第13卷 第6期
1992年6月

半 导 体 学 报
CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS

Vol. 13, No. 6
June, 1992

PECVD SiON 膜的性质及其在双层互连工艺中的应用

曾天亮 陈 平 江志庚 李志彭
(中国科学院上海冶金研究所,上海,200233)

1991年3月25日收到,5月27日修改定稿

我们在研制和生产双层布线的 3μm CMOS LSI 器件时,采用了 PECVD SiON (等离子增强化学气相沉积的氮氧化硅)膜作金属层之间的绝缘层. 这种薄膜具有很小的压应力,很低的针孔密度,良好的台阶覆盖性等优点. 这种绝缘膜是采用 PECVD 沉积工艺,以氮冲稀的低浓度 SiH_4(3%)和 N_2O 气体为原料制得的.

本文着重介绍 PECVD SiON 膜的性质及其在双层互连工艺中的应用.

EEACC: 2550

一、前 言

目前,国内外在发展 LSI 和 VLSI 器件过程中,为了满足降低芯片面积,提高速度、集成密度和可靠性的要求,多采用双层乃至多层金属布线工艺. 为此,人们一直对金属层之间的绝缘膜,以及与此有关的多层布线工艺进行广泛深入的研究.

多层金属布线层之间的绝缘膜主要是: (1) APCVD (常压化学气相沉积)工艺制备的 PSG (磷硅玻璃)和 BPSG (硼磷硅玻璃)膜; (2) PECVD (等离子增强化学气相沉积)工艺制备的 SiO_2 (二氧化硅)、SiON (氮氧化硅)和 SiN (氮化硅)膜; (3)聚酰亚胺类热聚合树脂膜.

采用 SiH_4-NH_3 或 SiH_4-NH_3-N_2O 作原料制备的 PECVD SiN 或 SiON 膜含有很多的氢,而这些氢在高温退火时将会逐渐析出,导致膜层内形成气泡或裂纹,而且降低了膜对底层的粘附力[1-5]. 我们的实验也证明,PECVD SiN 膜在铝合金化的温度下退火时,出现了严重的开裂现象. 采用 SiH_4-N_2 虽也能沉积 PECVD SiN 膜,而且这类膜含有较少的氢,与氮键合的氢也很少,但这种沉积过程的放电反应很难控制,制得的膜又具有低的击穿强度,并且在台阶底部还会出现异常的刻蚀现象[6,7].

我们在研制和生产双层金属布线的 3μm CMOS LSI 器件时,在多晶硅与第一层铝线之间用 APCVD BPSG(3%B,7% P)膜作层间绝缘层,这层膜在 900℃ 的温度下就有良好的回流特性. 有关这种膜的沉积及其性质,我们已作过详细介绍[8,9],这里不再赘述. 而在第一层铝线与第二层铝线之间,则用 PECVD SiON 作层间绝缘层. 它具有很小的

压应力、很低的针孔密度和良好的台阶覆盖性等特点，它是采用 PECVD 沉积工艺，以氮气冲稀的低浓度 SiH_4(3%) 和 N_2O 气体为原料制备的.

本文着重介绍 PECVD SiON 膜的性质及其在双层互连工艺中的应用.

二、实 验 方 法

氮冲稀的低浓度 SiH_4(3%) 和 N_2O 经充分混合后进入平行板型 PECVD 反应室，在辉光放电反应中，在加热的衬底上形成 SiON 膜.

N_2O 与 SiH_4 的流量比约为 17:1. PECVD SiON 膜是在 250—300℃、80—90Pa 的条件下，以 200—250 Å/分的速率沉积到实验衬底片上. 膜在 400℃ 的氮气中退火 20 分钟.

用激光平整度检测仪测量退火前后膜的应力，用椭圆偏振仪和膜厚仪检测膜的折射率和厚度，用红外光谱仪和俄歇能谱仪检测膜的成分，用扫描电镜(SEM)检察膜的覆盖台阶性. 此外，还用 C-V 法检测了膜的钝化效果，并与 APCVD BPSG 和 SiO_2 的作了比较.

三、结 果 与 讨 论

1. PECVD SiON 膜的性质

采用多层金属布线工艺制备 LSI 和 VLSI 器件时，将会遇到很多技术问题，其中主要的是断路、短路和表面效应等问题. 为了解决这些问题，人们对金属层之间的绝缘膜提出了很多要求，具体如下:

(1) 优良的绝缘性: 介质击穿强度高，介电常数和针孔密度低;

(2) 内应力低: 最好具有很小的压应力，以避免膜在继后的热处理过程中出现开裂现象;

(3) 覆盖台阶性好: 在所选取的最佳沉积条件下，膜能将底层台阶构形很好地覆盖，而且又不致在金属层中长出大颗粒小丘;

(4) 易于刻蚀通孔. 通孔刻蚀后，不致增加两层金属间的接触电阻;

(5) 具有优良的俘获或阻挡 Na^+ 的能力;

(6) 膜的成分和厚度易于控制，重复性和均匀性好;

(7) 成本低，利于工厂大批量生产.

上述七点是选取多层布线层间绝缘膜的基本条件. 通过研制和生产 3μm CMOS LSI 器件过程，充分证明了我们沉积的 PECVD SiON 膜能够很好地满足这些要求. 我们的实验结果表明，PECVD SiON 具有如下一些特点:

(1) 具有很低的压应力，即使较厚的膜层在继后的热处理过程中也不会出现裂纹;

(2) 绝缘性好;

(3) 采用等离子干法刻蚀工艺，通孔易于刻蚀，图形尺寸易于控制;

(4) 有很少的可动电荷;

(5) 沉积时，成分和厚度易于控制，纵向成分极为均匀，重复性好.

现将 PECVD SiON 膜的性质测量结果列于表 1. 表中 APCVD SiO_2 和 BPSG 的一并列出，以资比较.

表 1　CVD 薄膜的性质

性　质	PECVD SiON	BPSG (3%B,7%P)	SiO_2
介电常数	4.1	4.0	3.9
介电强度	2×10^7	8.3×10^6	4.5×10^6
直流电阻率(Ω-cm),25℃	2.5×10^{14}	8.6×10^{14}	3.5×10^{14}
红外吸收峰(μ)	9.7—11.4	7.3—7.6	9.2—9.3
针孔密度(cm^{-2})	≤2	≤5	≥20
折射率	1.5—1.6	1.46—1.48	1.44
固定电荷数 (cm^{-2})	1.3×10^{11}	5×10^{11}	9×10^{11}
可动电荷数(cm^{-2})	2×10^{10}	3×10^{10}	3×10^{11}
热致开裂(≥550℃)	没开裂	没开裂	严重开裂
*腐蚀速率(埃/秒)40℃	200	42	120
膜厚均匀性(片内和片间)	±2%	±7%	±7%
应力状态	压应力	张应力	张应力

* BHF $HF:NH_4F:H_2O = 3:6:10$

从 PECVD SiON 膜的红外光谱(图 1)和俄歇能谱成分分析(图 2) 中可以看到，这种膜约含有 40atom%O 和 10atom%N，从图 1 中还可以发现，在 2270cm^{-1} 和 3380cm^{-1}处出现 Si-H 和 N-H 吸收峰，证明膜中还含有极少量的 H_2. 从图 3 中可以看到，这种膜具有良好的覆盖台阶性.

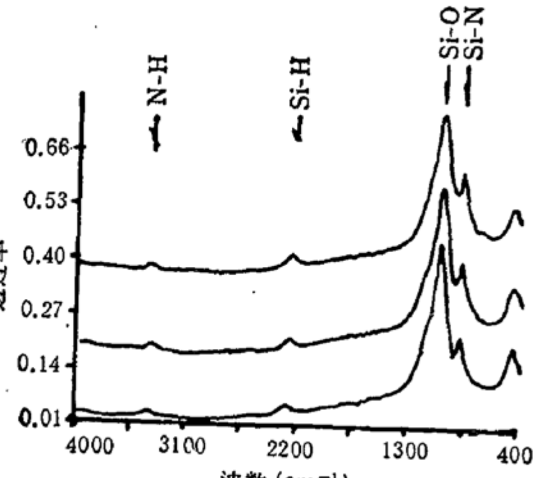

图 1　PECVD SiON 膜的红外光谱

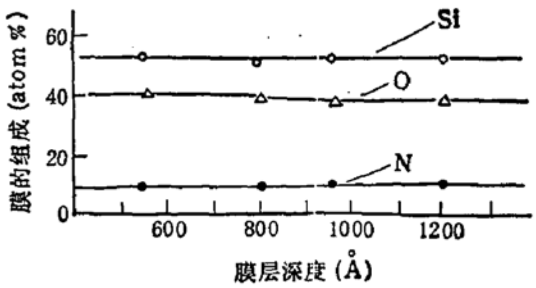

图 2　PECVD SiON 膜层的纵向成分分布

2. PECVD SiON 膜中的应力

众所周知，介质膜沉积到加热的硅衬底片上时，由于应力的作用，硅片的平整度将发生变化. 我们正是通过测量硅片在薄膜沉积前后的平整度变化，测得各种薄膜的应力的. 当测得硅片平整度之差，即弯曲高度差 h 之后，就可用下列公式算出各种膜的应力 F.

$$F = E/(1-\nu)T_s^2h/3T_fR^2,$$

式中：对 (100) 晶向的硅片，$E/(1-\nu)_{(100)} = 1.805 \times 10^7 N/cm^2$[10]；$T_s$——硅片厚度，$R$——硅片半径，$T_f$——薄膜厚度。

当然测量薄膜应力的方法还有很多，但采用上述方法，对于监控膜的沉积工艺参数甚为简便。

(1) *气体流量比与应力的关系*

在沉积 PECVD SiON 膜时，如改变 $N_2O/(SiH_4 + N_2)$ 的流量比，膜的应力变化如图 4 所示，应力明显地随比值的增加而逐渐减小，当比值大于 0.8 时，应力状态将由压应力变成张应力。由于膜的应力与膜的结构密切相关，因此这种应力状态的变化说明沉积膜的结构可能已产生了某些变化。从俄歇能谱分析中可以发现，随着 N_2O 流量增大，样品中的氧含量略有增加。不过在器件生产过程中，人们通常都要求层间绝缘膜最好具有很小的压应力 $(0.5-3) \times 10^4 N/cm^2$，这对处于张应力状态的铝膜将会获得一些补偿，避免在铝线中形成空洞，并导致铝线断裂，也可以避免介质膜在继后的高温退火过程中出现裂纹。因此在不明显改变膜的成分情况下，采用改变气体流量比的方法来调整膜的应力状态和应力大小比改变 rf 功率和反应室压力的方法更为易行。

(2) *膜厚与应力的关系*

在所选定的工艺条件下沉积厚度不同的 PECVD SiON 膜时，膜中应力的变化如图 5 所示。随着膜的厚度增加，膜中应力随之减小，但是在 1.7μm 以内变化是很小的，约在 $(0.95-3.6) \times 10^4 N/cm^2$ 之间，厚度大于 1μm 之后，应力值变化就更小了。但是将厚度不同的膜置于 400℃ 的氮气中退火 20 分钟后，膜中的应力比相应厚度的沉积态膜的小，而且膜厚超过 1μm 后，退火态膜的应力已处于张应力状态。从上述实验数据充分证明，不论是沉积态膜还是退火态膜的应力与膜厚的关系是不大的，但从退火态膜的应力由压应力状态变为张应力状态这一事实看来，用作双布绝缘膜的 PECVD SiON 的厚度最好不要超过 1μm。

3. 针孔密度的控制

在沉积 PECVD SiON 膜时，倘若在硅片表面上或在反应气流中存有微粒沾污物，如灰尘或是在气路中残存的 SiH_4 与空气中的 O_2 反应生成的 SiO_2 粉粒被气流带到硅片表面上，则会在沉积膜中引发针孔或小丘之类的缺陷。这类缺陷将使膜的绝缘性降低，甚至将会引起双层金属布线间产生短路，器件的成品率、稳定性和可靠性将会大大降低。

为了消除或尽量减少这类沾污物，使沉积膜的针孔密度显著降低，我们在沉积 SiON 膜时，采用了下列措施：

(1) 在沉积 SiON 膜时，应在高度净化的环境中装取硅片；

(2) 尽可能控制辉光放电现象只出现在两平行电极板之间，反应只在衬底片表面进行；

(3) 反应器要勤清洗，尽量避免反应器壁和电极板上沉积物落到硅片表面上；

(4) 沉积操作结束后，尽量将气路管道内残存的 SiH_4 抽净，在关泵的同时通入高纯氮气，让氮气在管路中保持 1—2 大气压的正压，避免空气进入。

采用上述措施后，我们可以稳定地沉积出绝缘性好，针孔密度很低 ($\leqslant 2/cm^2$) 的双层金属布线层之间的绝缘膜。

从图 6 就可以看到，这种 SiON 膜的针孔密度随膜的厚度增加而急剧地降低，超过 2500—3000 Å 后，膜继续增厚时，针孔密度的降低就不明显了.

由此可见，从针孔和应力实验结果看来，用 PECVD SiON 膜作双层金属布线层间的绝缘膜时，其厚在 8000 Å ～1μm 之间就足够了.

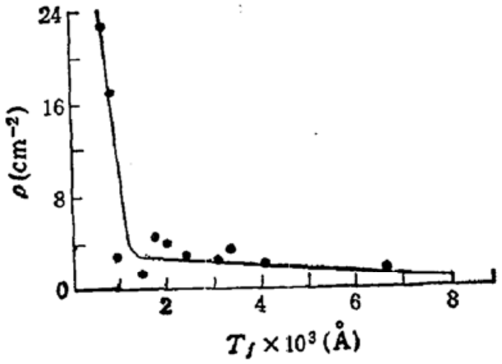

图 6 针孔密度与膜厚的关系

四、小 结

在我们研制和生产的 3μm CMOS LSI 器件上用氮气冲稀的低浓度 SiH_4 (3%) 和 N_2O 作原料制得的 PECVD SiON 膜已成功地用作为金属层间绝缘层. 它具有重复性和均匀性好，针孔密度和应力低，高温退火时不出现裂纹，覆盖台阶好，易于刻蚀通孔和通孔尺寸易于控制等特性. 目前，我们除用这种膜作金属层间绝缘层外，还用作为器件的表面钝化保护层.

致谢 本实验中的红外光谱、C-V 检测和俄歇能谱的数据分别由我所的蔡培新、何德湛和上海计量局的邹惠民同志提供，特此致谢.

参 考 文 献

[1] K. M. Mar and G.M.Samuelson, *Solid State Technol.*, **23**(4), 137(1980).
[2] E.P.G.T. and Van de Ven, *Solid state Technol.*, **24**(4), 167(1981).
[3] D.C.Bartle, *et al.*, *Vacuum*, **34**, 315(1981).
[4] C.Blaauw, *et al.*, *J.Electron. Mat.*, **13**,251(1984).
[5] C.Blaauw, *J.Electrochem. Soc.*, **131**, 1114(1984).
[6] M.Maeda and H.Nakamura, *Thin Solid Films*, **112**, 279(1984).
[7] R.S.Rosler, W.C.Benzing and J.Baldo, *Solid State Technol.*, **19**,45(1976).
[8] 曾天亮，江志庚，半导体学报，**7**(4)，374(1986).
[9] 曾天亮，陈平等，微电子学与计算机，**6**(2)，12(1989).
[10] W.A.Brantley, *J.Appl. Phys.*, **44**(1), 534(1973).

Properties of PECVD SiON Films and Its Applications in Two Level Interconnection Technology

Zeng Tianliang, Chen Ping, Jiang Zhigeng and Li Zhipeng

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai, 200233)

Abstract

PECVD SiON films have been used to develop and fabricate 3μm CMOS LSI devices as an intermetal dielectric. The films have advantages of slightly compressive stress, very low pinhole density and superior step coverage. The SiON films are deposited by plasma enhanced chemical vapor deposition of low concentration SiH_4(3%) diluted by N_2 with N_2O.

This paper lays emphasis on the properties of PECVD SiON films and its applications in two level interconnection technology.

EEACC: 2550