

# 基于无掩模光刻的高精度 ITO 电极湿法刻蚀工艺研究

殷艺<sup>1</sup>, 刘志坚<sup>1\*</sup>, 王赛杰<sup>1</sup>, 武森<sup>1</sup>, 严志军<sup>1</sup>, 潘新祥<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大连海事大学轮机工程学院, 辽宁 大连 116026;

<sup>2</sup>广东海洋大学海洋工程学院, 广东 湛江 524088

**摘要** 氧化铟锡(ITO)导电膜具有电阻率低、透光性好、耐高温等优点,在光电领域具有重要应用。现有加工方法得到的 ITO 电极尺寸一般为 10~200  $\mu\text{m}$ ,这限制了 ITO 电极在微纳领域的应用,为解决此限制,在传统湿法刻蚀方法的基础上,利用无掩模光刻技术对 ITO 玻璃表面光刻胶进行高精度曝光,再通过优化曝光、显影及刻蚀等过程,最终加工出尺寸仅为 2  $\mu\text{m}$  的电极。所提方法所加工的电极具有线性度高、无钻蚀、误差小等优点,为 ITO 电极在微纳领域应用开发提供了有现实意义的参考。

**关键词** 光学设计; ITO 电极; 湿法刻蚀; 无掩模光刻; 高精度

**中图分类号** TN305.7

**文献标志码** A

**doi:** 10.3788/LOP57.032202

## High-Precision ITO Electrode Wet Etching Technology Based on Maskless Lithography

Yin Yi<sup>1</sup>, Liu Zhijian<sup>1\*</sup>, Wang Saijie<sup>1</sup>, Wu Sen<sup>1</sup>, Yan Zhijun<sup>1</sup>, Pan Xinxiang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marine Engineering College of Dalian Maritime University, Dalian, Liaoning 116026, China;

<sup>2</sup>College of Ocean Engineering, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, Guangdong 524088, China

**Abstract** Indium-tin-oxide (ITO) conductive films provide low resistivity, good light transmittance, and high temperature resistance; they have important applications in the field of optoelectronics. The size of the ITO electrode obtained by the existing process method is generally 10–200  $\mu\text{m}$ , which limits the application of the ITO electrode in the field of micro-nano technique. This work discusses the development of a fabrication method based on the traditional wet etching process and high-precision exposure of ITO glass surface photoresist by maskless lithography. The exposure, development, and etching processes are optimized to obtain an electrode with only 2- $\mu\text{m}$  width. The developed electrode has the advantages of high linearity, no undercut, and small error, thus providing a realistic reference for the application development of ITO electrode in the micro-nano field.

**Key words** optical design; ITO electrode; wet etching; maskless lithography; high precision

**OCIS codes** 220.4000; 220.3740; 350.3950

## 1 引言

ITO(indium tin oxide)又称氧化铟锡,是一种铟锡金属氧化物,因其具有光学透明性<sup>[1]</sup>、高导电性<sup>[2]</sup>、易加工性<sup>[3]</sup>及柔性潜力<sup>[4]</sup>等优点,目前在光电检测、生物芯片及微纳器件等领域得到了广泛应用,例如加工成热光伏系统滤波器<sup>[5]</sup>、红外辐射反射镜

涂层<sup>[6]</sup>、表面等离子体共振材料<sup>[7]</sup>等。在实际应用中,ITO 通常需先加工成各种形状的电极,但由于曝光精度低、刻蚀工艺参数难以控制等原因,ITO 电极特征尺寸无法进一步降低。

目前将 ITO 加工成电极的方法多种多样,主要分干法刻蚀与湿法刻蚀。干法刻蚀指利用激光、等离子体等将部分 ITO 材料刻蚀掉,使保留下来的

收稿日期: 2019-06-11; 修回日期: 2019-07-31; 录用日期: 2019-08-12

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项基金(3132019189)

\* E-mail: liuzhijian@dlnu.edu.cn

ITO 构成电极。Heo 等<sup>[8]</sup>采用激光刻蚀法刻蚀 ITO-Ag-ITO, 得到宽度为 50~100  $\mu\text{m}$  的电极。Shen 等<sup>[9]</sup>采用准分子激光刻蚀, 探讨了不同激光能量对 ITO 的影响, 最终得到的电极宽度为 60  $\mu\text{m}$ 。尽管干法刻蚀能得到尺寸较小的电极, 但其具有刻蚀成本高、速率低、对下层材料选择性较差等缺点, 从而限制了干法刻蚀的发展及量产<sup>[10]</sup>。

湿法刻蚀指先将部分 ITO 用光刻胶、胶布等材料保护起来, 再将其浸没于化学试剂中, 通过化学反应除去被刻蚀材料。毕洪梅等<sup>[11]</sup>采用电化学刻蚀法, 最终制作出 200  $\mu\text{m}$  的透明电极。Grisotto 等<sup>[12]</sup>借助探针式扫描电镜刻蚀 ITO, 将电化学与湿法工艺结合, 最终得到有效尺寸为 10  $\mu\text{m}$  的透明电极。近年来很多学者对湿法刻蚀原理进行了深入研究, 并对湿法刻蚀工艺中不同的步骤参数进行改善, 为提高加工精度奠定了基础。翟莲娜等<sup>[13]</sup>研究了 ITO 酸性刻蚀原理并通过原子力显微镜对刻蚀形貌加以观察。Huang 等<sup>[14]</sup>研究了 HCl 溶液与王水[浓盐酸(HCl)和浓硝酸( $\text{HNO}_3$ )]按体积比为 3:1 组成的混合物对 ITO 的刻蚀原理。Grisotto 等<sup>[12]</sup>研究了酸性物质

对 ITO 的影响。Shen 等<sup>[9]</sup>发现 39% 的 HCl 溶液可以减少刻蚀边缘的重铸脊。姚亮等<sup>[15]</sup>研究了 HCl 的含量对 ITO 薄膜刻蚀速率的影响。冯泉等<sup>[16]</sup>改进了涂胶、显影工艺, 并给出了更科学、规范的光刻操作流程。传统的湿法刻蚀成本低、操作简便、易于量产<sup>[17]</sup>, 但由于刻蚀过程中的各向同性, 常导致得到的电极变形, 因此其精度不够一直是被诟病的问题<sup>[18]</sup>。

本文结合上述工艺对刻蚀工艺进行改进, 兼顾制作成本及制作速率、精度的问题, 提出一种新的高精度 ITO 电极湿法刻蚀技术。优化光刻之前的准备工艺来提高光刻胶涂覆质量; 将传统的掩模紫外光曝光替换为无掩模曝光来提高曝光精度; 优化操作过程中一系列的参数, 如曝光量、显影时间和刻蚀时间。最终得到 2  $\mu\text{m}$  的电极。

## 2 实 验

本实验中 ITO 电极加工过程如图 1 所示, 主要包括 ITO 玻璃预处理、无掩模光刻、湿法刻蚀、后处理及镜检等环节。该方法原理为对目标区域加以保护后进行选择性去除, 最终得到目标电极。

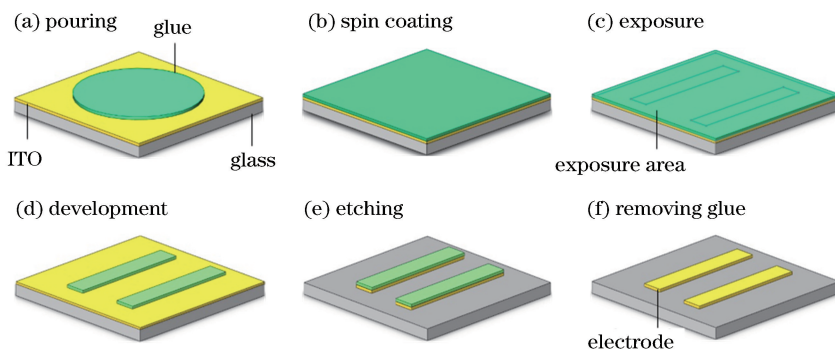


图 1 制作工艺流程图示意图。(a)滴胶;(b)旋涂;(c)曝光;(d)显影;(e)刻蚀;(f)除胶

Fig. 1 Diagram of production process. (a) Pouring; (b) spin coating; (c) exposure; (d) development; (e) etching; (f) removing glue

### 2.1 ITO 玻璃预处理

先用酒精布擦洗实验待用的 ITO 玻璃片, 去除大颗粒杂质; 经纯水冲洗、高纯氮气吹净后放入丙酮溶液浸泡 24 h; 将其放入 Scientz 公司的 SB-4200DTN 型超声波清洗机振洗 5 min, 取出后用无水乙醇冲洗, 接着用纯水冲洗, 利用丙酮溶于乙醇、乙醇溶于水的特性达到清洗彻底的目的; 最后利用高纯氮气吹净, 得到表面洁净的 ITO 玻璃片, 为光刻胶均匀、紧密涂覆奠定基础。

### 2.2 无掩模光刻

#### 2.2.1 涂覆光刻胶

取 15 mL SU-8 3005 光刻胶放入 Isotemp 公司

的 280 A 型真空箱中抽真空 12 h, 以消除光刻胶中的气泡; 处理后的光刻胶倒至 ITO 玻璃上, 根据 SU-8 3005 光刻胶特性, 设定 Laurell 公司的 WS-650 Mz-23NPPB 型匀胶机第一步转速为 500 r/min, 旋涂 10 s, 第二步转速为 5000 r/min, 旋涂 50 s, 得到厚度小于 5  $\mu\text{m}$  的光刻胶层; 待匀胶机将光刻胶均匀涂满 ITO 玻璃后取出, 放至加热板上依次进行 65  $^{\circ}\text{C}$  (1 min)、95  $^{\circ}\text{C}$  (2 min)、65  $^{\circ}\text{C}$  (1 min) 烘烤, 待自然冷却后利用 Heidelberg 公司的 MLA150 型无掩模光刻机进行曝光。

#### 2.2.2 曝光

曝光图样利用 AutoCAD 进行设计, 并将其拷

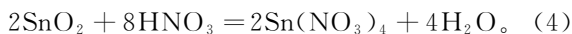
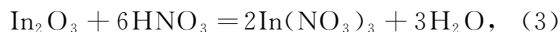
贝至无掩模光刻机中,计算并进行多次实验后以  $1200 \text{ mJ/cm}^2$  曝光剂量将设计图案转移至 ITO 玻璃上。将曝光后的 ITO 玻璃板放至加热板上,依次进行同上一步顺序相同的加热。

### 2.2.3 显影

将自然冷却后的 ITO 玻璃放至 SU-8 专用显影液中进行显影,显影 30 s 后取出,并用纯水冲洗,有未显影均匀、光刻胶残留的部位,用微量注射器吸取显影液后向光刻胶残留处轻轻喷洗,之后用纯水冲洗干净。将冲洗干净的 ITO 玻璃放至加热板上,以  $125 \text{ }^\circ\text{C}$  的高温烘烤 1 min。

### 2.3 湿法刻蚀

本实验以 50 : 3 : 50 质量比混合浓盐酸、浓硝酸、纯水,得到性能良好的刻蚀液<sup>[19]</sup>。该刻蚀液通过盐酸与硝酸的强氧化作用与 ITO 反应,可以加快刻蚀速率。该刻蚀液与 ITO 反应方程式为



将显影后的 ITO 玻璃片放入刻蚀液中,为提高刻蚀速率,以温水浴保持刻蚀液温度为  $85 \text{ }^\circ\text{C}$ ,刻蚀 210 s 后取出 ITO 玻璃,并立即用纯水冲洗干净。

### 2.4 后处理及镜检

将刻蚀完成的 ITO 玻璃放至丙酮中,浸泡 30 min,直至剩余的光刻胶完全去除,得到目标电极。最后利用 Nikon 公司的 Eclipse Ti-E 型显微镜观察电极形貌,利用 Bruker 公司的 Dimension Icon 型原子力显微镜测量电极尺寸,并截取  $2 \text{ } \mu\text{m}$  电极截面曲线观察刻蚀情况。

## 3 结果与讨论

### 3.1 显影时间影响

经过无掩模光刻机曝光后,目标图案已转移

至 ITO 玻璃上。将 ITO 玻璃放置于加热板上进行加热,烘除光刻胶中的残留溶剂、水分,使光刻胶与 ITO 玻璃结合更加紧密,此时,经过曝光的光刻胶与未曝光的光刻胶在显影液中会存在明显的溶解速度差。将自然冷却后的 ITO 玻璃浸没于 SU-8 光刻胶专用显影液中,由于本实验中采用的光刻胶为负胶,因此显影目的是为了除去曝光区域以外的光刻胶。该方法的核心问题是控制显影时间。图 2 为经过不同显影时间后,在 Ti-E 显微镜下观察到的光刻胶形貌图,图中深色条纹边界内部区域为光刻胶覆盖区,外部区域为光刻胶去除后 ITO 膜层裸露区,显微镜放大倍数为 600 倍,电极宽度为  $50 \text{ } \mu\text{m}$ ,两电极间隙的宽度为  $5 \text{ } \mu\text{m}$ 。

图 2(a)中电极显影时间为 25 s,呈显影不充分的状态。观察发现该显影时间过短,此时光刻胶以不均匀膜层和大块颗粒聚集的状态覆盖在 ITO 玻璃上,在自然光状态下用肉眼观察表现为不均匀的彩色膜层。用万用表测量 ITO 玻璃,测得表面不导电,表明光刻胶并未彻底除去。图 2(b)中电极显影时间为 30 s,同图 2(a)对比,曝光线条清晰明了。周围区域洁净无薄膜、颗粒物。用万用表测量,ITO 膜层裸露区导电,证明未曝光区域光刻胶充分去除,表征该显影良好。图 2(c)中电极显影时间为 35 s,表现为显影过度。过长的显影时间导致曝光区域部分光刻胶溶解于显影液,轻则目标线条出现参差不齐的痕迹,使得显影精度降低,重则使大块光刻胶起浮,并对目标图案造成一定的破坏。通过实验对比,在保证不破坏目标图案、完全去除未曝光区域的光刻胶前提下,需尽可能降低显影对曝光区域光刻胶的影响,最后得到最佳显影时间为 30 s,得到的 Ti-E 显微镜下观察图如图 2(b)所示。

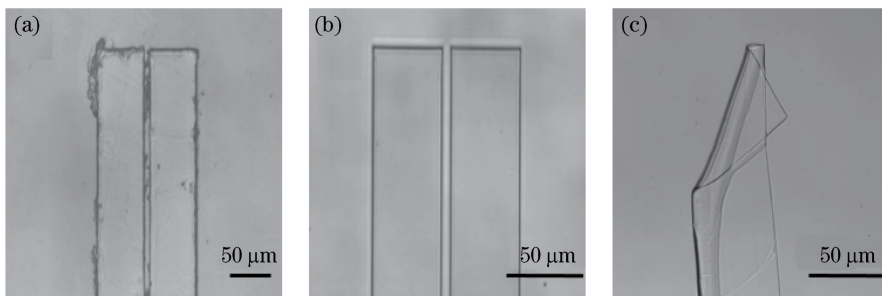


图 2 经不同显影时间后光刻胶的形貌图。(a) 25 s;(b) 30 s;(c) 35 s

Fig. 2 Morphologies of photoresist after different development time. (a) 25 s; (b) 30 s; (c) 35 s

### 3.2 刻蚀时间影响

经过曝光与显影操作,目标图案已经清晰转移至 ITO 基片上,接着进行 ITO 刻蚀操作,目的是把裸露的 ITO 通过化学反应完全除掉,留下被光刻胶保护部分的 ITO,从而形成目标电极。本实验以 50 : 3 : 50 质量比混合浓盐酸、浓硝酸、纯水,得到刻蚀性能良好的刻蚀液。该刻蚀液通过强氧化作用与 ITO 反应,达到刻蚀 ITO 薄膜的目的。该步骤的核心问题是控制刻蚀时间,否则会出现刻蚀不充分、过度刻蚀等问题。实验中以温水浴保证刻蚀液的温度为 85 °C,并控制刻蚀时间,经过不同时间的刻蚀后,电极(电极上覆盖有光刻胶)效果图如图 3 所示,图中深色线条为光刻胶边界,内部浅色边缘为电极边缘,图案尺寸及观察条件同 3.1 节。

图 3(a)中电极刻蚀时间 180 s,刻蚀后的电极

形貌呈现为刻蚀不完全的状态。Ti-E 显微镜下观察发现电极周围有点状颗粒分布。用万用表测量,显示 ITO 玻璃部分刻蚀区域导电,即 ITO 玻璃上残留部分 ITO 薄膜,表明刻蚀时间不足。图 3(b)中电极刻蚀时间为 210 s,同图 3(a)对比,可以明显观测到电极周围无点状脏污,且无侧蚀现象。用万用表测量,显示刻蚀区域完全不导电,证明 ITO 刻蚀干净,表征该电极刻蚀良好。图 3(c)中电极刻蚀时间为 240 s,表现为刻蚀过度。观察光刻胶保护区域内部浅色电极边界,可以明显判断出侧蚀现象严重,严重影响到微尺寸电极的精度。若刻蚀时间继续加长,将导致电极断裂。通过实验对比,在保证不发生严重侧蚀、完全除去未保护区域的 ITO 前提下,需尽可能使刻蚀电极边缘线性度升高、无钻蚀,最后得到的最佳刻蚀时间为 210 s,得到的显微镜下观察图如图 3(b)所示。

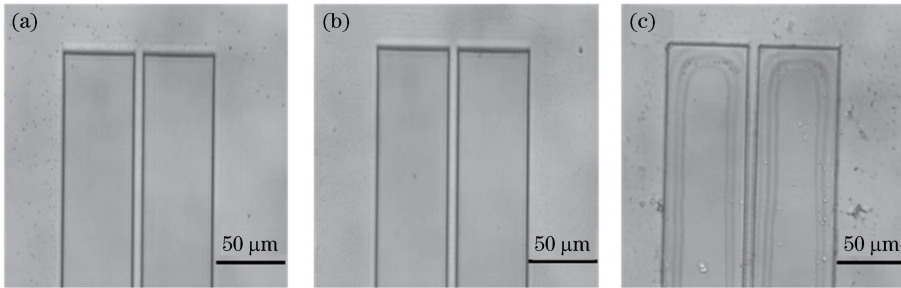


图 3 经不同刻蚀时间后电极的形貌图。(a) 180 s;(b) 210 s;(c) 240 s

Fig. 3 Electrode morphologies after different etching time. (a) 180 s; (b) 210 s; (c) 240 s

### 3.3 微尺寸电极形貌观察与对比

为对比不同尺寸下该方法得到电极的效果,设

计 6 组尺寸递减的平行电极进行观察。如图 4(a)~(f),电极尺寸依次为 200 μm、100 μm、

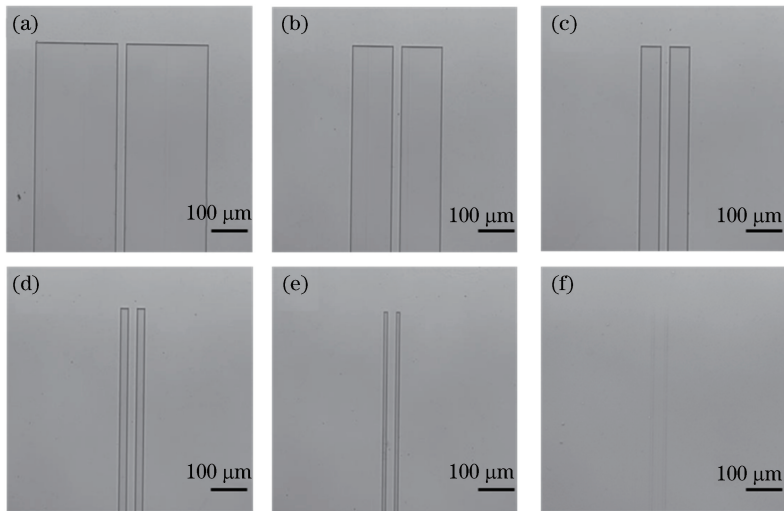


图 4 显影后不同尺寸光刻胶形貌对比图。(a) 200 μm;(b) 100 μm;(c) 50 μm;(d) 20 μm;(e) 10 μm;(f) 2 μm

Fig. 4 Comparison of photoresist morphologies with different sizes after development. (a) 200 μm; (b) 100 μm;

(c) 50 μm; (d) 20 μm; (e) 10 μm; (f) 2 μm



50  $\mu\text{m}$ 、20  $\mu\text{m}$ 、10  $\mu\text{m}$ 、2  $\mu\text{m}$ ，通过 Ti-E 显微镜，将放大倍数调至 200 倍，得到显影后的效果对比图如图 4 所示。图中颜色较深部分为光刻胶边缘，内部为光刻胶覆盖区，观察发现 2~200  $\mu\text{m}$  电极边缘线性度高，无钻蚀。

将经过上述操作的 ITO 玻璃放入丙酮中浸泡，以除去变性的光刻胶。由于选用的 SU-8 3005 光刻胶交联反应较强，在经过丙酮浸泡后还需要用酒精布轻轻擦拭，以便除去部分剩余的光刻胶。

经过除胶操作的电极显微观察图如图 5 所示，图中凸起部分为电极，选用上述对比电极进行观察。为方便观察，将图 5(a) 电极放大至 200 倍，图 5(b) 和图 5(c) 放大到 300 倍，图 5(d)~(f) 放大至 400 倍。从图中可以看出在微电极加工中，本文方法具有线条线性度高、无钻蚀的优点，对比现有的光刻电极，不但实现了尺寸的微缩化，且大幅度提高了刻蚀电极尺寸的精确性，最终可以实现 2  $\mu\text{m}$  电极的制备。

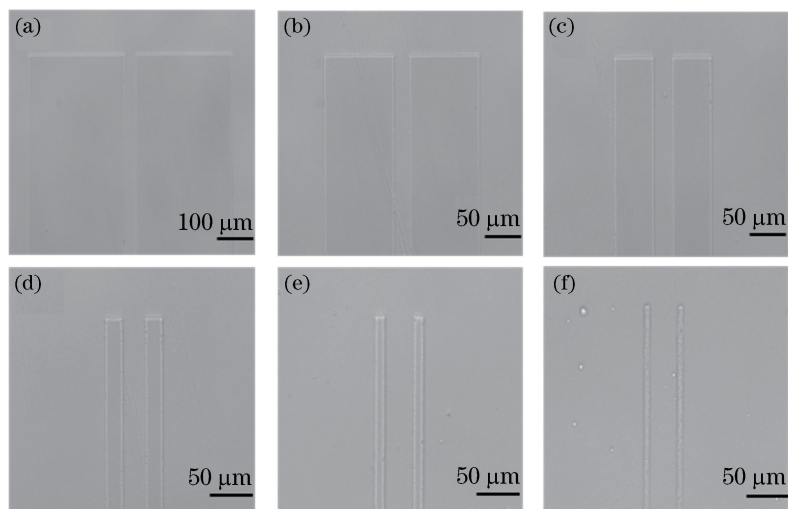


图 5 除胶后不同尺寸电极效果对比图。(a) 200  $\mu\text{m}$ ；(b) 100  $\mu\text{m}$ ；(c) 50  $\mu\text{m}$ ；(d) 20  $\mu\text{m}$ ；(e) 10  $\mu\text{m}$ ；(f) 2  $\mu\text{m}$

Fig. 5 Comparison of electrode effects with different size after glue removal. (a) 200  $\mu\text{m}$ ；(b) 100  $\mu\text{m}$ ；(c) 50  $\mu\text{m}$ ；(d) 20  $\mu\text{m}$ ；(e) 10  $\mu\text{m}$ ；(f) 2  $\mu\text{m}$

### 3.4 原子力显微镜下 2 $\mu\text{m}$ 电极测量结果与讨论

将制备完成的 ITO 电极放至原子力显微镜下观察，得到形貌观察图及截面形状曲线图，分别如图 6、图 7 所示。从图 6 中可以看出本文方法得到的 2  $\mu\text{m}$  刻蚀电极形貌良好，无断裂、钻蚀等缺陷。图 7 中截面形状曲线以玻璃板基线作对比：在玻璃板基线高度基本为 0 的前提下，两个电极高度基本

相同为 120 nm，证明通过本文方法，目标区域以外的 ITO 膜层已被完全刻蚀；且两条曲线形貌基本吻合，表明通过本文方法得到的电极形状均匀。两电极宽度分别为 2.51  $\mu\text{m}$ 、2.34  $\mu\text{m}$ ，同 2  $\mu\text{m}$  设计尺寸偏差为 25.5%、17%，证明本文方法得到的微电极基本满足设计要求，完全可应用于微尺寸电极的制备。

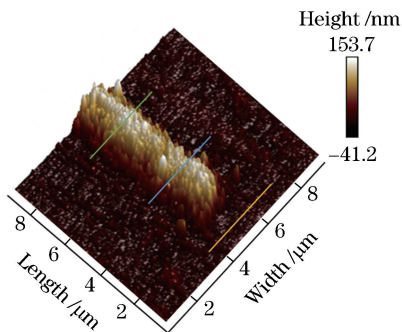


图 6 原子力显微镜下 2  $\mu\text{m}$  电极形貌图

Fig. 6 2  $\mu\text{m}$  electrode morphology under atomic force microscope

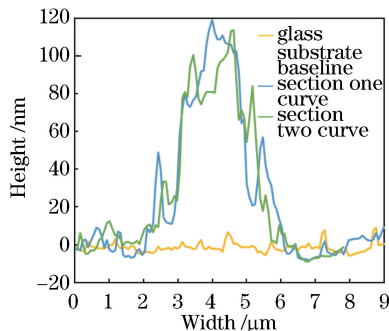


图 7 原子力显微镜下 2  $\mu\text{m}$  电极及玻璃基板截面形状曲线图

Fig. 7 Cross-sectional shape curves of 2  $\mu\text{m}$  electrode and glass substrate under atomic force microscope

## 4 结 论

将无掩模光刻技术与湿法刻蚀技术结合,以ITO玻璃为基片,以SU-8 3005光刻胶为光刻材料,以浓盐酸、浓硝酸、纯水的混合液为刻蚀液,通过不断的实验优化,得到最优工艺参数。即在本实验条件下,将曝光剂量设定为 $1200\text{ mJ}/\text{cm}^2$ 、显影时间控制为30 s、刻蚀时间控制为210 s时,将制作的微电极放置于Ti-E显微镜下可以观察到良好的形貌。通过原子力显微镜测得目标区域以外的导电ITO膜层被完全刻蚀,且得到的电极具有形貌均匀、误差小、线性度高、无钻蚀、极限尺寸小的优点,本文方法最终可以制备 $2\text{ }\mu\text{m}$ 尺寸的电极,为后续ITO在微纳领域的应用提供了有现实意义的参考。

## 参 考 文 献

- [1] Lin H K, Hsu W C. Electrode patterning of ITO thin films by high repetition rate fiber laser [J]. *Applied Surface Science*, 2014, 308: 58-62.
- [2] Wang J W, Luo F F. Optical, electrical and magnetic properties of Fe ions implanted ITO thin film [J]. *Jiangxi Science*, 2019, 37(1): 17-20, 25.  
王佳伟, 罗凤凤. Fe离子注入ITO薄膜的光电磁性质研究[J]. *江西科学*, 2019, 37(1): 17-20, 25.
- [3] Xi Z Y, Xu Q M, Zhao P, et al. Review of the characteristics of ITO thin films and its development [J]. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition)*, 2004, 36(1): 109-112.  
袭著有, 许启明, 赵鹏, 等. ITO薄膜特性及发展方向[J]. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2004, 36(1): 109-112.
- [4] Sakamoto K, Kuwae H, Kobayashi N, et al. Highly bendable transparent electrode using mesh patterned indium tin oxide for flexible electronic devices [C] // 2017 IEEE 12th International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS), April 9-12, 2017, Los Angeles, CA, USA. New York: IEEE, 2017: 323-326.
- [5] Yang H Y, Chen X, Qian Z Q. Design and preparation of ITO film filter used in thermal photovoltaic system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(12): 1231003.  
杨惠尹, 陈雪, 钱子勃. 热光伏系统中ITO薄膜滤波器的设计与制备[J]. *光学学报*, 2013, 33(12): 1231003.
- [6] Zhang Y H, Guo W L, Qin Y, et al. Effects of ITO on properties of novel AlGaInP red LED [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(8): 2401-2405.  
张勇辉, 郭伟玲, 秦园, 等. ITO对新型AlGaInP红光LED特性的影响[J]. *光学学报*, 2010, 30(8): 2401-2405.
- [7] Cai X Y, Wang X W, Li R X, et al. Controllable modulation of surface plasmon resonance wavelength of ITO thin films [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2018, 55(5): 051602.  
蔡昕畅, 王新伟, 李如雪, 等. ITO薄膜表面等离子体共振波长的可控调节[J]. *激光与光电子学进展*, 2018, 55(5): 051602.
- [8] Heo J, Oh G T, Kwon S J, et al. Fabrication of transparent ITO-Ag-ITO electrodes on polyethylene terephthalate substrate by Nd:YVO<sub>4</sub> laser direct patterning [J]. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2017, 645(1): 16-24.
- [9] Shen X F, Chen T, Liu N. Patterning of ITO on glass with two-step using excimer laser and wet chemical re-etching [J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 291-294: 1393-1398.
- [10] Lee Y J, Bae J W, Han H R, et al. Dry etching characteristics of ITO thin films deposited on plastic substrates [J]. *Thin Solid Films*, 2001, 383(1/2): 281-283.
- [11] Bi H M, Shi G B, Chen Z C, et al. Preparation of interdigitated microelectrodes based on the combination of photolithography and electrochemistry technology [J]. *Journal of Inner Mongolia University (Natural Science Edition)*, 2018, 49(2): 144-149.  
毕洪梅, 史国滨, 陈志诚, 等. 光刻技术与电化学相结合的叉指微电极制备工艺研究[J]. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2018, 49(2): 144-149.
- [12] Grisotto F, Métayé R, Jousselman B, et al. Scanning electrochemical microscopy as an etching tool for ITO patterning [J]. *Journal of Materials Chemistry*, 2011, 21(40): 15962-15968.
- [13] Zhai L N, Zhou H L, Li X H, et al. Etching of transparent and conductive indium tin oxide films [J]. *Corrosion Science and Protection Technology*, 2014, 26(1): 41-44.  
翟莲娜, 周化岚, 李小慧, 等. 氧化锡透明导电电极的刻蚀研究[J]. *腐蚀科学与防护技术*, 2014, 26(1): 41-44.
- [14] Huang C J, Su Y K, Wu S L. The effect of solvent on the etching of ITO electrode [J]. *Materials Chemistry and Physics*, 2004, 84(1): 146-150.
- [15] Yao L, Zhang Y A, Lei X Y, et al. Preparation of

- ITO transparent electrode for FPD [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2008, 23(1): 16-20.
- 姚亮, 张永爱, 雷晓阳, 等. 平板显示器中 ITO 透明电极制备的研究[J]. 液晶与显示, 2008, 23(1): 16-20.
- [16] Feng Q, Zhou M X, Hou Z L. Coating and developing technology introduction affects lithography process [J]. Equipment for Electronic Products Manufacturing, 2017, 46(2): 19-24.
- 冯泉, 周明祥, 侯宗林. 涂胶显影技术改进对光刻工艺的影响[J]. 电子工业专用设备, 2017, 46(2): 19-24.
- [17] Tsai T H, Wu Y F. Wet etching mechanisms of ITO films in oxalic acid[J]. Microelectronic Engineering, 2006, 83(3): 536-541.
- [18] Cui J J. Comparison of fast laser etching and wet lithography for flat panel display manufacturing [J]. Ome Information, 2008, 25(4): 11-18.
- 崔锦江. 用于平板显示器制造业的快速激光刻蚀与湿法光刻技术之比较[J]. 光机电信息, 2008, 25(4): 11-18.
- [19] Wen W, Yang C R, Zhang J H, et al. Study on wet-etching of ITO thin films based on PLZT [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2008, 30(6): 745-746, 750.
- 闻伟, 杨传仁, 张继华, 等. ITO/PLZT 薄膜湿法刻蚀研究[J]. 压电与声光, 2008, 30(6): 745-746, 750.