



中科院物理所研究人员发现新型稀磁半导体

日期 2013-02-28 来源：数理科学部 作者： 【大】 【中】 【小】 【打印】 【关闭】

中科院物理所靳常青研究员领导的研究组在国家自然科学基金重大研究计划、重大国际合作及面上项目的连续支持下，近期在稀磁半导体研究上取得重要进展，发现了一类新的稀磁半导体材料，实现了稀磁半导体自旋和电荷的分离注入，得到高的铁磁居里转变温度（ T_c ），研究成果发表在近期Nature Communications上（Nature Communications 4:1442 doi: 10.1038/ncomms2447 (2012)）。

在半导体中引入自旋，同时利用电子的电荷和自旋双重量子属性，将为解决Moor定律预期的半导体芯片存储密度的瓶颈效应提供重要解决方案。需要具备两个基本物理条件，既要有局域磁矩，又要有引发局域磁矩长程量子序的低浓度载流子。在几类已知的主要稀磁半导体中，磁矩和载流子均由同一种掺杂元素提供，不能分别注入和调控。以最典型的基于III~V族的(Ga, Mn)As稀磁半导体为例， Mn^{2+} 对 Ga^{3+} 的替代引入自旋的同时也提供了P型载流子，这种自旋和电荷的捆绑效应严重制约了对自旋电子材料电性和磁性的调控自由度。

为解决自旋电荷分别注入这个关键科学问题，靳常青研究组和国内外科学家合作，在2011年发现了基于I-II-V族半导体的新型稀磁体Li(Zn, Mn)As（Nature Communications 2:422 (2011)）。Li(Zn, Mn)As具有和GaAs同样的晶体结构，对Li(Zn, Mn)As在 Zn^{2+} 位注入 Mn^{2+} 只引入自旋，载流子则通过改变Li的含量来进行调控。这样，在Li(Zn, Mn)As稀磁半导体就可以实现自旋和电荷注入机制的分离，但其50K的铁磁居里温度明显低于(Ga, Mn)As体系铁磁转变温度。他们最近发现的一类新型稀磁半导体(Ba, K)(Zn, Mn)₂As₂，将铁磁转变居里温度大幅提升到180K以上，和(Ga, Mn)As薄膜的铁磁转变温度相当。通过在 Ba^{2+} 位替代 K^{+} 控制载流子，在 Zn^{2+} 位掺杂 Mn^{2+} 引入自旋，从而实现载流子和自旋的分别注入和调控。该研究的合作者美国哥伦比亚大学物理系的Uemura教授，运用 μ SR技术研究了(Ba, K)(Zn, Mn)₂As₂的磁性，证实了铁磁性源于样品的本征属性。他们进一步研究发现，(Ba, K)(Zn, Mn)₂As₂在转变温度以下相当宽的温度范围内具有低的矫顽力（ $\leq 1000e$ ），这为将来在低场条件调控自旋和电荷的潜在应用提供了可能。更为有趣之处在于，(Ba, K)(Zn, Mn)₂As₂和“122”铁基超导体同构，(Ba, K)(Zn, Mn)₂As₂稀磁体、(Ba, K)Fe₂As₂超导体、BaMn₂As₂反铁磁半导体晶体结构相同。它们具有匹配的晶格参数（晶格参数失配度 $\sim 5\%$ ）。这为设计基于磁性、半导体和超导体的异质结，探索新的物理效应和新的应用特性提供了重要前提。

靳常青研究组2008年6月在铁基超导研究热中发现和命名了以LiFeAs为代表的“111”型铁基超导体（Solid State Communications 148, 538 (2008)），接着相继发现了“111”体系新组元LiFeP超导体（Eur. Phys. Lett. 87, 37004 (2009)），在高压NaFeAs超导体中得到了31K的“111”型最高超导转变温度（Eur. Phys. Lett. 88, 47008 (2009)）。针对“122”型铁基超导体(Ca, Na)Fe₂As₂，该研究组通过优化载流子浓度和几何配位尺度，实现了高于33K的该化合物最高超导转变温度（J. Phys.: Condens. Matter 22, 222203 (2010) fast tracking）。本次发现的122型稀磁体为他们以上新型量子功能材料研究工作的深入和扩展。