

具有室温巨隧道磁电阻效应与高自旋极化率的新材料*

都有为[†]

(南京大学固体微结构物理国家重点实验室 南京大学物理系 南京 210093)

摘要 回顾了隧道磁电阻效应发展简史及其应用,报道了锌铁氧体/氧化铁二相纳米复合材料在室温具有巨磁隧道电阻效应的实验结果,该实验结果表明锌铁氧体是具有高自旋极化率的一类新材料,值得进一步开展相关的工作。

关键词 隧道磁电阻效应,自旋极化率,铁氧体

A NEW MATERIAL WITH HIGH POLARIZATION AND GIANT TUNNELING MAGNETORESISTANCE AT ROOM TEMPERATURE

DU You-Wei

(National Key Laboratory of Solid State Microstructures, Nanjing University; Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract The history and applications of tunneling magnetoresistance are described briefly. The observation of giant tunneling magnetoresistance at room temperature in two phase nanostructure zinc ferrite/hematite is reported. The results show that zinc ferrite has high polarization and is a promising material for future study.

Key words tunneling magnetoresistance, polarization, ferrite

2000年,美国总统克林顿宣称未来美国国会大图书馆的所有信息可以存储在仅仅一块方糖大小的存储器中.近年来,磁盘的存储密度迅速增长,硬盘存储密度每平方英寸可达65Gb,并向100Gb/in²(1in = 0.0254m)目标挺进.预期磁的随机存储器(MRAM)不久有可能取代现在微机中所应用的半导体内存(DRAM),这些惊人的进展都与磁电阻效应相关,这里将简单介绍隧道磁电阻效应新进展.

量子力学理论表明微观粒子具有波动性,从而具有隧穿势垒的能力,称为隧道效应.要观察到明显的隧道效应,通常要求势垒的宽度大致上与微观粒子的德布罗意波长相当.早在20世纪50年代,科学家已在金属/绝缘体/金属(MIM)多层膜中观察到电子隧道效应,继后又在超导/绝缘体/超导(SIS)夹层膜中观察到超导隧穿电流,称之为约瑟夫森效应,它在超导电子器件中得到广泛的应用.科学家约瑟夫森获1973年诺贝尔物理学奖.获1986年诺贝尔物理学奖的扫描隧道电子显微镜(STM)发明者罗列尔所利用的也正是金属/空气绝缘层/金属的电子隧道效应.

电子的隧道效应不仅具有重要的量子效应的基础研究意义,而且具有巨大的应用价值.众所周知,

电子具有电荷同时又具有自旋磁矩,通常电子在运输过程中由于碰撞而导致自旋磁矩在空间的取向是混乱的,因此在宏观输运性质中仅需考虑电子具有电荷就足够了.然而当电子通过与电子平均自由路程相当的纳米铁磁薄膜时,自旋磁矩的取向与薄膜磁化方向相一致的电子较易通过,自旋磁矩的取向与薄膜磁化方向不一致的电子难以通过,从而导致自旋极化效应.这好像自然光通过偏振片成为极化的偏振光一样,利用超导/非磁绝缘体/铁磁金属隧道结亦可以测定电子自旋极化.不难想像,对铁磁金属/非磁绝缘体/铁磁金属的隧道结,当处于非磁绝缘体左右的铁磁金属层的磁化方向相一致时,具有该自旋磁矩取向的电子容易通过,电阻小,反之二者磁化方向相反时,电阻大,因此,用外磁场控制磁化状态就可以改变隧道结的电阻,这就是磁电阻效应.1975年,Juliere^[1]对[Fe/Ge/Co]磁性隧道结输运性质的研究作了重要的开拓性工作,发现隧道阻抗随磁化状态而变,在4.2K,电导的相对变化可达14%.但室温磁电阻效应不明显,此后一些科学家对磁性隧

* 国家重点基础研究发展规划项目(973)批准号:G1999064508资助
2001-11-27收到初稿,2002-01-22修回

† 通讯联系人, E-mail: dyw@nju.edu.cn

道结进行了多方面的研究,但十多年来均无重要突破.1988年,法国巴黎大学 Ferit 教授科研组在[Fe/Cr/Fe]多层膜发现巨磁电阻效应^[2],在全世界掀起了研究热潮,Ferit 教授荣获两次世界级的大奖.理论上为了解释巨磁电阻效应,在电子输运过程中必须考虑与自旋相关的散射效应,从而开拓了磁电子学的新学科,现已扩展为自旋电子学,隧道磁电阻效应是自旋电子学的重要组成部分,而自旋电子学必将会成为纳米电子学的重要分支.在巨磁电阻效应研究的热潮的冲击下,科学家重燃起对隧道磁电阻效应研究的热情,1995年在Fe/Al₂O₃/Fe隧道结构中首先取得突破,发现室温磁电阻效应可高达18%,液氮温度下为30%^[3],取得了重要的进展,掀起了新的研究热潮.继后又发现CoFe/Al₂O₃/Co磁隧道结的磁电阻效应在室温下也可达16%—18%^[4],其磁场灵敏度为5%—8%/Oe,大于多层膜、颗粒膜,从而为磁随机存储器(MRAM)、磁传感器等应用提供了很好的纳米结构材料.理论表明,磁隧道结的磁电阻效应,在不考虑自旋反转时,与自旋极化率(P)的平方成正比,从理论上考虑,半金属材料具有高自旋极化率, P 值最高为1,由其构成的隧道结可获得高TMR,促使人们对Fe₃O₄、CrO₂、Tl₂Mn₂O₇、Sr₂FeMoO₆等一系列化合物开展了隧道磁电阻效应的研究工作,在这些化合物中,尽管在低温可获得较大的磁电

阻效应,但随着温度的升高,磁电阻效应显著地下降,多数室温值低于2%,十余年来均未取得新的进展,至今仅Sr₂FeMoO₆多晶体中发现室温TMR值可达11.5%^[5].

鉴于隧道磁电阻效应具有巨大的应用潜力,探索室温巨隧道磁电阻效应的新材料,成为国际上颇受重视的研究热点.我们在Zn_{0.41}Fe_{2.59}O₄- α -Fe₂O₃复相多晶铁氧体中发现了隧道型的巨磁电阻效应,室温TMR值可高达158%,4.2K温度下为1280%^[6],迄今为国际上的最高值.并且,在相当宽的温区内,磁电阻效应几乎不随温度变化,室温附近磁电阻效应对温度不灵敏,这在应用上是十分重要的,从而为基础研究与应用基础研究提供了一类值得进一步研究的高自旋极化率的新材料体系.

参 考 文 献

- [1] Julliere M. Phys. Lett. ,1975 ,54 :225
- [2] Baibich M N ,Brato J M ,Fert A *et al.* Phys. Rev. Lett. ,1988 ,61 :2472
- [3] Myazaki T ,Kinder L R. J. Magn. Mater. ,1995 ,139 :L231 ;1995 ,151 :403
- [4] Moodera J S *et al.* Phys. Rev. Lett. ,1995 ,74 :3273 J. Appl. Phys ,1996 ,79 :4724
- [5] Kobayashi K L *et al.* Nature ,1998 ,395 :677
- [6] Chen P ,Xing D Y ,Du Y W *et al.* Phys. Rev. Lett. ,2001 ,87 :107202

· 物理新闻 ·

编码程序与信息压缩(Squeezing Information from Zipping Programs)

许多个人计算机中常用的文件编码实际上是一种数据压缩程序,它对信息分析具有很大的帮助.最近意大利的科学家们提出了一个文件压缩的例程序,他们是La. Sapienza大学(位于罗马)的以E. Caglioti博士为首的研究组.这个程序能正确地确认文件的语言、作者等,且具有很高的压缩效率.

传统的数据压缩编码程序首先是搜索一个文件中重复出现的字符串并将它们记录下来,同时充分注意各个子序列在字符串的相对位置.这样一个未曾编码的文件就用这一系列的字符串的编码所代替.这种编码技术特点适用于较长的文件文本.如果在一个意大利的文件上附加一页意大利文的附录,那么对这页的编码将极其容易,因为附录中出现的文字与短语都曾在正文中出现过,但如果这页意大利文的附录是加在一个英文的文件后面,那原先的编码程序就要匆匆忙忙地去学习一种新的语言,这就会大大地降低压缩效率.

现在罗马的研究者们找到了一种新的文件压缩技术,在他们的程序中只要确认20个字符串后,程序就能识别文件的语言,因而能正确地对文件的内容、作者等进行分类.基于对文件语言的正确分类,从而使搜索器具有更高级的功能.这种编码技术提供了一种对多种语言确认的精确方法,也就是找到了各种不同语言间的逻辑关系.虽然他们现在只是着力于研究各种语言文本的文件编码,但他们已经注意到这种信息编码技术也能应用到其他方面,如DNA序列、地质记录、医药数据和股票市场的涨落等.

(云中客摘自Phys. Rev. Lett. ,28 January 2002)