

文章编号: 0258-7025(2008)Supplement2-0351-04

基于新型局域电化学反应技术的 MOEMS 微结构制备方法

马利红^{1,2} 章海军¹ 刘 超¹ 张冬仙¹

(¹ 浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 浙江 杭州 310027; ² 浙江师范大学信息光学研究所, 浙江 金华 321004)

摘要 提出了一种基于新型微电极且沉积过程可自动控制的局域电化学反应技术, 实现了高纵横比的铜微结构的制备。将新型微电极作为阳极固定在微步进电机上, 铜片作为阴极固定在电解液池底, 电解液池中装有 0.5 M/L 硫酸铜配比 0.38 M/L 硫酸的电解液。用观察电阻值的方法调整好初始间隙后, 在两电极间加一偏压, 用控制程序控制微步进电机匀速运动, 使微电极与阴极之间的微小间隙基本保持不变, 沉积生长铜微柱。铜微柱的纵横比可达 7.2:1, 直径可小至 120 μm 。实验结果表明, 该技术设备简单、易操作, 可实现三维微结构高效率、低成本的制备, 进一步研究必将在微光机电系统(MOEMS)及其它微纳系统领域得到广泛应用。

关键词 微光机电系统; 微结构制备; 局域电化学反应; 高纵横比

中图分类号 TG662 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL200835s2.0351

MOEMS 3D Microstructure Preparation Method Based on Novel Localized Electrochemical Deposition

Ma Lihong^{1,2} Zhang Haijun¹ Liu Chao¹ Zhang Dongxian¹

(¹ State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China; ² Information Optical Institute, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China)

Abstract Localized electrochemical deposition technology is investigated based on a novel type of microelectrode and automatic control technique. The novel microelectrode is fixed on the microstepper motor. The speed of the stepper motor can be controlled. When the rate keeps the same as the deposition rate, the small gap between the microelectrode and the cathode will be able to basically remain unchanged. In this research, mixed electrolyte of 0.5 M/L CuSO_4 and 0.38 M/L H_2SO_4 is selected. Cu micro column with high aspect ratio can be successfully deposited on Cu cathode from the plating solution. The aspect ratio can be greater than 7.2:1. Micro column in diameter can be less than 120 μm . The experimental results indicate that this method can fabricate microstructures with low cost and high efficiency. It is expected that this new method will serve micro-opto-electro-mechanical systems and other micro/nano-structure preparation effectively.

Key words micro-opto-electro-mechanical systems; microstructure preparation; localized electrochemical deposition; high aspect ratio

1 引 言

微光机电系统(MOEMS)是微电子技术、机械和光学技术结合而产生的,是 20 世纪 90 年代初兴起的微型智能系统^[1]。它的出现立即引起了世界各

国的高度重视,已经成为当今国际高技术竞争的一个热点。MOEMS 研究中最活跃的领域是微细加工技术的研究。它是 MOEMS 技术的核心技术,也是直接影响 MOEMS 系统结构和成本的关键技术。

作者简介: 马利红(1979—),女,博士研究生,主要从事微纳技术等方面的研究。E-mail: zjnumlh@tom.com

导师简介: 章海军(1965—),男,教授,博士生导师,主要从事光电检测及纳米技术等方面的研究。

E-mail: zhanghj@zju.edu.cn

以微电子工艺为基础发展起来的微加工工艺是目前使用最广泛的工艺。这些工艺主要包括硅的体微加工技术^[2]、表面微加工技术^[3]、LIGA(X射线深处光刻、电铸成型和塑铸型)技术^[4,5]以及键合技术与牺牲层技术等。另外,精密机械的精细加工技术(如微铣削加工、微钻削加工等)以及特种加工工艺(如电火花加工、超声波加工等)也在微光机电系统制造中占一席之地。但是这些工艺的不足之处在于它们往往需要昂贵的设备,复杂的步骤和需要较长的制备周期,以及对加工材料的限制等。

局域电化学沉积技术作为一种新型的微加工技术^[6],具有独特的优点。该技术制程简单、成本低、损失少及污染小,易制作出高纵横比的三维微结构。另外,有许多的材料可以用来沉积,包括金属、金属合金、导电聚合物与半导体材料等,而且对沉积基底的厚度和尺寸没有限制。国外已有几个团队对局域电化学沉积技术进行了研究^[7~10]。但是,目前的研究尚处于初级阶段,有待于深入的理论研究和制程改进。

提出了一种基于新型微电极且沉积过程可自动控制的局域电化学沉积技术,实现了高纵横比的铜微结构的制备。新型微电极是将 Pt-Ir 丝直接插入玻璃细直管中制成的。Pt-Ir 丝的直径为 225 μm ,玻璃直管的内径为 600 μm ,且 Pt-Ir 丝末端与玻璃管口端持平。生长的铜微柱直径约为 120 μm ;纵横比可达 7.2:1,甚至更大。实验结果表明这是一种设备简单、易操作、可高效率、低成本实现三维微结构制备的新技术。

2 原 理

局域电化学沉积技术是指将镀液中的金属离子通过电化学反应使其局域沉积于另一导电基底表面的技术。如图 1 所示,将两电极置于镀液(含欲镀离子)中,间隔一定微小距离,当在两电极间施加一偏压时,阳极产生氧化反应放出电子。由于阳极是一根不可溶的极细微金属丝,因此,电流会集中在局部的区域内而使得阴极只有在局部区域内产生还原反应沉积金属。其反应式可表达为(M:金属)



反应发生前,先调整好微电极和阴极之间的初始间隙。用万用表的欧姆挡测量两电极间的电阻值。当两电极之间的距离近到接触时,电阻值降为零。然后撤退微电极,调整好两电极间的初始间隙。

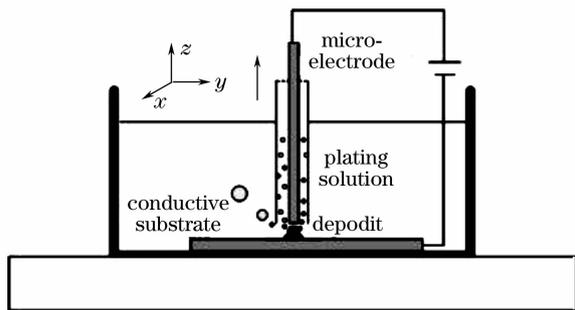


图 1 局域电化学沉积原理示意图

Fig. 1 Concept of localized electrochemical deposition

开启电源,在两电极间加一偏压,发生电化学反应,还原的金属原子沉积生长。用万用表的电压挡测量两电极间的电压值。由于微电极极细,且只有微电极的末端面电力线不受限制,而微电极和阴极之间的间隙极小,因此电场能很好的局域化,导致金属原子局域的沉积生长。如果微电极保持不动,随着金属原子的局域沉积生长,沉积微结构的顶部与微电极接触。两电极间的电压值降为零。所以用控制程序控制步进电机匀速运动。当电压值基本保持不变时,说明运动速率与沉积速率基本保持一致,微电极与阴极之间的微小间隙就能基本保持不变,这时可以沉积生长出粗细均匀、结构致密、表面光滑的高纵横比的金属微柱。

局域电化学沉积方法除了可以制备出高纵横比的微柱结构,还可以制备出更复杂的三维结构。将电解液池固定在一个二维的步进平台上,微电极固定在另一微步进电机上,控制三维的运动,可以制备出各种三维微结构。

3 实验与结果

根据原理,设计构建了一套可自动控制的局域电化学沉积系统,如图 2 所示。实验装置由直流电源(0~5 V)、电解液池、步进电机(北京光学仪器厂:MTS202)、万用表、CCD 监视系统、PC 控制系统等组成。万用表用于调整初始间隙时的电阻值量测及反应过程中的电压量测;CCD 监视系统用来监视两电极间的间隙及电化学沉积生长过程;PC 控制系统控制步进电机的运行,从而控制微电极和阴极之间的间隙。

微电极采用新型的制作方法,将直径为 225 μm 的 Pt-Ir 丝直接插入内径为 600 μm 的玻璃直管中,Pt-Ir 丝末端与玻璃管口端持平。该方法较目前用陶瓷或玻璃包埋制作微电极的方法更简单易行。同时,由于铜的导电性好、价格低、且容易取得,所以采

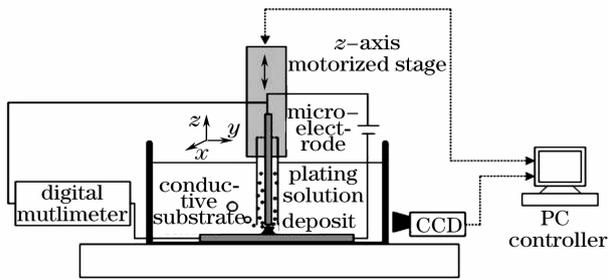


图 2 局域电化学沉积实验装置图

Fig. 2 Schematic diagram of the experimental setup of localized electrochemical deposition

用铜片(纯度为 99.9%)作为阴极。长久放置的铜片表面可能被氧化,另外铜片表面的平整程度也会影响电沉积生长。实验中用化学机械抛光的方法对铜片的前表面进行处理。电解液池中装有加硫酸的硫酸铜电解液。溶液浓度不仅会影响沉积速率,而且会影响沉积微结构的沉积特性,如粗糙度、多孔性、不规则性、枝节性等。在研究中,采用酸性的硫酸铜电解液,由于酸性溶液能阻止 OH^- 与 Cu^{2+} 的结合,因此酸性溶液更有利于铜的沉积生长。实验发现比较好的溶液配比为: $0.5\text{M/LCuSO}_4 + 0.38\text{M/LH}_2\text{SO}_4$ 。

微电极固定在微步进电机上,铜阴极固定在电解液池底,电解液池中装有电解液。用观察电阻值的方法调整好初始间隙 $2\sim 3\ \mu\text{m}$,两电极间加一偏压 $3.5\ \text{V}$,开始电化学沉积反应。手动控制微步进电机运动可以沉积生长微结构,但是手动方法不能精确控制运动速度,而且可能会引起抖动,所以不能很好地控制微结构的沉积生长。图 3 为手动控制生长的微结构显微图。开启机械控制系统,控制微步进电机匀速运动,沉积生长微结构,步进电机运动速度不同,影响微结构的生长。图 4 为运行速率为 $4.8\ \mu\text{m/s}$ 、运行时间约 $180\ \text{s}$ 时沉积的微柱的显微图。沉积生长的微柱粗细均匀、结构致密、表面光滑。其高度约为 $865\ \mu\text{m}$,纵横比可达 $7.2:1$,事实上只要继续生长,纵横比可更大。直径 $120\ \mu\text{m}$,大约为 Pt-Ir 丝直径的一半。因此该新型微电极在性能上具有不可比拟的优越性。如果选用更细的 Pt-Ir 丝,显然可以沉积出直径更小的微结构。比较图 3 和图 4,设计的自动控制系统可有效控制微结构的沉积生长。

4 结 论

设计构建了一套可自动控制的局域电化学沉积

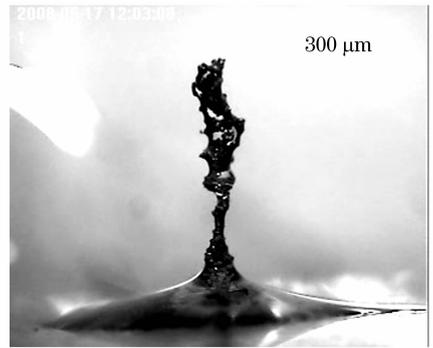


图 3 手动控制生长的铜微结构显微图

Fig. 3 Microscopic image of Cu micro structure deposited by manual control

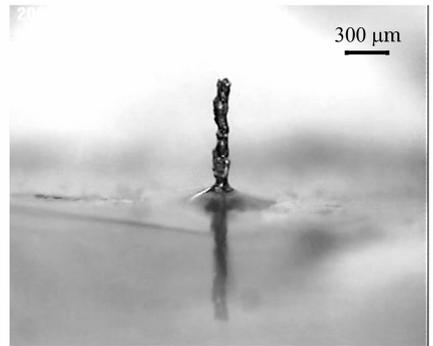


图 4 自动控制生长的铜微结构显微图

Fig. 4 Microscopic image of Cu micro structure deposited by automatic control

系统,并且提出了一种新型的微电极制作方法,成功地在铜基底上沉积生长了具有高纵横比的铜微柱。生长的铜微柱直径大约只有微电极直径的 $1/2$,约为 $120\ \mu\text{m}$,纵横比可达 $7.2:1$ 。但是简单的高纵横比的微柱结构显然不能满足 MOEMS 所需的微结构要求。

参 考 文 献

- 1 Chengkuo Lee, J. Andrew Yeh. Development and evolution of MOEMS technology in variable optical attenuators[J]. *Journal of Micro/Nanolithography, MEMS and MOEMS*, 2008, **7**: 021003-1~16
- 2 W. P. Eaton, J. H. Smith. Release-etch modeling for complex surface micromachined structures[C]. *SPIE*, 1996, **1865**: 80~93
- 3 M. Roya. Surface processes in MEMS technology[J]. *Surface Science Reports*, 1998, **30**: 207~269
- 4 Cheng Li, Wang Zhenyu, Zhu Yiyun et al. . Extremely ultraviolet lithography fabrication technology for nanometer ULSI devices[J]. *Semiconductor Technology*, 2005, **30**(9):28~33
- 5 Kong Xiandong, Zhang Yulin, Song Huiying. Development and applications of LIGA technology [J]. *MEMS Device & Technology*, 2005, **5**:13~18
- 6 J. D. Madden, I. W. Hunter. Three dimensional microfabrication by localized electrochemical deposition [J]. *Journal of*

- microelectromechanical system* , 1996, **5**:24~32
- 7 Schuster Rolf, Kirchner Viola, Allongue Philippe *et al.* . Electrochemical micromachining[J]. *Science* , 2000,**289**:98~101
- 8 Jung Woo Park, Shi Hyoung Ryu , Chong Nam Chu. Pulsed electrochemical deposition for 3D micro structuring [J]. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* , 2005, **6**(4):49~54
- 9 Chang T. K. , Lin J. C. , Yang J. H. *et al.* . Surface and transverse morphology of micrometer nickel columns fabricated by localized electrochemical deposition [J]. *Journal of Micromachining and Microengineering* , 2007,**17**:2336~2343
- 10 Yang J. H. , Chang T. K. , Lai G. Y. *et al.* . Assessing the degree of localized electrochemical deposition of copper [J]. *Journal of Micromachining and Microengineering* , 2008, **18**: 055023-1~8