

201604微加工实验室用户交流

金刚石材料的ICP刻蚀工艺

微加工实验室 夏晓翔
20160426



PlasmaLabSystem100 ICP180
Oxford Instruments, UK

气路： Cl_2 , BCl_3 , SiCl_4 ,
 HBr , CH_4 , O_2 , Ar , CF_4 ,
 CHF_3 , C_4F_8 , SF_6

样品台：最大4英寸基片

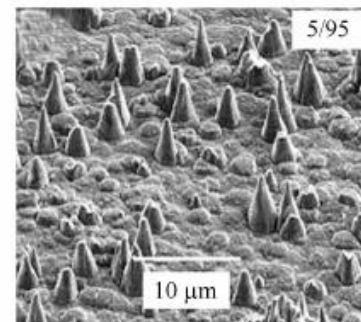
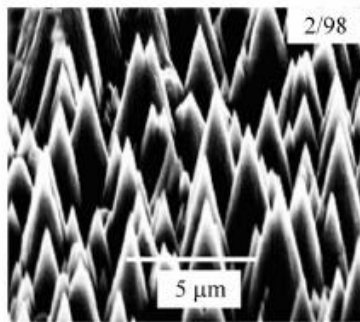
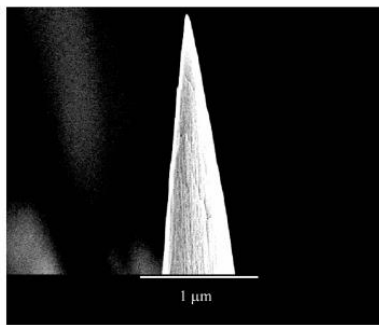
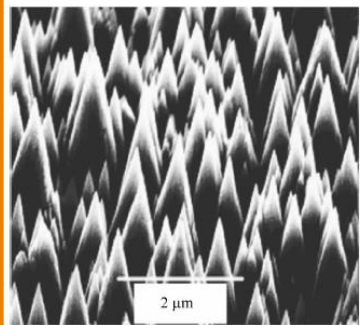
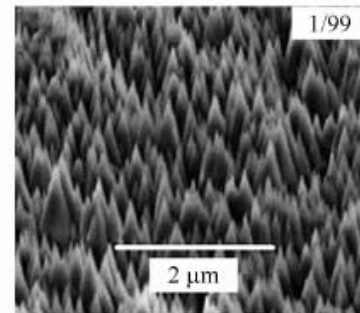
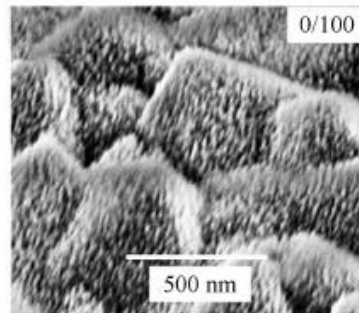
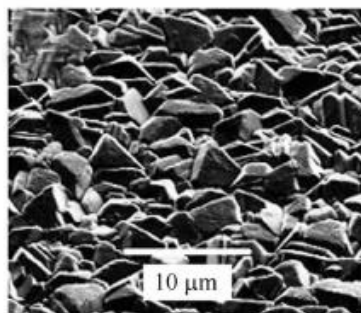
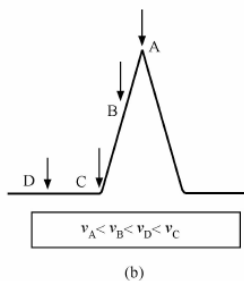
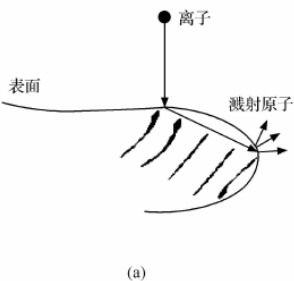
最大射频功率：
600W (RIE)
3000W (ICP)

控温范围：
60°C 至 -130 °C

包括典型工艺：
Bosch、低温、硅纳米、
 SiN 、 SiO 、 SiC 、
 STO 、 ITO 、 LiNbO_3 等

微加工实验室ICP-RIE系统 (C101E)

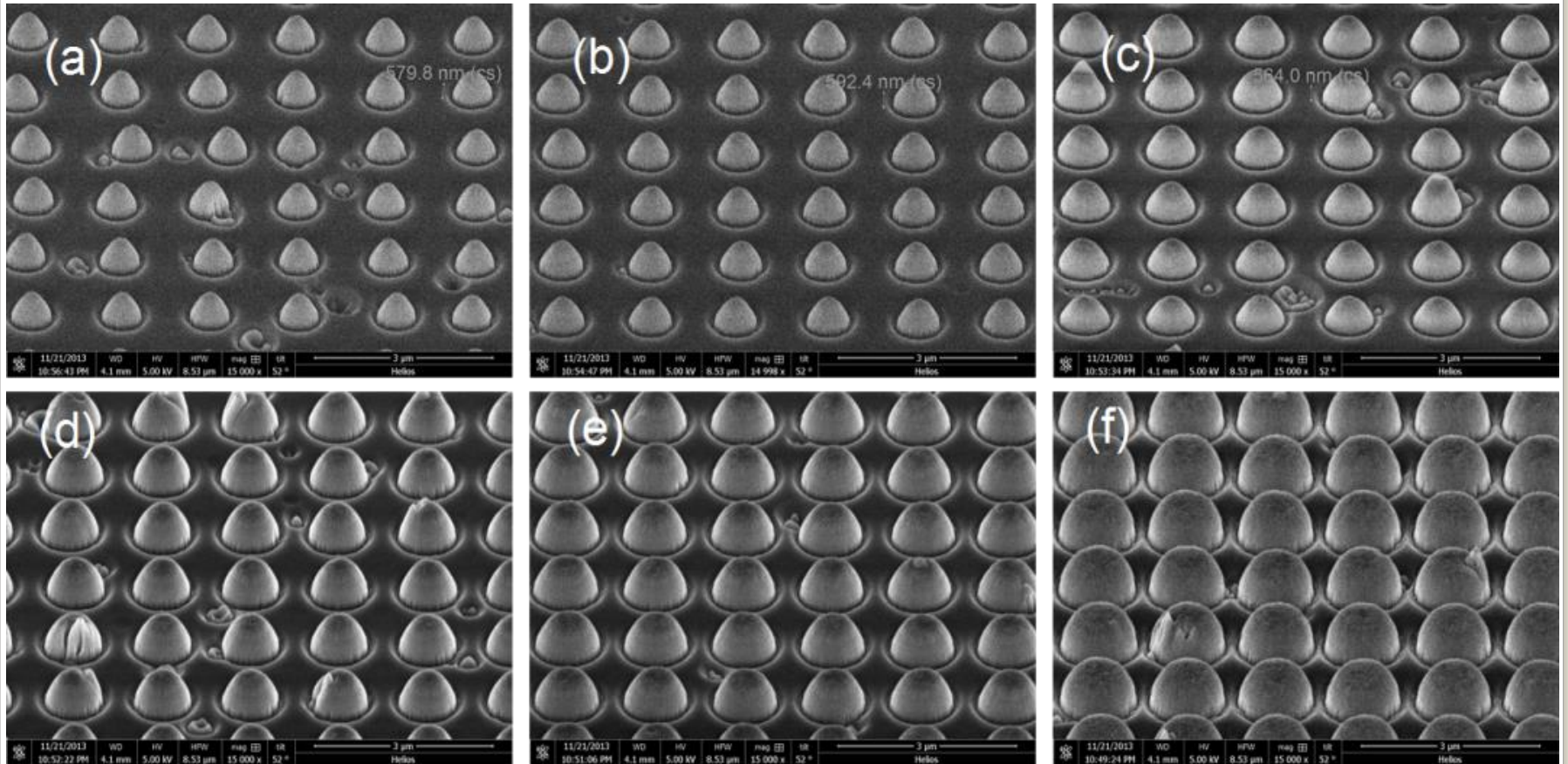
金刚石锥的无掩模刻蚀



(a) 未刻蚀的金刚石膜；(b) 纯氢刻蚀金刚石膜；
(c) $\text{CH}_4/\text{H}_2=1/99$ ；(d) $\text{CH}_4/\text{H}_2=2/98$ ；(e) $\text{CH}_4/\text{H}_2=5/95$

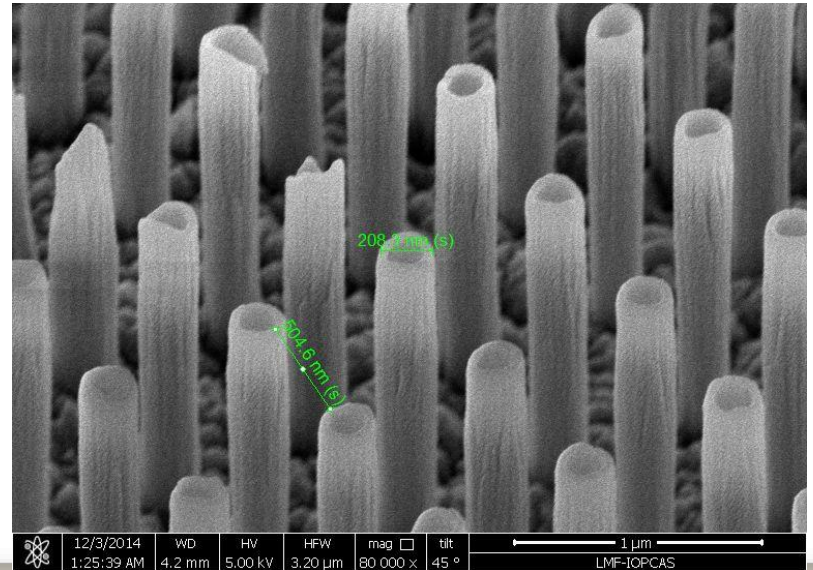
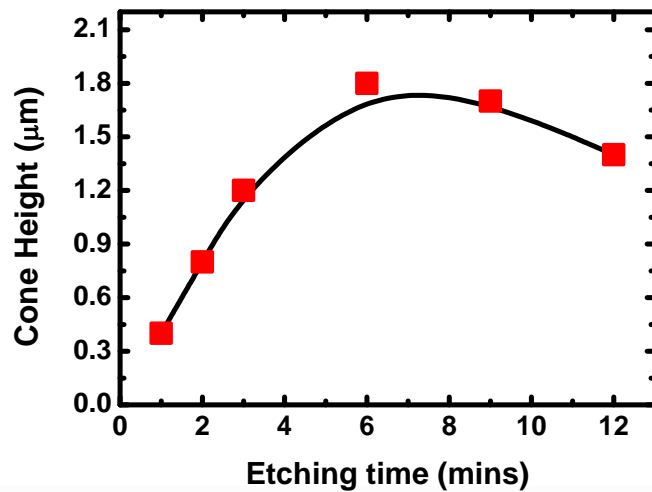
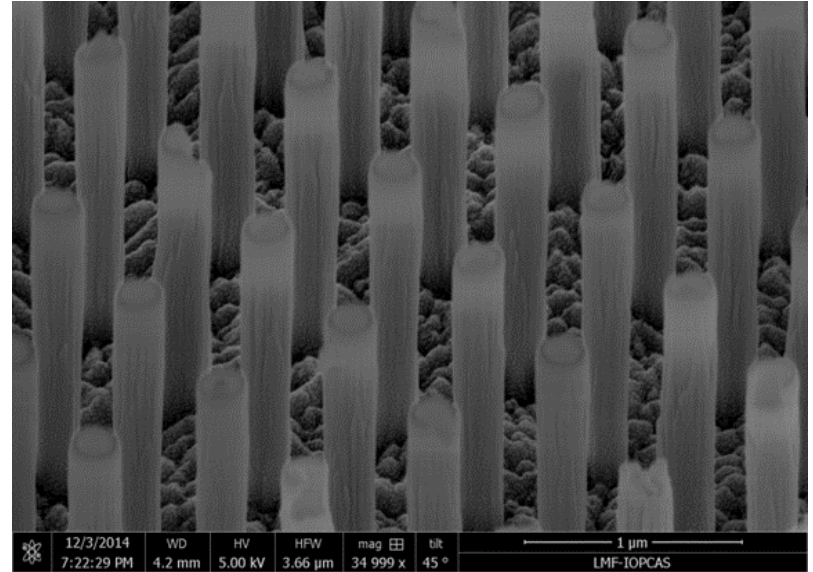
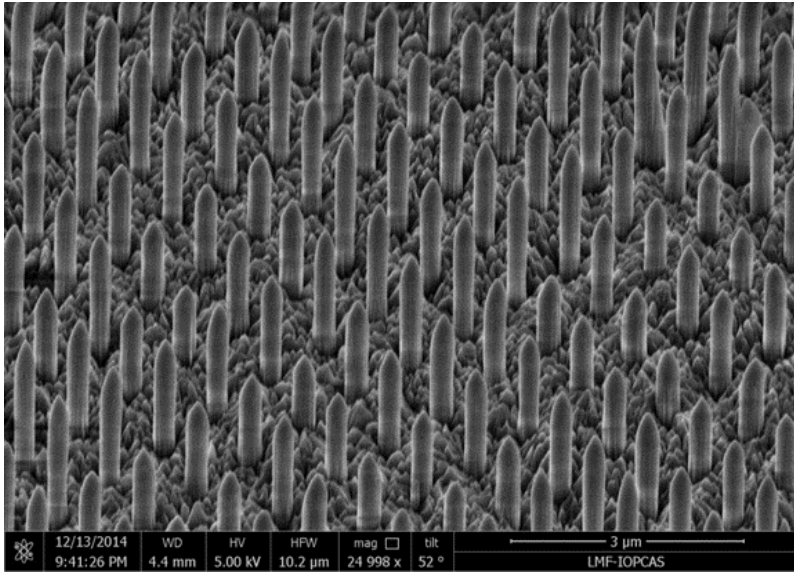
对于低能离子溅射来说，原子的出射位置往往并不是离子与固体表面的碰撞位置，离子与固体表面作用时需要经过一个顺流而下的级联碰撞过程，原子才从某个位置被溅射出来。对于平面位置、锥底、锥侧壁、锥尖四个位置的出射产额逐渐减小，所以离子对锥底与锥顶有选择性刻蚀效果，锥角越小即锥越尖锐，锥顶和锥底的出射产额差别越大，选择性刻蚀效果越明显。

三维半球形金刚石刻蚀

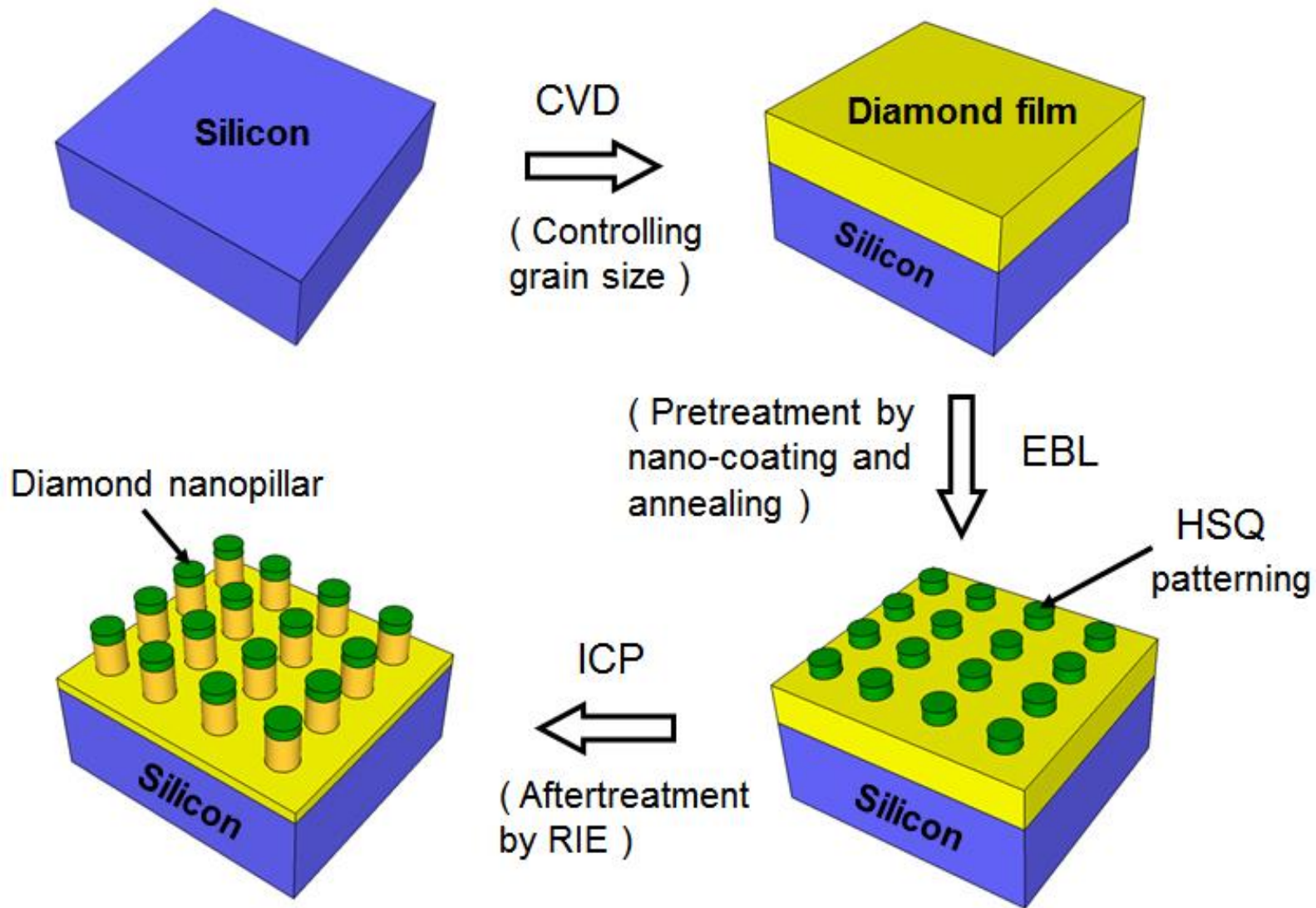


不同直径立体掩膜的刻蚀结果

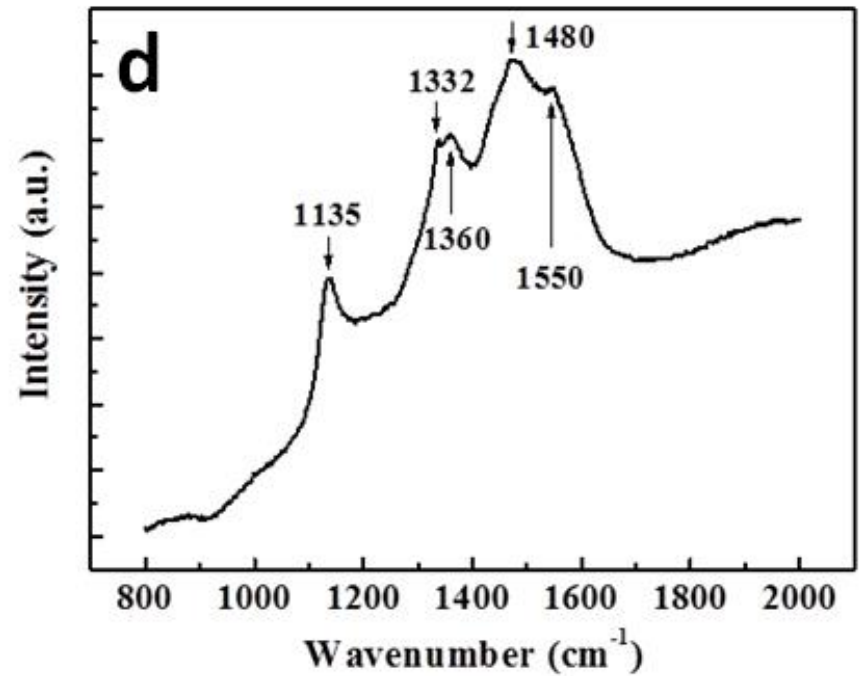
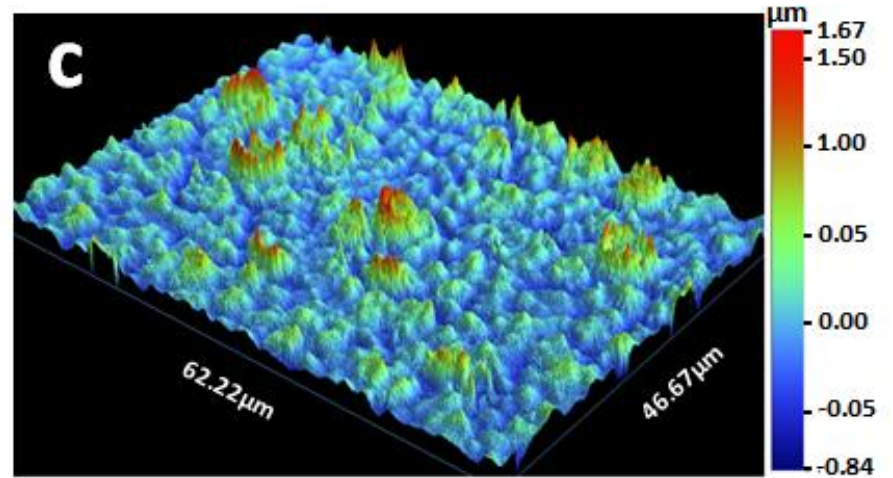
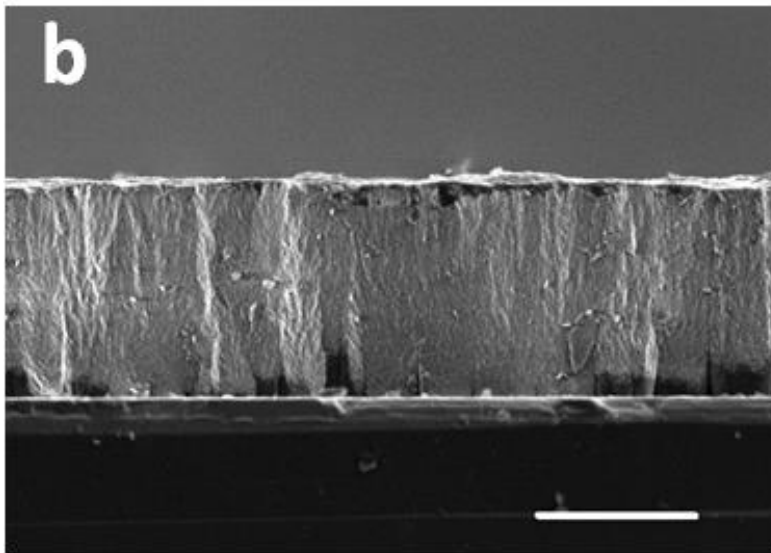
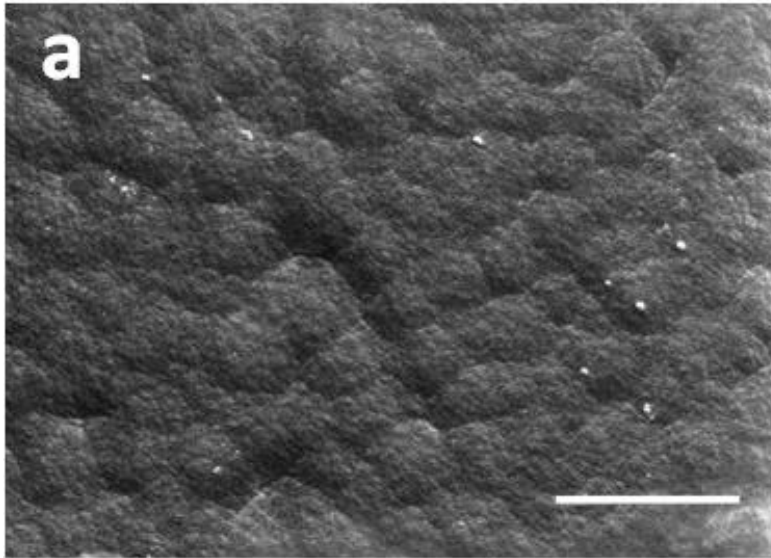
高长径比纳米金刚石柱刻蚀 (HSQ掩膜)



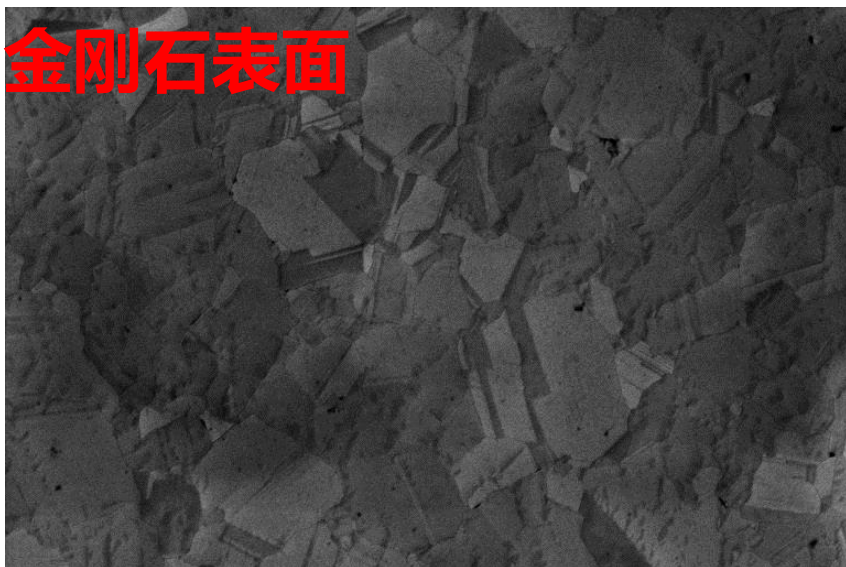
纳米金刚石柱制备工艺



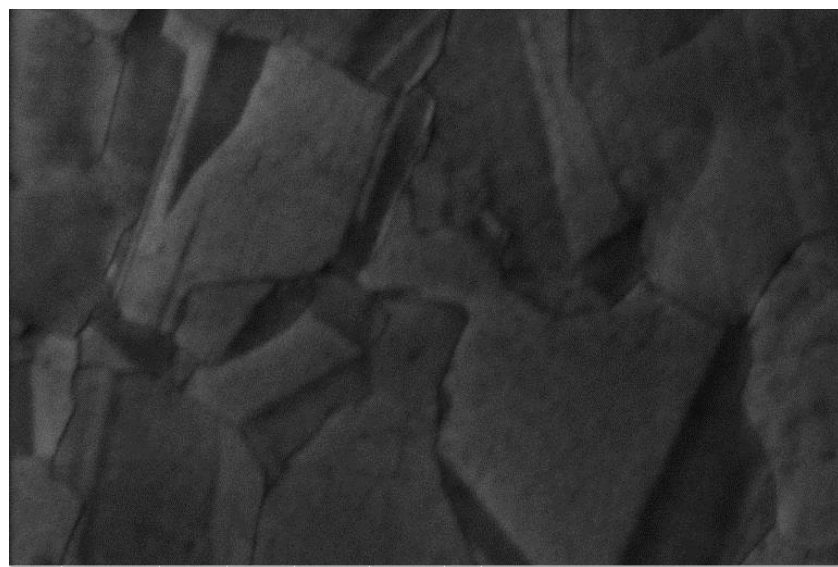
CVD生长的纳米金刚石膜



金刚石表面

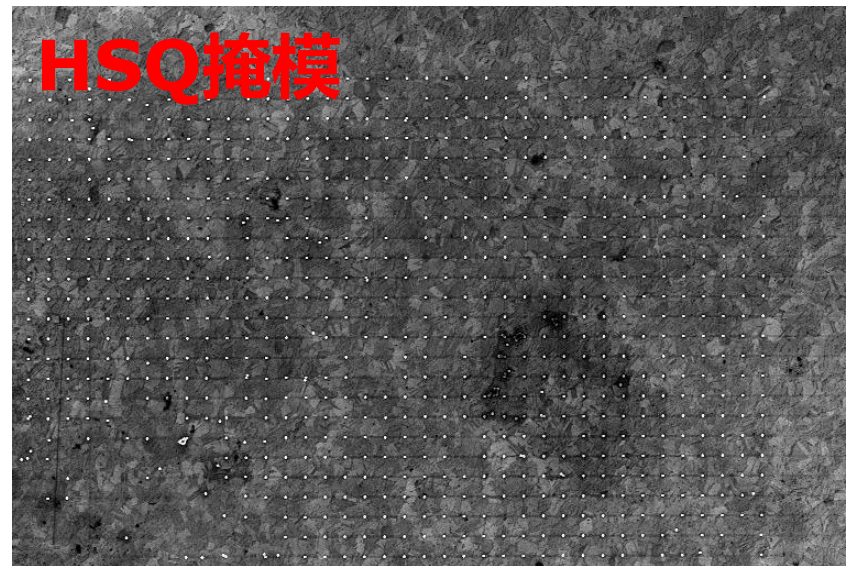


🌀	4/16/2015	WD	HV	HFW	mag	tilt	3 μm	LMF-IOPCAS
	8:09:33 PM	4.2 mm	5.00 kV	8.53 μm	15 010 x	0 °		

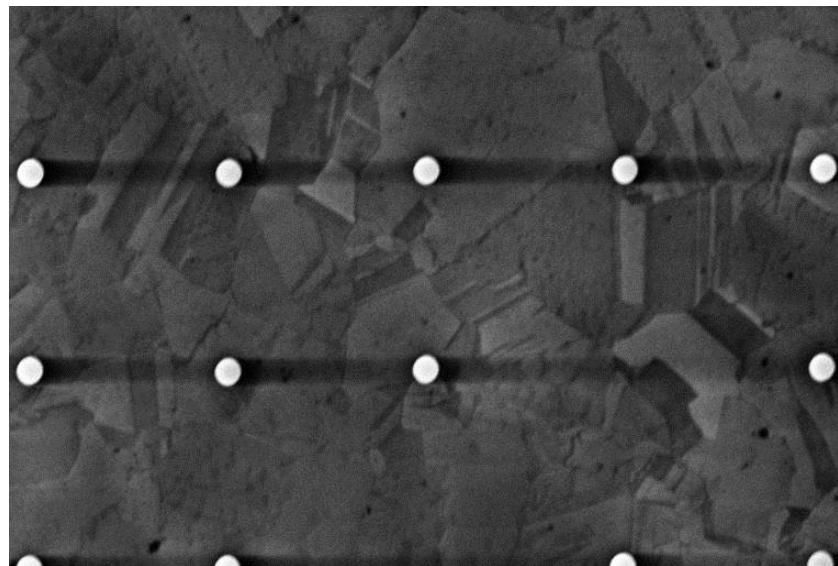


🌀	4/16/2015	WD	HV	HFW	mag	tilt	500 nm	LMF-IOPCAS
	8:10:02 PM	4.2 mm	5.00 kV	1.97 μm	64 994 x	0 °		

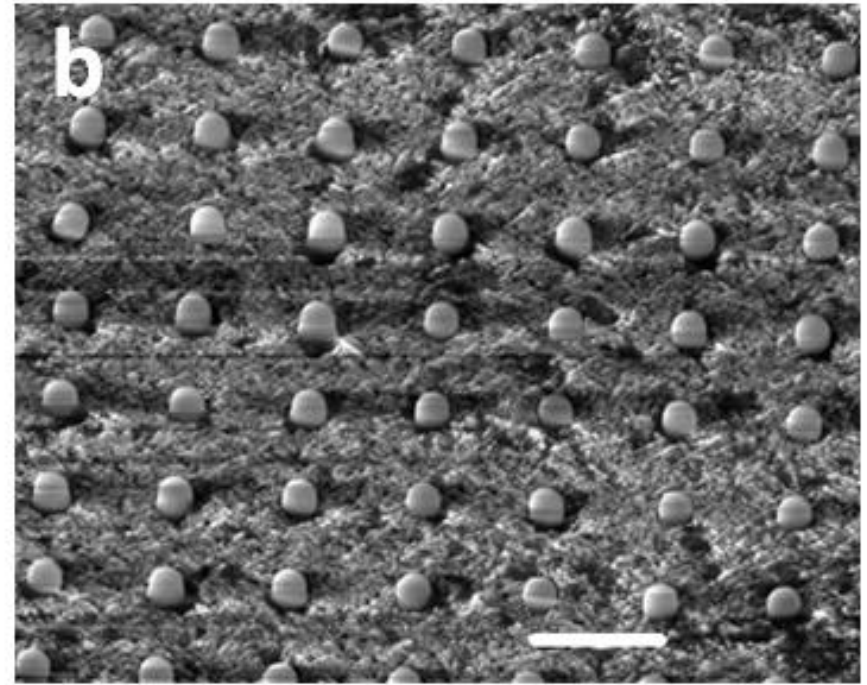
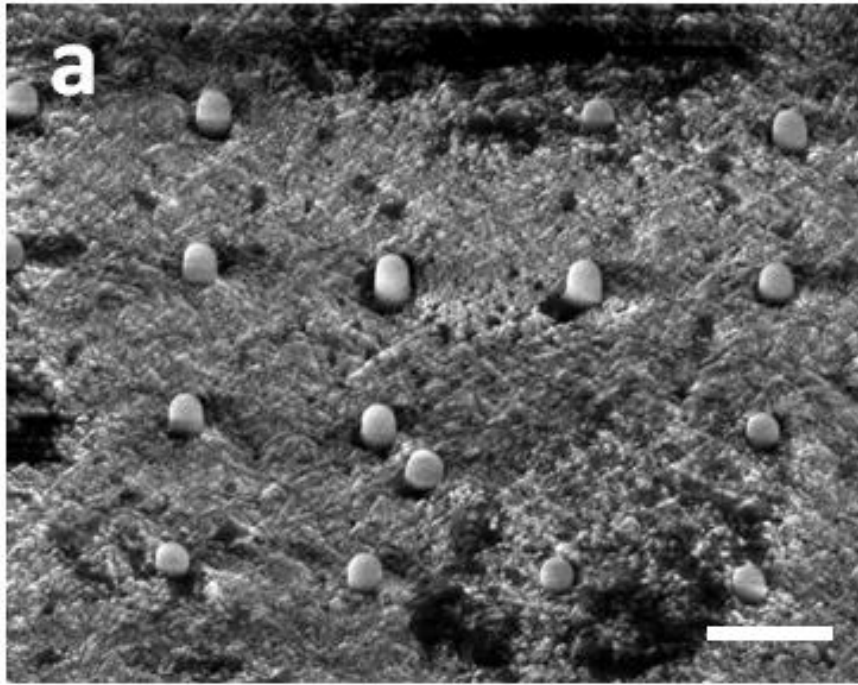
HSQ掩模



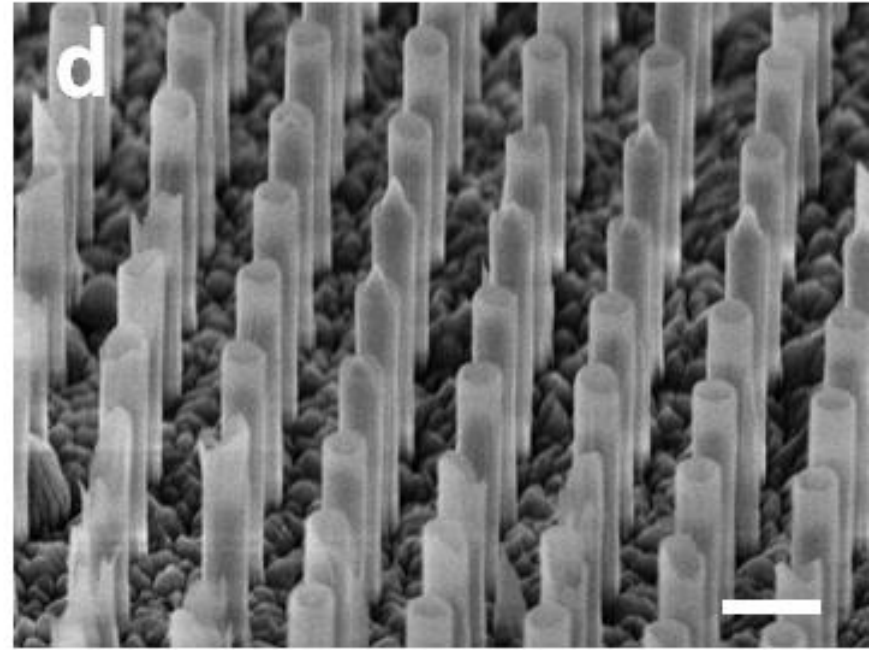
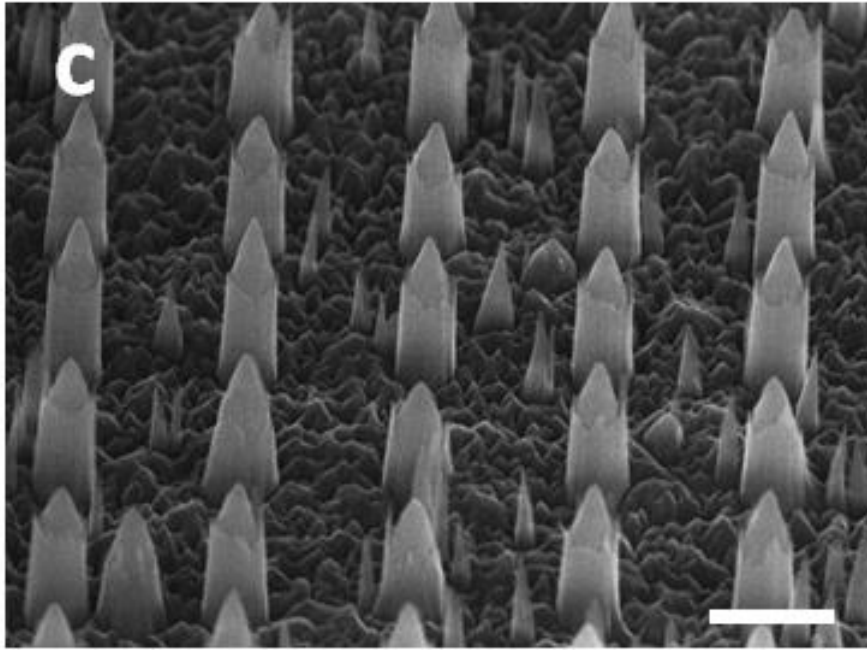
🌀	4/16/2015	WD	HV	HFW	mag	tilt	20 μm	LMF-IOPCAS
	8:08:09 PM	4.2 mm	5.00 kV	64.0 μm	2 000 x	0 °		



🌀	4/16/2015	WD	HV	HFW	mag	tilt	2 μm	LMF-IOPCAS
	8:08:52 PM	4.2 mm	5.00 kV	6.41 μm	19 970 x	0 °		

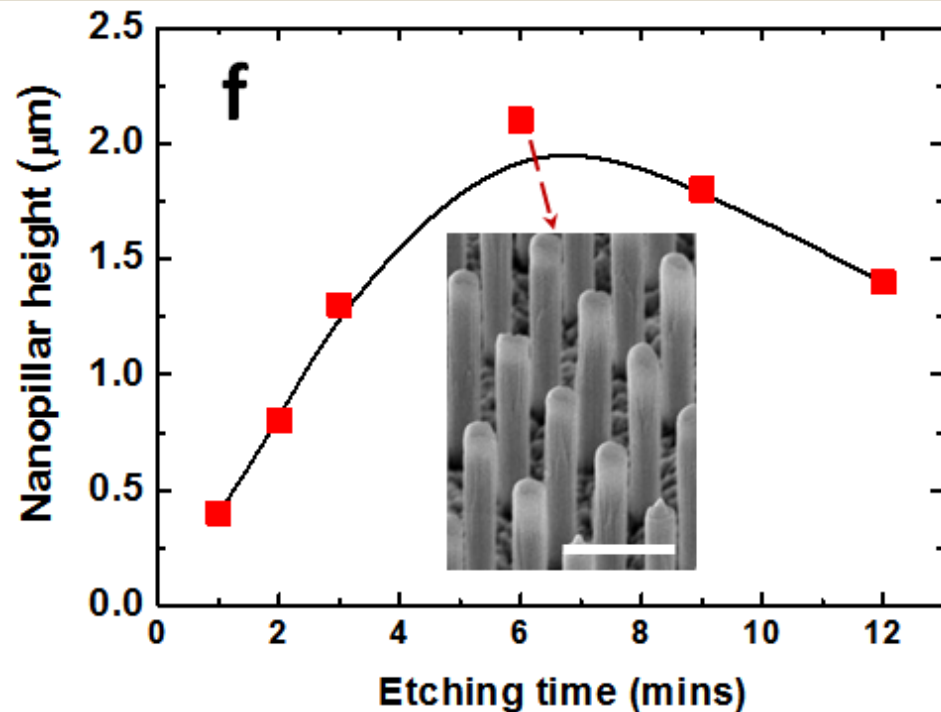
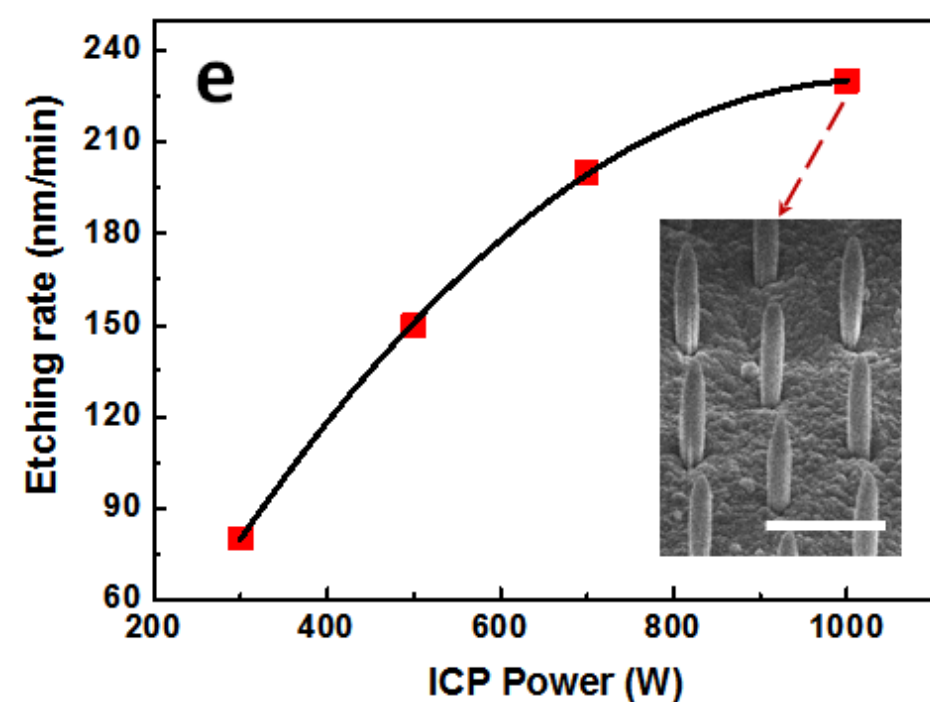


预处理：在金刚石薄膜旋涂HSQ之前，首先在金刚石薄膜沉积几个纳米厚的Ti膜，并作退火处理，可作为一个过渡层以增强HSQ掩模和金刚石膜之间的界面粘合。HSQ曝光显影效果对比：a图为未处理表面，b图为经预处理后的表面



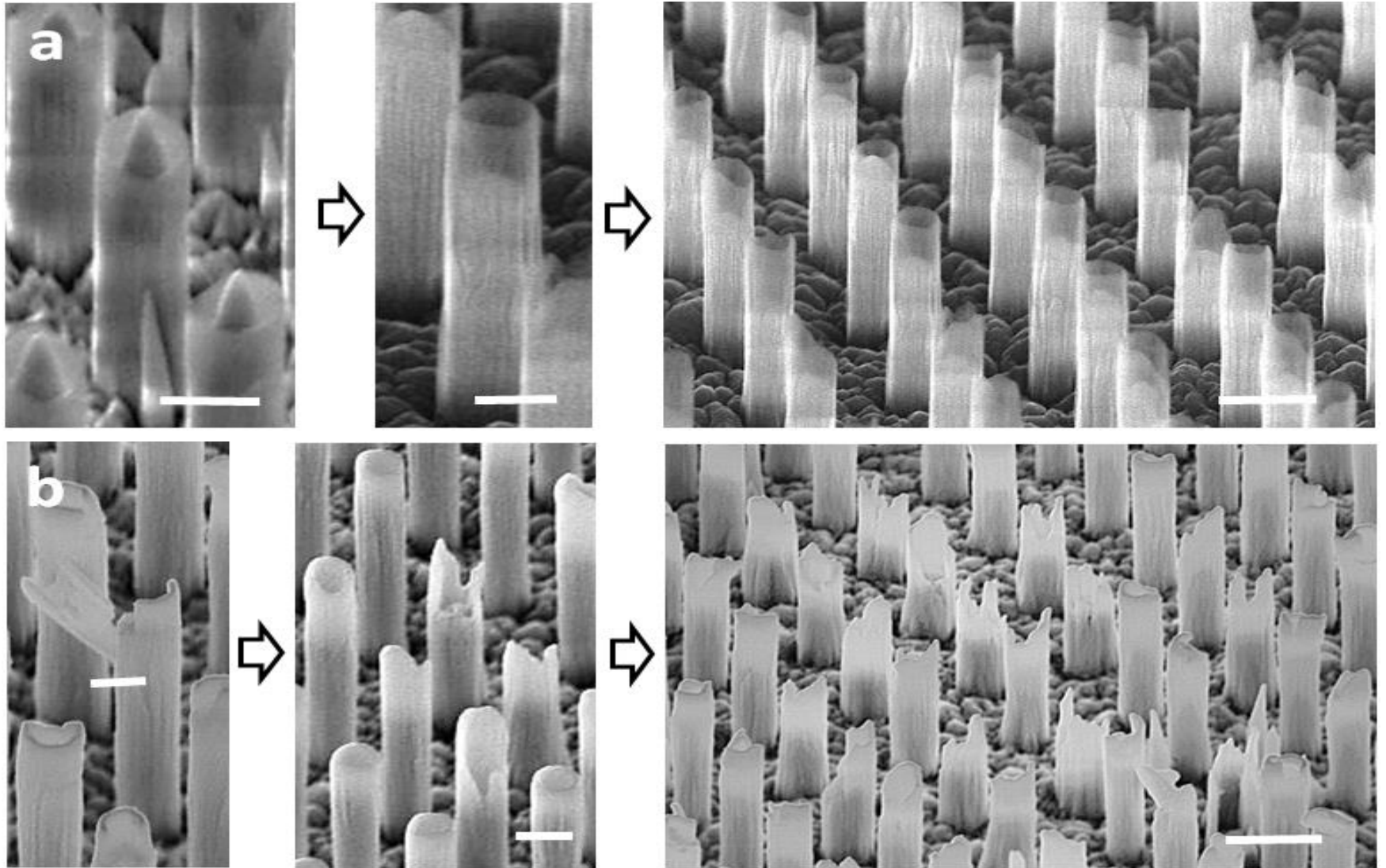
c) O_2+Ar (3:1) 与 d) 纯 O_2 刻蚀效果对比

氧气+氩气通常会有较好的刻蚀速度，但会导致金刚石纳米柱阵周围形成一些小锥体，刻蚀选择比也大幅度下降（1:9- \rightarrow 1:4）。此外，加入的氩气对纳米柱的顶部和侧壁形状也有不利影响。因此，在HSQ掩膜刻蚀中，纯氧气刻蚀是获得金刚石纳米柱的最佳方式。



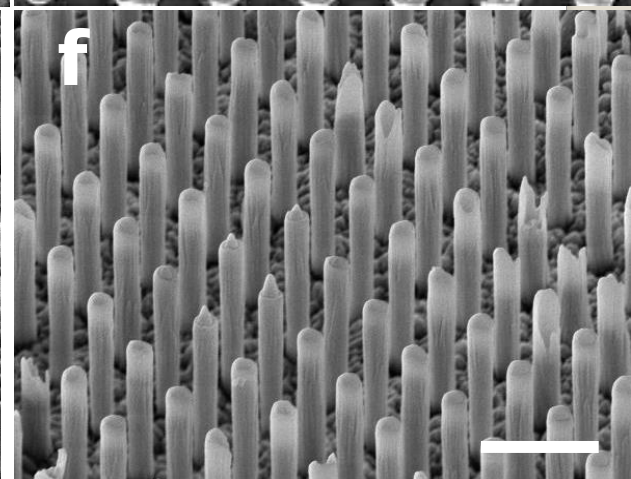
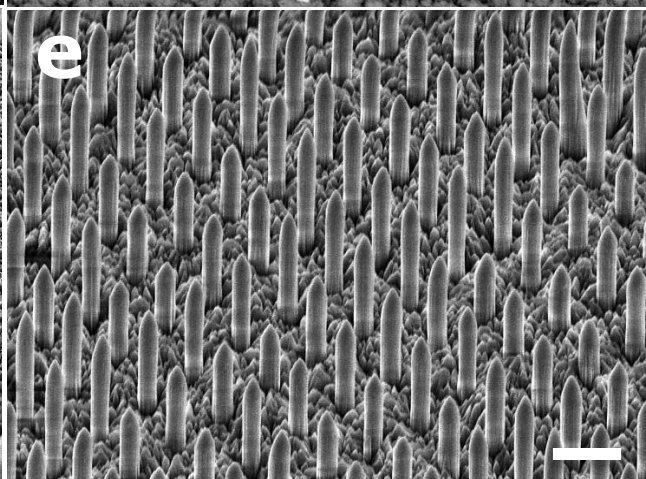
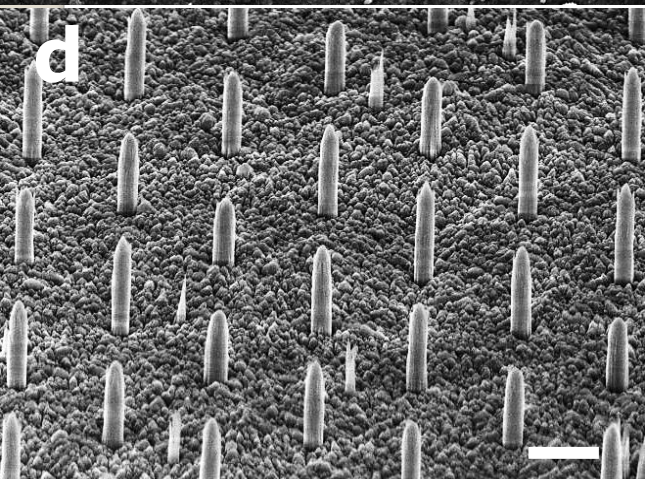
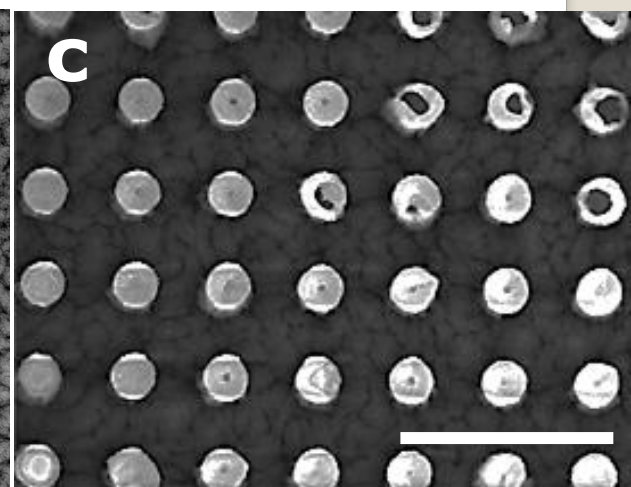
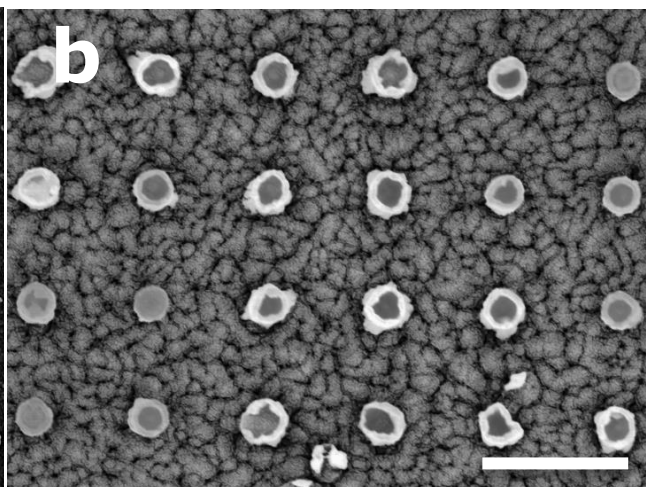
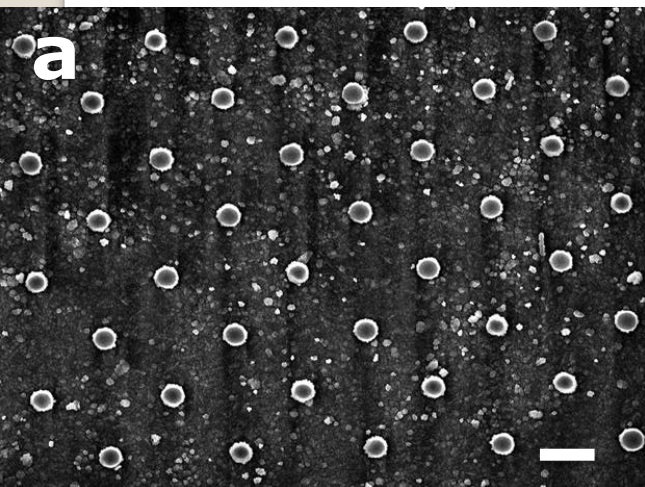
e) ICP功率与 d) 刻蚀时间 对刻蚀效果的影响

ICP功率增加可以大大提高蚀刻速度，但过高的ICP功率会增加横向刻蚀，导致柱顶部和底部的直径变小，形成纺锤形结构；刻蚀时间决定金刚石纳米柱能否获得最佳长径比：纳米柱的高度随着刻蚀时间增加而增大，当过度刻蚀导致掩模纳米图案损害甚至消失时，纳米柱的高度随着刻蚀时间增大降低，掩膜上微小的不均匀也将会放大并转移到刻蚀结构上。



过度刻蚀在纳米柱顶部会形成管状结构，随着进一步的刻蚀，纳米柱的顶部可被刻蚀掉时，甚至折断

不同周期的金刚石纳米柱



周期：2 μm

1 μm

500 μm

小结

- ◆ 可控制备高长径比的CVD金刚石纳米柱阵列方法
- ◆ 在优化条件下制备了不同的结构参数和阵列周期CVD金刚石纳米柱，其中，直径为200nm、高度大于2 μ m的金刚石纳米柱的长径比超过10:1，其最小的阵列周期500nm，可实现高密度阵列。
- ◆ 柱顶部的纳米管混合纳米结构可在合适刻蚀条件下可实现可控制备，有可能提供新的金刚石纳米结构类型。

附：ICP 180系统 常见刻蚀工艺种类

- ◆ 硅材料：(含M楼 ICP Cobra)
 - 低温/Bosch工艺：微米纳米结构/高选择比深刻蚀
 - 纳米工艺：纳米结构精细刻蚀
 - 无掩膜刻蚀：均匀硅锥结构（黑硅）的大面积刻蚀
- ◆ 硅基材料（ SiO_2 ， SiN ， SiC ）常规刻蚀
- ◆ III-V族材料：气体配置齐全，可灵活调控刻蚀效果
- ◆ 碳基材料（金刚石，石墨烯）刻蚀
- ◆ 金属氧化物（ LiNbO_3 ， STO ， ITO ， AlO_x ）刻蚀