

Study on Mechanical Property of Silicon Nitride Thin Film and the Application in RF MEMS Switches

YU Ying^{1*}, WU Qing-xin¹, LUO Zhong-zi²

1. Department of Electronic Science and Applied Physics, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China;
2. SA Peng tung Microelectromechanical Systems Research Center, Xiamen University, Xiamen 360005, China

Abstract: Silicon nitride thin film is often used in MEMS devices as structure part because of its high density and strength. The silicon nitride films were prepared by PECVD method. The test of Young's Modules and hardness on silicon nitride films were carried on. The relationship between Young's Modules, hardness and deposition temperature, reaction gas flow ratio was analyzed. The RF MEMS switch was fabricated using silicon nitride as fixed fixed beam.

Key words: silicon nitride thin film; Young's Modules; MEMS; RF switches

EEACC: TN405

氮化硅薄膜力学性能的研究及其在射频 MEMS 开关中的应用

于映^{1*}, 吴清鑫¹, 罗仲梓²

(1. 福州大学物理与信息工程学院, 福州 350002 2. 厦门大学萨本栋微机电研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要: 氮化硅薄膜具有致密的结构、高强度和良好的耐磨性能, 可用于 MEMS 器件中作为结构部件。本文采用 PECVD 法制备氮化硅薄膜, 对氮化硅薄膜的杨氏模量和硬度进行了测试, 并分析了沉积温度、反应气体流量比对薄膜杨氏模量和硬度的影响。应用氮化硅薄膜作为悬梁, 制作了射频 MEMS 开关。

关键词: 氮化硅薄膜; 杨氏模量; MEMS; 射频开关

中图分类号:

文献标识码: A

文章编号: 1004 1699(2006)05 1967 03

氮化硅薄膜具有致密的结构、良好的绝缘性能及抗氧化、抗腐蚀的能力, 广泛地用于半导体器件和集成电路中。近年来随着三维加工技术的兴起, MEMS 器件及制作工艺得到了迅速的发展, 由于氮化硅薄膜还具有抗疲劳强度高、抗折断能力强、良好的耐磨性等优良的力学和机械性能, 常用于制作 MEMS 器件的悬梁等结构。

由于氮化硅薄膜优良的力学性能, 可用于射频 MEMS 开关中作为悬梁, 如 Rockwell Science Center 所制作的串联式射频 MEMS 开关采用由氮化硅/合金构成悬梁, 悬梁高度为 $2\ \mu\text{m}$, 驱动电压 $50\sim 60\text{V}^{[1]}$; HRL 在 GaAs 基片上制作了串联式射频 MEMS 开关, 其悬臂梁为 $2\ \mu\text{m}$ 厚的 PECVD 氮化硅, 接触时电阻为 $1\sim 1.5\ \Omega^{[2,4]}$; ST 微电子制作的

热-静电驱动串联式射频 MEMS 开关, 采用 $1\ \mu\text{m}$ 厚的 PECVD 氮化硅薄膜作为悬梁, 触点为金, 当加热器的温度高于 $180\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 悬梁开始形变, 触点的接触电阻为 $1\sim 2\ \Omega^{[5,9]}$ 。

本文采用 PECVD 方法制备氮化硅薄膜, 对氮化硅薄膜的力学性能进行研究, 采用纳米压痕技术测试了薄膜的杨氏模量和硬度, 分析了氮化硅薄膜的制作工艺与力学性能之间的关系, 采用 MEMS 加工技术制作了两端固定的氮化硅悬梁, 将其应用于射频 MEMS 开关中。

1 实验

采用 PECVD 方法制备氮化硅薄膜, 在 PECVD 2E 等离子体淀积台进行薄膜的沉积, 反应

收稿日期: 2006 07 01

基金项目: 国家自然科学基金资助(60301006); 福建省科技重点项目资助(2005H029)

作者简介: 于映(1968), 女, 博士(通讯联系人), 主要研究方向为 MEMS 器件和工艺, yyc@fzu.edu.cn。

气体为氮气稀释至 12% 的硅烷气体和 99.999% 的纯氮气, 沉积时的温度、反应气体比例、功率等可根据实验的要求进行调节。基片分别用(100)硅片和石英玻璃, 用 DEKTAK 6M 测试薄膜的厚度, 用纳米压痕技术测量氮化硅薄膜的杨氏模量和硬度。根据射频 MEMS 开关的结构, 设计了两端固定的悬梁, 采用聚酰亚胺作为牺牲层, 0.7 ~ 0.8 μm 的氮化硅薄膜作为悬梁, 用 OLYMPUS OLS 1200 共聚焦显微镜观察悬梁的弯曲状态。

2 讨论与分析

实验和测试表明, PECVD 方法制备的氮化硅薄膜具有内应力, 沉积温度是影响薄膜力学性能的重要因素, 而反应气体的比例不仅影响薄膜的成分并对薄膜的杨氏模量也有影响。

表 1 纳米压痕法测试氮化硅薄膜的杨氏模量和硬度

样品	沉积温度 / $^{\circ}\text{C}$	反应气体比例 / $\text{SiH}_4:\text{NH}_3$, sccm	杨氏模量 / GPa	硬度 / GPa
1 #	100	38 : 8	65	14
2 #	250	38 : 8	140	18.96
3 #	250	38 : 11	144	19.53
4 #	250	38 : 15	148	19.39
5 #	280	38 : 11	162	20
6 #	280	38 : 8	172.6	20

杨氏模量和硬度是表征氮化硅薄膜力学性能的重要参数。从表一可以看出, 沉积温度对薄膜的杨氏模量和硬度有很大的影响。当反应气体比例一定时, 随着温度的增加, 杨氏模量也随之增加, 硬度也随之增加, 这表明在低沉积温度时, 所制备的氮化硅薄膜呈现出较为松软的状态, 薄膜的致密度较低, 由于沉积薄膜时温度较低, 硅烷和氮气未能发生完全的反应, 反应的粒子在基片表面的迁移能力差, 致使薄膜中的杂质粒子较多, 薄膜的表面的清洁度和平整度都较差。当沉积温度升高时, 反应室内的化学气相反应逐渐充分, 基片表面的粒子的能量增强, 使得基片表面的反应也增强, 粒子在基片表面的迁移能力增强, 薄膜的表面变得平整与光滑, 此时薄膜的致密度增加, 薄膜的杨氏模量和硬度也随之增加。

利用牺牲层技术将 PECVD 制备的氮化硅薄膜做成两端固定的悬梁结构, 如图 1 至图 4 所示。图 1 至图 4 为激光共聚焦显微镜测试的悬梁结构的三维示意图。当沉积温度较低, 在 80°C 至 100°C 时, 所得到的悬梁较松软, 呈现出压应力, 悬梁在垂直于基片表面的方向上高低起伏较大, 且有时呈突起状(图 1), 有时呈凹陷状(图 2), 从其杨氏模量的值较小可分析出此时薄膜较软, 因此当释放完牺牲层后悬梁有较大的形变。当沉积温度升高时, 高于 150°C 时, 所

制备的悬梁渐渐平直, 从图 3 和图 4 可以看出, 150°C 时悬梁在根部和触点部分仍有部分起伏, 当温度升至 200°C 时, 悬梁已经基本平直, 此时薄膜的内应力渐渐由压应力转为张应力, 其杨氏模量和硬度的值也增大, 表明薄膜具有较大硬度和强度。

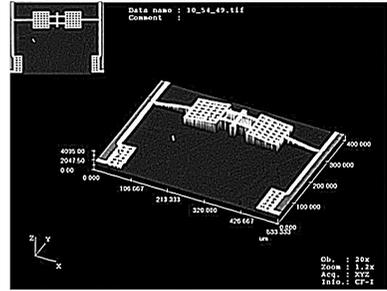


图 1 沉积温度为 80°C 时的氮化硅悬梁

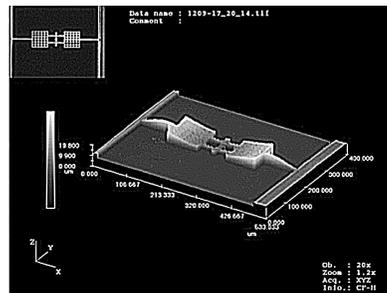


图 2 沉积温度为 100°C 时的氮化硅悬梁

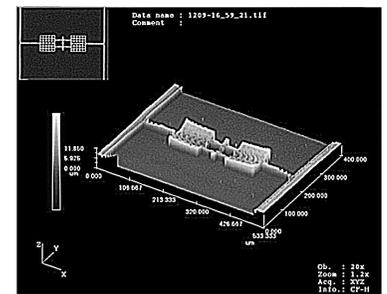


图 3 沉积温度为 150°C 时的氮化硅悬梁

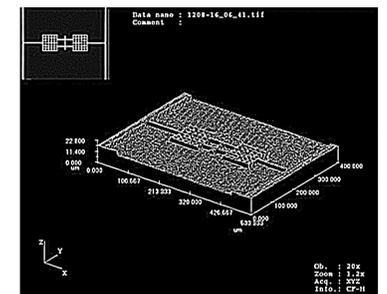


图 4 沉积温度为 200°C 时的氮化硅悬梁

反应气体的比例也是影响氮化硅薄膜力学性能的工艺参数。实验发现, 在相同的沉积温度下, 反应气体硅烷和氮气的不同比例造成氮化硅薄膜具有不同的杨氏模量, 但硬度基本相同。反应气体的比例不同, 使得薄膜的成分有所不同, 即薄膜的 Si 和 N 比例不同, 因此薄膜具有不同的弹性性能, 氮化硅薄

膜的杨氏模量有所差异, 如 250°C 时, 随着氨气比例的增大, 薄膜的杨氏模量呈增大趋势, 但增加的数值相对较小, 而当 280°C 时, 随着氨气比例的增大, 薄膜的杨氏模量却减小, 目前尚未找到造成这种结果的真正原因。

由于氮化硅薄膜具有良好的弹性、高绝缘能力和较高的强度, 因此设计了采用氮化硅薄膜作为悬梁的接触式射频 MEMS 开关, 采用低温 PECVD 技术制作 $0.7\sim 1\ \mu\text{m}$ 的氮化硅悬梁, 聚酰亚胺作为牺牲层, 悬梁高度为 $2\sim 3\ \mu\text{m}$, 金电极厚度为 $0.2\ \mu\text{m}$, 驱动电压为 $12\sim 40\ \text{V}^{[7]}$, 具体结构见图 5。

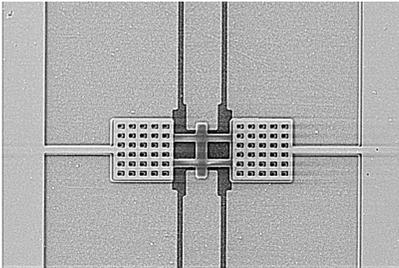


图 5 接触式射频 MEMS 开关

3 结论

本文采用 PECVD 方法在低温下制备了氮化硅薄膜, 实验发现沉积温度对氮化硅薄膜的杨氏模量和硬度有较大的影响, 反应气体流量比也是影响薄

膜性能的参数, 将氮化硅薄膜制作成为两端固定的悬梁并观察其高低起伏情况, 同样反映出薄膜力学性能的变化. 采用 MEMS 工艺制作了射频开关, 应用氮化硅薄膜作为悬梁, 具有较好的弹性和强度, 可在 $14\sim 40\ \text{V}$ 电压下被驱动。

参考文献:

- [1] Mihailovich RE, Kim M, Hacker J B et al. MEMS Relay for Reconfigurable RF Circuits[J]. IEEE Microwave Wireless Comp. Lett., Feb. 2001, 11: 53 55.
- [2] Hyman D and Mehreany M. Contact Physics of Gold Micro contacts for MEMS Switches[J]. IEEE Trans. Comp. Packaging Technology, 1999, 22(3): 357 364.
- [3] Hyman D, Schmitz A, Warneke B, et al. GaAs Compatible Surface Micromachined RF MEMS Switches[J]. Electronics Lett., 1999, 35(3): 224 225.
- [4] Hyman D, Schmitz A, Warneke B et al. Surface Micro Machined RF MEMS Switches on GaAs Substrate[J]. Int. J. RF Microwave CAE, 1999, 9(4): 338 347.
- [5] Blondy P, Mercier D, Cros D et al. Packaged mm wave thermal MEMS switches[C] // 31st European Microwave Conference, London, UK, 2001, 1: 283 286.
- [6] Blondy P, Cros D, Guillon P, et al. Low Voltage High Isolation MEMS Switches[C] // Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems, Ann Arbor, MI, 2001: 47 49.
- [7] 于映, 罗仲梓, 翁心桥. 接触式串联射频 MEMS 开关的工艺研究[J]. 真空科学与技术, 2004, 24(4): 306 308.

(上接第 1966 页)

- [3] Cugata O, Basroub S, Divoux C, et al. Deformable Magnetic Mirror for Adaptive Optics: Technological Aspects [J]. Sensors and Actuators A, 2001, 89: 1 9.
- [4] Watanabe Y, Edo M, Nakazawa H, et al. A New Fabrication Process of a Planar Coil Using Photosensitive Polyimide and Electroplating [J]. Sensors and Actuators A: Physical, 1996, 54: 733 738.
- [5] Laermer F, Urban A. Challenges, Developments and Applications of Silicon Deep Reactive Ion Etching [J], Microelectronic Engineering, 2003, (6): 67 68, 349 355.
- [6] Marty F, Rousseau L, Saadany B et al. Advanced Etching of

- Silicon Based on Deep Reactive Ion Etching for Silicon High Aspect Ratio Microstructures and Three Dimensional Micro and Nanostructures [J]. Microelectronics Journal, 2005, 36: 673 677.
- [7] Hecke M, Schomburg W K. Review on Micro Molding of Thermoplastic Polymers [J]. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2004, (4): R1 R14.
- [8] Yuh Min Chiang, Mark Bachman, Charles Chu, et al. Characterizing the Process of Cast Molding Microfluidic Systems [C] // SPIE, 1999, : 3877, 303 311.