

肖特基二极管的制备（三）

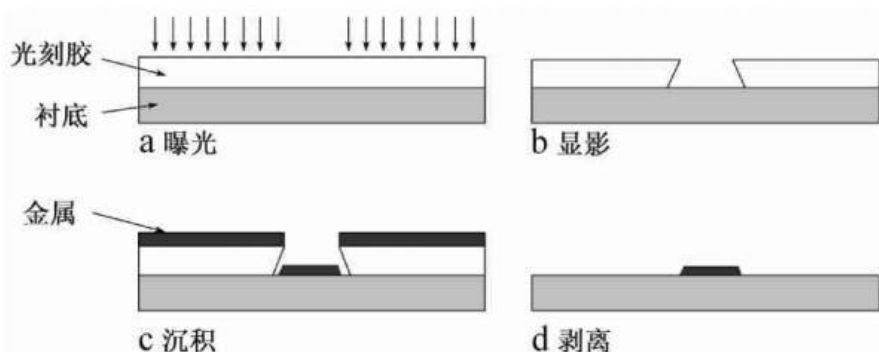
实验简介

肖特基势垒二极管（SBD）是一种利用金属与半导体接触形成的金属-半导体结原理而制作的一种二极管，这与传统 PN 结二极管相比，SBD 具有开关频率高和正向压降低等优点。通过学习 SBD 器件的制备工艺步骤，可以帮助学生了解半导体制程中硅片湿法清洗工艺（RCA 清洗）、物理气相沉积工艺（Sputter）和金属图形化工艺（光刻 & Ebeam & lift-off）。本实验讲义内容为工艺的第四、五步——电子束蒸发（Ebeam）沉积 Pt 电极和丙酮剥离（lift-off）形成图形化肖特基电极。

实验原理

1. lift-off 工艺

Lift-off 工艺是针对一些难以刻蚀的材料（如贵金属、难以腐蚀材料、腐蚀剂对其他暴露的材料没有足够的选择性）进行图形定义的工艺。剥离工艺流程是首先在衬底基板上形成一个光刻后的光刻胶层，然后在该图案层使用蒸发镀膜或溅射等工艺沉积金属。没有光刻胶的地方，金属薄膜就直接形成在衬底上，在有光刻胶的地方，金属薄膜则形成在光刻胶上。最后用化学试剂（如丙酮）去除光刻胶，此时连同需要剥离的金属薄膜一同去除，而需要留下的金属图形部分也就是衬底上的金属部分则保留下来形成最终图形，从而实现了由光刻胶图形向金属薄膜图形的转移。而刻蚀工艺正好与其相反，金属层上有光刻胶，通过干法或湿法刻蚀工艺来定义金属图案。



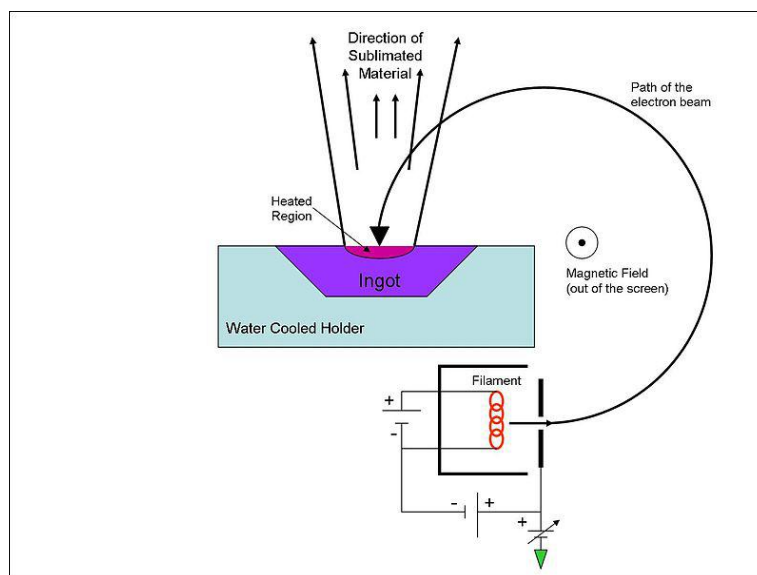
Lift off 工艺原理示意图

由上图可以看出，实现成果剥离的关键是保证在光刻胶上的薄膜与沉积到衬底上的薄膜不连续，或覆盖性差，只有这样丙酮等溶剂才能接触到薄膜下面的光刻胶层，将其溶解，实现对覆盖在光刻胶上的薄膜的剥离。为了实现沉积薄膜的不连续，需要保证两点：一是沉积薄膜厚度远小于光刻胶厚度；二是薄膜只沿垂直方向沉积。第一个条件可以通过控制胶厚和金属膜层厚度来实现，一般光刻胶厚度至少是沉积薄膜厚度的 3 倍才能保证顺利剥离。第二个条件则取决于薄膜沉积的方向性。一般选择蒸发镀膜沉积金属薄膜，蒸发镀膜垂直性好，不容易在光刻胶侧壁上沉积薄膜，更有利于剥离。为了弥补薄膜沉积方向性差造成的薄膜连续覆盖问题，可以有意将光刻胶剖面结构做成下切形状（undercut），上图就是一种典型的 undercut 结构，显然 undercut 更有利于剥离。

2. Ebeam 工艺

Ebeam 是属于蒸发镀膜的一种，即在真空条件下，将镀料加热蒸发或升华，材料的原子或分子直接在衬底上成膜的技术。一般包括电阻蒸发（又称热蒸发）、电子束蒸发、激光束蒸发和感应加热蒸发。其中电子束蒸发是利用高速电子束加热使材料气化蒸发，在基片表面凝结成膜的技术。电子束热源的能量密度可达 $10^4\text{--}10^9\text{W/cm}^2$ ，可达到 3000°C 以上，可蒸

发高熔点的金属或介电材料如钨、钼、锗、 SiO_2 、 Al_2O_3 等。电子束加热的蒸镀源有直枪型电子枪和 e 型电子枪两种(也有环行), 电子束自源发出, 用磁场线圈使电子束聚焦和偏转, 对膜料进行轰击和加热。同时可以通过控制磁控的大小和方向, 控制电子束束斑在材料表面的扫描方式, 实现对材料的均匀加热。



e 型电子枪

Ebeam 的优点是: ①能量密度大, 可蒸发任何材料, 尤其适合高熔点材料; ②薄膜纯度高; ③电子束斑直接作用于材料表面, 热效率高。但 Ebeam 的缺点是: ①电子枪结构复杂, 相比热蒸发造价高; ②化合物沉积时易分解, 化学比失调。

学习重点

1. 了解电子束蒸发设备的操作流程和注意事项;
2. 了解 lift-off 的工艺原理和流程;
3. 了解电子束蒸发沉积 Pt 薄膜以及 lift-off 实验操作;
4. 学习用光学显微镜检查电极图形;

实验仪器

电子束蒸发设备一台; 通风橱一台; 光学显微镜一台;

实验内容

1. 学习微纳中心 Lab18 电子束蒸发设备的操作流程和镀膜参数设置;
2. 练习操作微纳中心 Lab18 电子束蒸发设备沉积 50nm Pt 电极;
3. 练习在通风橱内使用丙酮进行剥离;
4. 练习通过光学显微镜检查剥离后的电极图形;

注意事项

1. 使用 Ebeam 镀膜时, 注意观察沉积速率是否稳定;
2. 使用 Ebeam 镀膜时, 注意记录镀膜参数;
3. 若使用 Ebeam 镀膜时出现设备报错, 第一时间调整工程师处理;

思考题

1. e 型电子枪有什么优点？
2. 为什么真空度越高镀膜质量越好？
3. 剥离时若出现光刻胶无法剥离的情况，可能有哪些原因？分别有哪些对应解决方法？