第11卷 第6期
1990年6月

半 导 体 学 报
CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS

Vol. 11, No. 6
June, 1990

快速热生长二氧化硅-硅结构负偏压温度不稳定性*

陆 德 仁
(中国科学院上海冶金研究所)

J. J. WORTMAN
(美国北卡罗莱那州州立大学电机系)

1989年7月11日收到

研究了快速热生长二氧化硅 MOS 结构的负偏压温度不稳定性. 这种 MOS 结构在未经受过金属化后热处理时有室温负偏压不稳定性,但热处理后,其负偏压温度不稳定性就比电阻炉中热生长二氧化硅 MOS 结构小.研究了快速热生长后在氢气中快速热处理的时间和温度、热生长后在氧气中的冷却方式、金属化后退火的温度对这种不稳定性的影响. 金属化时的辐照不但引进正电荷和界面陷阱,也把负偏压温度不稳定性机构引进了 MOS 结构. 另外还研究了负偏压温度应力后平带电压负向位移的时间演化过程,讨论了负偏压温度不稳定性的机制.

主题词 MOS 结构,负偏压温度不稳定性,快速热氧化

金属氧化物半导体场效应晶体管阈值电压漂移是引起这类器件可靠性问题的主要起因之一. 二氧化硅中的可动离子和慢俘获机制都能引起 MOSFET 阈值电压漂移. 在一定的温度和正偏压(称正温偏)应力的作用下可动离子可以造成平带电压负方向位移. 这种可动离子沾污引起的不稳定,已知道得相当清楚,工艺上已能够用清洁的工艺避免离子沾污. 在一定的温度和负偏压(称负温偏)应力的作用下,慢俘获机制也可以引起平带电压负方向位移,所以这种慢俘获效应亦称作负偏压温度不稳定性. 这种不稳定性首先被 Miura 等[1], Goetzberger 等[2]发现. Deal 等[3]在研究电阻炉制备的 MOS 结构电学特性时也观察到负偏压温度不稳定现象,并总结如下: 不论是 P 型还是 n 型,取向是 (100) 还是(111),在 MOS 结构经受负温偏应力作用后,(1)除了固定电荷的增加,还伴有界面陷阱电荷的增加,(2)这种增加有饱和现象,与可动离子情形相比要慢几个数量级,(3) 增加的正电荷量与原始的固定电荷成比例,(4) 饱和负向平带电压的位移量与电场成比例,而与二氧化硅的厚度无关. Goetzberger 等[4]报道,负偏压温度不稳定性可以被离化辐照加剧. Sinha 等[5]报道,800℃ 至 900℃ 氢气退火可以减小这种不稳定性,还有许多作者研究过常规二氧化硅-硅结构中的慢俘获现象[6-8].

用快速加热工艺生长的二氧化硅膜是一种很有前途的集成电路用栅极介质[9-11].

* 本工作得到国家自然科学基金和美国得克萨斯仪器公司的支持.

MOS 型超大规模集成器件将在更高的电场下工作，这些器件对负温偏应力会更敏感些. Lu 等[12]已经报道除了离化辐照可以引起在室温就可以观察到的负偏压不稳定性外，在氧气或氩气中的快速热处理亦能引起室温负偏压温度不稳定性. 经过金属化后的退火处理，这些二氧化硅-硅结构的室温不稳定性大为减小甚至消失，但是只有经受过氩气中快速退火的结构，对于 300℃ 或更高温度的负温偏应力是稳定的. 然而，关于快速热生长二氧化硅-硅结构负偏压温度不稳定性的一般特性尚未见更多的报道. 本文将作一些补充，并就其机制作些讨论.

用的试样是铝栅 MOS 结构，衬底是取向(100)的 P 型硅片. 用标准的 RCA 方法清洗，氮气中干燥. 快速热氧化物是在一台计算机控制的快速热处理器——Heatpulse 210 M 中生长的，其生长过程是，在硅片进入石英腔后先氩气赶气 120 秒，然后升温到 800℃，稳定 30 秒后再升温到 1150℃，并立即放通氧气生长二氧化硅，氧化 140 秒或 300 秒后再紧跟氧化后在氩气或氧气中的热处理. 正反面的铝电极用溅射技术制备，这种铝淀积过程中试样受到了辐照. 然后用光刻方法做出电极面积为 $1\times10^{-2}cm^2$ 的 MOS 结构. 金属化后的试样在含 10% 氢气的氮气，即形成气体中退火 30 分钟，温度从 360℃ 至 500℃ 不等. 试样中离子沾污量低于 $5\times10^{10}q/cm^2$.

负偏压不稳定性的实验在一套型号为 410C-V plotter 的系统上进行. 先在室温描绘 C-V 曲线，然后在 0 偏压升温，稳定后施加负偏压，到了预定的时间系统会自动通水急速冷却至室温，再描绘 C-V 曲线，与先前的 C-V 曲线比较就得到平带电压的位移 ΔV_{fb}(—)，由此可以算出二氧化硅中硅界面处增加的正电荷量.

研究了快速热氧化后在氩气中快速退火的温度 T_{POA} 和时间 t_{POA}、金属化后退火温度 T_{PMA}、氧化后在氧气中的冷却方式、负温偏应力的电场强度、温度和时间对快速热生长二氧化硅-硅结构负偏压温度不稳定性的影响. 图 1 示出了快速热氧化后在氩气中退火 60 秒钟时的温度对快速二氧化硅-硅结构原始平带电压 $V_{fb}(0)$ 和负向平带电压位移 ΔV_{fb}(—) 的影响. 测量中用的负温偏应力为 300℃ 温度 —2MV/cm 电场作用 5 分钟，氧化膜厚为 37nm. 由图 1 可见，从 1050℃ 开始，$V_{fb}(0)$ 和 ΔV_{fb} (—) 的变化趋于缓慢. 热氧化后氩气退火时的温度对原始平带电压有影响，似乎与 Deal 等的干氧三角形规律相矛盾，这很可能与快速热处理的时间很短有关. 从图 1 也可以看到负偏压温度不稳定性随退火温度的变化类似于原始平带电压的情形. 为了获得高的固定氧化物电荷密度，制备了在热氧化后在氧气中以两种不同方式冷却的试样，一种是自然冷却，20 秒内就可以快速冷却到 700℃ 以下，另一种是每下降 100℃ 保温 30 秒钟，直到 700℃ 以下自然冷却，这种过程就比较慢，

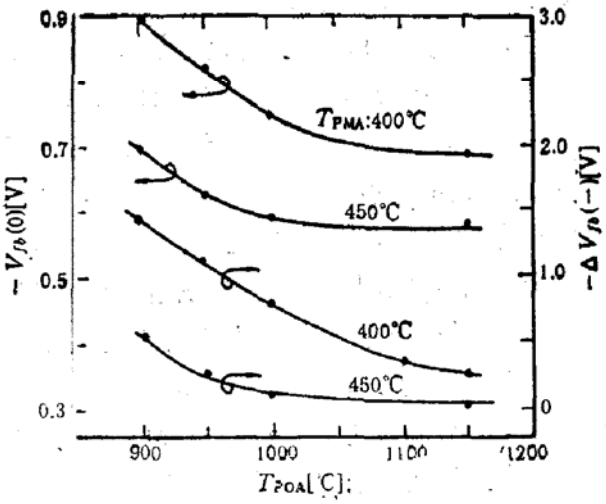

图 1　氧化后在氩气中快速退火 60 秒时的温度对原始平带电压和在 300℃，−2MV/cm 负温偏应力作用 5 分钟后的负向平带电压位移的影响. 用了两种金属化后退火温度. P(100) 10Ω·cm d_{ox} = 37nm

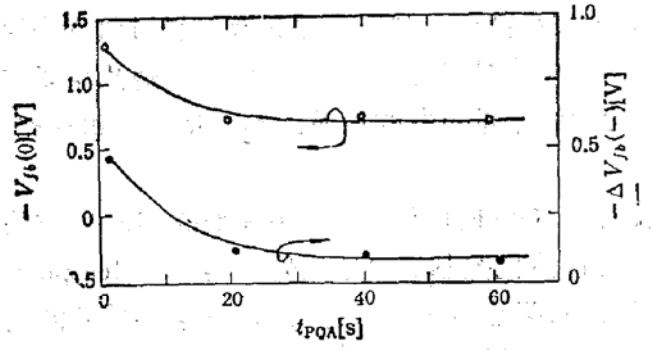

图2 氧化后在1050℃氩气中退火的时间对原始平带电压和在320℃－2MV/cm 负温偏应力作用3分钟后的负向平带电压位移的影响金属化后退火温度为 500℃. P(100) 0.1Ω·cm

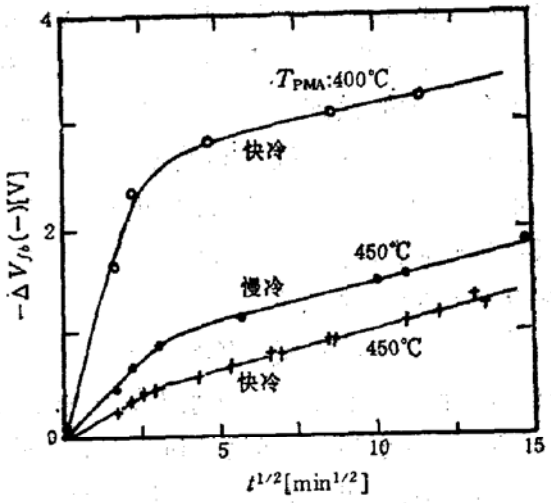

图3 以时间平方根作变数的负向平带电压位移演化过程负温偏应力为 300℃－2MV/cm 试样的冷却方式和金属化后退火温度标在曲线旁

所以前者称之谓快冷，后者谓慢冷．这两种 MOS 结构有较大的原始平带电压，呈现很大的负偏压温度不稳定性，慢冷者比快冷者更大．这些结果和 Deal 等[3]观察到负偏压温度不稳定性与固定电荷成比例的结果相似．

快速热氧化工艺制备的 MOS 结构和制备条件与其相当的电阻炉加热工艺制备的 MOS 结构相比较，前者对负温偏应力比后者稳定．实验上还观察到快速热生长的或电阻炉加热生长的二氧化硅，在受过 60 秒钟 1150℃ 快速氩气退火后，对于 3 分钟 320℃ 温度，－2MV/cm 电场的应力作用都是稳定的，相当的常规 MOS 结构，即使接受过原位氮气退火，对于同样应力的作用，将发生 0.5 至 1V 的负向平带电压位移．

图 2 给出了在 1150℃ 快速生长 27nm 二氧化硅后原位 1050℃ 氩气退火的时间对原始平带电压 $V_{fb}(0)$ 和 3 分钟 320℃－2MV/cm 负温偏应力作用后负向平带电压位移 $\Delta V_{fb}(-)$ 的影响，研究的 MOS 结构经受过 500℃ 金属化后的退火．从图 2 可见，20 秒钟的快速退火就能改善二氧化硅的性能，40 至 60 秒就达到饱和．快速加热处理的时间只及常规加热情形的几十分之一．其原因尚不清楚，可能是硅片表面的实际温度比快速热处理器上指示的温度值高些，或者是由于强烈的光照加速了退火过程．

图 3 给了三条平带电压位移对于时间平方根的关系曲线．试样就是前面提及的在氧气中以两种方式冷却而得的 MOS 结构，二氧化硅厚度为 37nm，金属化后的退火温度标在曲线旁，负温偏应力为 300℃－2MV/cm．这三条曲线像晶体管输出特性那样，由二段直线圆滑地衔接而成． Hofstein 也研究过这种演化过程，若也作为时间平方根的函数作图，也得到类似于图 3 所示的曲线[13]．由图 3 可见，快冷比慢冷的稳定，但并没有改变 $t^{\frac{1}{2}}>3$ 那部分的斜率．还可以看到金属化后的退火主要影响负温偏处理的起始阶段．这种包含两种斜率的演变过程可能启示在受过金属化时辐照损伤的 MOS 结构中存在着两种有一些差别的负偏压温度不稳定性的机构，其中之一可能与高温制备条件有关，另一种机构主要是辐照造成的，可以被金属化后的热处理减少，甚至消除．本工作中采用磁控溅射技术淀积铝电极，二氧化硅暴露于富含紫外光的等离子体中，能量稍大于二氧化硅带隙的光

子就可以起离化辐照的作用[14]，也像 X 射线、γ 射线和其它高能粒子束一样对 MOS 结构造成辐照损伤。从前面的实验结果已经看到，金属化后退火温度高些，离化辐照引入二氧化硅的不稳定机构就减少得多些。

与常规电阻炉制备的 MOS 结构一样，降低负温偏应力的温度或减小电场，快速热生长二氧化硅 MOS 结构的负向平带电压位移就变小。比如图 1 中的测量条件中温度由 300℃降为 250℃，即使金属化后的退火温度仅用 360℃，负向平带电压位移就很难测出来，如果电场由 −2MV/cm 减小到 −1MV/cm，也难以测出负向平带电压位移。

Deal 等[3]研究过 MOS 结构受过负温偏应力后 C-V 特性的回复，在同样的温度，对栅极加正偏压或接衬底处理，已经负向位移了的 C-V 特性可以朝原始 C-V 特性的方向回复。这样的实验结果在本工作中重复了。值得注意的是，对于那些经受过金属化后退火的试样，从未见到能用回复处理使 C-V 特性移到原始曲线的右边去，这说明，虽然由负温偏应力引进二氧化硅的电荷和原始就存在于其中的固定氧化物电荷都是正的电荷，在一定程度上还成比例，但又有区别，至少后者不能被正温偏应力减少。两者之间的区别尚待进一步研究。

综上所述，快速热生长二氧化硅-硅结构的负偏压温度不稳定性，在对于原始固定电荷的关系，对于负温偏应力中的温度、电场和时间的关系方面，与常规氧化物相类似。短至 40 秒钟的高温氩气退火就可以得到比常规工艺更稳定的 MOS 结构。但在氧气中冷却的快速二氧化硅-硅结构对负温偏应力敏感。像晶体管输出特性样的演化过程启示着金属化时伴有的辐照引进的负偏压温度不稳定性机构不全同于高温工艺造成的不稳定性机构，这些不稳定机构又与固定氧化物电荷有差别。

感谢E. Nicollion 与作者进行的有益讨论.

参　考　文　献

[1] Y. Miura and Y. Matukura, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **5**, 180(1966).
[2] A. Goetzberger and H. E. Nigh, *Proc. IEEE*, **54**, 1454, (1966).
[3] B. E. Deal, M. Sklar, A. S. Grove and E. H. Snow, *J. Electrochem. Soc.*, **114**, 266(1967).
[4] A. Goetzberger, A. D. Lopez and R. J. Strain, *J. Electrochem. Soc.*, **120**, 90(1973).
[5] A. K. Sinha, H. J. Levinstein, L. P. Adda, E. N. Fils and E. I. Povilonis, *Solid-State Electronics*, **21**, 531 (1978).
[6] D. J. Breed, *Appl. Phys. Lett.*, **26**, 116(1975).
[7] S. K. Haywood and R. F. Dekeersmaecker, *Appl. Phys. Lett.*, **47**, 381 (1985).
[8] G. Haller, M. Knoll, D. Braunig, F. Wulf and W. R. Fahrner, *J. Appl. Phys.*, **56**, 1844(1984).
[9] J. Nulman, J. P. Krusius and A. Gat, *IEEE Trans. Electron Devices Lett.*, **EDL-6**, 205(1986).
[10] S. Ang and J. J. Wortman, *J. Electrochem. Soc.*, **133**, 2361 (1986).
[11] 黄宜平, and C. A. Paz de Araujo, 半导体学报, **10**, 294(1988).
[12] D. Lu, G. A. Ruggles and J. J. Wortman, *Appl. Phys. Lett.*, **52**, 1344(1988).
[13] S. R. Hofstein, *Solid-State Electronics*, **10**, 657(1967).
[14] R. J. Powell, and G. F. Derbenwick, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-18**(6), 99(1971).

Negative Bias-Temperature Instability in Rapid Thermal Grown SiO_2

Lu Deren

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Jimmie J. Wortman

(Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University, U. S. A.)

Abstract

Negative bias-temperature instability in silicon dioxide films grown in a rapid thermal processor has been investigated. Rapid thermal oxide MOS structures were found to have a lower negative bias-temperature instability than the furnace oxide MOS structures. The effects of temperature and time during post oxidation annealing in argon, the cooling process after rapid thermal oxidation and the temperature of post metallization annealing in forming gas on the negative bias-temperature instability are studied. In addition, evolutions of the flat band voltage shift were measured on the rapid thermal oxide MOS structures under an negative bias-temperature stress. Based on these results, the mechanism of the negative bias-temperature instability is discussed.

Key words: MOS structure, Negative bias-temperature instability, Rapid thermal oxidation