

用于纳电子器件的超薄氮氧硅薄膜 的软失效电导*

许铭真 谭长华 何燕冬 段小蓉

(北京大学微电子研究院, 北京 100871)

摘要: 研究了 2.5nm 超薄氮氧硅薄膜的软击穿电导特性. 统计实验结果表明, 软失效电导和软失效时间与环境温度之间均遵从 Arrhenius 规则, 而且软失效电导和软失效时间遵从同一个反对称的规律. 它们源于同一个应力诱生缺陷导电机制.

关键词: 氮氧硅薄膜; 软失效电导; 软失效时间; 缺陷导电

PACC: 7755; 7340Q

中图分类号: TN386

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)S0-0126-03

1 引言

纳米氮氧硅薄膜是纳米尺度硅器件的关键绝缘材料. 在器件正常工作条件下, 超薄氮氧硅膜的软失效是微尺度硅器件可靠性的重要限制性因素. 尽管已有不少模型^[1~5]用于解释氮氧硅薄膜软失效以后的 $I-V$ 特性, 但是, 对其电导特性尚了解得不多. 本文在恒定电压应力和大于 330K 温度应力条件下, 研究了软失效以后的缺陷电流相关的氮氧硅薄膜电导特性.

2 物理模型

众所周知, 氮氧硅薄膜绝缘性能的软失效是与应力过程中缺陷产生相关. 用应力诱生缺陷导电 (SIDC) 模型^[6]可以成功地解释软失效时间的非 Arrhenius 温度特性. 依据 Pseudo 欧姆定律, 软失效以后的单通道漏电电导可以写为:

$$\sigma_{BD} = \Delta I_{SF} / (A_{spot} E_{ox} n) \quad (1)$$

其中 ΔI_{SF} 是软失效时的电流突变量; A_{spot} 是软失效时的漏电通道的横截面积; n 是漏电通道数. E_{ox} 和 A_{spot} 可应用应力诱生缺陷导电模型^[6]和软失效时

间的 Arrhenius 温度特性来确定, n 可以用 Poisson 统计方法^[7]得到.

3 实验结果与讨论

实验用的氮氧硅薄膜的厚度是 2.5nm, 面积是 $1.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$. 用 HP4145B 半导体参数测试仪测量温度为 60~125°C, 电压为 3.7V 时的电流随时间的变化, 如图 1 所示. 软失效以后的电流呈现噪声行为, 漏电通道数已标在图 1 上.

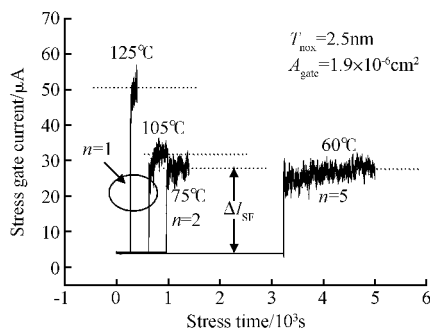


图 1 温度为 60, 75, 105 和 125°C, 电压为 3.7V 时的电流随时间的变化

Fig.1 Stress gate current versus stress time under a constant voltage stress of 3.7V for 60, 75, 105, and 125°C

* 国家重点基础研究发展计划资助项目(批准号: TG2000036503)

许铭真 女, 教授, 研究微尺度器件物理和集成电路材料可靠性. Email: mxu@pku.edu.cn

2004-09-08 收到, 2004-12-15 定稿

图 2 给出软失效时间 (t_{SF}) 和软失效电导 (σ_{SF}) 与温度 (T) 的关系.

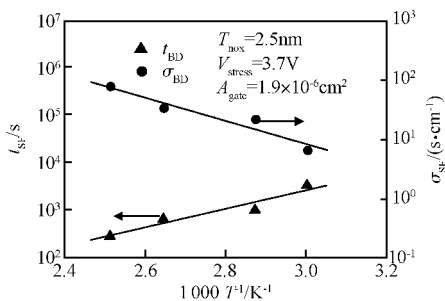


图 2 软失效时间 (t_{SF}) 和软失效电导 (σ_{SF}) 与温度 (T) 的关系

Fig. 2 Temperature dependences of soft failure time (t_{BD}) and soft failure conductivity (σ_{BD})

在 330K 以上的温度区, $\log(t_{SF})-1/T$ 特性是由深能级 (2.00eV) 的类施主缺陷的导电行为决定的, 此缺陷的直径为 2.48nm^[6], 有效激活能与电场之间有 $\Delta E_2 = 2.00 - 0.124E_{ox}$ (MV/cm)^[6]. 于是, 由图 2 得到有效激活能为 0.46eV, $E_{ox} = 12.4$ MV/cm.

图 3 给出在 125°C 和 3.7V 应力条件下测量的一组 10 个器件的电流-时间特性. 每个器件的软失效时的漏电通道数也标在图上.

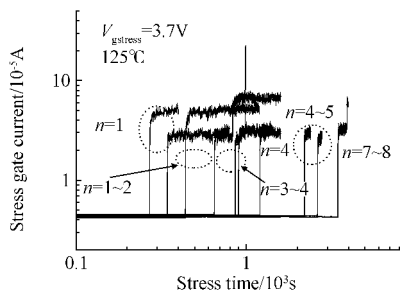


图 3 125°C 和 3.7V 条件下测量的一组 10 个器件的电流-时间特性

Fig. 3 Stress gate current versus stress time when the constant voltage of 3.7V was applied and temperature is 125°C for a group of 10 test devices

图 4 给出归一化的软失效时间 (t_n/t_1) 和软失效电导 (σ_1/σ_n) 的威布尔分布图.

可以看到它们有相同的威布尔斜率 ($\beta = 1.24$), 这说明它们有相同的起源, 即应力诱生缺陷导电机制决定了氮氧硅薄膜的软失效电导.

表 1 是根据应力诱生缺陷导电 (SIDC) 机制^[6] 和类氦模型^[8,9] 的计算结果. 在 330K 以上的温区, 在氮氧硅薄膜与硅体的界面上, 深陷阱能级为 0.25eV^[8], 该缺陷的直径为 8.76nm^[8], 这就是说界

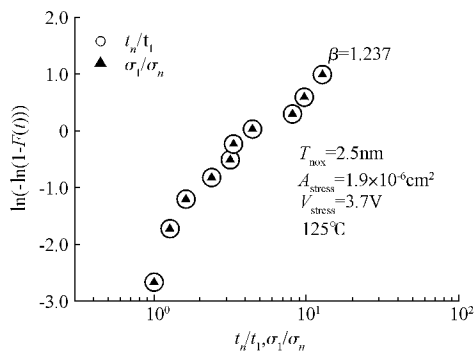


图 4 归一化的软失效时间 (t_n/t_1) 和软失效电导 (σ_1/σ_n) 的威布尔分布

Fig. 4 Weibull distribution of normalized soft failure time \blacktriangle and soft failure conductivity \circ

面处漏电通道的横截面积为 6×10^{-13} cm². 而在氮氧硅薄膜内, 该缺陷的直径为 2.48nm^[9], 这就是说在氮氧硅薄膜内部, 漏电通道的横截面积为 4.8×10^{-14} cm². 所以我们有一个直观的图像: 软失效时, 由氮氧硅薄膜体缺陷和它与硅界面的缺陷形成了亚铃形导电通道, 如图 5 所示.

表 1 类氦模型量子力学计算结果^[8,9]

Table 1 Helium-like model's quantum calculation^[8,9]

	Si	SiO ₂	Si/SiO ₂
m^*/m_0	0.26	0.32	0.29
ϵ/ϵ_0	12	3.9	8.0
a_{H1}^*/nm	1.34	0.19	0.80
a_{H2}^*/nm	2.44	0.413	1.46
Z_{eff}	2.42	2.013	2.02
R_{s1}/nm		1.14	4.80
R_{s2}/nm		2.48	8.76
A_1/cm^2		1.02×10^{-14}	1.82×10^{-13}
A_2/cm^2		4.83×10^{-14}	6.02×10^{-13}
E_1/eV	0.07	0.925	0.108
E_2/eV	0.15	2.028	0.251

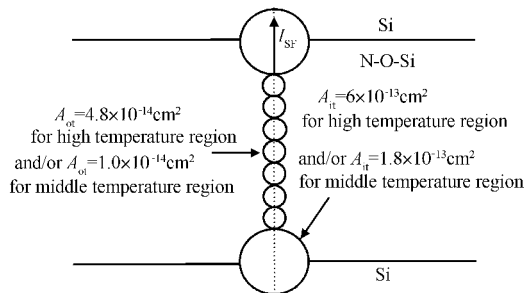


图 5 软失效后的亚铃形导电通道

Fig. 5 A “dumbbell” shape leakage path between contacts at soft failure

可以预言,随着纳米器件尺寸的减小,氮氧硅薄膜与硅体的界面缺陷将显著地影响纳米器件的软失效电导。

4 结 论

用应力诱生缺陷导电机制可以解释软失效以后的氮氧硅薄膜电导特性。实验证明,软失效时间与软失效电导激活能是相等的,其统计分布也是相同的,这说明软失效电导(σ_{SF})和软失效时间(t_{SF})均起源于应力诱生缺陷导电(SIDC)机制。

参 考 文 献

- [1] Lee S H, Cho B J, Kim J C, et al. Quasibreakdown of ultrathin gate oxide under high field stress. IEDM Tech Dig, 1994: 605
- [2] Okadaand J, Taniguchi K. Electrical stress-induced variable range hopping conduction in ultrathin silicon dioxide. Appl Phys Lett, 1997, 70: 351
- [3] Houssa M, Nigam T, Mertens P W, et al. Soft breakdown in ultrathin gate oxides; Correlation with the percolation theory of nonlinear conductors. Appl Phys Lett, 1998, 73: 514
- [4] Miranda E, Suñe J. Analytic model of leakage current through multiple breakdown paths in SiO₂ films. Int Rel Phys Sym Proceedings, 2001: 367
- [5] Nigam T, Martin S, Abusch-Magder D. Temperature dependence and conduction mechanism after analog soft breakdown. Int Rel Phys Proceedings, 2003: 417
- [6] Xu M Z, Tan C H, Li M F. Extended Arrhenius law of time-to-breakdown of ultrathin gate oxides. Appl Phys Lett, 2003, 82: 2482
- [7] Suñe J, Wu E Y. Statistics of successive breakdown events in gate oxides. IEEE Electron Device Lett, 2003, 24(4): 272
- [8] Xu M Z, Tan C H. Low field stress induced double donor defect in MOS structures. Solid State Communications, 2003, 128: 279
- [9] Xu M Z, Tan C H, Mao L F. Double energy level calculation for Si and SiO₂. Solid State Communications, 2001, 117: 365

Conductivity to Soft Failure of N-O-Si Thin Film Used in Nanometer Device*

Xu Mingzhen, Tan Changhua, He Yandong, and Duan Xiaorong

(Institute of Microelectronics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The properties of conductivity at soft failure are studied under constant voltage stress. It is experimentally shown that the logarithm of the conductivity as well as time-to-breakdown follows a reciprocal temperature dependence and a single path conductivity- and time-to-breakdown are also strongly correlated, and obey a simple reciprocal-symmetrical law. They can be explained by stress induced defect conduction mechanism.

Key words: N-O-Si thin film; conductivity to soft failure; time to soft failure; defect conduction

PACC: 7755; 7340Q

Article ID: 0253-4177(2005)S0-0126-03

* Project supported by the State Key Program for Basic Research of China (No. TG2000036503)

Xu Mingzhen female, professor. Her research interests include micro-devices physic and reliability of IC materials. Email: mxu@pku.edu.cn

Received 8 September 2004, revised manuscript received 15 December 2004

©2005 Chinese Institute of Electronics