

# 上“芯”啦！ 揭秘刻蚀微世界

原创 泛林集团 泛林集团 2024年07月11日 12:00 上海

6人听过



## 01 刻蚀是什么？

现代硅芯片的电路图形较为复杂，可通过数百万甚至数十亿个晶体管（电子设备的基本构成要素，可切换电信号和电源）以及其他类型的器件导电，有些晶体管只有几十个硅原子的宽度。

为创建这些电路图形，需要精确地从晶圆表面去除硅和其他材料，从而形成路径。这个工艺不断重复，创建出多层电路。

◆ **刻蚀是一种制造工艺，通过从晶圆表面去除材料，形成具有特定深度和形状的结构。**

## 02 刻蚀类别



半导体制造中，主要有两种刻蚀：

### + ○ 湿法刻蚀

湿法刻蚀用含有刻蚀化学物质的溶液刻蚀晶圆，  
**依靠化学反应去除晶圆上的材料，且通常具有各向同性的特点**，即垂直方向和水平方向的刻蚀速率相同。

- ▶ 湿法刻蚀具有高选择比，但控制刻蚀后结构最终形状的方法有限。同时，湿法刻蚀通常需要干燥步骤，这增加了图形坍塌的风险。

### + ○ 干法刻蚀

先进工艺技术更倾向于采用干法刻蚀在晶圆上形成理想的图形和形状。**干法刻蚀采用气体，且通常在真空环境下进行**，刻蚀副产物的挥发性较高，可以被抽走。

- ▶ 等离子体常用于干法刻蚀，以通过解离气态刻蚀剂生成化学活性更高的物质（自由基），并通过离子化气体产生离子。离子轰击晶圆表面，并呈现出各向异性的特性，这一特点对形成FinFET（鳍式场效应晶体管）和GAA（环绕栅极器件）非常重要。

低温刻蚀工艺最早开发于 20 世纪 80 年代，目

前正作为干法刻蚀方法之一再度兴起。这一工艺在较低的晶圆温度下进行(通常低于 0°C)，其温度控制单元的运行温度则更低。**低温刻蚀有助于在控制横向刻蚀速率的情况下，加强活性物质吸附。**

- ▶ 在部分高深宽比刻蚀应用中，低温刻蚀与新型刻蚀化学物质和先进射频脉冲相结合，刻蚀速率更快，方向性控制更容易。

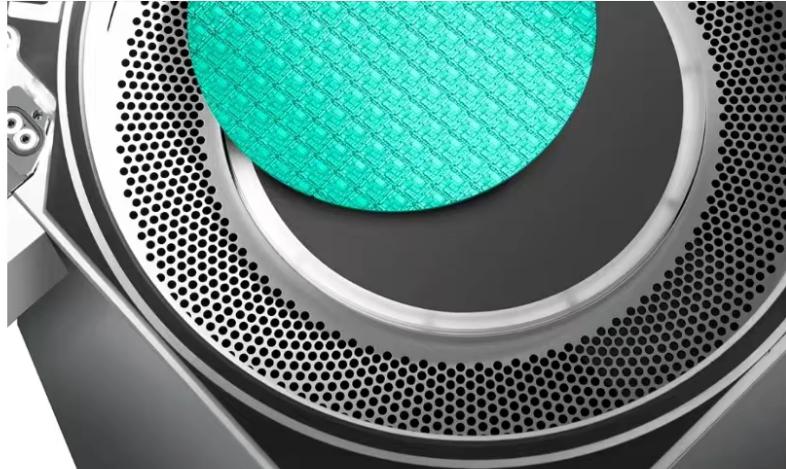
### 03 刻蚀设备<sup>⑨</sup>类型

了解了刻蚀的基本知识，接下来就是执行这些任务的设备。传统上，**刻蚀设备分为导体刻蚀设备和介电质刻蚀设备**。随着FinFET和GAA等新技术转折点的出现，**选择性刻蚀**正作为第三类刻蚀设备逐渐兴起。

#### + ○ 导体刻蚀：

导体刻蚀通常刻蚀硅、锗、硅锗、金属、碳、以及二氧化硅/氮化硅等薄介电层。**这些设备使用电感耦合等离子体，且通常在高等离子体密度工艺状态下运行。**





### + ○ 介电质<sup>Q</sup>刻蚀:

介电质刻蚀通常刻蚀厚介电薄膜(二氧化硅和氮化硅)，且对其他材料具有高选择比。这些设备使用电容耦合等离子体，且通常在较低的等离子体密度工艺状态下利用高能离子运行。

### + ○ 选择性刻蚀:

选择性刻蚀可在不改性或不损坏邻近材料的情况下，精确地去除晶圆表面的材料。是否采用等离子体取决于选择比和刻蚀速率需求。

## 04 刻蚀机制

### 刻蚀通过两种基本机制去除材料:

#### + ○ 物理机制:

具有足够能量的离子将原子从材料中移除，这一工艺也被称为溅射。溅射原子可能不易挥发，且可能沉积在表面的其余地方(如刻蚀侧壁)。

#### + ○ 化学机制:

刻蚀剂(自由基)物质与晶圆表面原子形成化学

**键<sup>9</sup>，并以气体形式离开表面。**例如，四个氟原子可与一个硅原子成键，形成四氟化硅 (SiF<sub>4</sub>) 气体，并离开晶圆表面。不过，需要反应活化能才能发生化学反应，它通常通过热量来提供。**低温刻蚀可抑制化学刻蚀，从而获得更好的刻蚀侧壁轮廓。**

### 更先进的刻蚀机制：

#### + ○ 离子中性协同：

这是由泛林集团前任首席技术官 Rick Gottscho 创造的术语。在等离子体刻蚀中，物理刻蚀和化学刻蚀相辅相成，同时进行。离子提供反应活化能，帮助化学反应发生，而化学成分则确保挥发性刻蚀副产物形成并被抽走。与单独的物理或化学刻蚀相比，**离子中性协同下的等离子体刻蚀速度更快，且能更好地控制选择比和刻蚀侧壁轮廓。**

#### + ○ 原子层刻蚀：

在晶圆最顶部的原子层发生自限化学反应（吸附），材料顶层改性。随后，用离子或另一刻蚀剂激活改性层，形成挥发性副产物，并将其从表面去除（解吸）并清除。吸附和解吸步骤均可设计为使用或不使用等离子体。

### 术语词汇表



1. **吸附**是指气体或液体中的分子或原子吸附到固体材料表面的工艺。
2. **深宽比**是指结构深度和宽度的比。高深宽比结构通常非常高，且顶部开口很小。
3. **电容耦合等离子体**是一种在真空腔室中的两个平行电极之间

产生的等离子体。

4. 方向性是指某物在某个具体方向呈现、具备或流动的特性或特征。

5. 解离是指将分子键分解成更小、活性更高的成分，也称为自由基。

6. 刻蚀副产物是刻蚀工艺中形成的次级产物，如果具有挥发性可被抽出。

7. 刻蚀速率表示刻蚀工艺中去除材料的速度。

8. FinFET(鳍式场效应晶体管)是一种非平面或 3D 晶体管，用于现代处理器设计。

9. 电感耦合等离子体是一种等离子体源，其能量由电磁感应产生的电流提供。

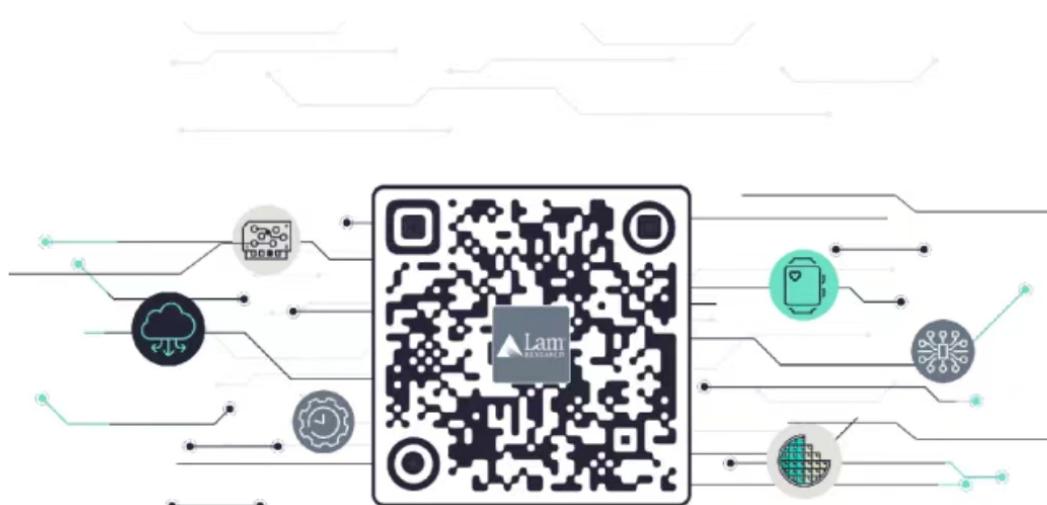
10. 图形坍塌是指导致光刻胶层弯曲或机械不稳定的力，会使图形化的特征无法用于后续的图形转移步骤。

11. 自由基是一种高活性化学实体，参与等离子刻蚀工艺中的化学反应，从而帮助材料去除和表面改性。

12. 射频脉冲是指以脉冲而非连续的方式调制射频能量的技术。

13. 选择比是指刻蚀工艺中两种材料之间刻蚀速率的差异。

14. 挥发性是指物质在标称温度下的蒸发趋势。



推 动 定 义 下 一 代 半 导 体 技 术 的 突 破

你也 在看 吗？