

# 电子回旋共振微波等离子体化学气相沉积

富力文

(清华大学微电子学研究所)

## 摘 要

本文叙述了电子回旋共振微波等离子体化学气相沉积 (ECRPCVD) 的工作原理、特点及其应用。ECRPCVD 由放电室、淀积室、微波系统、磁场线圈、气路与真空系统组成。处于放电室的等离子体在磁场中做回旋运动,使电子的回旋运动频率与微波频率相同;处于回旋共振条件下的电子有效地吸收微波功率而获得高的能量,从而产生高活性和高密度的等离子体。电离度大于 10%, 电子密度为  $10^{13}\text{cm}^{-3}$ 。ECRPCVD 可在低的气体流量、衬底不加热的高速淀积高质量薄膜。以该技术淀积的  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiO}_2$  薄膜可分别与高温 CVD 的  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、高温热氧化的  $\text{SiO}_2$  相比拟。ECRPCVD 淀积  $\text{a-Si:H}$  淀积速率为通常 CVD 的 20 倍,而性能与射频 CVD 淀积的  $\text{a-Si:H}$  相当。ECRPCVD 已成功用于淀积多种薄膜。

六十年代开始了微波等离子体 CVD 技术的研究。近年来又将电子回旋共振应用于微波等离子体 CVD (ECRPCVD)。由于淀积速率快,淀积的薄膜质量好,该技术越来越引起人们的注意。国外如日本、捷克斯洛伐克、加拿大等国家研究工作进展较快,我国在这方面也进行了一些工作。

## 一、ECRPCVD 装置及特点

图 1 是典型的 ECRPCVD 装置,它包括放电室、淀积室、微波系统、磁场线圈、气路与真空系统等几部分。放电室直径为 150mm, 高为 200mm; 淀积室长、宽、高分别为 560mm, 500mm, 190mm<sup>[1]</sup>。放电室也是微波谐振腔。淀积室内的样品可由红外灯加热。微波由矩形波导通过石英窗引入放电室,反应气体分两路分别进入放电室及淀积室。图 1 中标明的气体为制备  $\text{a-Si:H}$  薄膜时通常采用的。进入放电室的气体在微波作用下电离,产生的电子和离子等在静磁场中作回旋运动。施加的微波频率与电子的回旋运动频率相同,因此电子发生回旋共振吸收获得高达 5eV 左右的能量。高能电子与中性气体分子或原子碰撞,打破化学键使其电离或分解,产生了大量的、高活性的等离子体。进入淀积室的气体与这些等离子体充分作用并发生多种反应,如电离、聚合等,从而实

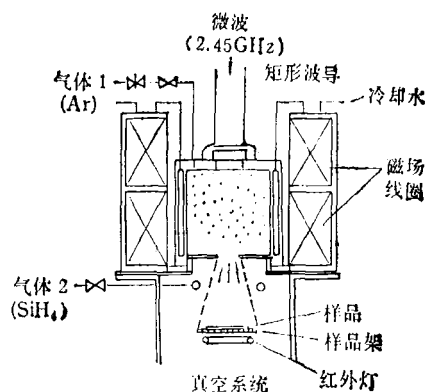


图 1 典型的 ECRPCVD 装置

现薄膜的淀积。

另外也有采用同轴线型引入微波或将淀积室与放电室合为一体<sup>[2]</sup>。

该技术具有如下特点: 1. 处于回旋共振条件下的电子能有效地吸收微波功率,与其它等离子体 CVD 相比,它的能量转换效率高,可获得大于 10% 的等离子体的电离度和约  $10^{13}\text{cm}^{-3}$  的电子密度<sup>[3]</sup>,而通常射频等离子体 CVD (RFPCVD) 电离度仅为  $10^{-4}$ , 电子密度一般小于  $10^{11}\text{cm}^{-3}$ 。2. 高的电子密度及高的电离度使工作气体的离解效率大大增加,因而可以在低的气体流量下获得高的淀积速率。一般无需对衬底加热就可以获得高质量薄膜,这显然对很多需要避免热处理的工艺过程是极为有利的。

3. 垂直于样品表面的磁场在淀积室内从等离子室到样品逐步减弱, 这个发散的磁场使离子向样品方向作加速运动, 增加了离子对样品表面的轰击能量, 促进了薄膜的生长<sup>[1]</sup>。4. 由于淀积室与放电室分开, 样品不直接处于等离子区, 高能粒子对样品表面的损伤大大减少。

表 1 是制备 a-Si:H 薄膜的淀积条件<sup>[1]</sup>, 制备其它薄膜与表 1 略有不同。

表 1 a-Si:H 薄膜的淀积条件

淀积参数	典型值
微波功率	100—500W(2.45GHz)
衬底温度	不加热—300℃
淀积过程中气体压强	$9 \times 10^{-6}$ — $1.6 \times 10^{-3}$ Torr
Ar 气流量	5sccm
SiH <sub>4</sub> 流量	40sccm
磁感强度	875G

## 二、ECRPCVD 的应用

迄今已成功地采用 ECRPCVD 淀积了多种薄膜, 如 SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub><sup>[4]</sup>, a-Si:H<sup>[1,2,5]</sup>, 金刚石薄膜<sup>[6]</sup>, TaO 及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等<sup>[7]</sup>。

该技术淀积的 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub> 薄膜的致密性和抗腐蚀性可分别与高温 CVD 淀积的 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、高温热氧化的 SiO<sub>2</sub> 相比<sup>[4]</sup>, 但由于衬底不需加热, 用该技术淀积的 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub> 作为集成电路金属化后的最终钝化膜是非常好的。

在非晶态半导体中, a-Si:H 薄膜不仅成功地用于制造太阳能电池, 而且在矩阵显示等多方面显示出重要的应用前景, 因而吸引了人们的研究兴趣。目前制备 a-Si:H 最常用的方法是 RFPCVD, 但是淀积速率低是明显的缺点。近来应用 ECRPCVD 淀积 a-Si:H 受到重视, 以该技术制备的 a-Si:H 的结构、物理特性与 RFPCVD 生长的 a-Si:H 相近, 而淀积速率可高 20 倍甚至更多。表 2 对这两种方法得到的 a-Si:H 薄膜性能进行了比较。

适当增加微波功率和衬底温度可以改善 a-Si:H 薄膜的性能, 如增加暗电导率和光电导

表 2 ECRPCVD 与 RFPCVD a-Si:H 性能比较

薄膜性能	制备方法	ECRPCVD <sup>[1,2,3]</sup>	RFPCVD <sup>[8]</sup>
暗电导率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) <sup>-1</sup>		$10^{-11}$ — $10^{-10}$	$3 \times 10^{-9}$
光电导率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) <sup>-1</sup> (AM-1, 100mW/cm <sup>2</sup> )		$10^{-6}$ — $10^{-5}$ (最高可达 $10^{-4}$ )	$1 \times 10^{-3}$
光能隙 eV		1.8—2.1	1.7—1.8
自旋密度 cm <sup>-3</sup>		$3 \times 10^{16}$ — $10^{17}$	$> 10^{16}$
氢含量		20—30%	18%
电子迁移率 cm <sup>2</sup> /V·s		0.02—0.072	0.5—1.0
淀积速率 Å/s		~20 (最高可达 250)	<3.5

率, 降低自旋密度, 提高迁移率等<sup>[1,2]</sup>。

由 ECRPCVD 制造的 ITO/a-Si:H/Cr 肖特基光电二极管其光电流与暗电流之比在 4000 左右, 可用作图象传感元件<sup>[1]</sup>。

在材料表面淀积一层金刚石薄膜, 可使材料变得坚硬、耐磨并具有高的导热性, 已采用多种方法, 但是应用 ECRPCVD 获得了迄今为止最大面积、高质量的金刚石膜<sup>[6]</sup>。

ECRPCVD 还可用于制备 TaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等多种金属氧化膜<sup>[7]</sup>。

ECRPCVD 可以在低温条件下, 高速淀积性能良好的薄膜, 与通常 CVD 相比具有明显的优点, 它将会有很好的应用前景。

- [1] K. Kobayashi et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**(1987), 202.
- [2] S. Kato and T. Aoki, *J. Non-Cryst. Solids*, **77 & 78** (1985), 813.
- [3] J. Musil, *Vacuum*, **36**(1986), 161.
- [4] S. Matsuo and M. Kiuchi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **22** (1983), L210.
- [5] M. Kitagawa et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**(1987), L231.
- [6] H. Kwarada et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**(1987), L1032.
- [7] T. Ono et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **23**(1984), L534.
- [8] 罗晋生、戎霖伦, 非晶态半导体, 西安交通大学出版社: (1986), 161.