第 24 卷第 3 期　　半　导　体　学　报　　Vol. 24, No. 3
2003 年 3 月　　CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS　　Mar., 2003

背面 Ar^+ 轰击对 n-MOSFET 低频噪声的影响

黄美浅　李观启　李　斌　曾绍鸿

(华南理工大学应用物理系, 广州　510641)

摘要: 研究了低能量背面 Ar^+ 轰击对 n 沟 MOSFET 低频噪声的影响. 用低能量(550eV) 的氩离子束轰击 n 沟 MOSFET 芯片的背面, 能改善其饱和区和线性区的低频噪声频谱密度. 饱和区低频噪声的减小可用载流子迁移率模型解释, 而线性区低频噪声的减小可用载流子数模型解释; 其变化的原因可能与氩离子束背面轰击后反型层电子的有效迁移率、二氧化硅中的固定电荷密度以及硅-二氧化硅界面的界面态密度的变化有关.

关键词: 背面 Ar^+ 轰击; 低频噪声; 迁移率; 界面态

PACC: 7340; 7850; 8140; 8160

中图分类号: TN386　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 0253-4177(2003)03-0307-05

1　引言

众所周知, 双极型晶体管(BJT) 和金属-氧化物-半导体场效应晶体管(MOSFET) 的低频噪声会影响集成电路在高速工作时的带宽和稳定性. 六十多年来, 人们已经广泛研究了电子器件的低频噪声. 与 BJT 和结型场效应晶体管(JFET) 相比, MOSFET 具有较大的低频噪声, 从而影响到其工作的稳定性和可靠性. 这种低频噪声起源于二氧化硅中的电荷和硅-二氧化硅界面的界面态[1~3]; 实验表明, MOSFET 中的这种低频噪声在约 10^{-6}~ 10^5Hz 的频率范围内, 噪声功率谱密度(s) 与频率(f) 成反比, 即 $s(f) \propto f^{-\alpha}$, 其中 $\alpha = 0.8 \sim 1.4$. α 最常见的值为 1, 此时为纯 $1/f$ 噪声[3~5]. 这类噪声谱表现为其时间常数有一个很宽的分布范围.

已经有人提出不同的机理来解释低频噪声的时间常数分布[6], 并提出几种适用于 MOSFET 低频噪声的模型, 其中两种得到普遍承认的模型是迁移率涨落模型[7,8] 和载流子数涨落模型[9]. 从原则上来说, 这两种涨落中的任一种都可能存在, 但是, 迁移率涨落模型主要适用于偏置于饱和区的低频噪声[10,11], 而载流子数涨落模型主要适用于硅-二氧化硅界面和二氧化硅中局域态载流子的随机俘获和释放[12~15]; 而且, 这些模型只有在限定的条件下才能适用.

业已证明, MOSFET 中热载流子的注入会引起其跨导和阈值电压的退化和低频噪声的增大[16~20], 从而成为 MOSFET 的重要的稳定性问题. 以前对这种现象的研究表明, 由热载流子应力产生的器件特性退化主要起因于漏端高能载流子碰撞电离产生的界面态. 反过来, 通过测量低频噪声可以确定硅-二氧化硅的界面态密度和分布[21~23], 并把它用作检测如电阻器、齐纳二极管、雪崩二极管、激光二极管、太阳能电池、双极型晶体管和 MOS 场效应晶体管等元、器件的非破坏性和灵敏的诊断工具[24~27].

近年来的研究表明, 利用低能量(550eV) 的氩离子束轰击 MOS 晶体管芯片的背面, 能有效地改善 MOS 电容器的硅-二氧化硅界面特性以及双极型和 MOS 晶体管的电特性[28~34]. 本文的工作表明, 利用这种方法还能改善 MOSFET 的低频噪声特

黄美浅　男, 1946 年出生, 副教授, 从事微电子学方面的教学和研究.

李观启　男, 1940 年出生, 教授, 从事微电子学方面的教学和研究.

李　斌　女, 1967 年出生, 博士, 副教授, 从事微电子学方面的教学和研究.

2002-04-02 收到, 2002-07-23 定稿

©2003 中国电子学会

性.

2 实验

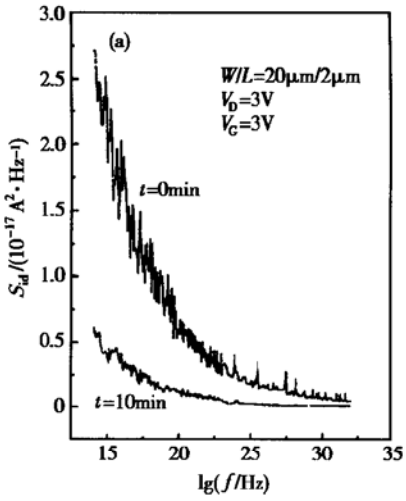
采用常规四掩模多晶硅栅自对准 MOS 工艺,在电阻率为 8~ 10Ω·cm 的 p 型(100)单晶硅衬底上制备 MOS 电容器和若干种不同沟道长度和宽度的 n 沟 MOSFET. MOS 电容器的面积为 100μm × 100μm. MOSFET 的栅氧化层和电容器的介质采用氩稀释干氧在 950℃下氧化制备,厚度约为 20nm. 沟道硼离子注入的能量为 45keV,剂量是 $4\times10^{11}cm^{-2}$. 采用低压化学气相淀积(LPCVD)的方法淀积 400nm 的多晶硅栅并进行掺磷扩散. 源区和漏区进行自对准砷离子注入,能量为 80keV,剂量是 $4\times10^{15}cm^{-2}$. 最后,铝电极在形成气体(N_2 和 H_2)中进行 420℃、20min 的合金化.

芯片做好后,置于国产 LD-1 型离子束镀膜机内,在室温下用氩离子束轰击其背面,轰击能量为 550eV,离子束流密度为 0.5mA/cm^2,真空度为 3.2×10^{-3}Pa,轰击时间分别为 0、10、20 和 40min. 随后样品进行背面蒸铝,并在 420℃下用氮气保护退火 20min.

采用微机控制的 HP35665A 动态信号分析仪和 BTA 场效应晶体管噪声分析仪测量并自动存储 MOSFET 的噪声参数,利用微机控制的 HP4145B 半导体参数分析仪测量并自动存储 MOSFET 的 *I-V* 参数,然后确定其噪声频谱和表面载流子的有效迁移率. 采用 HP4140B PA 微电流计和 HP4284A 精密 LCR 表测量 MOS 电容器的准静态和高频(1MHz) *C-V* 特性曲线,然后计算出其界面态密度(D_{it})和固定电荷密度(Q_f). 所有测量均在室温、避光和电屏蔽的探针台上进行;所有元、器件的测量都是原位测量,即先测量其参数值,轰击后再重复测量其参数值.

3 实验结果和讨论

图 1(a)和(b)分别给出氩离子束背面轰击时间为 10min 和 20min 时对饱和区漏电流噪声频谱密度的影响,测量条件是栅极电压 V_G= 3V 和漏极电压 V_D= 3V. 所测量 MOSFETs 的沟道长度和宽度分别为 2μm 和 20μm. 由图 1 可见,经氩离子束背面轰击后,其漏电流频谱密度明显减小,而且轰击时间为 20min 时的效果比 10min 的好. 轰击 40min 后的漏电流频谱密度比轰击 20min 的稍微增大(图未绘出). Vandamme 和 Zhu 等人指出,当 MOSFET 偏置在饱和区和深饱和区时,其 1/*f* 噪声源以迁移率涨落为主[10,11].



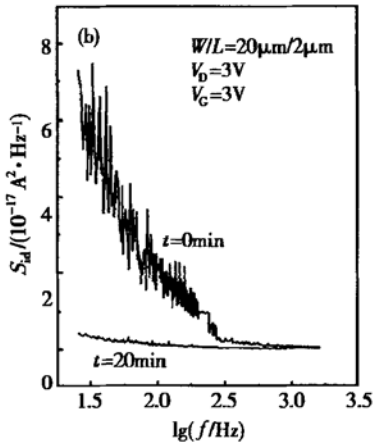


图 1 偏置在饱和区的 MOSFET 在氩离子束背面轰击前后的漏电流噪声频谱与频率的关系 (a) 轰击 10min; (b) 轰击 20min

Fig. 1 Drain current noise spectral density versus frequency before and after backsurface argon-ion bombardment in the saturation region (a) Bombardment time 10min; (b) Bombardment time 20min

为了了解氩离子束背面轰击后漏电流噪声频谱密度减小的原因,图 2 给出反型层电子有效迁移率与氩离子束背面轰击时间的关系. 由图可见,随着轰击时间的增加,反型层电子有效迁移率先随轰击时间的增加而增加,然后再减小. 氩离子束背面轰击后反型层电子有效迁移率的变化可能与二氧化硅中固

定电荷密度、硅-二氧化硅的界面态密度的变化以及硅-二氧化硅界面的应力补偿有关[28~34]. 氩离子束背面轰击前后 MOS 电容器二氧化硅中的固定电荷密度和硅-二氧化硅界面的界面态密度与轰击时间的关系如图 3 所示. 这些结果可用应力补偿和弱键断裂模型来解释[28,29,32,33].

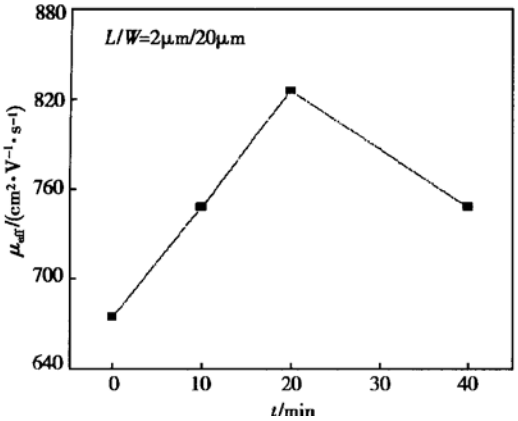


图 2　反型层电子有效迁移率与氩离子束背面轰击时间的关系

Fig. 2　Relationship between the effective inversion layer electron mobility and the Ar^+ backsurface bombardment time

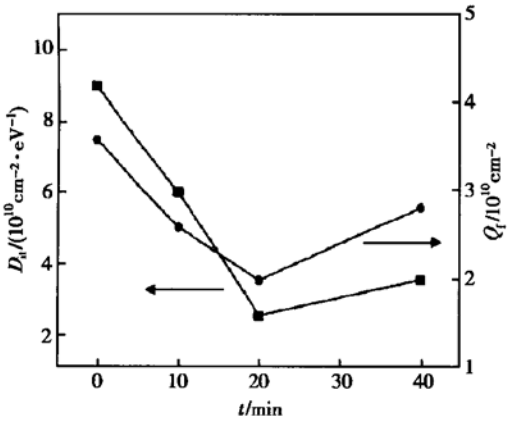
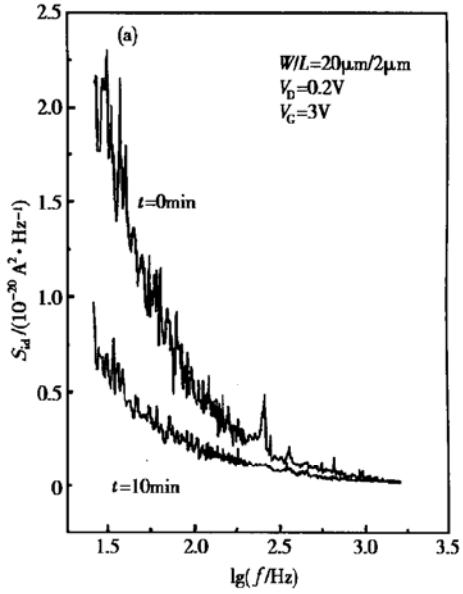


图 3　MOS 电容器的二氧化硅中固定电荷密度和硅-二氧硅界面的界面态密度与氩离子束背面轰击时间的关系

Fig. 3　Effect of Ar^+ backsurface bombardment time on the interface-state and fixed charge densities of the MOS capacitors

氩离子束背面轰击时间为 10min 和 20min 时对线性区漏电流噪声频谱密度的影响如图 4 所示, 测量条件是栅极电压 $V_G = 3V$ 和漏极电压 $V_D = 0.2V$. 由图 4 可见, 氩离子束背面轰击后漏电流噪声频谱密度的变化规律与 MOSFET 工作在饱和区时的变化规律相似, 但其漏电流噪声频谱密度比工作在饱和区时小得多. McWorter 和 Celik 等人指出, MOSFETs 工作在线性区时的噪声主要由二氧化硅中和硅-二氧化硅界面局域态载流子的随机俘获和



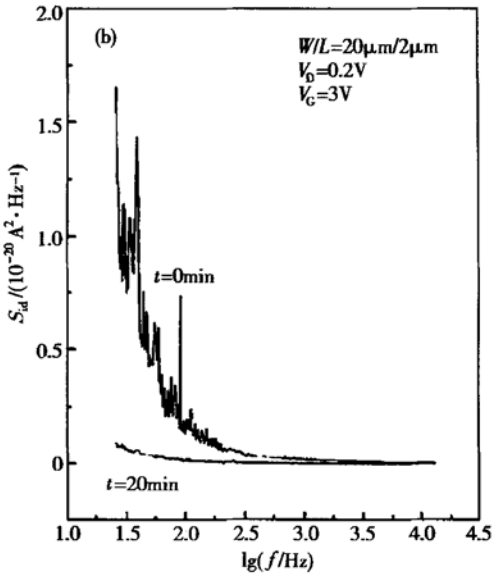


图 4　偏置在线性区的 MOSFET 在氩离子束背面轰击前后的漏电流噪声频谱与频率的关系　(a) 轰击 10min; (b) 轰击 20min

Fig. 4　Drain current noise spectral density versus frequency before and after backsurface argon-ion bombardment in the linear region　(a) Bombardment time 10min; (b) Bombardment time 20min

释放产生[9,15]. 由图 3 可见, 当氩离子束背面轰击时间不太长时, MOS 电容器的二氧化硅中的固定电荷密度和硅-二氧化硅界面的界面态密度明显减小, 这可能是导致低频噪声减小的主要原因. 线性区漏电流噪声频谱密度比饱和区漏电流噪声频谱密度小得多, 这是由于线性区漏电流小得多的缘故.

4 结论

适当时间的低能量背面氩离子束轰击能有效减小 MOSFET 工作在饱和区和线性区时的漏电流低频噪声频谱密度. 这些结果可以用迁移率涨落模型或载流子数涨落模型解释, 而其变化原因可能与氩离子束背面轰击后反型层电子的有效迁移率、二氧化硅中的固定电荷密度和硅-二氧化硅界面的界面态密度的改变有关.

参考文献

[1] Jordan A G, Jordan N A. IEEE Trans Electron Devices, 1965, 12: 148

[2] Sah C T, Hielscher F H. Phys Rev Lett, 1966, 17: 956

[3] Christensson S, Lundstrom I, Svensson C. Solid-State Electron, 1968, 11: 797

[4] Flinn I, Bew G, Berz F. Solid-State Electron, 1967, 10: 833

[5] Berz F. Solid-State Electron, 1970, 13: 631

[6] Preier H. Appl Phys Lett, 1967, 10: 361

[7] Hooge F N. Physica, 1972, 60: 130

[8] Hooge F N, Kleinpenning T G M, Vandamme L K J. Reports on Progress in Physics, 1981, 44: 479

[9] McWorter A L. Semiconductor surface physics. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1957: 207

[10] Vandamme L K J, DeWerd H M M. Solid-State Electron, 1980, 23: 325

[11] Zhu Y, Deen M J, Kleinpenning T G M. J Appl Phys, 1992, 72(12): 5990

[12] Hooge F N, Vandamme L K J. Inst Phys Conf Ser, 1979, 43: 565

[13] Vandamme L K J. Solid-State Electron, 1980, 23: 317

[14] Kleinpenning T G M, Vandamme L K J. J Appl Phys, 1981, 52: 1594

[15] Celik Z, Hsiang T Y. IEEE Trans Electron Devices, 1985, 32: 2797

[16] Fang Z H, Cristoloveanu S, Chovet A. IEEE Electron Devices Lett, 1986, 7: 371

[17] Von Bruns S L, Anderson R L. IEEE Trans Electron Devices, 1987, 34: 75

[18] Robin P, Samman A, Bibyk S. IEEE Trans Electron Devices, 1988, 35: 2229

[19] Giebel T, Goser K. IEEE Electron Devices Lett, 1989, 10: 76

[20] Choi J Y, Scott W F. J Appl Phys, 1989, 65: 354

[21] Jantsch O, Borchert B. Solid-State Electron, 1987, 30: 1013

[22] Celik-Butler Z, Hsiang T Y. IEEE Trans Electron Devices, 1988, 35: 1651

[23] Wong H, Cheng Y C. IEEE Trans Electron Devices, 1990, 37: 1743

[24] Li X, Vandamme L K J. Solid-State Electron, 1992, 35: 1447

[25] Vandamme L K J. 7th Int Conf on Noise in Physical Systems, 1983: 245

[26] Konczakowska A. 9th Int Conf on Noise in Physical Systems, 1987: 489

[27] Vandamme L K J. IEEE Trans Electron Devices, 1994, 41: 2176

[28] Lai P T, Xu Zeng, Li G Q, et al. IEEE Electron Device Lett, 1995, 16(8): 354

[29] Lai P T, Huang M Q, Zeng X, et al. Appl Phys Lett, 1996, 68(19): 2687

[30] Li G Q, Zeng S H, Huang M Q. Chinese Journal of Semiconductors, 1996, 17(6): 464[李观启, 曾绍鸿, 黄美浅. 半导体学报, 1996, 17(6): 464]

[31] Li G Q, Huang M Q, Zeng S H, et al. Chinese Journal of Semiconductors, 1996, 17(10): 775[李观启, 黄美浅, 曾绍鸿, 等. 半导体学报, 1996, 17(10): 775]

[32] Huang M Q, Lai P T, Xu J P, et al. Microelectronics Reliability, 1998, 38: 1407

[33] Lai P T, Li G Q, Huang M Q, et al. J Appl Phys, 1999, 85(4): 2253

[34] Huang M Q, Li G Q, Zeng S H. Chinese Journal of Semiconductors, 2001, 22(6): 774[黄美浅, 李观启, 曾绍鸿. 半导体学报, 2001, 22(6): 774]

Influence of Backsurface Ar^+ Bombardment on Low-Frequency Noise Characteristics of n-MOSFET

Huang Meiqian, Li Guanqi, Li Bin and Zeng Shaohong

(Department of Applied Physics, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Influence of backsurface Ar^+ bombardment on the low-frequency noise characteristics of n-MOSFET is investigated. A low energy (550eV) argon-ion-beam is applied to bombard the backside of n-MOSFET, thus the low-frequency noise spectral density in the linear region and the saturation region can be improved. The decrease of the low-frequency noise can be explained by the mobility fluctuations model and the carrier number fluctuations model. All these change may be caused from the alteration of the effective electron mobility in the inversion layer, the fixed charge density and the interface-state density after Ar^+ backsurface bombardment.

Key words: backsurface Ar^+ bombardment; low-frequency noise; mobility; interface-state

PACC: 7340; 7850; 8140; 8160

Article ID: 0253-4177(2003)03-0307-05

Huang Meiqian　male, was born in 1946, associate professor. He is engaged in teaching and research on microelectronics.

Li Guanqi　male, was born in 1940, professor. He is engaged in teaching and research on microelectronics.

Li Bin　female, was born in 1967, associate professor. She is engaged in teaching and research on microelectronics.

Received 2 April 2002, revised manuscript received 23 July 2002

©2003 The Chinese Institute of Electronics