



— 大连理工大学 微电子实验教学中心 —



集成电路CMOS器件制造流程 关键工艺虚拟仿真实验

申人升

2022年8月

提 纲

1 **实验目的**

2 **实验方法**

3 **实验原理**

4 **实验设备及材料**

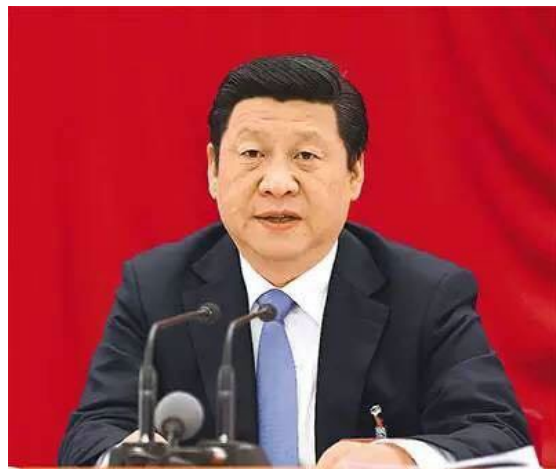
5 **实验过程及步骤**

6 **实验报告**

7 **思考题**

1.实验目的

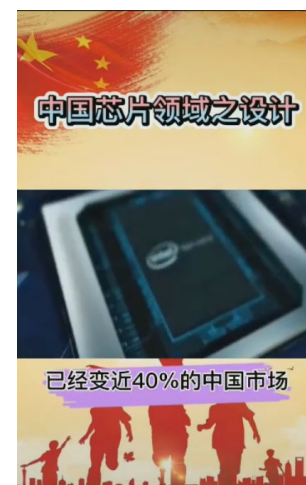
不忘初心，牢记使命，“芯”系国家，励志图强



习总书记强调，
要把**半导体芯片产业**作为**战略性新兴产业**，**抓住不放、实现跨越。**

集成电路是现代信息社会的基石，是国家“十四五规划”及2035远景目标中“人工智能、量子信息、集成电路、生命健康、脑科学、空天科技、深地深海”等前沿领域的重要支撑。

2017年初，央视财经频道播出的《感受中国制造》第五集《中国“芯”力量》介绍了中国在半导体设备和半导体原材料上取得的成绩和进步。其中，最引人瞩目的是中国企业在刻蚀机上取得的成绩——16nm刻蚀机实现商业化量产并在客户的生产线上运行，7-10nm刻蚀机设备可以与世界最前沿技术比肩。



1.实验目的

不忘初心，牢记使命，“芯”系国家，励志图强

选取集成电路产业中典型的CMOS器件结构，重点学习深亚微米CMOS制程中的关键工艺（薄膜沉积、光刻、离子注入、刻蚀）的原理及工艺操作。

1. 了解当前IC发展现状与趋势；
2. 学习IC器件的生产环境；
3. 了解CMOS器件关键工艺设备（薄膜沉积、光刻、刻蚀及离子注入）；
4. 掌握超净间入室准备操作；
5. 掌握典型CMOS器件基本结构及制造流程；
6. 掌握CMOS器件关键工艺的原理；
7. 熟练掌握光刻工艺过程，理解光刻胶与掩膜版的作用。
8. 运用关键工艺综合设计IC器件制造流程与工艺参数。

2.实验方法

1. 网络在线版: <http://dlut.rofall.net/virexp/login>



2. 单机客户端版: 在客户端直接点击图标即可进入

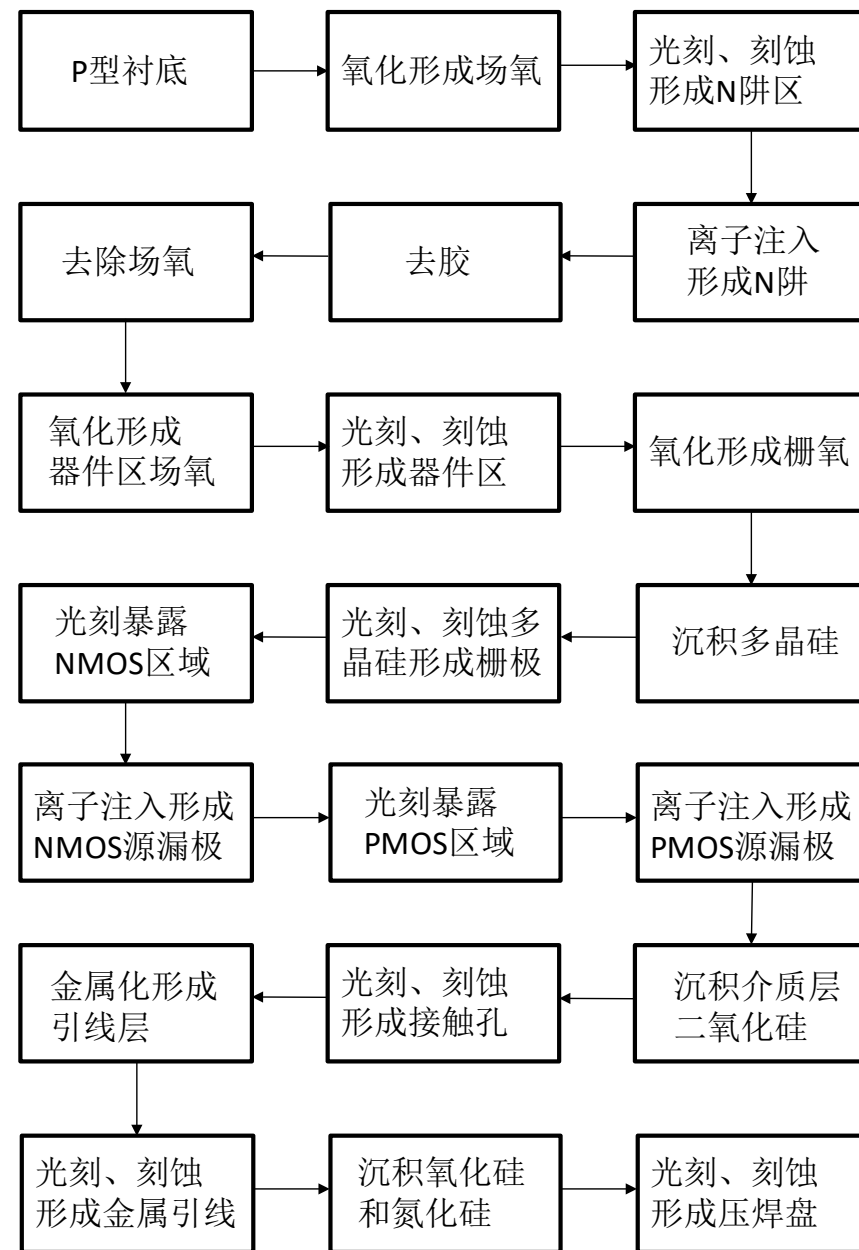
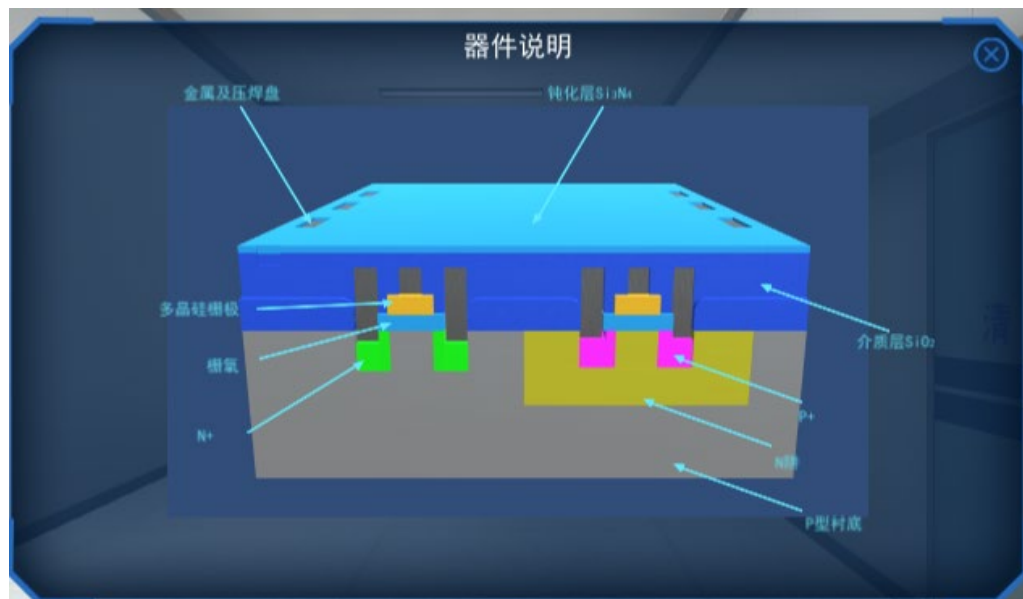


3. VR体验版: 在客户端直接点击图标即可进入



3.实验原理

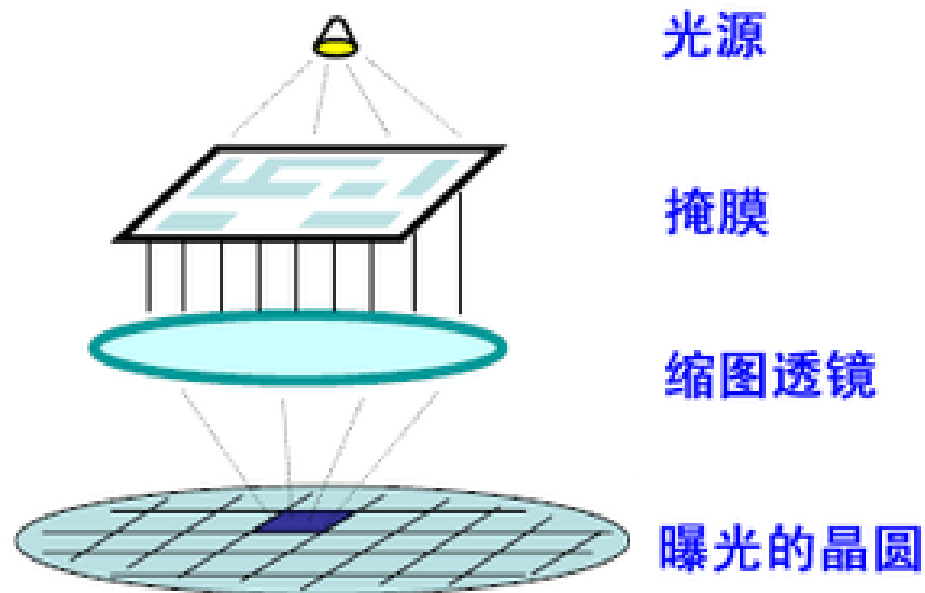
集成电路CMOS器件基本结构及工艺流程



3.实验原理

光刻工艺原理

该项工艺利用曝光和显影在光刻胶层上留下几何图形结构，然后通过刻蚀工艺将掩模板的图形转移到所在衬底上。

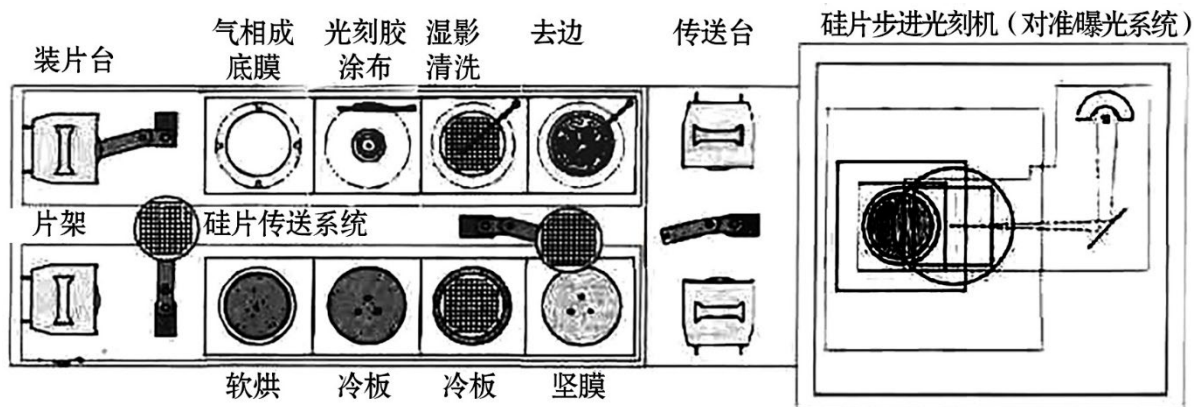


3.实验原理

工业皇冠上的明珠，是芯片制造产业链中最关键的设备。

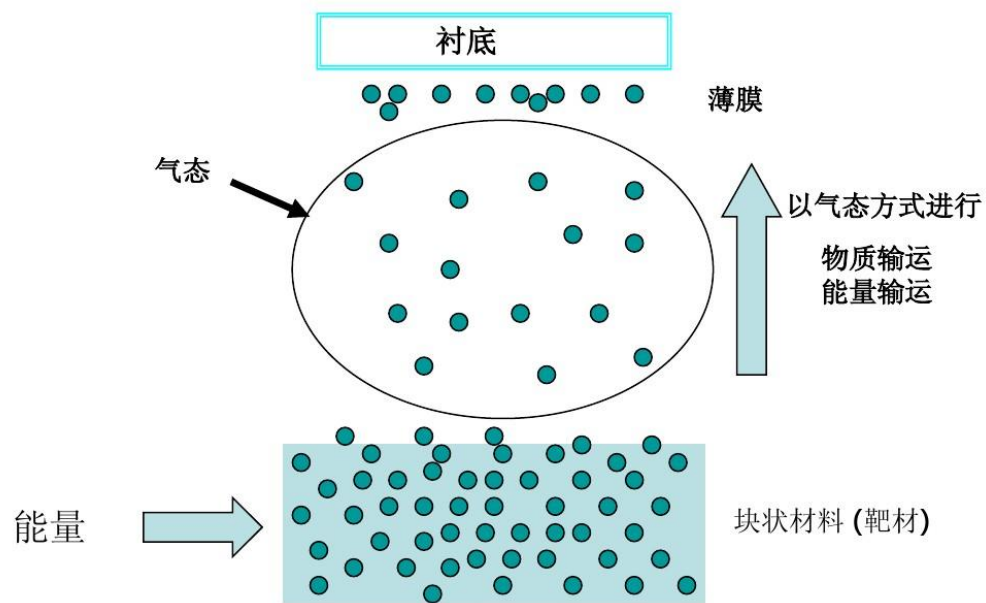
光刻机

一台高端的EUV光刻机光零件就多达10万个,全球超过5000家供应商,是通过全球的技术集成做出来的,它是一个全球高端技术的结晶。

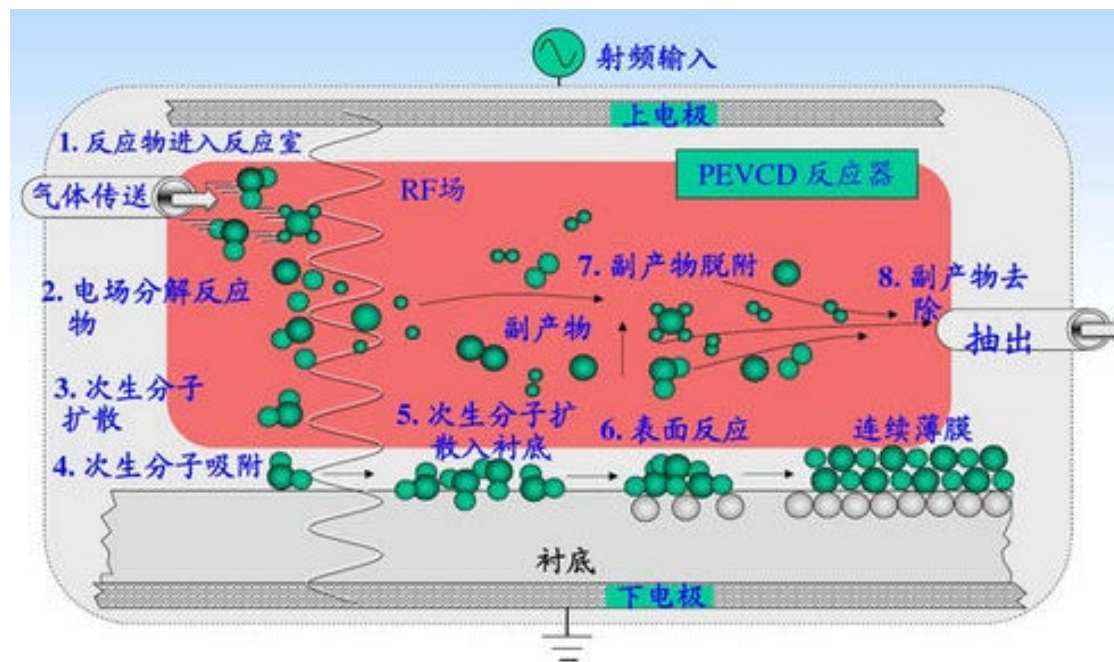


3.实验原理

薄膜沉积工艺原理



物理气相沉积 (PVD) 原理示意图



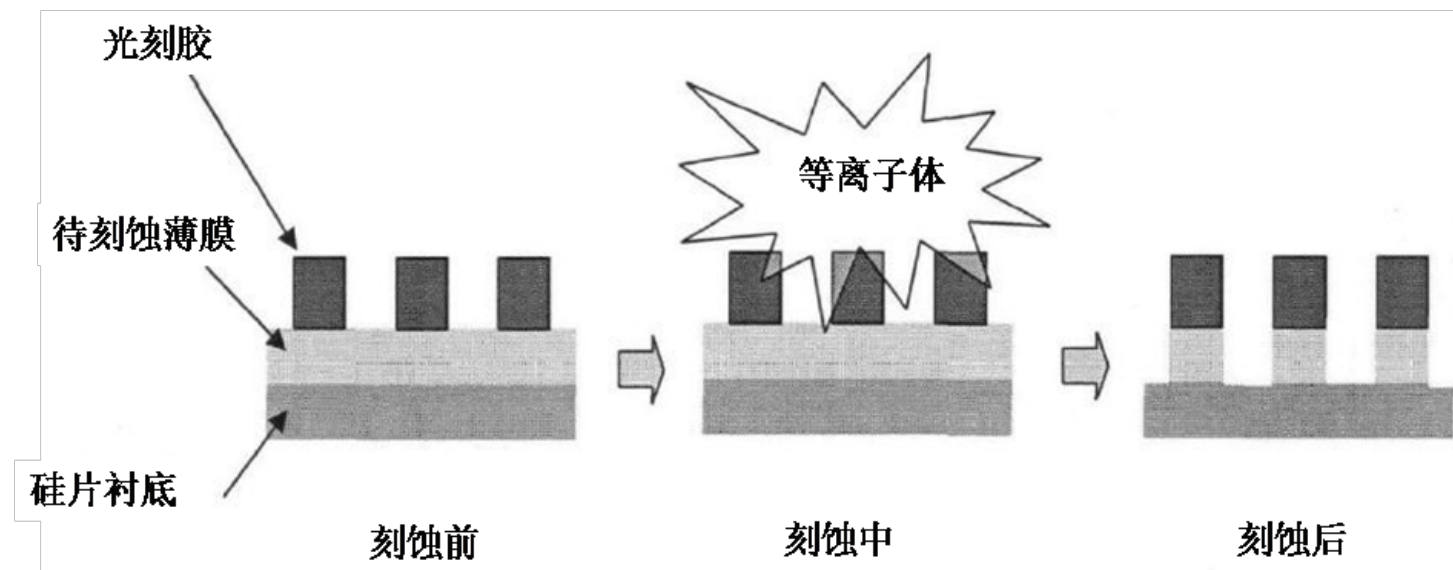
化学气相沉积 (CVD) 工艺原理示意图

3.实验原理

刻蚀工艺原理



国内芯片制造与国际先进水平差距：**大约三代、5~10年**

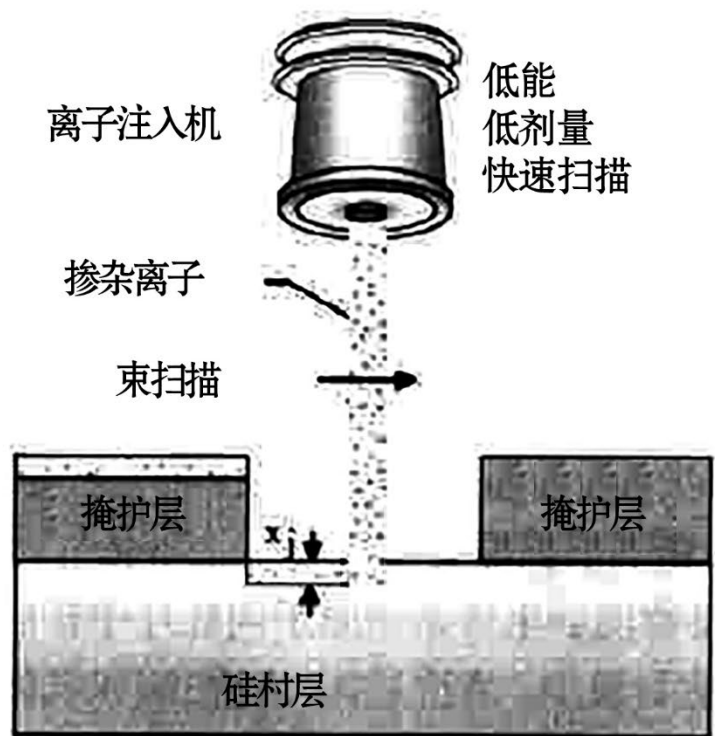


中微公司已是全球半导体刻蚀设备5大供应商之一，截至2020年年底已申请1755项专利。其12英寸高端刻蚀设备已用于迄今最先进的5nm生产线上；其3nm刻蚀机Alpha原型机的设计、制造、测试及初步的工艺开发和评估也已完成。

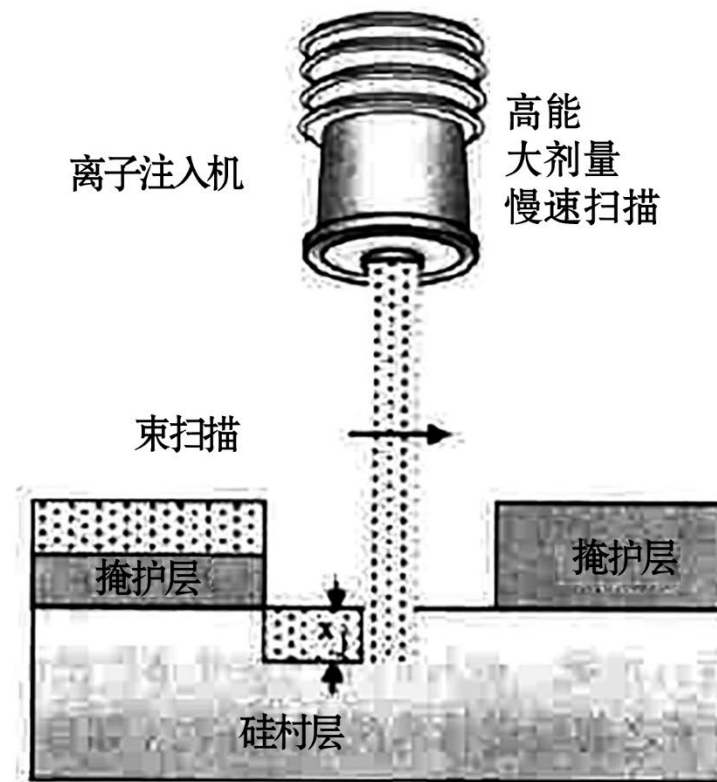
**胸怀祖国、服务人民的爱国精神；
勇攀高峰、敢为人先的创新精神；
追求真理、严谨治学的求实精神；
淡泊名利、潜心研究的奉献精神；
集智攻关、团结协作的协同精神；
甘为人梯、奖掖后学的育人精神。**

3.实验原理

离子注入工艺原理



(a) 低掺杂浓度 (n^- , p^-)
和浅结深 (x_j)



(b) 高掺杂浓度 (n^+ , p^+)
和深结深 (x_j)

4. 实验设备及材料

4.1 实验设备



超净间



风淋间



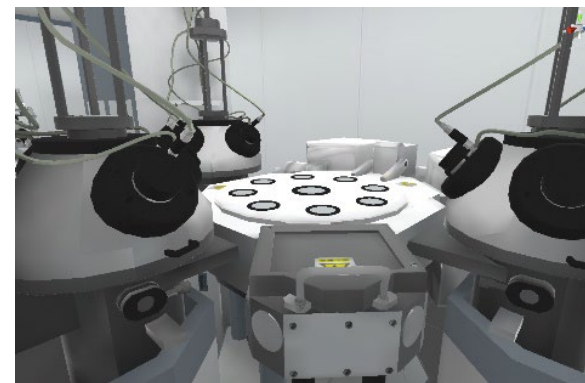
光刻机



刻蚀机



离子注入设备



薄膜沉积设备

4. 实验设备及材料

4.2 实验关键工艺设备



光刻机



刻蚀机



离子注入设备



薄膜沉积设备

4. 实验设备及材料

4.3 实验材料

序号	虚拟实验材料名称	用途
1	P(100)型单晶硅	器件制造工艺衬底
2	光刻胶 (I-Line光刻胶, KrF光刻胶, ArF光刻胶)	实现掩膜版图形曝光后转移
3	H ₂ 、O ₂ 、N ₂ 、He、Cl ₂ 、CF ₄ 、Cl ₂ 、HBr, BCl ₃ 、SiH ₄ 、N ₂ O、SF ₆ 、C ₄ F ₈ 、Ar、NH ₃	反应气体, 等离子体刻蚀气体和反应输运气体
4	氢氟酸	腐蚀二氧化硅SiO ₂
5	金属铝	形成金属铝电极
6	硼、磷、砷	用于掺杂形成P-、P+、N-、N+

4. 实验设备及材料

4.4 实验设备预设参数

涂胶参数设置
(以正胶为例)

光刻胶分类:

种类:

光刻胶量: CC

转速: RPM

时间: s

序号	工艺设备	工艺名称	预设参数
1	风淋间	入室规范	360度旋转、保持5 s。
2	清洗机	清洗	I号+II清洗液+BHF
3	热氧化炉	氧化	O ₂ 流量: 0-30 sccI H ₂ 流量: 0-30 sccI, N ₂ 流量: 0-30 sccI 温度: 700-1100 °C, 时间: 2~8 h
4	光刻机	光刻	匀胶 转速: 1000-5000 时间: 30 s-60 s, 光刻胶量: 1.5 cc-5 cc 种类: I-Line光刻胶, KrF光刻胶, ArF光刻胶
			曝光 曝光剂量: 10 mJ-1000 mJ, 时间: 30 ms-2000 ms
			显影 显影液: TMAH 2.38% 时间: 40 s-150 s
			前烘 温度: 70 °C 时间: 10 min
			后烘 温度: 70 °C 时间: 10 min
5	离子注入机	离子注入	能量: 0-250 KeV 注入物质: B/P/As 剂量: 1E10-1E17 /cm ² 注入时间: 60 s
6	刻蚀机	刻蚀	光刻胶 气压: 0.8-1.2 T, 功率: 800-1200 W 气体: O ₂ , N ₂ , H ₂ , 流量: 3-5000 sccm, 时间: 10 s-600 s
			二氧化硅 气压: 3 mT-80 mT, 电压: 30 V-600 V 气体: CF ₄ , Cl ₂ , He, 流量: 3-200 sccm, 时间: 10 s-600 s
			氮化硅 气压: 3 mT - 120 mT, 电压: 0 V-200 V, 气体: SF ₆ 流量: 10-2000 sccm, 时间: 1.2 s-20 s
			多晶硅 气压: 3 mT-60 mT, 电压: 30 V-160 V; 时间: 10 s-90 s 气体: CF ₄ , Cl ₂ , O ₂ , HBr, He, 流量: 10-150 sccm
			金属铝 气压: 3 mT-12 mT, 电压: 30 V-200 V 气体: Cl ₂ , BCl ₃ , N ₂ , 流量: 10-200 sccm, 时间: 10 s~600 s
7	LPCVD & SPUTTER	薄膜沉积	多晶硅 压力: 275 torr 流量: 20 sccm 温度: 800 °C 时间: 230 s
			二氧化硅 压力: 2-3 Torr 气体: SiH ₄ , N ₂ O 功率: 120-300 W 时间: 20-200 s
			氮化硅 压力: 2-6 Torr 功率: 500-700 W; 时间: 10-100 s 气体: SiH ₄ 、NH ₃ 、N ₂ ; 流量: 50-300 sccm
			金属铝 功率: 200-10000 W 压力: 1-20 mTorr; 气体: Ar 时间: 10 s-60 s

5. 实验过程及步骤

步骤1 准备工作



步骤2 超净间入室规范

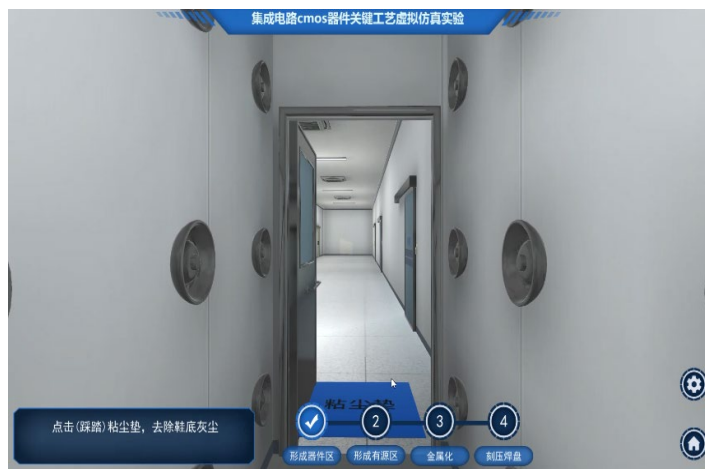


5. 实验过程及步骤

步骤3 进入超净间

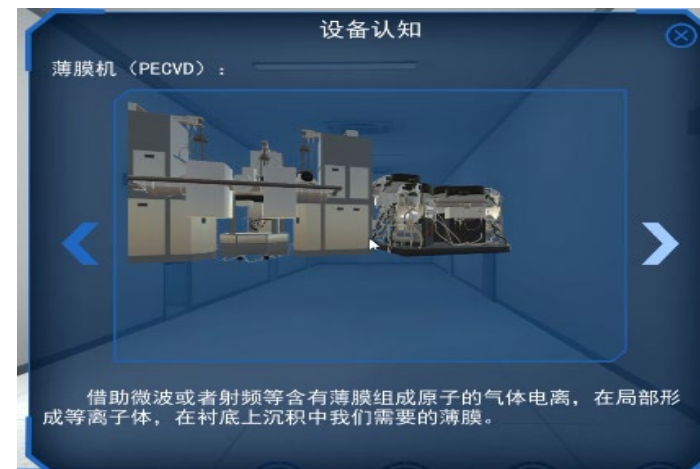
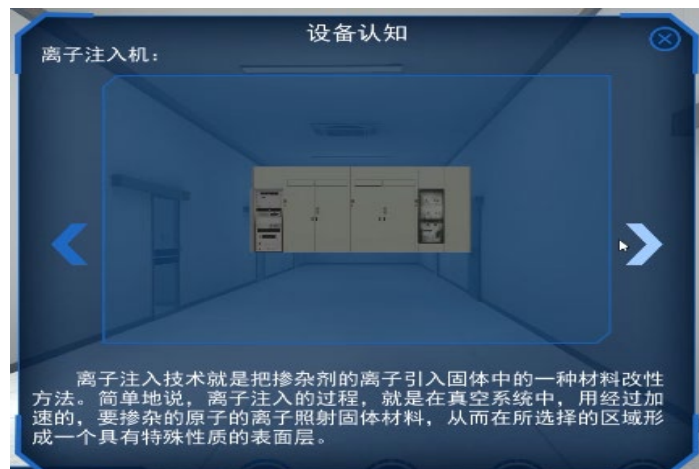


步骤4 粘尘垫二次除尘

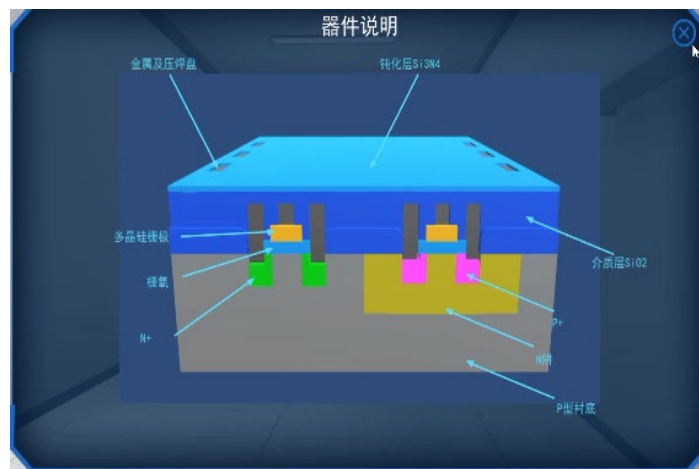


5. 实验过程及步骤

步骤5 设备认知



步骤6 器件结构说明

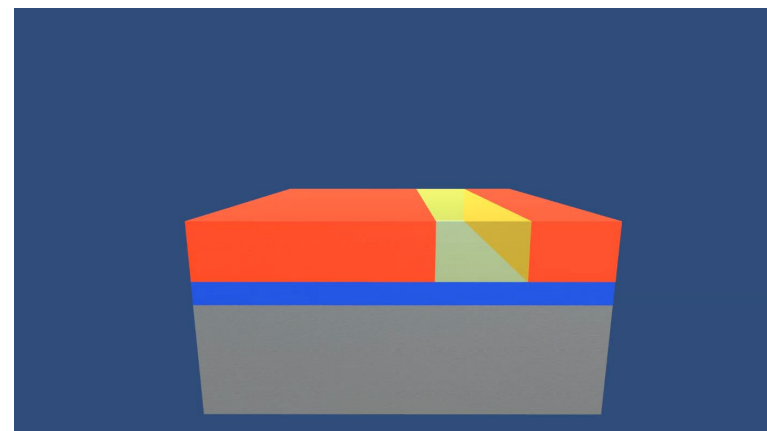
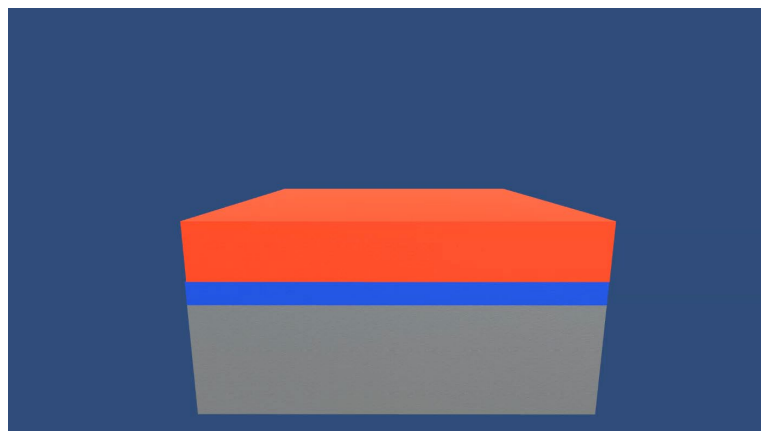


5. 实验过程及步骤

步骤7 清洗和场氧氧化

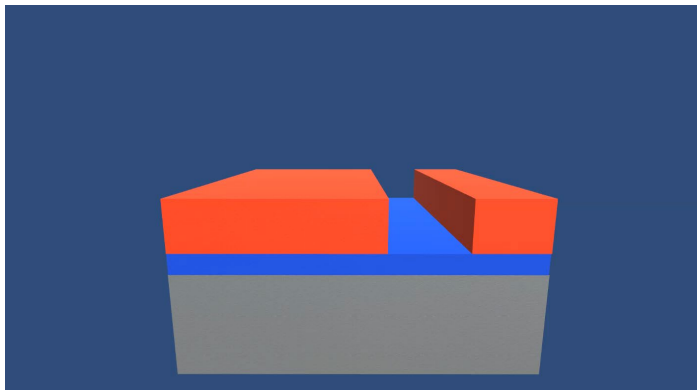


步骤8 一次光刻

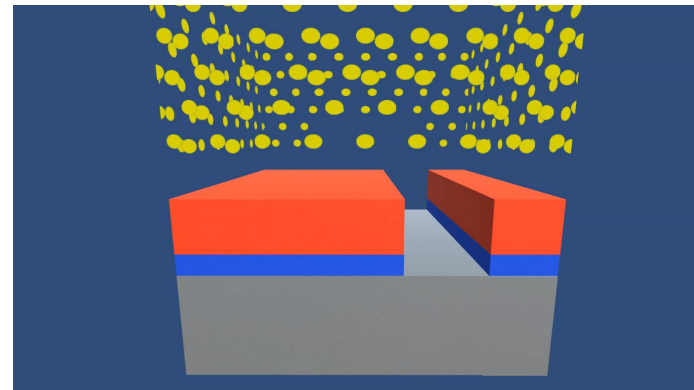


5. 实验过程及步骤

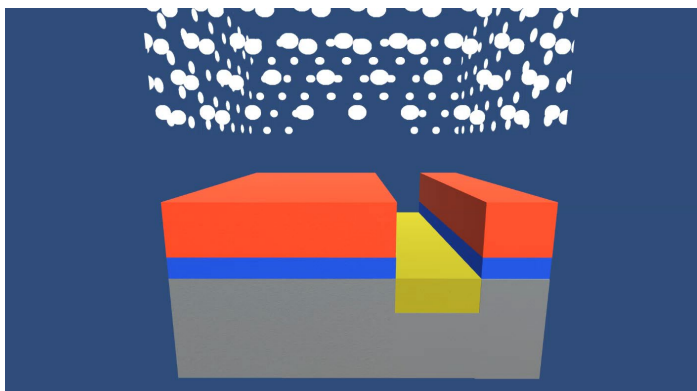
步骤9 二氧化硅的刻蚀



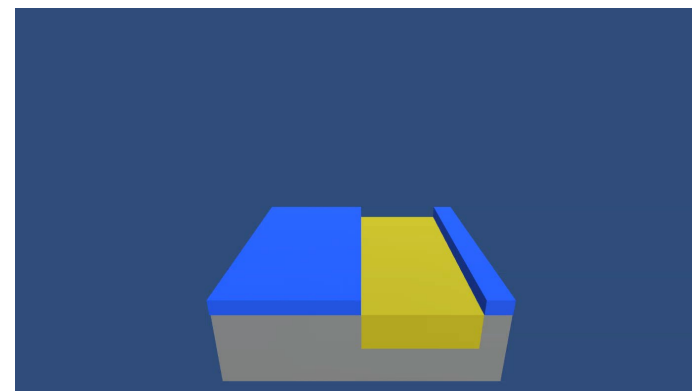
步骤10 形成N阱



步骤11 去胶

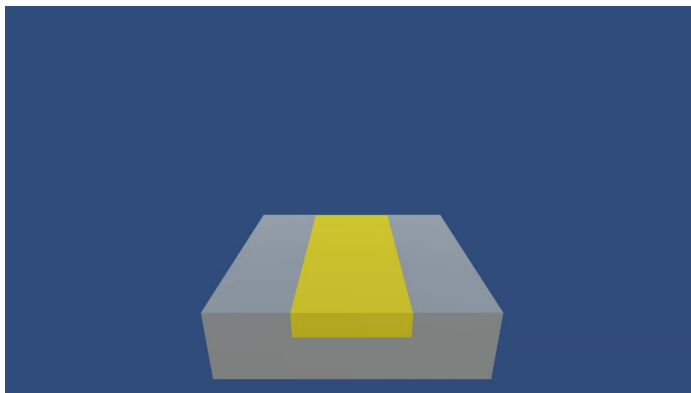


步骤12 去除二氧化硅

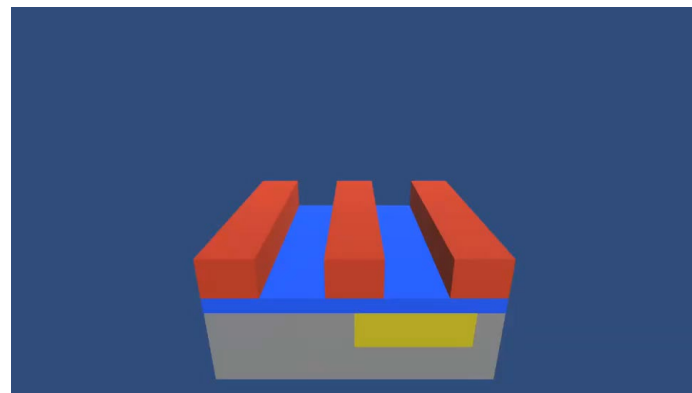
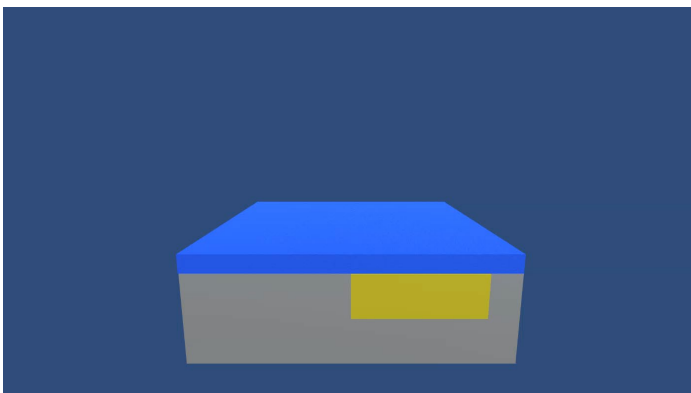


5. 实验过程及步骤

步骤13 氧化（再次氧化沉积）

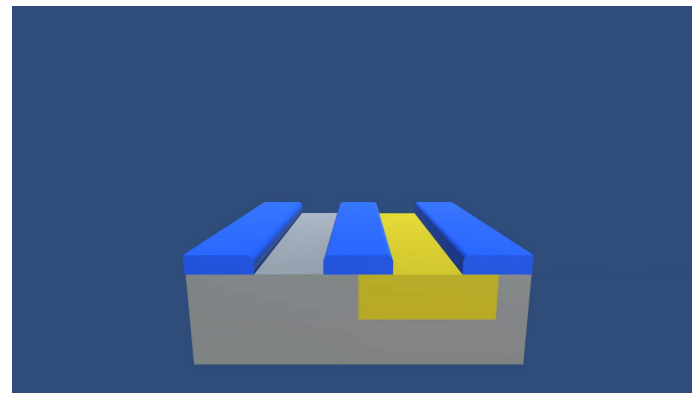
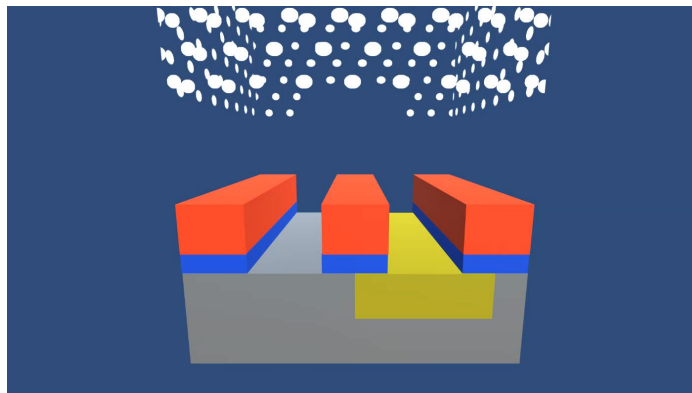


步骤14 二次光刻+刻蚀二氧化硅

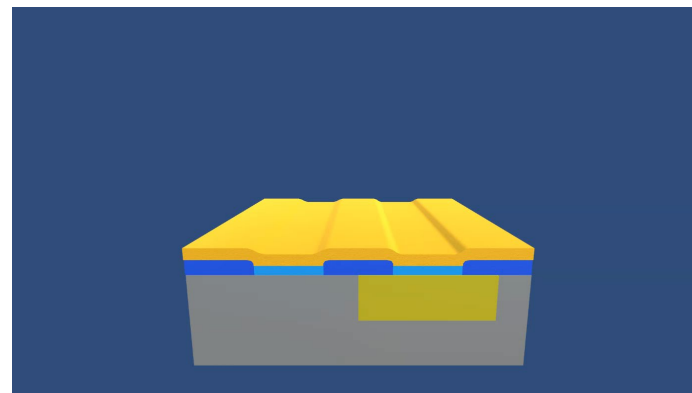
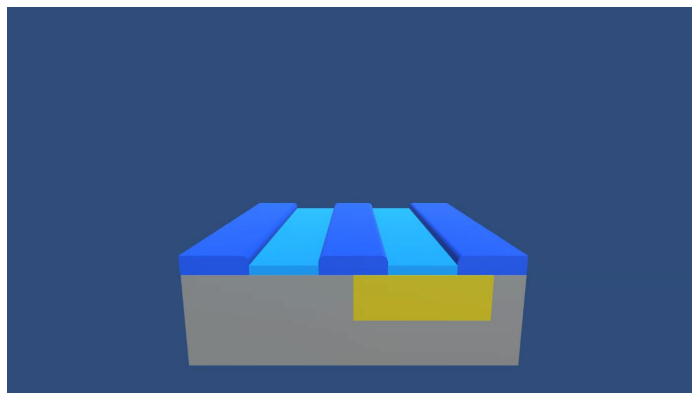


5. 实验过程及步骤

步骤15 去胶+栅氧氧化

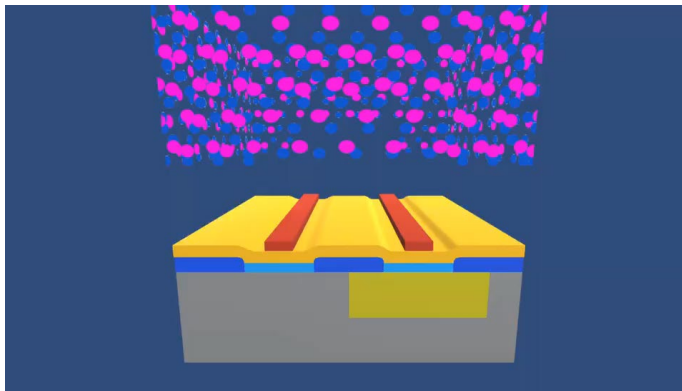


步骤16 沉积多晶硅+三次光刻

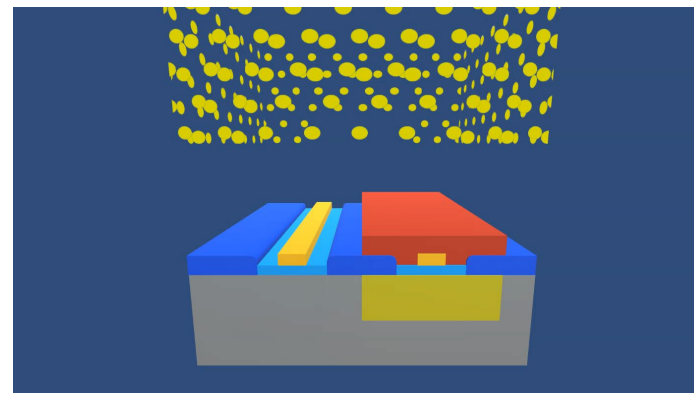
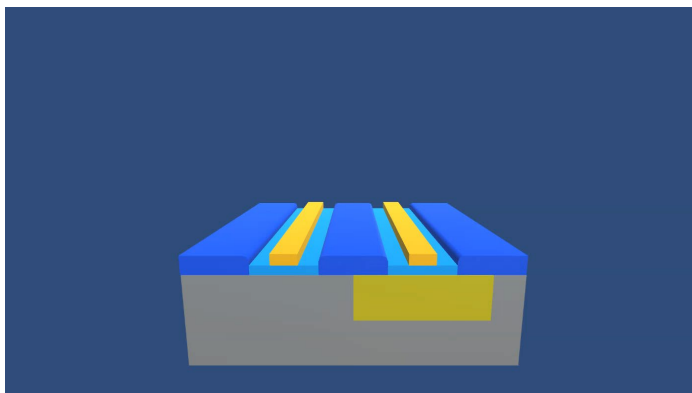
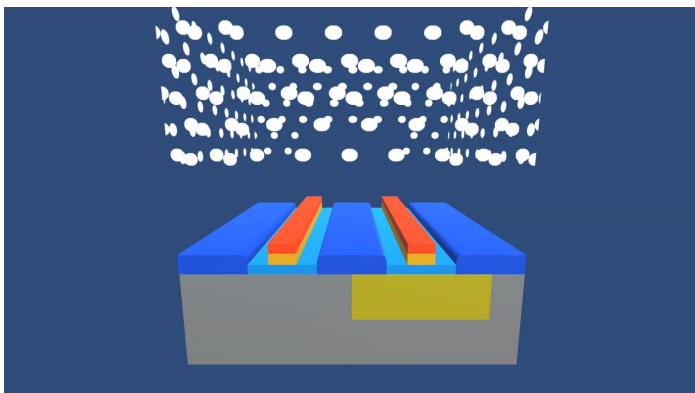


5. 实验过程及步骤

步骤17 刻蚀多晶硅

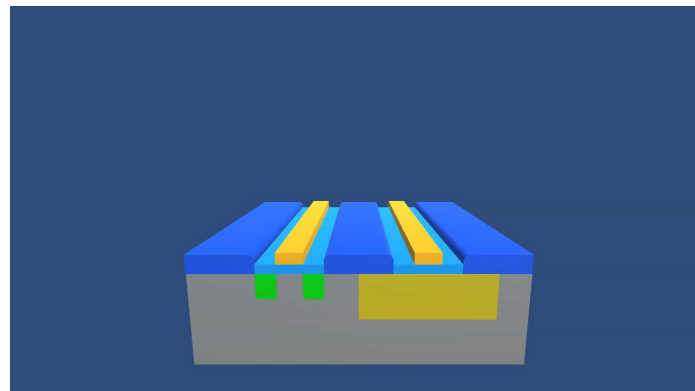
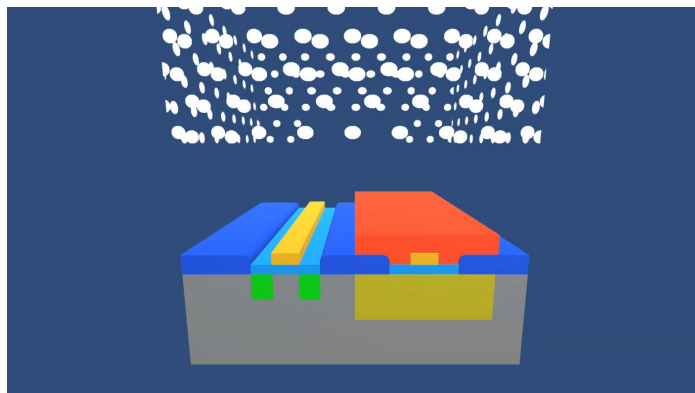


步骤18 四次光刻+离子注入

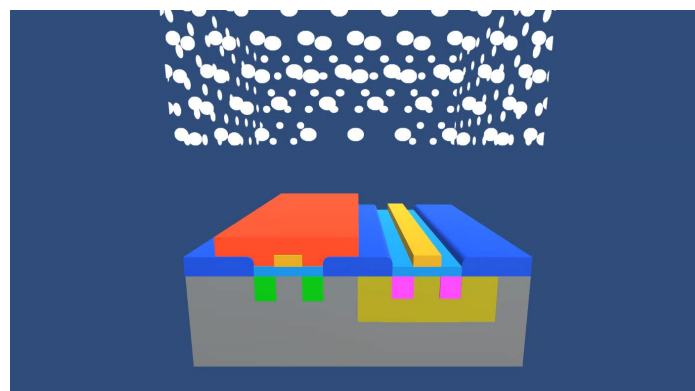
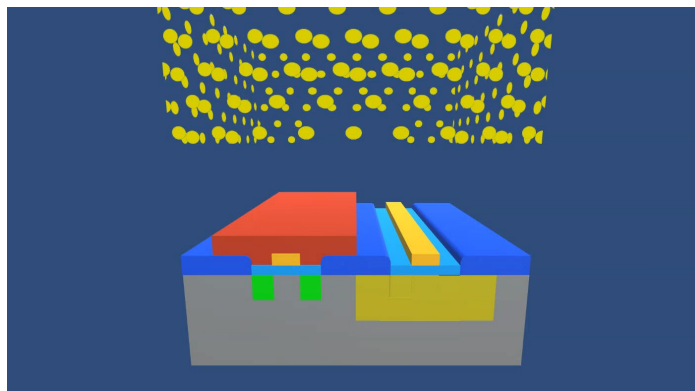


5. 实验过程及步骤

步骤19 去胶+第五次光刻

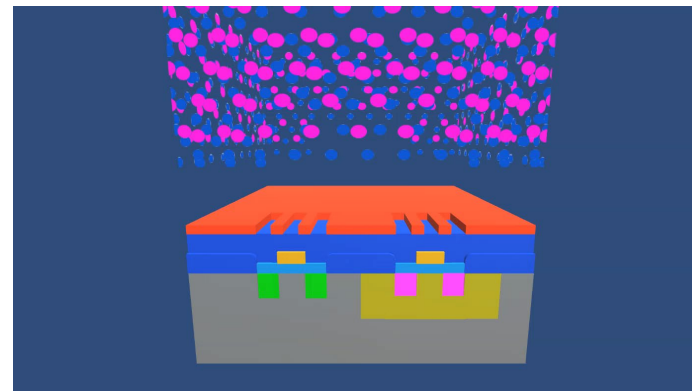
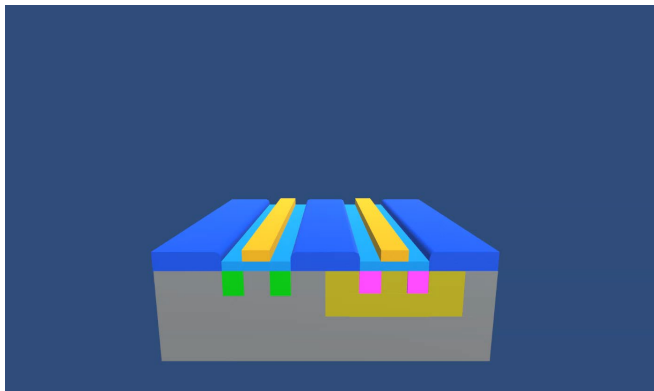


步骤20 离子注入+去胶

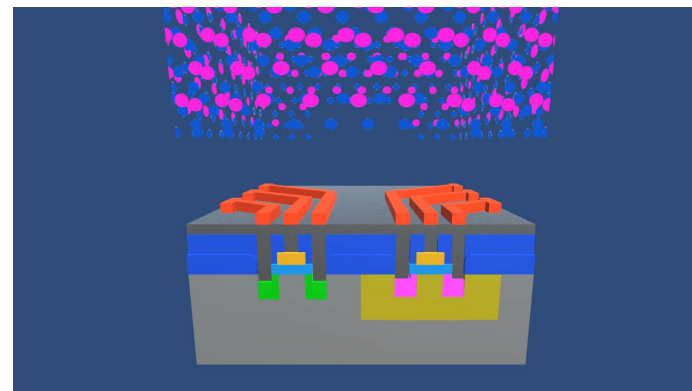
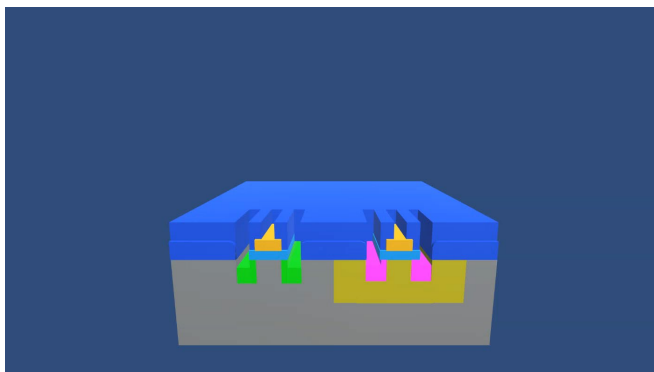


5. 实验过程及步骤

步骤21 沉积+刻蚀二氧化硅

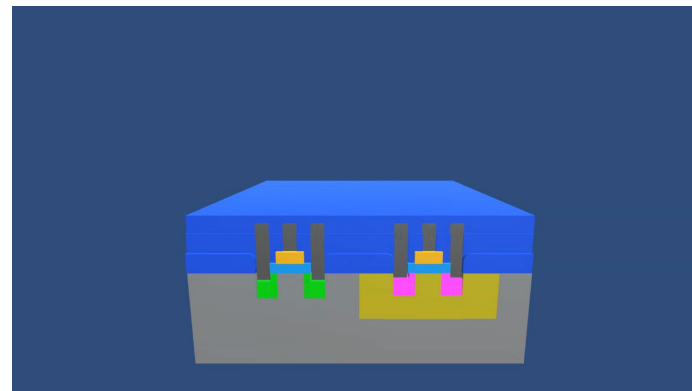
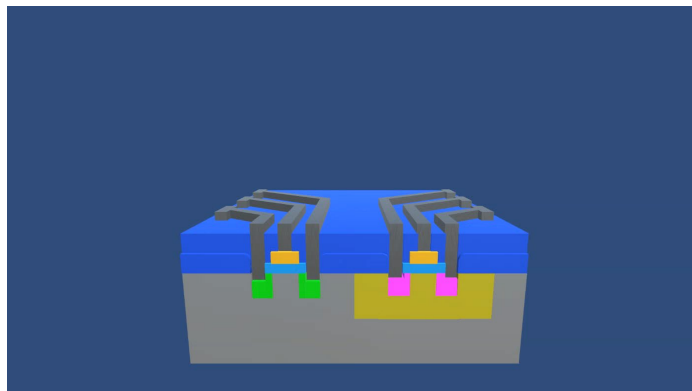


步骤22 金属化+电极引线

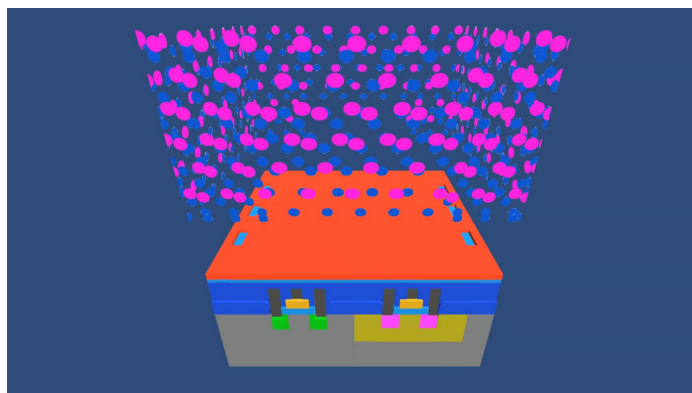


5. 实验过程及步骤

步骤23 沉积二氧化硅（钝化层形成）



步骤24 刻蚀形成压焊盘



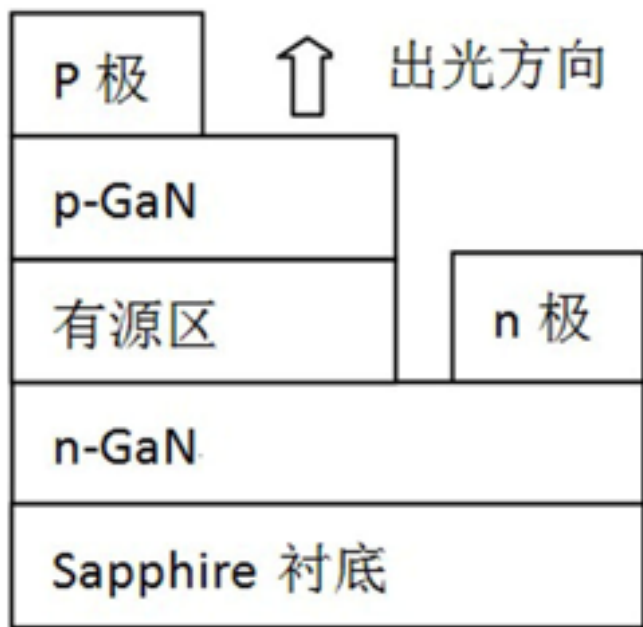
6.实验报告

完成学习和模式和考核模式后，请学生填写实验报告后在平台上点击“提交”，系统自动生成实验报告及该实验得分。

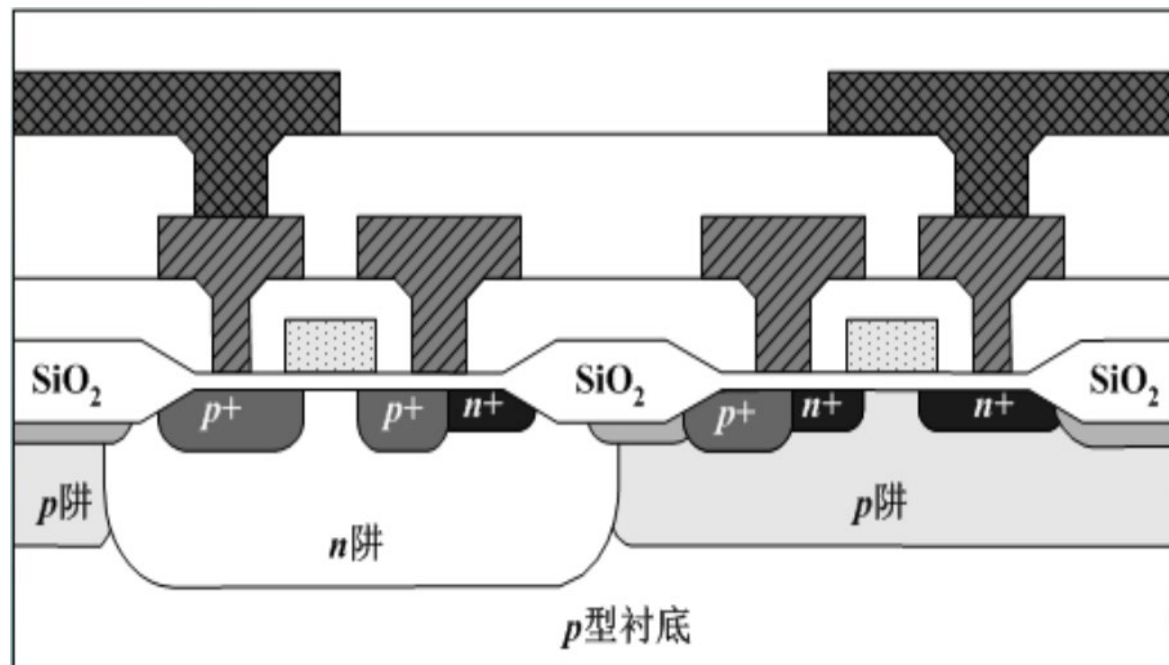
集成电路CMOS器件制造流程关键工艺虚拟仿真实验报告					
学生姓名		学号		专业	
实验类型		指导教师		成绩	
实验目的	1. 了解当前IC发展现状与趋势； 2. 学习IC器件的生产环境； 3. 了解CMOS器件关键工艺设备（薄膜沉积、光刻、刻蚀及离子注入）； 4. 掌握超净间入室准备操作； 5. 掌握典型CMOS器件基本结构及制造流程； 6. 掌握CMOS器件关键工艺的原理； 7. 熟练掌握光刻工艺过程，理解光刻胶与掩膜版的作用。 8. 运用关键工艺综合设计IC器件制造流程与工艺参数。				
实验要求	1、做CMOS虚拟仿真实验要假想自己进行真实的CMOS实验，不要因为是虚拟实验而忽略实验细节； 2、对于初学者或者未接触过CMOS实验的同学，要认真观看学习模式，尤其是领悟并掌握好CMOS实验原理再进行实验考核； 3、在实验过程中，如果对实验某些方面有个人创新想法，记录并附在实验报告中； 4、程序如果出现bug或有何不足之处，记得做完实验后进行反馈！				
实验原理	填写实验指导书中的内容				
预习内容	1. 集成电路制造工艺 2. CMOS器件的基本结构				
实验步骤	记录考核模式下第一次填写的参数数据。				
实验结果	实验结果和实验过程得分				
实验心得	学习者自行填写				

7.思考题

思考题可发送至shjiank@dlut.edu.cn



同面结构GaN基LED的结构示意图



双阱CMOS器件结构示意图



大连理工大学 微电子学院

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SCHOOL OF MICROELECTRONICS

THE END

— 大连理工大学 微电子实验教学中心 —