

臭氧在半导体 CVD 工艺上的应用

化学汽相沉积 (Chemical Vapor Deposition) 是半导体工业中应用最为广泛, 用来沉积多种材料的技术之一: 包括绝缘材料, 多数金属材料 and 金属合金材料。

简而言之就是将两种或两种以上的气态原厂料导入到一个反应室, 从而发生化学反应, 以在晶体表面上沉积出一种新的材料。

但是事实上在反应腔中发生的反应是很复杂的, 受各种条件的限制。如气体流量、比率、压力、温度、阴极和阳极之间距离或者是否有额外的能量来源比如等离子体能量以及偏压等等。

CVD 技术通过反应类型或者压力来分类, 包括低压 CVD (LPCVD), 常压 CVD (APCVD), 次常压 CVD (SACVD), 超高真空 CVD (UHCVD), 等离子体增强 CVD (PECVD), 高密度等离子体 CVD (HDPCVD) 以及快热 CVD (RTCVD), 金属有机 CVD (MOCVD) 等。

臭氧因为其具有比较强的氧化, 经常用来提供反应元之一的氧, 与不同的化学材料复合来形成玻璃沉积

$TEOS+O_3 \rightarrow SiO_2$ USG, undoped silicon glass

$TEPO+TEOS+O_3 \rightarrow PSG$ 磷掺杂玻璃

$TEB+TEPO+TEOS+O_3 \rightarrow BPSG$ 硼磷掺杂玻璃

TEB 和 TEPO 亦可以用 TMB TMP 代替, 均是含有硼或磷的硅基有机脂类

也有工厂利用其氧化性通过酸槽 (Wet Bench) 来实现湿法处理工艺的步骤, 但是今年来由于其稳定性以及控制系统的复杂性, 被双氧水替代。

以 SACVD 系统为例

次常压 CVD (SACVD) 在进行化学反应时。反应腔中的压力往往达到 200 Torr, 甚至 600 Torr 以上, 所以被命名为次常压 CVD (Sub-Atmospheric Chemical Vapor Deposition)。

由正硅酸乙酯 (TEOS) 和臭氧直接施加一定温度 (常见的 400 度或者 480 度) 和压力 (常见 450 Torr 或者 200 Torr) 反应形成的

其中 TEOS 常温下为液态, 需要使用载体比如氮气推送至某个低压并且有加温到 110 度左右的特定的液态到气态的转换装置 (比如 Injection valve 或者 bubbler tank), 然后进过精确得计量器 (Liquid flow meter/Mass Flow controller) 通入反应室。

厂务系统供应的高纯氧经过 MFC 计量后通入臭氧发生器, 加入少量氮气体的配比会直接影响反应室的化学反应过程, 因此臭氧的浓度是至关重要的。因为臭氧的不稳定性 (氧原子会随时分离和复合回氧分子), 所以臭氧发生器必须持续保持稳定的工作状态以获得稳定浓度的臭氧混合气。包括气体进出口的压力, 发生器的温度都需要被严重管控, 比如要施加精准的温度控制, 需要使用 Chiller 来控制发生器腔体的热交换过程。

臭氧发生器产生的臭氧一般来说含量 13% 左右的 O_2/O_3 混合器, 为了实现在线监测, 引入了臭氧检测仪的应用。

用过臭氧发生器出口的分流细管, 采样通过一个有石英窗的光谱仪, 使用某个波长的紫外光透过气体, 就可以通过获得特定的光谱, 从而检定气体中臭氧的质量含量。

待机状态下, 臭氧混合持续进过旁路阀然后和前述在线臭氧检测仪使用的分流气汇合, 流经过尾气分解装置 O_3 destructor (含二氧化锰的一组蜂窝状过滤装置) 促使臭氧充组降解为氧气, 排入一般制程排气管路。

制程反应需要使用臭氧时, 旁路阀 Diver valve 会通过电磁阀控制切换到通往反应室的一侧, 将混和器引导至反应式参与反应。反应的剩余气体会和其他反应副产物一起经过制程真空泵, 然后由中央洗涤塔进行尾气处理。

为了确保尾气分离装置 O_3 destructor 的处理效率, 可以加装在线的尾气残余臭氧低浓度检测仪, 常见的紫外吸收法 (比尔朗博定律) 即使用特征波长的紫外光来照射被检测气体, 将获得的信号通过转换后进行对比换算, 从而确保排放到一般排气的尾气的安全性。

由于反应的条件不同，所需要的硬件设备也相应的有所差异，SACVD 可以大致分为

- 1、主机台 (MAINFRAME)
- 2、电气控制柜 (Controller)
- 3、工艺反应腔 (Process Chamber)
- 4、气体控制柜 (GASPANEL)
- 5、辅助设备：热交换器，臭氧发生器，真空泵等。