

中国科学院物理研究所  
Institute of Physics, CAS



微加工实验室  
Laboratory of  
Microfabrication

# 实用的双层胶工艺

杨海方

2016年4月26日



# 提 要

- ◆ 双层胶工艺简介
- ◆ 实现剥离工艺需要的底切结构
- ◆ 实现绝缘衬底曝光
- ◆ 实现负性剥离

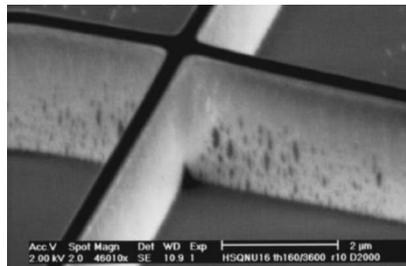
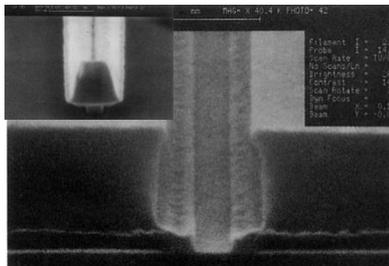
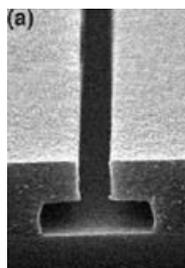
# 双层胶（结构）工艺简介

双层胶（结构）工艺：利用双层胶（结构）实现曝光图形剖面控制或实现特殊结构制备的工艺。



## 主要应用：

- ◆ 溶脱剥离（lift-off）工艺需要：底切（under-cut）剖面的光刻胶结构
- ◆ T形栅极（双层/三层）
- ◆ 高分辨率与高深宽比图形的加工
- ◆ 绝缘衬底曝光
- ◆ 实现负性剥离



(1)

10nm Al
90nm PMMA
Fused Silica

(2)

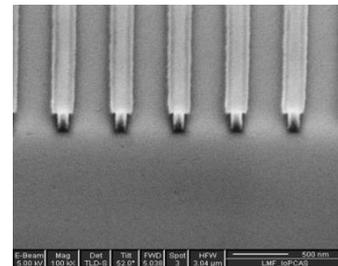
70nm aquaSAVE
90nm PMMA
Fused Silica

(3)

90nm PMMA
30nm Cr
Fused Silica

(4)

90nm PMMA
30nm Al
Fused Silica

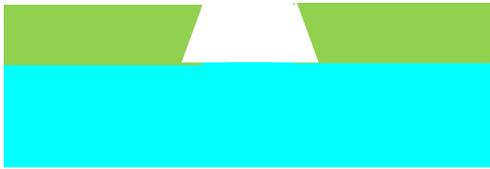


## 注意事项：

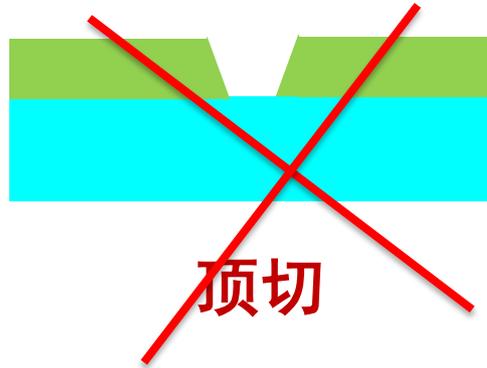
避免两种胶在涂胶过程中的相互混合：涂覆底层胶后，先要进行烘烤，待底层胶层完全固化后再旋涂顶层胶层。

# 实现剥离工艺需要的底切结构

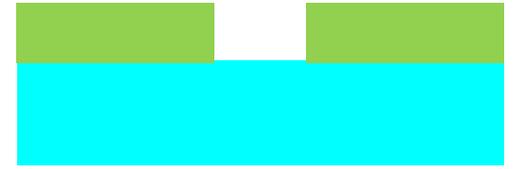
光刻胶的剖面：底切、顶切、陡直



底切，剥离



顶切



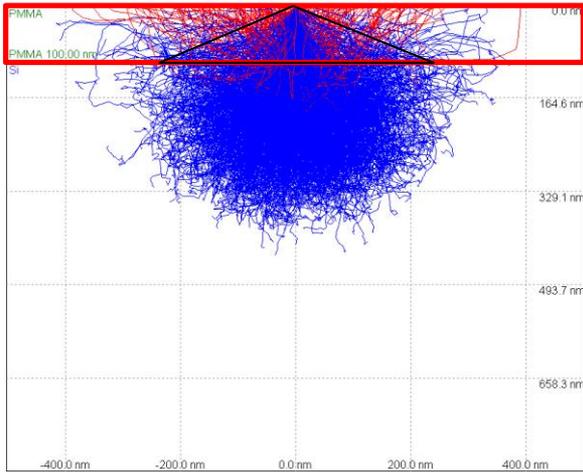
陡直，刻蚀

- ◆ 双层（电子束、紫外）
- ◆ 低电压（电子束）
- ◆ 低对比度抗蚀剂工艺（光刻胶）（电子束）
- ◆ 过曝光或过显影（电子束）

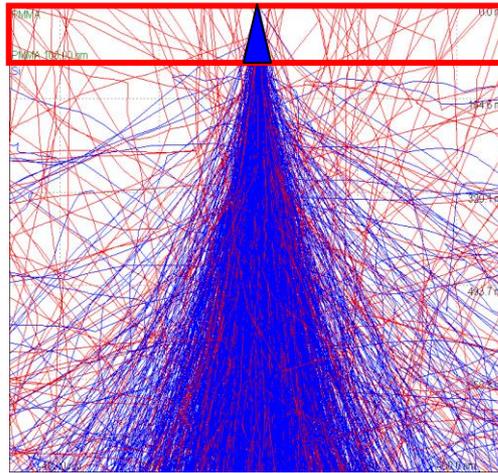
- ◆ 高对比度抗蚀剂工艺（光刻胶）（电子束、紫外）
- ◆ 避免过曝光和过显影（电子束、紫外）
- ◆ 高电压（电子束）

控制的基本方法：《微纳加工及在纳米材料与器件研究中的应用》

# 电子束曝光



5keV

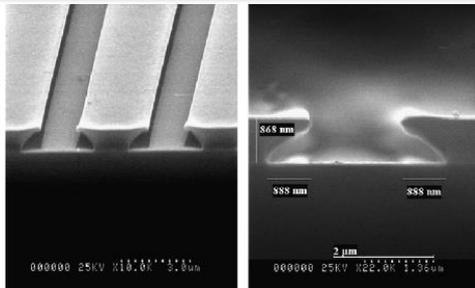


30keV

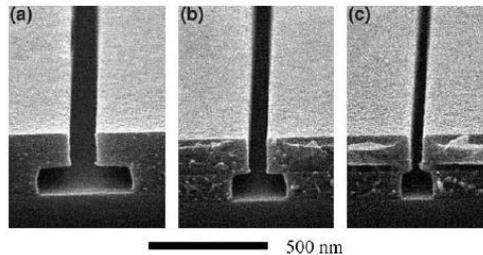
前散射的存在，  
易形成底剖面，  
电压越低越明显。  
(正胶) 一般情  
况的剥离，不需  
要双层胶。

Monte Carlo模拟的电子散射图谱，100nm厚PMMA、硅衬底

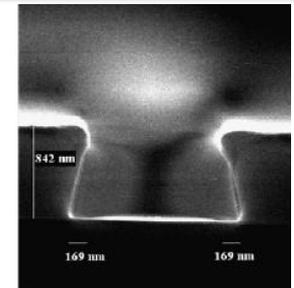
对于特殊的需要大的底剖面的工艺，可以采用双层胶工艺。



- 不同分子量的PMMA
- PMMA/P (MMA-MAA)



- PMMA/LOR
- ZEP/LOR

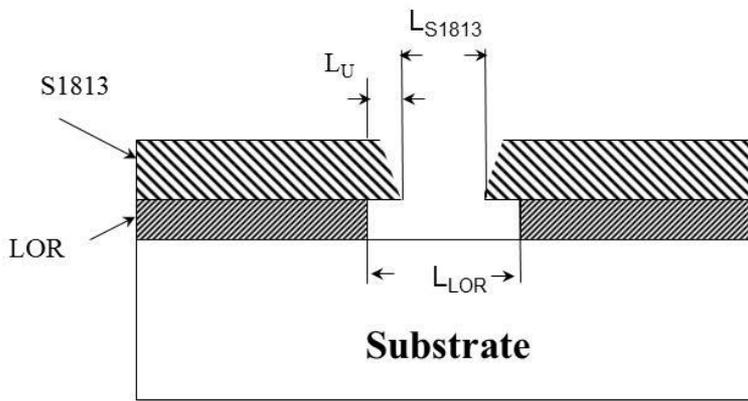
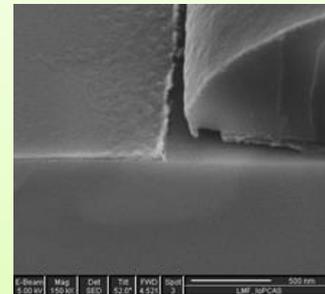


ZEP/ P (MMA-MAA)

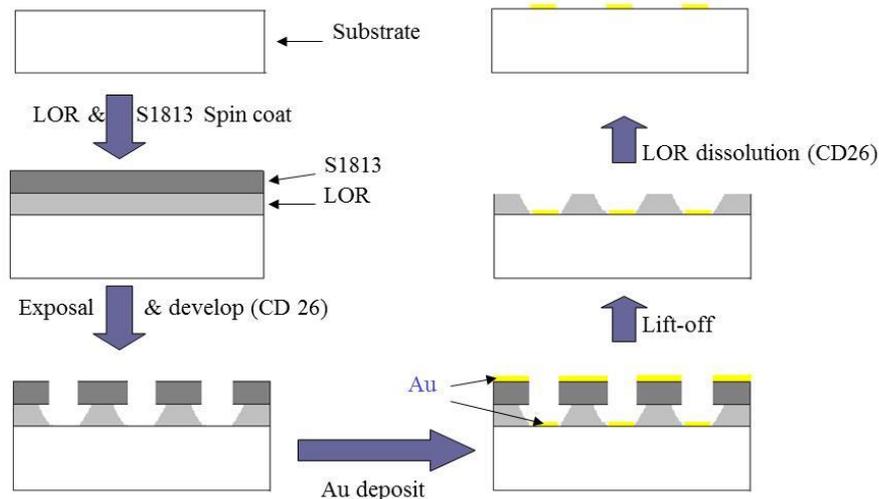


# 紫外曝光

- ◆ 紫外曝光：光刻胶顶部吸收能量最大，光刻胶底部吸收能量最小，一般形成**顶切光刻胶剖面结构**。（正胶）
- ◆ 紫外光刻胶较厚，金属膜较薄，且图形尺度较大，一般的剥离可以实现。
- ◆ 对于尺度较小或金属膜较厚的情况，剥离较困难。建议采用**S1813/LOR双层光刻胶工艺**实现有效的剥离。



S1813/LOR工艺示意图

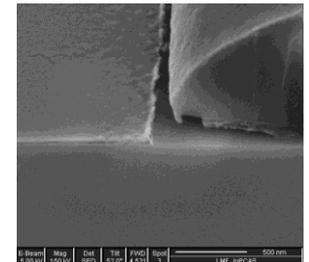
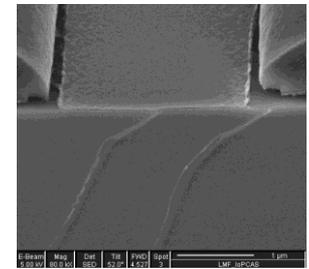
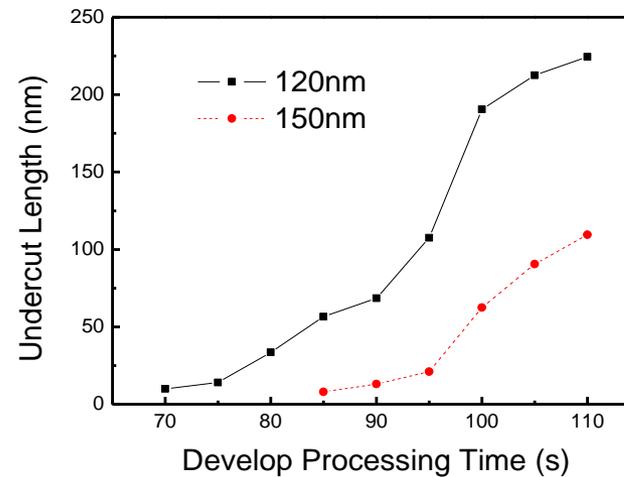
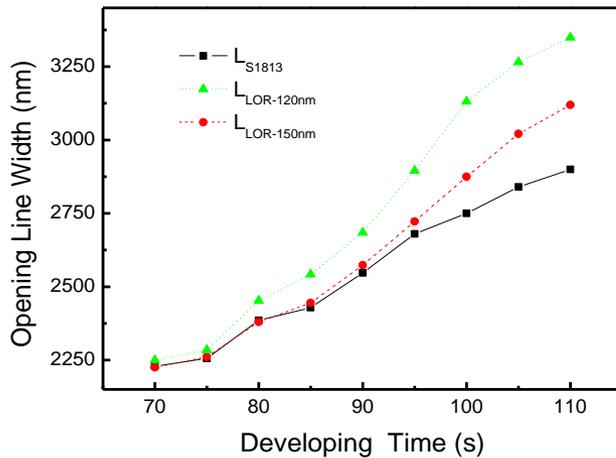
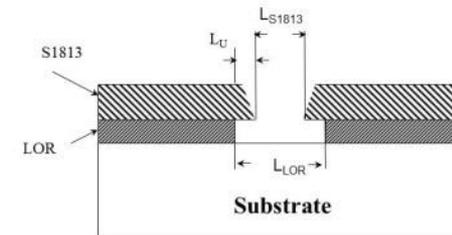


S1813/LOR工艺流程图

## Microelectronic Engineering 85 (2008) 1433

# Fabrication of terahertz metamaterials using S1813/LOR stack by lift-off

## 工艺条件摸索



图形尺寸、undercut长度随LOR厚度、显影时间变化

# 工艺条件及剥离结果

LOR:

thickness: 120 nm

pre-baked 170 °C (hot-plate) 60 s

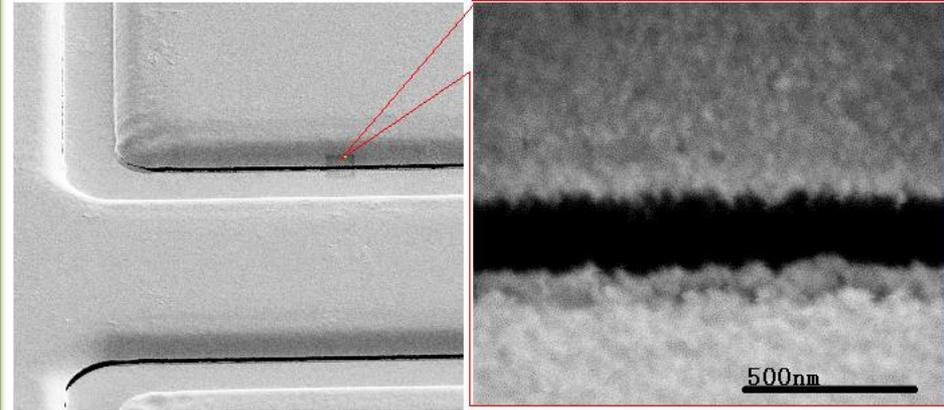
S1813:

thickness: 1.3  $\mu\text{m}$

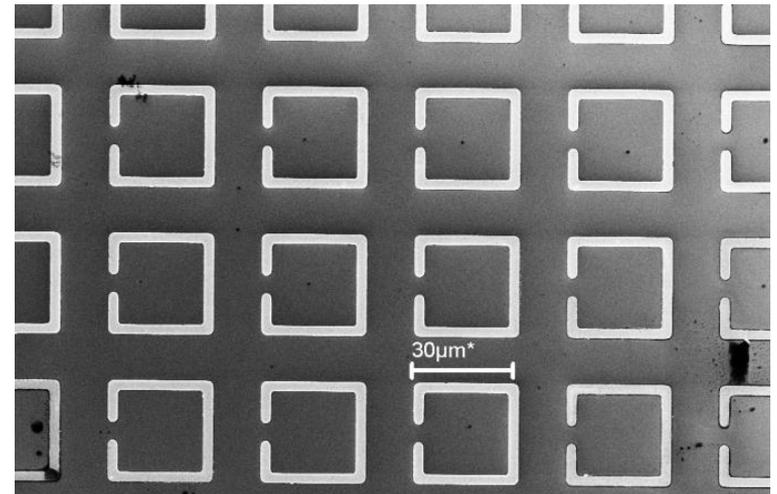
pre-baked 115 °C (hot-plate) 60 s

UV lithography: MA6 mask  
aligner system

Development: 90s in CD26



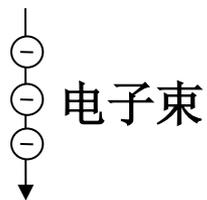
镀膜后、剥离前



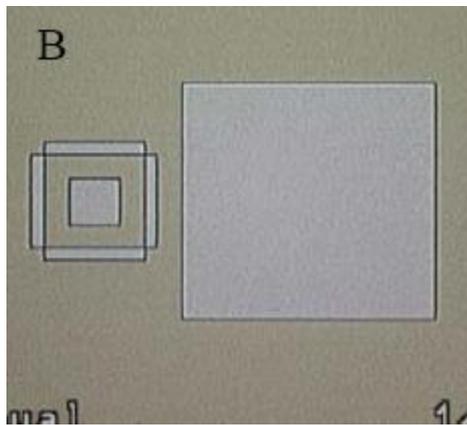
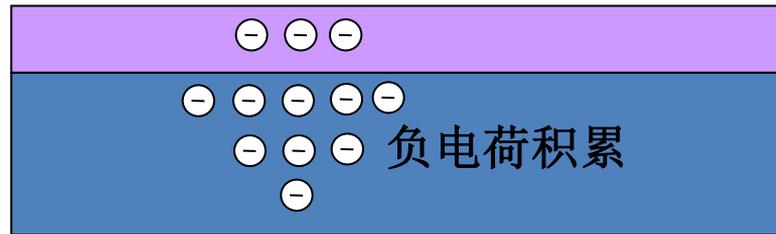
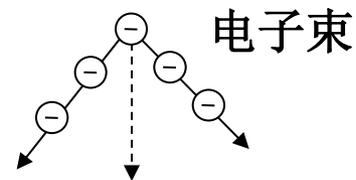
剥离后结果

# 绝缘衬底上电子束曝光

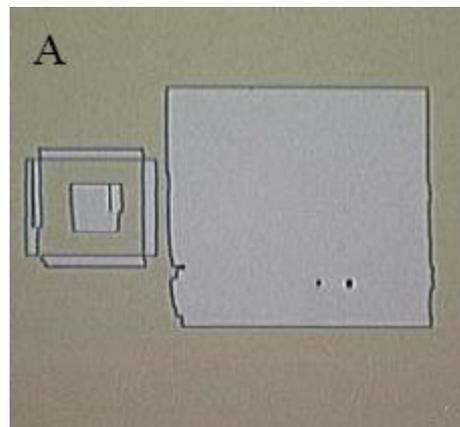
起始



累积



正常



充电效应

# 最常用的解决绝缘衬底上电子束曝光方法

**金属层（顶层、底层）**：抗蚀剂或衬底的表面溅射或蒸发一薄层导电的金属（如Au、Au-Pd合金、Ni-Cr合金、Cr、Al、Cu等），**通用**。

**水溶性导电聚合物（顶层）**：日本Showa Denka: ESPACER系列导电聚合物, PMMA, ZEP等；德国Allresist公司: SX AR-PC 5000/90.1, 专门用于PMMA抗蚀剂，**贵、保质期短!**



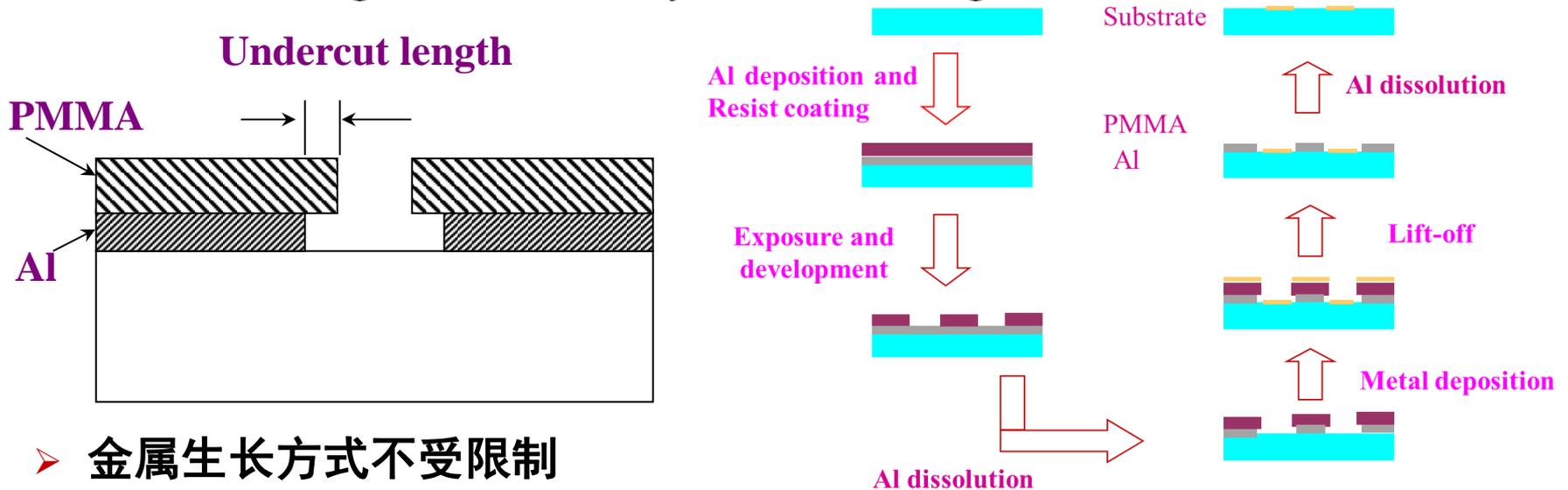
- 金属：热蒸发，不要电子束蒸发
- 水溶性导电聚合物：旋涂
- 显影前湿法去除金属层、聚合物
- 适用于剥离、刻蚀工艺

- 金属：任意生长方式
- 显影后，湿法/干法刻蚀底层金属
- 去除光刻胶后，湿法去除金属层
- 适用于剥离工艺

**腐蚀液对衬底及抗蚀剂无腐蚀作用!**

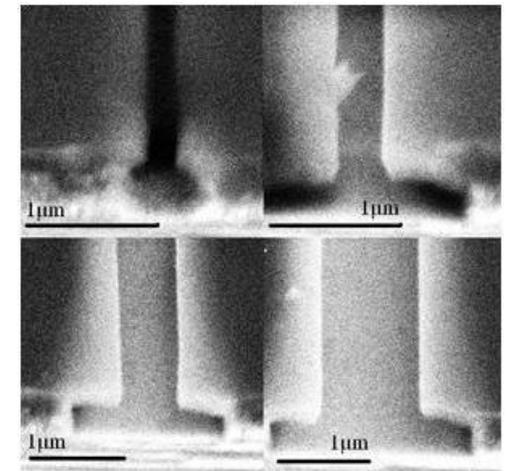
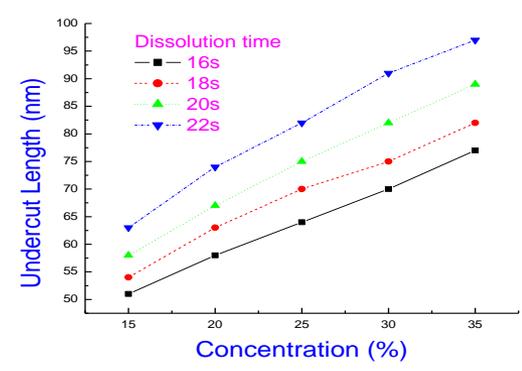
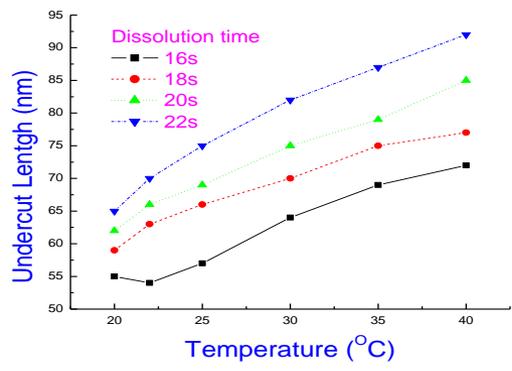
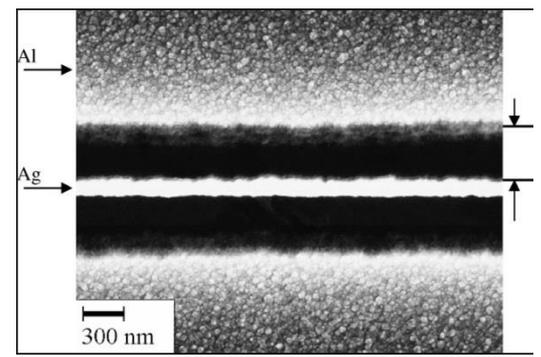
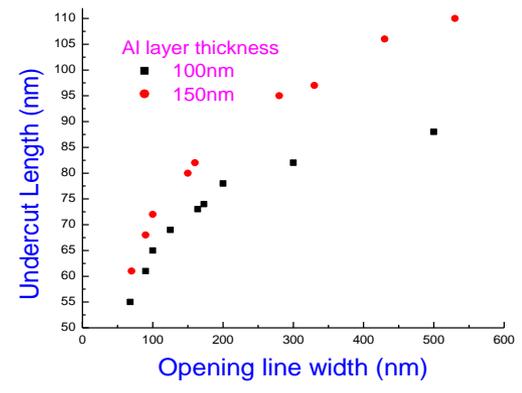
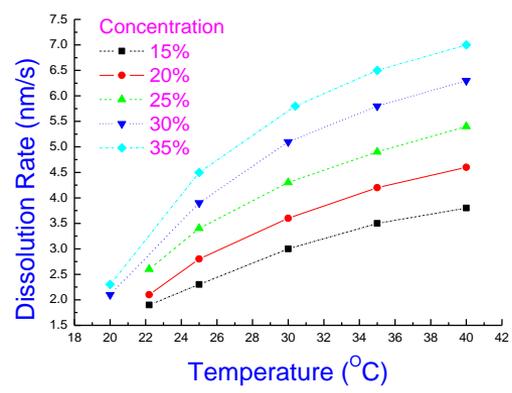
## Microelectronic Engineering 84(2007)1144

Fabrication of near-infrared and optical meta-materials on insulating substrates by lift-off using PMMA/Al stack



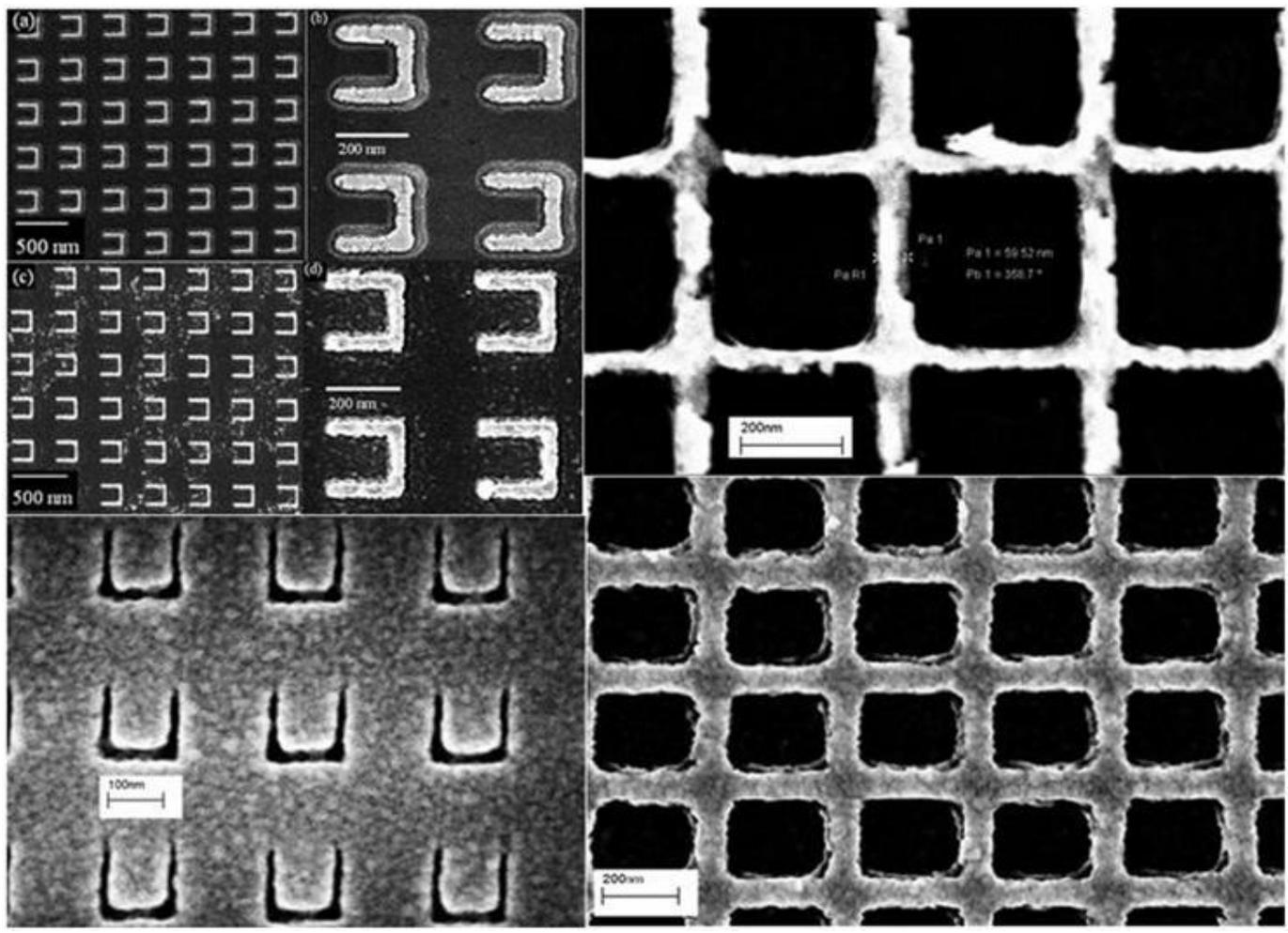
- 金属生长方式不受限制
- 利用导电的铝膜解决了电子束曝光中的电荷积聚问题，
- 通过控制显影条件，形成有利于剥离的Undercut结构。

# 利用 PMMA/Al 双层结构在绝缘衬底上制备纳米结构



Al 膜的溶解速率及 Under-Cut 长度与 CD26 浓度、温度、溶解时间及开口宽度的关系曲线

# 利用 PMMA/Al 双层结构在绝缘衬底上制备纳米结构



利用PMMA/Al工艺在绝缘衬底上实现的各种尺寸与形状的人工周期结构

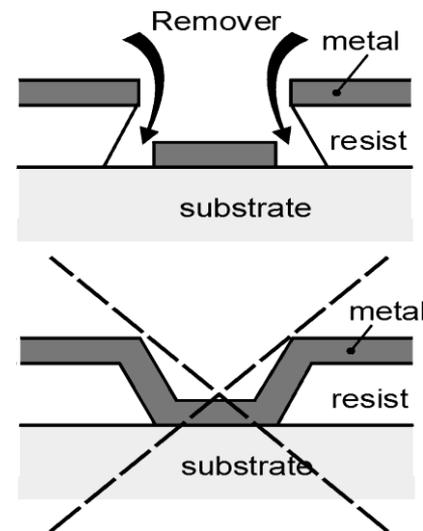
最小线宽可以实现20nm



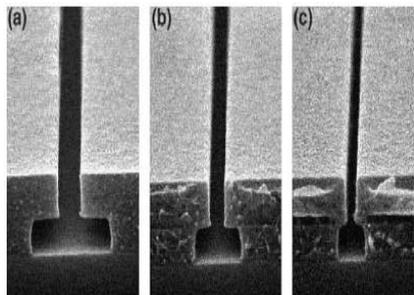
# 利用HSQ/PMMA双层胶工艺实现负性图形的剥离

电子束曝光+金属镀膜+剥离工艺是实现纳米尺度金属结构的标准工艺:

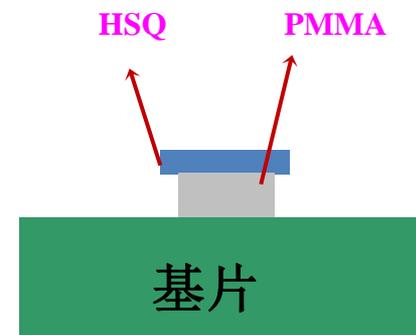
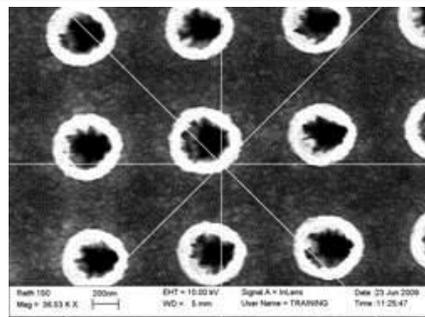
- ▶ 正性抗蚀剂, 适用于小面积由金属覆盖的结构
- ▶ 负性抗蚀剂, 形成Over-cut结构无法进行有效剥离
- ▶ 无法实现大面积由金属覆盖结构的加工



正性  
剥离



金属  
刻蚀

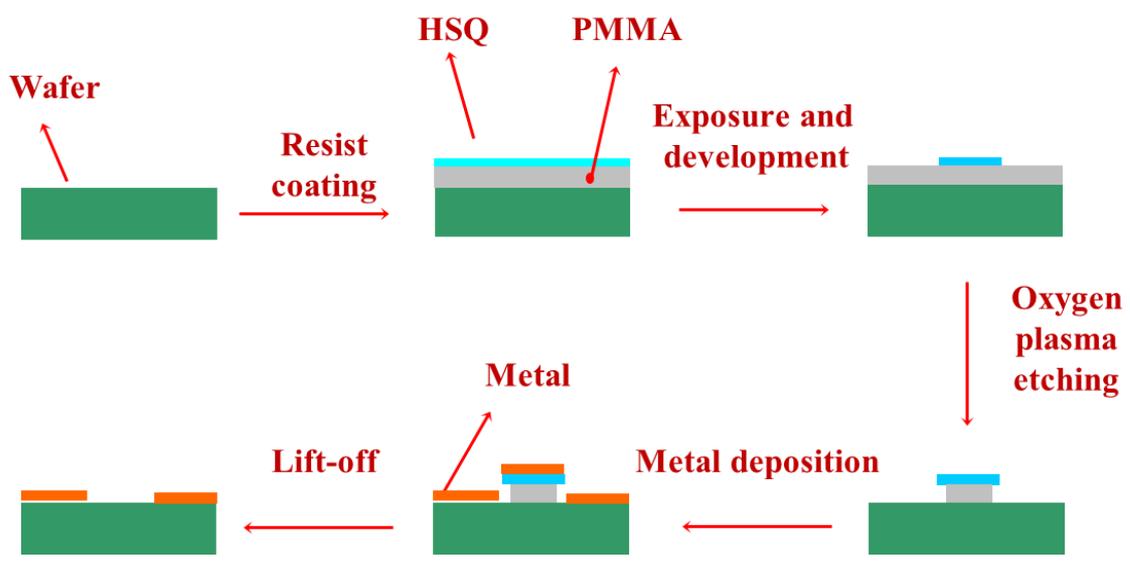


HSQ/PMMA双层抗蚀剂工艺示意图

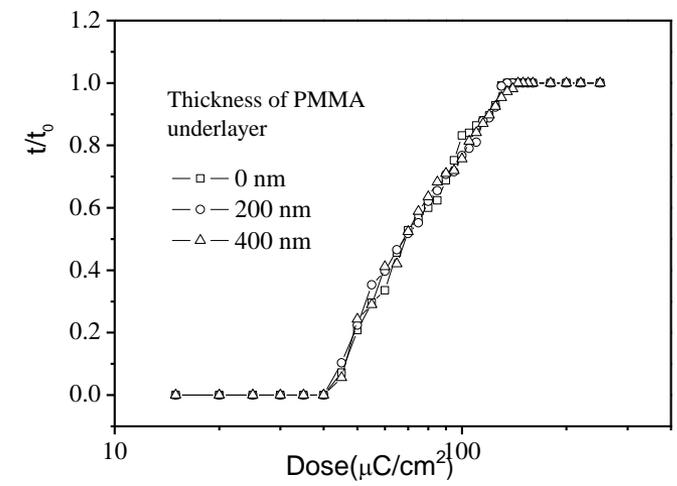
采用HSQ/PMMA双层抗蚀剂解决了这个工艺问题:

- ▶ HSQ形成高分辨率的图形
- ▶ PMMA剥离效果最好的电子束抗蚀剂
- ▶ 控制刻蚀条件可形成剥离需要的Under-Cut结构

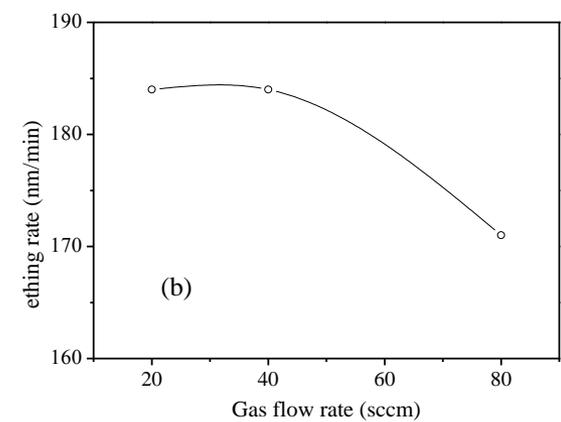
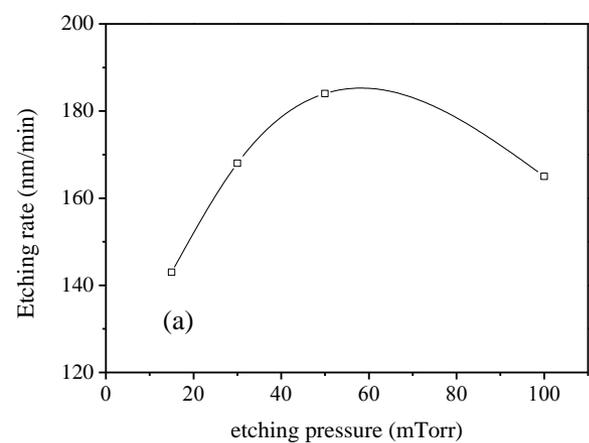
# HSQ/PMMA双层胶工艺条件的摸索



利用 HSQ/PMMA 双层胶工艺流程图

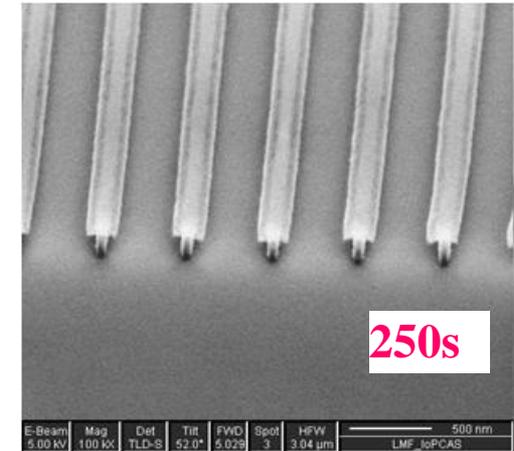
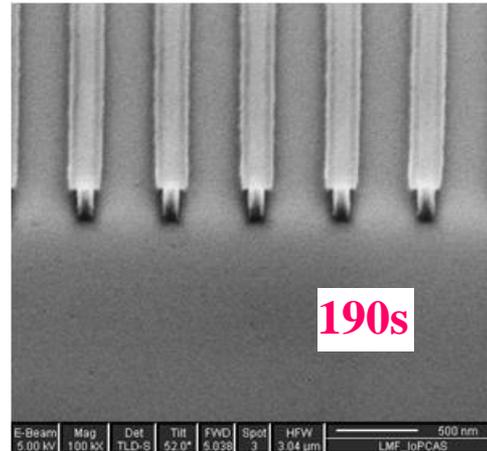
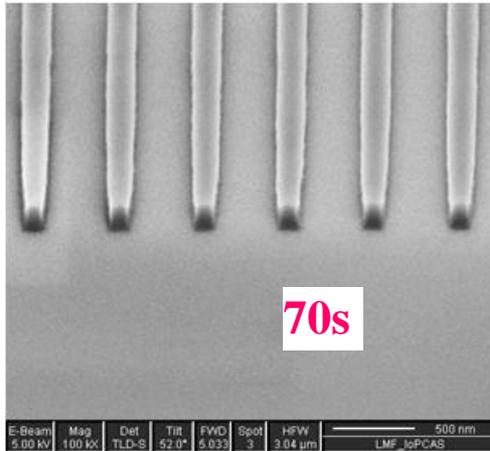


双层胶HSQ对比度曲线随 PMMA 层厚度变化的情况

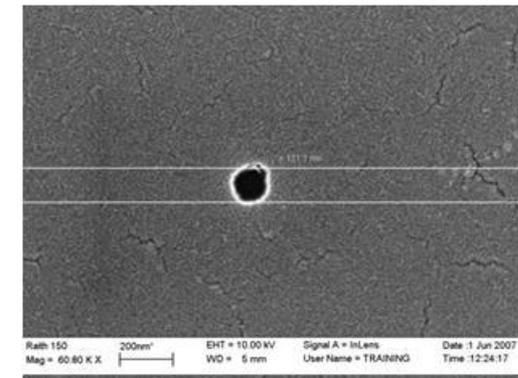
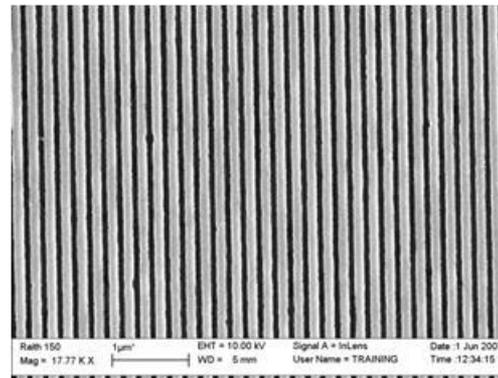
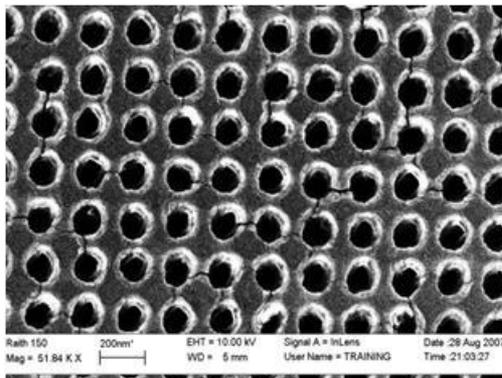


PMMA刻蚀速率随刻蚀条件变化曲线，氧等离子体刻蚀对HSQ无影响。

# HSQ/PMMA双层胶工艺实验结果

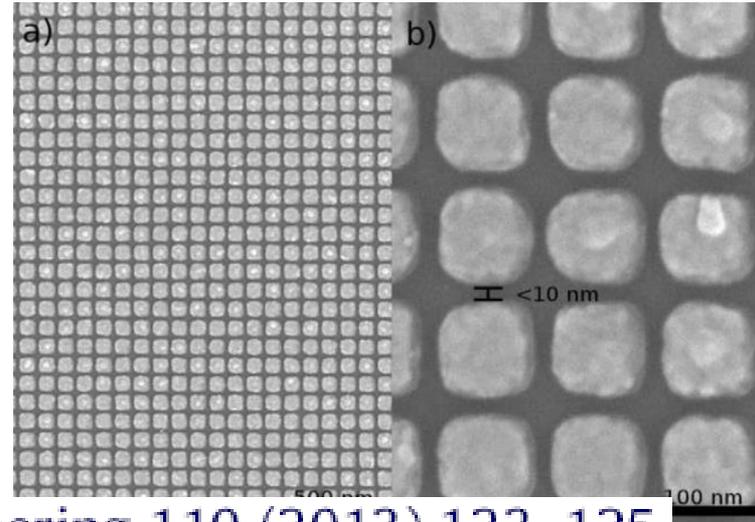
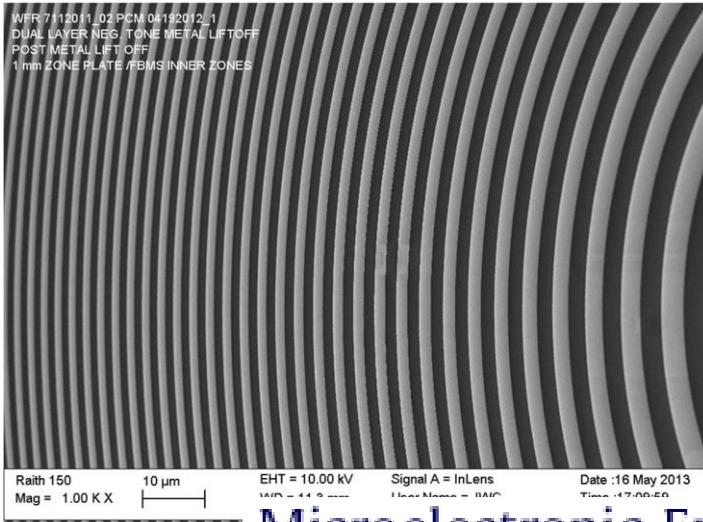
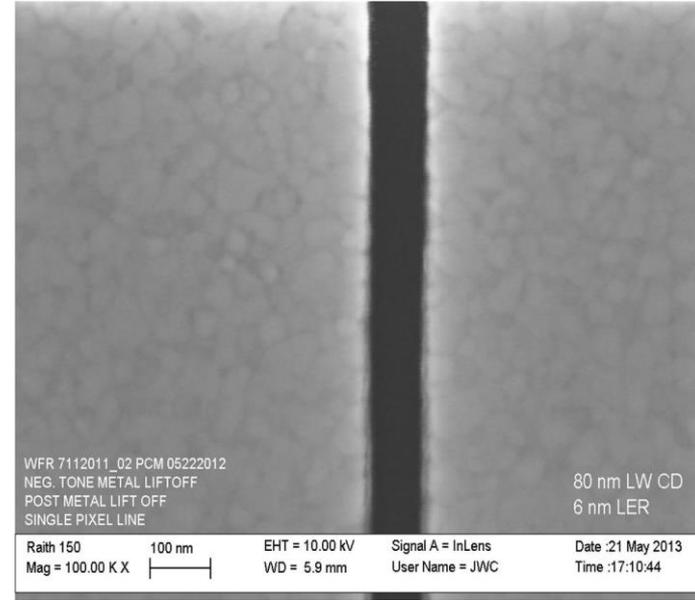
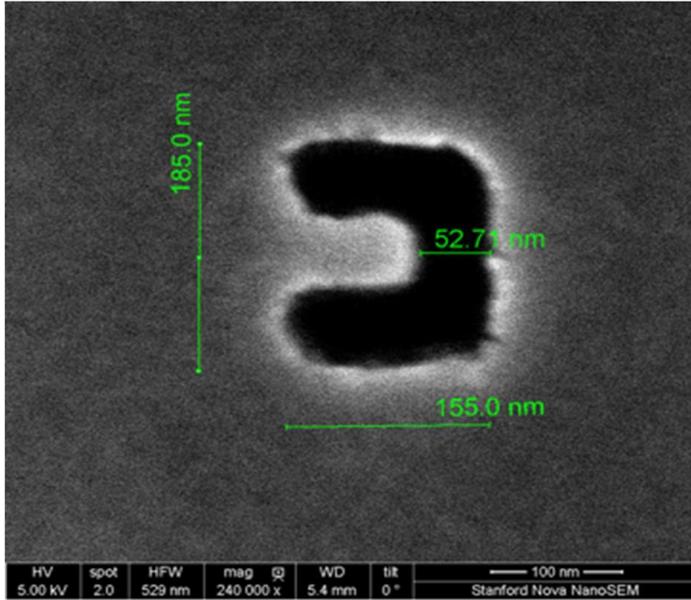


利用刻蚀得到的HSQ/PMMA双层抗蚀剂剖面随刻蚀时间的变化情况



利用HSQ/PMMA双层抗蚀剂剥离得到的大面积由金属覆盖的金属结构

Microelectronic Engineering 85 (2008) 814–817





微加工实验室  
Laboratory of  
Microfabrication

# Thanks!

**中国科学院物理研究所微加工实验室**

Add: 北京市海淀区中关村南三街8号

Tel: 010-82648198

Fax: 010-82648198

Email: [lmf@iphy.ac.cn](mailto:lmf@iphy.ac.cn)

<http://lmf.iphy.ac.cn>