



中国科学院物理研究所 SF9组供稿
北京凝聚态物理国家研究中心

第5期

2022年01月19日

一维狄拉克材料的实验观测

狄拉克材料拥有线性色散的狄拉克锥，能够表现出如背散射被抑制、超高载流子迁移率和量子自旋霍尔效应等诸多优异的量子特性，在新型的量子器件中具有重要的应用价值。石墨烯是首个在实验上证实的具有狄拉克锥的材料。随后，人们在硼烯【Phys. Rev. Lett. 118, 096401 (2017)】和硅烯【Phys. Rev. Lett. 122, 196801 (2019)】等其他二维材料中也陆续发现了狄拉克锥。除了二维材料，某些三维材料中也存在狄拉克锥，比如三维强拓扑绝缘体的拓扑表面态、三维拓扑半金属的体能带等。近些年来，量子器件的小型化需求让人们更加关注一维材料，如纳米线、纳米带和纳米管等。然而，一维拓扑材料的研究进展相对缓慢，具有狄拉克电子态的一维材料仍然有待理论和实验的探索。

最近，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家研究中心SF9组冯宝杰特聘研究员和吴克辉研究员指导的博士生岳绍圣，与SF10组孟胜研究员指导的博士生周辉、北京量子信息科学研究院的冯娅博士、北京理工大学的姚裕贵教授以及日本广岛大学的岛田贤也教授合作，首次在硅纳米带中发现了一维狄拉克锥。

利用分子束外延技术，他们在Ag(110)衬底上制备出了大面积有序排列的硅纳米带。这种大面积有序排列的一维结构使得角分辨光电子能谱测量成为了可能。利用角分辨光电子能谱技术，他们直接观测到了硅纳米带中的狄拉克锥，其费米速度约为 1.3×10^6 m/s，比石墨烯略高。通过变换入射光子的能量，他们证实了狄拉克锥完全来自于硅纳米带，不存在衬底的贡献。理论研究表明，由于硅纳米带呈交替的五元环状，不同于石墨烯的蜂窝状结构，这种特殊的原子结构可以用著名的Su-Schrieffer-Heeger模型来描述。系统的第一性原理计算和紧束缚模型分析都证实了硅纳米带中存在一维无能隙的狄拉克锥，与实验结果完全一致。另外，理论计算表明，硅纳米带中的狄拉克锥具有奇特的物性，比如在磁场下将会发生拓扑相变、对称性破缺后打开的能隙中存在拓扑corner state等。这些奇特的物性有待进一步的实验验证。

这项工作将狄拉克电子态从二维和三维材料拓展到了一维材料，为人们研究一维狄拉克材料提供了新的平台。这一成果以“Observation of One-Dimensional Dirac Fermions in Silicon Nanoribbons”为题发表在Nano Letters上 (<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.nanolett.1c03862>)。岳绍圣、周辉、冯娅、王月为共同第一作者，孟胜研究员、吴克辉研究员、冯宝杰特聘研究员为共同通讯作者。该工作得到国家自然科学基金委、科技部、北京市自然科学基金、中科院国际合作项目和中科院先导专项等的资助。

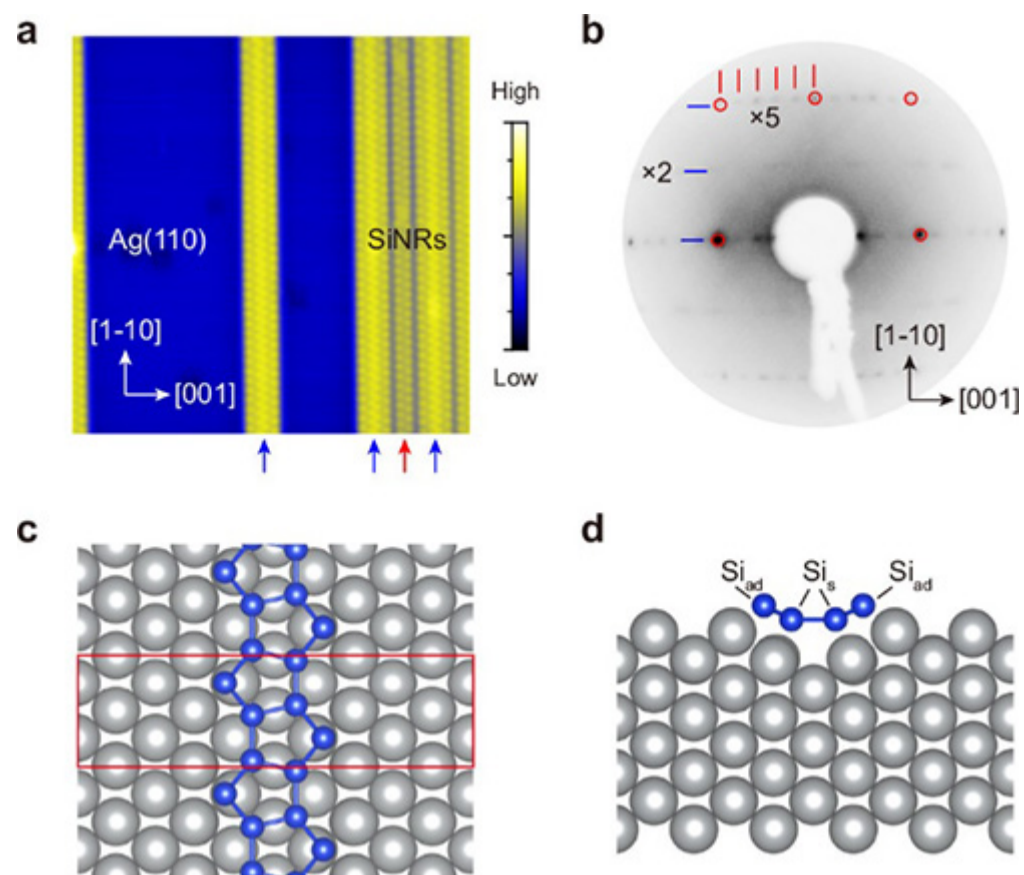


图1: 硅纳米带的形貌表征和结构模型。

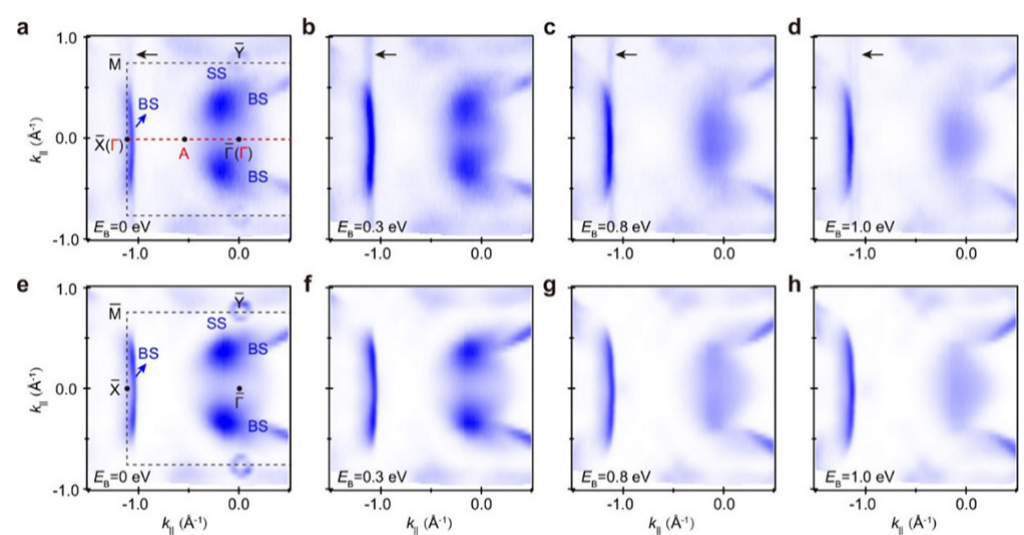


图2: 硅纳米带生长之后和生长之前的ARPES等能面。

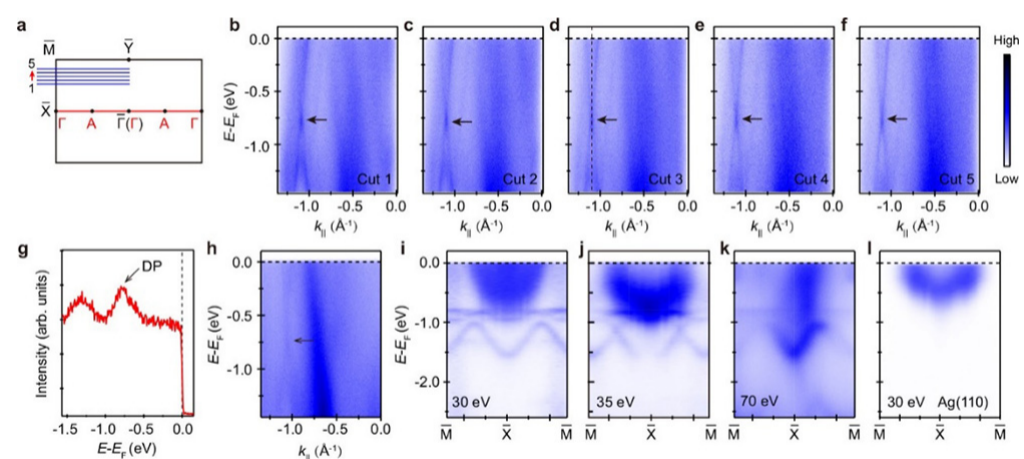


图3: 硅纳米带中狄拉克锥的ARPES观测。

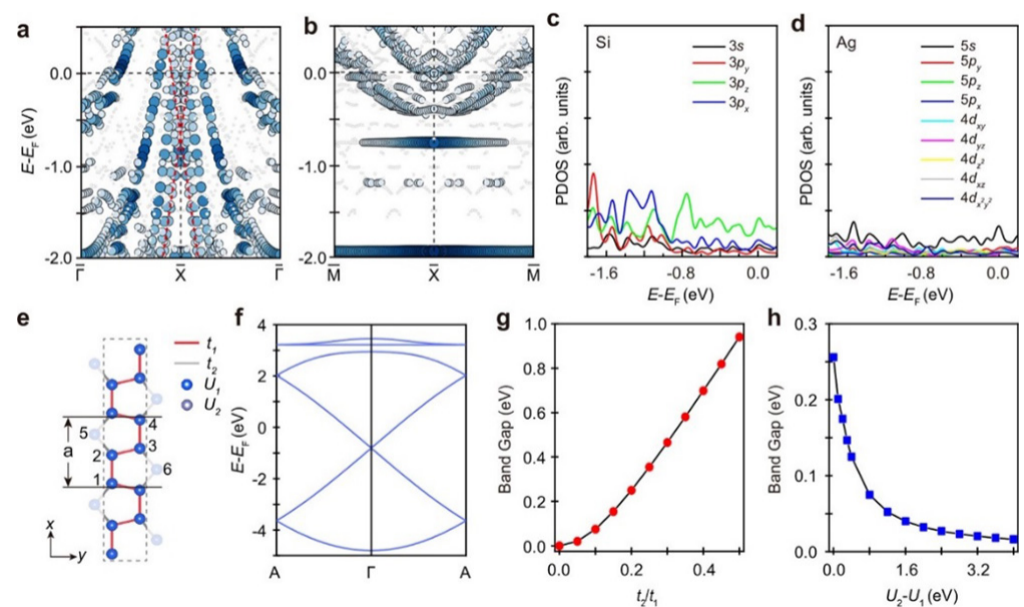


图4: 第一性原理计算和紧束缚模型分析。

