何利-何梁科技奖,获中国专利 20 项。

卷首语 Foreword

科技导报 2011,29 (14)

调控自旋将成为科技发展的新领域

电子同时具有电荷与自旋磁矩二个自由度,或二个本征的特性。物质由原子所构成,原子由原子核与电子所组成,原子核由中子、质子构成,中子具有磁矩而不带电荷,中子、质子是由夸克等基本粒子所构成。据目前所知,除希格斯粒子磁矩与电荷均为零外,其他基本粒子均具有磁矩,但未必具有电荷,因此,磁矩比电荷具有更大的普适性。科学家巧妙地利用直流与微波磁场来调控核自旋磁矩的共振吸收特性,制备了广泛应用的核磁共振谱仪与核磁共振成像仪,这是调控电子自旋的范例。然而,长期以来,通常电荷与自旋在不同的领域起着重要的主角作用,人们利用电场调控电子电荷,从而在电力、电子领域中独领风骚,如电动机、发电机为主的电力工业所形成的第二次产业革命;以芯片、计算机为主角的第三次产业革命使人类进入到信息社会,而自旋磁矩主要在磁性材料领域中发挥了不可取代的作用。

20 世纪 80 年代,法国 Fert 教授与德国 Grünberg 教授科研组彼此独立地在人工纳米结构中(多层膜)发现高达 50% 以上的磁电阻效应,被称为巨磁电阻效应。为此,他们被授予 2007 年度诺贝尔物理学奖,以表彰他们对凝聚态物理与信息技术的发展所做出的杰出贡献。该效应的物理本质是反映了在保持自旋取向的自旋扩散长度内,电子的输运性质与电子自旋的取向有关。对于磁性材料,电子的自旋扩散长度处于 1~10nm,对于半导体等非磁性材料可增加到微米量级,传统的电工学与电子学所研究的对象其尺度通常远超过自旋扩散长度,于是电子在输运过程中无法保持一定的取向,从而统计平均的结果无法显示出电子自旋的作用,所以,以往电工学与电子学中不需要考虑电子的自旋。巨磁电阻效应表明:在纳米尺度内,电子输运过程中不仅可利用电子的电荷属性,而且同时可利用电子自旋磁矩,此时的电子学应当考虑电子自旋,称为自旋电子学(Spintronics)。同时利用电子的电荷与自旋,可使信息的传输、运算与存储在固体内部有机地结合在一起,这是科学家长期梦寐以求的目标。1997 年 IBM 公司成功地制备成巨磁电阻效应读出磁头,提高硬盘记录密度几十倍,目前已超过 200Gb/in²。20 世纪 90 年代巨磁电阻效应的研究在世界范围内兴起了继高温超导氧化物研究之后的新高潮,形成了磁电子学的新学科。在应用上,磁随机存储器(MRAM),自旋晶体管,自旋传感器等均应运而生,其产值将大于千亿美元。更为重要的进展,是将电子自旋带入到半导体器件中,形成半导体自旋电子学新学科。从物理的观点考虑,二极管发展到超大规模集成电路,奠定了现代信息化社会的基础,但它仅仅利用电子具有电荷这一自由度,用电场调控电子运动。如今,可同时利用电子电荷与自旋这两个自由度,必将呈现前所未有的新效应、新器件。自由电子自旋间的互作用比电子电荷间的作用小 1000 倍,从而从原理上确定自旋电子学的器件其能耗必将可以低于传统微电子学器件。此外,自旋电子学器件通常具有抗辐射能力强、噪声低、运算速度快以及非易失性,即使电源中断,信息可继续保留等优点。未来,自旋流将可能取代目前半导体元器件中的电荷流,自旋将同时肩负信息的传输、处理与存储。自旋电子技术和自旋量子信息技术很可能会引起芯片技术革命性的变革,成为引领未来的新一代微电子技术。

20 世纪也许可称为“电荷”的世纪,人们充分的调控电子具有电荷这一自由度,从而创造出从二极管直到超大规模的集成电路,奠定了信息社会的基础。21 世纪也许属于“自旋”的新世纪,人们正在充分地利用、调控电子的另一个本征的自由度“自旋”,推动着社会迈向新的阶段。最近美国国家自然科学基金会提出“自旋电子科学的发展及应用将预示着第四次工业革命的到来”。自旋电子学材料与器件必将成为纳米科技领域中重要的成员,将会对科学与技术以及国防、国民经济起着十分重要的作用,值得我们科技发展的战略高度给予足够的重视。

(南京大学物理系,南京 210093)

