

基于微芯片的透射电子显微镜的低温纳米精度电子束刻蚀与原位电学输运性质测量

张超 方粮 隋兵才 徐强 王慧

Nano-scale lithography and *in-situ* electrical measurements based on the micro-chips in a transmission electron microscope

Zhang Chao Fang Liang Sui Bing-Cai Xu Qiang Wang Hui

引用信息 Citation: [Acta Physica Sinica](#), **63**, 248105 (2014) DOI: 10.7498/aps.63.248105

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.248105>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2014/V63/I24>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

多层金属纳米点阵的制备及其光学性质的研究

[Fabrication of multilayer metal-dielectric nanoparticles and their optical properties](#)

周振婷, 杨理, 姚洁, 叶燃, 徐欢欢, 叶永红

物理学报.2013, 62(18): 188104 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.188104>

假塑性流体纳米压印中影响填充度的因素

[Factors influencing filling degree in nanoimprint lithography with pseudoplastic fluid](#)

夏委委, 郑国恒, 李天昊, 刘超然, 李冬雪, 段智勇

物理学报.2013, 62(18): 188105 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.188105>

局域表面等离激元诱导的三次谐波增强效应

[Enhanced third harmonic generation by localized surface plasmon excitation](#)

朱华, 颜振东, 詹鹏, 王振林

物理学报.2013, 62(17): 178104 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.178104>

掩模板凸出环隔离压缩式纳米压印施压气体的研究

[Analysis of gas isolation by prominent O-ring on the mold in compressional gas cushion press nanoimprint lithography](#)

李天昊, 郑国恒, 刘超然, 夏委委, 李冬雪, 段智勇

物理学报.2013, 62(6): 068103 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.068103>

基于微芯片的透射电子显微镜的低温纳米精度 电子束刻蚀与原位电学输运性质测量*

张超¹⁾²⁾³⁾ 方粮^{1)2)†} 隋兵才¹⁾ 徐强³⁾ 王慧⁴⁾

1)(国防科技大学, 高性能计算国家重点实验室, 长沙 410073)

2)(国防科技大学计算机学院, 长沙 410073)

3)(Delft University of Technology, Kavli Institute of Nanoscience, 2628 CJ, Delft, The Netherlands)

4)(北京航空航天大学材料科学与工程学院, 空天先进材料与服役教育部重点实验室, 北京 100191)

(2014年5月28日收到; 2014年8月7日收到修改稿)

利用微芯片制备技术制备了带有电极的原位电学薄膜芯片, 并结合自制的原位透射电镜样品台, 实现了低温下透射电子显微镜聚焦电子束对InAs纳米线的精细刻蚀以及不同温度下的原位电学性能测量. 研究发现, 随着刻蚀区域截面积的减小, 纳米线的电导率也随之减小. 当纳米线的截面积从大于 10000 nm^2 刻蚀至约 800 nm^2 时, 纳米线电导的减小速率与截面积的减小具有线性关系. 同时利用低温聚焦电子束刻蚀, 在InAs纳米线上原位制备了一个 10 nm 的纳米点, 并在 77 与 300 K 下对该纳米点进行了电学性能测量. 通过测量发现在 77 K 时出现库仑阻塞效应, 发生了电子隧穿现象; 而 300 K 时, 热扰动提供的能量使这种现象消失.

关键词: 低温电子束刻蚀, 原位透射电子显微镜电学测量, InAs纳米线, 库仑阻塞效应

PACS: 81.16.Nd, 73.23.hk, 73.63.-b

DOI: 10.7498/aps.63.248105

1 引言

透射电子显微镜 (transmission electron microscope, TEM) 原位刻蚀技术因其能对材料进行纳米精度的刻蚀加工以及纳米精度的结构表征与成分分析而备受关注. 目前, 利用透射电子显微镜原位刻蚀技术已经对多种材料如氮化硅薄膜^[1]、氧化硅薄膜^[2]、金属薄膜^[3-5]、石墨烯^[6-8]、硫化钼薄膜^[9]、纳米线^[10]等进行了纳米精度甚至亚纳米精度的刻蚀. 然而, 纳米材料的电学性质除了与结构密切相关外, 也与测试环境、温度密切相关, 因此刻蚀后在TEM中对这些材料进行不同温度下的原位电学研究是非常必要的. 目前TEM原位电学测量多数使用在尖端嵌入了微型的扫描隧道显微镜的原位电学样品杆^[11,12], 这种方法可以较方便地实现纳米材料的电学集成与电学测量, 但很难可控

地改变材料的温度. 然而低温对于TEM原位刻蚀与纳米材料的电学测量非常重要: 不但可以避免TEM聚焦电子束在样品上带来的污染^[13], 还可以降低热扰动, 从而观测到电子阻塞等现象^[14].

本文采用自制的原位电学芯片以及对应的原位电学样品杆来实现低温下TEM对纳米材料的刻蚀与不同温度下的电学测量. 本文第二部分介绍利用微电子加工技术制备适合原位TEM电学测量的带有电极的氮化硅薄膜芯片, 以及纳米材料与原位电学芯片的集成. 砷化镓(InAs)纳米线因具有较小的带隙、很高的载流子迁移率而在量子点^[15,16]等研究中备受关注^[17,18]. 第三部分以InAs纳米线为例, 利用透射电子显微镜的聚焦电子束对纳米材料进行高精度的刻蚀及实时观测, 并在刻蚀后对样品进行了不同温度下的原位电学性能测量.

* 国家自然科学基金(批准号: 61106084, 61332003)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: lfang@nudt.edu.cn

2 实验设备搭建

下面介绍带有电极的薄膜芯片的制备以及原位器件的集成。

2.1 带有电极的氮化硅薄膜芯片制备

2.1.1 氮化硅薄膜制备

1) 如图 1(a) 所示, 首先在一片双面抛光的晶向为 [001] 的硅片上利用低压化学气相沉积在硅片的两面同时生长出 100 nm 厚的氮化硅 (Si_3N_4) 层。

2) 将带有氮化硅薄膜的硅片清洗后旋涂上光刻胶, 烘干. 然后利用光刻设备将氮化硅薄膜的图案转移到光刻胶上, 见图 1(b). 曝光后的光刻胶显示在图中的黑色方框中。

3) 在显影后, 利用反应离子刻蚀将暴露的氮化硅薄膜刻蚀掉. 刻蚀时, 选用 CHF_3/Ar 气体. 参数为: 气流量 25/25 sccm (1 sccm = 1 mL/min), 样品腔气压 8 μbar (1 bar = 10^5 Pa), 正向功率 50 W. 刻蚀后, 如图 1(c) 所示, 未被光刻胶覆盖的氮化硅下面的硅衬底暴露出来。

4) 刻蚀掉无光刻胶覆盖的氮化硅薄膜后, 被该部分氮化硅覆盖的硅衬底暴露出来. 首先将芯片浸入到 55 °C 的丙酮中清除剩余的光刻胶. 然后把硅片浸入到 85 °C 的 KOH 溶液中. 如图 1(d) 所示, 硅的刻蚀停止在方向 (111) 上, 刻蚀后形成倒“V”形. 当被刻蚀至另一面的氮化硅时, 就形成了 100 nm 的悬空的氮化硅薄膜。

2.1.2 氮化硅薄膜上的电极制备

1) 在氮化硅薄膜上制备电极, 首先在氮化硅薄膜上旋涂上双层光刻胶, 见图 1(e). 然后利用光刻

设备将图案转移到氮化硅薄膜上的光刻胶中。

2) 显影之后, 光刻胶上形成了易于剥离工艺的负角图案, 见图 1(f).

3) 使用蒸发设备沉积 3 nm Cr/97 nm Au. 沉积速率为 1 $\text{\AA}/\text{s}$. 沉积后的示意图见图 1(g).

4) 利用剥离工艺, 将硅片放置在 55 °C 的丙酮中. 在氮化硅薄膜上沉积电极的硅片如图 1(h) 所示。

2.1.3 氮化硅薄膜上沟槽的制备

氮化硅薄膜会引起成像电子的散射, 从而影响 TEM 成像质量. 为此, 需要将样品下面的氮化硅薄膜减薄或者去掉. 我们采用聚焦离子束设备 (FEI DualBeam Strata, DB235) 将待观察处的氮化硅薄膜刻蚀掉. 刻蚀时, 聚焦离子束的电流设置为 2.2 μA , 离子束光阑设置为 10 pA.

2.2 样品的转移与集成

下面以 InAs 纳米线为例, 介绍样品的转移及集成. 本实验使用的 InAs 纳米线通过金属有机物气相外延沉积方法制备. 生长出的 InAs 纳米线顶端直径约为 20 nm, 底端约为 100 nm. 我们利用微操作杆 (Narishige, MMO-202ND) 来精确控制一根具有超细针尖的玻璃针 (sutter instrument) 的位置, 从而实现样品的转移. 当玻璃针尖移至待转移的样品的上方时, 然后逐渐降低玻璃针尖的高度直至与待转移样品接触. 样品在静电作用下会吸附在针尖上. 最后升高玻璃针尖并转移至指定位置后放下样品。

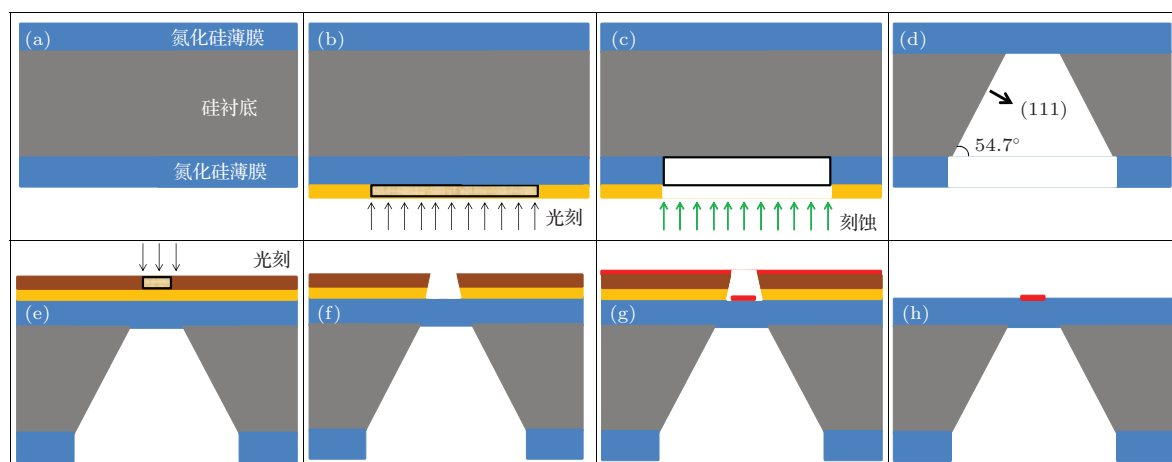


图 1 氮化硅薄膜芯片制备流程图 (侧面图) (a)—(d) 制备氮化硅 Si_3N_4 薄膜流程; (e)—(h) 在氮化硅薄膜上制备电极流程

为了加强样品与电极的接触, 我们利用双束设备在纳米线与电极的接触处沉积一层铂. 在沉积时, 触媒气体为 $((\text{CH}_3)_3\text{CH}_3\text{C}_5\text{H}_4\text{Pt})$, 镓离子能量为30 kV, 束流为1 pA, 发射电流为2.2 μA .

3 TEM原位电学测量

本实验的原理如图2(a)所示. 样品被薄膜衬底(通常薄于100 nm)支撑. 这样, TEM发射的电子能顺利穿过样品以及薄膜进行成像. 其次, 样品与集成在薄膜衬底上的电极相连以提供电学测量的通路. 当样品集成到芯片之后, 我们将芯片放入

到自制的原位电学样品杆上, 如图2(b)所示. 该样品杆内部设计有电学测量与温度控制通路. 样品杆的尖端提供了与芯片电学连接的接口, 末端提供了可与电学测量设备连接的电学测量接口. 图2(c)—(d)对应集成在带有电极的氮化硅薄膜上的单根InAs纳米线的TEM低倍形貌像和高分辨像. 在此基础上, 我们利用TEM的聚焦电子束在单根InAs纳米线上进行逐步刻蚀, 在刻蚀过程中, 样品杆末端的垂直金属杆浸入到液氮来冷却样品到77 K, 这样可以避免TEM的聚焦电子束诱导污染沉积到样品上.

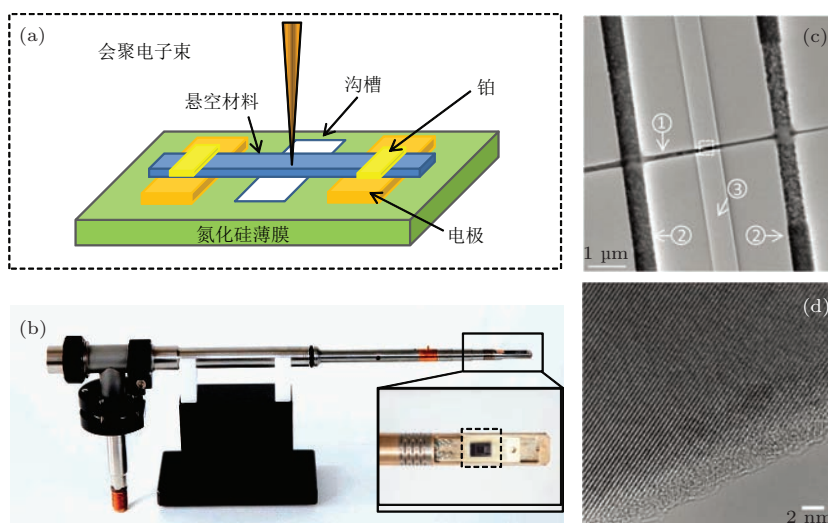


图2 (a) TEM会聚电子束刻蚀及原位电学测量示意图; (b) TEM的原位电学测量样品杆, 该样品杆内部具有电学回路, 其尖端提供了与芯片连接的接口; 末端提供了与电学测量设备连接的接口; 在末端与样品杆垂直的金属杆可以浸入到不同液体中, 这样可以改变样品的温度; 插图显示了放置了原位电学芯片的样品杆尖端, 其中黑色虚线框显示的是原位电学芯片; (c) 集成了纳米线的原位电学器件的TEM明场图, ①对应纳米线, ②是电极对, ③对应氮化硅薄膜刻蚀出的沟槽; (d) InAs纳米线的高分辨像, 在纳米线外层有约2 nm的均匀的无定型层

当样品杆放入到TEM中后, 首先在低倍下(1000倍)通过可透过电子束的氮化硅薄膜寻找到器件的位置. 图2(c)所示为低倍下观测到的一个集成了纳米线的原位电学芯片. 然后将处于沟槽中间区的纳米线调整到高倍(230000倍)观测模式. 在确定待刻蚀的位置后, 将高能电子束(300 keV)会聚成尺寸为0.1—1 nm的束斑, 并将束斑移到样品上来逐渐移除样品上的原子. 通过透射电子显微镜的高倍成像, 我们可以实时观测束斑在样品边缘的位置以及检查刻蚀的样品的形状.

3.1 纳米线的逐步刻蚀与电学测量

图3所示为单根InAs纳米线的多步刻蚀与原位电学测量. 为了能清楚地显示刻蚀效果, 在

图3中仅显示了图2(c)的白框包含的部分. 首先, 如图3(a)所示, 利用聚焦电子束在纳米线的一侧沿着与纳米线长度垂直的方向进行刻蚀, 纳米线被刻蚀掉30 nm, 并进行原位电学测量. 然后在该侧进一步沿着与纳米线垂直的方向进行刻蚀到46 nm(如图3(b)所示). 之后将聚焦电子束移至纳米线的另一侧, 并将纳米线刻蚀掉51 nm(如图3(c)所示). 利用该方法, 最终将纳米线刻蚀到宽度为7 nm(如图3(d)所示).

在每次刻蚀后, 都是在关闭电子束后进行电学测量. 将每次刻蚀后的电学测量与未进行刻蚀的电学测量结果总结在图3(e)中. 在电学性质测试时仅用较小电压, 从而避免焦耳热对电学性质的影响. 从图中可以看出, 五次的电学测量曲线均呈线

性,表明纳米线与电极的接触为欧姆接触.同时当纳米线的宽度低至7 nm时,电子在纳米线中的输运仍然是扩散输运.从图中电学测量曲线的斜率可知,在每次刻蚀后,纳米线的电导随之减小.在第一次刻蚀后,电导减小到未刻蚀的95%,随后依次减小到76%,19%,8%.

为了研究电学性质与刻蚀面积的关系,使用一个简单的模型来得计算刻蚀后区域的电阻.刻蚀后电阻可用以下的公式得到:

$$R_{\text{刻蚀}(n)} = R_{\text{全部}(n)} - R_{\text{未刻蚀}(n)} \quad (1)$$

$$(n = 0, 1, 2, \dots),$$

其中 $R_{\text{刻蚀}(n)}$ 是第 n 次刻蚀后该区域的电阻, $R_{\text{全部}(n)}$ 是第 n 次刻蚀后电极之间的全部电阻, $R_{\text{未刻蚀}(n)}$ 是电极之间没有被刻蚀部分的电阻.由于接触电阻可以忽略,假设电极对之间的电阻均匀分布.因此未被刻蚀部分的电阻可由下面的公式获取:

$$R_{\text{未刻蚀}} = R_{\text{全部}(0)} \cdot L_{\text{未刻蚀}}/L_{\text{全部}}, \quad (2)$$

其中 $R_{\text{全部}(0)}$ 是电极对之间原始纳米线的全部电阻, $L_{\text{未刻蚀}}$ 是电极之间没有被刻蚀的纳米线的长度, $L_{\text{全部}}$ 是电极之间的纳米线的总长度.在每次刻蚀后我们利用高角环形暗场像(high angle annular dark field, HAADF)对刻蚀的纳米线进行了表征.该技术得到的图像的明暗度可以简化成与厚度成正比.根据这四幅图的HAADF我们得到在刻蚀处的截面积为11309, 8122, 6793, 2827, 839 nm².根据 $\sigma = L/(R_{\text{刻蚀}} \cdot S_{\text{刻蚀}})$,我们计算出该区域的导电率.刻蚀区域的面积与对应电导率的关系显示在图3(f).从图中可以看出,随着纳米线刻蚀后截面积的减小,其电导率也随之减小.这是由于当截面积减小时,载流子经过该区域时散射概率增加,同时,载流子的迁移率由于尺寸效应而减少[19,20],这两方面综合使得刻蚀后的导电率也减小.

3.2 纳米线刻蚀的成分分析

为了研究刻蚀对纳米线材料成分的影响,我们对刻蚀区域进行了X射线能量色散谱分析(energy dispersive X-ray spectroscopy, EDS).图4(a)显示了刻蚀后纳米线的HAADF.由于HAADF图像中显示的明暗强度与厚度成正比,根据图4(a)的HAADF图像可以看出纳米线在中间较厚.在采集EDS谱图时,我们选取的束流为3000 pA,每

幅图采集时间为10 min.图4(b)和(c)分别对应砷元素和铟元素的EDS谱图,从两个谱图中可以看出砷元素和铟元素在纳米线上沿着纳米线的长度方向均匀分布.在垂直于纳米线长度的方向,砷元素和铟元素在纳米线中间较多,在边沿较少.为了进一步比较两种元素的成分,我们将In/(In+As)的比例图显示在图4(d)中.从图中可以看出,未刻蚀区域的元素比例一致.这说明刻蚀对未刻蚀区域的成分没有影响,而在刻蚀区域的边沿处,In的成分要比As略多.这说明在刻蚀过程中,铟元素残留比砷元素多.我们推断这是由于As具有较低的升华温度,在刻蚀过程中蒸发到了TEM的真空腔中.

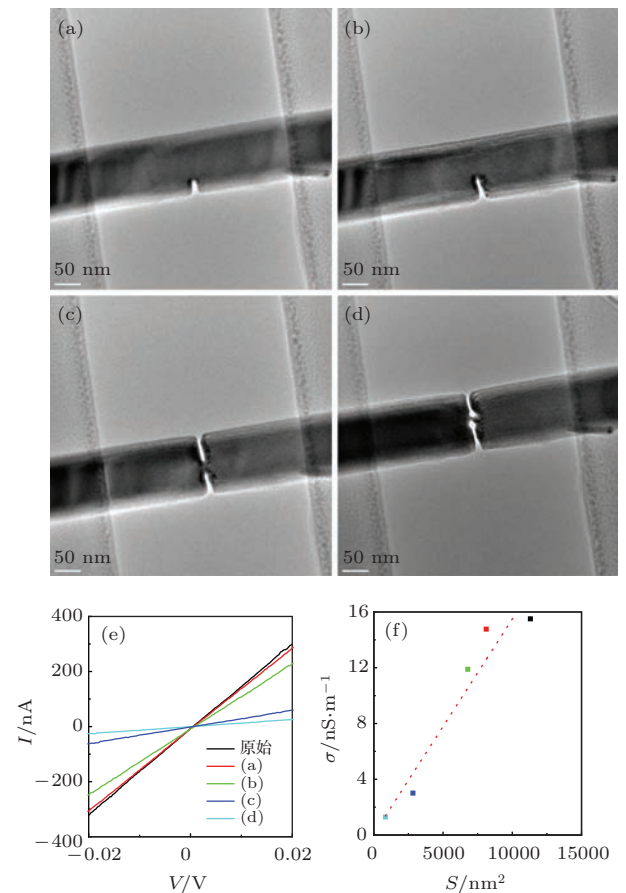


图3 TEM聚焦电子束多步刻蚀纳米线的过程.这些图像仅选取了图2(c)中的白框对应部分,刻蚀过程显示在(a)—(d)中,纳米的宽度从120 nm刻蚀到7 nm;(e)原始纳米线以及每步刻蚀后的 I - V 曲线,图中标识(a)—(d)的曲线对应着(a)—(d)刻蚀的四步图像;(f)纳米线刻蚀区域的截面积与电导的关系

3.3 纳米点刻蚀与电学测量

利用会聚电子束在InAs纳米线上制备了一个纳米点并进行了原位电学测量.刻蚀集成到Si₃N₄薄膜电极上的纳米线如图5(a)所示.首先,将聚焦

电子束定位到纳米线的下端, 从纳米线的下端对纳米线进行刻蚀直到与上端的距离约 10 nm 时停止, 刻蚀的宽度约 10 nm. 然后利用聚焦电子束沿着纳米线上端将刻蚀的宽度增加到 30 nm. 在这 30 nm 的宽度中, 选取中间的 10 nm 作为纳米点, 其两端连接处的宽度进一步刻蚀到 7 nm. 将聚焦电子束的束斑调整到 10 nm, 照射在两端的连接上约 30 s 可以将其非晶化. 刻蚀后得到的纳米点如图 5 (a) 所示, (b) 和 (c) 为高倍像. 从图中可以看出, 该纳米点是一个约 10 nm 的纳米球. 在其两端分别连接宽 7 nm 长 10 nm 的非晶材料. 对纳米点进行了低温 (77 K) 电学测量 (如图 5 (d) 所示). 可以看出, 当电压小于 0.1 V 时, 纳米点对电子输运具有抑制作用, 产生了电子隧穿现象. 升温至 300 K 对该纳米点进行电学测量, 发现电学曲线呈线性关系. 这说明在 300 K 时, 纳米点对电子输运的抑制作用消失.

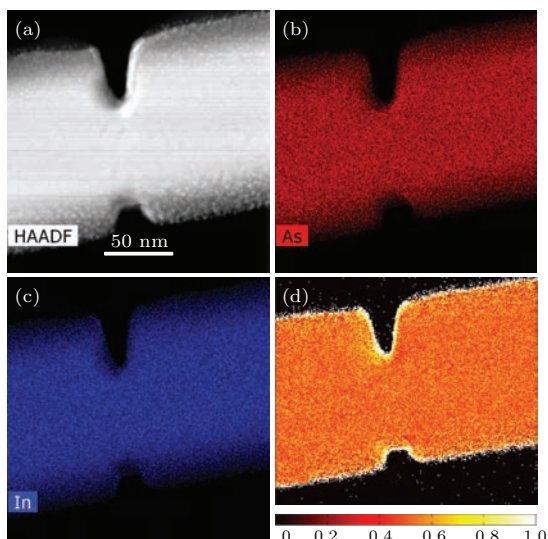


图 4 刻蚀后 InAs 纳米线的成分分析 (a) 刻蚀后纳米线的 HAADF 图像; (b) 纳米线中 In 元素分布; (c) 纳米线中 As 元素分布; (d) 纳米线中 In/(In+As) 元素含量比例可以看出在纳米线中间部分, In 与 As 成分大致相同, 而在纳米线外层有富 In 层存在

根据电子隧穿理论, 纳米点对电子的阻塞条件需满足

$$e^2/c < K \cdot T, \quad (3)$$

其中 e 是电子所带电量, c 是纳米点电容, K 是玻尔兹曼常数, T 是纳米点的温度. 从 (3) 式可以看出, 对于相同的纳米点电容, 当降低到一定温度时, 可以满足电子阻塞的条件. 根据该理论, 电子在 77 K 温度时被阻塞时, 纳米点的电容小于 27 aF, 在 300 K 时纳米点电子阻塞时纳米点的电容需要小于 7 aF. 针对刻蚀的纳米点, 将其简

化为一个直径为 10 nm 的球. 该纳米点的电容为 $C = \pi \xi_r \xi_0 \cdot r \approx 16.85$ aF (其中 InAs 的相对介电常数为 $\xi_r = 15.15$). 当外界温度很低 (< 77 K), 并且电压足够小时, 热扰动 (KT) 不足以提供足够大的能量产生电子传导, 从而出现电子隧穿现象. 而当温度升高 (> 300 K) 时, 库仑阻塞现象以及电子隧穿现象消失, 这与测量得到的 I - V 曲线结果一致.

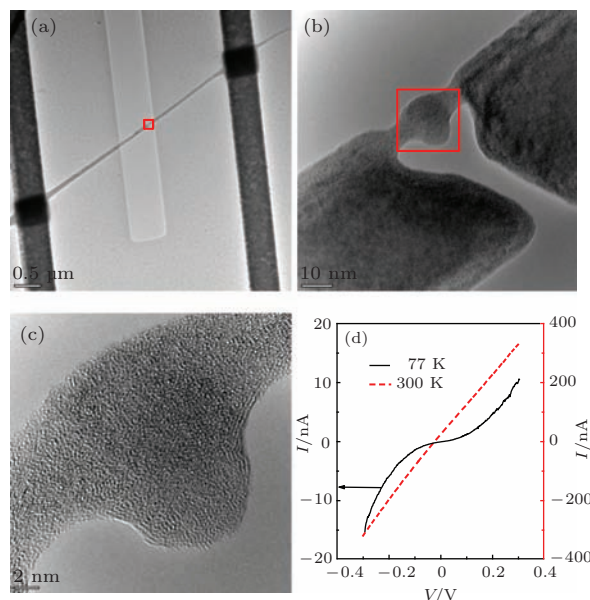


图 5 利用会聚电子束在 InAs 纳米线上刻蚀纳米点并进行原位电学测量 (a) 纳米线上使用会聚电子束刻蚀出纳米点的低倍 TEM 明场像; (b), (c) 分别是纳米点的高倍图像, 这个球形的纳米点尺寸约 10 nm, 在两边分别连接到一个 7 nm 的非晶层; (d) 该器件在 77 和 300 K 的 I - V 曲线

4 结 论

本文使用微芯片技术制备了适用于原位 TEM 电学性能测量的芯片, 并利用自制的 TEM 样品杆完成了低温下 TEM 聚焦电子束刻蚀以及不同温度下对刻蚀样品的原位电学测量. 对砷化铟纳米线的原位刻蚀以及电学测量发现, 随着纳米线截面积的减小, 电导率也随之减小, 纳米线电导的减小速率与截面积的减小具有线性关系. 刻蚀处的成分分析表明刻蚀对材料的成分影响较小. 利用该技术, 在砷化铟纳米线上制备了一个 10 nm 的纳米点, 同时在 77 K 观察到了纳米点的库仑阻塞以及电子隧穿现象, 而 300 K 时, 这种现象消失.

参考文献

[1] Storm A J, Chen J H, Ling X S, Zandbergen H W, Dekker C 2003 *Nature Mater.* **2** 537

- [2] Wu M Y, Smeets R M M, Zandbergen M, Ziese U, Krapf D, Batson P E, Dekker N H, Dekker C, Zandbergen H W 2008 *Nano Lett.* **9** 479
- [3] Zandbergen H W, van Duuren R J, Alkemade P F, Lientschnig G, Vasquez O, Dekker C, Tichelaar F D 2005 *Nano Lett.* **5** 549
- [4] Krapf D, Wu M Y, Smeets R M M, Zandbergen H W, Dekker C, Lemay S G 2006 *Nano Lett.* **6** 105
- [5] Fischbein M D, Drndic M 2007 *Nano Lett.* **7** 1329
- [6] Song B, Schneider G F, Xu Q, Pandraud G, Dekker C, Zandbergen H W 2011 *Nano Lett.* **11** 2247
- [7] Xu Q, Wu M Y, Schneider G F, Houben L, Malladi S K, Dekker C, Yucelen E, Dunin B R E, Zandbergen H W 2013 *ACS Nano* **7** 1566
- [8] Lu Y, Merchant C A, Drndic M, Johnson A T C 2011 *Nano Lett.* **11** 5184
- [9] Liu K, Feng J, Kis A, Radenovic A 2014 *ACS Nano* **8** 2504
- [10] Zhang J, You L, Ye H, Yu D P 2007 *Nanotechnology* **18** 155303
- [11] Wang Z L, Poncharal P, De Heer W A 2000 *Pure Appl. Chem.* **72** 209
- [12] Wang J J, Shao R W, Deng Q S, Zheng K 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 117303 (in Chinese) [王疆靖, 邵瑞文, 邓青松, 郑坤 2014 物理学报 **63** 117303]
- [13] Ennos A E 1953 *Br. J. Appl. Phys.* **4** 101
- [14] Averin D V, Likharev K K 1986 *J. Low Tem. Phys.* **62** 345
- [15] Sui B C, Fang L, Zhang C 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 077302 (in Chinese) [隋兵才, 方粮, 张超 2011 物理学报 **60** 077302]
- [16] Huang W Q, Miao X J, Huang Z M, Cheng H Q, Su Q 2013 *Chin. Phys. B* **22** 64207
- [17] Wang H, Han W H, Ma L H, Li X M, Yang F H 2014 *Chin. Phys. B* **23** 88107
- [18] Wang H Y, Dou X M, Ni H Q, Niu Z C Sun B Q 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 027801 (in Chinese) [王海艳, 窦秀明, 倪海桥, 牛智川, 孙宝权 2014 物理学报 **63** 027801]
- [19] Ford A C, Ho J C, Chueh Y L, Tseng Y C, Fan Z, Guo J, Bokor J, Javey A 2008 *Nano Lett.* **9** 360
- [20] Scheffler M, Nadj P S, Kouwenhoven L P, Borgström M T, Bakkers E P A M 2009 *J. Appl. Phys.* **106** 124303

Nano-scale lithography and *in-situ* electrical measurements based on the micro-chips in a transmission electron microscope*

Zhang Chao¹⁾²⁾³⁾ Fang Liang^{1)2)†} Sui Bing-Cai¹⁾ Xu Qiang³⁾ Wang Hui⁴⁾

1) (State Key Laboratory of High Performance Computing, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

2) (School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

3) (Delft University of Technology, Kavli Institute of Nanoscience, 2628 CJ, Delft, The Netherlands)

4) (Key Laboratory of Aerospace Materials and Performance of the Ministry of Education, School of Materials Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

(Received 28 May 2014; revised manuscript received 7 August 2014)

Abstract

In this paper, the *in-situ* membrane chips with the electrodes are fabricated with the micro-chip technique. Using a home-made *in-situ* holder, the fine lithography on the InAs nanowires is demonstrated by the focused electron beam at low temperature in a transmission electron microscope. It is found that the conductance of the nanowires decreases linearly with the cross section area decreasing from bigger than 10000 nm² down to 800 nm² by lithography. With this lithography at low temperature, a 10 nm nano-dot is fabricated on an InAs nanowire, and its electrical properties are measured at 77 and 300 K. The coulomb blockade effect is observed at 77 K due to the electron tunneling, while this phenomenon disappears at 300 K due to the stronger thermal fluctuation.

Keywords: low temperature electron beam lithography, *in-situ* transmission electron microscope electrical measurements, InAs nanowire, Coulomb blockade effect

PACS: 81.16.Nd, 73.23.hk, 73.63.-b

DOI: 10.7498/aps.63.248105

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61106084, 61332003).

† Corresponding author. E-mail: lfang@nudt.edu.cn