纳电子器件导论期末课程报告

一种利用掺氢原子石墨烯的磁性探测铁离子分布的方法

利用石墨烯制备场效应晶体管时，通常采用湿法将石墨烯转移至SiO2表面，由于在此过程中需要浸泡在氯化铁溶液中，因此沟道上会不可避免地残留铁离子。除了残留的铁离子外，沟道本身也有离子掺杂，假设这些离子是均匀掺杂且数量较多，可以根据它们所带电荷数的不同测定沟道的电荷分布从而可以比较容易地得出这些离子的分布情况。但是残留的铁离子不同，溶液浸泡过后，含有铁离子的小液滴随机残留在石墨烯中，因此铁离子的分布可能是很不均匀的，并且其数量相比掺杂的离子也不是很多，可能很难通过测电荷的方式得到它们的分布情况。因此考虑利用铁离子的铁磁性进行探测。

2007年，Oleg V . Yazyev和Lothar Helm提出当石墨烯中产生氢化学吸附缺陷后，两种亚晶格(α和β)上的缺陷会在费米能级附近产生准局域化态（quasilocalized state），导致电子交换不稳定性，从而使石墨烯具有磁性**1**。Héctor González-Herrero等人通过对石墨烯上单个H原子进行研究，利用STM探测证实了H原子吸附缺陷周围几纳米内产生的磁矩，峰值大小约为0.1μB，且与H原子的距离越远，磁场就越弱。他们还提出，可以通过使H原子横向迁移到相反亚晶格的方式，将其转变为非磁性的亚晶格构型，使磁性消失。已经在大量H原子的操作上进行了实验**2**。根据上述原理，再结合铁离子具有铁磁性的特点，提出一种原子级精度、超灵敏的方法，可以用于探测石墨烯沟道上铁离子的分布。

具体实施方法是：首先对石墨烯薄膜进行H等离子体处理， 使沿沟道上均匀形成H化学吸附缺陷，这时石墨烯薄膜会有磁性，同时由于沟道中残余铁离子有铁磁性，在一定磁场强度下有表现出一定的磁化强度M或磁感应强度B。随后使石墨烯上的H原子全部横向迁移到相反亚晶格，石墨烯产生的磁场消失，但由于铁磁性，沟道中铁离子的磁化强度并没有完全消失，而是会有一个剩余磁化强度Mr，这可以从磁滞回线中直观看到**3**。再利用STM沿着沟道进行探测，测出沿着沟道磁感应强度的分布，磁感应强度越强，说明剩余磁化强度越大，也即该处铁离子浓度较大。进一步的定量分析需要通过实验找到剩余磁化强度与铁离子浓度或者数量的函数对应关系，这样就可以使用计算机很容易地根据磁感应强度的分布情况得到沟道中铁离子的分布情况。

该方法的优点是步骤简单，操作方便，无需额外的复杂设备进行处理，同时由于无论是H化学吸附产生的磁场还是后续STM探测磁感应强度，都是在原子级上进行操作，因此可以有很高的精度。另外石墨烯上H化学吸附能够产生较大磁场，因此探测灵敏度也较高。缺点是直接对器件的石墨烯沟道进行处理，形成的H化学吸附可能会对器件的电学性能造成影响。

参考文献：

【1】Yazyev O V, Helm L. Defect-induced magnetism in graphene[J]. Physical Review B, 2007, 75(12): 125408.

【2】González-Herrero H, Gómez-Rodríguez J M, Mallet P, et al. Atomic-scale control of graphene magnetism by using hydrogen atoms[J]. Science, 2016, 352(6284): 437-441.

【3】https://baike.baidu.com/item/%E9%93%81%E7%A3%81%E6%80%A7