
新型二维原子晶体VSe₂的制备及其准二维量子相干输运研究获进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/7483.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

具有本征磁性的二维晶体材料及其磁性是新型二维原子晶体材料及其应用的重要研究方向，在下一代低功耗的信息处理与存储及自旋器件等方面具有潜在的应用。理论计算及实验表明，单层二硒化钒（VSe₂）具有本征铁磁性，居里温度高于室温。在强自旋-轨道耦合作用下，其导带底和价带顶的自旋会发生极化，为本征谷极化材料，这使其在自旋电子学与谷电子学等领域具有很好的应用前景。然而VSe₂的物性尤其磁性严重依赖于层数，可控制备高质量、少层/单层的VSe₂是研究其新奇物性的关键。

中国科学院院士、中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心研究员高鸿钧带领的研究团队多年来一直致力于新型二维原子晶体材料的制备、物性调控及原型器件等方面的研究，并取得了一系列研究成果。近期，他们在VSe₂新型二维原子晶体材料体系研究方面，成功实现了单层VSe₂的分子束外延可控制备[*Sci. Bull.* 63, 419 (2018)]及其一维图案化、功能化[*Nano Lett.* 19, 4897 (2019)]。然而，对其输运特性的研究一直受限于样品转移及厚度控制等方面的挑战。

最近，该研究组博士后刘洪涛和副研究员鲍丽宏等利用化学气相沉积（CVD）方法在绝缘衬底上成功地实现了少层VSe₂单晶纳米片的可控制备，并对其层数依赖的低温电子输运特性进行了研究。首先他们发展了一种普适的升华盐辅助的CVD生长二维晶体材料的方法。该方法可实现高质量、多种层数VSe₂的可控制备，最薄可至2.48 nm（约4层）（图1）。VSe₂纳米片的大小及厚度可通过钒源的用量、生长温度、载气中氢气的浓度等进行调控（图1）。在升华盐的作用下，生长温度大幅降低，最低可至400 °C，从而实现少层VSe₂的制备。生长过程中，升华盐高温气化，被载气带走，从而避免了样品的污染。高质量的样品通过X射线衍射（XRD）、拉曼（Raman）、透射电镜（TEM）等表征方法得到确认（图1）。这种制备方法也适用于其它二维晶体材料如二硫化钒(VS₂)、二碲化钒(VTe₂)、二硒化钨(WSe₂)等的合成。基于高质量的、不同厚度的VSe₂样品，他们进一步研究了其低温输运性质，并首次在少层VSe₂

单晶纳米片中观测到弱反局域化（WAL）效应及准二维输运特性（图2-4）。受量子限域效应影响，厚度小于5 nm的样品表现出准二维输运特性，从而观测到弱反局域化效应（图3a与图4），这得益于样品的高质量和少层的厚度。利用HLN理论可以对该弱反局域化效应进行很好的拟合。在1.9 K时，拟合得到的相位相干长度、自旋-轨道耦合长度分别为~50 nm与~17 nm（图4）。退相干机制主要由电子-电子相互作用导致。弱反局域化效应是在比较强的自旋-轨道耦合作用下的一种量子相干行为，该效应的发现表明，少层VSe₂中存在较强的自旋-轨道耦合作用。此外，他们在VSe₂样品中还发现了由电荷密度波（CDW）引起的迁移率涨落导致的较大的不饱和线性磁阻（图3）。然而，在所有不同厚度的样品中，均未观测到反常霍尔效应，初步判断样品并无铁磁性。其可能原因是样品厚度仍较大，或者CDW态与铁磁相互竞争，CDW态为更稳定的基态。

综上，该项工作发展了一种低温制备层数可控的二维原子晶体材料的方法，为单层VSe₂的制备与物性研究提供了一种思路，也会促进基于钒的二维原子晶体材料（VX₂，X = S, Te）及其它二维晶体材料的生长与研究。相关工作发表在*Nano Letters*上（*Nano Lett.* 19, 4551–4559（2019））。刘洪涛和鲍丽宏为共同第一作者，鲍丽宏为联系作者。该工作获得国家自然科学基金委（61674170，61888102）、科技部（2016YFA0202300，2018FYA0305800）和中科院（XDB30000000，XDB28000000，20150005）的支持。

[文章链接](#)

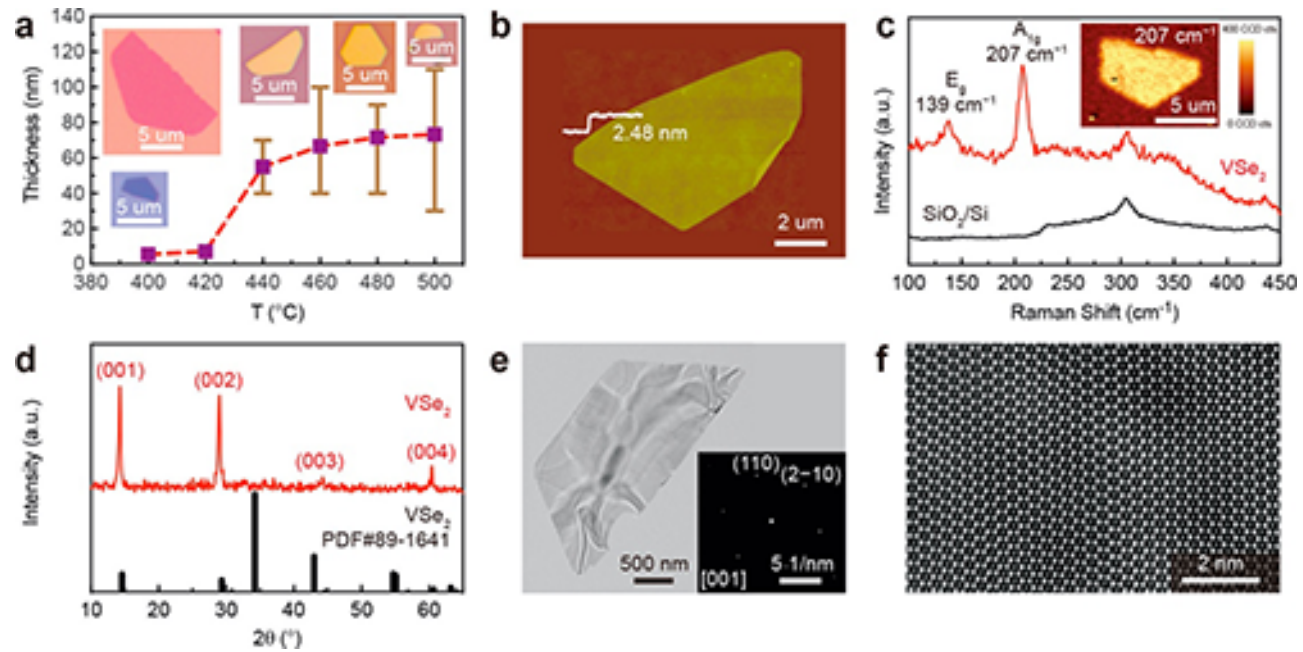


图1：高质量少层VSe₂纳米片的可控制备与结构表征。（a）VSe₂纳米片的厚度与生长温度的关系。插图为SiO₂/Si衬底上VSe₂纳米片的光学显微镜照片。（b）VSe₂纳米片的AFM形貌图及厚度。（c）4.2 nm

VSe₂纳米片的拉曼光谱。插图显示为207 cm⁻¹处A_{1g}峰的拉曼成像图。(d) VSe₂纳米片的XRD图谱及1T相VSe₂的标准粉末衍射峰。(e) VSe₂纳米片的低倍透射电子显微镜 (TEM) 图像。插图显示为VSe₂纳米片的选区电子衍射 (SAED)。(f) VSe₂原子分辨的高角度环形暗场扫描透射电镜 (HAADF-STEM) 图像。

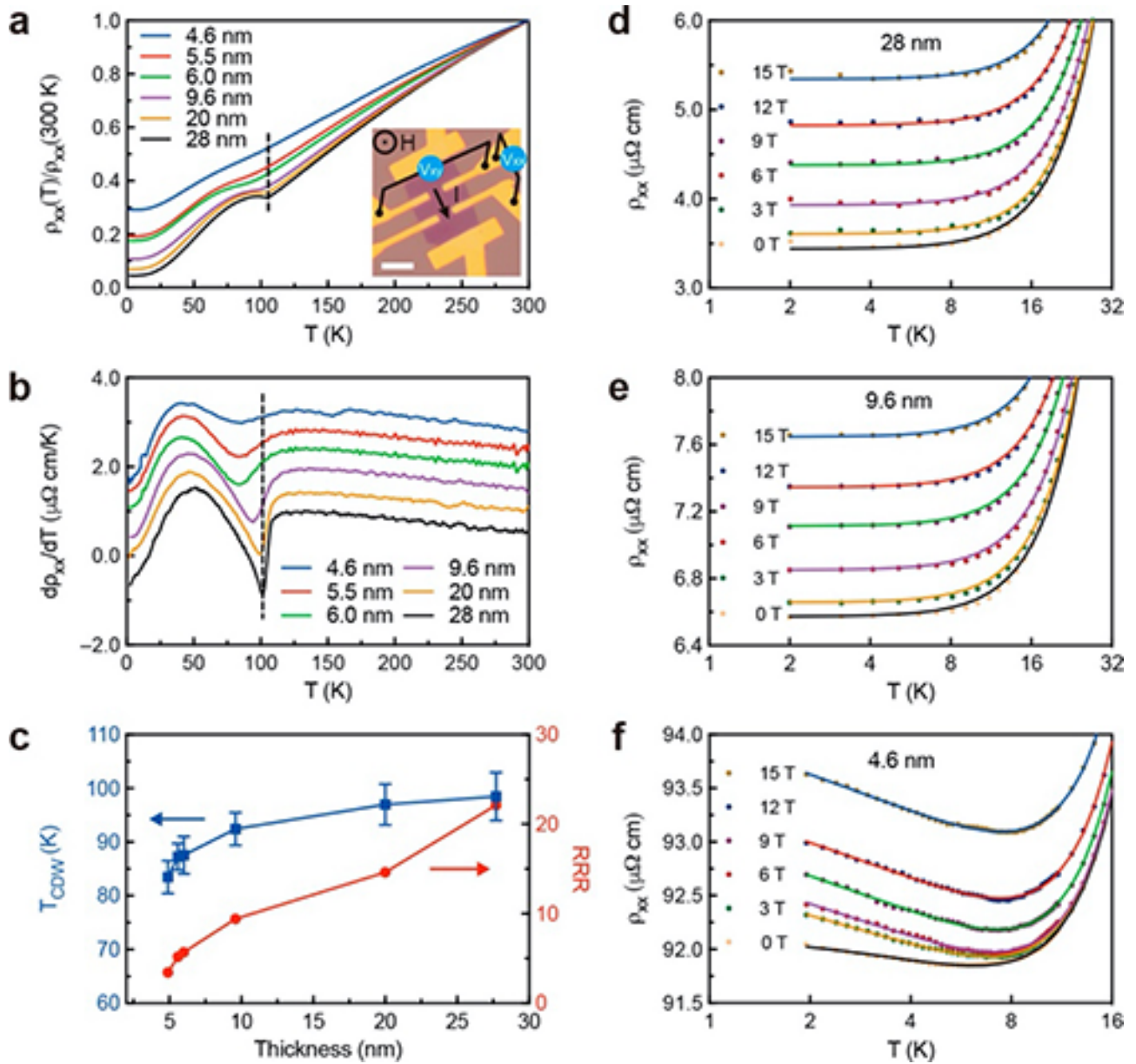


图2:
不同厚度VSe₂纳米片的电阻率与温度的关系。不同厚度VSe₂纳米片的电阻率随温度的变化 (a)，一阶导数 (b) 及CDW转变温度 (T_{CDW}) 与剩余电阻比 ($RRR = \rho_{300K}/\rho_{2K}$) (c)。 T_{CDW} 由电阻率一阶导数的极小值来确定。(a) 中的插图是9.6

nm厚的VSe₂纳米片的霍尔器件的光学显微镜照片。标尺为5 μm 。虚线为厚度为28 nm的VSe₂纳米片的 T_{CDW} 。低温下不同磁场中，厚度为(d) 28, (e) 9.6和(f) 4.6 nm的VSe₂纳米片的电阻率与温度的关系。温度为对数坐标。厚度为4.6 nm的样品在低温下出现电子-电子相互作用导致的电阻率增加 (f)。

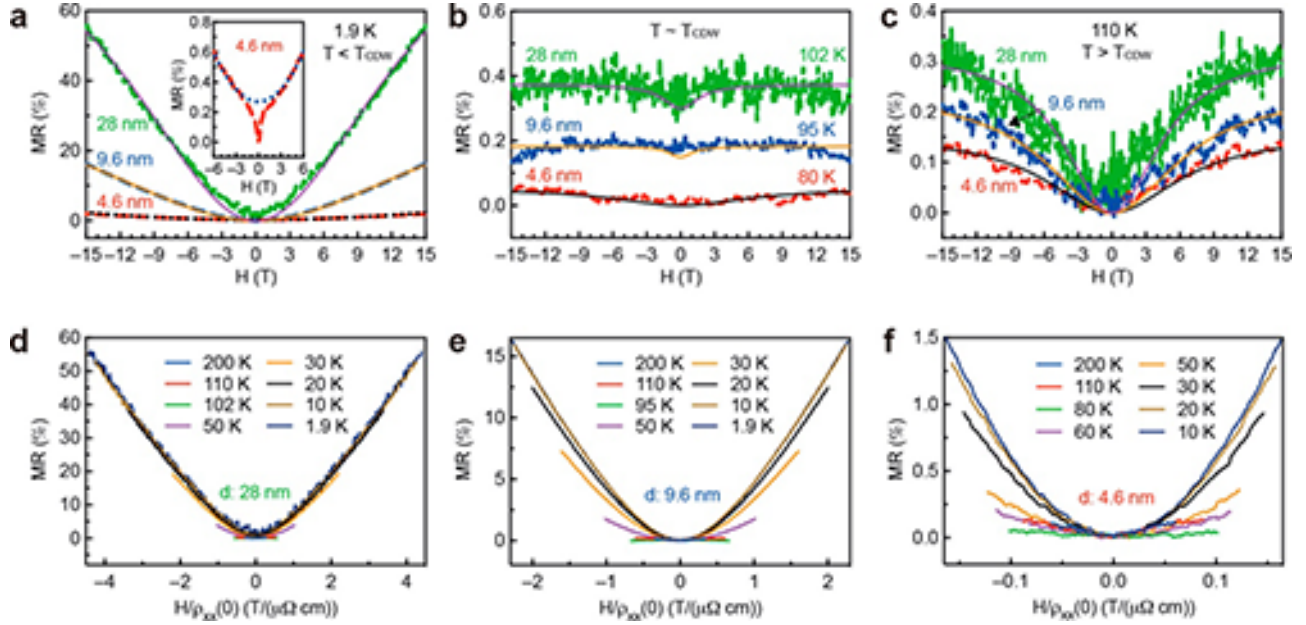


图3：不同厚度VSe₂纳米片的磁电阻对比。(a – c) 厚度为28, 9.6和4.6 nm的VSe₂纳米片在不同温度的磁阻：(a) 1.9 K, 低于 T_{CDW} , (b) 温度在 T_{CDW} 附近, (c) 在110 K, 高于 T_{CDW} 。(a) 中插图为4.6 nm样品低场部分的放大图。低场的向下尖峰为弱反局域化(WAL)效应。(d – f) 厚度为28, 9.6和4.6 nm的样品的Kohler图。

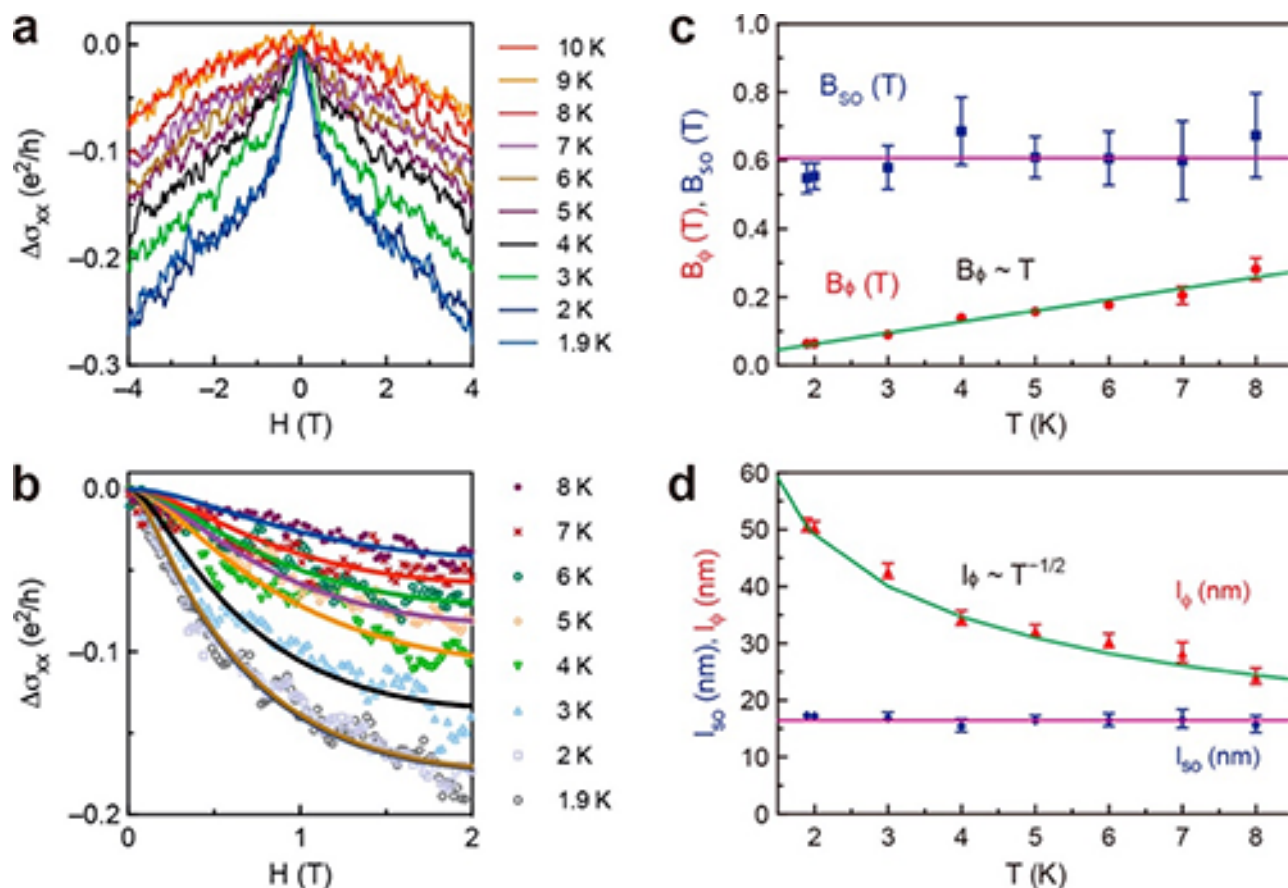


图4：VSe₂纳米片的WAL效应。10 K以下4.6 nm

VSe₂纳米片的电导 $\Delta\sigma_{xx}$

随

磁场

的变化（

a）及HLN理论拟

合（b）。（c）从拟合中提取的退

相干散射对应的特征磁场 B_ϕ 、自旋-

轨道耦合散射对应的特征磁场 B_{SO}

与温度的依赖关系。（d）相位相干长度 l_ϕ 和自旋-轨道散射长度 l_{SO} 与温度的关系。

研究团队单位：物理研究所

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发