

功能准一维纳米结构与物理研究

Fabrication and Investigation of One-dimensional Functional Nanostructures

项目批准号：19834080、50025206

北京大学 俞大鹏、冯孙齐、白志刚等

● 主要研究内容

- (1) 高纯度、高品质的纳米碳管取向薄膜研究；
- (2) 纳米硅量子线的制备、表征；
- (3) 其它半导体纳米线(GaN、ZnO、GaSe)、氧化物纳米线(GeO₂、Ga₂O₃、SiO₂)的制备与表征；
- (4) 功能准一维纳米结构的物理性能研究。

● 主要研究成果

本项目是目前材料物理研究的前沿领域，其特点在于新颖性、开创性，和潜在的应用前景。经过几年的努力，在大面积衬底上制备纳米碳管取向薄膜、纳米碳管取向薄膜的场致电子发射物理特性等方面获取了大量的有意义的实验结果，为探索纳米碳管在新一代高亮度、高清晰度图象显示技术中的应用方面打下了坚实的基础；对新型非碳纳米管(单原子层BN纳米管)，尤其是在碳簇低维结构-纳米硅量子线研究方面做出了开创性工作，得到了国内外同行专家的积极肯定和评价。迄今为止，共在Physical Review B(3篇)、Applied Physics Letters(12篇)、Chemical Physics Letters(4篇)、Solid State Communications(4篇)、Chinese Physics Letters(1篇)等国际重要学术刊物上发表论文18篇，被SCI引用120余次，有5篇论文先后在美国MRS材料大会上口头宣读。本项目组被认为是目前国内外低维纳米结构研究方面极其活跃的实验室之一。主要研究成果有：

1. 采用与众不同的湿法镀膜法，结合等离子体增强CVD方法，在不同衬底上制备成功大面积、高度取向的纳米碳管薄膜。这种纳米碳管薄膜具有制备简单、品质好(石墨化程度高)等优点，为进一步研究场发射图象显示技术奠定了良好的物质基础。
2. 独特设计、安装成功一套准分子脉冲激光高温沉积系统。利用这套系统，制备成功单层氮化硼纳米管。氮化硼纳米管具有不同于纳米碳管的新颖物理性能，即它的半导体能隙与管的直径和结构无关，为研究纳米管物理性能提供了有利条件。
3. 首次获得了纯度极高、直径均匀分布(仅约12纳米)的纳米硅量子线(Silicon quantum wires, Si QW's)，研究了硅纳米线显微结构和生长机制，还研究了与低维材料相关联的量子尺寸限制效应。
4. 制备了氧化物纳米线(SiO_x，强蓝光，GeO₂、Ga₂O₃)、半导体化合物纳米线(GaSe、ZnSe、GaN、ZnO)等，分析了其一维择优生长的机理。

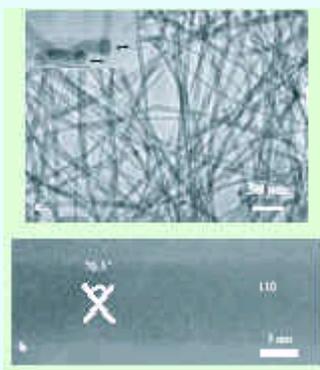


图1. 纳米硅量子线的形貌与高分辨像

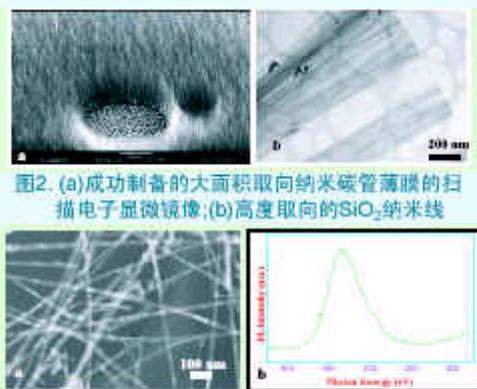


图2. (a)成功制备的大面积取向纳米碳管薄膜的扫描电子显微镜像;(b)高度取向的SiO₂纳米线

图3. 发紫外光的ZnO纳米线形貌及其光致发光谱

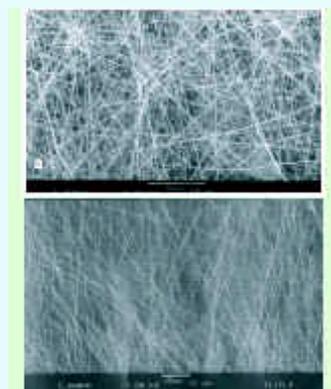


图4. 高纯度超长GaN纳米线形貌

● 研究成果的科学意义和应用前景

准一维纳米材料等纳米结构，由于其奇特的结构与物理性能，不仅为基础物理研究提供了可贵的研究对象，也预示着巨大的应用前景和经济利益，必将给传统的材料、微电子、医药等领域带来革命性的改变，并将影响到人们的日常生活。本项目所取得的进展的意义在于：

- 1) 大面积纳米碳管取向薄膜的制备成功，为后续利用纳米碳管制备场发射基平面图像显示的研究打下了坚实的基础；单根纳米碳管

输运性能的研究为准一维纳米材料物理性能研究创造了条件:

2) 纳米硅量子线、GaN纳米线、ZnO纳米线, 以及GeO₂、SiO₂、Ga₂O₃等氧化物纳米线制备和研究为探索小尺度量子效应, 以及分子水平纳米器件的研究提供了物质基础。

3) 对准一维纳米微观结构及生长机理的研究为分析纳米结构的形成, 尤其是在实现人工可控制生长方面提供了可贵的实验依据。

● 研究成果的科学意义和应用前景

- [1]、Y. C. Kong, D. P. Yu, B. Zhang, W. Fang, S. Q. Feng: "UV-emitting ZnO nanowires synthesized by a PVD approach", Applied Physics Letters 78, 407 (2001).
- [2]、D. P. Yu, Z.G.Bai, J.J.Wang, Y.H.Zou, W.Qian, J.S.Fu, H.Z.Zhang, Y.Ding, G.C.Xiong and S.Q.Feng: "Direct evidence of quantum confinement evaluated from size-dependence of the photoluminescence of silicon quantum wires", Physical Review B (Rapid Communication) 59, 2498 (1999).
- [3]、D. P. Yu, Z. G. Bai, Y. Ding, Q. L. Hang, H. Z. Zhang, S. Q. Feng: Silicon Nano-wires synthesized using simple physical evaporation, Appl. Phys. Letters 72(26), 3458 (1998).
- [4]、D. P. Yu, et al.: "Synthesis of Boron nitride nanotubes by means of laser ablation at high temperature ", Appl. Phys. Letters 72,1966(1998).
- [5]、英文书籍"Nanophased and Nanostructured Materials", 第40章: Semiconductor Nanowires", 由俞大鹏等撰写, edited by Prof. Z. L.Wang (Georgia Institute of Technology, USA) et al., and to be pressed by Tsinghua University Press (TUP, China), 1999, which will publish the book as a monograph in the ACSE-TUP series of "Frontiers of Science and Technology for the 21th Century". 即将由清华出版社及Springer-Verlag 出版社联合出版。

工程与材料科学部、国际合作局 主办
数理科学部、化学科学部 协办