

光照对 HF/Fe(NO₃)₃ 溶液中制备硅纳米线的作用研究

刘琳 王永田

Investigation of photo-induced phenomenon in the silicon nanowires made by chemical etching in HF/Fe(NO₃)₃ solution

Liu Lin Wang Yong-Tian

引用信息 Citation: [Acta Physica Sinica](#), 64, 148201 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.148201

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.148201>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I14>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[Ba₅SiO₄Cl₆: Yb³⁺ Er³⁺ Li⁺ 荧光粉的制备及上转换发光性质研究](#)

[Preparation and upconversion luminescence properties of Ba₅SiO₄Cl₆: Yb³⁺ Er³⁺ Li⁺ phosphors](#)

物理学报.2015, 64(13): 138101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.138101>

[基于发卡式开口谐振环的柔性双频带超材料](#)

[A flexible dual-band metamaterial based on hairpin split-ring resonators](#)

物理学报.2015, 64(3): 038101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.038101>

[碳硅二炔结构及性质分子动力学模拟研究](#)

[Molecular dynamics study on the structure and properties of silicon-graphdiyne](#)

物理学报.2013, 62(23): 238101 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.238101>

光照对HF/Fe(NO₃)₃溶液中制备硅纳米线的作用研究*

刘琳¹⁾²⁾ 王永田^{1)†}

1) (华北电力大学能源动力与机械工程学院, 北京 102206)

2) (北京师范大学, 能源转换与存储材料北京市重点实验室, 北京 100875)

(2015年1月7日收到; 2015年2月25日收到修改稿)

以不同掺杂浓度的单晶n型硅为衬底、金属银为催化剂、硝酸铁作为氧化剂制备硅纳米线, 系统研究了光照对不同硝酸铁浓度条件下用化学腐蚀法制备硅纳米线的作用. 研究发现, 不同掺杂浓度的硅衬底, 光照对硅纳米线长度的影响明显不同. 通过对比硅纳米线的长度, 发现光照对硅纳米线的形成兼具促进和溶解作用, 并分别从能带结构、电化学表征和光致发光等方面对这两种作用的形成机理进行了深入讨论.

关键词: 硅纳米线, 化学腐蚀法, 光照**PACS:** 82.45.Vp, 82.45.Yz, 81.05.Zx**DOI:** 10.7498/aps.64.148201

1 引言

硅纳米结构由于奇特的结构和物理性能, 不仅为基础物理研究提供了宝贵的材料, 也预示着巨大的应用前景和经济效益^[1,2]. 经过多年的发展, 硅纳米结构已在太阳能电池、热电器件、锂离子电池以及光催化等领域展现了诱人的应用前景^[3]. 硅纳米线作为一种重要的硅纳米结构, 制备方法主要分为“自下而上”和“自上而下”两种方式. “自下而上”的生长方式主要包括气-液-固机理生长^[4]、氧化物辅助生长等^[5]; “自上而下”方式包括有光刻和刻蚀等^[6,7]. 近年来, 作为一种新型的硅纳米结构制备技术, 化学腐蚀法受到国内外学者的广泛关注^[8-10]. 利用化学腐蚀法获得硅纳米线阵列结构有两种途径: 1) 在洁净的硅衬底上预先沉积一层贵金属薄膜(金或银), 将处理过的硅衬底放入含有溶解氧的氢氟酸溶液或添加有强氧化剂(双氧水、硝酸铁等)的氢氟酸溶液中; 2) 直接将洁净的硅衬

底放入溶解有氧化性的贵金属盐(硝酸银、氯金酸等)的氢氟酸溶液中. 这两种方法制备的硅纳米线长度由腐蚀时间调控, 腐蚀出的硅纳米线直径约20—300 nm, 且均在室温下进行, 不需要高温、高压等其他苛刻条件. 利用这种方法, 通过控制预沉积金属的形状, 就可以制备出不同结构的硅纳米阵列^[11]. 选用不同种类的硅衬底, 可以得到不同形貌的硅纳米结构^[12]. 该方法直接作用于单晶硅, 与当前成熟的半导体微加工工艺兼容, 已受到越来越多的关注.

光照可以使半导体内产生电子空穴对, 由此会引发一些奇特的现象. 本文研究了光照对不同掺杂浓度的n型硅、不同氧化剂浓度条件下利用化学腐蚀法制备硅纳米线的作用; 通过电化学表征, 对光照的影响做了定量分析; 通过比较硅纳米线长度, 总结了光照的主要作用. 本文所制备的硅纳米结构, 无论是作为绿色储能材料还是作为传感材料的衬底都具有很好的前景. 将光照引入氢氟酸和硝酸铁溶液体系中制备硅纳米线, 通过分析光照所产生

* 国家自然科学基金(批准号: 51377096)、中国博士后科学基金(批准号: 2014M560934)和中央高校基本科研业务费专项资金(批准号: 2015QN16, 2014ZP02, 2015MS44)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: wyt@ncepu.edu.cn

的电子和空穴的运动轨迹, 可以深入挖掘该方法制备硅纳米线的形成机理, 为促进该方法的发展提供了重要的物理理论依据. 本文的研究对促进和发展化学腐蚀法制备技术具有重要的指导意义.

2 实验

2.1 样品制备

硅片表面的清洁度对腐蚀出的硅纳米线形貌有至关重要的影响, 因此, 首先需要进行硅片的清洗. 清洗步骤如下: 1) 将硅片切割成 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 的正方形后放入石英烧杯; 2) 依次使用去离子水、丙酮、乙醇、去离子水超声 10 min, 去除硅片上有机物等易溶于水的物质; 3) 倒掉去离子水, 将双氧水和浓硫酸以 $V_{\text{双氧水}} : V_{\text{浓硫酸}} = 1 : 3$ 的配比依次加入石英花篮后加热, 至气泡大部分消除, 去除硅片上的金属颗粒等污染物; 4) 待自然冷却后, 用去离子水清洗硅片, 保存备用. 本文所使用的硅均为 n 型磷掺杂, (100) 晶面取向, 电阻率分别为 $1.0\text{--}1.5\ \Omega\cdot\text{cm}$ (中掺硅) 和 $0.003\text{--}0.009\ \Omega\cdot\text{cm}$ (重掺硅).

然后给硅片镀银, 过程如下: 配置镀银溶液, 硝酸银溶液浓度为 $0.2\ \text{mol/L}$, 氢氟酸的质量分数约为 40%, 镀银溶液由配比为 $V_{\text{硝酸银溶液}} : V_{\text{氢氟酸}} : V_{\text{去离子水}} = 2 : 10 : 38$ 的混合溶液组成. 镀银之前, 先用稀释的氢氟酸溶液去除硅表面的氧化层; 将去除了表面氧化层的硅片放入镀银溶液中, 镀银时间可根据实验需要进行调整, 本文镀银时间为 120 s.

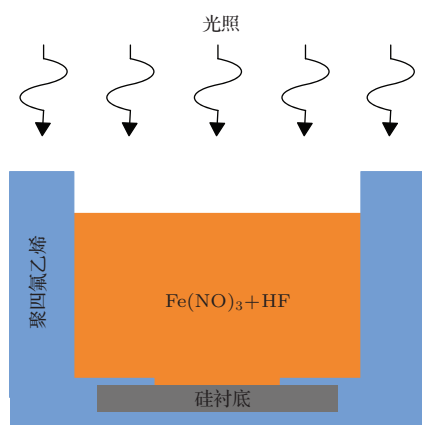


图 1 实验制备示意图

Fig. 1. Schematic diagram for the experiments.

最后进行腐蚀实验, 腐蚀溶液由一定浓度的硝酸铁溶液、氢氟酸和去离子水的组成. 将镀好银的硅片用特制的聚四氟乙烯罐子夹紧, 正面朝上接触

溶液, 反面不与腐蚀溶液接触. 将配置好的溶液倒入, 正面用透光盖, 光源为 80 W 日光灯, 距离硅片约 1 m, 腐蚀时间控制在 2 h. 对比试验是将硅片置于黑暗环境中腐蚀. 腐蚀完成后, 用去离子水冲洗硅片表面, 待硅片表面干燥备用. 图 1 是实验制备示意图.

2.2 电化学表征实验

实验采用标准的三电极体系, 硅为工作电极, 石墨棒为对电极, Ag/AgCl 为参比电极, 电解池用聚四氟乙烯材料制成. 硅片背面用铜做欧姆接触, 正面开 $1\ \text{cm}^2$ 的圆形口以接触溶液. 选用恒电位测试法以得到极化曲线, 实验条件是将镀银的硅片浸入氢氟酸和硝酸铁混合溶液中, 分别测试其在黑暗和光照条件下的极化情况. 测试范围设为开路电压的 $\pm 0.3\ \text{V}$, 扫描速度 $5\ \text{mV/s}$. 为了得到稳定的极化曲线, 测试之前稳定 180 s.

2.3 样品形貌的表征方法和光致发光

采用扫描电子显微镜 (SEM) 进行样品表面形貌分析. 利用激光共焦显微拉曼光谱仪、325 nm 的 He-Cd 激光器获得光致发光谱.

3 结果与讨论

图 2 是中掺硅在不同条件下获得的样品形貌. 其中图 2(a) 和图 2(b) 是腐蚀液所含硝酸铁浓度为 $0.03\ \text{mol/L}$ 时黑暗和光照中的腐蚀情况; 图 2(c) 和图 2(d) 是腐蚀液所含硝酸铁浓度为 $0.15\ \text{mol/L}$ 时, 黑暗和光照中的腐蚀情况. 比较发现图 2(a) 样品的腐蚀深度约为 $1.2\ \mu\text{m}$, 图 2(b) 样品的腐蚀深度约为 $2.6\ \mu\text{m}$, 光照中获得的硅纳米线长度大于黑暗中获得的硅纳米线长度; 图 2(c) 样品的腐蚀深度约为 $6.1\ \mu\text{m}$, 图 2(d) 样品的腐蚀深度约为 $6.8\ \mu\text{m}$, 光照中获得的硅纳米线长度长于黑暗中获得的硅纳米线长度. 可知, 当选用中掺硅衬底时, 随着硝酸铁浓度的增加, 腐蚀得到的硅纳米线的长度也随之增加, 而且光照中得到的硅纳米线长度大于黑暗中得到的样品长度.

图 3 是重掺硅在不同条件下获得的样品形貌. 图 3(a) 和图 3(b) 是腐蚀液所含硝酸铁浓度为 $0.03\ \text{mol/L}$ 时黑暗和光照中的腐蚀情况; 图 3(c) 和图 3(d) 是腐蚀液所含硝酸铁浓度为 $0.15\ \text{mol/L}$

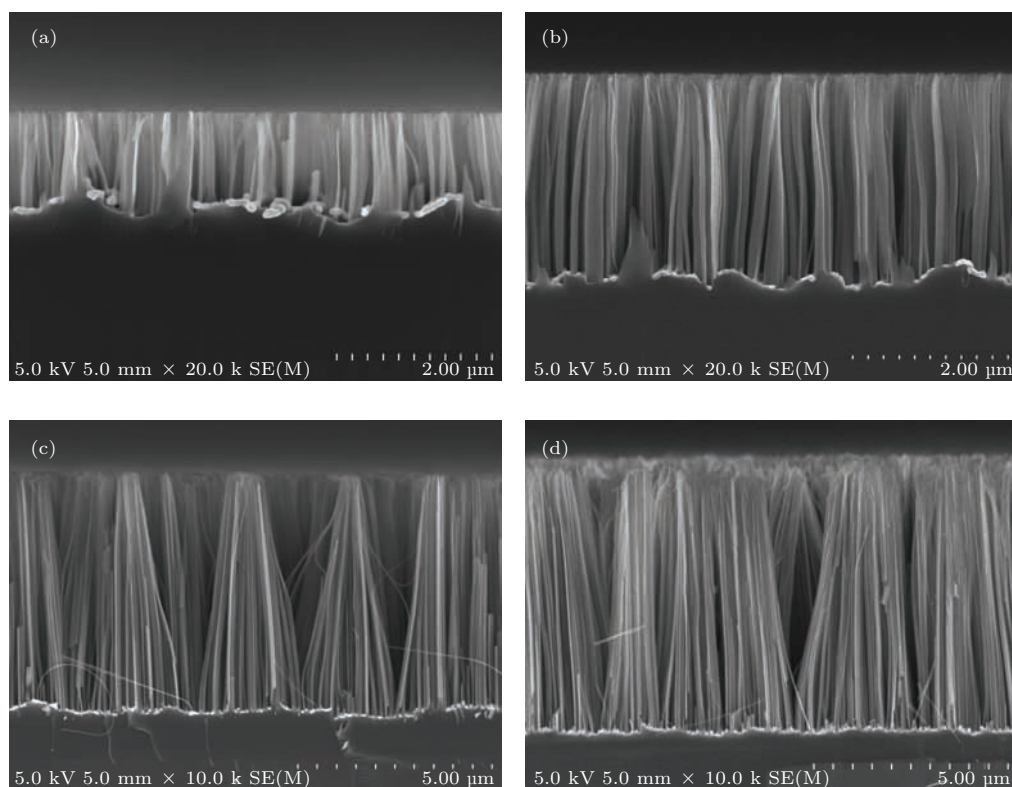


图2 中掺样品的硅纳米线阵列SEM图像 硝酸铁浓度为 0.03 mol/L, (a) 黑暗, (b) 光照, 硝酸铁浓度为 0.15 mol/L, (c) 黑暗, (d) 光照

Fig. 2. SEM images from moderately doped substrates: $c(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0.03 \text{ mol/L}$, (a) dark, (b) photo-induced; $c(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0.15 \text{ mol/L}$, (c) dark, (d) photo-induced.

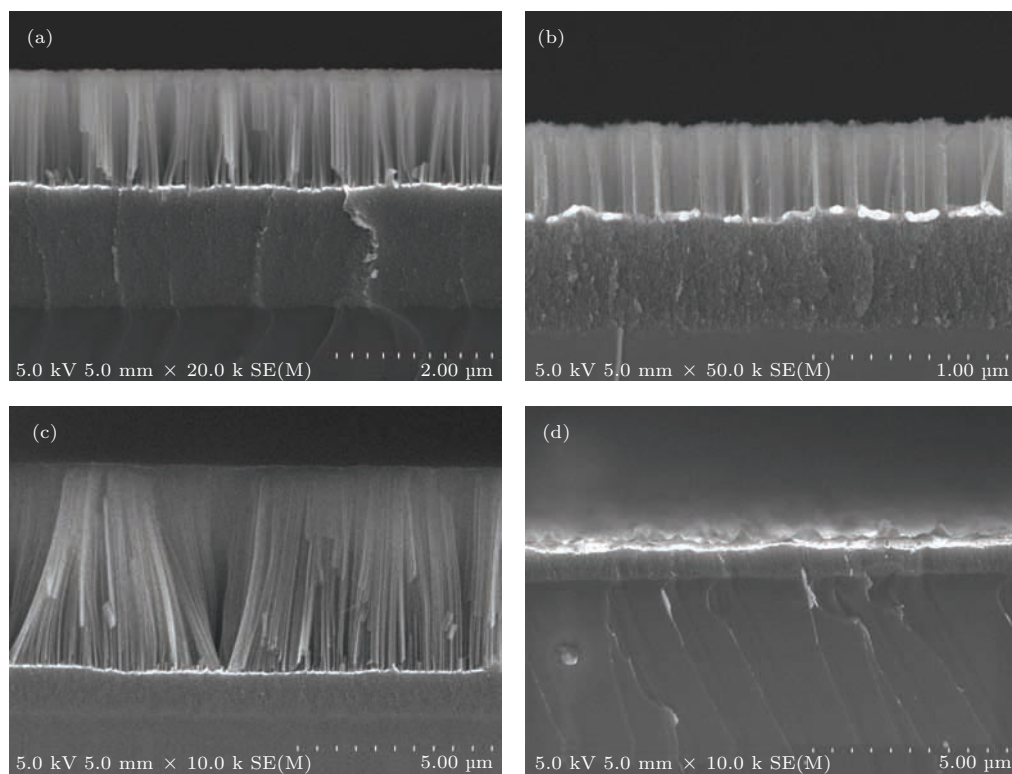


图3 重掺样品的硅纳米线阵列SEM图像 硝酸铁浓度为 0.03 mol/L, (a) 黑暗, (b) 光照; 硝酸铁浓度为 0.15 mol/L, (c) 黑暗, (d) 光照

Fig. 3. SEM images from moderately doped substrates: $c(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0.03 \text{ mol/L}$, (a) dark, (b) photo-induced; $c(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0.15 \text{ mol/L}$, (c) dark, (d) photo-induced.

时黑暗和光照中的腐蚀情况. 比较发现图 3(a) 样品的硅纳米线长度约为 $1.5 \mu\text{m}$, 图 3(b) 样品的硅纳米线长度约为 $0.5 \mu\text{m}$, 光照中获得的硅纳米线长度小于黑暗中获得的硅纳米线长度; 图 3(c) 样品的硅纳米线长度约为 $5.5 \mu\text{m}$, 图 3(d) 样品没有硅纳米线的形成, 硅衬底表面却有明显被腐蚀的痕迹. 可知, 在黑暗环境中选用重掺硅衬底时, 随着硝酸铁浓度的增加, 腐蚀得到的硅纳米线的长度也随之增加. 但是在光照条件下, 不论硝酸铁的含量如何, 光照均缩短了硅纳米线的长度, 而且在硝酸铁含量足够多的情况下, 光照溶解的速度和形成硅纳米线的速度是可比拟的, 这样会使硅纳米线完全溶解. 在我们以前的实验研究中^[13], 利用大量的双氧水做此实验, 发现光照参与腐蚀得到的硅纳米线并不会被完全抛光, 这说明光照对硅纳米线的溶解作用在含有硝酸铁的腐蚀溶液中更为显著.

通过比较分析图 2 和图 3 所示的 SEM 图像, 可知光照对硅纳米线的形成既有促进作用, 也有溶解作用. 对于中掺硅, 促进作用的效果更为明显, 而对于重掺硅, 光照的溶解作用则更为明显.

化学腐蚀法制备硅纳米线是一种“自上而下”的制备技术, 从形成机理上来看, 氧化剂作为去极化剂, 金属和硅因电极电势的不同形成局域微观原电池, 与金属接触的硅作为阳极, 失去电子; 电子通过作为阴极的金属转移到溶液侧, 遇到溶液中的氧化剂并使之还原. 金属的催化作用使其接触处的硅不断被氢氟酸溶解, 从而形成所需的硅纳米线. 从本质上来说, 腐蚀的动力是硅与金属在含有氧化剂的氢氟酸溶液中形成了短路原电池.

用图 4 的能带图来解释光照对硅纳米线的溶解作用. 众所周知, 半导体与电解质相接触, 当两相中的费米能级 $E_F = E_{\text{溶液}}$ 时达到平衡. 对于 n 型硅, 其费米能级位于距离价带底能级比较近的位置, 比溶液中的能级略高, 电子将会从半导体向溶液相流动, 所以半导体的过剩电荷分布在接近表面的区域, 产生空间电荷区, 它引发的电场使得能级发生弯曲. 当一束能量大于禁带宽度的光照射到半导体和电解质界面时, 光子被吸收而产生电子空穴对, 在空间电荷层附近产生的电子空穴对会受到电场的作用发生分离. 空穴 (h^+) 向硅的表面移动会引起硅价态的升高, 而电子流到外部电路, 与氧化剂作用使其还原. 发生的反应如下: 1) 阴极 $\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{NO} \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$; 2) 阳

极 $\text{Si} + 4\text{h}^+ + 6\text{HF} = \text{SiF}_6^{2-} + 6\text{H}^+$. n 型中掺和重掺的差别在于半导体内费米能级的位置略有不同^[14], 如图 4 所示, 黑色曲线代表中掺 n 型硅衬底的能带, 红色曲线代表重掺 n 型硅衬底的能带. 重掺的费米能级相比中掺的费米能级更接近于价带底能级. 因此, 与电解质溶液接触后形成的空间电荷区更窄、电场更强、更容易发生硅的氧化和溶解. 本文实验中, 硅纳米线的形成与光对硅纳米线的溶解同时发生, 当硅纳米线的形成速度大于光对它的溶解速度时, 光的溶解作用使腐蚀出的硅纳米线多孔性更强, 当硅纳米线的形成速度小于光对它的溶解速度时, 就会出现图 3(d) 所示的情况, 即硅纳米线的完全抛光.

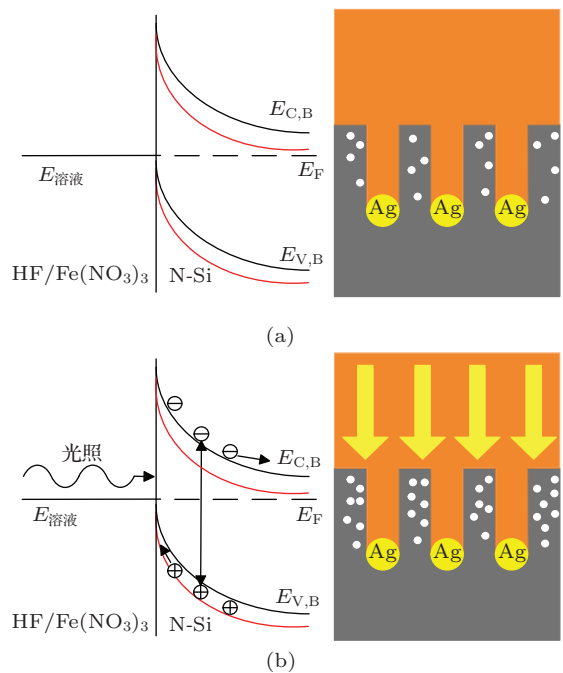


图 4 (网刊彩色) n 型硅衬底与溶液界面接触处的能带图 (a) 黑暗; (b) 光照; 黑色曲线代表中掺衬底, 红色曲线代表重掺衬底

Fig. 4. (color online) Energy-band diagrams for n-Si immersed in HF/ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ solution: (a) dark; (b) photo-induced; the black curves represent n moderately doped substrates; the red curves represent n highly doped substrates.

光照会使半导体内产生电子空穴对, 在本体中形成的电子空穴对能重新复合, 位于电解质的界面处的电子空穴对会由于空间电荷层的电场作用而分离. 图 5 可解释光照产生的电子空穴对在金属周围的运动情况. 由于金属银具有更强的电负性, 更易吸引周围的电子, 使其转移至溶液侧与氧化剂发生反应, 这样留在银周围的空穴会促进硅的溶解,

从而使腐蚀出的硅纳米线长度增长. 它对重掺硅制备的硅纳米线也有促进作用, 但是由于重掺硅纳米线本身的多孔性, 光照对它的溶解作用强于对它的促进作用, 所以促进作用的表现就不明显.

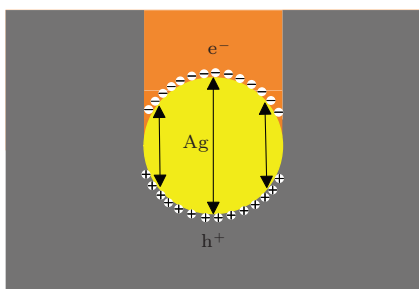


图5 (网刊彩色) 光照对化学腐蚀法制备硅纳米线促进作用的示意图

Fig. 5. (color online) Schematic diagram for the promoting effect by photo-induced.

为了量化光照对化学腐蚀法制备硅纳米线的作用, 测量了不同实验条件下的极化曲线. 通过对比图6所示的黑暗及光照条件下的极化曲线, 可以看到光照下的阳极反应明显增强, 即硅溶解反应加

强, 对于n型硅来说, 溶解所需要的空穴由光照产生. 光照对腐蚀电位的影响也是显而易见的, 会使其腐蚀电位更负. Mitsugi和Nagai等^[15]研究了光照对镀铜硅片在氢氟酸水溶液中的影响, 发现其腐蚀电位光照时左移、阳极极化曲线显著增强, 与本文的实验结果一致. 表1列出了在不同状态下硅的腐蚀电位和腐蚀电流密度, 从每种实验条件下的腐蚀电流密度可以看出光照下的腐蚀电流密度增大; 同一实验条件下, n型重掺硅的腐蚀电流密度大于n型中掺硅的腐蚀电流密度. 从定量的角度可以得到结论: 光照使硅的溶解反应加强. 本文光照引起的硅的溶解包括两方面的作用: 一方面是光照对硅纳米线形成的促进作用, 另一方面是光照对硅纳米线的溶解作用.

图7是利用激光共聚焦拉曼光谱仪器对样品测试的光致发光谱, 激发光波长为325 nm, 硝酸铁浓度为0.15 mol/L. 图7(a)的测试样品分别对应图2(c)和图2(d); 图7(b)分别对应图3(c)和

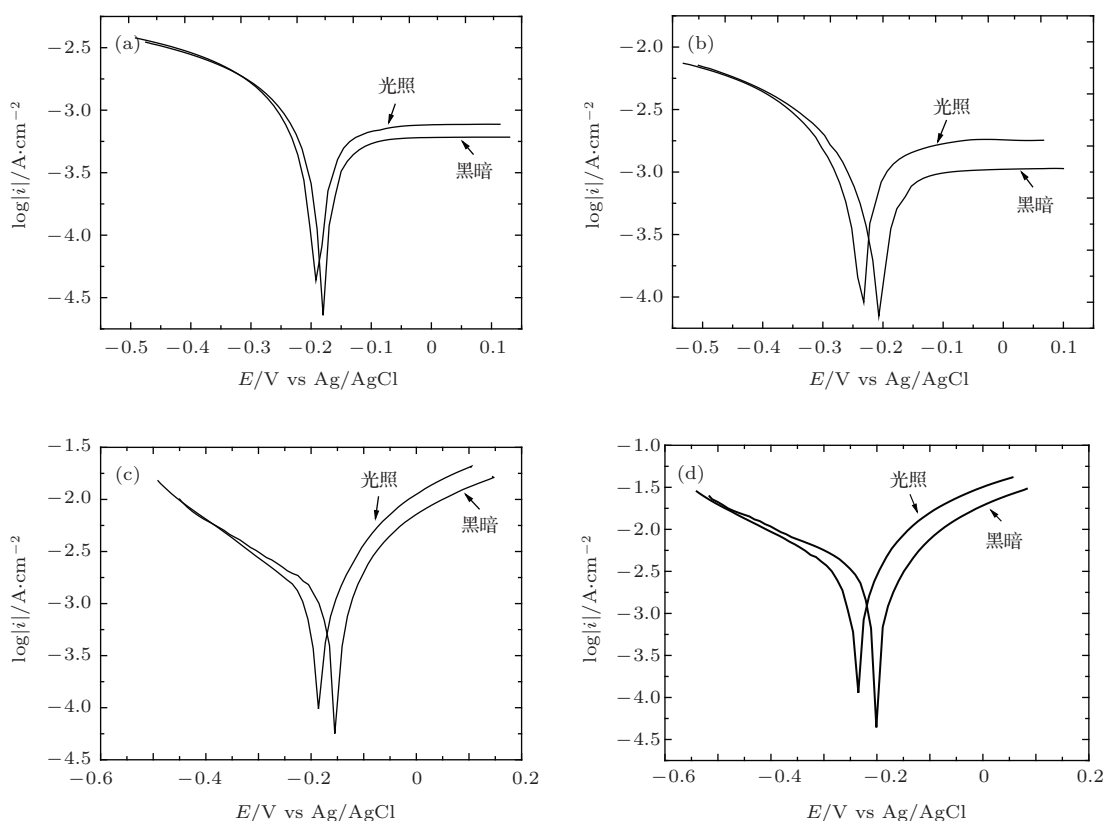


图6 不同环境中的极化曲线对比 中掺硅衬底, (a) 硝酸铁浓度为0.03 mol/L; (b) 硝酸铁浓度为0.15 mol/L; 重掺硅衬底 (c) 硝酸铁浓度为0.03 mol/L; (d) 硝酸铁浓度为0.15 mol/L

Fig. 6. Potentiodynamic polarization curves in different conditions: moderately doped substrates (a) $c(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0.03 \text{ mol/L}$; (b) $c(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0.15 \text{ mol/L}$; highly doped substrates (a) $c(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0.03 \text{ mol/L}$; (b) $c(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0.15 \text{ mol/L}$.

图4(d). 从图7(a)可以看出, 利用中掺衬底在光照下制备的样品发光强度是黑暗条件下的8倍, 发光谱峰位波长集中于650 nm. 图7(b)显示, 光照参

与制备的样品发光强度迅速降低, 黑暗中制备样品的发光强度是光照下的13倍, 发光谱峰位波长集中于680 nm.

表1 不同环境中硅的腐蚀电位和腐蚀电流密度
Table 1. E_0 and I_0 of silicon in different condition.

硅片类型	腐蚀环境	腐蚀电位 E_0/V vs Ag/AgCl	腐蚀电流密度 $I_0/\mu A \cdot cm^{-2}$
N(100) 1.0—1.5 $\Omega \cdot cm$	c(Fe(NO ₃) ₃) = 0.03 mol/L 黑暗	-0.151	588.34
	光照	-0.166	723.59
	c(Fe(NO ₃) ₃) = 0.15 mol/L 黑暗	-0.203	928.31
	光照	-0.232	1324.06
N(100) 0.003—0.009 $\Omega \cdot cm$	c(Fe(NO ₃) ₃) = 0.03 mol/L 黑暗	-0.149	2150.17
	光照	-0.187	2726.59
	c(Fe(NO ₃) ₃) = 0.15 mol/L 黑暗	-0.201	3692.81
	光照	-0.235	5823.06

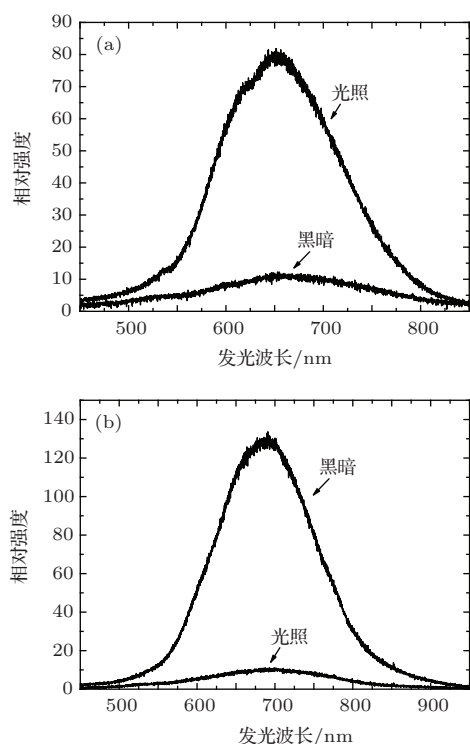


图7 光致发光谱对比图 (a) 中掺衬底; (b) 重掺衬底; 硝酸铁浓度均为 0.15 mol/L

Fig. 7. PL spectra of the samples: (a) moderately doped substrates; (b) highly doped substrates; $c(Fe(NO_3)_3) = 0.15$ mol/L.

图7(a)表明光照条件下制备的硅纳米线具有更大的发光强度, 这与之前的研究结论一致, 即光

照增强了硅纳米线的多孔性, 这是导致其发光强度增强的主要原因. 关于硅光致发光的研究至今并不少见 [16–18], 用 Canham [19] 提出的量子限域效应可以很好地解释此现象, 量子限域效应指出纳米量级的硅量子线结构是引发硅发光的关键. 图7(b)所示的光照引发的发光强度的降低是因为重掺硅纳米线上的纳米发光结构吸收了光能而溶解, 直至脱落而造成. 观察不同掺杂浓度硅衬底样品的发光峰位, 发现中掺样品的发光谱峰位低于重掺样品的发光谱峰位, 这是由于能带宽度随着掺杂浓度的增加而变窄所致 [20].

4 结 论

本文以不同掺杂浓度的单晶 n 型硅为衬底、金属银为催化剂和硝酸铁作为氧化剂制备硅纳米线, 系统研究了光照对不同氧化剂浓度条件下化学腐蚀法制备硅纳米线的作用. 结果表明, 光照对化学腐蚀法制备硅纳米线兼具促进和溶解作用. 利用能带结构、电化学表征及光致发光图谱解释了相关现象. 本文的研究对促进和发展该制备技术具有一定的指导意义.

感谢北京师范大学物理系彭奎庆教授对本文讨论部分的帮助.

参考文献

- [1] Wang Z W, Cai J Q, Wu Y Z, Wang H J, Xu X L 2015 *Chin. Phys. B* **24** 017802
- [2] Wang H Y, Li X J 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2225 (in Chinese) [王海燕, 李新建 2005 物理学报 **54** 2225]
- [3] Peng K Q, Wang X, Li L, Hu Y, Lee S T 2013 *Nano Today* **8** 75
- [4] Xing Y J, Yu D P, Xi Z H, Xue Z Q 2002 *Chin. Phys.* **11** 1047
- [5] Shi W S, Peng H Y, Zheng Y F, Wang N, Shang N G, Pan Z W, Lee C S, Lee S T 2000 *Adv. Mater.* **12** 1343
- [6] Hu S F, Weng W C, Wan Y M 2004 *Solid State Commun.* **130** 111
- [7] Tong H D, Chen S Y, Wiel W G, Carlen E T, Berg A 2009 *Nano Lett.* **9** 1015
- [8] Liu L 2015 *Sci. China. Tech. Sci.* **58** 362
- [9] Liang L, Xu Q F, Hu M L, Sun H, Xiang G H, Zhou L B 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 037301 (in Chinese) [梁磊, 徐琴芳, 忽满利, 孙浩, 向光华, 周利斌 2013 物理学报 **62** 037301]
- [10] Liu L, Peng K Q, Hu Y, Wu X L, Lee S T 2014 *Adv. Mater.* **26** 1410
- [11] Huang Z P, Fang H, Zhu J 2007 *Adv. Mater.* **19** 744
- [12] Gan L, Sun L W, He H P, Ye Z Z 2014 *J. Mater. Chem. C* **2** 2668
- [13] Liu L 2014 *J. Mater. Chem. C* **2** 9631
- [14] To W K, Tsang C H, Li H H, Huang Z F 2011 *Nano Lett.* **11** 5252
- [15] Mitsugi N, Nagai K 2004 *J. Electrochem. Soc.* **151** G302
- [16] Zhu M, Li X H, Li G Q, Chang L Y, Xie C X, Qiu R, Li J W, Huang W H 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 057801 (in Chinese) [朱敏, 李晓红, 李国强, 常利阳, 谢长鑫, 邱荣, 李家文, 黄文浩 2014 物理学报 **63** 057801]
- [17] Zhu S W, Du J, Wang L, Tu H L 2010 *Sci. China Tech. Sci.* **53** 1060
- [18] Chang H, Sun S Q 2014 *Chin. Phys. B* **23** 088102
- [19] Canham L T 1990 *Appl. Phys. Lett.* **5** 1046
- [20] Wagner J, Alamo J A 1998 *J. Appl. Phys.* **63** 425

Investigation of photo-induced phenomenon in the silicon nanowires made by chemical etching in HF/Fe(NO₃)₃ solution*

Liu Lin¹⁾²⁾ Wang Yong-Tian^{1)†}

1) (School of Energy Power and Mechanical Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

2) (Beijing Key Laboratory of Energy Conversion and Storage Materials, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

(Received 7 January 2015; revised manuscript received 25 February 2015)

Abstract

The photo-induced phenomenon in the silicon nanowires made by chemical etching in HF/Fe(NO₃)₃ solution is investigated systematically by using monocrystal n-type silicons with different doping concentrations as substrates, silver as catalyst, and iron nitrates with different concentrations as oxidants. It is found that the length of silicon nanowires is determined not only by the doping concentration of substrate and the mass of oxidant, but also by the photo-induced effect. The prepared silicon nanowires may have potential applications in green energy storage device and the substrate material for sensor. In this paper, we discuss the formation mechanism from the band structure, electrochemical characterization and photoluminescence in depth. The results in this paper provide physical theoretical evidence for the development of the method, and have important guiding significance to promote the technology.

Keywords: silicon nanowires, chemical etching, photo-induced

PACS: 82.45.Vp, 82.45.Yz, 81.05.Zx

DOI: 10.7498/aps.64.148201

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51377096), the China Postdoctoral Science Foundation (Grant No. 2014M560934), and the Fundamental Research Funds for the Central Universities, China (Grant Nos. 2015QN16, 2014ZP02, 2015MS44).

† Corresponding author. E-mail: wyt@ncepu.edu.cn