

# 纳 米 硅 薄 膜

何 宇 亮

(南京大学物理系,南京 210008)

非晶态硅薄膜是当前重要的人工功能材料,它具有亚稳态结构,具有一系列不同于晶态硅的特征。十余年来,用非晶硅薄膜材料已研制成各种类型的非晶态半导体新器件<sup>[1]</sup>。然而,由于这种材料本身还存在一些弱点,如结构上的亚稳状态及不稳定性,工艺上不易做到很好的重复,有较强的光感生效应及热不稳定性;迁移率及载流子寿命远低于晶态硅等,因而它的进一步开发和应用受到了限制。

如何改进非晶硅薄膜材料的性能、质量以及寻求提高迁移率、载流子寿命这些重要参数是当务之急。近几年,国外不少研究工作又重新回到探索和改进非晶硅薄膜材料性能上来,从薄膜沉积方法、沉积机理研究到薄膜结构和性能的检测等方面进行着广泛的研究。大量的研究结果说明,具有完全无序网络结构的非晶硅薄膜并不是拥有实用价值的好材料。在一定工艺条件下,使非晶硅薄膜中含有一定成分的细小晶粒(约几十Å),能从多方面改善薄膜的质量<sup>[2,3]</sup>。当非晶硅薄膜由短程有序向中程有序和微晶化方向转化时,存在着一种类似于“相变”的过程<sup>[4]</sup>,在这一过程中呈现出许多重要物理性能上的变化。不过,至今尚未得到令人满意的解释。

## 一、纳米硅与微晶硅薄膜材料

自1985年以来,在固体材料领域中派生出一种叫纳米微晶或毫微晶的材料。这种纳米微晶材料最早出现在非晶态金属范畴<sup>[5]</sup>,自1987年始在国外有了关于纳米硅薄膜(nc-Si:H)的论文<sup>[6,7]</sup>。纳米薄膜是由大量的超细微粒子构成,每个粒子本身是结构完整的小晶粒,其尺寸

为几十个Å,每个晶粒界面的厚度为10—20Å。因此,在纳米薄膜材料中晶态部分占体积比重的50%,另50%是由界面原子构成。与微晶硅薄膜相比,纳米硅薄膜中几乎不存在晶粒与晶粒之间的晶粒间界区域。拉曼光散射实验给出,纳米硅薄膜中无序成分所占的体积比重小于10%,而在微晶硅薄膜中无序成分仍占50—80%。正是由于在这些无序成分中(主要是晶粒间界区域)存在着大量的结构缺陷、位错、键的畸变及杂质、空洞等,我们可以认为,纳米硅与微晶硅相比其性能和结构又是一个跃变。已有的实验指出,纳米硅薄膜在电学、光学和稳定性方面已优于非晶硅(a-Si:H)和微晶硅( $\mu\text{c-Si:H}$ ),部分性能甚至优于单晶硅(c-Si)。

## 二、纳米硅薄膜基本特性和应用前景

1987年M. Konuma等人首次报道了纳米硅薄膜的电导特性<sup>[6]</sup>,指出它的室温电导率可达 $\sim 10^{-4}\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 已接近于本征单晶硅的室温电导率值( $\sim 10^{-3}\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ ),而非晶硅薄膜为 $10^{-9}\sim 10^{-10}\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,微晶硅薄膜为 $10^{-7}\sim 10^{-8}\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。其掺杂特性明显地优于非晶硅薄膜。由于纳米硅薄膜中存在着大量的纯净界面,其电子输运机制将以晶粒界面陷阱模型为主要途径,类似于多晶硅薄膜( $\mu\text{c-Si:H}$ )的传导机制。

早在1983年Z. Iqbal等人<sup>[8]</sup>曾给出,纳米硅薄膜的光吸收系数在可见光波段内不仅高于单晶硅,也优于非晶硅和微晶硅薄膜。这主要是晶粒界面上的光散射及纳米晶粒内部自由载流子光吸收造成的。我们的工作也报道了,

(下转第28页)