



论文名称：薄膜沉积反应腔室多场建及轮廓调控方法研究

论文作者：清华大学 / 夏焕雄

指导教师：汪劲松《研究领域：先进制造装备及技术、机器人学、IC装备、绿色制造》、向东《研究领域：机电产品绿色设计、绿色制造、资源化技术与装备》

薄膜沉积工艺是半导体制造、MEMS、表面工程等领域的基础工艺。等离子体增强化学气相沉积(PECVD)是重要的薄膜沉积工艺方法之一，其工艺系统涉及复杂多场耦合及化学反应过程。目前PECVD反应腔室设计与工艺调控的研究普遍依赖经验试错与大量的工艺参数试验，不仅需要大量的时间与物力成本，且复杂的工艺过程没有得到揭示。实质上，设备的工艺参数是影响薄膜沉积工艺性能的表现因素，其深层次的因素是物质、能量的空间分布(称之为工艺因素轮廓)。本文着眼于反应腔室的多场特性及工艺理化过程，从工艺因素轮廓的视角，建立多场耦合工艺系统模型、揭示工艺机理、研究反应腔室设计与工艺调控的新思路新方法。

针对300 mm竖直喷淋式PECVD反应腔室，建立流场、热场、等离子体子系统模型，为工艺系统建模及反应腔室设计解决子系统建模中的关键结构特征建模的难点问题。基于子系统模型与实验，研究工艺及结构参数对子系统物理场特性的影响规律。

针对PECVD工艺过程，研究工艺多场耦合建模方法，建立包含热流、物质输运、化学反应及等离子体放电过程的工艺系统模型，构建从工艺参数输入

到薄膜性能参数输出的工艺过程仿真系统。以 SiH_4/NH_3 制备氮化硅薄膜工艺为对象，通过片内薄膜沉积速率及N/Si分布的对比验证工艺系统模型的有效性，并探究工艺过程中物质及能量过程对薄膜沉积速率及N/Si的影响机制，为深入研究反应腔室结构设计及工艺调控提供了模型及理论支撑。

针对反应腔室设计与工艺调控的共性问题——轮廓调节问题，建立轮廓误差反馈模型及其求解方法。基于轮廓误差构造设计/控制变量序列的反馈迭代算法，求解已知目标轮廓确定物理空间多自由度的几何结构、介质属性、源、边界条件等逆问题，为多自由度反应腔室设计及控制提供了有效的求解方法。

为实现工艺因素空间分布及薄膜性能参数片内分布梯度的精细化调控，提出面向轮廓梯度调控的可控型/阻抗型的反应腔室设计方法，并基于多场模型及轮廓误差反馈模型方法对设计方案进行求解。以非均匀阻抗模块为实施案例，实现了对薄膜沉积速率、折射率、温度轮廓梯度的精细化调节，为大面积高一致性薄膜沉积反应腔室设计与工艺调控提供了一种新的解决方案。 