

HCl氧化降低硅靶视像管的暗电流

在干氧和微量HCl混合气氛中生长靶的氧化层,能明显降低硅靶视像管的暗电流。在标准的1吋硅靶视像管中,已经获得了小于0.6nA的暗电流,比之已发表的一般硅靶管的暗流要小十倍。发现暗电流的降低主要是由于降低了表面产生速率,增加了产生的少子寿命,而对于这种低暗电流的靶,体内产生电流将是暗电流的主要成分。同时还发现将HCl氧化的硅片在氧化后或在硼扩再分布后进行氮退火,则有助于降低暗电流,减少电视图像中的亮斑点。

1 引言

硅靶视像管^[1-3]的靶面是由硅光电二极管阵列所组成。硅靶管有很多优点诸如在宽的光谱范围内有高的量子效率,不存在由于强光入射而引起的灼伤,没有光电导惰性,使用寿命长。然而,同别的视像管相比,较大的暗电流及其温度依赖性令人讨厌的问题。典型的1吋硅靶管室温(23℃)时的暗流为5~10nA,每当温度增高9~10℃,暗流就增加一倍。如果硅靶管在55℃的靶温下工作,则暗流可达40~80nA,这就显著地降低了信噪比或谓之动态范围变窄。若摄像管在夏天户外使用,靶温有可能达到55℃。暗流对温度的依赖关系主要起因于本征载流子浓度对温度的依赖关系,而且这种关系无法控制。因此为了获得有用的硅靶管,重要的问题是减少暗电流产生中心的密度。

最近发表的文章^[4]指出,在干氧和微量HCl的混合气体中氧化硅片,能够降低Si—SiO₂界面的界面态密度。位于禁带中央范围的界面态起暗电流产生中心的作用。因而

在制备靶面的工艺过程中采用这种氧化方法可望降低暗电流。本文主要从降低暗流和减少电视图像白斑的角度来讨论用HCl氧化生长氧化层制得的硅靶视像管的特性。

2 实验方法

用于制备硅靶管靶面的硅片是直拉无位错(111)晶面的硅单晶片。掺杂剂是磷,电阻率6~18Ω·cm。将上述购买来的化学抛光片在1200℃干氧或干氧加不同量HCl混合气体中氧化以生成1μ厚的SiO₂层。HCl浓度变化范围为0.1~1.0% (体积比)。然后在此氧化片上进行标准的平面工艺包括光刻、硼予淀积和硼再分布以形成平面二极管阵列。硼扩再分布温度1140℃,通干氧有时也通干氧加微量HCl的混合气体。一部分HCl氧化后的片子在1200℃作氮退火处理,有时则在硼再分布后于1140℃作氮退火处理。然后将二极管阵列背面用化学腐蚀法减薄,并进行磷扩散以形成N⁺层。在阵列面蒸发CeO₂膜电阻海后作氮退火处理。用这种方法制得二极管阵列的剖面图示于图1。对各个靶面

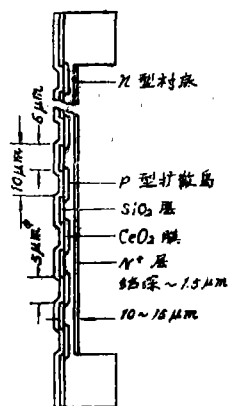


图1 硅二极管靶剖面图

在不破坏真空度的状态下进行动态测试获得暗电流大小和靶的其它特性，测试的靶面正好位于1吋电子枪的聚焦面上。有的硅片不光刻不蒸 C_6O_2 ，而作成如图2所示的MOS电容器。用1MHZ的瞬态MOS电容法^[1]测量MOS电容的表面产生速率和体内产生的少子寿命。

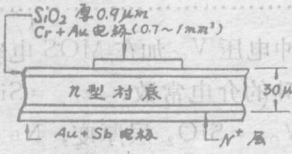


图2 MOS电容器剖面图

3 实验结果和讨论

(1) 用HCl氧化和HCl再分布降低暗电流。

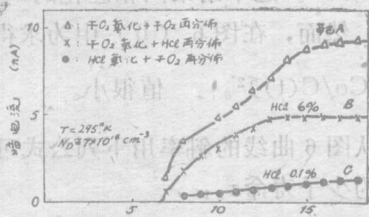


图3 暗流和靶压关系曲线。显然加入HCl降低了暗流

本节所获得的实验结果是对应于那些不经氮退火处理的靶面，只有一个例外如图4所示。图3给出了三种靶面和靶压 V_T 的关系曲线。由图可知，用HCl氧化或HCl再分布都降低了暗流。干氧氧化的靶面在 $V_T=13\sim 15V$ 时暗流开始饱和，而HCl氧化的靶面其暗流随靶压单调增加。对标准的1吋管扫描面积($12.8\times 9.6mm^2$)HCl氧化靶的暗流只有 $0.56nA$ ($V_T=10V$)。这要比通常靶的暗流小十倍。如图4所示那样，HCl浓度在 $0.1\sim 0.3\%$ 之间都能获得如此低的暗流，此时 $V_T=10V$ 。然而对HCl浓度高于 0.35% ，暗流显著增加，当高于 0.45% 时，由于在缓冲的HF中腐蚀扩散窗口时将氧化

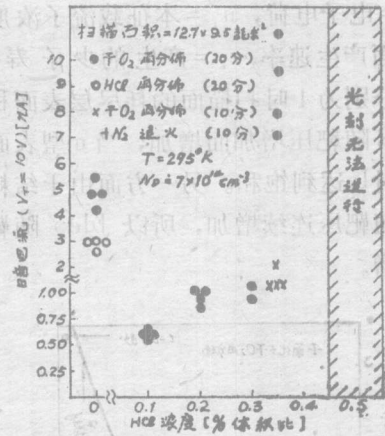


图4 $V_T=10V$ 时的暗流和HCl浓度的关系曲线。扫描面积 $12.7\times 9.5mm^2$

层全部腐蚀掉，因此不能在氧化层上刻出硼扩散的窗口。图5是分别用于干氧化加干氧再分布和HCl氧化加干氧再分布得到的MOS电容器瞬态电容曲线。图6(a)和(b)是对图5中两条曲线画出的众所周知的Zerpst图^[5]。

硅靶管的暗流 I_d 的表示式为：

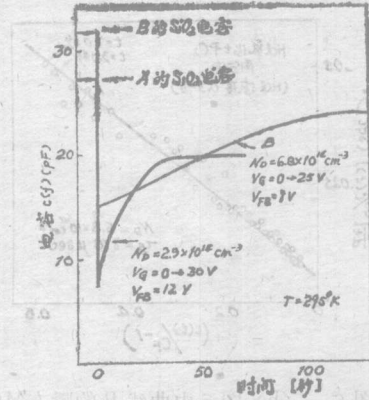


图5 瞬态MOS电容曲线

曲线A: 干 O_2 氧化+干 O_2 再分布

曲线B: HCl氧化(0.3%)+干 O_2 再分布

$$I_d = I_s + I_{d.e.p} \dots \dots \dots (1)$$

式中 I_s 和 $I_{d.e.p}$ 分别是表面产生电流和体内产生电流。它们分别由下列公式给出^[3]：

$$I_s = \frac{1}{2} e n_i S_o A \dots \dots \dots (2)$$

$$I_{d.e.p} = \frac{1}{2} e B n_i / \tau_k \dots \dots \dots (3)$$

其中 $e =$ 电子电荷, $n_i =$ 本征载流子浓度, $S_0 =$ 表面产生速率, $\tau_s =$ 产生的少子寿命。A 和 B 分别为 1 吋扫描面的耗尽层表面积和体积。 I_s 随靶压增加而增加, 当 n 型表面完全耗尽时 I_s 达到饱和。另一方面由于结耗尽层宽度随靶压连续增加, 所以 I_{dep} 随靶压单调递增。

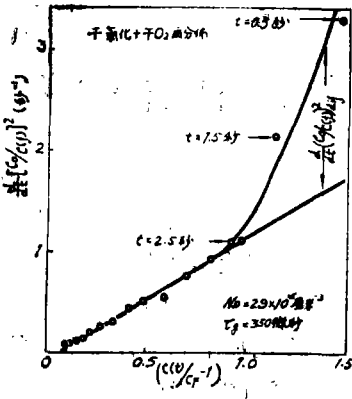


图 6 (a) 图 5 中曲线 A 的瞬态 MOS 电容曲线的 Zerpst 图

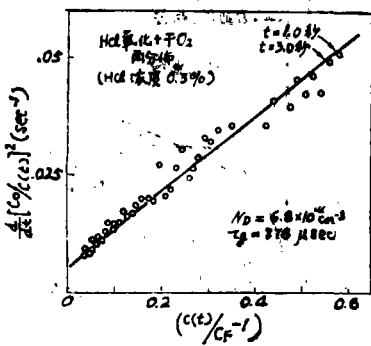


图 6 (b) 图 5 中曲线 B 的瞬态 MOS 电容曲线的 Zerpst 图

对于干氧化加干氧再分布的靶, 由式 (2) 和饱和暗流值 (图 3 曲线 A) 计算得到其表面产生速率 $S_0 = 13.2 \text{ cm/sec}$ 。而对于 HCl 氧化的靶, 虽然在 $V_T = 10 \text{ V}$ 时暗流一直是增加的, 但是由于 HCl 氧化的 MOS 电容器其平带电压为 8 V , 所以表面产生电流可以看作是饱和的。如假设体产生电流为 I_b , 则由式 (2) 和图 3 曲线 C 的暗流值可

以求得最大表面复合速率。如此求得 $V_T = 10 \text{ V}$ 时, $S_0 = 0.4 \text{ cm/sec}$ 。在 MOS 器件领域中表面产生速率小于 1 cm/sec 是极佳的结果。根据图 6 (a) 并应用下列表示式可以求得表面产生速率 $S(t)$:

$$S(t) = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_s N_D W_{ox}}{\epsilon_{ox} n_i} \frac{d}{dt} [C_0/C(t)]^2 \dots \dots \dots (4)$$

式中 $t =$ 脉冲电压 V_G 加在 MOS 电容器的时间, $\epsilon_s =$ 硅的介电常数, $\epsilon_{ox} = \text{SiO}_2$ 的介电常数, $W_{ox} = \text{SiO}_2$ 层厚度, $N_D =$ 施主浓度, $C(t) =$ 时间 t 时的 MOS 电容量, $C_0 = \text{SiO}_2$ 层电容, $\frac{d}{dt} [C_0/c(t)]^2$ 是在 t 时刻 $\frac{d}{dt} [C_0/c(t)]^2$ 同直线延长线上对应值之差, 正如图 6 (a) 所示那样。因而由图 6 (a) 将 $S(t)$ 外推到 $t=0$ 得到 $S(0) = 7.3 \text{ cm/sec}$ 。这个结果同相应靶的 S_0 数值相符合。然而, 在图 6 (b) 中为求得 $S(0)$ 的 $\frac{d}{dt} [C_0/C(t)]^2$ 值很小。

从图 6 曲线的斜率用下列公式可以计得产生的少子寿命 τ_s :

$$\tau_s = 2m \frac{n_i}{N_D} \frac{C_0}{C_F} \dots \dots \dots (5)$$

式中 $m = \left[\frac{C_F}{C(t)} - 1 \right] / \frac{d}{dt} \left[\frac{C_0}{C(t)} \right]^2$, $C_F =$ 瞬态 MOS 电容的最终值。因而对图 6 (a) 和图 6 (b) 分别求得 τ_s 为 $350 \mu\text{sec}$ 和 $878 \mu\text{sec}$ 。

当结的耗尽区扩展到整个 n 型硅表面时, 耗尽区体积 B 可表示为结耗尽区宽度同扫描面积的乘积。因为 10 V 靶压的结耗尽区宽约为 4.6μ , 所以对于目前所用电阻率的硅片 ($N_D \cong 7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) 这种情形是符合实际的。因此对 1 吋管的扫描面积, 干氧化加干氧再分布和 HCl 氧化加干氧再分布分别计得相应靶的暗流 $I_{dep} \cong 1.8 \text{ nA}$ ($\tau_s = 350 \mu\text{sec}$) 和 $I_{dep} = 0.73 \text{ nA}$ ($\tau_s = 878 \mu\text{sec}$)。由此可见, 对于图 3 的 A 靶, I_{dep} 只占总暗流的一小部分, 而对于 HCl 氧化的靶, I_{dep} 基

本上等于总暗电流(见图4)。HCl氧化加干氧再分布做成的MOS电容器(HCl浓度0.1~0.3%),用瞬态MOS电容法测得的产生少子寿命普遍在500~1200 μ sec之间。因而干氧氧化靶的暗流主要是表面产生电流,而暗流很小的HCl氧化靶其体内产生电流大于表面产生电流。

(2) 氮退火效应

HCl氧化在硼扩再分布之后作氮退火处理能进一步降低暗电流,结果示于图4。同时还观察到退火结果减少了电视图像中白斑的数目。因而对HCl氧化片已采用氮退火工艺。图7给出了氮退火导致暗流下降。由图可见, $V_T=15V$ 的暗流比10V的大不几倍,而且氮退火降低暗流的作用仅对用较

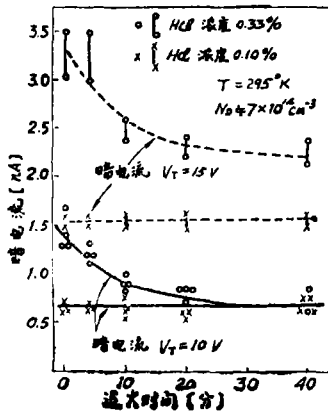


图7 氮退火降低暗流效应,对于较高HCl浓度(0.33%)氧化制得靶氧退火能降低它的暗流。而对于较低HCl浓度(0.10%)氧化制得的靶,氮退火与其暗流无关

高HCl浓度(0.33%)氧化片制得的靶面有效。氮退火也会减少这种靶在电视图像中的白斑数,而对于较低HCl浓度(0.1%)氧化的靶,即使不经退火,电视图像中也几乎没有缺陷。看来由于退火引起暗流的降低是同白斑数的减少有关。MOS电容的平带电压在任何退火条件下都降至6.5~8.5V之间,因此 $V_T=10V$ 时表面产生电流达到饱和。上述事实表明对于任何靶,当 $V_T=15V$ 时其暗流主要是体内产生电流。因而我们认为暗电流和白斑数的减少都是由于产生少子寿命增加的结果。

4 结 论

用干氧和微量HCl气体的混合气氛氧化制得的靶面所做成的硅视像管,暗电流显著降低了。对于1吋管扫描面积,暗电流小于0.6nA,这比通常硅视像管的暗流小十倍。发现暗流的降低是由于表面产生速率降低和产生少子寿命增加的结果,而且对低暗流的靶来说,暗电流主要由体内产生电流所贡献。HCl氧化片在氧化或者硼扩再分布之后作氮退火处理,则对降低暗电流和减少白斑数也都是有效的。

译自“Japan, J. A. P”. VOI14, No12

1975. P.1969.

杨晓雯 译
金春植 校