



物理所宽禁带半导体磁性起源研究取得新进展

文章来源: 物理研究所

发布时间: 2011-03-21

【字号: 小 中 大】

中科院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室(筹)陈小龙研究员及其领导的功能晶体研究与应用中心一直致力于宽禁带半导体磁性起源问题的研究。最近,他们从实验和理论上证明了双空位导致磁性,首次在实验上给出了直接证据,为通过缺陷工程调控宽禁带半导体的磁性提供了实验基础,相应结果发表在*Phys. Rev. Lett.* 106, 087205 (2011)上。

电子同时具有电荷和自旋两种属性,半导体器件利用了电子的电荷属性,大容量信息存储则是基于电子的自旋属性。稀磁半导体为我们提供了同时利用电子的电荷属性和自旋属性的机会,有望带来信息技术的重大变革。近年来,通过3d过渡族元素掺杂制备具有室温铁磁性宽禁带半导体的研究取得了很大的进展,但其磁性的起源一直存在争议。有些过渡族元素掺杂的宽禁带半导体的磁性被认为源于第二相或磁性元素在基体中的偏聚,而并非本征属性。近期,越来越多的证据表明磁性元素并不是导致本征磁性的唯一原因,缺陷在磁性引入中的作用逐渐被人们所认识。

陈小龙及其研究团队的前期工作表明,仅考虑磁性元素掺杂不足以解释稀磁半导体所表现出的磁性【*Appl. Phys. Lett.* 94, 102508 (2009)】。之后,通过掺杂非磁性元素在SiC和BN中观察到了铁磁性【*J. Am. Chem. Soc.*, 131, 1376 (2009), *Phys. Rev. B* 80, 153203 (2009)】。基于以上研究结果,为了进一步研究宽禁带半导体中自旋长程有序的起源,近期该中心的刘宇、王刚和陈小龙等与相关单位合作,对中子辐照SiC单晶的磁性开展了深入研究,从实验和理论上证明了双空位导致磁性,首次在实验上给出了直接证据,为通过缺陷工程调控宽禁带半导体的磁性提供了实验基础。

高质量的SiC单晶为研究宽禁带半导体磁性的起源提供了理想的材料体系。实验选取北京天科合达蓝光半导体有限公司提供的高质量(FWHM=21.6弧秒)、高纯度(磁性杂质总浓度<0.01 ppm) SiC单晶,对其分别进行不同剂量(1.91×10^{17} - 2.29×10^{18} n/cm²)的中子辐照。拉曼图谱表明,辐照后晶片的晶型没有发生明显变化【见图1(a)】,但中子束对晶片造成了一定的损伤【见图1(b)】。随后,通过正电子湮没寿命谱对样品的缺陷种类和浓度进行了表征。如图2所示,辐照样中的缺陷以硅碳双空位(V_{Si}V_C)为主,随着辐照剂量的增加,缺陷浓度逐渐增加(由 4.1×10^{16} cm⁻³增至 4.3×10^{17} cm⁻³)。磁性测量表明,通过较低剂量的中子辐照即可在SiC中诱导出磁性,随着辐照剂量的增加,样品的磁性不断增强,最大辐照剂量的样品具有清晰的磁滞回线(见图3,饱和磁化强度 1×10^{-4} emu/g,剩磁 1.3×10^{-5} emu/g)。缺陷浓度和饱和磁化强度对辐照剂量具有相同的依赖关系,显示两者之间具有内在的联系。第一性原理计算表明,一个双空位可以在SiC中引入 $2\mu_B$ 的磁矩,缺陷波函数的延展导致各个双空位引起的磁矩之间存在长程耦合(见图4)。这清楚地表明,中子辐照产生的双空位导致了铁磁性。理论工作还表明,改变载流子的类型和浓度,由双空位引起的磁矩也可以形成反铁磁有序,相关的实验工作正在进行中。

本工作得到了国家自然科学基金委、科技部和北京市科委的资助。

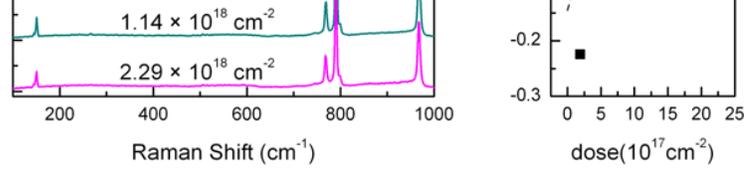


图1 (a) 辐照前后碳化硅晶片的拉曼谱; (b) 折叠纵光学模相对强度随辐照剂量的变化。

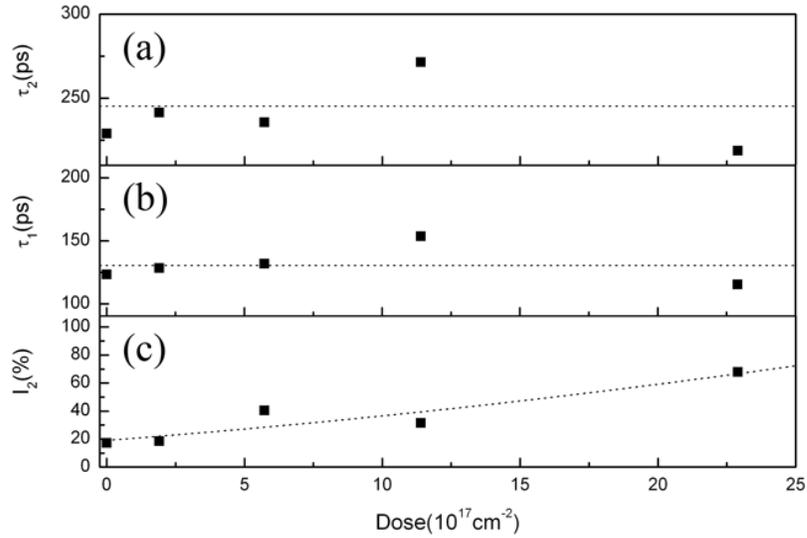


图2 (a), (b) 和 (c) 分别表示第二正电子寿命 τ_2 , 第一正电子寿命 τ_1 和第二正电子寿命信号分量强度 I_2 随辐照剂量的变化。从图中可以看出 τ_2 , τ_1 不随辐照剂量的变化而变化, 二者分别对应 $V_{Si}V_C$ 寿命和 $6H-SiC$ 的体寿命, I_2 随辐照剂量的增加而增加。

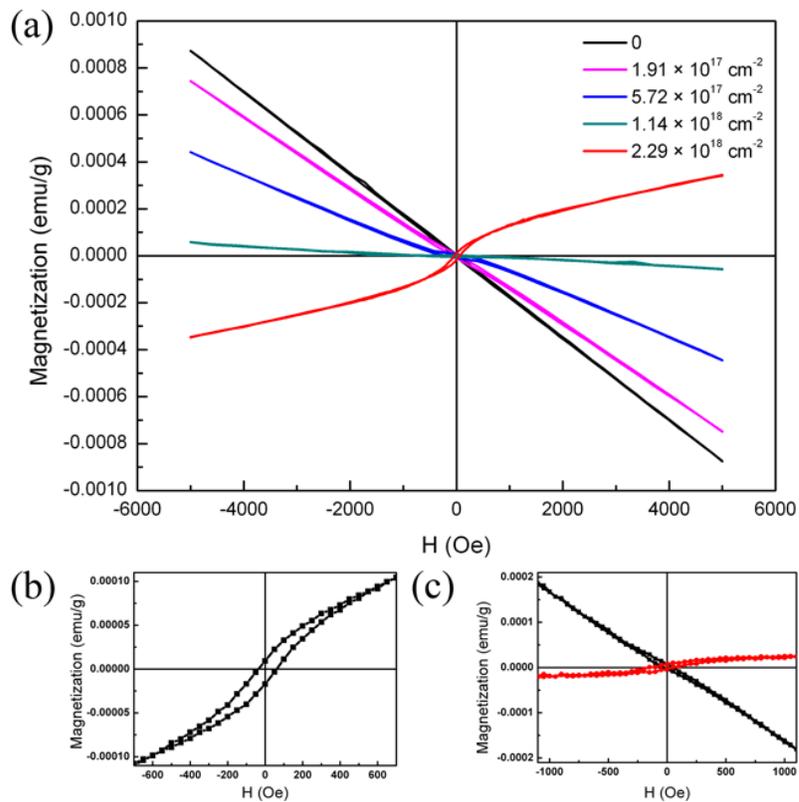
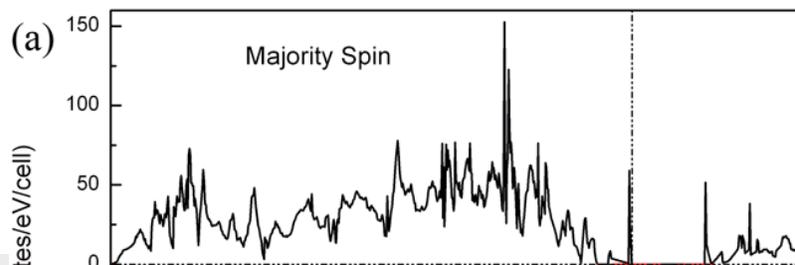


图3 (a) 辐照前后样品的M-H曲线, 测量温度为5 K。(b) 最高辐照剂量样品的M-H曲线局部放大图, 测量温度为5 K。(c) 最高辐照剂量样品室温下的M-H曲线, 其中红色曲线已扣除抗磁背景。



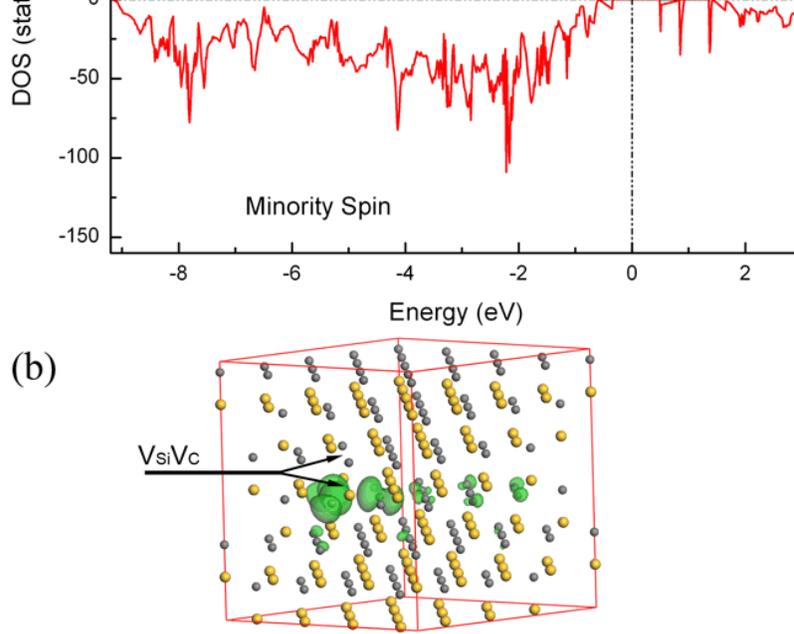


图4 (a) 含有一个双空位的SiC超级元胞（192个原子）的自旋态密度图。(b) 相应SiC超级元胞的自旋电荷密度分布图。

打印本页

关闭本页