

文章编号: 1007-2780(2008)01-0035-04

# p-Si TFT 栅绝缘层用 $\text{SiN}_x$ 薄膜界面特性的研究

张化福<sup>1</sup>, 袁玉珍<sup>1</sup>, 臧永丽<sup>1</sup>, 祁康成<sup>2</sup>

(1. 山东理工大学 物理与光电信息技术学院, 山东 淄博 255049, E-mail: huabaozhang@126.com;

2. 电子科技大学 光电信息学院, 四川 成都 610054)

**摘 要:** 以  $\text{NH}_3$  和  $\text{SiH}_4$  为反应源气体, 在低温下采用射频等离子体增强化学气相沉积 (RF-PECVD) 法在多晶硅 (p-Si) 衬底上沉积了  $\text{SiN}_x$  薄膜。系统地分析讨论了沉积温度、射频功率、反应源气体流量比对  $\text{SiN}_x$  薄膜界面特性的影响。分析表明, 沉积温度和射频功率主要是通过影响  $\text{SiN}_x$  薄膜中的 Si/N 比和 H 含量影响薄膜的界面特性, 而  $\text{NH}_3/\text{SiH}_4$  流量比则主要通过影响薄膜中的 H 含量影响薄膜界面特性。实验制备的  $\text{SiN}_x$  薄膜层中的固定电荷密度、可动离子密度、 $\text{SiN}_x$  与 p-Si 之间的界面态密度分别达到了  $1.7 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 、 $1.4 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 、 $3.5 \times 10^{12}/(\text{eV} \cdot \text{cm}^2)$ , 其界面特性达到了制备高质量 p-Si TFT 栅绝缘层的性能要求。

**关 键 词:** TFT;  $\text{SiN}_x$  薄膜; 界面特性

中图分类号: O484.4 文献标识码: A

## 1 引 言

栅绝缘层是薄膜晶体管 (TFT) 的主要功能层之一, 高质量的 TFT 离不开高质量的栅绝缘层。传统栅绝缘层  $\text{SiO}_2$  薄膜阻挡杂质粒子扩散的能力很差, 从而大大降低了 TFT 的稳定性能。而  $\text{SiN}_x$  薄膜除了具有优良的电学性能外, 还具有较大的介电常数及较强的阻挡  $\text{Na}^+$  扩散、水汽渗透以及其他杂质粒子扩散的能力。在 TFT-AM LCD 和 TFT-AM OLED 中, TFT 工作的阈值电压  $V_T$ 、开态电流  $I_{on}$  和关态电流  $I_{off}$  与栅绝缘层中的固定电荷密度、可动离子密度及栅绝缘层与有源层间的界面态密度有很大关系<sup>[1-5]</sup>。Lee K. H<sup>[6]</sup>, Masuko S 等人<sup>[7]</sup> 都进行了  $\text{SiN}_x$  薄膜作为栅绝缘层用 TFT 的研究, 但未涉及  $\text{SiN}_x$  薄膜界面特性的分析和讨论。Choi B. D 等人<sup>[8]</sup> 做了  $\text{SiO}_2$  单层膜和  $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  双层膜作为 p-Si TFT 栅绝缘层的研究, 其可动离子密度分别达到  $1.7 \times 10^{12}/\text{cm}^2$  和  $1.3 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ , 但击穿场强却仅为 5 MV/cm 和 8 MV/cm, 且没有提及固定电荷密度和界面态密度。本文选取了  $\text{SiN}_x$  薄膜作为 TFT 栅绝缘层, 摸索了沉积温度、射频功率、 $\text{NH}_3/\text{SiH}_4$  流量

比对  $\text{SiN}_x$  薄膜界面特性的影响, 从而制备出了具有好的界面特性的栅绝缘层用  $\text{SiN}_x$  薄膜。

## 2 实 验

本实验采用的设备是由电子科技大学与沈阳市天成真空仪器研究所联合研制的直接型 PECVD (Direct-PECVD) 设备, 射频频率是 13.56 MHz。所用反应源气体是高纯  $\text{NH}_3$  和高纯  $\text{SiH}_4$ , 用高纯 Ar 气来调节系统的真空度以及清洗气路, 用  $\text{N}_2$  气来吹干基片和处理尾气。

用波长为 632.8 nm 的椭偏仪测量薄膜的厚度; 用真空蒸镀法透过掩模板在  $\text{SiN}_x$  薄膜上制备直径  $\phi = 0.5$  mm 的高纯铝作为电极; 用 C-V 测试仪并结合温度-偏压 (B-T) 实验测量薄膜的高、低频 C-V 特性, 用以分析  $\text{SiN}_x$  薄膜层中的可动离子密度、固定电荷密度以及  $\text{SiN}_x$  与 p-Si 间的界面态密度。

## 3 实验结果与讨论

### 3.1 沉积温度对 $\text{SiN}_x$ 薄膜界面特性的影响

从图 1 中可看到, 在沉积温度较低时,  $\text{SiN}_x$  薄

收稿日期: 2007-06-11; 修订日期: 2007-09-15

基金项目: 电子科技大学-浙江阳光集团联合 OLED 器件研发项目 (No. W050317)

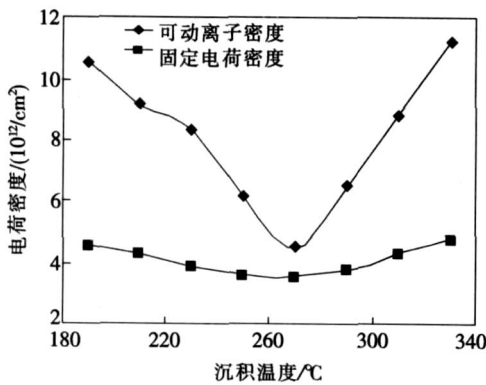


图 1 不同沉积温度下 SiN<sub>x</sub> 薄膜层中的电荷密度  
Fig. 1 Charge density of silicon nitride thin films at different deposition temperature

膜层中的固定电荷密度和可动离子密度都较大,随着沉积温度的升高都减小,在 270 °C 时,它们同时达到最小值;之后,又都开始增大。

SiN<sub>x</sub> 薄膜层中的固定电荷密度与 p-Si 和 SiN<sub>x</sub> 界面的存在以及 SiN<sub>x</sub> 薄膜结构的疏密程度有关<sup>[9]</sup>。在沉积温度较低时, SiN<sub>x</sub> 薄膜的结构疏松,容易吸附较多的电荷,同时 p-Si 与 SiN<sub>x</sub> 界面附近存在着较多的过剩硅离子,因此固定电荷密度较大。随着沉积温度的升高, SiN<sub>x</sub> 薄膜的致密度得到提高,同时 p-Si 与 SiN<sub>x</sub> 界面附近过剩的硅离子数减少,从而固定电荷密度减小。当沉积温度过高时,薄膜中氢析出严重,薄膜结构变差,硅悬挂键增多,导致固定电荷密度增加。

SiN<sub>x</sub> 中的可动离子主要有钠、钾、氢等,钠离子、钾离子来源于所使用的化学试剂、玻璃器皿、高温器材以及人体沾污等。在本实验条件下,可动离子主要是由于氢引起的。在较低沉积温度时, SiN<sub>x</sub> 薄膜中含有大量的氢,大部分氢能与 SiN<sub>x</sub> 薄膜结合,成为氢化非晶态 SiN<sub>x</sub> 薄膜组成的一部分,但还有一部分氢在生成薄膜时没有参与反应,只是作为杂质而掺杂在薄膜中,它们带有正电荷,在一定的电压下会发生定向移动。随着沉积温度的升高, SiN<sub>x</sub> 薄膜中的氢含量减少,可动离子密度减小;当沉积温度过高时, SiN<sub>x</sub> 薄膜中的一部分氢又会过多地从薄膜中析出,从而导致可动离子密度的增加。

由图 2 知, p-Si 与 SiN<sub>x</sub> 薄膜间的界面态密度随温度升高而增大。原因在于,温度升高时,薄膜中的氢含量减少并有大量氢从薄膜中析出,硅悬

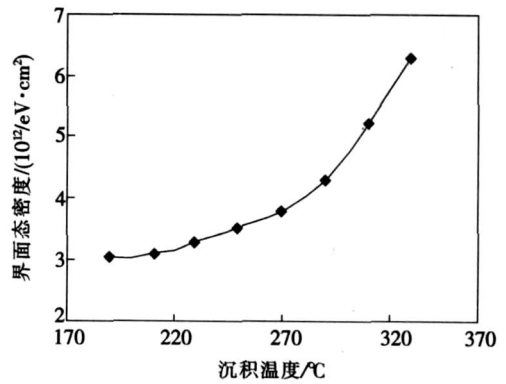


图 2 不同沉积温度下 p-Si 与 SiN<sub>x</sub> 间的界面态密度  
Fig. 2 Interface state density between SiN<sub>x</sub> thin films and p-Si at different deposition temperature

挂键增多,界面态密度增大。

### 3.2 射频功率对 SiN<sub>x</sub> 薄膜界面特性的影响

从图 3 可以看出,在射频功率很小时, SiN<sub>x</sub> 膜层中的固定电荷密度随着射频功率的增加而迅速减小,在功率为 20 W 时达到最小值。此后,又开始增大。因为原因在于,在较低功率时,薄膜中存在着大量的过剩硅离子,固定电荷密度较大;随着功率的增加,过剩的硅离子数减少,固定电荷密度随之减小,在 20 W 时达到最小值;随着功率的继续增大,薄膜中开始出现过剩的氮原子,同时等离子体也会使薄膜受到较为严重的损伤,影响薄膜的质量,这都使得固定电荷密度增加<sup>[10]</sup>。而 SiN<sub>x</sub> 膜层中的可动离子密度随射频功率的增大变化不大。

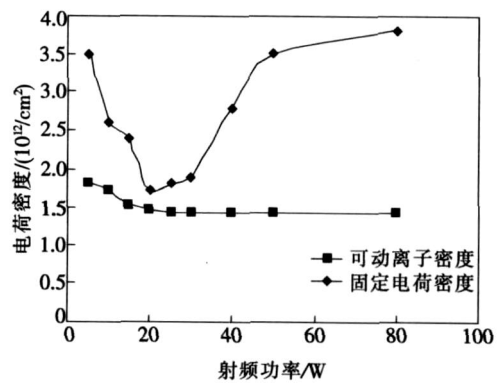


图 3 不同射频功率下膜层的电荷密度  
Fig. 3 Charge density of silicon nitride thin films at different RF power

由图 4 可知, p-Si 与 SiN<sub>x</sub> 薄膜之间的界面态密度在功率小于 20 W 时较小,此后增大较快。

原因在于,当射频功率较小时,p-Si 与 SiN<sub>x</sub> 界面间未饱和的悬挂键少,等离子体对基片的损伤小,所以界面态密度小。随着功率的增加,薄膜中的氢含量减少,未饱和的悬挂键增多,当功率达到一定值(20 W)以后,悬挂键数目显著增多,且此时等离子体对基片表面的损伤变得很严重,使得界面态密度显著增大。

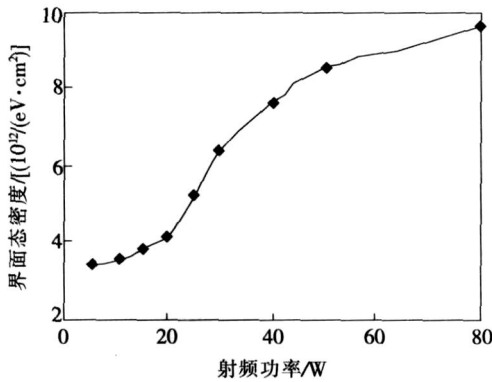


图 4 不同射频功率下膜层间的界面态密度

Fig. 4 Interface state density between SiN<sub>x</sub> thin films and p-Si at different RF power

### 3.3 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比对 p-Si 与 SiN<sub>x</sub> 薄膜界面特性的影响

从图 5 中可以看出,当 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比从 2 上升到 6、从 10 上升到 12 时,曲线呈上升趋势,即固定电荷密度增大。但在 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比为 9 时,固定电荷密度达到一个极小值。这是由于随着 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比的增大,SiH<sub>4</sub> 浓度降低,膜层中 Si—H 键减少,固定电荷密度应增大,图中的曲线也说明了这一点。但当 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比为 9 时,膜层中的 Si—H 键与 N—H 键有

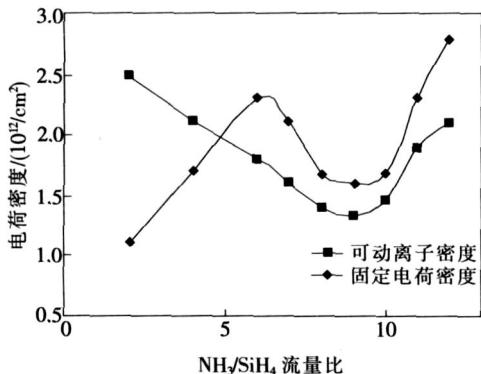


图 5 不同 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比下膜层中的电荷密度

Fig. 5 Charge density of SiN<sub>x</sub> films at different NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> ratio

个适当的比值,而且 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 的比值也会影响到薄膜的沉积速率,对膜的致密性有一定的影响,所以在 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比为 9 时固定电荷密度有个极小值。

而随着 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比的增大,SiN<sub>x</sub> 薄膜中的可动离子密度先减小到某一最小值后又呈增大的趋势。原因在于,在 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比较小时,薄膜中含有大量的 H,导致膜层中的可动离子密度较大。随着 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比的增大,膜层中的 H 含量减小,当流量比为 9 左右时,可动离子密度达到最小值。随着流量比的继续增大,薄膜结构疏松,导致可动离子密度增大。

从图 6 中可以看出,p-Si 与 SiN<sub>x</sub> 间的界面态密度随着 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比的增加而单调增加。原因在于,随着 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比的增加,膜层中 H 含量减少,界面层中未饱和的悬挂键增多,导致界面态密度增大。

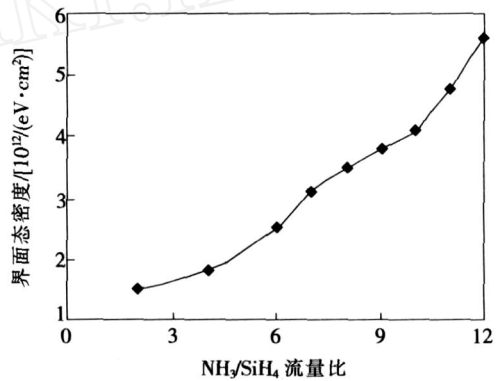


图 6 不同 NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比下的界面态密度

Fig. 6 Interface state density between SiN<sub>x</sub> thin films and p-Si at different NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> ratio

## 4 结 论

在低温下,以 NH<sub>3</sub> 和 SiH<sub>4</sub> 为反应源气体,采用射频等离子体增强化学气相沉积 (RF-PECVD) 法在多晶硅 (p-Si) 衬底上制备出了高电阻率、高介电常数、界面特性好、钝化性能好的非晶态 SiN<sub>x</sub> 薄膜。系统地分析讨论了沉积温度、射频功率、NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> 流量比对 SiN<sub>x</sub> 薄膜界面特性的影响。实验制备的 SiN<sub>x</sub> 薄膜层中的固定电荷密度、可动离子密度以及 SiN<sub>x</sub> 与 p-Si 之间的界面态密度分别为  $1.7 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 、 $1.4 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ 、 $3.5 \times 10^{12}/(\text{eV} \cdot \text{cm}^2)$ 。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] 王长安,熊智斌,张少强,等. 薄膜对 TFT 阈值电压的影响 [J]. 光电子技术,1997,17(1):45-49.
- [ 2 ] 金子基二. 液晶电视 [M]. 田建民,译. 北京:电子工业出版社,1991:247-249.
- [ 3 ] Shur M, Hack M. Physics of amorphous silicon based alloy field-effect transistors [J]. *Appl. Phys.*, 1984,55(10):3831-3842.
- [ 4 ] 刘洪武. 三端子有源矩阵液晶显示器 [J]. 液晶与显示,1998,13(3):208-226.
- [ 5 ] 刘金娥,廖燕平,荆海,等. TFT 阈值电压漂移机理及其在驱动 OLED 显示中的补偿设计 [J]. 液晶与显示,2006,21(5):491-496.
- [ 6 ] Lee KH, Park L K, Jang J. High-performance polycrystalline silicon thin film transistor with a silicon nitride gate insulator [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1998, 45(12):2548-2551.
- [ 7 ] Masuko S, Hara T, Mitagata M. Silicon nitride layers made by EBEP and their application to a-Si TFTS [J]. *International Semiconductor Conference*, 2000, 45(1):355-358.
- [ 8 ] Choi B D, Kim Won-Sik, So Myeong-Seob, et al. Stability enhancement of polysilicon thin-film transistors using stacked plasma-enhanced chemical vapor deposited SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> gate dielectric [J]. *Japan Society of Appl. Phys.*, 2005, 44(1):6417-6420.
- [ 9 ] 刘恩科,朱秉升,罗晋生,等. 半导体物理学 [M]. 北京:国防工业出版社,1999:214-216.
- [ 10 ] 张化福,祁康成,袁玉珍,等. p-Si TFT 栅绝缘层用氮化硅薄膜的研究 [J]. 半导体技术,2007,32(7):602-605.

## Interface Properties of Silicon Nitride Thin Films as Gate Insulator Layer for p-Si Thin Film Transistor

ZHANG Hua-fu<sup>1</sup>, YUAN Yu-zhen<sup>1</sup>, ZANG Yong-li<sup>1</sup>, QI Kang-cheng<sup>2</sup>

(1. School of Physics and Optic-electronic Information, University of Technology of Shandong, Zibo 255049, China, E-mail: huabaozhang@126.com;

2. School of Optic-electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

### Abstract

Radio frequency plasma-enhanced chemical-vapor deposited silicon nitride thin films on p-Si wafers have been prepared by the reaction of NH<sub>3</sub> and SiH<sub>4</sub>. The influences of deposition temperature, RF power and NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> ratio on interface properties have been systematically discussed. It is found that deposition temperature and RF power influence interface properties of silicon nitride thin films by affecting the Si/N ratios and H content, while NH<sub>3</sub>/SiH<sub>4</sub> ratio takes effect by mainly affecting H content. The fixation charge density of SiN<sub>x</sub> thin films is about  $1.7 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ , the mobile ion density is about  $1.4 \times 10^{12}/\text{cm}^2$ , the interface state density between SiN<sub>x</sub> thin films and p-Si is about  $3.5 \times 10^{12}/\text{eV} \cdot \text{cm}^2$ , the interface properties of the SiN<sub>x</sub> films have attained the requirement as gate insulator layer for p-Si thin film transistor.

**Key words**: thin film transistor; silicon nitride thin films; interface properties

作者简介:张化福(1977-),男,山东新泰人,硕士,讲师,研究方向为平板显示技术和镀膜技术。