

聚焦电子束诱导 SiO_x 纳米线表面碳沉积的分形生长

苏江滨^{①②}, 朱贤方^{②③④⑤*}, 李论雄^②, 王连洲^{②④}, 王占国^③

① 江苏工业学院数理学院, 常州 213164;

② 厦门大学物理系, 厦门大学中国-澳大利亚功能纳米材料联合实验室, 厦门 361005;

③ 中国科学院半导体研究所, 中国科学院半导体材料科学重点实验室, 北京 100083;

④ ARC Centre of Excellence for Functional Nanomaterials, University of Queensland, St Lucia, Brisbane, Queensland 4072, Australia;

⑤ 中国科学院固体物理研究所, 合肥 230031

* 联系人, E-mail: zhux@xmu.edu.cn

2010-01-21 收稿, 2010-03-25 接受

国家科技计划国际科技合作与交流专项(2008DFA51230)、国家重点基础研究发展计划(2007CB936603)、国家自然科学基金(90401022, 60776007)、中澳科技合作特别基金(20050222)和教育部科技研究重点项目(105099)资助

摘要 电子束诱导沉积技术已被证实可以实现各种材料的分形生长, 但是目前尚未发现聚焦电子束辐照下低维纳米结构表面未受辐照位置的分形生长现象, 造成了聚焦电子束诱导分形生长机理研究的空白与片面性. 以透射电子显微镜中残留的有机气体分子为前驱体, 室温下利用高能聚焦电子束辐照, 研究了一维非晶 SiO_x 纳米线表面未受辐照位置碳沉积的分形生长. 利用高分辨透射电子显微镜对 SiO_x 纳米线表面非晶碳的沉积过程进行原位观察, 发现了 SiO_x 纳米线表面未受辐照位置非晶碳的不均匀沉积及分形生长, 并捕捉到了碳沉积分形生长过程的细节. 同时对聚焦电子束诱导 SiO_x 纳米线表面未受辐照位置非晶碳的不均匀沉积及分形生长机理进行了深入的探索.

关键词

透射电子显微镜
聚焦电子束诱导沉积
 SiO_x 纳米线
非晶碳
分形生长

近 20 年来, 电子束诱导沉积(EBID)技术已经逐渐发展成为制备纳米线、纳米点等纳米结构^[1-3], 以及对纳米结构进行表面修饰^[4]的一种重要手段. 此外, 前人研究结果表明, 在合适的辐照和沉积条件下电子束诱导沉积还可以实现各种材料的分形生长. 例如, 柳得榕等^[5]在室温及电子显微镜真空度为 10^{-2} ~ 10^{-3} Pa 的条件下利用能量为 100 keV 的电子束(束斑约 5 μm , 电流强度约 50 μA)辐照氧化物玻璃生长了珊瑚状非晶碳枝叉; Cho 等^[6]在室温及气压为 4×10^{-5} Torr(1 Torr=133 Pa)的条件下利用能量为 50 keV 的电子束(束斑: 0.5~8 cm, 电流密度: 10 ~ $60 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)辐照聚合物合成了 $\text{SiC}_x\text{O}_{4-x}$ ($0 \leq x \leq 4$) 纳米树结构; Fonseca 等先后在低真空条件下(10^{-6} Torr)利用能量为 100 keV 的电子束辐照多孔硅薄膜生长了非晶碳纳米树^[7,8], 以及辐照非晶 SiO_2 纳米棒并在其自由端

生长了非晶碳纳米树^[9]; Song 等^[10]在室温及电镜真空度为 2×10^{-5} Pa 的条件下利用能量为 200 keV 的电子束(电流密度: 0.75 ~ $17.9 \text{ A}/\text{cm}^2$)辐照 $\text{W}(\text{CO})_6$ 粉末前驱体制备了钨纳米线、钨纳米树枝(nanodendrites)以及钨纳米树; Wang 等人^[11]利用能量为 175 keV 的电子束(束斑: 2 μm , 电流强度: $1.5 \times 10^{-9} \text{ A}/\text{cm}^2$)辐照铜样品生长了冷杉状(fir-like)碳纳米树等. 在这些文献中, 一方面, 纳米结构如一维纳米线表面的分形生长现象还很少报道(仅发现文献[9]); 另一方面, 包括文献[9]在内, 电子束束斑尺寸普遍较大, 且分形生长现象均出现在束斑辐照范围之内, 尚未发现聚焦电子束辐照下未受辐照位置的分形生长现象, 造成了聚焦电子束诱导分形生长机理研究的空白与片面性. 鉴于此, 本文尝试以低真空下透射电子显微镜(TEM)中残留的有机气体分子为前驱体, 室温下利用高能

英文引用格式: Su J B, Zhu X F, Li L X, et al. Fractal growth of deposited carbon on the unirradiated surface of SiO_x nanowires induced by focused electron beam (in Chinese). Chinese Sci Bull (Chinese Ver), 2010, 55: 1632—1637, doi: 10.1360/972010-152

聚焦电子束辐照来研究一维非晶 SiO_x 纳米线表面未受辐照位置碳沉积的分形生长. 利用高分辨透射电子显微镜对 SiO_x 纳米线表面非晶碳的沉积过程进行原位观察, 发现了 SiO_x 纳米线表面未受辐照位置非晶碳的不均匀沉积及分形生长, 并捕捉到了碳沉积分形生长过程的细节. 同时对聚焦电子束诱导 SiO_x 纳米线表面未受辐照位置非晶碳的不均匀沉积及分形生长机理进行深入的探索.

1 实验方法

本文实验是在 FEI 公司的 Tecnai F-30 场发射透射电子显微镜下完成的, 加速电压为 300 kV, 电镜真空度约 10^{-5} Pa. 为了研究纳米材料表面未受辐照位置的分形生长现象, 本文选用我们课题组 CVD 法制备的非晶 $\text{SiO}_x (x \approx 2)$ 纳米线^[12]作为研究对象, 并以铜网和碳膜组成的普通微栅作为基底, 制成 TEM 样品. 由于没有引入前驱气体的装置, 本文直接以透射电子显微镜中残留的有机气体分子为前驱气体, 研究室温下聚焦电子束辐照诱导的碳沉积在非晶 SiO_x 纳米线表面的分形生长. 为了增强电子束的“融蒸”效应^[13]以及“融蒸”原子浓度的不均匀性(见讨论部分), 本文特地选用束斑尺寸小于纳米线直径的聚焦电子束沿纳米线径向方向从纳米线一侧向另一侧进行定向线扫. 其中, 电子束能量为 300 keV, 电子束束斑尺寸约 30 nm, 辐照电流密度约 1.5×10^3 A/cm², 纳米线直径约 40 nm, 线扫长度约 40 nm, 线扫速度约 10 nm/min (线扫时间约 4 min). 在线扫过程中, 为了避免纳米线表面碳沉积的分形生长过程以及纳米线的形貌和结构转变过程受到基底非晶碳膜的干扰, 本文特地选择突出在碳膜孔中的纳米线片段进行研究.

2 结果和讨论

图 1 中 TEM 照片给出了聚焦电子束沿纳米线径向线扫时诱导的碳沉积在 SiO_x 纳米线表面的存在形式及分布情况. 如图 1(a)所示, 本文所选用的非晶 SiO_x 纳米线两端搁在非晶碳膜上(图中纳米线未完全给出), 表面光滑(但因欠焦较厉害, 纳米线表面出现 2 条亮线, 而插图的欠焦量较少, 亮线就不明显得多), 径向粗细均匀, 轴向平直且位于微栅孔中. 然后选用束斑尺寸小于纳米线直径的聚焦电子束沿纳米线径向方向从纳米线一侧向另一侧进行定向线扫(见图 1(a)中插图, 相关参数见“实验方法”部分). 如图 1(b)

所示, 线扫后该 SiO_x 纳米线的表面形貌发生了如下 3 个变化:

(1) 在线扫位置上 SiO_x 纳米线表面沉积了一根两端均呈半圆状的非晶碳纳米棒(见图 1(b)线扫位置及对应的放大像). 而且, 该纳米棒的直径约 45 nm, 比电子束的束斑尺寸(约 30 nm)大得多; 纳米棒的长度约 79 nm, 同样比线扫的长度(约 40 nm)以及束斑的实际辐照长度(见图 1(a)插图, 约 70 nm)来得长.

(2) 在线扫位置附近及较远处(即未受辐照位置) SiO_x 纳米线表面或多或少都沉积有一层非晶碳膜(见图 1(b)), 而且不同位置膜厚不同: 位置 1 约 16 nm, 位置 2 约 9 nm, 位置 3 约 18 nm, 位置 4 约 20 nm. 如果将单位时间单位面积上所沉积的平均膜厚转换为单位时间单位面积上所沉积的平均碳原子数(即平均沉积速率), 并作如下假设: ① 纳米线表面 i 处的非晶碳都沉积到平均直径为 $[D_0 + (D_0 + 2d_i)]/2$ 的纳米线表面上(D_0 为 SiO_x 纳米线的直径, d_i 为纳米线表面 i 处的膜厚); ② 沿纳米线轴向方向上很小的一段均可视为同轴圆柱体模型; ③ 非晶碳膜的密度处处相同. 通过简单的推导, 我们可以得到纳米线表面 i 处碳原子的平均沉积速率

$$v_i = \frac{\rho \cdot N_A}{M \cdot t} \cdot d_i \propto d_i, \quad (1)$$

式中, v_i 和 d_i 分别为纳米线表面 i 处碳原子的平均沉积速率和膜厚, ρ 和 M 分别为非晶碳膜的密度和摩尔质量, N_A 为阿伏加德罗常数, t 为非晶碳膜的沉积时间. 利用上述公式, 我们可以得到位置 1~4 碳原子的平均沉积速率之比约为 1.8:1.0:2.0:2.2 (以位置 2 处平均沉积速率为参考值 1).

(3) 伴随着上述 SiO_x 纳米线表面非晶碳膜的不均匀沉积, 在位置 2 和 3 之间的纳米线表面上(更确切地说是 SiO_x 纳米线表面所沉积的非晶碳膜上, 属未受辐照位置)还出现了碳沉积的分形生长(见图 1(b)及对应的 2 张插图). 而且, 从这 2 张插图我们还可以清楚地看出, 在同一时间点上(即线扫 4 min 后), 纳米线表面不同位置碳沉积的分形生长呈现出各种不同的形貌: 形貌 I 呈纳米颗粒状(如箭头所示), 形貌 II 是一根纳米树枝, 形貌 III 中纳米树枝在顶端开始出现分叉(如箭头所示), 形貌 IV 中纳米树枝顶端的分叉进一步长大, 形貌 V 中纳米树枝顶端的分叉长出新芽, 形貌 VI 呈纳米树状结构. 另外, 插图中其他

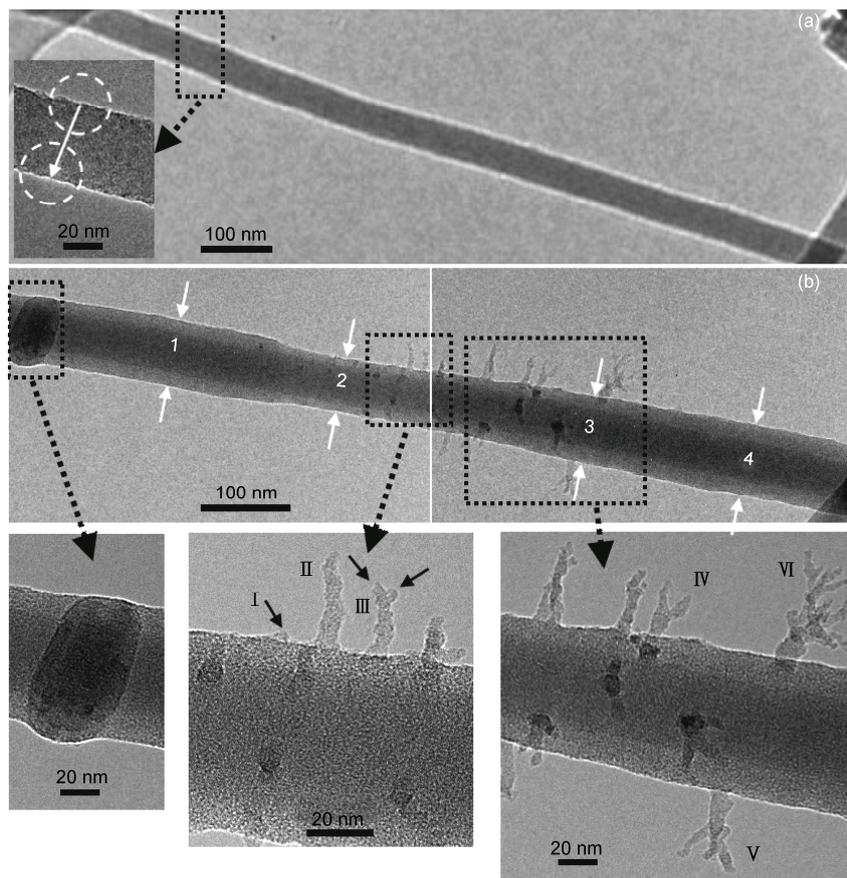


图 1 沿纳米线径向线扫时, 聚焦电子束诱导碳沉积在 SiO_x 纳米线表面的分布情况

(a) 线扫前; (b) 线扫后, 插图为对应虚线框处的放大像. 图 1(a)插图中的圆圈代表聚焦电子束的束斑尺寸和始末辐照位置, 箭头代表线扫的方向和长度

未标出的分形生长形貌基本上都可以看作是上述 6 种分形形貌中的某 1 种.

值得一提的是, 图 1(b)是由 2 张相同放大倍数的 TEM 照片组合在一起的, 这主要是由于纳米线较长, 若只用一张 TEM 照片完全显示该纳米线, 则会导致纳米线表面的微结构如某些分形生长细节很不清楚, 甚至不可见. 另外, 在这里我们用了“未受辐照位置”这个词组, 主要是由于普通 TEM 观察模式下电子束的辐照强度约是本文所用聚焦电子束辐照强度的 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 倍, 完全可以忽略不计. 而且, 在实验过程中我们也发现, 若仅在普通 TEM 观察模式下辐照是观察不到非晶碳的分形生长的.

由图 2 中的 HRTEM, SAED 和 EDX 分析, 可以确认上述 SiO_x 纳米线表面所沉积的物质就是非晶碳 (EDX 能谱中的 Cu 来源于微栅铜网). 对于非晶碳的来源, 一般认为, 低真空下透射电子显微镜腔室中残

留有一定的有机气体分子, 吸附在样品表面的有机气体分子在电子束辐照下发生复杂的物理化学反应, 分解为非晶碳附着在样品表面^[14]. 进一步地, 我们认为, 在聚焦电子束辐照下, 辐照区域内 SiO_x 纳米线表面的有机气体分子迅速分解为非晶碳 (可能还含有氢) 附着在纳米线表面受辐照位置, 并随着聚焦电子束在 SiO_x 纳米线表面的缓慢定向移动, 逐渐在 SiO_x 纳米线表面受辐照位置 (即线扫位置上) 沉积了一根非晶碳纳米棒, 而且该碳纳米棒的两端 (即线扫开始和结束的位置) 与聚焦电子束的束斑半圆相似, 呈半圆状 (见图 1(b) 线扫位置的放大像). 此外, 随着辐照区域内有机气体分子的迅速分解, 在浓度梯度的驱动下, 辐照区域附近纳米线表面的有机气体分子会扩散到辐照区域内作进一步地分解、沉积. 因此, 图 1(b) 中线扫位置所沉积的碳纳米棒的直径和长度均分别要大于聚焦电子束的束斑尺寸和束斑的实际辐照长度.

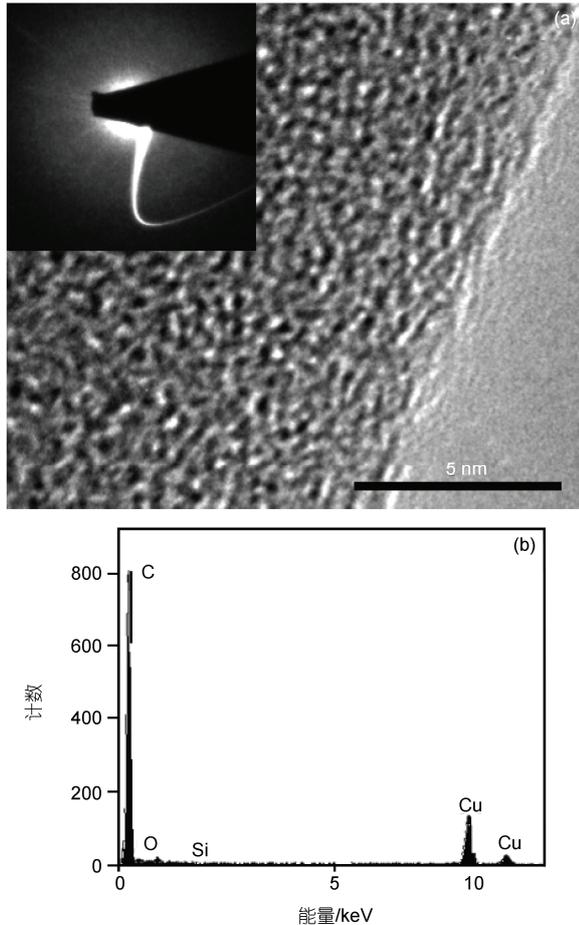


图2 SiO_x 纳米线表面所沉积物质的结构和成分分析
(a) HRTEM 照片, 插图为 SAED 照片; (b) EDX 能谱

另外, 我们课题组 TEM 实验结果^[13]表明, 聚焦电子束辐照下材料表面原子将进行“融蒸”和“扩散”, 而且辐照电流密度较大时“融蒸”效应起更主要的作用. 由于上述非晶碳纳米棒沉积在 SiO_x 纳米线表面受辐照位置, 纳米线表面的碳原子在聚焦电子束辐照下将优先进行“融蒸”与“扩散”, 尤其是“融蒸”. 其中, “扩散”的结果将使得非晶碳纳米棒进一步变粗、变长, 而“融蒸”原子悬浮在电子显微镜腔室中, 随后沉积下来部分被具有高表面能的非晶 SiO_x 纳米线表面^[13]所吸附. 一般地, 从某个局部的受辐照位置“融蒸”上来的原子在电子显微镜腔室中的浓度分布并不均匀, 同时还可能受电子显微镜腔室中气流以及线扫参数如线扫速度和方向等的影响, 因而如前所述, 纳米线表面不同位置碳原子的沉积速率不同, SiO_x 纳米线表面未受辐照位置逐渐沉积了一层厚度不均的非晶碳膜(见图 1(b)位置 1~4). 值得注意的是, 该非

晶碳膜表面较为光滑, 不存在明显的台阶状形貌, 这就说明纳米线表面“融蒸”原子的浓度虽然不均匀, 但整体上呈现平缓变化的趋势. 另外, 在表面纳米曲率^[15,16]的驱动下, 纳米线表面的“融蒸”原子可能还会进行重新调整, 从而使纳米线表面显得更为光滑. 这里的“融蒸”和“扩散”概念与我们通常所说的蒸发和扩散不同, 它们是指在高能超快电子束的非热激活下, 原子能垒降低, 材料出现“声子”软模或“点阵”失稳^[13,15,17], 从而原子通过“融蒸”和“扩散”两种机制改变材料的形貌和结构, 来减小体系的能量.

前人研究结果^[5]还表明, 试样在入射电子束辐照下还会发射大量二次电子, 电荷不能及时得到平衡时被辐照区将形成正电荷的积累. 另一方面, 非晶碳膜一般主要是由 sp^2 和 sp^3 杂化的碳原子组成, sp^2 碳原子所占的比例是决定非晶碳膜导电性能的重要参数^[4,18]. 据此, 我们推断, 上述“融蒸”原子很可能带有正电荷, 而非晶碳膜因含一定量的 sp^2 碳原子具有良好的导电能力将传输电子而使纳米线表面整个未受辐照区带上负电荷. 正、负电荷的存在, 一方面使得纳米线表面吸附“融蒸”原子的能力进一步增强, 纳米线表面非晶碳的沉积速率进一步加快; 另一方面, 如下所述, 可能正是由于正、负电荷的存在以及纳米线表面“融蒸”原子浓度的局域极其不均诱使了未受辐照区域碳沉积的分形生长.

虽然如上所述纳米线表面“融蒸”原子的浓度分布整体上呈现平缓变化的趋势, 但局域可能还存在类似 δ 函数分布的情况(即“融蒸”原子的浓度局域很高), 这时碳沉积的结果将会在纳米线表面局域优先较快沉积形成岛状的非晶碳纳米颗粒, 如图 1(b)插图中形貌 I 所示. 由于纳米线表面带有负电荷, 并且尖端容易集电, 因而纳米线表面上的碳纳米颗粒的表面聚集着更多的负电荷. 在这些负电荷所产生的电场力的吸引下, 带正电的“融蒸”原子更容易优先沉积到碳纳米颗粒上, 尤其是沉积到碳纳米颗粒表面电场强度最强的方向上, 从而在纳米线表面上定向形成碳纳米树枝(见图 1(b)插图形貌 II). 由于“融蒸”原子在碳纳米树枝顶端不同方向上的浓度分布可能不同, 以及电荷在碳纳米树枝顶端也可能不均匀分布, 导致“融蒸”原子在碳纳米树枝顶端不同方向上的沉积速率可能不同, 碳纳米树枝顶端开始出现分叉(即形成纳米树叉, 见图 1(b)插图形貌 III). 同理, “融蒸”原子在纳米树叉顶端的进一步沉积将导致纳米树叉的进一

步生长变长(见图 1(b)插图形貌Ⅳ),“融蒸”原子在纳米树叉顶端不同方向上沉积速率的可能不同将导致进一步出现分叉(见图 1(b)插图形貌Ⅴ),并最终长成纳米树状结构(见图 1(b)插图形貌Ⅵ).我们在相同的线扫和沉积条件下进行重复实验并得到了相同的结论.此外,如果将定向线扫改成定点辐照,虽然在受辐照位置附近同样观察到了非晶碳的沉积,但实验中并没有发现非晶碳的分形生长(拟另外单独发表).这可能是由于相对于定向线扫来说,定点辐照更不容易诱发“融蒸”原子浓度的局域高度不均匀性.

必须指出的是,虽然上述6种分形生长形貌描述的并不是同一纳米树状结构的实时分形生长过程,但它们是在同一时间点、同一纳米线表面不同位置上原位拍照记录得到的,反映了纳米树状结构分形生长过程的6个不同阶段,揭示了聚焦电子束辐照下纳米线表面未受辐照位置碳沉积分形生长过程的细节,具有一定的科学研究价值.而且,更为重要的是,本文首次提供了一种利用场发射透射电子显微镜中高能聚焦电子束定向线扫,在半导体 SiO_x 纳米线表面未受辐照位置沉积厚度不均的导电薄膜,以及在该

导电薄膜表面进一步分形生长导电纳米树状结构的方法.半导体 SiO_x 纳米线表面导电纳米结构的存在,一方面可能大大改善了 SiO_x 纳米线的电学性能,如降低电阻率(导电纳米薄膜的作用)、增强场发射性能(导电纳米树的作用)等,另一方面形成了同轴结构,可能也因此具有优于普通 SiO_x 纳米线的光学性能,从而在将来的 SiO_x 纳米线纳米光电器件中具有潜在应用前景.

3 结论

综上所述,本文以低真空下透射电子显微镜中残留的有机气体分子为前驱体,室温下利用高能聚焦电子束辐照,研究了一维非晶 SiO_x 纳米线表面未受辐照位置碳沉积的分形生长.利用高分辨透射电子显微镜对 SiO_x 纳米线表面非晶碳的沉积过程进行原位观察,发现了 SiO_x 纳米线表面未受辐照位置非晶碳的不均匀沉积及分形生长,并捕捉到了碳沉积分形生长过程的细节.同时对聚焦电子束诱导 SiO_x 纳米线表面未受辐照位置非晶碳的不均匀沉积及分形生长机理进行了深入的探索.

致谢 厦门大学纳米科技中心洪麒麟老师在电子显微镜观察上提供了许多帮助,在此表示感谢.

参考文献

- 1 Randolph S J, Fowlkes J D, Rack P D. Focused, nanoscale electron-beam-induced deposition and etching. *Crit Rev Solid State Mater Sci*, 2006, 31: 55—89
- 2 Liu Z Q, Mitsuishi K, Furuya K. Features of self-supporting tungsten nanowire deposited with high-energy-electrons. *J Appl Phys*, 2004, 96: 619—623
- 3 Mitsuishi K, Shimojo M, Han M, et al. Electron-beam-induced deposition using a subnanometer-sized probe of high-energy electrons. *Appl Phys Lett*, 2003, 83: 2064—2066
- 4 Wang Y G, Zuo B S, Wang T H, et al. Synthesis and characterization of hydrocarbon coating prepared by in situ electron beam deposition on ZnSe nanowire. *J Phys Chem C*, 2008, 112: 7572—7578
- 5 柳得楷, 张济忠. 电子束辐照下碳沉积的分形生长. *电子显微学报*, 1996, 15: 529
- 6 Cho S O, Lee E J, Lee H M, et al. Controlled synthesis of abundantly branched, hierarchical nanotrees by electron irradiation of polymers. *Adv Mater*, 2006, 18: 60—65
- 7 Fonseca L F, Resto O, Solá F. Electron-beam-induced growth of silicon multibranching nanostructures. *Appl Phys Lett*, 2005, 87: 113111
- 8 Fonseca L F, Resto O, Solá F. Erratum: “Electron-beam-induced growth of silicon multibranching nanostructures” [*Appl Phys Lett*, 87, 113111(2005)]. *Appl Phys Lett*, 2009, 94: 049901-1
- 9 Solá F, Resto O, Labiosa A B, et al. Electron beam induced growth of silica nanorods and heterostructures in porous silicon. *Nanotechnology*, 2007, 18: 405308
- 10 Song M, Mitsuishi K, Tanaka M, et al. Fabrication of self-standing nanowires, nanodendrites, and nanofractal-like trees on insulator substrates with an electron-beam-induced deposition. *Appl Phys A*, 2005, 80: 1431—1436
- 11 Wang H Z, Zhu H G, Li D, et al. In situ electron microscope study on the formation and morphological evolution of carbon aggregates. *Carbon*, 2002, 40: 2117—2124

- 12 吴燕, 黄胜利, 朱贤方, 等. CVD 制备 SiO_x 纳米线的各个生长阶段的直接实验证据. 科学通报, 2009, 54: 2988—2992
- 13 苏江滨. 原位透射电镜电子束辐照诱导 SiO_x 纳米线结构不稳定性及纳米加工研究. 硕士学位论文. 厦门: 厦门大学, 2008
- 14 王鸣生, 王晶云, 陈清, 等. 电子束致沉积手控生长碳纳米线. 电子显微学报, 2005, 24: 11—16
- 15 Zhu X F, Wang Z G. Nanoinstabilities as revealed by shrinkage of nanocavities in silicon during irradiation (invited review). Int J Nanotechnology, 2006, 3: 492—516
- 16 Zhu X F. Evidence of an antisymmetry relation between a nanocavity and a nanoparticle: A novel nanosize effect. J Phys: Condens Matter, 2003, 15: L253—L261
- 17 Zhu X F, Wang Z G. Evidence of ultrafast energy exchange-induced soft mode of phonons and lattice instability: A nanotime effect. Chin Phys Lett, 2005, 22: 737—740
- 18 鲁占灵, 张兵临, 姚宁, 等. 非晶碳膜中 sp^2 和 sp^3 相的检测方法. 材料导报, 2006, 20: 98—101

Fractal growth of deposited carbon on the unirradiated surface of SiO_x nanowires induced by focused electron beam

SU JiangBin^{1,2}, ZHU XianFang^{2,3,4,5}, LI LunXiong², WANG LianZhou^{2,4} & WANG ZhanGuo³

¹ School of Mathematics and Physics, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China;

² China-Australia Joint Laboratory for Functional Nanomaterials, Physics Department, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

³ Key Laboratory of Semiconductor Materials Science, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China;

⁴ ARC Centre of Excellence for Functional Nanomaterials, University of Queensland, St Lucia, Brisbane, Queensland 4072, Australia;

⁵ Institute of Solid State Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China

It has been proven that electron beam induced deposition technique can lead to fractal growth of some materials, while there is no report on the fractal growth on the unirradiated surface of low dimensional nanostructures as induced by focused electron beam irradiation. In this paper, the fractal growth on the unirradiated surface of amorphous SiO_x nanowire was designedly investigated via focused electron beam irradiation at room temperature, and the deposition details of amorphous carbon on the surface of SiO_x nanowire was *in-situ* observed by a high resolution transmission electron microscope. It was found that a series of intriguing phenomena such as nonuniform deposition and fractal growth of amorphous carbon occurred on the unirradiated surface of SiO_x nanowire. More importantly, details of the fractal growth process of deposited carbon were also *in-situ* observed. Furthermore, the nonuniform deposition and fractal growth mechanisms of amorphous carbon occurred on the unirradiated surface of SiO_x nanowire under focused electron beam irradiation were proposed and discussed.

transmission electron microscope, focused electron beam induced deposition, SiO_x nanowires, amorphous carbon, fractal growth

doi: 10.1360/972010-152