**2020-04-24课堂测试**

一、选择题（可能是多选）

1、刻蚀具有各向同性，各向异性的特点，以下说法正确的是：（A）

A、横向、纵向刻蚀速率一致时，是各向同性刻蚀

B、刻蚀在一个方向上发生，是各向同性刻蚀

C、湿法腐蚀绝大部分都是各向同性刻蚀

D、干法刻蚀绝大部分都是各向异性刻蚀

2、湿法去胶用到的化学品是硫酸和（B）

A、氢氟酸B、双氧水C、盐酸D、磷酸

3、如果SiO2湿法腐蚀想获得更缓的台阶角度，以下方法可行的是：（B）

A、升高烘烤温度B、降低烘烤温度C、改干+湿工艺D、使用粘附性好的光刻胶

4、SiO2干法刻蚀，刻蚀后CD的影响因素有（ABC）

A、刻蚀时间；B、聚合物的多少；C、光刻胶CD；D、气压

5、SiO2干法刻蚀是通过哪种气体进行刻蚀反应：（B）SiN干法刻蚀用什么气体（B）

A、含CL基气体B、含F基气体C、含C基气体D、O2

6、干法刻蚀前有的工序段会有烘烤，它的作用主要是：（D）

A、防止侵蚀B、防止未蚀净C、让台阶角度更陡D、防止皱胶

7、对于外延生长以下说法正确的是：（BC）

A、外延要满足晶格匹配

B、外延过程可以被监控

C、外延可以是物理过程也可以是化学反应过程

D、外延过程不受温度影响

问答题：

1，（1）什么是刻蚀，（2）简述干法和湿法刻蚀的主要工艺原理，以及他们的工艺过程？（3）什么时候用湿法刻蚀，什么时候用干法刻蚀（4）他们的优缺点是什么？

答：

1. 刻蚀是利用化学或者物理方法有选择地从硅片表面去除不需要的材料的过程。刻蚀的基本目标是在涂胶的硅片上正确地复制掩膜图形。因此，刻蚀过程中光刻胶层起着有效保护下面的膜层不受浸蚀的作用。
2. **干法刻蚀**是把硅片表面暴露于空气中产生的等离子体，等离子体通过光刻胶中开出的窗口，与硅片发生物理或化学反应，从而去掉暴露的表面材料。包括物理刻蚀和化学刻蚀，物理刻蚀是各向异性刻蚀，反应正离子轰击表面；

化学干法刻蚀是原子团和表面膜发生表面反应。在纯化学机理中，等离子体产生的反应元素(自由基和反应原子）与硅片表面的物质发生反应，为了获得高的选择比，进入反应腔的气体都要经过慎重的选择。等离子体化学刻蚀是各向同性的，因而线宽控制较差。

物理刻蚀的机理是利用等离子体产生的高能离子在强电场作用下向硅片表面加速，这些加速的离子通过溅射刻蚀作用去除未被保护的表面材料。具有很强的刻蚀方向性，从而可以获得高的各向异性刻蚀剖面。刻蚀速率高，选择比差。

**湿法刻蚀**是以液体化学试剂以化学方式去除硅片表面的材料。基本原理是酸对半导体材料的腐蚀，特点是沿不同晶向各向异性。

1. 需要各向异性时使用干法刻蚀

需要各向同性时使用湿法刻蚀

干法刻蚀是亚微米尺寸下刻蚀器件的最重要方法

湿法腐蚀一般只是用在尺寸较大的情况下（大于3微米）

1. **干法刻蚀的优点：**

1.刻蚀剖面是各向异性，具有非常好的侧壁剖面控制

2.好的CD（关键尺寸）控制

3.最小的光刻胶脱落或黏附问题

4.好的片内、片间、批次间的刻蚀均匀性

5.较低的化学制品使用和处理费用

**干法刻蚀的缺点：**

1.刻蚀速度慢

2.干法刻蚀相比于湿法刻蚀对下面的材料没有好的选择比。

**湿法刻蚀的优点：**

1.刻蚀速度快

2.操作简便

3.对设备要求低

4.易于实现大批量生产

5.刻蚀的选择性好。

**湿法刻蚀的缺点：**

1.各向同性、化学反应的各向异性较差；

2.抗蚀剂在溶液中，特别在较高温度的溶液中易受破坏而使掩蔽失效。

3.刻蚀质量不好。

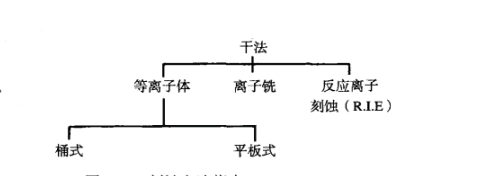
4.湿法刻蚀工艺要求冲洗和干燥步骤

5.液体化学品有毒害

6.湿法工艺有潜在的污染

7.光刻胶黏结力的失效导致钻蚀

2，目前有哪些干法刻蚀的技术方法，他们的主要差别是什么，比较这些技术的优点和局限性（缺点）



1. 离子刻蚀：利用气压为10～1000帕的特定气体（或混合气体）的辉光放电，产生能与薄膜发生离子化学反应的分子或分子基团，生成的反应产物是挥发性的。它在低气压的真空室中被抽走，从而实现刻蚀。通过选择和控制放电气体的成分，可以得到较好的刻蚀选择性和较高的刻蚀速率，但刻蚀精度不高，一般仅用于大于4～5微米线条的工艺中。若只引入堕性气体元素，如Ar2，则Ar离子与基片的撞击过程中无化学反应产生，此为IE刻蚀（离子刻蚀），或称溅射刻蚀，这是一个纯物理剥离过程。
2. 反应离子刻蚀：若附加引入强氧化性气体，例氟化物，氯化物，溴化物，或氧化物，硫化物等，在带核正离子与基片的撞击过程中，不但有物理剥离发生，氧化反应也在基片表面同时进行，即物理剥离与化学反应同时存在，此为RIE刻蚀（反应离子刻蚀）。与IE刻蚀有所不同，RIE一是减弱了刻蚀中的各向异性性质，二是加快了刻蚀速度，三是改善了表面平整度。
3. ICP刻蚀：离子体区主要由附加的通过感应耦合的磁场激发而非电极间的交变电场激发，于是等离子体密度、温度都可大大提高，此为ICP刻蚀，一旦等离子体产生，基于前述原理，对基片的刻蚀即可发生。但单采用ICP刻蚀，RIE中所具有的定向性差的问题反而益见加盛，由此导出了ICP-RIE方式。
4. ICP-RIE刻蚀：ICP-RIE的等离子体产生和等离子体对基片的刻蚀是分开由磁场和电场控制的，于是，多余的控制自由度解决了激发等离子体本身与引导等离子体刻蚀两者间有时会产生的矛盾。与RIE相比，ICP-RIE可有效地移除刻蚀废物遮盖，定向性更好，刻蚀速度更快
5. 离子铣刻蚀：低气压下惰性气体辉光放电所产生的离子加速后入射到薄膜表面，裸露的薄膜被溅射而除去。由于刻蚀是纯物理作用，各向异性程度很高，可以得到分辨率优于 1微米的线条。这种方法已在磁泡存储器、表面波器件和集成光学器件等制造中得到应用。但是，这种方法的刻蚀选择性极差，须采用专门的刻蚀终点监测技术，而且刻蚀速率也较低。

3，干法刻蚀中，硅、SiN和SiO2刻蚀分别用什么气体？分别用什么设备（RIE，ICP等）？硅深刻蚀需要用什么气体，为什么用这些气体？如何保证刻蚀剖面的垂直性和光滑性？

Si：CL2、SF6和C4F8、CF4与O2，用ICP

SiN:CF4/O2、CF4/H2、CHF3/O2、CH2F2，用RIE

SiO2：CHF3, 用RIE

硅深刻蚀：SF6和C4F8，用SF6进行刻蚀,用C4F8生成聚合物形成侧壁保护,刻蚀与保护交替进行,形成各向异性,直到达到所要求的刻蚀深度。由于垂直方向的刻蚀速度远大于对侧壁的刻蚀速度,因此可以得到很好的各向异性刻蚀结果。

选择合适的反应室气压和刻蚀与保护气体的流量以及循环周期可以保证刻蚀剖面的垂直性和光滑性。

4，解释下列概念：1、气体分子的平均自由程；2、饱和蒸气压；3、凝结系数；4、物理气相沉积法；5、溅射；6、怎样表示真空程度，为什么说真空是薄膜制备的基础？

1. 气体分子平均自由程，物理学名词，指气体分子的平均自由程。自由程是指一个分子与其它分子相继两次碰撞之间，经过的直线路程。对个别分子而言，自由程时长时短，但大量分子的自由程具有确定的统计规律。大量分子自由程的平均值称为平均自由程。
2. 饱和蒸气压是在密闭条件中，在一定温度下，与固体或液体处于相平衡的蒸气所具有的压强称为饱和蒸气压。同一物质在不同温度下有不同的饱和蒸气压，并随着温度的升高而增大。纯溶剂的饱和蒸气压大于溶液的饱和蒸气压；对于同一物质，固态的饱和蒸气压小于液态的饱和蒸气压。
3. 凝结系数当蒸发的气相原子入射到基体表面上，除了被弹性反射和吸附后再蒸发的原子之外，完全被基体表面所凝结的气相原子数与入射到基体表面上总气相原子数之比称为凝结系数。
4. 物理气相沉积法是用物理的方法(如蒸发、溅射等)使镀膜材料气化，在基体表面沉积成膜的方法。除传统的真空蒸发和溅射沉积技术外，还包括各种离子束沉积，离子镀和离子束辅助沉积技术。其沉积类型包括:真空蒸镀、溅射镀、离子镀等。物理气相沉积技术虽然五花八门，但都必须实现气相沉积三个环节，即镀料(靶材)气化一气相输运一沉积成膜。
5. 溅射是利用高能粒子（通常是由电场加速的正离子如Ar+）撞击固体表面，使表面离子（原子或分子）逸出的现象
6. 表示真空程度在给定的空间内，气体的压强低于一个大气压的状态，称为真空。用真空度、压强、气体分子密度表示真空程度；单位体积中气体分子数；气体分子的平均自由程；形成一个分子层所需的时间等表示真空程度。
7. **真空是薄膜制备的基础**，因为物理气相淀积中的真空蒸发、溅射镀膜和离子镀等基本的薄膜制备技术需要在真空环境下进行、高纯度薄膜的淀积必须在高真空度环境中进行，否则不能形成均匀淀积层。

5，什么是PVD及其基本步骤？总结PVD方法中一些共同的特点？真空蒸发系统应包括那些组成部分？

PVD是物理气相淀积，物理气相淀积是指在真空条件下，利用某种物理方法并通过气相过程实现物质的转移，并在材料表面沉积一层具有某些特殊性能的薄膜的技术。PVD基本方法：真空蒸发、溅射，离子镀。

基本步骤：

1. 真空蒸发(Evaporation)早期制备金属薄膜工艺，一般用在分立器件或较低集成度电路的金属淀积上；目前广泛应用于科研和Ⅲ-Ⅴ族化合物半导体工艺中；
2. 溅射(Sputtering)70年代后期，取代蒸发作为主要的PVD方法，以获得更好的台阶覆盖、间隙填充和淀积速度

共同的特点：

(1)需要使用固态的或者熔融态的物质作为沉积过程的源物质

(2)源物质经过物理过程而进入气相

(3)需要相对较低的气体压力环境

(4)在气相中及在衬底表面并不发生化学反应

真空蒸发系统应包括的组成部分：

1.真空系统：为蒸发过程提供真空环境；包括真空反应室(是一钟形的石英或不锈钢密封容器)和抽真空系统；

2.蒸发系统：放置蒸发源的装置，以及加热和测温装置；

3.基板及加热系统：包括放置硅片的基座、衬底加热装置和测温装置。

6，PVD的基本方法有哪些，每种方法都有哪些主要实现方式？磁控溅射的原理和过程是什么？

PVD的基本方法：

1. 真空蒸发(Evaporation)早期制备金属薄膜工艺，一般用在分立器件或较低集成度电路的金属淀积上；目前广泛应用于科研和Ⅲ-Ⅴ族化合物半导体工艺中；

主要实现方式：

\*电阻加热(灯丝蒸发)

\*电子束加热

\*激光加热

\*高频感应加热

2.溅射(Sputtering)70年代后期，取代蒸发作为主要的PVD方法，以获得更好的台阶覆盖、间隙填充和淀积速度

主要实现方式：

直流溅射

射频溅射

反应溅射

磁控溅射

准直溅射

磁控溅射的原理和过程：

原理：在靶的周围和后面装置了磁体以俘获并限制电子在靶前面。磁场在靶材表面与电场垂直，电子沿电场方向加速、绕磁场方向螺旋前进，提高了电子碰撞电离效率。

✓溅射靶：阴极

✓衬底：阳极（接地）

✓特点：目前应用最广泛的一种溅射方法，溅射速率高、薄膜的质量好。可使靶温降低，有利于铝和铝合金的溅射

7、简述CVD的反应原理、基本步骤、特点、并分析对比与PVD工艺相比的缺点？

CVD指指使一种或数种物质的气体，以某种方式激活后，在衬底发生化学反应，并淀积出所需固体薄膜的生长技术。即把含有构成薄膜元素的反应剂蒸气，以合理的流速引入反应室，在衬底表面发生化学反应并形成薄膜的一种淀积方法。CVD的反应原理：



**CVD的基本步骤：**

（1）气体传输：反应物气体从反应腔入口区域流动到硅片表面的淀积区域；

（2）膜先驱物形成：气相反应导致膜先驱物及副产物的形成；

（3）膜先驱物分子气相扩散：大量的薄膜先驱物的分子以气体扩散的形式由主气流越过边界层扩散到硅片表面;

（4）膜先驱物吸附：膜先驱物分子被吸附在硅片表面，成为吸附原子或分子;

（5）膜先驱物在晶圆表面的扩散：先驱物吸附原子或分子向膜生长区域的表面扩散;

（6）表面反应：扩散到生长区中的吸附原子或分子在衬底表面发生化学反应，生成薄膜的基本元素并淀积成薄膜，同时导致副产物的生成；

（7）副产物解吸附：反应后的气相副产物和未反应的反应剂被从硅表面上解吸附，离开衬底表面，扩散回边界层；

（8）副产物移除：反应的副产物和未反应的反应剂从淀积区域随气流流动到反应腔出口并排出。

**特点及优缺点：**

(1)既可以制备金属薄膜、非金属薄膜，又可按要求制备多成分的合金薄膜

(2) 成膜速度可以很快，每分钟可达几个微米甚至数百微米

(3) CVD反应在常压或低真空进行，镀膜的绕射性好，对于形状复杂的表面或工件的深孔、细孔都能均匀镀覆，在这方面比PVD优越得多

(4) 能得到纯度高、致密性好、残余应力小、结晶良好的薄膜镀层。由于反应气体、反应产物和基体的相互扩散，可以得到附着力好的膜层，这对表面钝化、抗蚀及耐磨等表面 增强膜是很重要的

(5) 由于薄膜生长的温度比膜材料的熔点低得多，由此可以得到纯度高、结晶完全的膜层，这是有些半导体膜层所必须的

(6) CVD方法可获得平滑的沉积表面

(7) 辐射损伤低。这是制造MOS半导体器件等不可缺少的条件

CVD与对比与PVD工艺相比

化学气相沉积的主要缺点是反应温度太高，一般要1000℃左右，许多基体材料都耐受不住CVD的高温，因此限制了它的应用范围传统的金属化工艺是采用物理气相淀积法，但随着半导体产业的进步，目前化学气相淀积已成为金属薄膜淀积的常用技术。

8、常见的几种CVD技术分类，工艺原理、工艺特性、应用和特点

**常见的几种CVD技术分类**

根据淀积温度分：

◼低温CVD (LT~)：200 ~ 500℃；

◼中温CVD (MT~)：500 ~ 1000℃

◼高温CVD (HT~)：1000 ~ 1300℃

根据反应腔中的压力分：

◼常压CVD (APCVD)：一个大气压，101KPa；

◼低压CVD (LPCVD)：100Pa左右；

根据反应器是否加热分为：

◼热壁反应

◼冷壁反应

按反应器形状分： ◼立式（又分为钟罩式和桶式）◼卧式

◼常压化学气相淀积APCVD

定义：在1个大气压下进行化学气相淀积；

反应机制（淀积机理）：质量输运控制(过程)；

主要应用：早期主要用于厚介质层和硅外延层淀积，如SiO2、Si3N4；O3-TEOSAPCVD广泛用于STI和PMD(Pre-metaldielectric）。

◼低压化学气相淀积LPCVD

定义：系统工作在较低的压强下(一般在100Pa以下)进行化学气相淀积的方法；

反应机制：表面反应控制(过程)；反应器内的气流条件并不重要，允许反应腔设计优化以得到更高的产量；只要严格控制温度，可得到淀积均匀的膜。

主要应用：广泛用于无定形钝化膜及多晶硅薄膜的淀积，如PolySi、SiO2、Si3N4、PSG、BPSG及W等。

◼等离子化学气相淀积PECVD

定义：PECVD是在低压气体上施加一个高频电场，使气体电离，产生等离子体。等离子体中的电子和离子，在电场作用下，不断旋转和运动，获得能量而被加速。这些高能粒子与反应气体分子、原子不断发生碰撞，使反应气体电离或被激活成性质活泼的活性基团，高化学活性的反应物可使成膜反应在较低温度下进行。

原理：等离子体中的反应物是化学活性较高的离子或自由基，而且衬底表面受到离子的撞击也会使得化学活性提高。这两项因素都可促进基板表面的化学反应速率，因此PECVD在较低的温度即可沉积薄膜。

9、什么是外延技术，什么是异质外延和同质外延，分别举出三种代表性结构？在理解薄膜生长过程的基础上，总结MBE、MOCVD外延设备在沉积薄膜的时候特点，从设备构造、生长温度、沉积过程等等角度分析

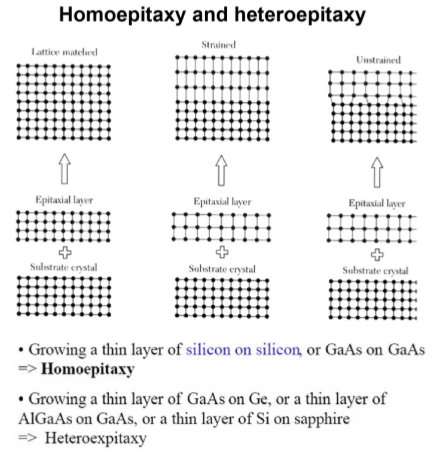
外延就是在单晶衬底上淀积一层薄的单晶层，新淀积的这层称为外延层。外延为器件设计者在优化器件性能方面提供了很大的灵活性，例如可以控制外延层厚度、掺杂浓度、轮廓，而这些因素是与硅片衬底无关的。外延层还可以减少CMOS器件的闩锁效应。IC制造中最普通的外延反应是高温CVD系统。

如果外延生长膜和衬底材料相同（例如硅衬底上生长硅），这样的膜生长称为同质外延。膜材料与衬底材料不一致的情况（例如硅衬底上生长氧化铝），称为异质外延。

外延反应可用的气体源包括SiCl4/SiH2Cl2/SiHCl3

淀积温度为：1050～1250℃

同质外延和异质外延



MBE特点：外延设备上有多个喷射口，可以生长多层、杂质分布.复杂的外延层，外延层最多层数可达104层。

\*在整个外延过程中全程监控，因此外延层质量高。

\*分子束外延多用于外延结构复杂、外延层薄的外延层，异质外延一般也采用分子束外延。

\*生长慢（既是优点也是缺点），通常用于过高精度或过薄的外延层。

MOCVD：

1、能在较低的温度下制备高纯度的薄膜材料，减少了材料的热缺陷和本征杂质含量；

2、能达到原子级精度控制薄膜的厚度；

3、采用质量流量计易于控制化合物的组分和掺杂量；

4、通过气源的快速无死区切换，可灵活改变反应物的种类或比例，达到薄膜生长界面成份突变。实现界面陡峭；

5、能大面积、均匀、高重复性地完成薄膜生长。适用于工业化生产；

10、详细说明淀积硅，二氧化硅，氮化硅，金属铝，氮化镓的常用手段和工具，每种材料至少举出两种不同的淀积方法。

（1）多晶硅常用LPCVD方法淀积，通过热分解硅烷 利在硅片上生长多晶硅薄膜。

外延硅的淀积方法：气相外延 (VPE)：最常用的硅外延方法, 高温 CVD； ¬分子束外延 (MBE)：淀积GaAs异质外延层的 主要方法，也可淀积外延硅；高真空条件，中温； ¬金属有机CVD (MOCVD)：淀积化合物半导体 外延层，如低温下用有机金属源淀积GaAs； 通常不用作硅外延；VPE的一种。

（2）低温下氧化硅烷淀积SiO2：反应气体：硅烷(SiH4)和氧气(O2)； 淀积温度：400º~450º C的低温； 工艺： 水平热传递APCVD； 反应剂分布式输入LPCVD

低温等离子体淀积SiO2：利用硅烷和氧化氮的混合气体在等离子状态下进行反应，淀积二氧化硅。 反应气体：氩气稀释的硅烷(SiH4)和 ； 淀积温度：200º~400º C的低温； 工艺： PECVD；

高温淀积SiO2：反应气体：二氯二氢硅(SiH2Cl2)或氯化硅(SiCl2)和 二氧化氮(NO2)； 淀积温度：900º C的高温； 反应系统：LPCVD；

TEOS—臭氧法淀积SiO2：APCVD的一种常用用途是用于TEOS与臭氧反应 淀积SiO2。 ； 反应气体：TEOS和臭氧(O3)； N2输送 ； 淀积温度：~400º C的低温； ； 反应系统：APCVD；

（3）LPCVD淀积Si3N4：反应气体：二氯二氢硅和氨气(NH3)； 反应条件：低压，淀积温度700º~800º C ； 反应系统：LPCVD系统；

PECVD淀积Si3N4，反应气体：硅烷(SiH4)，氨气(NH3)或氮气(N2)；反应条件： 氩气等离子体状态下，低温200º~400º C ； 反应系统：PECVD系统；

（4）电阻加热(灯丝蒸发)是最常用的真空蒸发淀积法，以电阻(灯丝、蒸 发器)通过发热的原理来加热蒸镀原料，最高蒸发温度达1700℃；常用于淀积铝,金,铬等材料。

铝淀积的方法还有溅射法，溅射源置于靶极，受氩离子轰击后发生溅射进行淀积。