

高耐压 LDMOS 用的高 K 薄膜湿法刻蚀研究

王伟宾, 霍伟荣, 赵远远, 王姝娅, 束平, 张国俊

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 四川 成都 610054)

摘要: 为了对横向双扩散 MOSFET(LDMOS)器件所采用的锆钛酸铅(PZT)高介电常数(高 K)薄膜进行微图形化, 对湿法刻蚀过程中腐蚀液、光刻、刻蚀等工艺进行了优化研究, 发现由 $\text{BOE} + \text{HCl} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{缓冲剂}$ 组成的腐蚀液刻蚀效果较好。刻蚀结果表明, 所刻蚀薄膜的厚度约为 600 nm, 最小线条宽度约为 3 μm , 侧蚀比减小到 1.07 : 1, 符合功率器件制备的尺度要求, 由此所制备的 LDMOS 器件耐压提高了近 2 倍。

关键词: 高 K 薄膜; 锆钛酸铅(PZT)薄膜; 湿法刻蚀; LDMOS; 刻蚀速率

中图分类号: TM215.3; TN405

文献标识码: A

Research on Wet Etching of High- K Thin Films Used in the LDMOS Power Devices

WANG Weibin, HUO Weirong, ZHAO Yuanyuan, WANG Shuya, SHU Ping, ZHANG Guojun

(State Key Lab. of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: For the micro-pattern study of high permittivity (high- K) thin films PZT used in high voltage LDMOS power devices, the etching solution, lithography and etching process parameters of the wet etching technique had been optimized. The etching solution composed of $\text{BOE} + \text{HCl} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{buffer}$ owned preferably etching effect. The tested result showed that the smallest etched lines of PZT films were about 600 nm thick, 3 μm wide, and lateral erosion ratio was reduced to 1.07 : 1, which met the requirements of power device fabrication requirements. The breakdown voltage of the LDMOS device with high- K thin films has been increased nearly 2-fold.

Key words: high- K thin films; PZT thin films; wet etching; LDMOS; etching rate

0 引言

高 K 薄膜利用其高介电常数特性, 可用作栅介质, 也可应用在功率器件的耐压区。用作栅介质的高 K 薄膜, 其等效氧化层厚度(EOT)很小, 可在保证各项电参数比例关系的同时增大栅介质层的物理厚度, 从而降低栅漏电流, 提高器件可靠性^[1-2]; 应用在耐压区的高 K 薄膜可在半导体表面引入电通量或在半导体取出电通量, 因而使功率器件得到最佳表面耐压区, 进而制得横向高耐压器件^[3]。如果通过对高 K 薄膜进行微图形化研究能将高 K 介质应用于微电子器件的生产制造中, 必将大幅度改善器件的性能。

目前常用的高介电系数材料主要有钙钛矿 ABO_3 型的 BST、PZT、PT(PbTiO_3)、BZN 等, 另外还有 HfO_2 、 AlO_3 、 SiN 等材料^[1]。 HfO_2 的优点是和 Si 基底的晶格常数相匹配, 对后续的高温过程不

存在开裂现象, 但 HfO_2 的介电常数小, 仅 30~40。BST、PZT 介电常数较高, 但在 Si/SiO₂ 上生长, 650 °C 退火后会开裂, 因此, 我们选择了不经退火, 介电常数能达到 200 的 PZT 薄膜作为高 K 材料来研究其湿法刻蚀情况。

PZT 薄膜的湿法刻蚀的价格低, 操作简便, 虽有侧向腐蚀现象, 但在一定条件下, 有其一定的优势。关于湿法刻蚀 PZT, 文献[4-6]中都有报道, 不过文献中关于 PZT 薄膜的刻蚀研究并不是基于具体的器件应用, 且所使用的 PZT 薄膜厚度较薄, 所刻蚀的线条较宽。若将 PZT 薄膜应用于具体的器件中, 则刻蚀后必须达到精确的厚度和线宽要求。本文主要以功率器件 LDMOS 为基础, 研究高耐压器件中使用 PZT 薄膜的湿法刻蚀方法, 并通过测试器件性能来验证湿法刻蚀 PZT 对器件性能的影响。该 LDMOS 器件采用的 PZT 薄膜厚度约为 500~

收稿日期: 2011-06-15

作者简介: 王伟宾(1986-), 男, 河南新乡人, 硕士, 主要从事高耐压功率器件使用高 K 介质的相关研究。

600 nm, 所刻蚀的 PZT 线条长度最长约为 1 500 μm , 而最小的线宽只有 3 μm 。

1 实验过程

1.1 PZT 薄膜的制备

PZT 薄膜材料利用日本 ULVAC 的磁控溅射设备沉积, 本实验中共溅射制备了 3 种样品, 即

1) 样品 a 在 Pt/Ti/SiO₂/Si 基片上溅射 PZT 薄膜, 用来测试 PZT 薄膜的电学性能及最初的刻蚀终端监测实验。

2) 样品 b 在 SiO₂/Si 基片上溅射 PZT 薄膜, 用来做系列的湿法刻蚀实验。

3) 样品 c 在 Si 基 CMOS 电路正式片上溅射 PZT 薄膜, 用在 LDMOS 器件漂移区和沟道区表面, 如图 1 所示。PZT 薄膜具体的溅射工艺参数如表 1 所示。

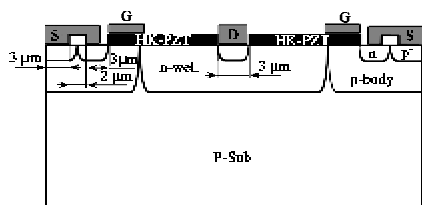


图 1 LDMOS 剖面结构示意图

表 1 射频磁控溅射法制备 PZT 薄膜的基本工艺参数

溅射系统	MPS-5000 薄膜溅射系统
溅射靶材	Pb(Zr _{0.52} Ti _{0.48})O ₃
基片至靶间距/cm	10
腔室真空度/Pa	<0.1
溅射气氛	Ar/O ₂ =45/0~45/5
溅射气压/Pa	0.3~0.8
衬底温度/℃	300
溅射功率/W	180
薄膜厚度/nm	550~600

1.2 腐蚀液的配制

PZT 薄膜的主要成分为钛、锆、铅及氧, 锆可溶于 HF、王水; 铅溶于 HF、浓 H₂SO₄、HCl 以及 HNO₃ 中^[6]。综上所述可知, 使用含 NO₃⁻、F⁻、Cl⁻ 的酸性溶液来刻蚀 PZT 薄膜, 故配制 1[#] 腐蚀液: V(49% HF) : V(H₂O) = 1 : 5; 2[#] 腐蚀液: V(BOE) : V(36% HCl) : V(65% HNO₃) : V(H₂O) = 1 : 5 : 5 : 150; 3[#] 腐蚀液: 在 2[#] 腐蚀液的基础上添加适量的复合缓冲剂。

1.3 光刻及刻蚀

光刻工艺包括甩胶、前烘、光刻和后烘 4 个主要

步骤。本实验采用的光刻胶为正胶 AZ6112, 热板前烘 100 $^{\circ}\text{C}$ /60 s, 光刻曝光 6.5 s, 显影 14 s, 烘箱后烘 120 $^{\circ}\text{C}$ /30 min。

将光刻好的样品分别放入 3 种腐蚀液中进行湿法刻蚀, 并记录刻蚀时间; 刻蚀完成后, 用丙酮超声 5 min, 去除光刻胶掩模, 再用无水乙醇超声清洗 2 min, 完成去胶, 最后用去离子水清洗、烘干。

1.4 性能测试

对样品 a 溅射上电极 Pt 后测试其电容-电压 (C-V) 曲线。

使用 STM6 线宽测试仪观察测试样品 b、c 刻蚀线条及形貌; 使用 Dektak 150 表面轮廓仪测试样品 b 刻蚀后 PZT 薄膜的厚度, 计算刻蚀速率及侧蚀情况。

样品 c 刻蚀、清洗烘干后镀铝, 刻铝后用晶体管图示仪测试器件性能。

2 结果与讨论

2.1 PZT 薄膜的结构及性能测试

因为 PZT 薄膜材料属于铁电材料, 经退火结晶后的 PZT 薄膜的 C-V 曲线是一个蝶形曲线, 如图 2 所示。虽然介电常数可达 1 000 以上, 但介电常数随着电压的变化明显波动, 这是 LDMOS 器件所不希望的, 因此, LDMOS 用的 PZT 薄膜不经退火处理, 属非晶态, 测得其 C-V 曲线如图 3 所示。根据计算得到未经退火的 PZT 薄膜的介电常数约为 150。

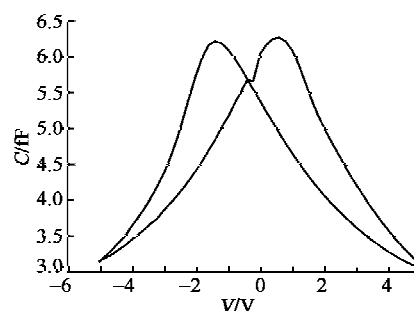


图 2 退火后的 PZT 薄膜的 C-V 曲线

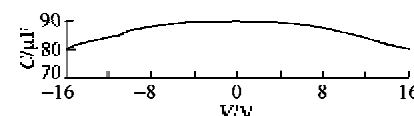


图 3 未退火的 PZT 薄膜的 C-V 曲线

2.2 不同腐蚀液对 PZT 薄膜的刻蚀效果

由图 1 可知, 本实验中湿法刻蚀的最小线宽为 3 μm ; 而 PZT 介质薄膜的厚度约 550~600 nm, 因

此对刻蚀的要求极苛刻。利用 1[#] 腐蚀液对 PZT 薄膜进行刻蚀,结果如图 4(a)所示,刻蚀的线条边缘粗糙,底部有残留物,且侧蚀严重,由 3 μm 侧蚀到了近 8 μm ;刻蚀实验过程中还发现,1[#] 腐蚀液的刻蚀速率较慢(约为 8.03 nm/s),如表 2 所示。分析认为,1[#] 腐蚀液中 HF 可与 PZT 中的 Zr、Ti 反应生成易溶于水的络合物,而 HF 和 Pb 反应会生成难溶于水的 PbF_2 ,因此线条底部会有灰白色残留物,大量的腐蚀残留物的存在又会影响刻蚀速率。此外,HF 破坏了光刻胶与高 K 薄膜间的粘结,掩模下的 PZT 薄膜被刻蚀,侧向腐蚀严重^[5]。

由图 4(b)可知,刻蚀的线条边缘不平整,边缘仍有少许残留物,但与 2[#] 腐蚀液的刻蚀效果相比有明显提高,刻蚀速率提高到了 14.75 nm/s,侧蚀比由 1[#] 腐蚀液的 10.14 : 1 减小到了 3.19 : 1(见表 2)。这主要是因为加入 HNO_3 和 HCl 能除去线条底部的难溶物,同时刻蚀速率亦相应提高,侧蚀仍较严重,易破坏图形边缘,不好控制,因此,我们在 2[#] 腐蚀液中加入缓冲剂才控制侧向腐蚀。

3[#] 腐蚀液是在 2[#] 腐蚀液中加入适量的复合缓冲剂,其刻蚀效果如图 4(c)所示,刻蚀线条底部干净,几乎无残留物存在,边缘较整齐,侧蚀较小,侧蚀比约为 1.07 : 1,达到了 LDMOS 器件要求的刻蚀尺寸。这主要是因为 3[#] 腐蚀液中加入复合缓冲剂可减小刻蚀过程中 HNO_3 对图形边缘的影响,减小侧蚀,并提供了 Cl^- ,加速 Pb 与 Cl^- 的反应,同时可减小 HF 浓度,在保持刻蚀速率的前提下减小 HF 对光刻胶粘附性的影响,进而减小侧蚀。

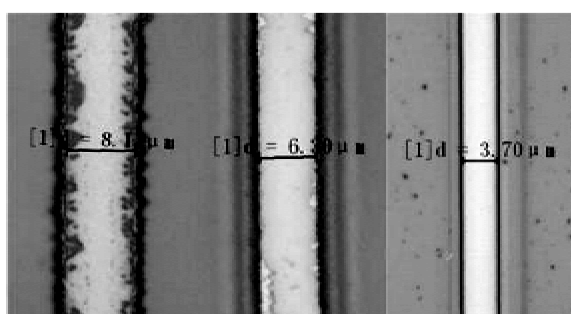


图 4 PZT 薄膜在不同腐蚀液中刻蚀效果对比

表 2 PZT 薄膜在不同腐蚀液中刻蚀情况(常温)

腐蚀液	刻蚀速率/(nm/s)	侧蚀比
腐蚀液 1 [#]	8.03	约 10.14 : 1
腐蚀液 2 [#]	14.75	约 3.19 : 1
腐蚀液 3 [#]	11.65	约 1.07 : 1

图 5 为 3[#] 腐蚀液刻蚀的 PZT 的台阶形貌图。

由图可知,PZT 薄膜厚约为 583 nm,且刻蚀的线条底部较平整,刻蚀效果较理想,因此用 3[#] 腐蚀液对样品 c 进行刻蚀来制备 LDMOS 器件。图 6 为 LDMOS 器件使用 3[#] 腐蚀液刻蚀后器件的俯视图。

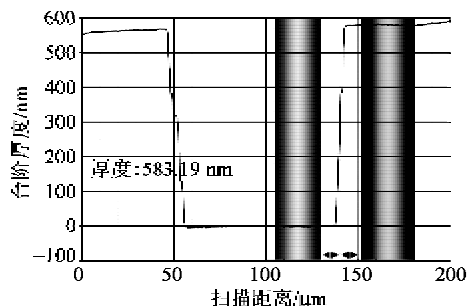


图 5 刻蚀完成后所测得的 PZT 薄膜厚度

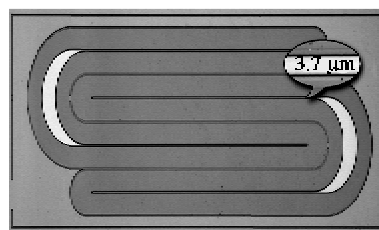


图 6 PZT 刻蚀后 LDMOS 器件俯视图

2.3 LDMOS 使用高 K 前后器件特性对比

LDMOS 器件未使用 PZT 薄膜的性能和使用湿法刻蚀 PZT 后的性能对比如图 7 所示。从图中可看出,使用湿法刻蚀 PZT 薄膜后,LDMOS 器件的耐压由 90 V 提高到 270 V。这一现象与文献 [3]、[7]报道的一致。

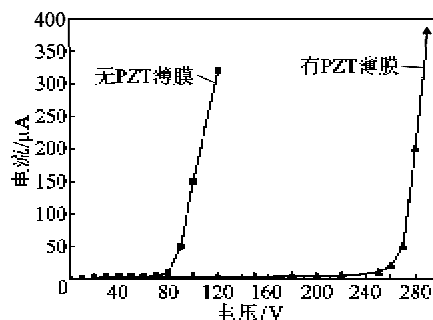


图 7 LDMOS 器件耐压测试图

3 结束语

根据对 PZT 薄膜组成成分分析,选配合适的腐蚀液对其进行刻蚀。通过实验发现 3[#] 腐蚀液可得到侧蚀较小,速率适当的刻蚀效果,尤其是对于线条宽度很窄(约 3 μm)、长度很长(约 1 800 mm)、厚度较厚(约 600 nm)的 PZT 薄膜具有理想的刻蚀效果。在随后的测试实验中发现:未使用 PZT 薄膜时,LDMOS 器件的耐压约 90 V;使用本文所述方

法湿法刻蚀 PZT 薄膜后,耐压增加到约 270 V。这说明使用这种湿法刻蚀方法刻蚀 PZT 薄膜可在高耐压器件中很好地发挥 PZT 薄膜的作用。

参考文献:

- [1] 卢振伟,吴现成,徐大印,等. 高 K 栅介质的研究进展[J]. 材料导报,2008,22:234-238.
LU Zhenwei, WU Xiancheng, XU Dayin, et al. Research progress in high k gate dielectric materials[J]. Materials Review, 2008, 22: 234-238.
 - [2] 王楠,汪辉. 高 K 栅介质的可靠性问题[J]. 半导体技术, 2009, 34(1): 6-9.
WANG Nan, WANG Hui. Reliability issues of high-k gate dielectric[J]. Semiconductor Technology, 2009, 34: 6-9.
 - [3] CHEN Xingbi. Lateral high-voltage semiconductor devices with surface covered by thin film of dielectric material with high permittivity; US, 6936907 B2 [P]. 2005-08-30.
 - [4] 郑可炉,褚家如,鲁健,等. PZT 铁电薄膜湿法刻蚀技术研究[J]. 压电与声光, 2005, 27(2): 209-212.
ZHENG Kelu, CHU Jiaru, LU Jian, et al. Study on wet-etching of PZT thin films[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2005, 27(2): 209-212.
 - [5] ZHAO Hongjin, LIU Yanxiang. Fabrication and etching processes of silicon-based PZT thin films[J]. Proceedings of SPIE, 2001, 4414(9): 351-354.
 - [6] 杨艳,刘劲松,张树人,等. 锆钛酸铅薄膜化学刻蚀技术研究[J]. 压电与声光, 2008, 30(2): 248-250.
YANG Yan, LIU Jinsong, ZHANG Shuren, et al. Study on chemical-etching of lead zirconate titanate thin films[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2008, 30(2): 248-250.
 - [7] LI Junhong, LI Ping, HUO Weirong, et al. Analysis and fabrication of a LDMOS with high permittivity dielectric[J]. IEEE Lett Electron Device, 2011, 32(9): 1266-1268.
-
- (上接第 113 页)
- [2] 段昌奎,王广川. 稀土光谱参量的第一性原理研究[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2011, 23(1): 75-79.
 - [3] 周世杰,张喜燕,姜峰,等. 轻稀土掺杂对 TbFeCo 材料磁光性能的影响[J]. 重庆工学院学报, 2004(5): 11-14.
 - [4] CARNALL W T, GOODMAN G, RAJNAK K, et al. A systematic analysis of the spectra of the lanthanides doped into single crystal LaF_3 [J]. J Chem Phys, 1989, 90(7): 3443-3457.
 - [5] LIU Guokui, BERNARD J. Spectroscopic properties of rare earths in optical materials[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.
 - [6] DUAN Changkui, TANNER P A. What use are crystal field parameters? A chemist's viewpoint[J]. J Phys Chem A, 2010, 114(19): 6055-6062.
 - [7] 蒋大鹏,赵成久,侯凤勤. 白光发光二极管的制备技术及主要特性[J]. 发光学报, 2003, 24(4): 385-389.
 - [8] 黄京根. 节能灯用稀土三基色荧光粉[J]. 电光源, 1990(5): 23-26.
 - [9] VERSTEGEN J M P J. A survey of a group of phosphors, based on hexagonal aluminate and gallate host lattices[J]. J Electrochem Soc, 1974, 121(12): 1623-1627.
 - [10] PAN Yuexiao, WU Mingmei, SU Qiang. Tailored photoluminescence of YAG: Ce phosphor through various methods[J]. J Phys Chem Solids, 2004, 65(5): 845-850.
 - [11] KIM J S, JEON P E, CHOI J C, et al. Warm-white light emitting diode utilizing a single-phase full-color $\text{Ba}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8: \text{Eu}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$ phosphor[J]. Appl Phys Lett, 2004, 84(15): 2931-2933.
 - [12] 苏锵,梁宏斌,王静,等. 稀土发光材料的进展与新兴技术产业[J]. 稀土信息, 2010(9): 5-8.
 - [13] SIVAKUMAR S, BOYER J C, BOVERO F, et al. Up-conversion of 980 nm light into white light from Sol-Gel derived thin film made with new combinations of $\text{LaF}_3: \text{Ln}^{3+}$ nanoparticles[J]. J Mater Chem, 2009, 19(16): 2392-2399.
 - [14] WANG Jiwei, TANNER P A. Upconversion for white light generation by a single compound[J]. J Am Chem Soc, 2010, 132(3): 947-949.
 - [15] QUIRINO W G, LEGNANI C, CREMONA M, et al. White OLED using β -diketones rare earth binuclear complex as emitting layer[J]. Thin Solid Films, 2006, 494(1/2): 23-27.
 - [16] BUNZLI J C G, PIGUET C. Taking advantage of luminescent lanthanide ions[J]. Chem Soc Rev, 2005, 34: 1048-1077.
 - [17] WANG Leyu, LI Yadong. Controlled synthesis and luminescence of lanthanide doped NaYF_4 nanocrystals[J]. Chemistry of Materials, 2007, 19(4): 727-734.
 - [18] LINDA A, BRYAN V E, MICHAEL F, et al. Downconversion for solar cell in $\text{YF}_3: \text{Pr}^{3+}, \text{Yb}^{3+}$ [J]. Spectrosc Lett, 2010, 43(5): 373-381.
 - [19] TENG Yu, ZHOU Jiajia, LIU Jianrong. Efficient broadband near-infrared quantum cutting for solar cells[J]. Optics Express, 2010, 18(9): 9671-9676.