

光学发射光谱法 用于半导体工艺监测与控制



摘要:

光学发射光谱法（OES）已成为半导体行业重要的分析技术，能够对半导体制造中的关键工艺进行实时、原位监测。

本文主要梳理了OES在半导体制造工艺中的原理和应用，介绍了OES的基本原理、仪器设备、数据分析方法以及该领域的最新进展。同时，文章也强调了OES在保证半导体制造工艺的质量、可靠性和效率方面的重要作用，有助于推动电子技术的进步。

引言

1.1 半导体制造工艺控制

随着全球对半导体产品需求的不断增长，新晶圆厂不断建成，现有晶圆厂也在改造升级。为了跟上市场需求，必须使工艺生产线以最高效率运行，并尽量减少停机时间。OES提供了一种经济高效又可靠的方法来保障这一点。下面我们将探讨OES在半导体的四个主要应用：

- 1.) 等离子体温度监测
- 2.) 刻蚀工艺终点检测（EPD）
- 3.) 沉积工艺过程控制
- 4.) 腔室清洗终点检测（EPD）

光学发射光谱法基础

2.1 基本原理

等离子体是物质的第四态，它是一种电离气体，在激发时会发射光子。这些光子通常表现为特定波长处的窄带发射谱线。使用按应用所需的光谱范围和分辨率配置的光谱仪，即可监测这些发射谱线及其强度。



OceanOptics

2.2 发射谱线与光谱分析

1.) 如图1所示的装置，经过标定后，可以把腔室功率与发射谱线的强度对应起来。图2是六氟化硫（SF₆）示例。使用Stefan-Boltzmann辐照度公式将其转换为等离子体温度（如图3所示）



图 1

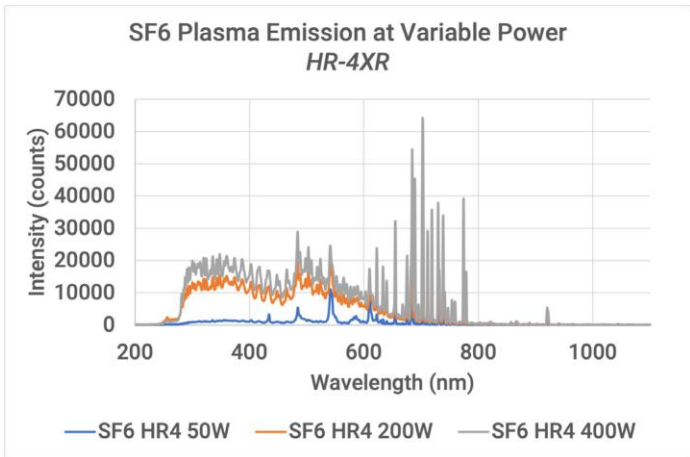


图 2

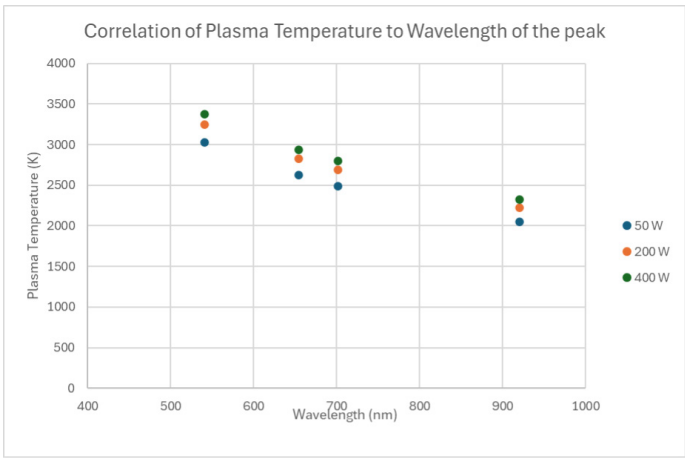


图 3

2.) 四氟化碳（CF₄）等离子体常用来刻蚀二氧化硅（SiO₂）等材料层。利用时间分辨OES利用时间分辨OES，根据等离子体中的O₂含量，可以准确判断材料什么时候被完全去除。图4展示了一个模拟示例，通过监测400-600 nm发射谱线的强度来监测氧气浓度。在该示例中，O₂水平下降到一定程度，可以认为工艺完成。

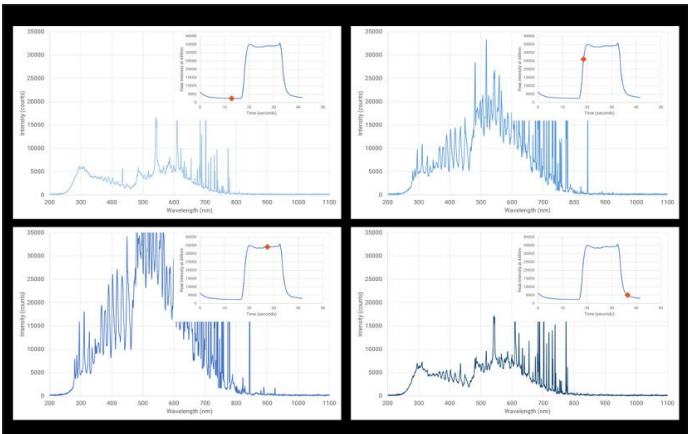


图 4

3.) 氩等离子体可以使金属原子电离，通过电场将这些离子加速冲向晶圆，从而产生被称为“溅射”的物理气相沉积（PVD）工艺。溅射是指高能离子轰击靶材，使靶材原子从靶材表面逸出的过程。这些被溅射出的金属原子随后沉积到基底上，形成薄膜。图5为PVD溅射腔室示意图。利用OES监测氩等离子体的浓度和温度，可确定金属的蒸发速率，进而将该速率与沉积厚度随时间的变化关联起来。

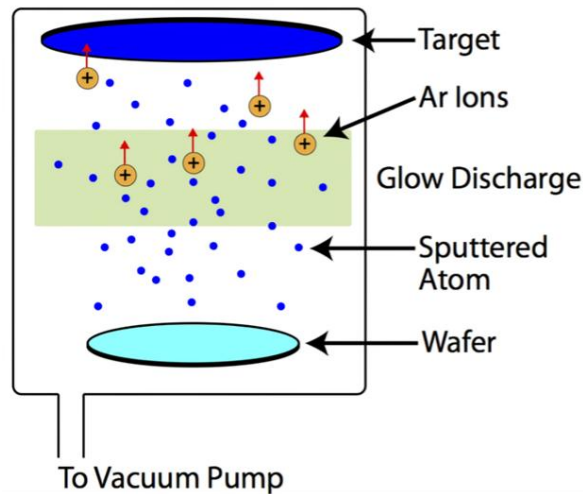


图 5

4.) 在刻蚀和沉积过程中，等离子体腔室内壁会积累残留物，因此需要对腔室进行清洗。使用含氟等离子体（如 $\text{CF}_4 + \text{O}_2$ ）可以有效清洗。通过监测 O_2 和 CF_4 发射谱线的强度比，可以判断腔室的清洁程度。氧氟比越高，说明腔室相对越干净（氧气相对氟更多），说明氟残留物已被有效清除。图6为示例。

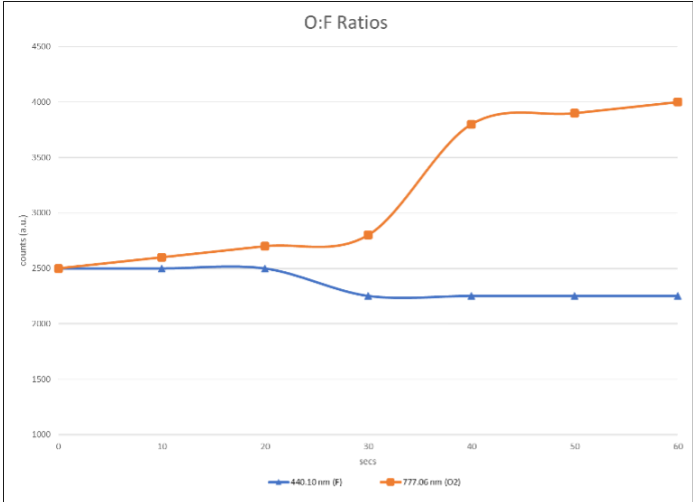


图 6

结论

通过实时监测与控制，光学发射光谱法在半导体制造工艺中持续发挥着至关重要的作用。仪器设备、数据分析技术及其他技术集成方面的进步，为提升半导体制造工艺的效率、质量和良率创造了条件。随着行业向更小尺寸和新型材料方向发展，OES也有望不断演进，持续推动半导体技术进步。

