

氮化 H₂-O₂ 合成薄栅介质的击穿特性

刘运龙 刘新宇 韩郑生 海潮和 钱 鹤

(中国科学院微电子中心, 北京 100029)

摘要: 研究了 14~16nm 的 H₂-O₂ 合成薄栅介质击穿特性。实验发现, N₂O 气氛氮化 H₂-O₂ 合成法制备的薄栅介质能够有效地提高栅介质的零时间击穿特性。H₂-O₂ 合成法制备的样品, 其击穿场强分布特性随测试 MOS 电容面积的增加而变差, 而氮化 H₂-O₂ 合成薄栅介质的击穿特性随测试 MOS 电容面积的增加基本保持不变。对于时变击穿, 氮化同样能够明显提高栅介质的击穿电荷及其分布。

关键词: 氮化 H₂-O₂ 合成; 零时间击穿; 时变击穿

EEACC: 2550E; 2560R; 2570D

中图分类号: TN 406

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2002)11-1207-04

1 引言

对于深亚微米 MOS 器件来说, 栅氧化层的电学可靠性已经成为一个非常重要的问题。在 N₂O 中生长的栅介质具有良好的电学特性, 如具有较大的击穿电荷, 可以大幅度地减少界面态等^[1]。直接在 N₂O 中生长氧化物, 会在氧化物体内引入较多的 N, 在氧化层相对薄时饱和。采用两步氮氧化法(O₂/N₂O)能够得到任意厚度的氧化层, 而且生长的栅介质电学性能好, 击穿电荷(Q_{BD})有所提高。同时辐照引入的界面态陷阱(D_{it})显著减少, 提高的程度依赖于 N₂O 氧化过程和温度。N₂O 氮氧化层所表现出的优良特性主要可以归结为在 Si/SiO₂ 界面处 N 的积累, 使 Si—H 弱键和 Si—O 键被 Si—N 代替, 形成更为牢固的结构。

为了提高氮化效率、降低热预算和提高栅介质可靠性, 各种改进的氮化栅技术不断被提出^[2~4]。最近 Liu 等报道了 5nm 氮氧化栅的栅完整性和抗辐射能力^[5]。5nm 氮氧化栅先在湿氧气氛中生长, 然后在 NO 中退火。研究发现这种栅介质在工作电压下

的直流热电子寿命超过 10 年, 抗电离辐照高达 1Mrad(SiO₂)。国内关于含 N 薄栅介质的研究也已经发展起来^[6~8]。文献[9]报导了氮化 H₂-O₂ 合成薄栅介质的抗辐照特性。本文主要研究氮化 H₂-O₂ 合成薄栅介质的零时间击穿特性和时变击穿(TDDB)特性。

2 实验样品的制备

在 p(100)、电阻率为 15~25Ω·cm 衬底硅片上制作样品, 采用 n⁺ 多晶硅栅 MOS 电容结构。在场氧生长完成后, 生长厚度约为 18nm 的牺牲氧化层。用 HF 溶液漂去牺牲氧化层后, 对硅片进行清洗, 然后进行栅氧化工艺。接着进行淀积多晶、n⁺ 注入、光刻多晶、激活退火等工艺, 完成样品的制备。

本文对比研究了二种不同的栅氧化工艺: (1) H₂-O₂ 合成; (2) H₂-O₂ 合成/N₂O 氮化。H₂-O₂ 合成法制备样品的具体工艺条件见表 1。在 H₂-O₂ 合成氧化之前和之后分别增加一定时间的等温干氧氧化, 并且栅介质生长结束后在 N₂ 气氛中退火, 以增加栅介质的击穿电压和可靠性。第二种栅介质生长

刘运龙 男, 1975 年出生, 博士研究生, 主要从事 PD SOI 的器件、工艺研究和抗辐照特性研究。

刘新宇 男, 1973 年出生, 博士研究生, 副研究员, 主要从事 PD/FD SOI 的工艺、电路和抗辐照特性研究。

钱 鹤 男, 1963 年出生, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事深亚微米 CMOS/VLSI 工艺、CMOS/SOI 器件和电路研究。

方法是 H_2-O_2/N_2O 方法, 即在 H_2-O_2 合成低温生长栅介质后在 N_2O 气氛中退火, 目的是为了在栅介质

与单晶硅界面处产生 N 的积累, 降低界面态密度, 提高栅介质的可靠性和抗电离辐射能力.

表 1 不同的薄栅氧化层制备条件

Table 1 Process conditions for different thin gate oxide

工 艺	条 件	氧化层厚度/nm
H_2-O_2 合成	$850^{\circ}C, O_2 5' + H_2-O_2$ 合成氧化 + $O_2 5' + N_2 30'$	16.2
H_2-O_2 合成/ N_2O 氮化	$850^{\circ}C, H_2-O_2$ 合成 + $N_2O 10' + N_2 30'$	14

3 实验结果与讨论

3.1 零时间击穿特性

采用半导体参数测试仪 HP4145A 测试了制备的样品的击穿特性. 将电容样品的衬底接地, 栅极接扫描电压, 使 MOS 电容处于累积状态. 加电压的同时监测流过 MOS 电容的电流. 一旦电流发生突变或电流超过 $1\mu A$ 时认为栅介质发生了击穿, 即栅介质发生零时间击穿. 采用公式 $E_{bd} = (V_{bd} - 1)/t_{ox}$ 计算栅介质的击穿场强, V_{bd} 为击穿时栅介质两端所加电压, t_{ox} 为栅介质厚度, E_{bd} 为发生击穿时介质内部的电场强度. E_{bd} 的大小和分布反映了栅介质的可靠性. 对于二种不同的栅氧化样品, 分别在同一硅片上选取两种不同面积的 MOS 电容进行测量, 测试点都为 140 个. MOS 电容 A 的面积为 $7800\mu m^2$, MOS 电容 B 的面积为 $83000\mu m^2$.

图 1 为测试面积 $7800\mu m^2$ 的 MOS 电容 A 的击穿场强统计分布图. 分别是采用 H_2-O_2 合成和 H_2-O_2/N_2O 二种氧化工艺形成栅介质. 可以看出, 这两种薄栅介质的击穿特性都较好, 且分布比较集中, 非本征击穿现象所占比例很小. 其中 H_2-O_2 合成法制备的样品击穿场强超过 $10MV/cm$ 的测试点占 95%; 氮化 H_2-O_2 合成法制备的样品击穿场强超过 $11MV/cm$ 的测试点占 92%; 氮化样品的栅介质击穿特性要优于没氮化的 H_2-O_2 合成样品.

图 2 是测试面积为 $83000\mu m^2$, 采用二种不同栅介质氧化工艺制备的 MOS 电容 B 的击穿统计分布图. 可以看出, H_2-O_2 合成法制备的样品击穿特性变差, 76% 的测试点击穿场强分布在 $6\sim 10MV/cm$ 的范围内, 且比较分散; 而 H_2-O_2/N_2O 法制备的样品击穿场强分布仍然较为集中, 超过 $10MV/cm$ 的测试点占 80%.

对比图 1 和图 2 可以看出, 在测试面积较小时,

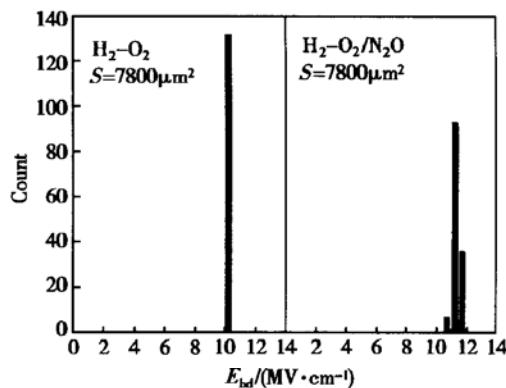


图 1 二种不同薄栅氧化层的 MOS 电容 A 的击穿特性 $S = 7800\mu m^2$

Fig. 1 Breakdown characteristics for different gate oxide samples $S = 7800\mu m^2$

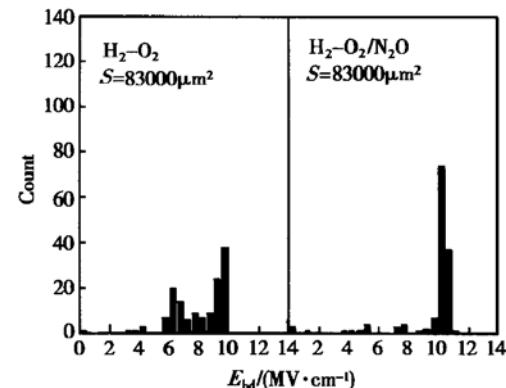


图 2 二种不同薄栅氧化层的 MOS 电容 B 的击穿特性 $S = 83000\mu m^2$

Fig. 2 Breakdown characteristics for different gate oxide samples $S = 83000\mu m^2$

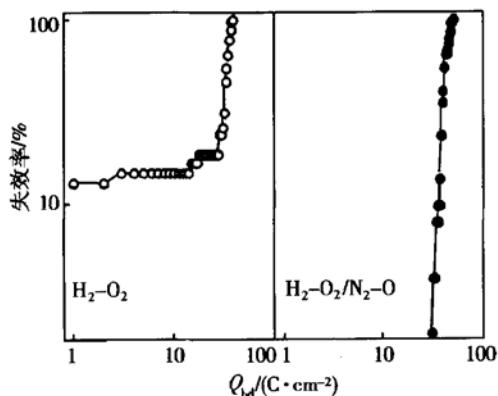
H_2-O_2 合成样品的击穿场强分布非常集中; 而在面积较大时, 变得较为分散. 这是由于随着测试面积的增加, 栅介质内的点缺陷数目增加, 因此栅介质的本身的击穿几率增加. 而氮化后的样品, 随测试面积的增加, 其分布特性变化不大. 可见, 对薄栅介质进行氮化有利于提高其可靠性.

随着超大规模集成电路集成度的增加,集成的元件越来越多,总的栅面积越来越大,这就要求栅氧化层的击穿统计分布集中而不分散。栅介质的击穿性能同界面缺陷、电子和空穴俘获陷阱等点缺陷有关。栅介质内的缺陷越少,其完整性越好。N₂O 氮化引入的 N 同栅介质内的 Si—Si 键和硅悬挂键结合,可降低空穴俘获陷阱密度和电子俘获陷阱密度; Si—N 键代替界面的 Si—H 弱键和 Si—O 应力键,抑制了界面态的产生。氮化既然减少了各种缺陷,抑制了缺陷的产生,也就提高了本征击穿性能。

3.2 TDDB 特性

TDDB 反映了栅介质既与电压、又与时间有关的击穿特性。在栅介质的两端加恒定的 F-N 隧道电流,监测所加电压的变化。当栅介质两端的电压突然下降时,认为氧化层已经被击穿。击穿时间与所施加电流的乘积称为击穿电荷量 Q_{BD} 。 Q_{BD} 是描述栅介质寿命的重要参数之一,它的大小和分布可以反映出栅介质本征击穿性能的优劣。

图 3 为二种样品的 TDDB 特性曲线。所采用的 MOS 电容的面积为 7800 μm², 栅介质两端所加的 F-N 隧道电流为 192 mA/cm², 每种样品的测试点为 50 个左右。由图可见,当累积失效率为 50% 时, H₂-O₂ 合成和 H₂-O₂/N₂O 样品所对应的 Q_{BD} 分别为: 33 C/cm² 和 39 C/cm²。H₂-O₂/N₂O 样品的 Q_{BD} 值和分布都要优于 H₂-O₂ 合成样品。



teristics of N₂O-annealed H₂-O₂ grown oxide. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22(12): 1596 (in Chinese) [刘新宇,

刘运龙, 孙海峰, 等. 氮化 H₂-O₂ 合成薄栅氧化物抗辐照特性. 半导体学报, 2001, 22(12): 1596]

Breakdown Characteristics of N₂O-Annealed H₂-O₂ Grown Thin Gate Oxide

Liu Yunlong, Liu Xinyu, Han Zhengsheng, Hai Chaohe and Qian He

(Microelectronics R&D Center, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The breakdown characteristics of the thin gate oxide (14~16nm) grown in H₂-O₂ ambient are presented. It is found that annealing in N₂O can considerably improve the zero-time breakdown characteristics of the thin gate oxide. For the H₂-O₂ grown gate oxide the breakdown characteristics deteriorate with increase of the tested area. For the N₂O annealed H₂-O₂ grown dielectric the breakdown characteristics almost remain unchanged with increase of the tested area. Nitridation also obviously improves the TDDB characteristics of the thin gate oxide.

Key words: nitridation and H₂-O₂ oxidation; zero-time breakdown; TDDB

EEACC: 2550E; 2560R; 2570D

Article ID: 0253-4177(2002)11-1207-04

Liu Yunlong male, was born in 1975, PhD candidate. His research interests include PD SOI devices, process and their radiation hardness characteristics.

Liu Xinyu male, was born in 1973, PhD, associate professor. His research interests include PD/FD SOI process, circuits and radiation hardness characteristics.

Qian He male, was born in 1963, PhD, professor, tutor of PhD candidates. His research interests include deep sub-micrometer CMOS/VLSI process, CMOS/SOI devices and circuits.

Received 25 February 2002, revised manuscript received 15 April 2002

© 2002 The Chinese Institute of Electronics