

数控阀门在MOCVD工艺真空压力精密控制中的应用

Application of Numerical Control Valve in Precision Control of Vacuum Pressure in MOCVD Process

摘要：针对目前MOCVD设备和工艺中真空压力控制方面存在的问题，如多数设备仅能使用下游控制模式、节流阀响应速度不够、节流阀耐腐蚀问题和压力控制器采集精度不高，本文提出了相应的解决方案，以进行MOCVD设备的改进和提高工艺和产品质量。

一、问题提出

在半导体行业内，MOCVD具有许多显著特点，可用于大面积生长，可精确控制成分和厚度，具有高重复性和生长速率，可覆盖复杂基板形状，可快速切换气路制备陡峭的多层界面，适用于原位退火等。但在MOCVD设备的开发和工艺调试中，需要研究和选择与生产相关的生长参数，这些参数包括反应室形状、工作压力、生长温度、基座转速、气体流速和入口温度等。MOCVD的工作压力一般为10 mtorr-500 torr范围内，工作压力的精密控制决定了反应室的流动稳定性，但在目前的真空压力控制中还存在以下问题：

(1) 如图1所示，目前的MOCVD设备基本都采用下游模式对工作压力进行控制，即在排气端安装节流阀进行排气流量调节实现反应室内的压力控制，但这仅适用于压力较高的工艺，如工作压力100~500torr范围。但对于有些工艺的低压要求，采用下游控制模式会造成工作压力波动较大，无法准确控制，从而影响产品质量。对于低工作压力的精密控制最好采用上游控制模式，即控制进气端的流量实现反应室的压力稳定。

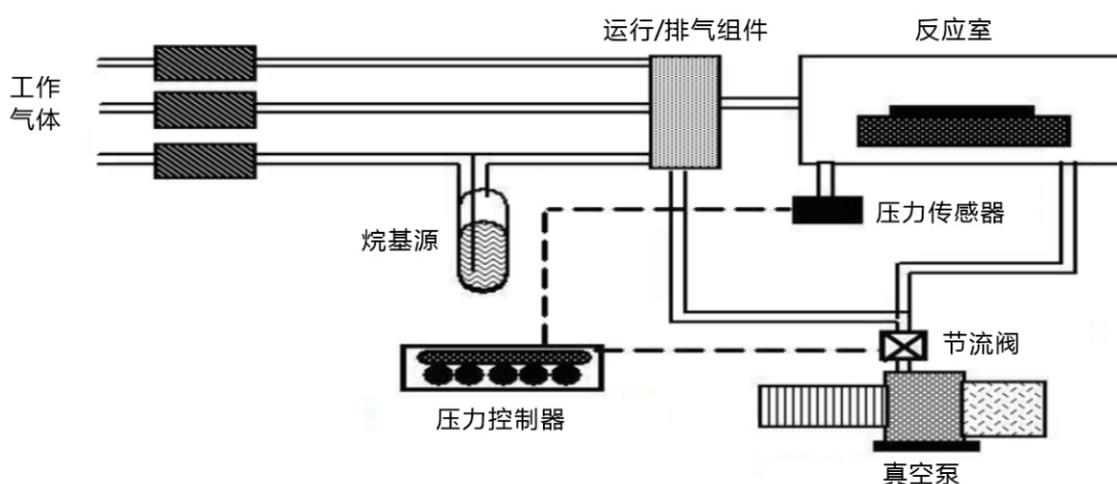


图1 MOCVD典型压力控制系统示意图

(2) MOCVD工艺过程始终伴随着温度变化，而温度变化会严重影响工作压力的稳定性和可控性，因此要求在温度变化过程中同时实现工作压力的准确控制，这就要求进气和排气控制阀的响应速度越快越好，控制阀从全开到全闭至少要控制在5秒内，1秒以内更佳。

(3) 有些MOCVD工作气体带有腐蚀性，相应的阀门也许具有较强的抗腐蚀性以提高设备的连续正常工作实际。

(4) 目前绝大多数控制都采用PLC模组，但极少PIC控制器能达到24位的模数转换精度，对于工作压力的精密控制，建议采用24位精度的PID控制器以充分发挥电容式压力传感器的高精度测量优势。

本文将针对目前MOCVD设备和工艺中存在的上述问题，提出相应的解决方案。

二、压力精密控制方案

在MOCVD工作压力范围内，一般要求在一定范围内，反应室内的工作压力可以在任意设定点上准确恒定。为了满足低压和高压的不同压力范围精密控制，所提出的压力控制方案是在原有的下游控制模式上增加上游控制模式，真空压力控制系统结构如图2所示，具体内容如下：

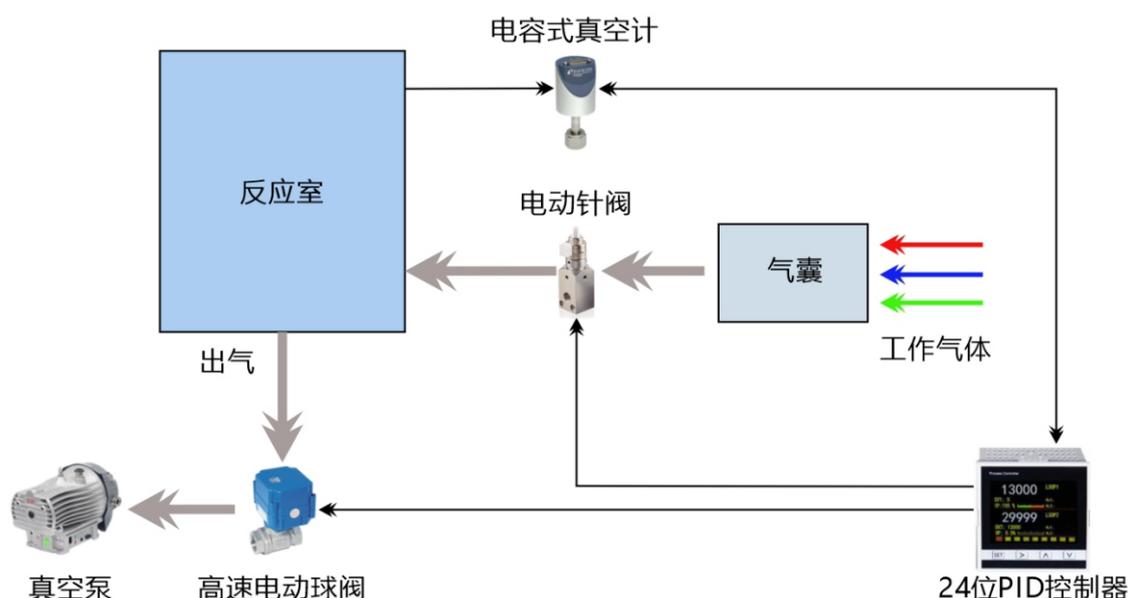


图3 MOCVD真空压力控制系统结构示意图

(1) 在反应室的进气口和排气口分别安装步进电机驱动的电子针阀和电动球阀，电子针阀直接安装在进气口处，电动球阀安装在排气口和真空泵之间。对于MOCVD设备，可增加一个气囊以对进入的工作气体进行按比例混合后再经电子针阀进入反应室。当在高压下进行控制时，可固定电子针阀的开度，仅调节下游的电动球阀；在低压下进行控制时，可固定电动球阀的开度，仅调节上游的电子针阀。由此可满足不同压力控制的需要。

(2) 电子针阀和电动球阀都有高速型节流阀，电子针阀的响应速度为0.8秒，电动球阀有两种响应速度型号，分别是5秒和1秒。针阀和球阀的阀体采用不锈钢，密封件采用FFKM全氟醚橡胶，超强耐腐蚀性，可用于各种腐蚀性气体和液体。

(3) 在MOCVD中一般采用1000torr或10torr量程的电容压力计进行压力测量，其精度可达 $\pm 0.2\%$ 。也可采用更高精度 $\pm 0.05\%$ 的真空压力传感器进行测量。由此，方案中采用专用的24位A/D采集的高精度PID真空压力控制器，以匹配高精度电容式压力传感器的测量精度，并保证控制精度。

综上所述，通过以上方案的实施，可以在整个真空压力范围内，将压力波动控制在 $\pm 1\%$ 以内，并会快速响应反应室的温度变化实现压力的快速恒定，同时耐腐蚀性密封件将大幅度提高阀门的使用寿命。