

X波段FBAR用AlN薄膜制备研究

彭华东,徐 阳,张永川,杜 波,司美菊,蒋 欣,赵 明

(中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆 400060)

摘 要:采用中频磁控溅射法,在硅基上制备了X波段薄膜体声波谐振器(FBAR)滤波器用AlN压电薄膜。对AlN薄膜进行了分析表征,结果表明,AlN压电薄膜具有良好的(002)面择优取向,摇摆曲线半峰宽为 2.21° ,膜厚均匀性优于0.5%,薄膜应力为 -5.02 MPa ,应力可在张应力和压应力间进行调节。将该AlN薄膜制备工艺应用于FBAR器件的制作,研制出X波段FBAR器件,谐振频率为9.09 GHz,插入损耗为 -0.38 dB 。

关键词:AlN;压电薄膜;中频磁控溅射;薄膜应力;薄膜体声波谐振器(FBAR)

中图分类号:TN65

文献标识码:A

DOI:10.11977/j.issn.1004-2474.2019.02.002

Preparation of AlN Films for X Band FBAR Devices

PENG Huadong, XU Yang, ZHANG Yongchuan, DU Bo, SI Meiju, JIANG Xin, ZHAO Ming

(The 26th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: The aluminum nitride (AlN) films for X band film bulk acoustic resonator (FBAR) devices were grown by mid frequency magnetron sputtering on silicon substrates. The AlN films were analyzed and characterized. The results show that the AlN films have preferred orientations of (002), the full width at half maximum of the rocking curve is 2.21° . The thickness uniformity of AlN films is less than 0.5%. The film stress is -5.02 MPa , and the stress can be adjusted between tensile and compressive stress. The FBAR devices were fabricated by using this AlN film preparation process, and X-band FBAR devices with the resonator frequency of 9.09 GHz and insertion loss of -0.38 dB have been developed.

Key words: aluminum nitride; piezoelectric film; mid frequency magnetron sputtering; stress of thin film; film bulk acoustic resonator (FBAR)

0 引言

与声表面波滤波器、介质滤波器及低温共烧陶瓷(LTCC)滤波器等相比,薄膜体声波谐振器(FBAR)滤波器同时具有小体积和高性能的优势,其制作工艺还能与CMOS工艺兼容^[1]。FBAR是满足射频前端高性能、小型化和集成化的最佳途径之一。目前,FBAR滤波器已广泛应用于移动通信市场^[2-3]。

FBAR是一种利用声学谐振实现电学选频的新型器件,通过底电极和顶电极间压电薄膜在垂直方向的谐振进行选频,具有插入损耗小,矩形度好,体积小,可靠性高等优点。FBAR空气腔结构是目前最成功的产品结构^[4],由于换能器的上、下部均为空气,当声学信号传输到顶电极上端和底电极底端时,

声阻抗的巨大差异会造成声波的全反射,声能量集中在亚微米量级的声学层区域里。该空气腔结构的声泄露很小,可实现FBAR器件的高品质因数。AlN压电薄膜具有高压电耦合系数和高声速等优点,成为FBAR滤波器首选的压电薄膜,是FBAR滤波器的核心材料,其质量直接影响FBAR滤波器的频率、品质因数及插入损耗等关键性能指标。采用金属有机化合物气相沉积^[5]、脉冲激光沉积^[6]和磁控溅射^[7]等方法可制作AlN压电薄膜。其中,磁控溅射法因薄膜淀积易控制、薄膜应力小及膜厚均匀性好等优点,成为FBAR用AlN薄膜最佳制作方法。

X波段FBAR器件频率为8~12 GHz,AlN压电薄膜厚150~200 nm,制备优质超薄的AlN薄膜

收稿日期:2018-11-10

基金项目:国防基础科研计划基金资助项目(JCKY2016210B010)

作者简介:彭华东(1974-),男,四川巴中人,高级工程师,主要从事半导体设备及工艺的研究。

较难。目前,X波段FBAR器件用较薄的AlN压电薄膜还未见报道。本文采用中频磁控溅射法在硅基上制备了较薄的优质AlN压电薄膜,所得AlN压电薄膜用于制作X波段FBAR器件的工艺中,并成功研制出X波段FBAR器件。

1 实验

采用6英寸(1英寸=2.54 cm)(100)硅单晶片为衬底材料,溅射前使用 H_2SO_4 和 H_2O_2 ($V(\text{H}_2\text{SO}_4):V(\text{H}_2\text{O}_2)=4:1$ (体积比))漂洗10 min, HF 酸($V(\text{HF}):V(\text{H}_2\text{O})=1:100$)漂洗1 min,冲水甩干后入腔室溅射。采用射频等离子清洗基片,采用磁控溅射法制作底电极Mo薄膜,靶材为高纯钼靶(99.99%(原子数比)),超纯氩气(99.9999%)作为溅射气体。采用中频磁控溅射法制作AlN种子层薄膜和AlN压电薄膜,靶材为高纯铝靶(99.999%),超纯氩气和氮气(99.9999%)作为溅射气体。制作了AlN(压电层)/Mo(底电极)/AlN(种子层)/Si基结构的AlN复合压电薄膜。

实验中,使用D8 DISCOVER型X线衍射仪(XRD)分析Mo和AlN薄膜的晶体结构和择优取向;采用FLX-2320S型应力测试仪测试薄膜应力;采用F-50型光反射式膜厚测试仪测试了AlN压电薄膜膜厚;采用微波探针台测试X波段FBAR器件的电性能指标。

2 结果及讨论

2.1 AlN薄膜性能分析

在硅片上制作了厚176 nm的AlN压电薄膜,测试了AlN薄膜的厚度,共测试了97点,膜厚分布如图1所示。由图可看出,AlN膜厚平均值为176.1 nm,膜厚均匀性为0.32%(1σ ,即1个标准偏差),AlN薄膜具有良好的膜厚均匀性。

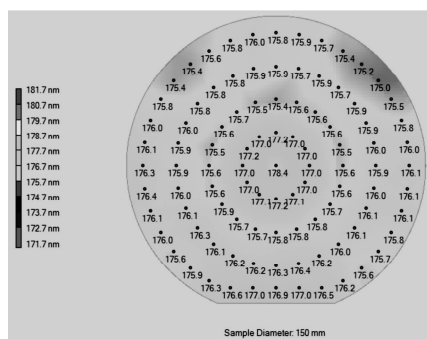


图1 AlN薄膜厚度分布图

在硅片上制作了Mo底电极和厚176 nm的AlN压电层,膜层结构为AlN(压电层)/Mo(底电极)/AlN(种子层)/Si基。对样品进行了XRD分析,图2、3分别为Mo薄膜(110)面和AlN薄膜(002)面的XRD摇摆曲线。由图可看出,Mo薄膜摇摆曲线的半峰宽为 1.65° ,AlN薄膜摇摆曲线半峰宽为 2.21° 。通过AlN种子层诱导Mo(110)取向的生长,Mo薄膜具有良好的择优取向。Mo(110)取向的体心立方结构有助于生长AlN(002)取向的压电薄膜,AlN薄膜也呈现出良好的c轴择优取向,其c轴择优取向度能满足X波段FBAR器件的要求。

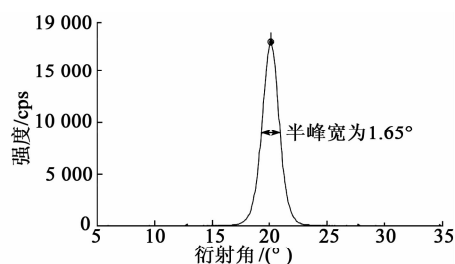


图2 Mo薄膜(110)面XRD摇摆曲线

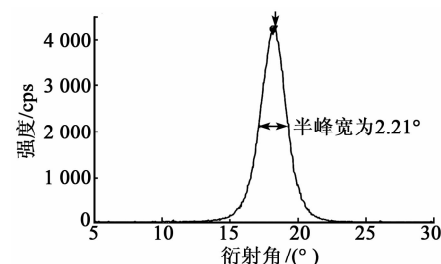


图3 AlN薄膜(002)面XRD摇摆曲线

AlN薄膜的应力是AlN薄膜的另一个重要性参数,如果薄膜应力过大,会导致基片发生变形、空气腔结构破裂甚至塌陷。因此,在保证AlN压电薄膜高压电性能的同时,需要减小薄膜的应力,提高器件性能和可靠性。图4为Mo(底电极)/AlN(种子层)/Si基上制作的AlN压电薄膜应力测试图。由图5可看出,AlN薄膜应力仅为 -5.02 MPa ,生长的AlN薄膜应力很小。AlN薄膜应力可通过溅射气体氩气的流量进行调整。图5为氩气流量对AlN薄膜应力的影响图。由图5可见,随着氩气流量的增加,AlN薄膜应力从压应力向张应力变化,AlN薄膜应力和氩气流量几乎呈线性关系,AlN薄膜应力可控。根据实际工艺需要可对AlN薄膜应力进行调节。

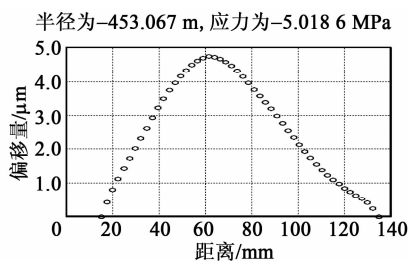


图4 AIN 薄膜应力测试图

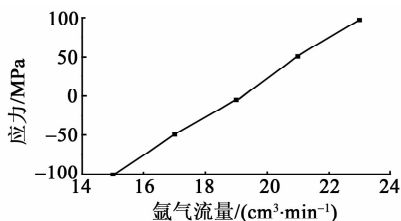


图5 氩气流量对 AIN 薄膜应力的影响

2.2 X 波段 FBAR 器件的制作

采用厚 150~200 nm 的 AIN 压电薄膜,在硅基上制作了 X 波段 FBAR 器件,其结构示意图如图 6 所示。

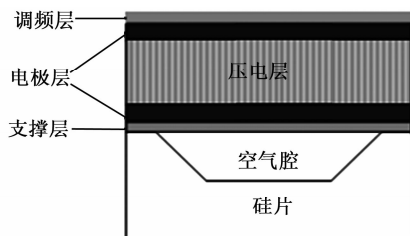


图6 FBAR 结构示意图

图 7 为 X 波段 FBAR 器件电性能测试曲线。器件谐振频率为 9.09 GHz,插入损耗为 -0.38 dB。FBAR 器件频率已达 X 波段,插入损耗小,具有良好的电性能,满足应用需求。

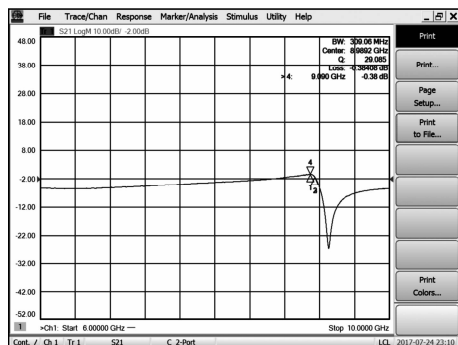


图7 FBAR 器件频率响应曲线

3 结束语

本文采用中频磁控溅射法对 X 波段 FBAR 用

AIN 薄膜制备技术进行了研究,获得了 X 波段 FBAR 用较薄的优质 AIN 压电薄膜。AIN 压电薄膜的性能分析结果表明,AIN 膜厚均匀性为 0.32% (1σ),AIN 薄膜摇摆曲线半峰宽为 2.21° ,AIN 薄膜应力为 -5.02 MPa,薄膜应力可调。制作的 AIN 压电薄膜应用于 X 波段 FBAR 器件,成功研制出 X 波段 FBAR 器件。

参考文献:

- [1] 江洪敏,马晋毅,汤劲松,等. 2.8 GHz 薄膜体声波谐振器的研究[J]. 压电与声光,2010,32(1):1-2.
JIANG Hongmin, MA Jinyi, TANG Jinsong, et al. Study on 2.8 GHz thin film bulk acoustic resonator [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2010, 32(1): 1-2.
- [2] 杜波,马晋毅,蒋欣,等. 薄膜体声波谐振器有限元仿真与设计[J]. 压电与声光,2016,38(4):531-534.
DU Bo, MA Jinyi, JIANG Xin, et al. Finite element simulation and design of film bulk acoustic wave resonators [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2016, 38(4): 531-534.
- [3] JAMNEALA T, BRADLY P, SHIRAKAWA A, et al. An Investigation of Lateral Modes in FBAR Resonators [J]. IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2016, 63(5): 778-789.
- [4] WANG Y Q, FENG C, LAMERS T, et al. FBAR Resonator figure of merit Improvements [C]// San Diego, California, USA: IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 2010: 861-863.
- [5] YAO H H, LIN C F, KUO H C. MOCVD growth of AIN/GaN DBR structures under various ambient conditions [J]. Journal of Crystal Growth, 2004, 262: 151-156.
- [6] 张霞,陈同来,李效民. Si(100) 衬底上 PLD 法制备高取向度 AIN 薄膜 [J]. 无机材料学报, 2005, 20(2): 419-424.
ZHANG Xia, CHEN Tonglai, LI Xiaomin. Highly-oriented AIN thin films on Si(100) substrates by pulsed laser deposition [J]. Journal of Inorganic Materials, 2005, 20(2): 419-424.
- [7] 陈运祥,董家和,司美菊,等. FBAR 用氮化铝压电薄膜研究 [J]. 压电与声光, 2015, 37(6): 934-936.
CHEN Yunxiang, DONG Jiahe, SI Meiju, et al. Study on aluminum nitride films used for FBAR devices [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2015, 37(6): 934-936.