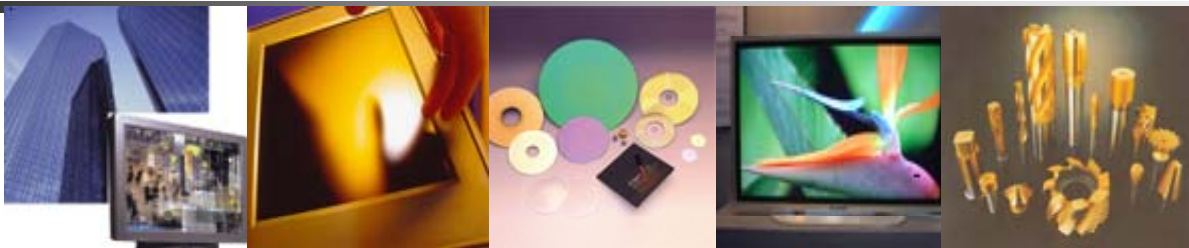


# 真空镀膜技术





# 真空

- “真空”这一术语译自拉丁文Vacuo，其意义是虚无。其实真空应理解为气体较稀薄的空间。在指定的空间内，低于一个大气压力的气体状态统称为真空。真空状态下气体稀薄程度称为真空度，通常用压力值表示。
- 真空技术是基本实验技术之一。自从1643年托里拆利做了著名的有关大气压力实验，发现了真空现象以后，真空技术迅速发展。现在，真空技术已经成为一门独立的前沿学科。它的基本内容包括：真空物理、真空的获得、真空的测量和检漏、真空系统的设计和计算等。随着表面科学、空间科学高能粒子加速器、微电子学、薄膜技术、冶金工业以及材料学等尖端科技的发展，真空技术在近代尖端科学技术中的地位越来越重要。



---

## 真空量度单位

- 1标准大气压=760mmHg=760(Torr)
- 1标准大气压= $1.013 \times 10^5$  Pa
- 1Torr=133.3Pa



## 真空区域的划分

目前尚无统一规定，常见的划分为：

粗真空  $10^5 - 10^3 \text{ pa}(760 - 10 \text{ Torr})$

低真空  $10^3 - 10^{-1} \text{ pa}(10 - 10^{-3} \text{ Torr})$

高真空  $10^{-1} - 10^{-6} \text{ pa}(10^{-3} - 10^{-8} \text{ Torr})$

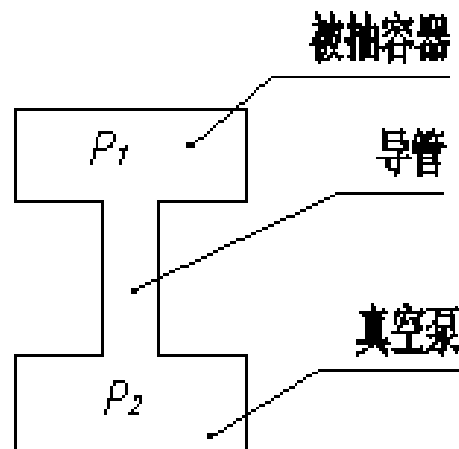
超高真空  $10^{-6} - 10^{-10} \text{ pa}(10^{-8} - 10^{-12} \text{ Torr})$

极高真空  $< 10^{-10} \text{ pa}(< 10^{-12} \text{ Torr})$

# 真空获得—真空泵

- 1654年，德国物理学家葛利克发明了抽气泵，做了著名的马德堡半球试验。

原理：当泵工作后，形成压差， $p_1 > p_2$ ，实现了抽气。





## 真空泵的分类

---

**气体传输泵:** 是一种能将气体不断地吸入并排出泵外以达到抽气目的的真空泵，例如旋片机械泵、油扩散泵、涡轮分子泵。

**气体捕集泵:** 是一种使气体分子短期或永久吸附、凝结在泵内表面的真空泵，例如分子筛吸附泵、钛升华泵、溅射离子泵、低温泵和吸气剂泵。



## 真空镀膜技术及其特点

---

- 在真空中把金属、合金或化合物进行蒸发（或溅射），使其沉积在被涂覆的物体（基体）上的方法称为真空镀膜。
- 在材料表面上，镀上一层薄膜就能使该种材料具有许多新的物理和化学性能。
- 过去的镀膜多采用电镀法和化学镀法，存在厚度难以控制，膜层均匀性差，附着力差，并造成环境污染等问题。



## 真空镀膜技术的应用

---

- 平板光学和平板显示
- 建筑玻璃
- 半导体制造
- 数据存储
- 包装工业
- 装饰镀和工具镀
- 太阳能电池



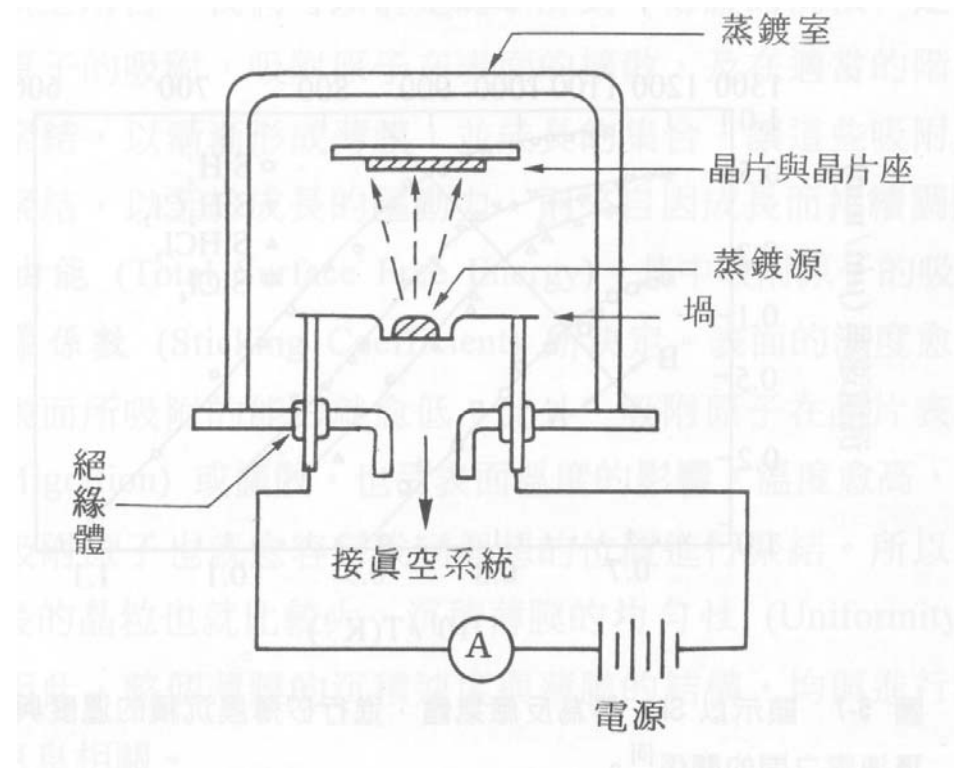


# 真空镀膜技术

---

- **蒸发镀**：在真空中把制作薄膜的材料加热蒸发，使其淀积在适当的表面上。包括电阻式，电子束式蒸发等。
- **磁控溅射**：当高能粒子(电场加速的正离子)打在固体表面时，与表面的原子、分子交换能量，从而使这些原子、分子飞溅出来。包括直流溅射，反应溅射等
- **离子镀**：兼有蒸发镀和溅射镀的特点。
- 通常把以上几种方法称为物理气相沉积（Physical Vapor Deposition）技术，简称**PVD**技术。

# 蒸发镀系统



## 电阻式蒸发源

蒸发源的形状如下图，大致有螺旋式、篮式、发叉式和浅舟式等。

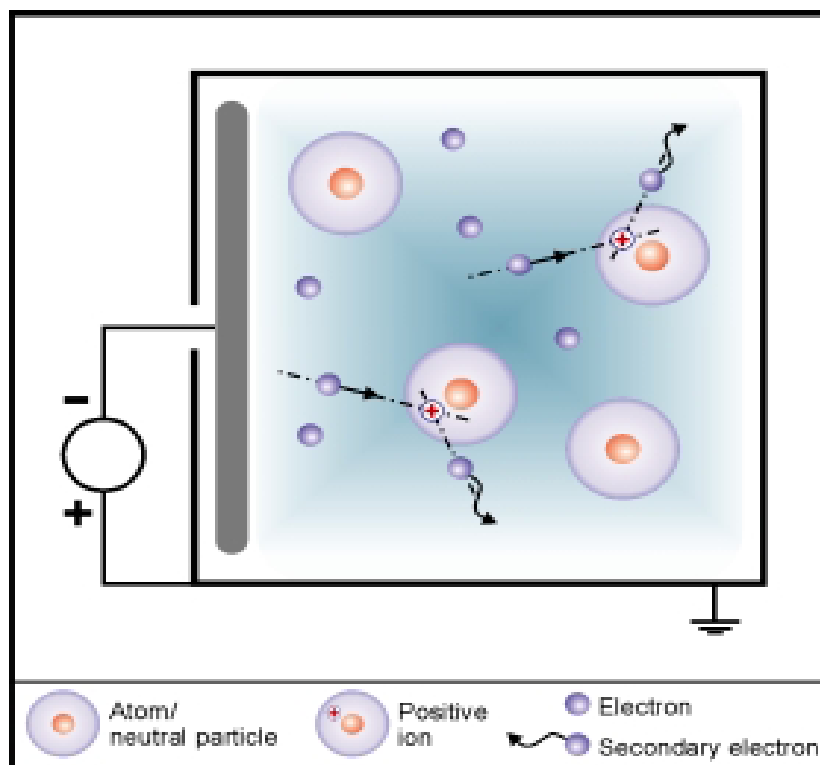


## 电子束式蒸发源

利用电子束加热使膜材汽化蒸发后凝结在基片表面成膜，  
图示为常见的电子束枪。



# 什么是等离子体？



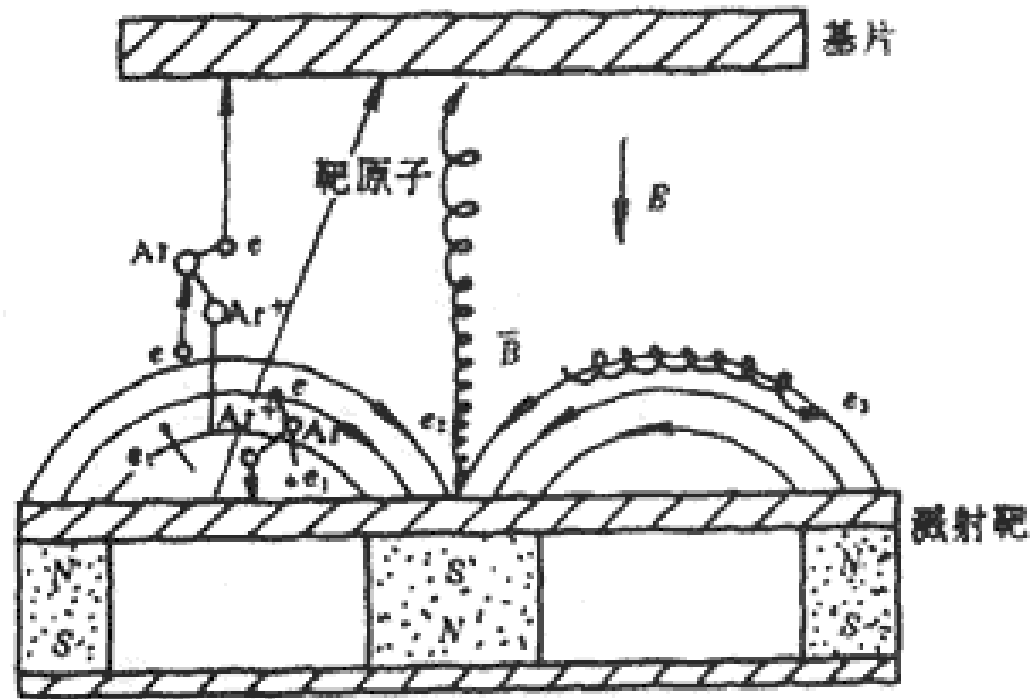


# 磁控溅射原理

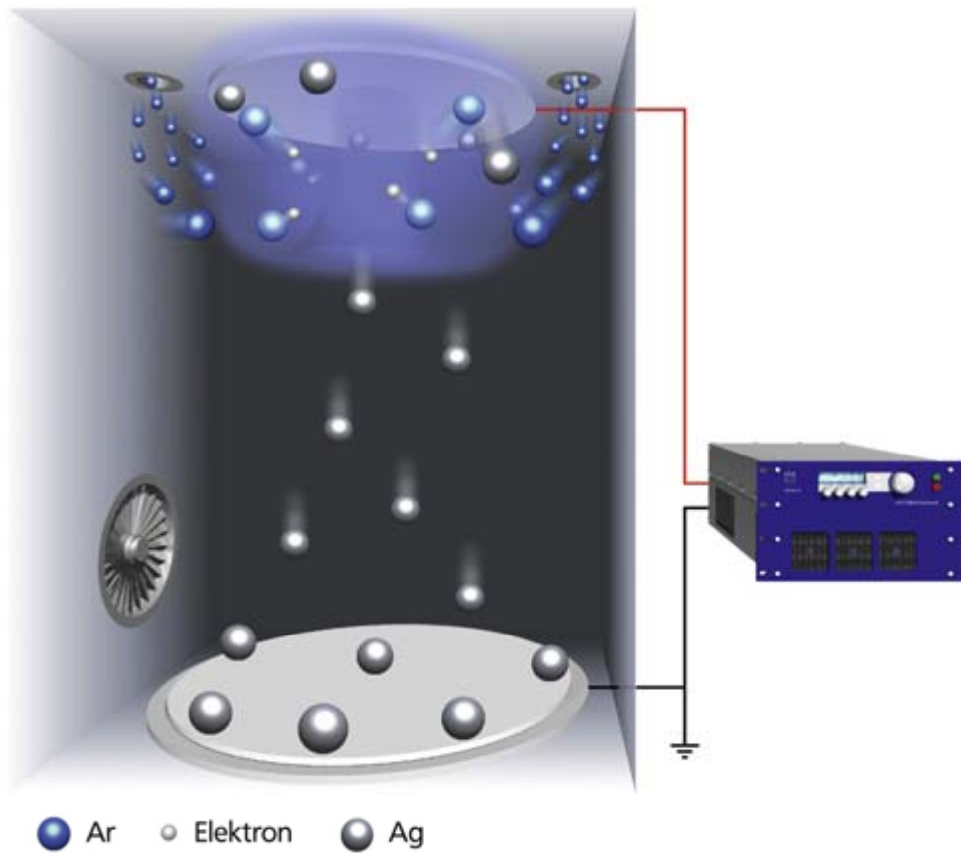
---

- 磁控溅射就是以磁场束缚和延长电子的运动路径，改变电子的运动方向，提高工作气体的电离率和有效利用电子的能量。
- 电子在加速的过程中受到磁场洛伦兹力的作用，被束缚在靠近靶面的等离子体区域内。
- 电子的运动的轨迹将是沿电场方向加速，同时绕磁场方向螺旋前进的复杂曲线。即磁场的存在将延长电子在等离子体中的运动轨迹，提高了它参与原子碰撞和电离过程的几率，因而在同样的电流和气压下可以显著地提高溅射的效率和沉积的速率。

# 磁控溅射原理图



# 磁控溅射模拟图





# 磁控溅射镀膜机



# 在线式磁控溅射镀膜机





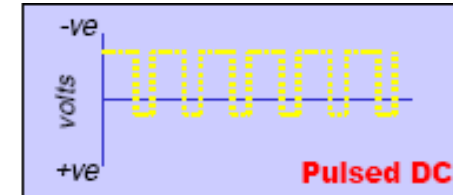
相对蒸发镀，磁控溅射有如下的特点：

---

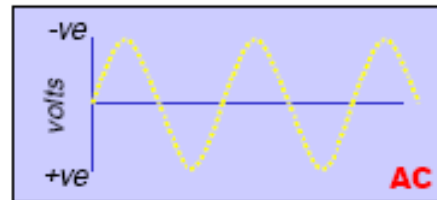
- 膜厚可控性和重复性好
- 薄膜与基片的附着力强
- 可以制备绝大多数材料的薄膜，包括合金，化合物等
- 膜层纯度高，致密。
- 沉积速率低，设备也更复杂

# 不同的溅射方式

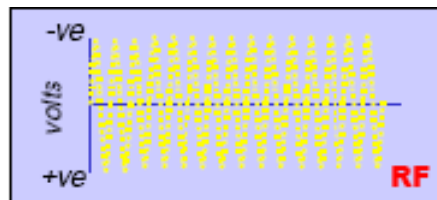
■ 直流溅射:



■ 中频溅射:



■ 射频溅射:



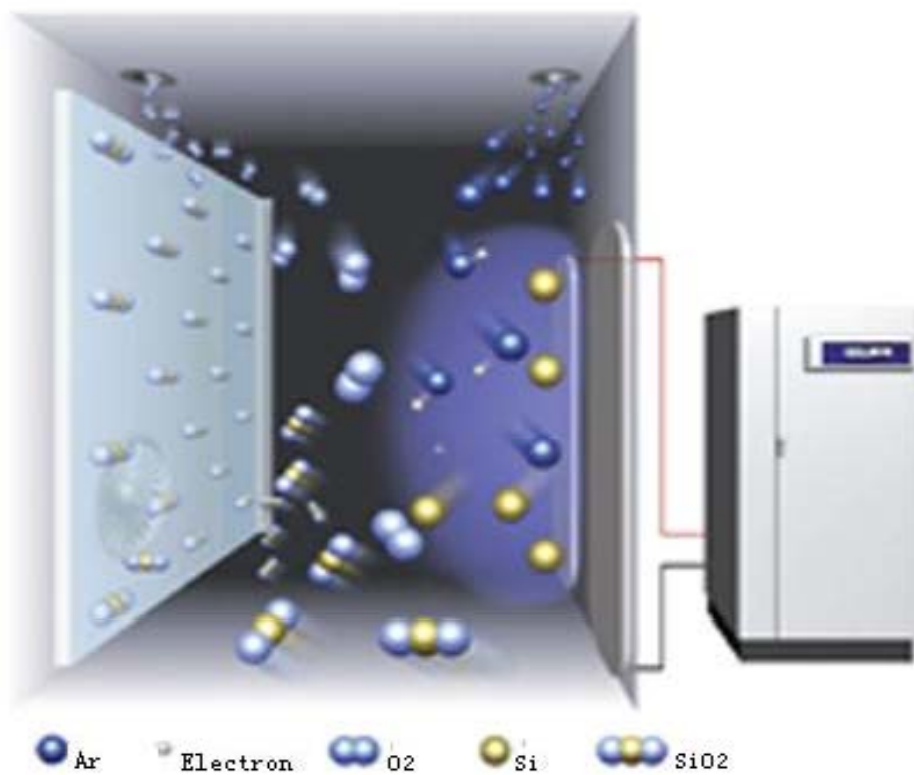


## 反应溅射

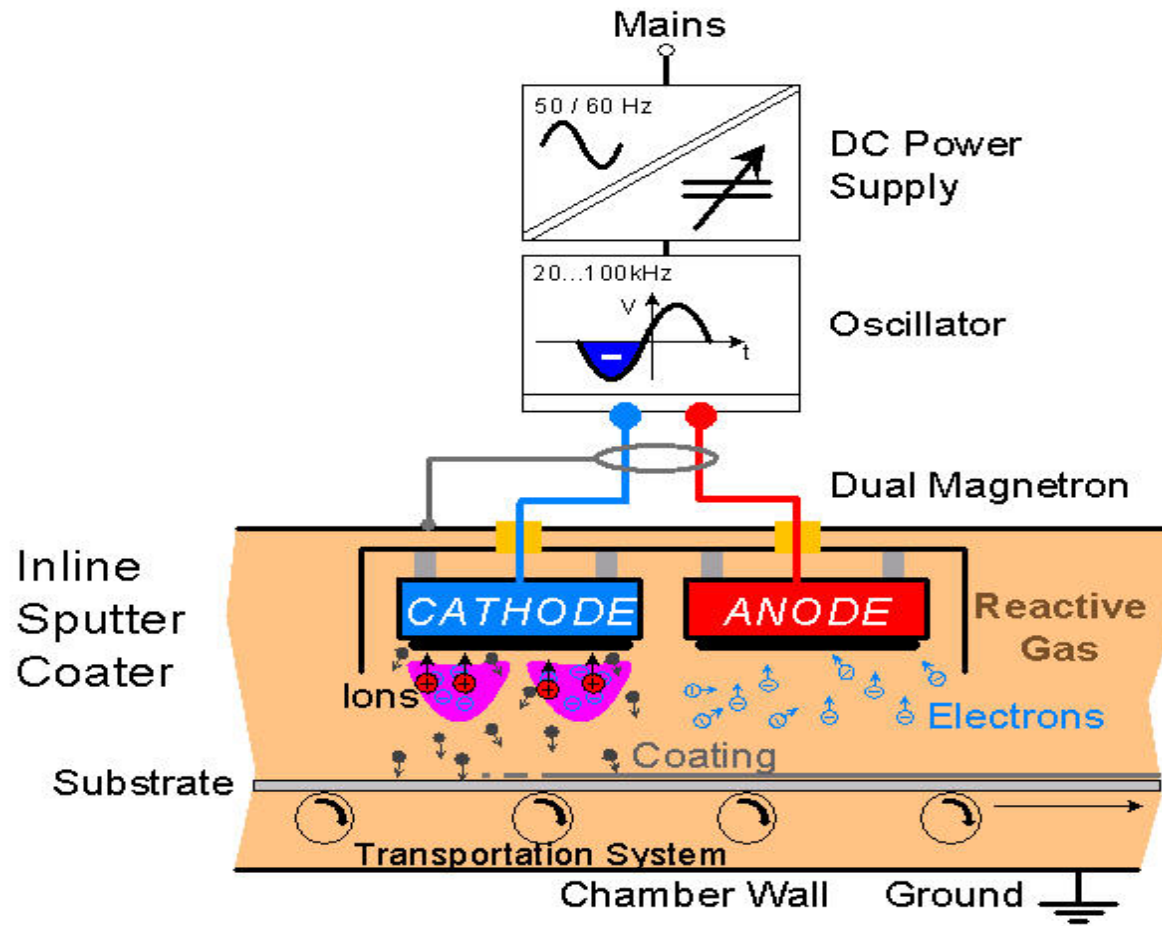
---

- 在溅射镀膜时，有意识地将某种反应性气体如氮气，氧气等引入溅射室并达到一定分压，即可改变或控制沉积特性，从而获得不同于靶材的新物质薄膜，如各种金属氧化物，氮化物，碳化物及绝缘介质等薄膜。
- 直流反应溅射存在靶中毒，阳极消失问题，上个世纪80年代出现的直流脉冲或中频孪生溅射，使反应溅射可以大规模的工业应用。

# 反应溅射模拟图



# 中频孪生反应溅射





# 反应溅射的特点

---

- 反应磁控溅射所用的靶材料(单元素靶或多元素靶) 和反应气体(氧、氮、碳氢化合物等) 通常很容易获得很高的纯度, 因而有利于制备高纯度的化合物薄膜。
- 反应磁控溅射中调节沉积工艺参数, 可以制备化学配比或非化学配比的化合物薄膜, 从而达到通过调节薄膜的组成来调控薄膜特性的目的。
- 反应磁控溅射沉积过程中基板温度一般不会有很大的升高, 而且成膜过程通常也并不要求对基板进行很高温度的加热, 因此对基板材料的限制较少。
- 反应磁控溅射适于制备大面积均匀薄膜, 并能实现镀膜的大规模工业化生产。

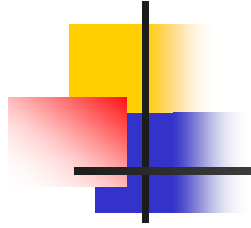




# 反应溅射的应用

---

- 现代工业的发展需要应用到越来越多的化合物薄膜。
- 如光学工业中使用的 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 等硬质膜。
- 电子工业中使用的ITO透明导电膜,  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等钝化膜、隔离膜、绝缘膜。
- 建筑玻璃上使用的 $\text{ZnO}$ 、 $\text{SnO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 等介质膜。



谢谢!