

FBAR 用氮化铝压电薄膜研究

陈运祥,董加和,司美菊,李洪平,赵雪梅,张永川,于新晓,刘善群

(中国电子科技集团公司第二十六研究所,重庆 400060)

摘要:介绍了 FBAR 用复合氮化铝(AIN)压电薄膜的制作方法。采用双 S 枪中频(40 kHz)磁控反应性溅射铝靶制作出了 AIN 压电薄膜。采用双 S 枪直流(DC)磁控溅射钼(Mo)靶制作出了 Mo 电极薄膜。对 AIN 压电薄膜、Mo 电极薄膜进行了 X 线衍射(XRD)分析,结果表明,AIN 压电薄膜(002)面、Mo 薄膜(110)面择优取向优良。对 $\phi 4''$ Si 基 AIN 压电薄膜进行了膜厚测试,结果表明,其膜厚均匀性优于 $\pm 0.5\%$ 。对 $\phi 4''$ Si 基 AIN 压电薄膜、Mo 薄膜进行了应力测试,结果表明,其应力分别在 $-100 \sim +100$ MPa 及 $-150 \sim +220$ MPa;对 $\phi 4''$ Si 基 Mo/AIN/Mo/AIN 复合压电薄膜应力进行了应力测试,结果表明,其应力低达 -71.5185 MPa。对 $\phi 4''$ Si 基 AIN 压电薄膜进行了化学成分分析,结果表明,其 Al:N 原子比为 $51.8:48.2$ 。

关键词:氮化铝压电薄膜;膜厚均匀性;薄膜应力

中图分类号:TN65 **文献标识码:**A

Study on Aluminum Nitride Films Used for FBAR Devices

CHEN Yunxiang, DONG Jiahe, SI Meiju, LI Hongping, ZHAO Xuemei,

ZHANG Yongchuan, YU Xinxiao, LIU Shanqun

(26th Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: This paper describes the preparing methods of piezoelectric AlN thin films used for FBAR devices. The piezoelectric AlN thin films were prepared using MF(40 kHz) magnetron reactive sputtering process with dual S-gun structure. The Mo electrode thin films were fabricated using DC magnetron sputtering Mo target with dual S-gun structure. The AlN thin films and Mo thin films are analysed by X-ray diffraction(XRD), the results indicate the preferred orientations for the (002) crystal face of AlN thin films and the (110) crystal face of Mo thin films are excellent. The thickness measurement of AlN thin films on $4''$ Si wafers is carried out, the results indicate the thickness uniformity of AlN thin films is less than $\pm 0.5\%$. The stress of AlN thin films and Mo thin films on $4''$ Si wafers is tested, the results indicate the stress is at the range of -100 MPa to $+100$ MPa and -150 MPa to $+220$ MPa, respectively. The stress of the composite Mo/AlN/Mo/AlN film on $4''$ Si wafers is tested, the results indicate the stress is -71.5185 MPa. The composition of AlN thin films on $4''$ Si wafers is tested, the results indicate the atomic ratio of this film is $51.8:48.2$.

Key words: piezoelectric AlN thin films; uniformity of thin films thickness; stress of thin films

0 引言

氮化铝(AIN)薄膜具有优良的物理化学性质及压电性,其化学性质稳定,具有高硬度、高热导率、高电阻率、热扩散系数低及压电性较强等特点。这些特点使 AIN 薄膜广泛用作电子绝缘和封装材料,还用于制作声表面波(SAW)及声体波(BAW)器件等^[1-2]。在 BAW 器件应用中,尤其以薄膜声体波谐振器(FBAR)及其滤波器和双工器应用最为引人注目^[3]。近年来,已发展了多种用于制作 AIN 压电薄膜的方法,有平面磁控溅射法、金属有机化学气相法^[4]、S 枪磁控溅射法^[5]、激光烧蚀法等,其中 S 枪

磁控溅射法因其具有反应温度低、成膜易控制、膜结构致密、薄膜膜厚均匀性好等优点成为最受欢迎的 AIN 压电薄膜制作方法。

我们采用双 S 枪磁控溅射法制作 AIN 压电薄膜,并介绍了制作工艺及其结构性能测试结果。在此基础上,采用这种压电薄膜研制出了 FBAR 器件样品,给出了其性能测试结果。

1 S 枪磁控溅射制作 AIN 压电膜及 Mo 薄膜

我们采用 EndeavorAT 型双 S 枪(见图 1)磁控

收稿日期:2015-08-20

基金项目:国家重点研究基金资助项目

作者简介:陈运祥(1963-),男,重庆市潼南区人,高级工程师,主要从事压电薄膜材料的研究。

溅射系统制作 AlN 压电薄膜。研制了 AlN(压电层)/Mo/AlN(种子层)/Si(100)结构的复合压电薄膜。其中,采用双 S 枪中频(40 kHz)磁控反应性溅射铝靶制作 AlN 薄膜;采用双 S 枪直流(DC)磁控溅射钼(Mo)靶制作出了 Mo 电极薄膜。各层薄膜生长条件如下:

1) AlN 种子层生长条件:

溅射方式:中频磁控反应性溅射。

靶材:双 S 枪高纯铝靶,纯度 99.999%。

溅射气体:高纯氮气(N_2),纯度 99.999%;超纯氩气(Ar),纯度 99.999 9%。

溅射功率:6.7 kW。

溅射气体流量: $F_{Ar}=6\text{ cm}^3/\text{min}$;

$$F_{N_2}=18\text{ cm}^3/\text{min}。$$

2) AlN 压电层生长条件:

溅射方式:中频磁控反应性溅射。

靶材:双 S 枪高纯铝靶,纯度 99.999%。

溅射气体:高纯氮气(N_2),纯度 99.999%;超纯氩气(Ar),纯度 99.999 9%。

溅射功率:5.5 kW。

溅射气体流量: $F_{Ar}=6\text{ cm}^3/\text{min}$;

$$F_{N_2}=18\text{ cm}^3/\text{min}。$$

3) Mo 电极薄膜生长条件:

溅射方式:直流(DC)磁控溅射。

靶材:双 S 枪高纯钼靶,纯度 99.999%。

溅射气体:超纯氩气(Ar),纯度 99.999 9%。

溅射功率:3.5 kW。

溅射气体流量: $F_{Ar}=6.5\text{ cm}^3/\text{min}$ 。

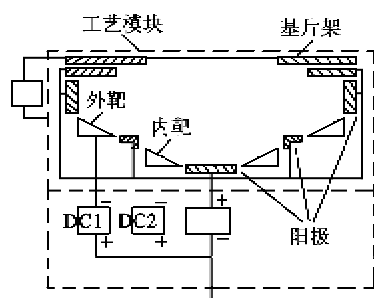


图1 双S枪磁控溅射结构概略图

2 AlN 压电薄膜及 Mo 薄膜晶粒择优取向

采用 X 线衍射(XRD)仪对研制出的 AlN(压电层)/Mo/AlN(种子层)/Si(100)结构的复合压电薄膜样品进行了 XRD 分析,获得了该样品 XRD 曲线(见图 2)及其摇摆曲线(见图 3、4),结果为:AlN(种子层)/Si(100)基 Mo 薄膜(110)面择优取向度达到

摇摆曲线半峰宽为 1.6° ; Mo/AlN(种子层)/Si(100)基 AlN 压电薄膜(002)面择优取向度达到摇摆曲线半峰宽为 1.4° ;这表明 Mo 薄膜的(110)面择优取向及 AlN 薄膜的(002)面择优取向优良。

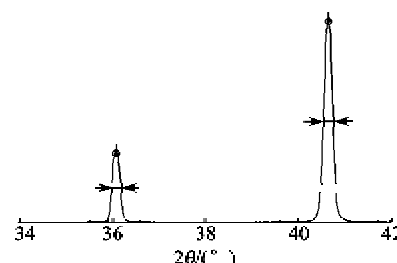


图2 AlN及Mo多晶薄膜XRD衍射曲线

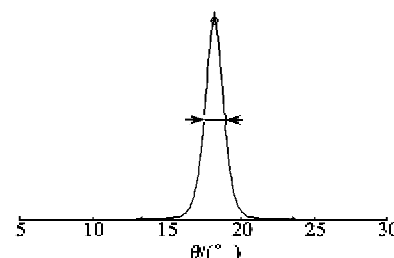


图3 AlN薄膜XRD摇摆曲线

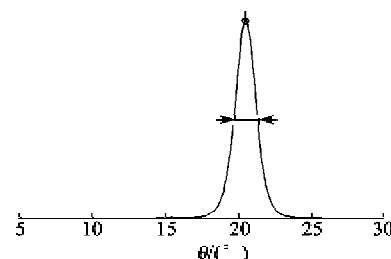


图4 Mo薄膜XRD摇摆曲线

3 AlN 压电薄膜膜厚均匀性

采用 F-50 型光反射式膜厚测试仪测试了 AlN 压电薄膜膜厚,样品结构为 $\varnothing 4''$ AlN/Si(100)。共测试 49 个点,根据测试出的 AlN 压电薄膜膜厚值计算出 AlN 压电薄膜膜厚均匀性为 $\pm 0.26\%$ 。

4 AlN 压电薄膜及 Mo 薄膜内应力

影响 AlN 及 Mo 薄膜内应力的因素较多,如溅射功率、溅射气体压力、靶与基片之间的距离及相对位置、成膜温度、基片偏压、AlN 及 Mo 薄膜的热胀系数与基片热胀系数之间的差异大小等。我们对 AlN 及 Mo 薄膜成膜的溅射功率、溅射气体压力、成膜温度、基片偏压等参数进行了优化,获得了相应的实验结果。

采用 FLX-2320S 型应力测试仪对 $\varnothing 4''$ Si 基 AlN 压电薄膜、Mo 薄膜进行了应力测试,结果表明,其应力分别在 $-100 \sim +100\text{ MPa}$ 及 $-150 \sim$

+220 MPa;对 $\varnothing 4''$ Si 基 Mo/AlN/Mo/AlN 复合压电薄膜应力进行了应力测试,结果表明,其应力达-71.518 5 MPa。

5 AlN 薄膜化学成分分析

采用 JXA-8230 型电子探针对 $\varnothing 4''$ Si 基 AlN 压电薄膜进行了化学成分分析,结果表明,其 Al : N 原子比为 51.8 : 48.2。

6 AlN 压电薄膜的应用

采用研制出的 AlN 压电薄膜应用于制作 FBAR 器件,其结构示意图如图 5 所示。

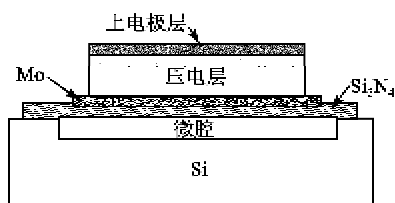


图 5 FBAR 结构示意图

采用矢量网络分析仪测试了上述结构 FBAR 器件,其性能如下:串联谐振频率为 1.952 5 GHz;并联谐振频率为 1.982 5 GHz;插入损耗为 2.59 dB。器件的频率响应曲线如图 6 所示。

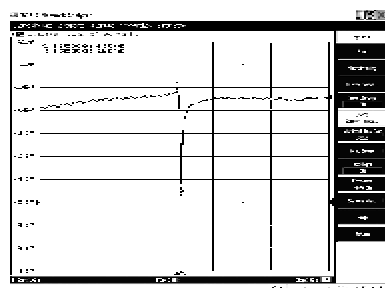


图 6 FBAR 器件频率响应曲线

(上接第 933 页)

信号。其体积小,质量小,功耗低,具有频率覆盖范围宽,灵敏度高,动态范围大,对同时到达信号检测和实时信息处理能力强等优点。目前各关键元器件均能实现国产化,可有力保障军工需求。今后将进一步研发多通道声光频谱分析装置,以适用于多波束阵列无线接收系统。国外研究动态表明,将光学技术与数字处理技术有效结合能很好地满足日趋复杂的电磁信号监测需要^[5]。

参考文献:

[1] 程乃平,江修富,邵定蓉.声光信号处理及应用[M].北

7 结束语

本文给出了 FBAR 用 AlN 压电薄膜及 Mo 薄膜的制作方法,获得了相关实验结果,AlN 压电薄膜(002)面择优取向度半峰宽可达 1.4°;Mo 薄膜(110)面择优取向度半峰宽可达 1.6°; $\varnothing 4''$ Si 基 AlN 压电薄膜膜厚均匀性为 $\pm 0.26\%$; $\varnothing 4''$ Si 基 Mo/AlN/Mo/AlN 复合压电薄膜应力达-71.518 5 MPa。将研制出的 AlN 压电薄膜用于制作 FBAR 器件,研制出了器件初样。

参考文献:

- [1] DUBOIS M A, MURALT P. Properties of aluminum nitride thin films for piezoelectric transducers and microwave filter applications[J]. Applied Physics Letters, 1990, 74:3032.
- [2] SATOSHI F S, KAWAN S, UMEDA T, et al. Development of a 6 GHz resonator by using an AlN diamond structure[C]//S. I.: IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 2008:1916.
- [3] RUBY R. Review and comparison of bulk acoustic wave FBAR SMR technology[C]//S. I.: IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 2007: 1039.
- [4] XI Y A. Optimization of high-quality AlN epitaxially grown on (0001) sapphire by meta-organic vapor-phase epitaxy[J]. Journal of Electronic Materials, 2007, 36(4):533.
- [5] TANNER S M, FELMETSGER V V. Microstructure of piezoelectric AlN films deposited by AC reactive sputtering[C]//S. I.: IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings, 2009:1691.

京:国防工业出版社,2004.

- [2] LEE J N, VANDERLUGT A. Acoustooptic signal processing and computing[J]. Proc IEEE, 1989, 77 (10):1534-1535.
- [3] 赵国庆.雷达对抗原理[M].西安:西安电子科技大学出版社,1999.
- [4] 郁道银,谈恒英.工程光学[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [5] 蒋跃.基于 Bragg 衍射的声光频谱分析仪[J].压电与声光,2006,28(3):269-271.
JIANG Yue. Acousto-optic spectrum analyzer based on Bragg diffraction[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2006, 28(3):269-271.