

上海大学

集成电路制造工艺微专业

人才培养方案

(2025 级)

一、培养目标

使学生充分掌握集成电路制造工艺领域的最新专业知识，及时掌握本专业前沿动态和发展趋势；具备良好的学习能力和分析解决问题的能力；形成良好的专业素养，具备创新意识、国际视野和学科交叉运用能力，最终成为热爱祖国，具有较强的事业心和社会使命感的集成电路领域和相关产业的后备人才。

二、培养要求

1. 能够掌握集成电路制造工艺相关的物理与材料知识，包括半导体材料特性、光刻、薄膜沉积、刻蚀、离子注入、金属化及化学机械抛光等关键工艺环节，了解不同类型器件的结构与性能，并能够将这些知识应用于集成电路生产线及相关装备的工程实践，解决实际工艺与技术问题。

2. 能够将集成电路工艺知识、半导体精密制造技术与其他专业领域（如电子封装、微纳加工等）进行交叉融合，掌握交叉领域的理论与应用实践能力，并运用这些能力解决集成电路制造及装备工程中涉及多学科的复杂问题。

3. 能够基于集成电路制造与装备工程相关背景进行科学分析，评价微电子器件、制造装备及系统工艺方案在工程实践中对社会、健康、安全、法律及文化的影响，理解和承担相关社会责任。

三、修读年限、学分、证书或证明

1. 修读年限：2 年，且不出主修专业修读年限

2. 学分：24

3. 证书或证明

修满规定学分、达到要求的，颁发修读证书；未达授证标准的，颁发修读证明。

四、课程设置：

课程编号	课程名称	学分	理论 学分	实 践 学 分	总 学 时	理 论 学 时	实 验 学 时	上 机 学 时	其 他 实 践 学 时	排 课 学 时	学年学期	备注
01WA5001	半导体物理	4	4		40	32				32	一(秋 9-16)	

01WA5002	低维半导体物理与器件	4	4		40	32				32	一(秋 9-16)	
01WA5003	超导物理与器件	4	4		40	32				32	一(秋 9-16)	
01WA5004	磁性物理与器件	4	4		40	32				32	一(秋 9-16)	
01WA5005	半导体制造工艺基础	4	4		40	32				32	一(春 1-8)	
01WA5006	后摩尔工艺与集成认知实习	4	4		40	32				32	一(春 9-16)	

五、先修课程及相关要求

修习要求：理工科背景。

先修课程：高等数学（微积分）、大学物理、大学化学

六、课程简介

1. 半导体物理(Semiconductor Physics)（4 学分）

课程编号：01WA5001

任课教师：徐飞、赵占霞 等

课程目标：

以集成电路制造工艺为背景，掌握半导体的晶体结构和电子状态、杂质和缺陷能级和半导体中的载流子的统计分布及运动规律，掌握 pn 结、金属与半导体接触的基本理论和半导体表面与 MIS 结构。强调科学探索和创新的重要性，鼓励学生树立探索精神，培养学生的沟通能力和协作精神，帮助学生认识科技进步对社会发展的推动作用。

课程内容：

1. 半导体中的电子状态：半导体的晶格结构和结合性质，半导体中的电子状态和能带，半导体中电子的运动有效质量，本征半导体的导电机构空穴，硅和锗的能带结构；
2. 半导体中杂质和缺陷能级：硅、锗晶体中的杂质能级，III-V 族化合物中的杂质能级，缺陷、位错能级；
3. 半导体中载流子的统计分布：状态密度，费米能级和载流子的统计分布，本征半导体的载流子浓度，杂质半导体的载流子浓度，简并半导体；
4. 半导体的导电性：载流子的漂移运动和迁移率，载流子的散射，迁移率与杂质浓度和温度的关系，电阻率及其与杂质浓度和温度的关系；
5. 非平衡载流子：非平衡载流子的注入与复合，非平衡载流子的寿命，准费米能级，复合理论，载流子的扩散运动，载流子的漂移扩散，爱因斯坦关系式，连续性方程式；
6. pn 结：pn 结及其能带图，pn 结电流电压特性，pn 结电容，pn 结击穿；
7. 金属和半导体的接触：金属半导体接触及其能级图，金属半导体接触整流理论，少数载流子的注入和欧姆接触；
8. 半导体表面与 MIS 结构：表面态，表面电场效应，MIS 结构的 C-V 特性。

教材与主要参考书：

1. 《半导体物理学》(第 7 版)，刘恩科 等著，电子工业出版社，2017
2. 《半导体物理学》，叶良修 著，高等教育出版社 2007

先修课程：大学物理

建议选课对象：全校本科生

2. 低维半导体物理与器件(Low-Dimensional Semiconductor Physics and Devices)（4 学分）

课程编号：01WA5002

任课教师：金腾宇、孙硕 等

课程目标：

掌握低维半导体物理基础理论，包括量子效应、电子输运等特性；熟悉低维半导体器件的结构设计、制造工艺及性能优化方法；学会运用理论与实验手段分析并解决器件设计中的复杂问题；培养具备低维半导体物理与器件设计、优化能力的复合型人才，以适应半导体器件领域的前沿发展需求。

课程内容：

1. 深入讲解低维半导体物理特性，如量子限制效应、电子波函数分布等基础理论。通过理论分析与数值模拟实验，训练学生对低维材料电子结构的理解，为后续器件设计奠定物理基础。

2. 系统介绍低维半导体器件的制备工艺，涵盖材料生长、纳米加工等关键环节。设置器件性能测试、界面工程优化等实践案例，指导学生运用仿真软件开展器件性能模拟与优化设计，强化工程思维。

3. 结合实际应用场景，如高性能传感器、新型光电器件等，展开器件设计与性能评估项目。通过理论指导实践、实践反馈理论的循环，提升学生运用低维半导体物理知识解决实际器件问题的能力，为半导体器件行业的创新发展培育专业人才。

教材及主要参考书：

《二维半导体物理》 普通高等教育“十四五”规划教材， 夏建白、王盼、刘浩、武海斌 著，科学出版社，2024

先修课程：大学物理

建议选课对象：全校本科生

3. 超导物理与器件(Superconductivity and Devices)（4 学分）

课程编号：01WA5003

任课教师：蔡传兵、葛先辉、查国桥 等

课程目标：

本课程是面向物理学、电子科学与技术、微电子科学与工程、量子信息科学等专业本科生的专业选修课程。它旨在打破传统超导物理教学与前沿应用之间的壁垒，将基础物理原理与当前最具革命性的两大技术方向——量子计算和低功耗高性能集成电路紧密结合，为学生提供理解、研究和开发下一代信息技术的知识体系与核心技能。

课程内容：

1. 知识体系培养

理解超导微观机制：掌握超导现象的基本特征，深入理解 BCS 理论及其对单粒子激发、能隙、库珀对等核心概念的描述。掌握超导电子学基础：熟练掌握伦敦方程、金兹堡-朗道方程等唯象理论，理解磁通量子化、约瑟夫森效应（直流 DCJ 和交流 ACJ）的物理本质及其数学描述。贯通量子科技应用：建立超导物理与量子科技的直接联系，掌握超导量子比特（Transmon, Fluxonium 等）的基本原理、能级调控和退相干机制。连接集成电路发展：理解超导器件（如 SFQ 逻辑单元、超导纳米线单光子探测器 SNSPD）在构建超低功耗、超高速数字与光子集成电路中的潜力、原理和挑战。

2. 能力培养

分析与建模能力：能够运用所学理论，定性分析和定量计算超导器件（如约瑟夫森结）的基本电学特性。器件设计与评估能力：具备初步的超导量子比特或超导单光子探测器关键参数的设计与仿真能力，并能评估其性能极限。文献调研与前沿追踪能力：能够阅读和理解超导量子计算与超导电子学领域的顶级学术期刊（如 Nature, Science, PRL, IEEE TASC）论文，把握领域发展动态。交叉创新思维：培养学生将物理原理、材料科学、电路设计和信息

处理相结合的系统级思维和跨学科创新能力。

3. 产业向培养

激发学生对前沿科技探索的兴趣和热情。培养学生严谨求实的科学态度和勇于挑战“无人区”问题的创新精神。树立学生的工程伦理和社会责任感，理解超导技术发展对国家安全、经济和社会发展的重大战略意义。

教材及主要参考书：

《超导物理（第3版）》张裕恒编著、中国科学技术大学出版社于2009年出版，“十一五”国家重点图书。

先修课程：大学物理

建议选课对象：全校本科生

4. 磁性物理与器件(Magnetic Materials and Devices)（4 学分）

课程编号：01WA5004

任课教师：尹鑫茂、周迪帆 等

课程目标：

本课程是面向物理学、材料科学、电子科学与技术、微电子科学与工程等专业高年级本科生或研究生的高级专业课程。它旨在超越传统磁性物理的框架，聚焦于自旋这一核心自由度，将其与量子信息科技（如量子计算）和后摩尔时代集成电路（如存内计算、低功耗逻辑）的发展紧密结合，培养学生理解和研发下一代信息存储、处理与传感器件的核心能力。

课程内容：

1. 知识体系培养

建立现代磁性物理图像：掌握磁性的量子力学起源（交换相互作用、磁各向异性、超交换作用等），理解从原子磁矩到宏观磁性（铁磁、反铁磁、亚铁磁）的涌现现象。掌握自旋动力学核心概念：熟练掌握磁化动力学（朗道-利夫希茨-吉尔伯特方程，LLG 方程）、自旋输运（自旋转移矩 STT、自旋轨道矩 SOT）的基本原理及其数学描述。贯通量子科技应用：建立磁性材料与量子科技的直接联系，理解磁性自旋系统在量子比特（如基于自旋的量子比特）、量子传感（如 NV 色心）和拓扑量子计算（如马约拉纳零能模平台）中的角色。连接集成电路发展：理解自旋电子学器件（如磁性随机存储器 MRAM、自旋纳米振荡器、磁通量传感器）在构建非易失性、高效率、高速度存储与计算芯片中的原理、架构和挑战。

2. 能力目标

分析与建模能力：能够运用所学理论，定性分析和定量计算磁性器件（如磁性隧道结 MTJ）的基本电学与磁学特性。器件设计与评估能力：具备初步的 MRAM 单元或自旋逻辑器件的关键参数（如热稳定性、开关电流、隧穿磁电阻 TMR）的设计与仿真能力，并能评估其性能极限。文献调研与前沿追踪能力：能够阅读和理解自旋电子学与量子技术领域的顶级学术期刊（如 Nature, Science, PRL, IEEE EDL, IEDM）论文，把握领域发展动态。交叉创新思维：培养学生将量子物理、材料设计、微纳加工和电路架构相结合的系统级思维和跨学科创新能力。

3. 产业向培养

激发学生对利用物质内在量子属性进行信息革命的兴趣和使命感。培养学生严谨求实的科学态度和从基础物理出发解决实际工程问题的能力。树立学生的战略视野，理解自旋电子技术对于突破算力瓶颈、保障信息安全和引领产业变革的重大战略意义。

教材及主要参考书：

《凝聚态磁性物理》姜寿亭、李卫编、科学出版社于2003年出版。

先修课程：大学物理

建议选课对象：全校本科生

5. 半导体制造工艺基础(Fundamentals of Semiconductor Fabrication Technology) (4 学分)

课程编号: 01WA5005

任课教师: 洪峰、徐飞 等

课程目标:

了解半导体行业和行业的发展趋势、掌握半导体制造工艺的概念、掌握常见半导体材料及其性质、理解和掌握集成电路制造所需的各种基本单项工艺;掌握简单器件结构、掌握如何将单项工艺集成为常见的 CMOS 集成电路工艺。培养学生根据所学知识具有一定工艺设计能力,加强学生的实验实践能力,具有对工艺中出现的问题进行初步分析的能力。

课程内容:

1. 半导体产业和半导体材料简介: 半导体产业的发展的历史与趋势; 集成电路制造; 半导体制造工艺; 半导体制造业中的职业规划; 中国大陆主要半导体制造厂介绍; 半导体材料性质; 掺杂硅等。

2. 半导体制造中的硅: 半导体级硅; 单晶硅生长; 晶体缺陷; 晶圆的制备; 质量测量。

3. 集成电路制造单项工艺: 氧化膜制造工艺; 扩散和离子注入工艺; 光刻工艺; 刻蚀工艺; 金属化工艺; 平坦化技术。

4. 半导体器件结构及工艺流程: 无源元件结构; 有源元件结构; 集成电路产品; CMOS 工艺流程; CMOS 制作步骤。

5. 半导体后道工艺简介: 质量测量; 分析设备; 硅片测试; 装配与封装。

教材与主要参考书:

1. 《半导体制造技术》, M. Quirk and J. Serda 著, 电子工业出版社, 2009.7

2. 《微电子制造科学原理与工程技术(第二版)》, Campbell, 电子工业出版社, 2007.8

3. 《半导体制造工艺基础》施敏等, 安徽大学出版社, 2007.4

先修课程: 大学物理、半导体物理

建议选课对象: 全校本科生

6. 后摩尔工艺与集成认知实习(Post Moore Process and Integrated Cognitive Internship) (4 学分)

课程编号: 01WA5006

任课教师: 集体授课

课程目标:

本课程是面向微电子科学与工程、电子科学与技术、集成电路科学与工程、物理学等专业高年级本科生或研究生的高级实践教学环节。它不再是传统的半导体工艺实习,而是旨在打破学生对“摩尔定律”路径的依赖,通过专题讲座、虚拟仿真、实地参访和项目研讨相结合的方式,全面认知超越 CMOS 的前沿工艺技术(More Moore)、系统级集成技术(More than Moore)以及颠覆性计算范式(Beyond CMOS)的现状、挑战与未来,特别是聚焦量子科技与先进集成电路的交叉融合。课程是面向物理学、材料科学、电子科学与技术、微电子科学与工程等专业高年级本科生或研究生的高级专业课程。它旨在超越传统磁性物理的框架,聚焦于自旋这一核心自由度,将其与量子信息科技(如量子计算)和后摩尔时代集成电路(如存内计算、低功耗逻辑)的发展紧密结合,培养学生理解和研发下一代信息存储、处理与传感器件的核心能力。

课程内容:

1. 知识体系培养

建立全景式技术图谱: 系统了解后摩尔时代技术发展的三大路径(More Moore, More than Moore, Beyond CMOS)及其内涵。掌握关键工艺原理: 理解 EUV 光刻、原子级沉积/刻蚀、硅光子集成、异质集成、微缩封装等先进制造与集成技术的核心原理和流程。认知颠

覆性器件与范式：建立对新型存储器件（如 MRAM）、新型逻辑器件（如 CFET）、以及量子器件（如超导量子比特、自旋量子比特）的物理基础与工艺特点的直观认识。了解量子集成挑战：初步理解将量子器件（需要 mK 极低温、电磁屏蔽）与经典控制电路（在室温或 77K）进行异构集成所面临的巨大工艺和工程挑战。

2. 能力目标

技术分析能力：能够对比分析不同技术路线的优势、劣势、应用场景和发展成熟度。交叉学科联想能力：能够将物理、材料、化学、电子工程的知识与看到的工艺和器件联系起来，形成系统级的认知。前沿信息获取能力：学会从行业顶尖会议（IEDM, VLSI Symposium）、顶级期刊和领先企业的技术白皮书中获取有效信息。沟通与协作能力：通过小组研讨和汇报，提升技术表达和团队协作能力。

3. 就业向培养

塑造学生的宏观产业视野，了解国家在集成电路与量子科技领域的重大战略布局和“卡脖子”关键环节。激发学生探索科技“无人区”的勇气和投身基础研究与前沿创新的使命感。培养学生严谨求实的工程伦理观念，理解精密制造与集成技术的重要性和复杂性。

教材与主要参考书：

先修课程：大学物理

建议选课对象：全校本科生