



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

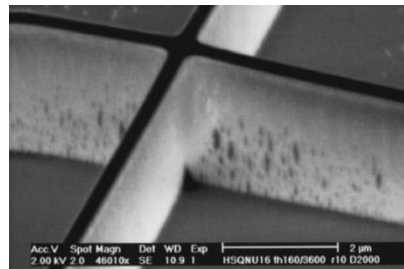
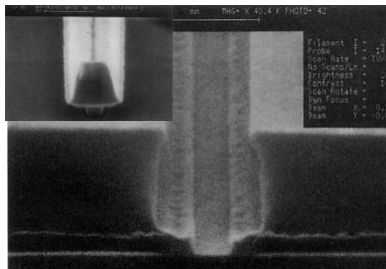
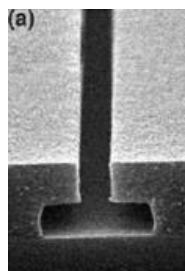
双层胶（结构）工艺简介

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)

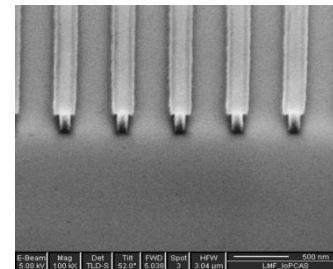
70nm aquaSAVE
90nm PMMA
Fused Silica

(3)

90nm PMMA
30nm Cr
Fused Silica

(4)

90nm PMMA
30nm Al
Fused Silica

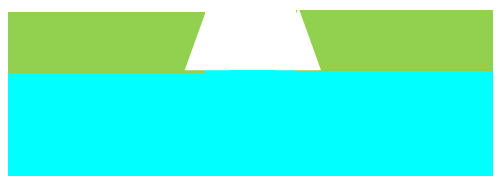


注意事项：

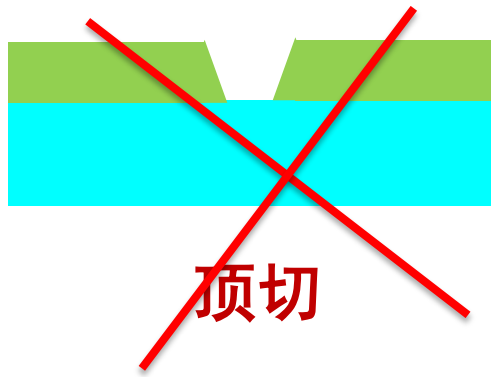
避免两种胶在涂胶过程中的相互混合：涂覆底层胶后，先要进行烘烤，待底层胶层完全固化后再旋涂顶层胶层。

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



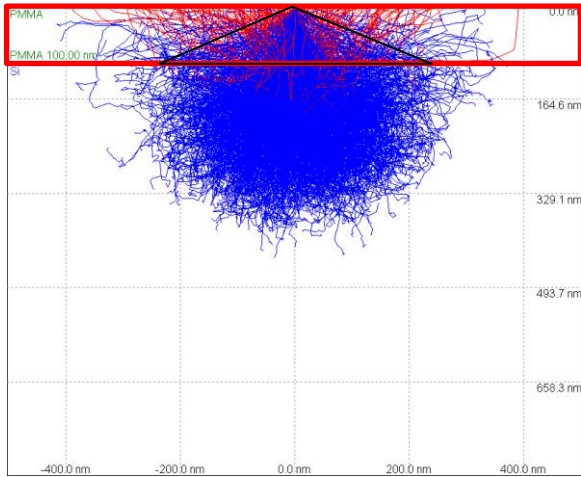
陡直，刻蚀

- ◆ 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）

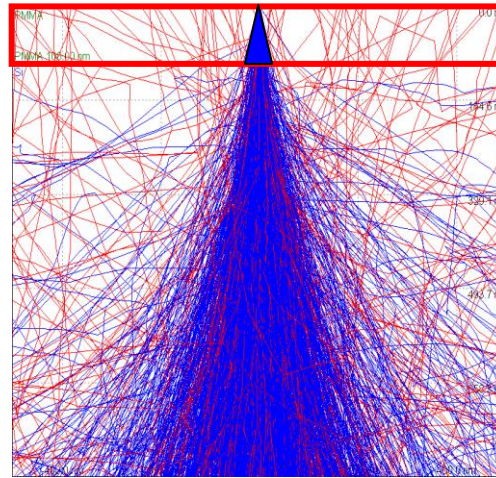
- ◆ 高对比度抗蚀剂工艺（光刻胶）（电子束、紫外）
- ◆ 避免过曝光和过显影（电子束、紫外）
- ◆ 高电压（电子束）

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

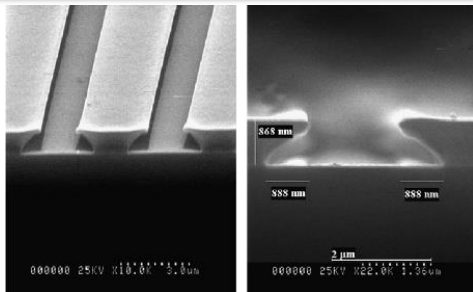


30keV

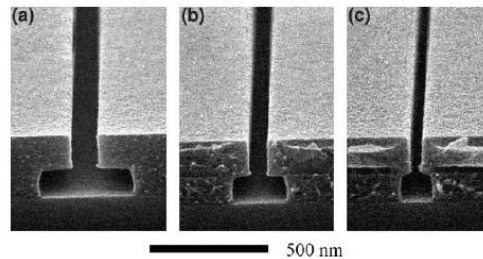
前散射的存在，
易形成底剖面，
电压越低越明显。
(正胶) 一般情
况的剥离，不需
要双层胶。

Monte Carlo模拟的电子散射图谱，100nm厚PMMA、硅衬底

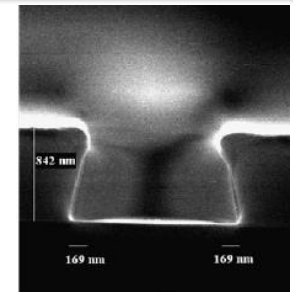
对于特殊的需要大的底剖面的工艺，可以采用双层胶工艺。



- 不同分子量的PMMA
- PMMA/P (MMA-MAA)



- PMMA/LOR
- ZEP/LOR

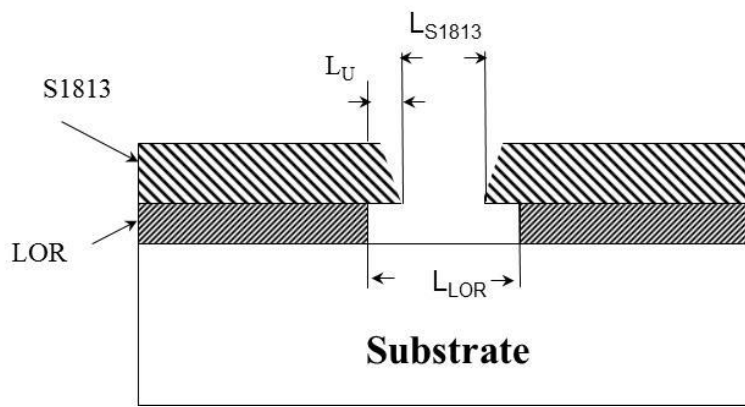
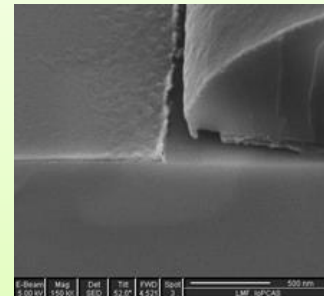


ZEP/ P (MMA-MAA)

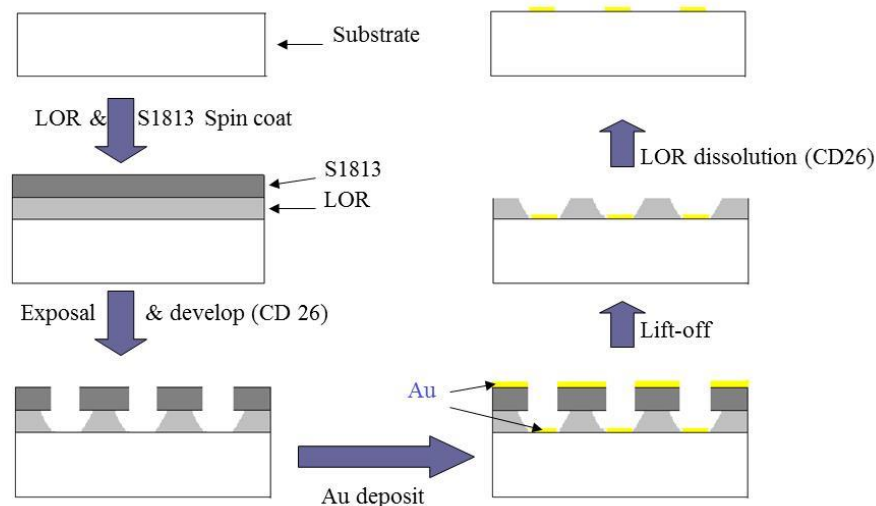


紫外曝光

- ◆ 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

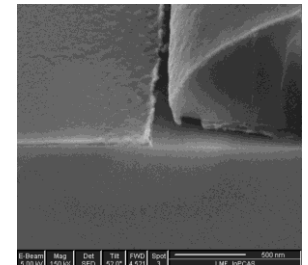
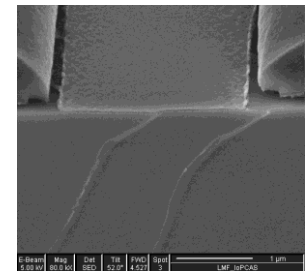
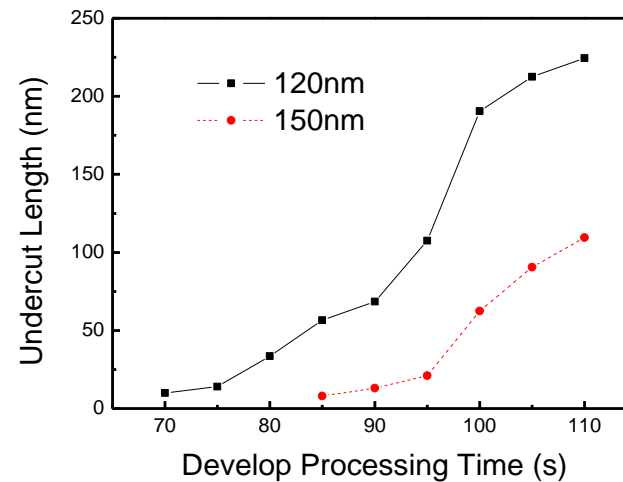
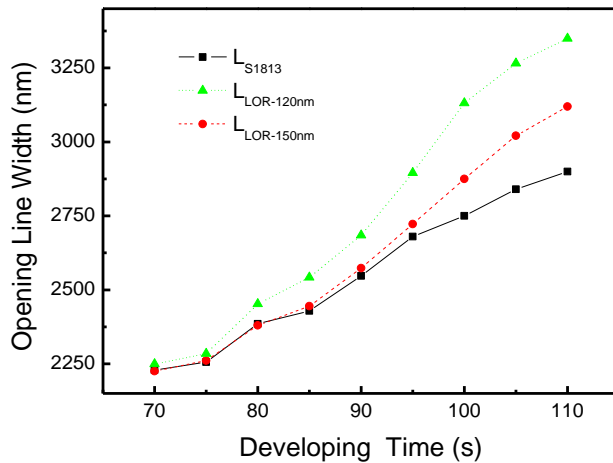
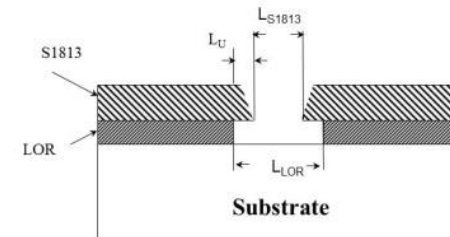


S1813/LOR工艺流程图

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

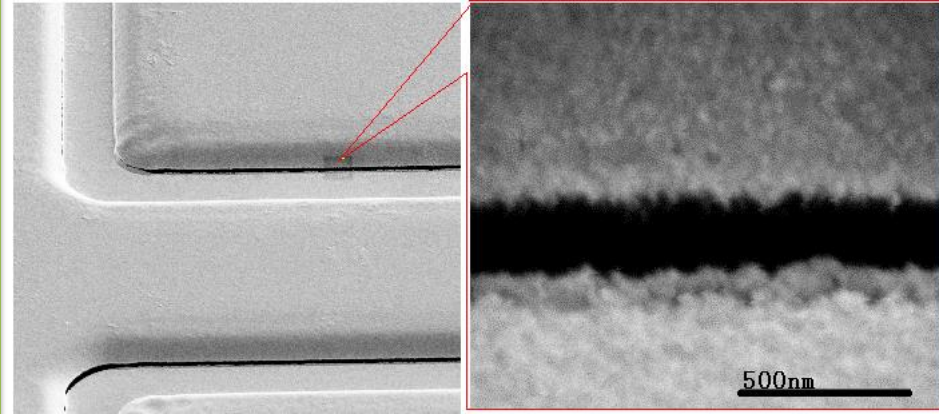
S1813:

thickness: 1.3 μm

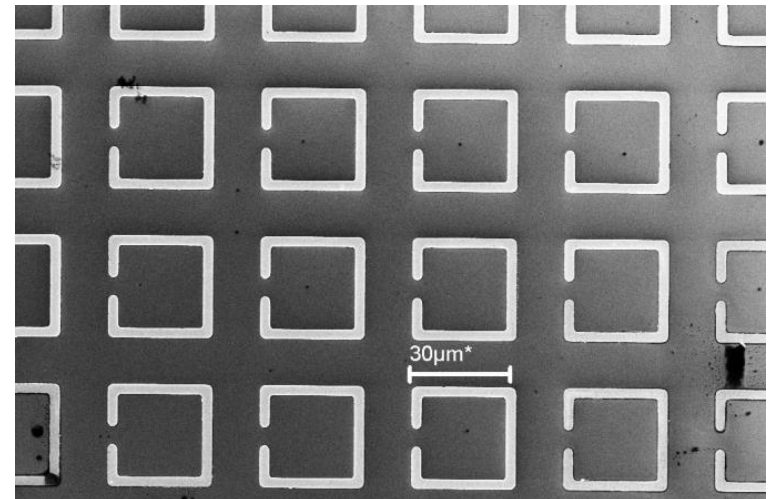
pre-baked 115 °C (hot-plate) 60 s

UV lithography: MA6 mask
aligner system

Development: 90s in CD26



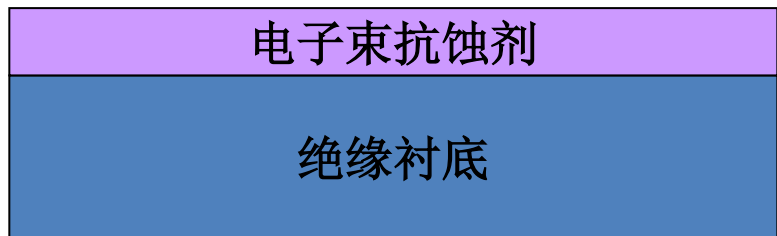
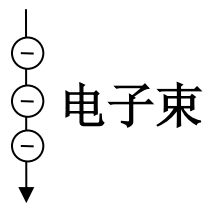
镀膜后、剥离前



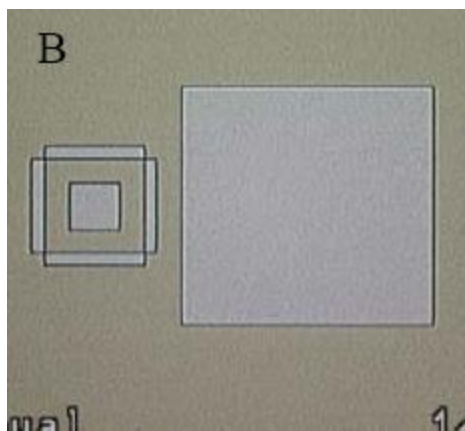
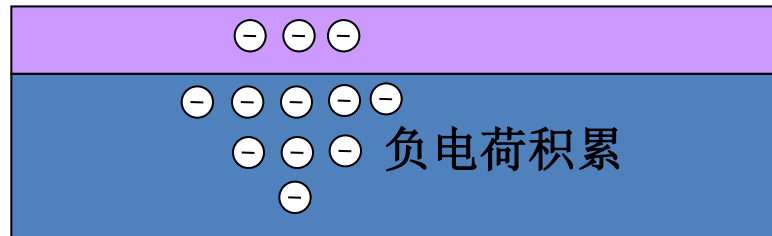
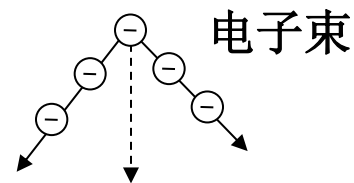
剥离后结果

绝缘衬底上电子束曝光

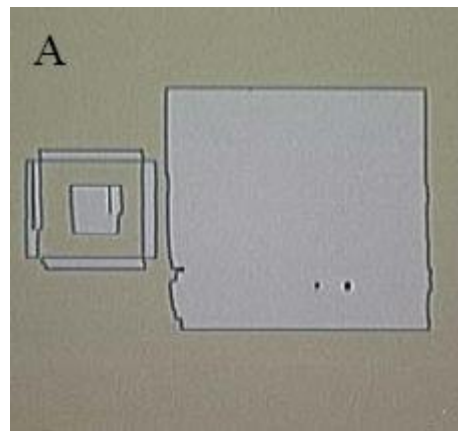
起始



累积



正常

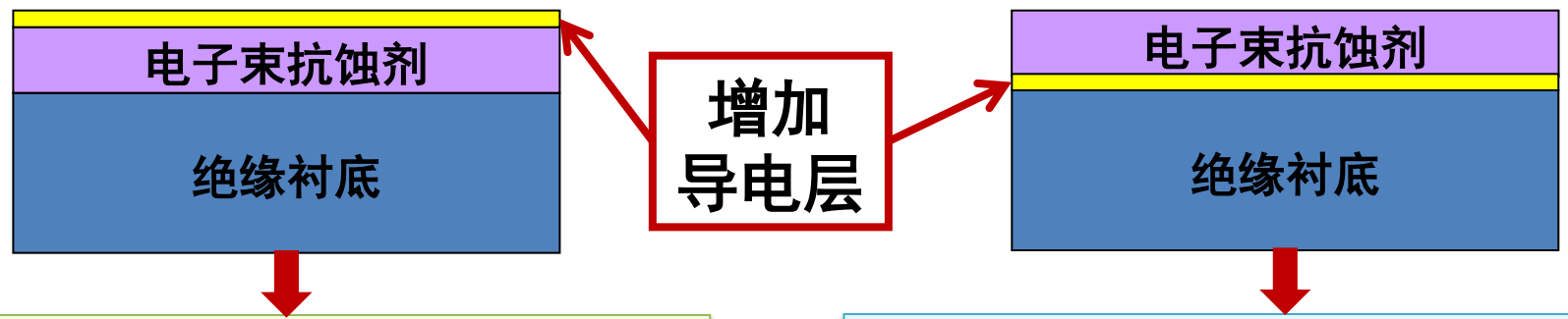


充电效应

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**！



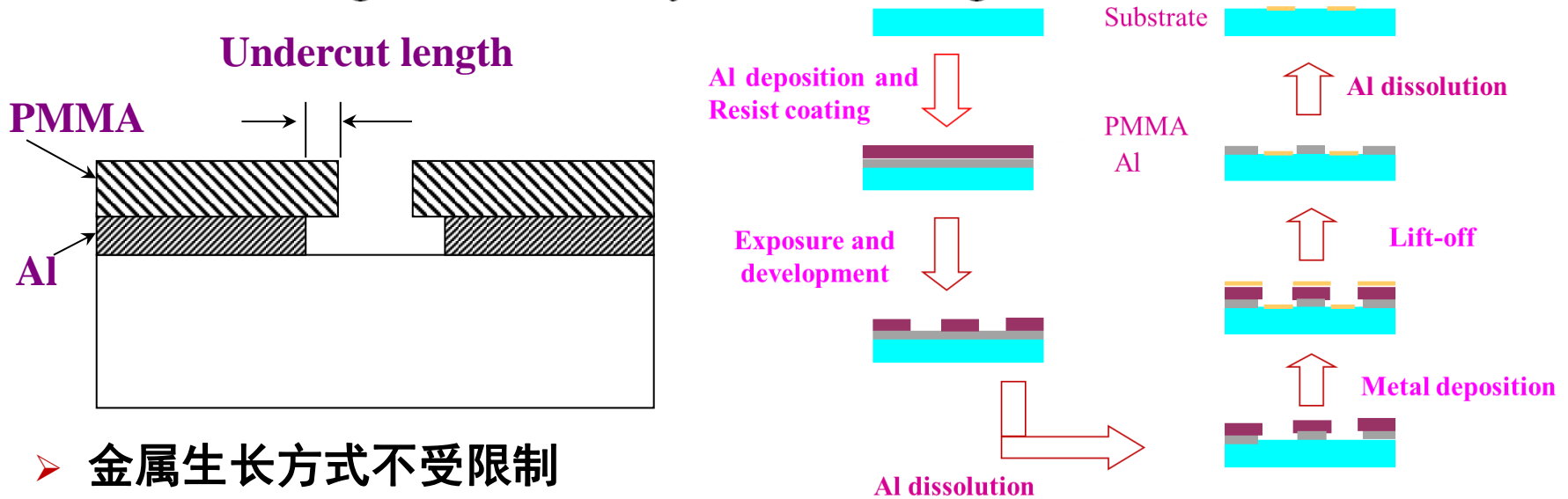
- 金属：热蒸发，不要电子束蒸发
- 水溶性导电聚合物：旋涂
- 显影前湿法去除金属层、聚合物
- 适用于剥离、刻蚀工艺

- 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！

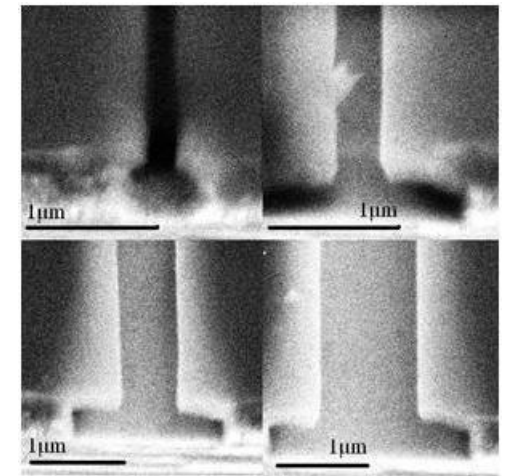
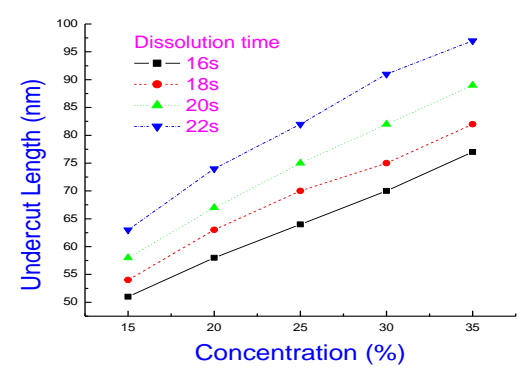
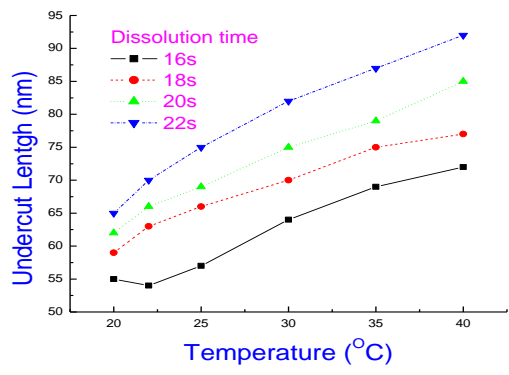
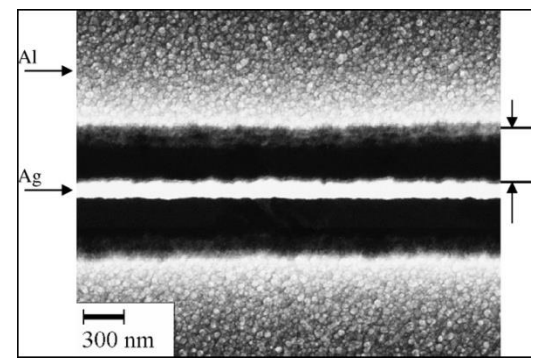
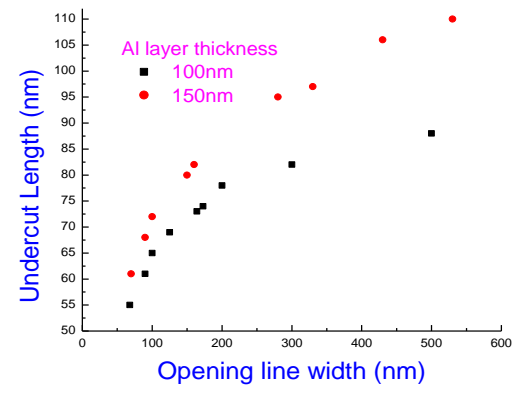
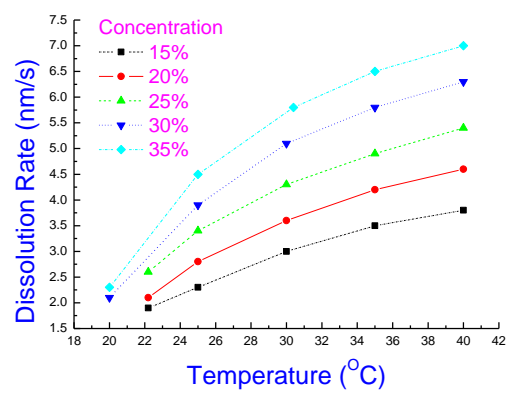
Microelectronic Engineering 84(2007)1144

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



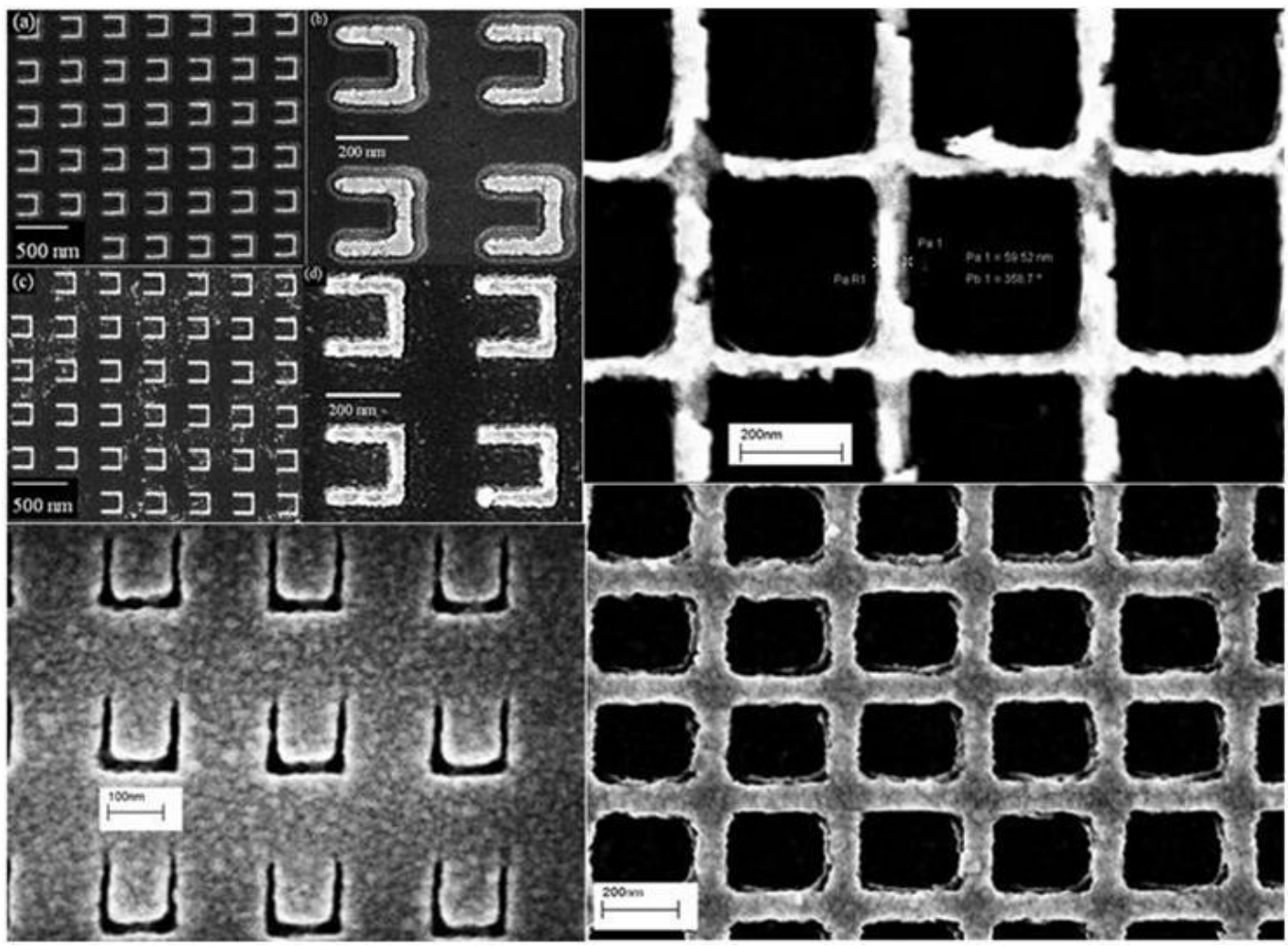
- 金属生长方式不受限制
- 利用导电的铝膜解决了电子束曝光中的电荷积聚问题，
- 通过控制显影条件，形成有利于剥离的Undercut结构。

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

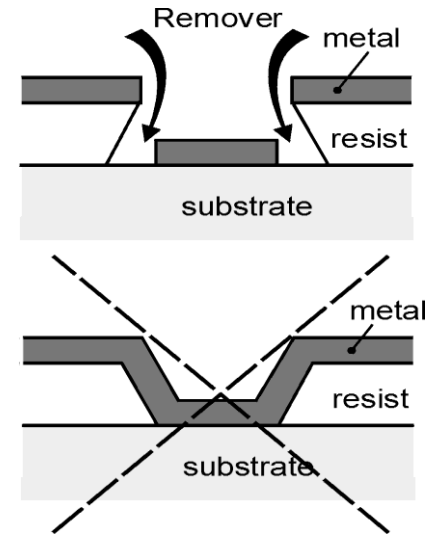
最小线宽可以实现20nm



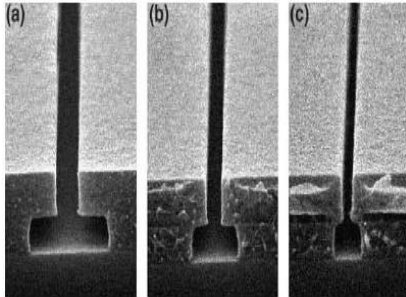
利用HSQ/PMMA双层胶工艺实现负性图形的剥离

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:

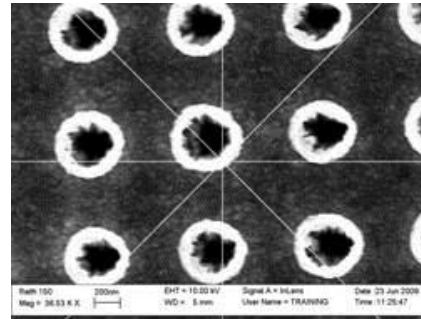
- ▶ 正性抗蚀剂, 适用于小面积由金属覆盖的结构
- ▶ 负性抗蚀剂, 形成Over-cut结构无法进行有效剥离
- ▶ 无法实现大面积由金属覆盖结构的加工



正性
剥离

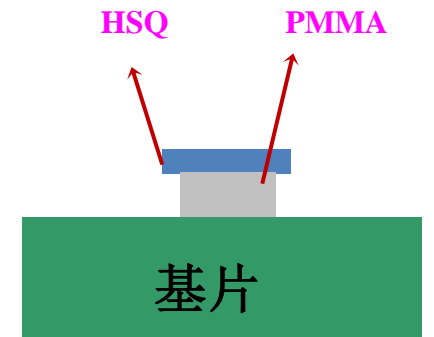


金属
刻蚀



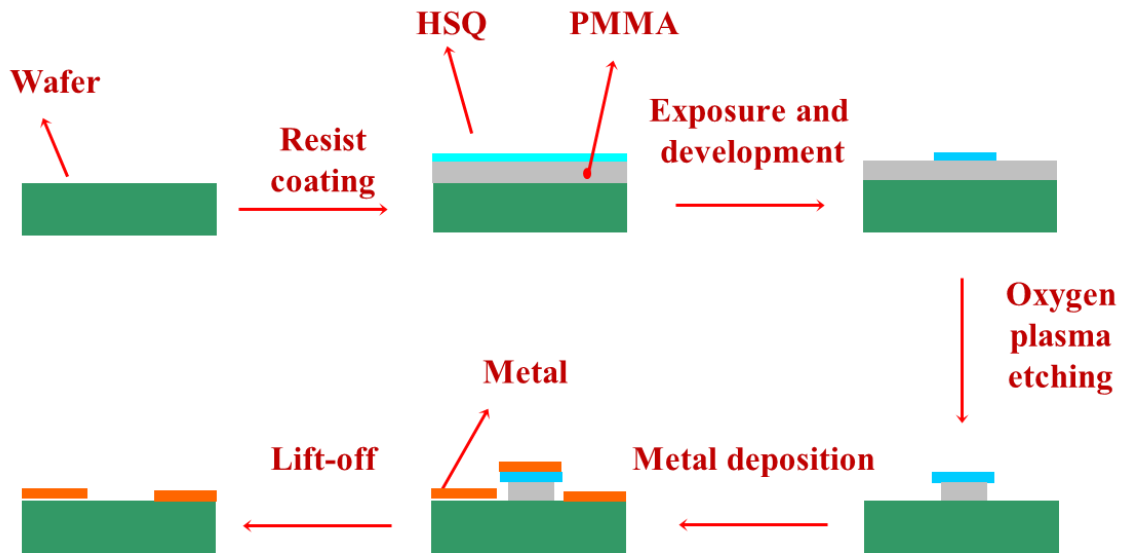
采用HSQ/PMMA双层抗蚀剂解决了这个工艺问题:

- ▶ 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

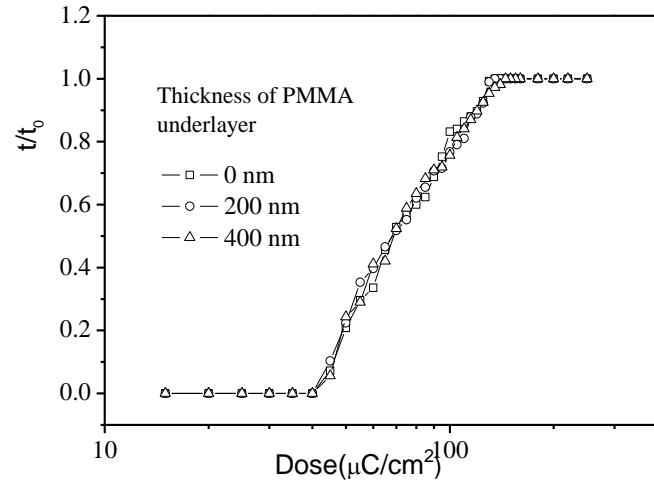


HSQ/PMMA双层抗蚀剂工艺示意图

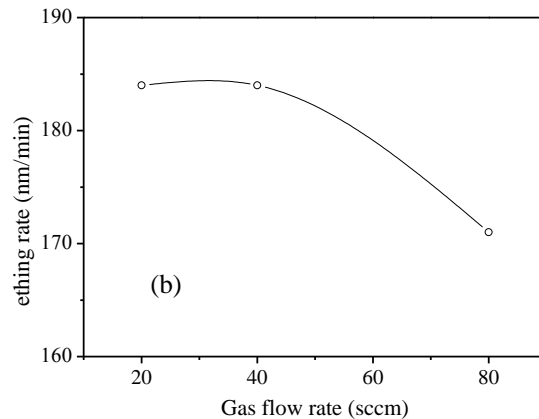
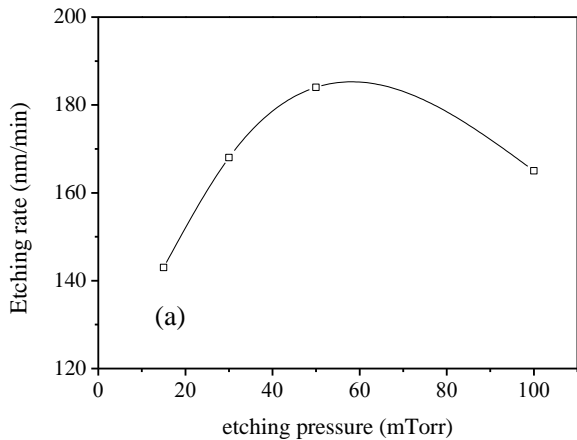
HSQ/PMMA双层胶工艺条件的摸索



利用 HSQ/PMMA 双层胶工艺流程图

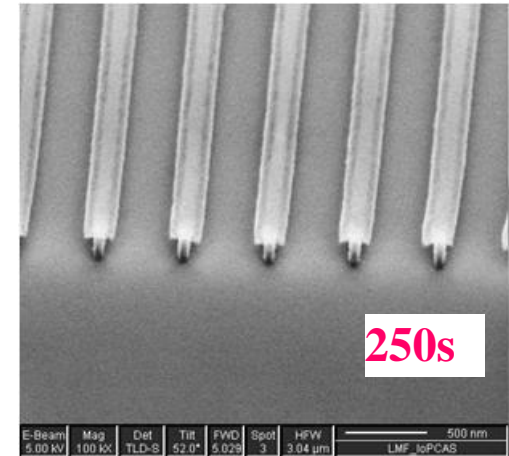
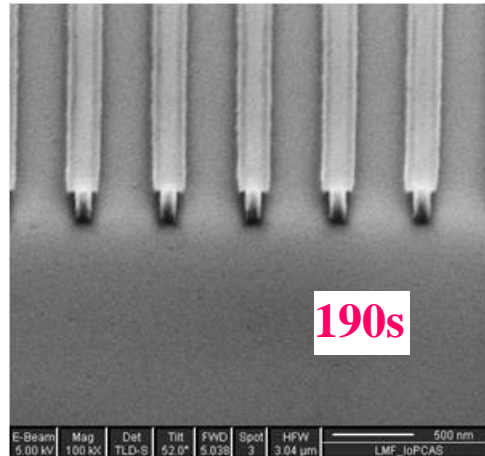
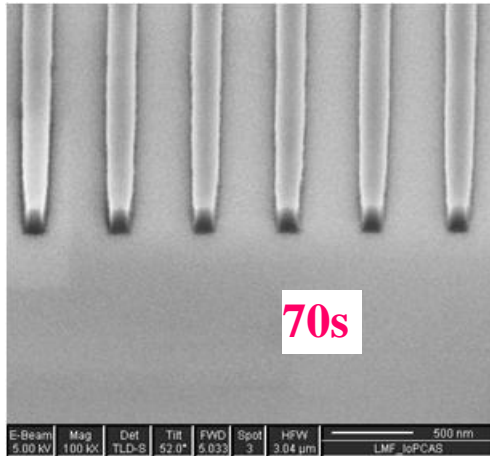


双层胶HSQ对比度曲线随PMMA层厚度变化的情况

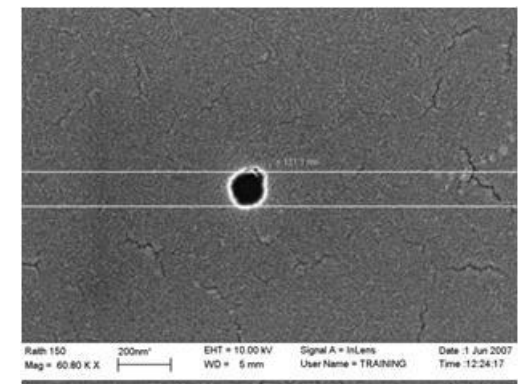
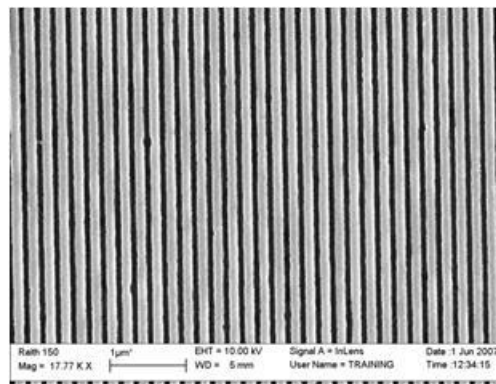
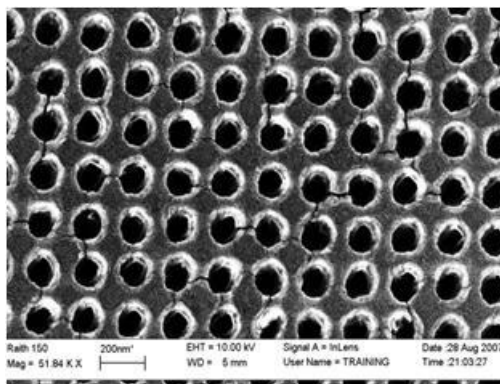


PMMA刻蚀速率随刻蚀条件变化曲线，氧等离子体刻蚀对HSQ无影响。

HSQ/PMMA双层胶工艺实验结果

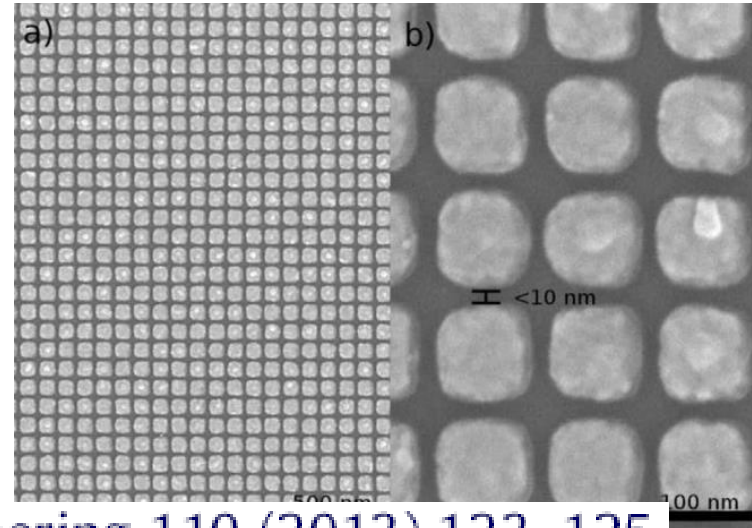
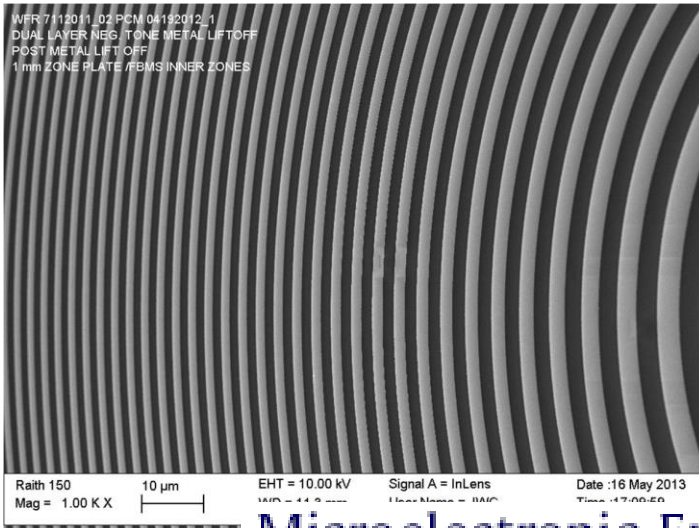
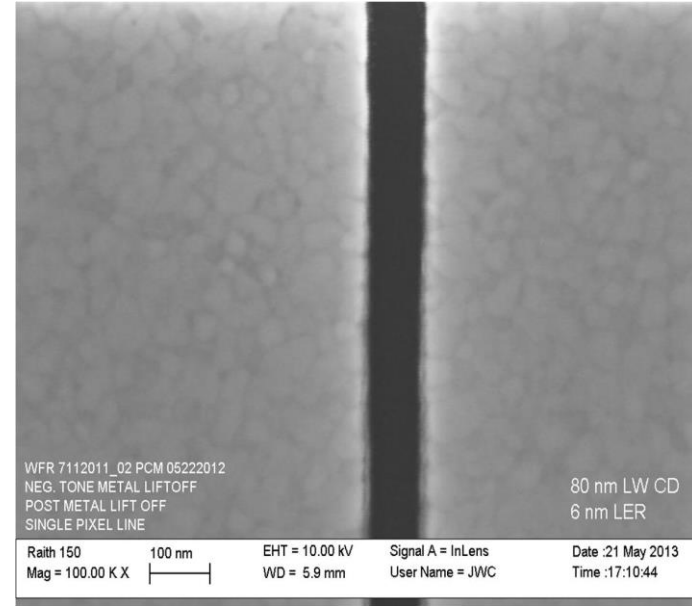
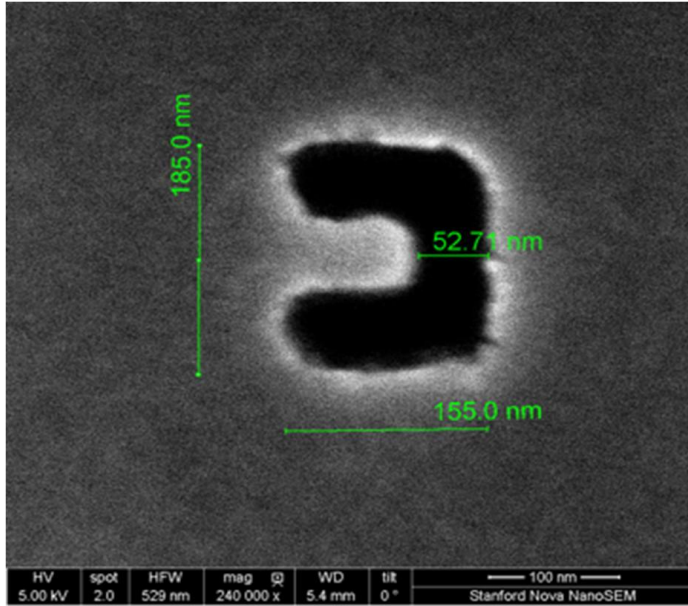


利用刻蚀得到的HSQ/PMMA双层抗蚀剂剖面随刻蚀时间的变化情况



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

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