

Si/SiO₂ 异质界面的超精细硅量子线

作为半导体科学技术研究前沿领域的硅低维量子结构,它无论在低维物理基础研究,还是在技术应用上,都具有十分重要的意义.硅量子线作为纳米电子学的基础,将发展实现特大规模集成电路和开拓新一代硅量子效应的器件;同时,这种人工设计的一维微结构材料的能带结构不同于天然硅材料,可望获得高的发光效率,用于发展硅基集成光电子技术.国际上采用先进的材料生长手段和各种亚微米级以至纳米级的超微细加工技术,尝试了许多不同方案来制作硅量子线^[1~3].我们采用常规硅工艺技术,通过反应离子刻蚀、各向异性化学腐蚀,特别是两步热氧化技术,在国内首次成功地在硅单晶衬底上制作出高质量超精细硅量子线列阵.对今后开展硅低维量子结构物理及硅量子器件研究,发展纳电子学具有十分重要意义.

我们在(100)硅单晶衬底片上先热生长SiO₂层作为腐蚀掩膜,并沿[011]方向光刻成亚微米宽的长条形图形.通过反应离子刻蚀在衬底上形成约300.0 nm深的沟道,然后采用各向异性化学腐蚀剂EPW(邻苯二酚+乙二胺+水)^[4],在100℃下腐蚀出横截面为倒置三角形的硅线列阵,它们处在衬底锯齿的顶部.最后通过高温和中温两步热氧化处理,对硅线进行细化.该热氧化过程不仅形成高质量的Si/SiO₂异质界面,使量子线完全与衬底隔离,并消除了刻蚀过程中带来的表面粗糙.进一步的实验发现,在850℃以下超细微尺寸的硅材料存在着自限制氧化效应,细化到一定尺寸以下的硅线其氧化速度明显减慢.因此通过改变氧化条件能精确地控制量子线的最终尺寸.由此可见,热氧化过程对获得高质量的量子线至关重要.我们采用电子扫描电镜(SEM)详细观察了量子



图 1 热氧化后样品横截面 SEM 观察照片

线的形成过程.图1是热氧化后样品(011)横截面SEM照片,可清楚地看到被完全包含在SiO₂层中超精细的硅量子线.这里量子线尺寸小于20 nm.

本文所研究的Si/SiO₂异质界面结构的硅量子线列阵具有许多特点,例如:量子线由晶体结构高度完整的单晶硅构成;平滑的高质量Si/SiO₂异质界面对电子(或空穴)具有很高的势垒,产生非常明显的量子限制效应;这种平置的量子线列阵具有确定的位置和尺寸,有利于进行物理性质和器件研究;与硅大规模集成电路工艺高度兼容,可将普通电路和量子效应器件集成在同一芯片上.因此,该Si/SiO₂异质界面结构的硅量子线具有优良的低维物理特性和重要的应用前景.

参 考 文 献

- 1 Fischer P B, Kevin D, Chen E *et al.* 10 nm Si pillars fabricated using electron-beam lithography reactive ion etching and HF etching. *J Vac Sci Technol*, 1993, B11(6): 2 524
- 2 Wada Y, Kure T, Yoshimura T *et al.* Polycrystalline silicon "silt nanowire" for possible quantum devices. *J Vac Sci Technol*, 1994, B12(1): 48
- 3 Hirai Y, Morimoto K. Fabrication of silicon quantum

- wire and their characteristics. 应用物理(日刊), 1994, 23(11): 1 143
- 4 Reisman A, Berkenblit M, Chan S A *et al.* The controlled etching of silicon catalyzed ethylenediamine-pyrocatechol-water solutions. *J Electrochem Soc*, 1979, 126(8): 1 406

施 毅 刘建林 汪 峰 张 荣
韩 平 朱顺明 郑有斗
(南京大学物理系, 南京 210093)
茅保华
(南京电子器件研究所, 南京 210016)