

物理气相沉积 原理及技术

P V D

(Physical Vapor Deposition)

什麼是等離子體

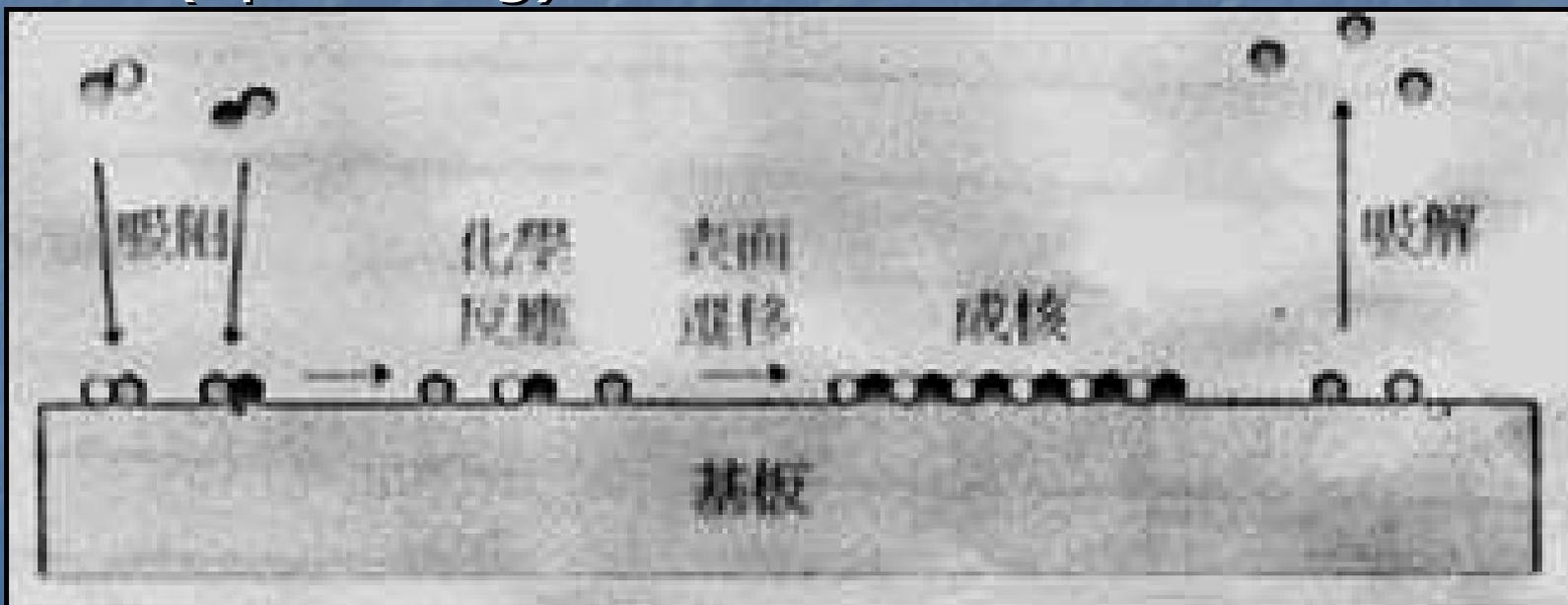
- 藉由外加的電場能量來促使氣體內的電子獲得能量並加速撞擊不帶電中性粒子，由於不帶電中性粒子受加速電子的撞擊後會產生離子與另一帶能量的加速電子，這些被釋出的電子，在經由電場加速與其他中性粒子碰撞。如此反覆不斷，進而使氣體產生崩潰效應(gas breakdown)，形成等離子狀態。

等離子體性質

- 1. 整體來說，等離子體的內部是呈電中性的狀態，也就是帶負電粒子的密度與帶正電粒子的密度是相同的。
- 2. 因為等離子體中正、負離子的個數幾乎是一比一，因此電漿呈現電中性。
- 3. 等離子體是由一群帶電粒子所組成，所以當有一部分受到外力作用時，遠處部份的電漿，乃至整群的電漿粒子都會受到影響，這叫做「等離子體的群體效應」。
- 4. 具有良好的導電性和導熱性。

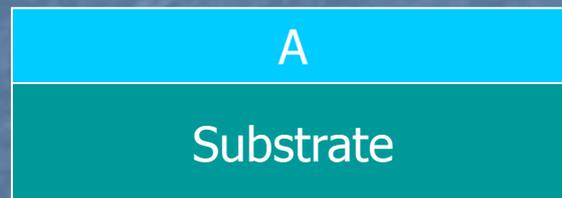
P V D

- PVD顧名思義是以物理機制來進行薄膜堆積而不涉及化學反應的製程技術，所謂物理機制是物質的相變化現象
- 蒸鍍(Evaporation)
- 濺鍍(Sputtering)



两种常见的薄膜结构

- 单层膜



- 周期结构多层膜



PVD简介

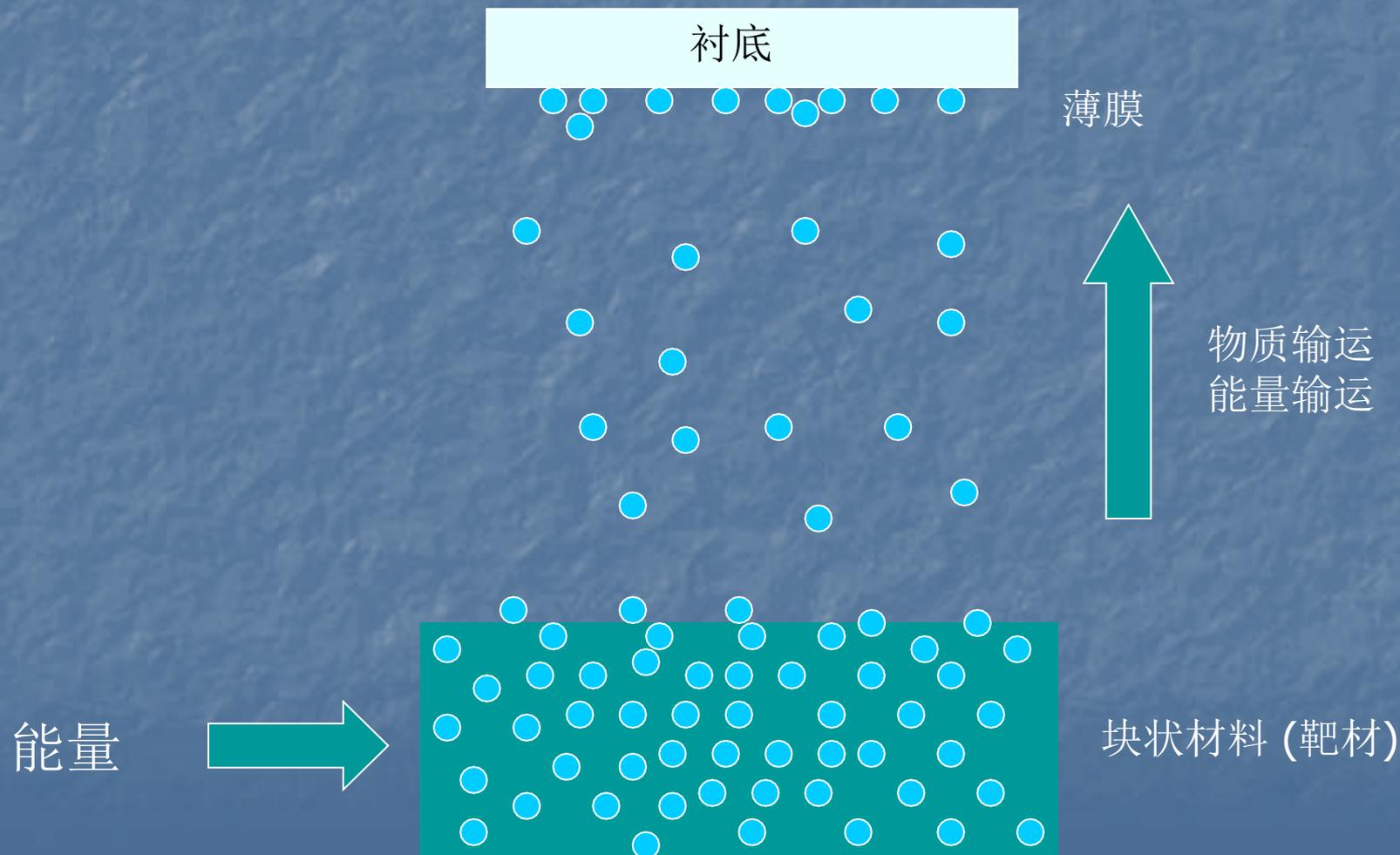
“物理气相沉积”通常指满足下面三个步骤的一类薄膜生长技术：

1. 所生长的材料以物理的方式由固体转化为气体
2. 生长材料的蒸汽经过一个低压区域到达衬底
3. 蒸汽在衬底表面上凝结，形成薄膜

PVD的特性

- 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；
- 源物质经过物理过程而进入气相；
- 需要相对较低的气体压力环境；
- 在气相中及在衬底表面并不发生化学反应
- “物理吸附”：约束能 $< 0.434 \text{ eV/atom}$ (10 cal/mol)
- 比外延生长速率快很多
- 衬底与薄膜材料不一定要有联系
- 厚度范围：
 - 典型薄膜： $\text{nm} - 10^3 \text{ nm}$ ，也可以生长更厚的膜

PVD的物理原理



PVD所需实验条件

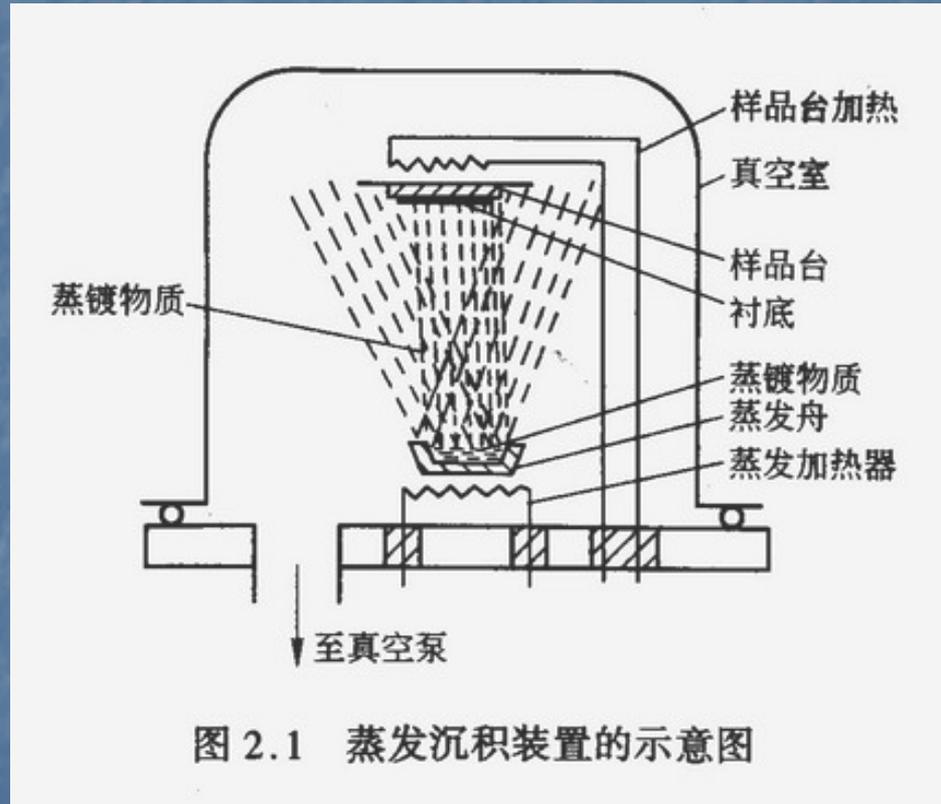
- 高真空 (HV)
- 高纯材料
- 清洁和光滑的衬底表面
- 提供能量的电源

二. 真空蒸镀

- 物质的热蒸发
- 真空蒸镀工艺
 - 热蒸发;
 - 电子束蒸发;
 - 电弧蒸发;
 - 脉冲激光沉积

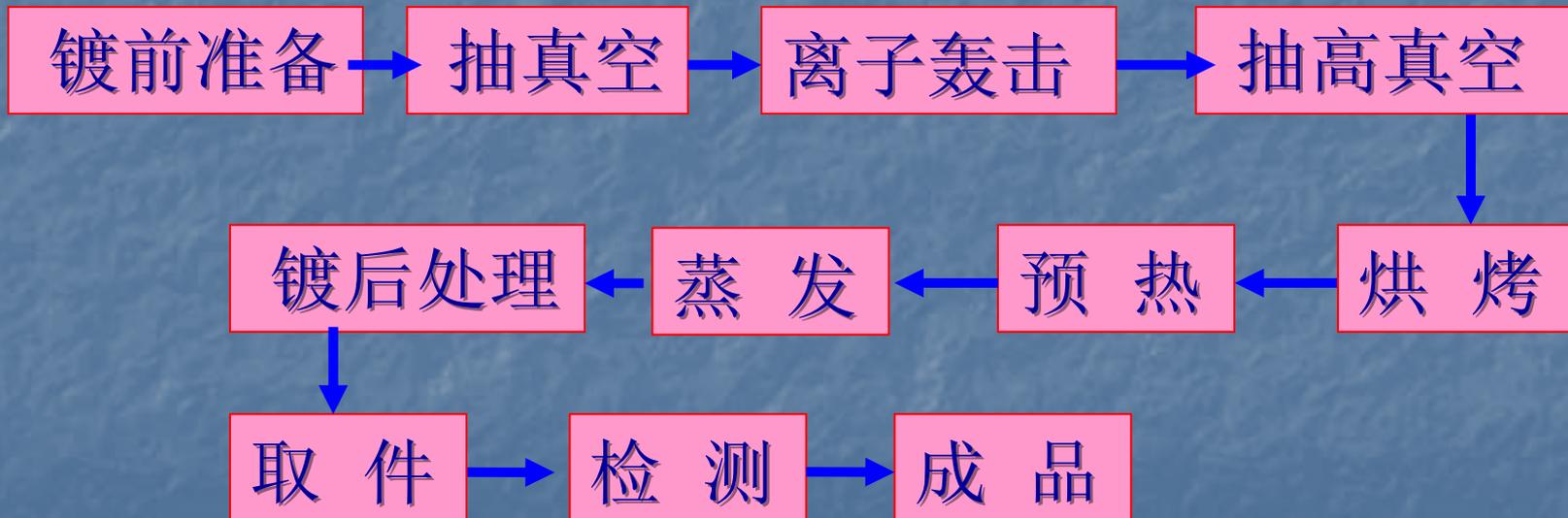
1.物质的热蒸发

利用物质在高温下的蒸发现象，可以制备各种薄膜材料。与溅射法相比，蒸发法的显著特点之一是其较高的背底真空度。在较高的真空度条件下，不仅蒸发出来的物质原子或分子具有较长的平均自由程，可以直接沉积到衬底表面上，而且还可以确保所制备的薄膜具有较高的纯净程度。



2. 真空蒸镀工艺

非连续蒸镀的工艺流程是：



2.1 热蒸发

- 基本思想：提高温度，熔解并蒸发材料
- 将材料置于某种容器内（上）
- 将用高熔点金属(W, Mo, Ta, Nb)制成的加热丝或舟通上直流电，利用欧姆热加热材料
- 在被加热物质或坩埚通上射频交流电，利用电磁感应加热材料（此时被加热物质或坩埚应具有一定的导电性）

热蒸发的缺点

- 电阻加热装置的缺点之一是来自坩埚、加热元件以及各种支撑部件的可能的污染。
- 另外，电阻加热法的加热功率或加热温度也有一定的限制。因此电阻加热法不适用于高纯或难熔物质的蒸发。
- 电子束蒸发装置正好克服了电阻加热法的上述两个不足，因而它已成为蒸发法高速沉积高纯物质薄膜的一种主要的加热方法。

2.2 电子束蒸发

- 用高能聚焦的电子束熔解并蒸发材料
- 材料置于冷却的坩埚内
- 只有小块区域被电子束轰击 - 坩埚内部形成一个虚的“坩埚” - “skulling”
- 不与坩埚材料交叉污染，清洁。

2.3 电弧蒸发装置

与电子束加热方式相类似的一种加热方式是电弧放电加热法。它也具有可以避免电阻加热材料或坩埚材料的污染，加热温度较高的特点，特别适用于熔点高，同时具有一定导电性的难熔金属、石墨等的蒸发。同时，这一方法所用的设备比电子束加热装置简单，因而是一种较为廉价的蒸发装置。

- 在电弧蒸发装置中，使用欲蒸发的材料制成放电的电极。在薄膜沉积时，依靠调节真空室内电极间距的方法来点燃电弧，而瞬间的高温电弧将使电极端部产生蒸发从而实现物质的沉积。控制电弧的点燃次数或时间就可以沉积出一定厚度的薄膜。

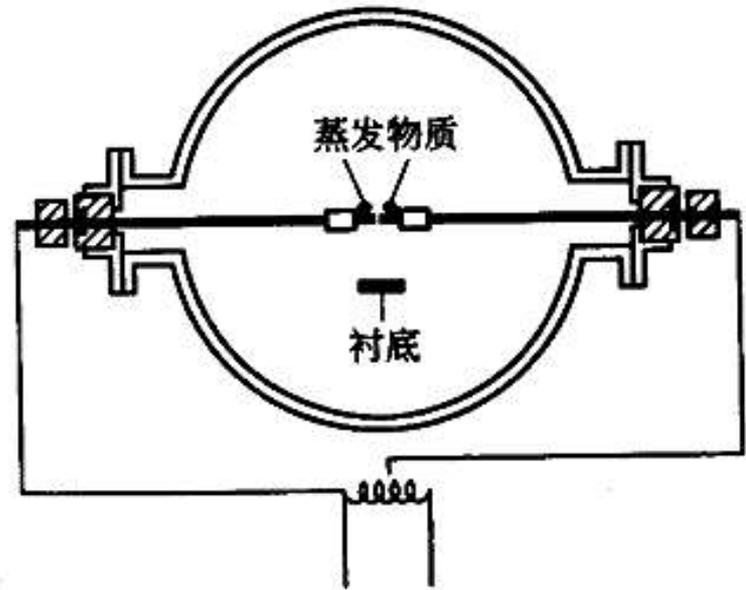


图 2.11 电弧蒸发装置的示意图

电弧加热方法既可以采用直流加热法，又可以采用交流加热法；这种方法的缺点之一是在放电过程中容易产生微米量级大小的电极颗粒的飞溅，从而会影响被沉积薄膜的均匀性

2.4 脉冲激光沉积

- 用高能聚焦激光束轰击靶材
- 蒸发只发生在光斑周围的局部区域
- 蒸发材料被直接从固体转化为等离子体
- 能轰击出来大尺寸的颗粒
- 光束渗透深度小 $\sim 100 \text{ \AA}$, 蒸发只发生在靶材表面

三. 溅射镀膜

- 溅射镀膜原理
- 真空镀
- 磁控溅射

关于溅射

- 薄膜物理气相沉积的第二大类方法是溅射法。这种方法利用带有电荷的离子在电场中加速后具有一定动能的特点，将离子引向预被溅射的物质做成的靶电极。在离子能量合适的情况下，入射离子在与靶表面原子的碰撞过程中将后者溅射出来。这些被溅射出来的原子带有一定的动能，并且会沿着一定的方向射向衬底，从而实现薄膜的沉积。
- 在此过程中，离子的产生过程与等离子体的产生或气体的放电现象密切相关。因而，我们首先需要对气体放电这一物理现象有所了解，其后再详细介绍离子溅射以及薄膜的沉积过程。最后，我们还将简要介绍各种不同的溅射方法，以及多种比较特殊的物理气相沉积技术。

气体放电现象与等离子体

- 直流电场作用下物质的溅射现象：在真空系统中，靶材是需要溅射的材料，它作为阴极，相对于作为阳极并接地的真空室处于一定的负电位。沉积薄膜的衬底可以是接地的，也可以是处于浮动电位或是处于一定的正、负电位。在对系统预抽真空以后，充入适当压力的惰性气体，例如以Ar作为放电气体时，其压力范围一般处于 10^{-1} -10Pa之间。在正负电极间外加电压的作用下，电极间的气体原子将被大量电离。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/348020130137006107>