

不同极性 6H-SiC 表面石墨烯的制备 及其电子结构的研究*

康朝阳¹⁾ 唐 军¹⁾ 李利民¹⁾ 潘海斌¹⁾ 闫文盛¹⁾ 徐彭寿^{1)†} 韦世强¹⁾ 陈秀芳²⁾ 徐现刚²⁾

1)(中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 合肥 230029)

2)(山东大学晶体材料国家重点实验室, 济南 250100)

(2010年10月9日收到; 2010年11月11日收到修改稿)

在超高真空设备中, 采用高温退火的方法在 6H-SiC 两个极性面(0001)和(000 $\bar{1}$)面(即 Si 面和 C 面)外延石墨烯(EG). 利用低能电子衍射(LEED)和同步辐射光电子能谱(SRPES)对样品的生长过程进行了原位研究, 而后利用激光拉曼光谱(Raman)和近边 X 射线吸收精细结构(XANES)等实验技术对制备的样品进行了表征. 结果表明我们在两种极性面均制备出了质量较好的石墨烯样品. 而有关两种石墨烯的对比性研究发现: Si 面 EG 呈同一取向而 C 面 EG 呈各向异性; Si 面 EG 与衬底存在类似于金刚石 C—sp³ 键的界面相互作用, 受到衬底的影响较大, 而 C 面 EG 与衬底的相互作用较弱, 受到衬底的影响较小.

关键词: 石墨烯, 6H-SiC, 同步辐射, 电子结构

PACS: 73.22.Pr, 68.65.Pq, 81.15.-z

1. 引言

石墨烯是近年发现的由单层或几层碳原子紧密排列成二维六角结构的一种碳质新材料^[1]. 它不但不是构筑零维富勒烯、一维碳纳米管、三维体相石墨等 sp² 杂化碳的基本结构单元, 而且具有更多奇特的性质, 如室温下的反常量子霍尔效应^[2]、高的载流子迁移率($\sim 200000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)^[3]、优良的导热性能(可达 $5000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)^[4]、高的机械强度^[5]以及室温铁磁性^[6]等. 由于其优良的机械和光电性质, 石墨烯在电子、信息、能源、材料和生物医药等领域具有重大的应用前景, 可望在 21 世纪掀起一场新的技术革命.

目前在石墨烯的制备方面已经取得积极的进展, 发展了机械剥离^[1]、晶体外延生长^[7]、化学氧化^[8]、化学气相沉积^[9]和有机合成^[10]等多种制备方法. 在多种制备方法中利用 SiC 衬底高温热退火制备石墨烯的方法越来越引起人们的重视^[11–13], 这种方法不但适合大片石墨烯的制备, 而且可以利用性能优越的

第三代半导体 SiC 做衬底, 并能够与目前成熟的 Si 基半导体工艺相适应. 与机械剥离法制备的石墨烯不同, 外延石墨烯的电子结构和性质与衬底息息相关. 为了提高石墨烯薄膜的质量, 研究 SiC 衬底与外延石墨烯的电子与界面结构及石墨烯的外延生长机理显得尤其重要. SiC 有多种晶型, 6H-SiC 在目前外延石墨烯的制备中比较常见. 研究发现 6H-SiC 的两个极性面即 Si 面(0001)面与 C 面(000 $\bar{1}$)面与高温退火过程与生长的石墨烯均存在较大差别^[14,15], 而有关两者的对比性研究及石墨烯生长初始阶段的电子结构和界面结构的研究还不够深入.

本文在超高真空设备中利用高温热退火的方法在 6H-SiC 两个极性面即 Si 面与 C 面外延生长了石墨烯样品, 利用低能电子衍射(LEED)与同步辐射光电子能谱(SRPES)对其生长过程及电子结构进行了原位研究, 并对生长后样品进行了 Raman 和 NEXAFS 测试, 得到了一些有意义的结果.

2. 实验

样品是在国家同步辐射实验室光电子能谱站

* 国家自然科学基金(批准号: 50872128, 50802053)资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: psxu@ustc.edu.cn

超高真空设备中制备的. 该设备分为分析室、预处理室和快速进样室. 分析室和预处理室本底真空可达 5.0×10^{-11} torr ($1 \text{ Torr} = 1.33322 \times 10^2 \text{ Pa}$). 利用电子束轰击对样品进行加热, 加热温度利用红外温度计标定. 6H-SiC 单晶是由山东大学晶体材料国家重点实验室采用物理气相输运法在 $2200 \text{ }^\circ\text{C}$ 下生长, 单晶沿垂直 c 轴切割, Si 面和 C 面都进行化学机械抛光处理^[16]. 样品生长前对 SiC 衬底进行了如下的处理: 1) 使用分析纯的四氯化碳、丙酮、乙醇、去离子水超声清洗以除去油污; 2) 用浓硫酸和双氧水混合液浸泡后并用去离子水冲洗, 以除去残余的金属和有机物; 3) 5% 的氢氟酸溶液浸泡以刻蚀掉表面的原生氧化层; 4) 去离子水冲洗数次并用高纯氮气吹干, 迅速放入到真空室. 分别在样品 6H-SiC 的 (0001) 面与 (000 $\bar{1}$) 面即 Si 面与 C 面制备石墨烯, 样品分别记为 S_1 与 S_2 . 样品 S_1 即 Si 面样品具体制备过程如下: 先在预处理室将衬底温度升到 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 去除衬底表面的水蒸气; 然后为了清洁样品表面保持衬底 $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 下沉积适量的 Si, 沉积速率约 0.2 nm/min , 沉淀时间约 3 min ; 停止沉积 Si 后, 样品被传到分析室进行退火, 退火温度保持在 $1250 \text{ }^\circ\text{C}$, 退火时间为 5 min ; 退火结束后, 样品温度均匀降到室温. 样品 S_2 即 C 面样品除了退火温度保持在 $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ 外, 其他制备过程和 Si 面样品制备过程一致.

样品制备过程中利用低能电子衍射 (LEED) 与同步辐射光电子能谱 (SRPES) 实时监测样品的表面状况. 为了保持表面敏感, 测定 C1s 能级时选定入射光子能量为 450 eV . 生长后的样品利用拉曼 (Raman) 谱与近边 X 射线吸收精细结构 (NEXAFS) 等实验技术进行表征. Raman 谱是利用美国 SPEX 公司的 RAMANLOG 6 激光拉曼仪在室温下采集, 使用波长为 514.5 nm 的氩离子激光器激发, 波数精度 $\pm 1 \text{ cm}^{-1}$. SiC 衬底、Si 面样品与 C 面样品的 C 的 K 边 NEXAFS 谱采集是在合肥国家同步辐射实验室 (NSRL) U19 光束线软 X 射线磁性圆二色实验站完成的, 光子能量扫描范围从 280 eV 到 320 eV , 入射光与衬底的夹角为 40° , 采用全电子产额 (TEY) 模式收集信号.

3. 结果与讨论

图 1 是样品 S_1 与 S_2 高温退火前后的低能电子衍射图像 (LEED). 图 1(a) 到图 1(b) 描述的是样品

S_1 即 Si 面石墨烯的生长情况, 图 1(a) 是清洗后的衬底图像, 可看到 6H-SiC 六个清晰的衍射斑点; 当衬底退火温度达到 $1250 \text{ }^\circ\text{C}$, 冷却下来得到图 1(b), 从图 1(b) 中可以看到, 除了 6H-SiC ($6\sqrt{3} \times 6\sqrt{3}$) R30 重构斑点, 在其外侧旋转 30° 方向出现了六个新的斑点, 这表明样品表面有新的物质形成. 根据关系式 $a \propto 1/L$, 其中 a 表示晶体的晶格常数, L 表示低能电子衍射图中零级衍射斑点到第一级衍射斑点的距离, 可以得出图中 $a'_L/a_L = L/L' = 0.793$, 考虑到 6H-SiC 的晶格常数 $a_L = 0.308 \text{ nm}$, 可以得出新物质的晶格常数 $a'_L = 0.2434 \text{ nm}$, 这与 C 的晶格常数 ($a = 0.24589 \text{ nm}$)^[14] 非常相近, 这表明随着退火温度的增加, Si 原子大量逸出, 剩下的 C 原子重新排列, 形成了稳定结构即石墨烯. 图 1(c) 到图 1(d) 描述的是样品 S_2 即 C 面石墨烯的生长情况, 图 1(c) 是清洗后的衬底图像, 同样可以看到 6H-SiC 六个清晰的衍射斑点; 当衬底退火温度达到 $1150 \text{ }^\circ\text{C}$, 冷却下来得到图 1(d), 从图 1(d) 中可以看到在 6H-SiC 外侧出现类似环状的新斑点, 同样根据 $a \propto 1/L$, 可以得出图中 $a'_L/a_L = L/L' = 0.805$, 新物质的晶格常数 $a'_L = 0.2479 \text{ nm}$, 这表明我们在 C 面 6H-SiC 上同样生长出了石墨烯. 对比两种极性面生长石墨烯 LEED 图可以发现二者有两个显著的不同: Si 面的生长石墨烯 LEED 斑点是单一的斑点, 表明晶格排列是单一取向, 而 C 面石墨烯呈类似环状, 表面晶格排列是多种取向的; 再者 Si 面石墨烯的生长温度高于 C 面石墨烯的生长温度 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 这说明 C 面更易生长石墨烯.

图 2 和图 3 分别是两种极性面生长石墨烯过程中的 C 1s 芯能级谱图, 所用光子能量为同步辐射光 $h\nu = 450 \text{ eV}$. 图 2(a) 和图 3(a) 分别是经过化学处理后的 6H-SiC 衬底谱图, 从 2 图中可以看到除了 SiC 衬底的峰 B (283.6 eV) 外, 图 2(a) 中 T_1 (285.6 eV) 和图 3(a) 中 T_3 (284.8 eV) 均来自于表面污染. 两衬底分别在 $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 下沉积适量的 Si 后分别得到图 2(b) 和图 3(b), 可以发现两衬底的表面污染成分均已消失, 这是由于碳污染层在一定的温度下很容易逸出表面, 而沉积适量的 Si 对于保持衬底表面的完整性有重要作用. 图 2(c) 是 Si 面 SiC 经过 $1250 \text{ }^\circ\text{C}$ 退火后得到的 C 1s 谱图, 从图中可以看到除了衬底峰 B 峰外在低结合能处出现了 G 峰 (284.67 eV) 和 T_2 峰 (285.3 eV), G 峰结合能位置非常接近于石墨 C—sp² 键的位置^[17], 把 G 峰归结为石墨烯

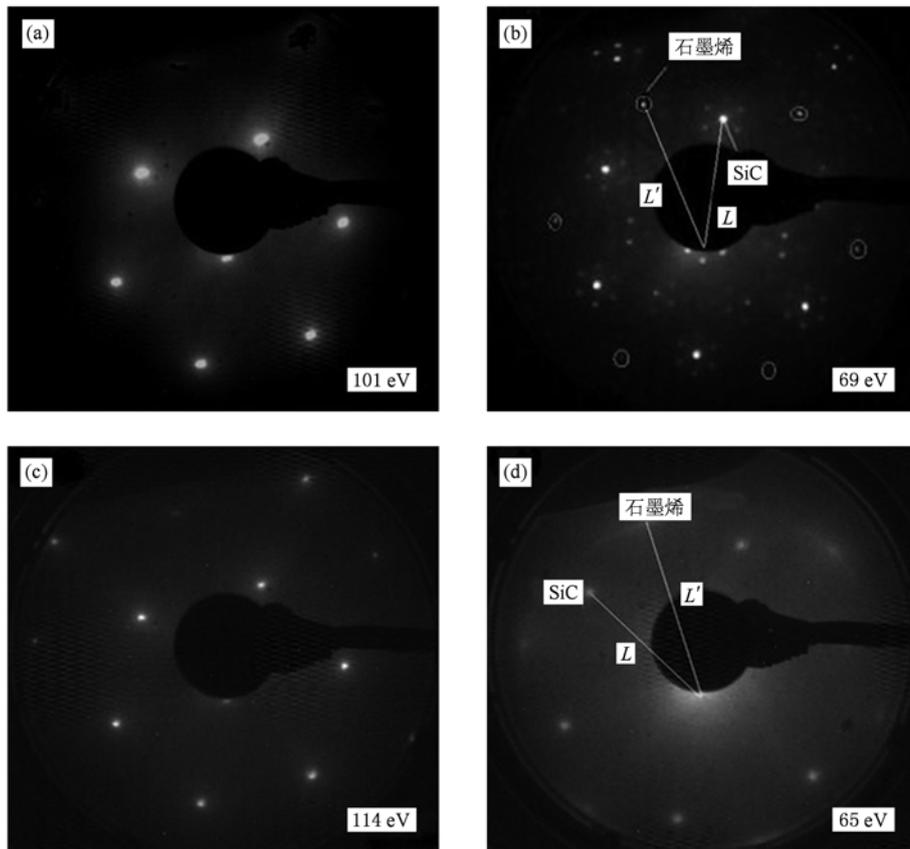


图1 样品 S_1 与 S_2 高温退火前后的低能电子衍射图像 (a) 6H-SiC(0001) 衬底; (b) Si 面外延石墨烯; (c) 6H-SiC(0001) 衬底; (d) C 面外延石墨烯

的成分,而 T_2 峰结合能位置非常接近于金刚石 C— sp^3 键的位置^[17],有报道发现在 Si 面 SiC 生长石墨烯过程中, Si 逸出后形成的第一层碳原子还与 SiC 的碳层成键,其并不具备石墨烯的性质^[18],只是作为衬底和外延石墨烯的缓冲层,第二层碳原子才能称为石墨烯, T_2 峰就可能是缓冲层碳原子的贡献,而 T_2 峰和 G 峰的同时存在也说明了外延石墨烯和 6H-SiC 衬底之间形成了比较稳定的界面结构. 图 3 (c) 是 C 面 SiC 经过 1150 °C 退火后得到的 C 1s 谱图,图中除了衬底峰 B 峰外也出现了一个新的峰 G' 峰(285.64 eV),结合 LEED 图可知此峰也是来自于石墨烯的贡献,此样品并没有出现类似于 Si 面石墨烯的 T_2 的峰,这表明在 C 面 SiC 上生长的石墨烯与衬底之间没有缓冲层碳原子,其界面作用较弱. 我们推测较弱的界面相互作用是 C 面 6H-SiC 外延的石墨烯更容易形成,所以其所需要的生长温度比在 Si 面上低 100 °C 左右. 再者由于 C 面 SiC 上石墨烯与衬底的相互作用较弱,当用光激发出光电

子后,表面剩余的正电荷未及时排走,样品测试时表面荷电效应比较明显,所以测量的 C 面石墨烯 G' 峰结合能(285.64 eV)的位置略高于 Si 面石墨烯 G 峰(284.67 eV)的位置^[15].

目前 Raman 光谱被认为是检测石墨烯的一种高效率、无破坏的表征手段. 图 4(a) 是 6H-SiC 衬底和在两种极性面上生长的石墨烯及高定向热解石墨 HOPG 的 Raman 谱图,从图中可以看到与 SiC 衬底的拉曼谱相比,样品 S_1 和 S_2 的拉曼谱在 2700 cm^{-1} 附近均多出了一个拉曼峰. 它的位置与 HOPG 拉曼谱中的 2D 峰相近,此峰应该就是外延生长的石墨烯的 2D 峰^[19]. 通常 HOPG 的 2D 峰是由两个光子与第一布里渊区中两个互不等价的 K 点附近共振激发引起的^[20],我们测试的 HOPG 的 2D 峰位于 2717 cm^{-1} . 图 4(b) 是放大的外延石墨烯的 2D 峰, (S_1) 表示在 Si 面外延的石墨烯, 2D 峰位置在 2738 cm^{-1} , (S_2) 表示在 C 面外延的石墨烯, 2D 峰位置在 2726 cm^{-1} , 两峰的位置相比于 HOPG 的 2D 峰

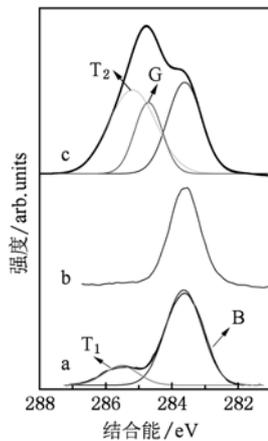


图2 Si面6H-SiC生长石墨烯过程中的C 1s 芯能级谱图($h\nu = 450$ eV) (a) 常温下衬底; (b) 800 °C退火并沉积Si后; (c) 1250 °C退火后

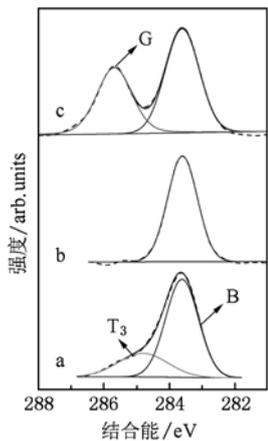


图3 C面6H-SiC生长石墨烯过程中的C 1s 芯能级谱图($h\nu = 450$ eV) (a) 常温下衬底; (b) 800 °C退火并沉积Si后; (c) 1150 °C退火后

分别有 21 cm^{-1} 和 9 cm^{-1} 的蓝移. HOPG 的拉曼谱除了在 $\sim 2700\text{ cm}^{-1}$ 处存在特征峰 2D 峰外, 在 $\sim 1580\text{ cm}^{-1}$ 附近还存在另一个特征峰 G 峰, 它是单声子的拉曼散射过程导致的 LO 声子峰^[20-21]. 图 4 (a) 中由于衬底的影响, 样品 S_1 和 S_2 中 G 峰的情况不是很清楚. 为了判断样品 S_1 和 S_2 是否存在 G 峰, 我们将位于 1580 cm^{-1} 附近的 S_1 和 S_2 的拉曼谱分别和 SiC 衬底的拉曼谱相减得到了各自的差谱, 如图 3(c) 中 (a) 和 (b) 所示. 由图中可以看到, 在 (a) 谱中位于 1600 cm^{-1} 处和 (b) 谱中位于 1589 cm^{-1} 处分别出现了一个明显的拉曼峰, 它们即为样品 S_1 和 S_2 的 G 峰. 与 HOPG 的 G 峰相比, 它们分

别有 20 cm^{-1} 和 9 cm^{-1} 的蓝移. 由此可见, 两个极性面的外延石墨烯与 HOPG 相比较, 其拉曼谱中的 G 峰与 2D 峰具有相同的变化趋势, 即都会蓝移, 而且 Si 面石墨烯蓝移幅度较大. 一般认为, 拉曼频移和薄膜内应力有关: 若峰位蓝移, 则结构中出现的是压应力, 反之是张应力^[22]. 因此, 外延石墨烯拉曼谱中 G 峰和 2D 峰的蓝移, 被认为是由于外延的石墨烯层内压应力导致的. 而外延石墨烯层内压应力来源于 SiC 衬底和石墨烯大的热膨胀系数的差异^[23,24]. 样品从高温降到室温过程中, 由于 SiC 衬底的热膨胀系数大于石墨烯的热膨胀系数, 使得 SiC 衬底晶格比外延石墨烯晶格收缩的快, 从而导致外延薄膜内存在压应力, 在拉曼谱中表现为 G 和 2D 拉曼峰的蓝移. 两种极性面生长的石墨烯特征峰蓝移幅度的不一致也表明两种石墨烯受到衬底应力作用的大小不同, Si 面石墨烯受到衬底的作用较强, C 面石墨烯与衬底的相互作用较弱, 这与前面 SRPES 的结果是一致的. 位于 $1330\text{--}1380\text{ cm}^{-1}$ 的 D 峰也是石墨烯中常出现的峰, 它是晶格缺陷和表面无序度的反映^[25]. 从差谱如图 3(c) 中 (a) 和 (b) 可知, 样品 S_1 与样品 S_2 D 峰的强度都很弱, 这表明我们在两种极性面外延生长的石墨烯晶体质量都很好.

近边 X 射线吸收精细结构 (XANES) 是一种同步辐射特有的电子结构和原子局域结构研究方法, 是研究材料的一种强有力工具^[26]. 它能够给出体系的价带电子结构信息, 进而可以用来推断体系的成键情况以及相邻原子的分布构造. 此外, XANES 区域的光电子能量低, 对吸收原子周围的电荷分布非常敏感, 可用于不同体系间微弱作用的研究. 石墨烯晶格主要是由 sp^2 杂化态的 C 原子组成的. 每个 C 原子在晶格平面内通过 3 个很强的 σ 键和其他三个 C 原子相连接构成了石墨烯片层具有刚性结构的骨架. 每个 C 原子都有四个价电子, 这样每个 C 原子贡献出一个未成键的 π 电子, 在垂直石墨烯晶格平面方向形成 π 轨道, 且 π 电子在晶体可以自由移动赋予石墨烯良好的导电性. 为了研究我们制备的外延石墨烯的电子结构, 分别测试了 6H-SiC 衬底、样品 S_1, S_2 和 HOPG 的 C 的 K 边的 X 射线吸收精细结构近边谱, 如图 5 所示. 在图 5 中, 相比于 SiC 衬底, 样品 S_1, S_2 在 285.5 eV 处和 292.5 eV 附近出现了和 HOPG 相似的峰, 285.5 eV 处的峰记为 A 峰, 292.5 eV 附近的双峰记为 C 峰. A 峰来源于

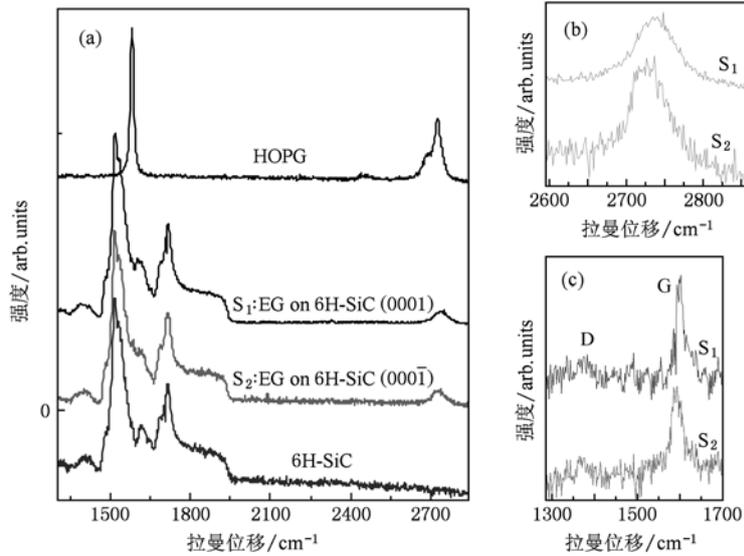


图4 (a) 6H-SiC 衬底和样品 S₁ 与 S₂ 及高定向热解石墨的 Raman 谱图; (b) 样品 S₁ 样品 S₂ 不同极性面外延石墨烯的 Raman 2D 峰; (c) 样品 S₁ 样品 S₂ 通过与 SiC 衬底做差谱得到的不同极性面外延石墨烯的 Raman D 峰和 G 峰

C_{1s}→C-C π* 的共振吸收, C 峰属于 C_{1s}→C-C σ* 的两个共振吸收峰^[25,27], 样品 S₁, S₂ 中 A 峰和 C 峰的出现标志着样品中 sp² 杂化态的 C 原子的出现, 即我们通过高温退火的方法在 6H-SiC 的两个极性面成功制备出了石墨烯. 286.6—291.6eV 间的吸收峰(B 峰)也是碳质材料中经常出现的峰, 近来研究表明, B 峰对应的应该是 C 1s 态到 sp³ 杂化态的跃迁^[28]. 对比 S₁, S₂ 发现, S₁ 中 B 峰强度明显强于 S₂, 此结果也说明 Si 面石墨烯上有 C—sp³ 键的存在, 而 C 面外延石墨烯没有此结构, 也即证明 Si 面

外延石墨烯与衬底有较强的相互作用, 而 C 面外延石墨烯与衬底作用较弱. 这与前面的 SRPES 和 Raman 结果是一致的.

4. 结 论

在超高真空设备中, 采用高温退火的方法在 6H-SiC 两个极性面外延生长石墨烯. 利用低能电子衍射 (LEED)、同步辐射光电子能谱 (SRPES)、激光拉曼光谱 (Raman) 和近边 X 射线吸收精细结构 (NEXAFS) 等实验技术对制备的样品进行了表征. LEED 结果发现, 在 6H-SiC 两个极性面均制备出了石墨烯, Si 面 EG 呈同一取向而 C 面 EG 呈多种取向. C 1s 的芯能级 SRPES 测试表明, Si 面 EG 与衬底存在类似于金刚石 C-sp³ 键的界面相互作用, 而 C 面 EG 与衬底的相互作用较弱. Raman 测试显示, 两种外延石墨烯拉曼谱中 2D 峰和 G 峰的位置均相对高定向热解石墨 (HOPG) 中 2D 峰和 G 峰的位置蓝移, 峰的蓝移幅度不同, 说明两样品受到衬底不同的压应力作用; Si 面 EG 中 D 峰强度较弱, 说明其结晶质量较好. C 的 K 边 XANES 谱结果显示, 两样品均出现了 C_{1s}→C-C π* 峰和 C_{1s}→C-C σ* 峰, 这表明样品表面均存在 sp² 杂化的 C 原子, 进一步证明了石墨烯在两种极性面上的形成.

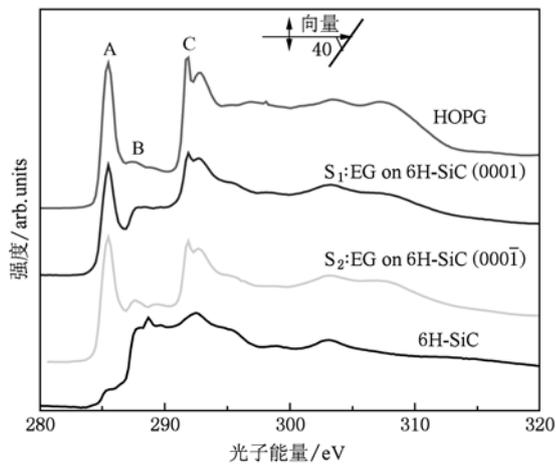


图5 6H-SiC 衬底和样品 S₁ 与 S₂ 及高定向热解石墨的 XANES 谱图

- [1] Novoselov K S, Geim A K, Firsov A A 2004 *Science* **306** 666
- [2] Novoselov K S, Jiang Z, Zhang Y, Morozov S V, Stormer H L, Zeitler U, Maan J C, Boebinger G S, Kim P, Geim A K 2007 *Science* **315** 1379
- [3] Service R F 2009 *Science* **324** 875
- [4] Balandin A A, Ghosh S, Bao W Z, Calizo I, Teweldebrhan D, Miao F, Lau C N 2008 *Nano Lett.* **8** 902
- [5] Lee C G, Wei X D, Kysar J W, Hone J 2008 *Science* **321** 385
- [6] Wang Y, Huang Y, Song Y, Zhang X Y, Ma Y F, Liang J J, Chen Y S 2009 *Nano Lett.* **9** 220
- [7] Sun J T, Du S X, Xiao W D, Hu H, Zhang Y Y, Li G, Gao H J 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3008
- [8] Stankovich S, Dikin D A, Dommett G H B, Kohlhaas K M, Zimney E J, Stach E A, Piner R D, Nguyen S T, Ruoff R S 2006 *Nature* **442** 282
- [9] Di C A, Wei D C, Yu G, Liu Y Q, Guo Y L, Zhu D B 2008 *Adv Mater* **20** 3289
- [10] Wu J S, Pisula W, Mullen K 2007 *Chem. Rev.* **107** 718
- [11] Berger, C, Song Z, Li T, Li X, Ogbazghi A Y, Feng R, Dai Z, Marchenkov A N, Conrad E H, First P N, de Heer, W 2004 *The Journal of Phys. Chem. B* **108** 19912
- [12] Berger C, Song Z, Li X, Wu X, Brown N, Naud C, Mayou D, Li T, Hass J, Marchenkov A N, Conrad E H, First P N, de Heer, W 2006 *Science* **312** 1191
- [13] Tang J, Liu Z L, Kang C Y, Pan H B, Wei S Q, Xu P S, Gao Y Q, Xu X G 2009 *Chin. Phys. Lett.* **26** 08814
- [14] Park C H, Cheong B Ch, Lee K H, Chang K J. 1994 *Phys. Rev. B* **49** 4485
- [15] Jernigan G G, VanMil B L, Tedesco J L, Tischler J G, Glaser E R, Anthony Davidson III, Campbell P M, Kurt Gaskill D 2009 *Nano Letters* **9** 2605
- [16] Xu X G, Hu X B, Wang J Y, Jiang M H 2003 *Journal of Synthetic Crystals* **32** 540 (in chinese) [徐现刚、胡小波、王继扬、蒋民华 2003 人工晶体学报 **32** 540]
- [17] Mizokawa Y, Miyasato T, Nakamura S, Geib K M, Wilmsen C W, 1987 *J. Vac. Sci. Technol.* **5** 2809
- [18] Penelous J, Ouerghi A, Lucot D, David C, Gierak J, Estrade-Szwarckopf H, Andreazza-Vignolle C 2009 *Phys. Rev. B* **79** 033408
- [19] Ni Z H, Chen W, Fan X F, Kuo J L, Yu T, wee A S T, Shen Z X 2008 *Phys. Rev. B* **77** 115416
- [20] Thomsen C, Reich S 2000 *Phys. Rev. L* **85** 5214
- [21] Chen D M 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 6399 (in Chinese) [陈东猛 物理学报 2010 **59** 6399]
- [22] Wei Yong, Tong G P 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 372 (in Chinese) [韦勇、童国平 2010 物理学报 **59** 372]
- [23] Röhl J, Hundhausen M, Emtsev K V, Seyller Th, Graupner R, Ley L 2008 *Appl. Phys. Lett.* **92** 01918
- [24] Ferralis N, Maboudian R, Carraro C 2008 *Phys. Rev. Lett.* **101** 156801
- [25] Ferrari A C, Meyer J C, Scardaci V, Casiraghi C, Lazzeri M, Mauri F, Piscanec S, Jiang D, Novoselov K S, Roth S, Geim A K 2006 *Phys. Rev. Lett.* **97** 187401
- [26] Tang J, Liu Z L, Ren P, Yao T, Yan W S, Xu P S, Wei S Q 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 372 (in Chinese) [唐军、刘忠良、任鹏、姚涛、闫文盛、徐彭寿、韦世强 2010 物理学报 **59** 372]
- [27] Batson P E 1993 *Phys. Rev. B* **48** 2608
- [28] Abbas M, Wu Z Y, Zhong J, Ibrahim K, Fiori A, Orlanducci S 2005 *Appl. Phys. Lett.* **87** 051923

Preparation of graphene on different-polarity 6H-SiC substrates and the study of their electronic structures*

Kang Chao-Yang¹⁾ Tang Jun¹⁾ Li Li-Min¹⁾ Pan Hai-Bin¹⁾ Yan Wen-Sheng¹⁾

Xu Peng-Shou^{1)†} Wei Shi-Qiang¹⁾ Chen Xiu-Fang²⁾ Xu Xian-Gang²⁾

1) (National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230029, China)

2) (State Key Laboratory of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100, China)

(Received 9 October 2010; revised manuscript received 11 November 2010)

Abstract

The epitaxial graphene (EG) layers are grown on Si-terminated 6H-SiC (0001) substrates and C-terminated 6H-SiC (000 $\bar{1}$) substrates separately by thermal annealing in an ultrahigh vacuum chamber. Low energy electron diffraction (LEED) and synchrotron radiation photoelectron spectroscopy (SRPES) are used to in-situ study the synthesis process, and the prepared samples are characterized by Raman spectrum, and near edge X-ray absorption fine structure (XANEX). The results show that we have successfully prepared high-quality EG layers on the two polar surfaces of 6H-SiC. The comparisons studies indicate that Si terminated EG is highly oriented while C terminated EG is anisotropic, and that the interface interaction similar to that of C-sp³ bond of diamond exists on the Si terminated EG, the interaction between the epitaxial film and substrate is stronger, while on the C terminated EG there is no such interaction, and the interaction between the epitaxial film and substrate is weaker.

Keywords: graphene, 6H-SiC, synchrotron radiation, electronic structure

PACS: 73.22.Pr, 68.65.Pq, 81.15.-z

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 50872128, 50802053).

† Corresponding author. E-mail: psxu@ustc.edu.cn