

耦合型超薄悬臂梁阵列释放工艺分析

魏晓玮^{1,2}, 苗 斌¹, 李加东¹, 吴东岷¹

(1. 中国科学院 苏州纳米技术与纳米仿生研究所 国际实验室, 江苏 苏州 215123; 2. 中国科学技术大学 苏州研究院, 江苏 苏州 215123)

摘 要:针对耦合型超薄悬臂梁阵列释放过程中发生的粘附现象,采用背面湿法腐蚀的释放工艺,研究了液体表面张力对悬臂梁释放时的影响。通过改变悬臂梁释放时的液体环境和清洗方法,降低液体表面张力,避免悬臂梁的粘连,成功制备出长为 220 μm ,宽为 10 μm ,厚为 220 nm 的超薄悬臂梁,成品率可达 100%。

关键词:超薄悬臂梁;释放工艺;粘附现象;表面张力

中图分类号:TP394.1;TH691.9 **文献标识码:**A

Analysis on the Release Process of Coupled Ultra-thin Cantilever Arrays

WEI Xiaowei^{1,2}, MIAO Bin¹, LI Jiadong¹, WU Dongmin¹

(1. International Lab. for Adaptive Bio-nanotechnology, Suzhou Institute of Nano-tech and Nano-bionics, Chinese Academy of Sciences, Suzhou 215123, China;

2. Suzhou Institute for Advanced Study, University of Science and Technology of China, Suzhou 215123, China)

Abstract: Aimed at the adhesion phenomenon of coupled ultra-thin cantilever arrays in release process, the effect of surface tension of the liquid on the cantilever was researched, using release process by backside wet etching. By changing the liquid environment when cantilevers were released and the cleaning method, the surface tension of the liquid was reduce to avoid the adhesion of the beams. Ultra-thin cantilevers with length of 220 μm , width of 10 μm and thickness of 220 nm were fabricated successfully. The yield of these cantilever arrays was up to 100%.

Key words: ultra-thin cantilever; release process; adhesion phenomenon; surface tension

0 引言

微悬臂梁作为一种高灵敏度新型传感器,凭借其体积小,灵敏度高,响应时间短,结构简单和易集成的特点,在原子力显微镜^[1]、极小力检测^[2]、液体粘度检测^[3]、气压监测^[4-5]、化学生物检测^[6]等方面有广泛的应用。当悬臂梁更长、更薄、更窄时,其测试灵敏度会得到极大的提高,但制作过程中的不稳定性也会随之增大。因此,制备出高产率,高灵敏度及低成本的悬臂梁需要进一步的探索和尝试。单晶硅由于其良好的机械性能成为制备微悬臂梁的理想材料,随着 Silicon-On-Insulator(SOI)技术的发展,使亚微米厚顶层硅 SOI 片的应用成为可能,将顶部硅作为目标层,底层硅作为支撑层,不仅能简化工艺步骤,还能提高悬臂梁的品质和成功率。T. D. Stowe 等利用体硅工艺和临界点干燥法制作出了厚

为 60 nm,弹性系数为 6.5×10^{-6} N/m 的超薄悬臂梁,产率 80%^[7];在此基础上, H. J. Mamin 和 D. Rugar 将悬臂梁厚改为 290 nm,弹性系数达 260 $\mu\text{N/m}$,机械品质因数(Q)值达 150 000^[8]。但在释放功能层时,埋层 SiO_2 由于内部压应力造成薄膜弯曲,硅基悬梁易受到破坏,成品率不高。且制备过程中采用临界点干燥法,这需要专门的临界点干燥装置,增加了制作成本。X Li 等采用正面干法刻蚀的释放工艺制备出厚为 12 nm、产率为 95%的悬臂梁^[9]。但干法刻蚀的成本远高于湿法腐蚀,且刻蚀后仍需要对悬臂梁进行清洗,清洗过程中由于液体表面张力造成的悬臂梁粘附问题同样制约悬臂梁的成品率,在节约成本和提高产率方面未得到改善。Y Liu 等采用湿法腐蚀的释放工艺,研究埋层应力和液体表面张力对悬臂梁的影响可得长 465 μm 、

收稿日期:2014-04-10

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(61104226),国家重大科学研究计划基金资助项目(2010CB934700)

作者简介:魏晓玮(1988-),女,山东青岛人,硕士生,主要从事硅基纳米针尖和超薄悬臂梁的研究。通信作者:吴东岷(1974-),男,江苏苏州人,研究员,主要从事纳米光学及微纳机电系统的研究。E-mail:dmwu2008@sinano.ac.cn。

宽 $10\ \mu\text{m}$ 、厚 $850\ \text{nm}$ 的悬臂梁^[10]。但得到的悬臂梁太厚,在一定程度上影响到悬臂梁的灵敏性。本文针对耦合型超薄悬臂梁阵列释放过程中发生的悬臂梁粘附现象,研究粘附机理,改变悬臂梁释放时的液体环境和清洗方法,降低液体表面张力,有效避免悬臂梁的粘连,成功释放出更薄的硅基悬臂梁阵列,厚仅为 $220\ \text{nm}$,确保了悬臂梁的灵敏性,成品率可达 100% 。

1 液体表面张力对悬臂梁粘附现象的影响

1.1 理论分析

在微结构的制作工艺中,由于微机械几何尺寸的微小化使表面积与体积之比相对增加,结构的表面效应增强。同时,微结构的间隙很小,表面光滑,所以表面作用力对微结构的影响显著增强。研究发现,在液体环境下,液体表面张力对悬臂梁的粘附起主要作用。液体表面张力是由于表面上或表面附近的分子聚合力的不平衡导致液体表面趋于收缩的一种作用力。

图 1 为微悬臂梁粘连示意图。由图可知,两个固体平板间若存在液体,且液体与平板间的接触角小于 90° 时,液体内部压强将会低于外部压强,两板间产生吸引力,即表面张力,两平板由于表面张力的作用而发生粘连现象。



图 1 微悬臂梁粘连示意图

由压强差产生的两平板间的表面张力^[11]为

$$F = \frac{2A\gamma_L \cos \theta}{g} \quad (1)$$

式中: A 为液体润湿面积; γ_L 为液体-气体界面的表面张力; θ 为液体与悬臂梁的接触角; g 为两悬臂梁之间的间隙。

影响悬臂梁粘附与稳定性的主要因素有液体表面张力、悬臂梁杨氏模量、悬臂梁厚度、悬臂梁之间的间隙等。悬臂梁的释放过程在液体环境中进行,且硅具有亲水性,故粘附现象成为影响悬臂梁释放成品率的关键因素。

1.2 仿真分析

设计悬臂梁尺寸为 $220\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m} \times 0.22\ \mu\text{m}$,悬臂梁之间的间隙为 $10\ \mu\text{m}$,在两根悬臂梁间施加表面作用力进行仿真模拟。分别选择水、

无水乙醇和异丙醇 3 种溶液进行释放仿真,分析发现:当两悬臂梁之间的溶液为水时,极易发生粘附现象,如图 2 所示;当悬臂梁间的溶液为表面张力系数较小的无水乙醇溶液时,悬臂梁虽也有变形,但不会发生粘附现象,如图 3 所示;当悬臂梁间的溶液为表面张力系数更小的异丙醇溶液时,悬臂梁也会有变形,但同样不会发生粘附现象,如图 4 所示。

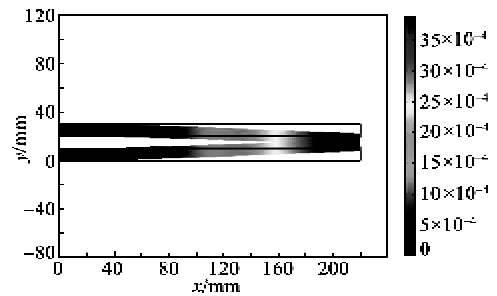


图 2 水溶液环境下悬臂梁变形图

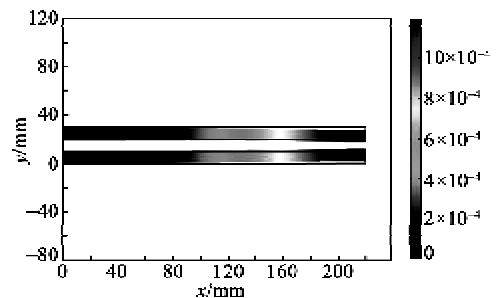


图 3 无水乙醇环境下悬臂梁变形图

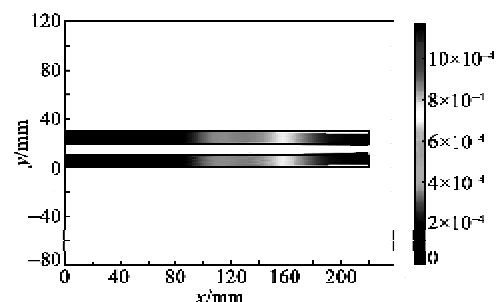


图 4 异丙醇环境下悬臂梁变形图

2 结果与讨论

2.1 悬臂梁制备工艺

为得到厚为 $220\ \text{nm}$ 的超薄悬臂梁,选用顶层硅厚为 $220\ \text{nm}$ 的 SOI 硅片,硅体为 $\langle 100 \rangle$ 晶向,埋层 SiO_2 厚为 $1\ \mu\text{m}$,底层硅厚为 $300\ \mu\text{m}$ 。首先通过光刻、刻蚀得到悬臂梁雏形;接着沉积氧化层并进行二次光刻和刻蚀得到正面保护层;然后进行背面光刻和刻蚀得到悬臂梁基座保护层;最后缓冲氧化物蚀刻剂(BOE)腐蚀,释放悬臂梁。最后的湿法释放过程是整个制备过程中最关键的一步,影响悬臂

梁阵列的成品率,也是本次实验的研究重点。

湿法释放实验分三组进行,释放后采用溶液置换的手段对悬臂梁进行清洗。

1) BOE 溶液+等离子水。将悬臂梁置于 BOE 溶液中进行腐蚀释放, SiO_2 会和 HF 反应产生 SiF_4 气体,为避免气泡粘附在悬臂梁周围阻碍反应的进行,需用吸管将气体尽快排出,释放结束后注入等离子水,逐渐稀释 BOE 溶液并最终对释放后的悬臂梁器件进行清洗,取出烘干。

2) BOE 溶液+无水乙醇。在释放过程中,将适量无水乙醇滴入 BOE 溶液中,降低 BOE 溶液表面张力,释放过程同样需要用吸管及时吸出气泡。腐蚀完毕,先吸出一部分 BOE 和无水乙醇混合溶液,然后慢慢注入等离子水,逐渐稀释混合溶液并对释放后的悬臂梁器件进行清洗。最后再将无水乙醇溶液注入到等离子水中,最终置换掉容器中的等离子水。无水乙醇清洗完毕后,迅速取出,放入烘箱烘干。

3) BOE 溶液+异丙醇。过程同第二组,将无水乙醇换为异丙醇即可。

2.2 释放结果

释放实验发现:第一组中悬臂梁间的溶液为水,由于水的表面张力系数较大,悬臂梁极易发生粘连现象,如图 5 所示;第二组中悬臂梁间的溶液为无水乙醇,其表面张力系数较小,悬臂梁未发生粘连,如图 6 所示;第三组中悬臂梁间的溶液为异丙醇,也未粘连,如图 7 所示。

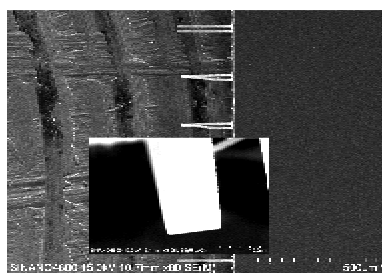


图 5 水溶液中悬臂梁释放结果

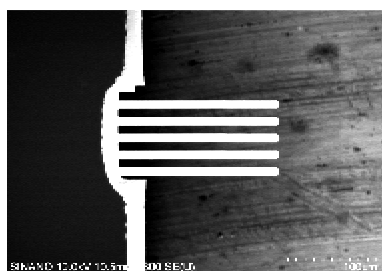


图 6 无水乙醇溶液中悬臂梁释放结果

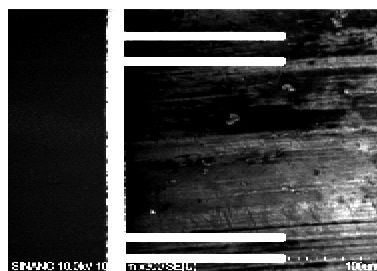


图 7 异丙醇溶液中悬臂梁释放结果

释放实验结果与仿真分析结果吻合,在水溶液中,悬臂梁释放后所发生的粘附现象极大地降低了成品率;为了有效地减少粘附现象,改用无水乙醇和异丙醇,在这两种溶液中,释放结果大致相同,悬臂梁均不会发生粘连,考虑到异丙醇有毒性故选择无水乙醇。

3 结束语

悬臂梁释放过程是制备耦合型超薄悬臂梁阵列整个工艺流程中很关键的一步,背面湿法腐蚀过程中释放环境的表面张力直接影响释放后悬臂梁的粘附情况,影响悬臂梁的成品率。选择 BOE 溶液和无水乙醇的混合溶液作为悬臂梁的释放环境,利用溶液置换的清洗方法,降低液体的表面张力,确保悬臂梁不发生粘连,成品率达到 100%。

参考文献:

- [1] BERGER R, DELAMARCHE E, LANG HP, et al. Surface stress in the self-assembly of alkanethiols on gold[J]. Science, 1997, 276(5321): 2021-2024.
- [2] DEGEN C, POGGIO M, MAMIN H, et al. Nanoscale magnetic resonance imaging[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009, 106(5): 1313-1317.
- [3] PRAILLE A, FLORIN E L, STELZER EH, et al. Photonic force microscopy: A new tool providing new methods to study membranes at the molecular level[J]. Single Molecules, 2000, 1(2): 129-133.
- [4] COCUZZA M, FERRANTE I, RICCI A, et al. Silicon laterally resonant microcantilevers for absolute pressure measurement with integrated actuation and readout[J]. Journal of Vacuum Science & Technology B, 2008, 26(2): 541-550.
- [5] NEDZELSKIY I, SILVA C, FERNANDES H, et al. Compact cantilever force probe for plasma pressure measurements[J]. Review of Scientific Instruments, 2007, 78(12): 123505.

(下转第 49 页)