[Spotlight]

doi: 10.3866/PKU.WHXB201904043

www.whxb.pku.edu.cn

二维材料器件青年学者——浙江大学徐杨教授访谈

《物理化学学报》编辑部

北京大学化学与分子工程学院, 北京 100871

A Short Dialogue about 2D Material Based Devices with Prof. Yang Xu at Zhejiang University

Editorial Office of Acta Physico-Chimica Sinica

College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, Beijing 100871, P. R. China.

Email: whxb@pku.edu.cn.

Published online: May 30, 2019.

本期人物访谈, 我们对话的是二维材料及器件特刊客座编辑、浙江大学徐杨教授。

在访谈中, 徐老师给我们介绍了二维材料的发展历程、独特性质、潜在应用、发展趋势。并且给有志于从事二维材料研究的青年学生提出了非常中肯的建议, 希望能对大家有所启示。

问题1: 二维材料有无明确的科学定义?

回答: 关于二维材料, 没有绝对明确的科学定义, 但科学界普遍认同的概念是指电子仅可在两个维度, 大概一到几十纳米平面内可自由运动的材料。

在石墨烯发现之前, 二维纳米结构主要是III-V族的量子阱。通过分子束外延(MBE)技术选择晶格匹配的两种化合物半导体材料, 控制外延层的厚度在纳米量级获得二维电子势阱。

近年来提出的二维材料的概念, 是从2004年曼切斯特大学Geim小组成功分离出单原子层0.34 nm的石墨烯而出现的。大多数科学家对二维材料的厚度并没有严格的规定, 主要还是以和三维体材料在性能上的不同加以区分。

问题2: 二维材料是如何被发现的?

回答: 最开始理论物理认为单层石墨(石墨烯)是不可能现实中独立存在的。于是2004曼切斯特大学Geim小组想将石墨磨至只剩10–100层厚, 然后研究它的性质。但当时只磨出大约1000层厚的石墨薄片, 距离目标差一点。于是他们利用透明胶带将它的上层剥下, 薄片便会剥黏在胶带上。重复数次相同的过程, 胶带上就黏着越来越薄的石墨薄

片。2004年10月, Geim在*Science*杂志发表了一篇题为Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films的论文, 宣布制备出石墨烯片, 之后二维材料被广泛关注, 持续至今。

问题3: 科学家为何对二维材料产生了浓厚的兴趣?

回答: 二维材料因其特殊的物理特性而引起广泛的关注, 不同应用中的关键特性都被很大程度地提升。二维材料独特的光电特性或许会在高效、宽带、柔性、透明、低功耗等方面的新一代的器件发挥独特作用, 因此促使了大量相关的研究。

此外从绝缘体氮化硼, 半导体过渡金属硫化物, 到金属特性的石墨烯, 它们各种堆叠和排列的组合, 展示了二维材料特性的多样性, 或许会带来科学上的重要发现。

问题4: 二维材料发展历程中, 有哪些里程碑式的发现?

回答: 里程碑式的物理发现, 以石墨烯为例主要体现在: (1)在发现石墨烯以前, 大多数物理学家认为, 热力学涨落不允许任何二维晶体在有限温度

下存在,但是单层石墨烯能够在实验中被制备出来,所以它的发现立即震撼了凝聚体物理学学术界。(2)石墨烯中电子和空穴载流子的半整数量子霍尔效应在室温下就通过电场作用改变化学势观察到。(3)石墨烯中的载流子在碰到杂质时一般不会产生背散射,石墨烯具有局域超强导电性以及很高的载流子迁移率。

问题5: 您预计未来会发现哪些新的二维材料?

回答: Drexel大学的Yury Gogotsi教授说过:“一个50岁的科学家在实验室玩新玩具和一个5岁小孩在家里玩新玩具的乐趣没什么不一样,二维材料就是我的新玩具!”在石墨烯之外,目前在二维材料发展了几大体系,比如:TMDs、MXenes、2D Organic materials、BP、硅烯、锗烯、Nitrides和二维钙钛矿等等。未来还有可能制备出更多新的二维材料。

问题6: 二维材料有哪些应用实例?在哪些领域有开拓性的应用?

回答: 二维材料是当下的前沿领域之一,涵盖了印刷电子、柔性电子、超级电容、太阳能电池、量子点、传感器、光电探测器、半导体制造等,具有优异的机械、热学、光学特性,是这些领域实现颠覆式创新的基础。

问题7: 目前二维材料发展的最大的挑战有哪些?

回答: 虽然二维材料的性质探索、制备表征和器件应用都已有较好的发展,但距离其产业化应用还较远。在大面积高质量材料及其特定复合结构的可控制备、低能耗高集成度器件的结构设计、大规模材料器件印刷技术,与传统材料产业链的结合等方面还有巨大的挑战。此外,二维材料家族中仍有不少材料尚未被制得,其物理、化学性质有待揭示。

问题8: 二维材料发展和应用对普通人的生活会有哪些影响?

回答: 如今,二维材料研究在诸如:自旋电子、印刷电子、柔性电子、微电子、存储器、处理器、超透镜、太赫兹、超级电容、太阳能电池、防伪标签、量子点、传感器、探测器、半导体制造、NFC、医疗等领域开展了广泛的基础研究。但目前市场上,还没有看到大规模相关的日常生活产品。二维材料与器件的应用还有很多挑战和困难,希望能在不久的将来“飞入寻常百姓家”。

问题9: 您对准备从事二维材料研究的年轻学生有何建议?

回答: Geim在发现石墨烯获得诺贝尔奖之前,于1997年使用磁场让一只青蛙漂浮升空,登上报纸头版头条,于2000年获得搞笑诺贝尔奖。他曾和他的仓鼠宠物共同发表一篇论文《探测地球自转的反磁性悬浮回转仪》。2007年,他的实验室开发出一种仿照壁虎黏性脚垫的微制造黏着剂。Geim擅长寻找古怪但有重要性的研究题目,所以未来准备从事二维材料研究的年轻学生应该学习Geim的这种打破常规的思维方式,敢于探索关键科学问题的精神。

问题10: 您可否预测一下二维材料未来的发展趋势?

回答: 未来二维材料可在调控催化和电学性能、光电器件性能的提升、可穿戴智能器件、柔性电子、储能器件等方面有更多的提升空间。对二维材料的工艺流程,诸如互连接触、掺杂、栅极加工、图形化及其刻蚀、系统集成等方面的问题都需要解决。这些将实验室的概念器件推向大规模生产制造,还有很多重大困难需要突破,才有可能使得二维材料进入产业化发展。

徐杨,浙江大学微电子学院教授, Professor of ZJU-UIUC Joint Institute, 英国剑桥大学丘吉尔学院学者, UCLA访问教授。清华大学电子工程系微电子学与固体电子学学士;美国伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校电子工程系博士。徐杨教授长期从事硅基非可见光探测器的设计与制备,专注于与新材料集成的硅基图像传感器系统研究。在*Nat. Commun.*、*Adv. Mater.*、*Nano Lett.*等期刊和IEDM会议上发表论文60余篇,发明专利授权10余项。曾承担国家自然科学基金5项,参与国家重点研发1项。