

[补充信息]

非晶硅薄膜的快速磷扩散

杨秀钰¹, 陈诺夫^{1,✉}, 张航¹, 陶泉丽¹, 徐甲然¹, 陈梦¹, 陈吉堃²

1 华北电力大学 可再生能源学院, 北京 102206;

2 北京科技大学 材料科学与工程学院, 北京 100083

[Supplementary Information]

Rapid Thermal Diffusion of Phosphorus in Amorphous Silicon Thin Films to Prepare Heterojunction with Intrinsic Thin-layer

YANG Xiuyu¹, CHEN Nuofu^{1,✉}, ZHANG Hang¹, TAO Quanli¹, XU Jiaran¹, CHEN Meng¹, CHEN Jikun²

1 School of Renewable Energy, North China Electric Power University, Beijing 102206;

2 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

实验试剂与仪器

本实验中用到的试剂有丙酮、乙醇、去离子水、氢氟酸、硝酸、冰醋酸等, 药品有松香、石蜡、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、固体扩散源磷纸、金刚砂等。衬底采用晶向为(100), 电阻率为 $1\text{-}5 \Omega \cdot \text{cm}$, 直径为4英寸, 厚度为 $500 \mu\text{m}$ 的p型单晶硅片。

本征非晶硅膜的制备采用四靶磁控溅射。p-n结的制备采用快速热处理设备进行快速热快散(RTD)得到, 结深的测量采用了磨角染色法, 利用了磨角器和Olympus金相显微镜。非晶硅层的表面形貌和厚度的测试采用扫描电子显微镜和台阶仪。结晶特性表征采用了激光共聚焦拉曼测试仪(Raman)和X射线粉末衍射仪(XRD), 其中Raman的激发源为He-Ne激光器, 激发波长为 532 nm , 选取的激光能量为总能量的10%, 避免局域能量过高造成的热效应导致非晶硅层产生损伤。

非晶硅层的制备

首先对硅片进行预处理, 硅片依次经过丙酮、乙醇、去离子水的超声清洗后(去除硅表面的有机物、颗粒等杂质), 置入1%浓度的氢氟酸(HF)溶液中2分钟, 用于去除表面的氧化硅层并且达到钝化硅异质界面的作用。取出后用去离子水冲洗, 并用氮气吹干。经吹干后的硅片迅速放入磁控溅射的腔室中, 并进行抽真空, 本实验选择 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 作为衬底温度, 靶材为本征非晶硅靶, 溅射方式为射频磁控溅射, 当基底气压达到 $5 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$ 时, 开始溅射本征非晶硅层。通入氩气并控制其流量为 50 sccm (标况毫升每分), 接通交流电源, 将溅射气压调至 0.5 Pa , 打开溅射电源, 调节溅射功率为 250 W , 反偏功率为尽量调为 0 W , 溅射时长为3小时, 且此功率条件下的溅射速率为 334 nm/h 。最终得到厚度为 $1 \mu\text{m}$ 左右的本征非晶硅薄膜, 以满足研究在此基础上的扩散结深时的厚度需求。

RTD 制备 p-n 结

将溅射完成后的硅片，抛光面即溅射非晶硅的一面向上放入快速退火炉中，然后取充足的磷纸放于硅片周围，开启水冷却系统，氮气(N₂)减压阀开到 0.2 MPa，设置设备中的氮气进气量为 1.5 L/min。然后即可设定温度曲线，曲线的设定应以均匀性和稳定性为前提，以扩散温度为 800 °C，扩散时间维持 20 s 为例，温度曲线应如图 S1 所示设定，为保证温度均匀上升，将温度的上升过程分为三组，温度依次为 250 °C、550 °C 和 850 °C。而在进行其他扩散温度的实验时，考虑到升温曲线不同会带来的误差，前两段升温过程的目标温度也分别采用 250 °C 和 550 °C 不变。待通 N₂ 10-20 分钟后，使快速退火炉的石英腔内充满 N₂，然后按启动按钮开始升温扩散。当快速磷扩散设备按照设定的温度完成磷扩散步骤后，会在冷却水和风扇的作用下自然降至室温，此时可关闭设备，完成发射层的制备。在此次扩散试验中分别在 700 °C，750 °C，800 °C，850 °C 各扩散了 10 s，20 s，30 s，得到不同深度的 p-n 结。

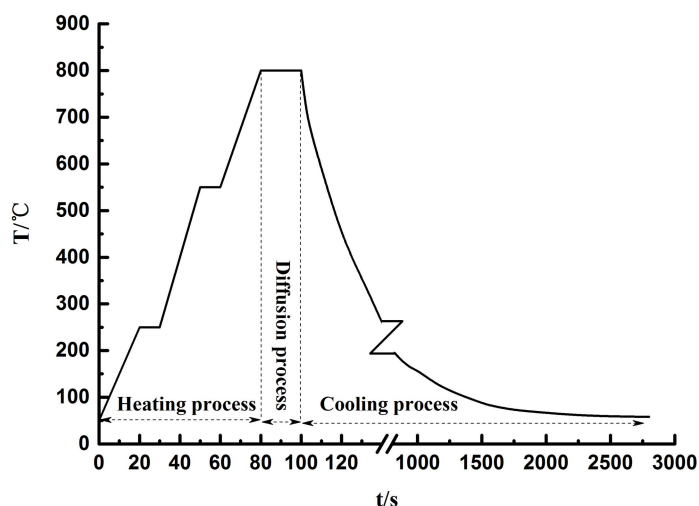


图 S1 RTD 温度曲线 (800 °C, 20 s)

Fig. S1 The temperature curve of RTD (800 °C, 20 s)

p-n 结结深的测量与计算

待硅片降至室温后，取出硅片，切成 1 cm*2 cm 大小，采用磨角染色法测量结深。以质量比为松香:石蜡=1:2 的比例将其融化并混合均匀制成粘合剂，将丙酮擦拭后的硅片抛光面向上粘在磨角器上，示意图如图 S2 所示，其倾斜角为 3°。使硅片方向朝下将磨角器置于与水混合好的金刚砂中，套好套筒并压实，以圆圈或“8”字形打磨。磨角完成后取下硅片，并用丙酮将其表面的残余粘合剂擦净。然后将样品浸入染色液中染色 20 s 左右，再用大量去离子水冲净残余染色液，使反应停止。其中染色液是将 CuSO₄·5H₂O: 48%HF: H₂O=5 g: 2 mL: 50 mL 的比例配制而成，染色温度为室温。经磨角染色后的硅片如图 S3 所示。染色完成后即可用金相显微镜观察并测量得到的染色线宽，然后通过计算得出发射层的厚度。

同时将样品进行拉曼图谱和 XRD 的测试，观察并比较各扩散温度和时间下样品的拉曼峰位，分析其非晶硅层的晶化程度。确定未晶化和晶化临界点，结合结深的测量，得到合适的扩散温度和时间。

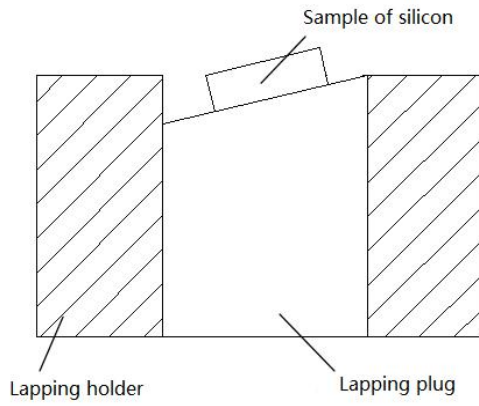


图 S2 磨角器示意图

Fig.S2 The diagram of the grinder



图 S3 磨角染色后的硅片样品

Fig.S3 The sample of silicon after staining