



# 复旦大学集成电路与微纳电子创新学院 本科生学习手册

(2024 版)

# 目 录

<b>第一章 前 言</b> .....	1
1.1 复旦大学集成电路与微纳电子创新学院简介 .....	1
1.2 集成电路与微纳电子创新学院本科生课程学习手册使用指南 .....	2
<b>第二章 人才培养目标及培养理念</b> .....	4
2.1 人才培养目标 .....	4
2.2 人才培养理念 .....	4
<b>第三章 本科生导师制</b> .....	6
<b>第四章 课程体系</b> .....	8
4.1 选课指导 .....	8
4.1.1 学分要求 .....	9
4.1.2 通识教育课程（43 学分） .....	9
4.1.3 大类基础课（30 学分） .....	11
4.1.4 专业核心课程（46 学分） .....	11
4.1.5 专业必修课程知识图谱 .....	13
4.1.6 多元发展课程 .....	14
4.1.7 专业进阶能力图谱 .....	16
4.2 实践与能力训练 .....	18
4.2.1 科研项目 .....	18
4.2.2 生产实践 .....	19
4.3 毕业论文 .....	19
<b>第 5 章 学院主要课程简介</b> .....	21
5.1 专业必修课 .....	21
5.1.1 器件模型与 SPICE 仿真（CICE130001） .....	21
5.1.2 集成电路纳米技术（CICE130002） .....	24
5.1.3 集成电路封装与测试（CICE130003） .....	27
5.2 专业进阶课 .....	30
5.2.1 超低功耗集成电路设计（CICE130004） .....	30

5.2.2 模拟电路测试原理 (CICE130005) .....	32
5.2.3 光电子器件与集成 (CICE130006) .....	34
5.2.4 先进封装 (CICE130007) .....	36
5.2.5 存储器技术 (CICE130008) .....	39
5.2.6 新型计算范式概论 (CICE130009) .....	42
5.2.7 集成电路发展概论 (CICE130010) .....	45

# 第一章 前言

## 1.1 复旦大学集成电路与微纳电子创新学院简介

经过认真谋划与长期积累，复旦大学将紧抓国内唯一“集成电路科学与工程”双一流学科建设契机，统筹复旦大学集成电路相关学科板块，启动建设“集成电路与微纳电子创新学院 (Faculty/College of Integrated Circuits & Micro-Nano Electronics)”，为上海市落实国家战略打造集成电路产业创新高地的使命提供“复旦方案”。学院将统筹推进“集成电路科学与工程”双一流学科建设，制定学科总体战略规划和实施计划，指导校内相关院系、实体运行科研机构落实规划目标，形成导向清晰、沟通高效、决策科学的学术共同体。

学院坚持以集成电路科技创新与产业应用为导向，围绕“集成电路科学与工程”双一流建设学科，重点建设“集成纳电子科学”、“集成电路材料与制造工艺”、“集成电路设计与设计自动化”、“集成电路装备与封测”、“微纳智能系统”、“集成电路与系统应用”、“光电子集成与应用”等创新型学科方向。面向集成电路产业发展对人才的重大需求，增设“集成电路科学与工程”本科专业，依托复旦大学“2+X”本科培养体系改革，吸引更多不同学科背景的优质生源进入集成电路领域学习深造；加大本硕博贯通培养比例，精心组织实施“集成电路领域核心技术紧缺博士人才自主培养专项计划”，培育前瞻性、创新性集成电路领军人才；以国家“卓越工程师培养计划”为契机，领导建设可推广、可复制的集成电路人才培养方案和课程体系；整合“国家集成电路产教融合创新平台”和“长三角集成电路设计与制造协同创新中心”平台资源，联合长三角区域内顶尖高校和龙头企业，合力

打造产教深度融合的精品课程体系，提升高校集成电路人才实训培养质量，畅通集成电路产业人才再教育通道，为龙头企业定制“集成电路卓越班”。依托“集成芯片与系统全国重点实验室”与“国家集成电路创新中心”，构建覆盖材料、设备、设计、制造和封测等集成电路全产业链的“新一代集成电路技术集成攻关大平台”，成为代表国家集成电路基础源头创新、前瞻性技术攻关、和高层次人才培养的综合性平台。

学院师资力量雄厚，名师大家一线教书育人，两院院士及国家高层次人才计划入选者直接担任班主任，为本科生教学注入强劲动能。目前，学院共有班导师 108 人（教授 74 人），其中中国科学院院士 2 人，国家级高层次人才计划 9 人，国家级青年人才计划 17 人。课程任课教师 38 人（教授 20 人），其中包括中国科学院院士、国家级高层次人才计划等 7 人，国家级青年人才计划 10 人。

## 1.2 集成电路与微纳电子创新学院本科生课程学习手册使用指南

编撰《复旦大学集成电路与微纳电子创新学院本科生学习手册》（以下简称“本手册”），旨在帮助同学们全面了解复旦大学集成电路与微纳电子创新学院本科生培养理念、培养目标、培养模式以及培养方式；帮助同学们熟悉专业课程体系，指导学生制定合理的课程修读计划。

本手册第二章介绍了复旦大学集成电路与微纳电子创新学院人才培养目标及培养理念。

第三章介绍了复旦大学集成电路与微纳电子创新学院本科生导师制度。

第四章详细介绍了复旦大学工科试验班（集成电路领军人才班）“2+X”本科生课程体系，包括选课指导、实践与能力训练、生产实习、毕业论文等。

第五章详细介绍了本科生主要课程信息，包括课程基本信息、教学目的和基本要求、课程基本内容，以及课程之间的相互联系等，帮助同学们熟悉课程内容。

本手册将根据学生培养方案增补或修订。后期如有课程变动，以学校或院系的最新通知为准。

本手册的成书得益于集成电路与微纳电子创新学院全体教师的共同努力。由于时间仓促，手册中难免存在错误，请同学们在使用过程中及时发现并反馈错误。

预祝各位同学顺利完成四年的本科学习！

## 第二章 人才培养目标及培养理念

### 2.1 人才培养目标

本专业紧紧围绕国家发展集成电路的重大战略需求，培养具有家国情怀和世界胸怀的集成电路领军人才。本专业毕业生应获得以下几方面的知识和能力：

1. 扎实掌握集成电路科学与工程所必需的数学与物理基础知识；
2. 深刻理解集成电路技术在摩尔定律发展到极限所面临的重大技术变革；
3. 充分参与集成电路产业的发展实践；
4. 熟练运用半导体器件性能分析、表征，以及数字、模拟和射频集成电路设计、仿真与验证等知识和能力，开展集成电路基础及交叉应用研究；
5. 掌握集成电路发展前沿，具有国际化视野与宽广思维；
6. 能在在包括复旦大学在内的国内外一流大学攻读集成电路及相关专业博士学位，立志成为具有全球影响力的集成电路科学家。

### 2.2 人才培养理念

集成电路领军人才的培养秉持“厚基础，重实践，融合创新”的办学理念，结合复旦大学在数学、物理、材料、化学、生物等基础性学科上的优势，培养学生运用数学与物理等基础理论的能力；通过“一生一芯”项目和一对一导师制，并与集成电路领域的头部企业建立对接实习机制，培养学生发现、提出和解决工程问题的实践能力；通过

与计算机、人工智能及电子科学技术等应用学科的交叉教学，培养学生的融合创新能力。紧密结合复旦大学“2+X”培养体系，拓宽专业入口，推动集成电路领军人才的培养。

根据《复旦大学“2+X”本科培养体系建设暂行办法》，结合微电子科学与工程学科的特点与发展要求，在通识教育与专业大类基础教育的基础上，通过专业核心课程教育着重培养学生的集成电路及其技术应用的专业核心能力；并通过专业进阶教育、辅修学士学位教育、学程教育、创新创业教育等多元发展培养路径，鼓励学生的自主化培养、个性化发展。



### 第三章 本科生导师制

集成电路与微纳电子创新学院积极开展本科生专业导师工作，鼓励优秀教师尤其是青年教师担任本科生专业导师，着力发挥导师在本科生培养过程中的重要作用。导师制明确本科生导师应遵循因材施教原则，提升教育的针对性和有效性，以立德树人为根本，在学生的思想价值引领、学业指导与规划、学习方式转变、学科专业基本认识等方面予以引导和帮助。根据学校本科“2+X”培养体系要求，为学生选择适合自己的发展路径提供指导，在专业学习、学术科研、创新创业等方面予以精准化、专业化的指导，并将思想价值引领贯穿始终。

#### 导师的工作职责包括：

一、思想价值引领。本科生导师应以立德树人为根本任务，引导学生树立中国特色社会主义共同理想和严谨求实的科学精神，培养德才兼备、全面发展的社会主义建设者和接班人。

二、学业指导与规划。本科生导师应帮助学生制定合理的学业规划，做好学业指导和学业帮扶工作，鼓励学生尽早明确未来发展目标和发展路径。

三、学习方式转变。本科生导师应帮助学生尽快适应大学的学习模式和节奏，完成从高中生到大学学生的角色转变，引导学生形成认真务实的学风和学习习惯，指导学生掌握与大学的学习模式相匹配的学习方法。

四、建立学科专业基本认识。本科生导师应注重将通识教育与专业教育相贯通，引导学生对学院的不同学科方向形成基本、客观

的认识，激发学生对学科、专业的兴趣，帮助学生做适合自己的专业方向选择。

五、专业学习。本科生导师应加强学生学业指导工作，为学业困难的学生制定个性化帮扶方案，帮助学生端正学习态度，改进学习方法。

六、学术科研。本科生导师应为学生开展早期科研和专业实践搭建平台，推动本科生参与科研项目，指导学生参加实习实训、学科竞赛，可担任本科毕业论文（设计）指导教师，将传授知识与技能、训练思维与方法、培养精神与品德相结合，促进学生在科研实践中深入探索、深度参与、深刻感知。

七、创新创业。本科生导师应积极指导学生参加大学生创新创业训练计划项目、创新创业竞赛等活动，增强学生的创新精神、创业意识和创新创业能力，培养创新创业领军人才。

## 第四章 课程体系

### 4.1 选课指导

集成电路领军人才班纳入复旦大学“2+X”本科培养体系，根据“大类招生、通识教育、专业培养、多元发展”的原则构筑厚基础、高质量的多元育人体系。其中“2”是指从通识教育和专业培养两方面入手，夯实个人发展基础；“X”是指基于学生个性化成长需求，在学分制下提供专业进阶、跨学科发展、创新创业等多种路径，更好地为学生创造专兼结合、互相贯通的多元发展空间。

#### 2024级集成电路领军人才班2+X培养体系



本专业学生毕业时须满足通识教育课程（含通识教育核心课程和专项教育课程）47学分、专业培养课程76学分（含毕业论文/设计6学分）和多元发展路径课程的修读要求，总学分不低于156学分（含实践学分不低于39学分；含美育学分不少于2学分，其中至少在“美学和艺术史论类”或“艺术鉴赏和评论类”课程中修读1学分，并至少参与一项艺术实践活动；劳动教育不少于32学时，并满足劳动周教育要求），达到学位要求者授予工学学士学位，具体选课指导和学分要求如下。

### 4.1.1 学分要求

专业	总学分	通识教育课程	专业培养课程		多元发展课程
			大类基础课程	专业核心课程	
微电子科学与工程专业 (集成电路领军人才班)	146	43	30	46	27

### 4.1.2 通识教育课程（43 学分）

工科试验班（集成电路领军人才班）修读要求：I 类通识核心课程，要求修读27学分，含思想政治理论课19学分，七大模块课程8学分（每模块最多修读1门课程，回避第五模块“科学探索与技术创新”，即修读第五模块将不计入七大模块8学分中）；II类专项教育课程，修满16学分。

通识教育课程包括通识教育核心课程、通识教育专项课程和通识教育选修课程，须修满43学分。

#### 1. 通识教育核心课程，必修17学分，选修2学分

类别	课程名称	课程代码	学分	周学时	开课学期	备注
A组	习近平新时代中国特色社会主义思想概论	PTSS110090	3	3	1	必修17 学分
	思想道德与法治	PTSS110089	3	3	1	
	中国近现代史纲要	PTSS110088	3	3	2	
	马克思主义基本原理	PTSS110087	3	3	3	
	毛泽东思想和中国特色社会主义理论体系概论	PTSS110082	3	3	4	
	强国之路：形势、政策与使命I II III IV	见课程表	2	0.5	1~4	
B组	中国共产党史	PTSS11080	2	2	春秋	选修2

	新中国史	PTSS110084	2	2	春秋	学分
	改革开放史	PTSS110085	2	2	春秋	
	社会主义发展史	PTSS110086	2	2	春秋	
七大核心模块	1文史经典与文化遗产模块课程		2~3	2~3	春秋	选修8 学分
	2哲学智慧与批判性思维模块课程		2~3	2~3	春秋	
	3文明对话与世界视野模块课程		2~3	2~3	春秋	
	4社会研究与当代中国模块课程		2~3	2~3	春秋	
	5科学探索与技术创新		2~3	2~3	春秋	
	6生态环境与生命关怀模块课程		2~3	2~3	春秋	
	7艺术创作与审美体验模块课程		2~3	2~3	春秋	

\*七大模块核心课程总选修8 学分，每个模块最多修读1门课，且规避第五模块。

## 2. 通识教育专项课程，须修满20学分

工科试验班（集成电路领军人才班）专项教育课程包括大学外语、体育、军事理论、创新创业等课程。

- 大学外语：据新生英语分级考试结果分为A、B、Y级，不同级别对应不同的大学外语修读方案，须修满2-4个学分外语课程。
- 体育：须修满4 学分，分为必修课程（基础课程、提高课程）和选修课程（课程清单以教务处公布为准）。
- 军事理论：须修满4 学分，学生须完成课堂教学内容和军训。
- 创新创业：选修。
- 心理健康教育课程：原则上所有本科生应在大一年级修读至少1学分心理健康教育课程，完成总学时不少于32 学时的修读要求（课程清单以教务处公布为准）。
- 美育课程和实践：本科生毕业前须修读不少于2 学分，其中至少在“美学和艺术史论类”或“艺术鉴赏和评论类”课程

中修读1学分。

- 实验安全教育：所有新生入学后完成“上海市大学生安全教育”在线课程学习并参加学校每年组织的消防演练，累计不少于16 学时实验室安全教育内容。

#### 4.1.3 大类基础课（30 学分）

学生应在大类基础课程中修满30学分。

课程名称	课程代码	学分	周学时按学期分配	
			一	二
数学分析 BI	MATH120016	5	6	
数学分析 BII	MATH120017	5		6
线性代数	COMP120004	3	4	
大学物理 B(上)	PHYS120013	4	5	
大学物理 B(下)	PHYS120014	4		5
基础物理实验	PHYS120015	2		3
程序设计	COMP120006	4	5	
电路基础	MICR120001	3		3

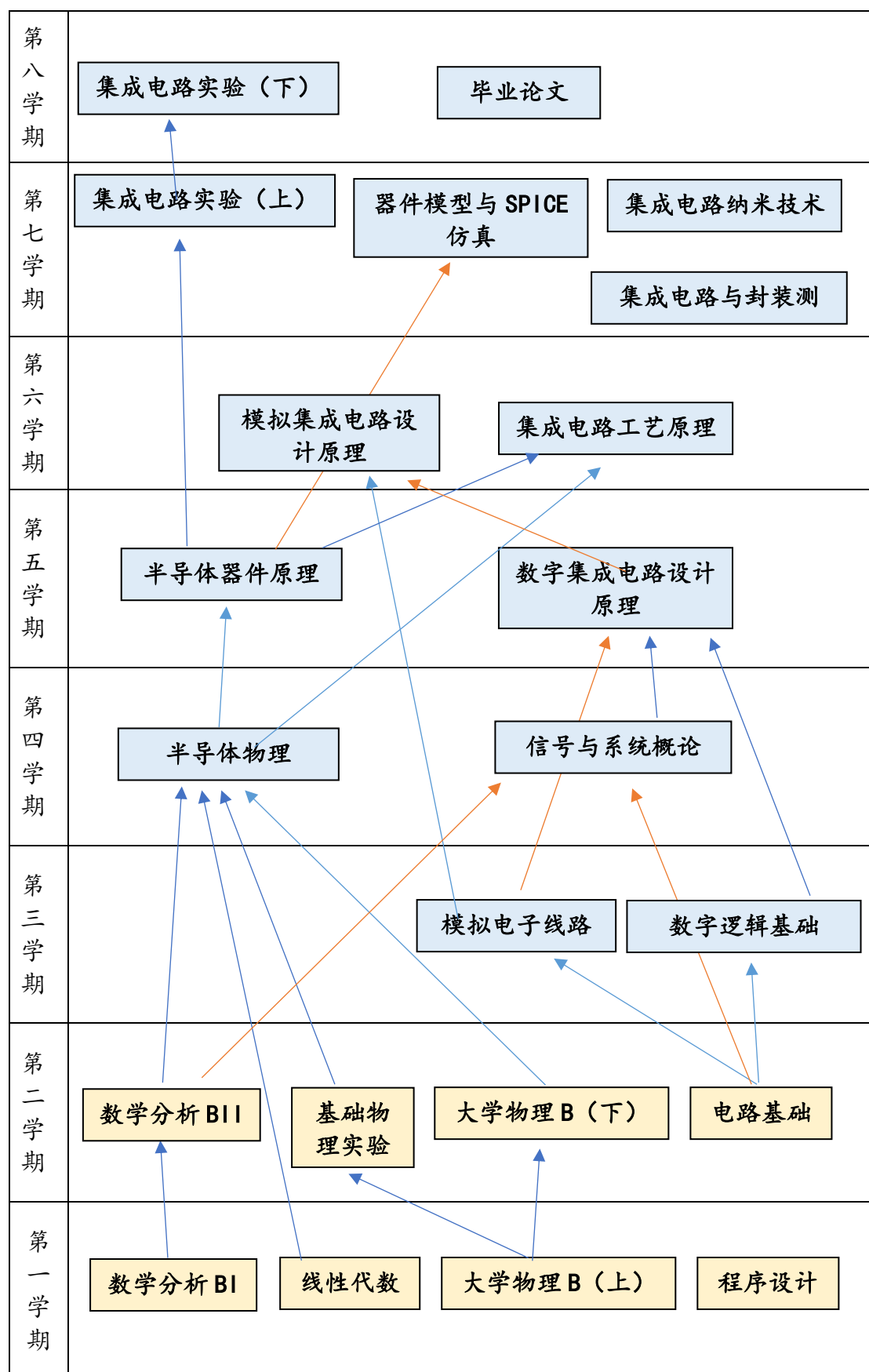
#### 4.1.4 专业核心课程（46 学分）

学生应在专业核心课程中修满46学分。

课程名称	课程代码	学分	周学时	含实践 学分合计	含美育学 分	含劳动 教育总 学时	开课 学期
半导体物理	MICR130005	4	4				4
半导体器件原理	MICR130028	4	4				5
模拟电子线路	MICR130002	3	3	1			3
数字逻辑基础	MICR130003	4	4	1			3
信号与系统概论	MICR130004	3	3	1			4
数字集成电路设计 原理	MICR130029	3	3	1			5
模拟集成电路设计 原理	MICR130030	3	3	1			6

集成电路工艺原理	MICR130007	3	3	1			6
集成电路实验(上)	INF0130027	3	3	3		10	7
集成电路实验(下)	INF0130028	2	2	2		10	8
器件模型与 SPICE 仿真	CICE130001	3	3	1.5			春秋
集成电路纳米技术	CICE130002	2	2	0.5			春秋
集成电路封装与测 试	CICE130003	3	3	2			春秋
毕业论文/设计	INF0130016	6	0	6			8

#### 4.1.5 专业必修课程知识图谱





## 4.1.6 多元发展课程

### 1. 专业进阶路径

修满27学分。要求在本专业进阶课程中修读至少24学分（其中专业进阶 I 修读15学分，在修满学分前提下，要求选课课程覆盖3个板块；专业进阶 II 修读9学分，在修满学分的前提下，要求选课课程不少于2个交叉板块），学分不足部分可在全校所有本科生课程中任意选修。专业进阶课程设置如下：

#### (1) 专业进阶模块I（15学分）

专业进阶课程	课程名称	课程代码	学分	周学时	含实践学分	含美育分	含劳动教育总学时	开课学期
集成电路设计	嵌入式处理器与芯片系统设计	MICR130006	5	5	2			4
	超低功耗集成电路设计	CICE130004	3	3	1			7
	射频集成电路基础	MICR130023	2	2				5
	模拟电路测试原理	CICE130005	3	3	2			5
集成电路器件工艺	现代集成电路光刻技术导论	MICR130043	4	4	0.1			5
	光电子器件与集成	CICE130006	3	3				5
	特色工艺与功率半导体技术	MICR130016	2	2	0.5			4
	电子材料分析	MATE130017	3	3	0.5			5
集成电路公共基础及前沿	半导体材料	INF0130103	2	2				5
	先进封装	CICE130007	2	2				7
	存储器技术	CICE130008	3	3				5
	新型计算范式概论	CICE130009	3	3				6
	集成电路发展概论	CICE130010	3	3				5
	EDA系统软件分析和设计方法学	MICR130037	3	3				6
	器件可靠性原理与测试	MICR130014	3	3	0.2			6
	前沿讲座	INF0130236	2	2				3

## (2) 专业进阶模块II (9学分)

交叉模块	课程名称	课程代码	学分	周学时	含实践学分	含美育学分	含劳动教育总学时	开课学期
计算机	计算机组成与体系结构	COMP130191	4	4				4
	数据结构	COMP130004	4	3+2	2			3
人工智能	脑科学与类脑系统	DATA130054	3	3+1	1			5
	人工智能导论	INF0130358	4	4	2			4
	模式识别与机器学习	COMP130137	3	3				5
数学	数学模型	MATH130008	3	3				4
	数学物理方法A	PHYS130006	4	4+1	0.8			4
电子信息科学与技术	电磁场与电磁波	INF0130232	3	3	0.5			6
	光通信网络基础	INF0130131	2	2				春秋
物理学	量子力学I	PHYS130008	4	4+1	0.8			3
	固体物理	PHYS130010	4	4				4
	热力学与统计物理I	PHYS130113	4	4+1	0.8			4
	计算物理基础	PHYS130075	3	3				5
化学材料学	材料科学导论	MATE130034	3	3	0.5			3
	材料分析	MATE130062	3	3	0.5			6
	薄膜技术	MATE130022	3	3	0.5			6
生物学	生理学	BIOL130014	3	3				4

### 2. 跨学科发展路径

修满27学分。要求修读2个非本专业独立开设的学程，可选择专业学程或跨学科学程。学分不足部分可在全校所有本科生课程中任意选修。

学程课程详见教务处学程项目网页，下载地址：

<https://jwc.fudan.edu.cn/>（复旦大学教务处）-专业培养-常用文档。完成学程修读要求的学生可获得相应的学程证书。

### 3. 辅修学士学位路径

要求至少修读本专业进阶I课程15学分和1个辅修学士学位项目，辅修学士学位应与主修学士学位归属不同的本科专业大类。

辅修学士学位项目课程设置详见教务处辅修学士学位项目网页，下载地址：<https://jwc.fudan.edu.cn/>（复旦大学教务处）-专业培养-常用文档。完成辅修学士学位项目修读要求，且达到学校毕业和学位授予要求的学生可获得相应的辅修学士学位证书。

#### 4. 创新创业路径

修满27学分。要求修读1个创新创业学院开设的创新创业学程，以及1个非本专业独立开设的学程。修读学分不足部分可在全校所有本科生课程中任意选修。创新创业学程课程详见教务处学程项目网页，下载地址：<https://jwc.fudan.edu.cn/>（复旦大学教务处）-专业培养-常用文档。

#### 5. 其他

多元发展路径中，辅修学士学位项目或专业进阶课程模块均可以冲抵学程，专业培养和多元发展路径共享的课程只计算一次学分。

### 4.1.7 专业进阶能力图谱

#### 1. 电路设计方向课程建议

课程名称	课程代码	学分	类型
新型计算范式概论	CICE130009	3	专业进阶I
模拟电路测试原理	CICE130005	3	专业进阶I
存储器技术	CICE130008	3	专业进阶I

集成电路发展概论	CICE130010	3	专业进阶I
射频集成电路基础	MICR130023	2	专业进阶I
嵌入式处理器与芯片系统设计	MICR130006	5	专业进阶I
模式识别与机器学习	COMP130137	3	专业进阶II
脑科学与类脑系统	DATA130054	3	专业进阶II
数据结构	COMP130004	4	专业进阶II
数学物理方法A	PHYS130006	4	专业进阶II
人工智能导论	INFO130358	4	专业进阶II
数学模型	MATH130008	3	专业进阶II
计算机组成与体系结构	COMP130191	4	专业进阶II

## 2. 集成电路工艺器件方向课程建议

课程名称	课程代码	学分	类型
特色工艺与功率半导体技术	MICR130016	2	专业进阶 I
模拟电路测试原理	CICE130005	3	专业进阶 I
光电子器件与集成	CICE130006	3	专业进阶 I
存储器技术	CICE130008	3	专业进阶 I
集成电路发展概论	CICE130010	3	专业进阶 I
现代集成电路光刻技术导论	MICR130043	4	专业进阶 I
电子材料分析	MATE130017	3	专业进阶 I
器件可靠性原理与测试	MICR130014	3	专业进阶 I
新型计算范式概论	CICE130009	3	专业进阶 I
数学物理方法 A	PHYS130006	4	专业进阶 II
材料科学导论	MATE130034	3	专业进阶 II
*量子力学 I	PHYS130008	4	专业进阶 II
*固体物理	PHYS130010	4	专业进阶 II
热力学与统计物理 I	PHYS130113	4	专业进阶 II
数学模型	MATH130008	3	专业进阶 II

计算物理基础	PHYS130075	3	专业进阶 II
脑科学与类脑系统	DATA130054	3	专业进阶 II
电磁场与电磁波	INFO130232	3	专业进阶 II
材料分析	MATE130062	3	专业进阶 II
薄膜技术	MATE130022	3	专业进阶 II

### 3. 集成电路EDA方向课程建议

课程名称	课程代码	学分	类型
嵌入式处理器与芯片系统设计	MICR130006	5	专业进阶I
存储器技术	CICE130008	3	专业进阶I
集成电路发展概论	CICE130010	3	专业进阶I
数据结构	COMP130004	4	专业进阶II
数学物理方法A	PHYS130006	4	专业进阶II
人工智能导论	INFO130358	4	专业进阶II
数学模型	MATH130008	3	专业进阶II
计算机组成与体系结构	COMP130191	4	专业进阶II
模式识别与机器学习	COMP130137	3	专业进阶II
计算物理基础	PHYS130075	3	专业进阶II
EDA系统软件分析和设计方法学	MICR130037	3	专业进阶I

## 4.2 实践与能力训练

### 4.2.1 科研项目

复旦大学本科生学术研究资助计划 (Fudan' s Undergraduate Research Opportunities Program, FUROP) (如着政学者、望道学

者、曦源计划、“国家大学生创新性实验计划”等)旨在探索并建立以问题和课题为核心的教学模式,倡导以本科学生为主体的创新性研究和实验改革,调动学生的主动性、积极性和创造性,培养创新思维,激发创新意识,全面提升学生的创新实验能力。上述科研能力训练计划与创新试验行动为本科生提供了体验学术研究的平台以及丰富的资源和机会,使学生在本科阶段得到科学研究的基本训练,通过这些科研训练和创新实验也大大锻炼和提升了本科生的思维和动手能力以及科研兴趣。

#### **4.2.2 生产实践**

集成电路领军人才班培养注重实践与能力训练,旨在加快培养长三角地区产业急需的集成电路应用型高端人才,快速增加产业从业人员数量,提升人才培养质量及行业在职人员的从业素质,为产业发展提供人才支撑。在本科人才培养过程中着眼于人才培养的实践能力提升的问题,通过提供在读学生实习实训平台,增加学生企业实习机会,与企业共建联合实验室、联合培养定制/定向人才等方式培养符合产业需求的人才,深入推动产学研合作教育模式改革,吸纳更多人才投身集成电路产业。在学院教学过程中,统筹高校、企业等各方资源,探索多种实习实训模式。

#### **4.3 毕业论文**

毕业论文是本科教学的一个重要环节,是一个全方位考察学生理解、运用所学专业知识的重过程,也是培养学生研究能力的重

要手段。按教学培养方案要求完成毕业论文是本科生获得学士学位的必要条件。

毕业论文具体安排在本科阶段的第七、八学期，其中第七学期为准备阶段，第八学期为论文阶段，包括开题报告、中期检查、毕业论文评阅、抽查、答辩等内容。

## 第 5 章 学院主要课程简介

### 5.1 专业必修课

#### 5.1.1 器件模型与 SPICE 仿真 (CICE130001)

课程代码	CICE130001							
中文名称	器件模型与 SPICE 仿真							
英文名称	Semiconductor Device Models and SPICE Simulation							
学分数	3	周课时	3	授课语言	中文			
开课时间	一年级		二年级		三年级		四年级	
	秋	春	秋	春	秋	春	秋	春
课程性质	<input type="checkbox"/> 通识教育核心 <input type="checkbox"/> 通识教育专项 <input type="checkbox"/> 大类基础 <input checked="" type="checkbox"/> 其他			“2+X”专业: <input checked="" type="checkbox"/> 专业核心 <input type="checkbox"/> 专业进阶 非“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修				
	<p><b>教学目的</b></p> <p>随着半导体器件的特征尺寸缩微至数纳米量级，器件的高阶效应、热效应与噪声特性等对电路性能的影响变得不可忽略，同时电路系统规模显著增长，这些都使得半导体器件模型与 SPICE 仿真在集成电路设计中的作用变得日益关键。本课程拟从不同层面教学半导体器件模型的基础知识以及 SPICE 仿真原理与实践，使学生在已学习半导体器件物理与模拟集成电路设计的基础上，进一步了解器件模型与 SPICE 仿真对集成电路设计的重要性，也为日后可能从事的器件建模与仿真器开发打下基础。</p>							
<b>基本内容简介</b>	<p>本课程内容包括以下六个部分：</p> <p>（一）半导体器件模型与 SPICE 仿真的基础知识：回顾半导体器件模型，特别是面向电路仿真的紧凑模型的发展历程，以及 SPICE 仿真技术背后的数学原理，阐述器件模型与 SPICE 仿真在仿真效率与精度之间的设计平衡问题；</p> <p>（二）面向集成电路设计与 SPICE 仿真建模的半导体器件物理知识：从半导体器件物理基础出发，阐述器件模型的底层物理基础，建立从器件物理到电路仿真的理解桥梁；</p> <p>（三）典型的半导体器件模型：从仿真效率与精度之间的不同平衡设计，介绍解析模型、紧凑模型和统计模型等，介绍考虑高阶效应的先进节点实验型模型，由此阐述半导体器件模型在集成电路设计中的关键作用；</p> <p>（四）SPICE 仿真的数学原理：从计算复杂度与精度的平衡角度介绍 SPICE 仿真背后的稀疏矩阵计算原理，从一定层面解释仿真收敛性的问题；</p> <p>（五）BSIM 模型与 LTSPICE 仿真器：介绍成为事实上的工业标准的 BSIM3/BSIM4 模型，以 LTSPICE 仿真器为例介绍 SPICE 仿真工具的基本使用；</p> <p>（六）简易 SPICE 仿真器开发与单管放大器仿真的课程设计：通过分组，每组 3-5 人，采用任意编程语言，如 C、C++ 或者 Python 等，根据晶体管紧凑模型与 SPICE 仿真原理，编写简易的 SPICE 仿真器，采用实际工艺设计仿真单管放大器，对仿真器进行验证。</p>							



<p><b>基本要求:</b></p> <p>本课程面向集成电路科学与工程专业 2+X 培养计划的三年级本科生开设，是专业核心课程。先修课程包括：半导体物理与器件、模拟集成电路设计原理和程序设计。选修本课程学生须理解课程基本内容，完成课程作业与课程设计。</p>	
<p><b>授课方式:</b></p> <p>讲授为主，每章节都配有一定数量的习题，以进一步巩固和扩展课堂教学内容。</p>	
<p><b>主讲教师简介:</b></p> <p>陈映平，青年研究员，博士生导师，2021 年入选国家海外高层次人才引进计划。2008 年于北京理工大学获得学士学位，2012 年于中科院微电子所获得硕士学位，2020 年于美国德克萨斯大学达拉斯分校(The University of Texas at Dallas) 电子工程专业获得博士学位，2020 年至 2021 年在比利时欧洲微电子中心 IMEC 进行博士后研究。2012 年至 2015 年先后在北京希格玛微电子和戴乐格半导体等公司担任模拟设计工程师。主要从事基于 CMOS/BCD、氮化镓(GaN) 等工艺的模拟/功率集成电路设计，包括 DC-DC converter, AC-DC converter, LDO 等。以第一作者多次在集成电路顶级国际会议 ISSCC 和旗舰期刊 JSSC 上发表论文，并担任 JSSC 和功率电子领域的旗舰期刊 TPEL 等的审稿人。</p>	
<p><b>教学内容安排</b>（具体到每节课内容）:</p> <p>第 1 周 半导体器件模型与 SPICE 仿真的发展历程，阐述仿真效率与仿真精度之间的平衡问题</p> <p>第 2 周 二极管与 BJT 的物理结构与工作机理</p> <p>第 3 周 MOSFET 与 FinFET 的物理结构与工作机理，以及先进工艺节点下器件高阶效应的影响</p> <p>第 4 章 半导体器件的解析模型</p> <p>第 5 周 半导体器件的紧凑模型</p> <p>第 6 周 半导体器件的统计模型</p> <p>第 7 周 SPICE 仿真的稀疏矩阵计算原理</p> <p>第 8 周 SPICE 仿真的收敛性问题与仿真结果的可靠性分析</p> <p>第 9 周 BSIM 模型分析及其在集成电路设计中的关键作用</p> <p>第 10 周 先进工艺结点中器件的高阶效应、热效应与噪声等的建模仿真技术简介</p> <p>第 11 周 LTSPICE 仿真器介绍</p> <p>第 12 周 基于 BSIM 模型与 LTSPICE 的运算放大器设计与仿真</p> <p>第 13 周 简易 SPICE 仿真器的开发原理简介</p> <p>第 14 周 课程设计需求分析及安排</p> <p>第 15 周 复习，习题讲解及答疑</p> <p>第 16 周 期末答疑</p> <p>第 17-18 周 期末考试</p>	
<p><b>课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计:</b></p> <p>教学周期内将安排学生基于程序语言设计实现基于 BSIM 模型的简易 SPICE 仿真器，通过仿真单管放大器进行验证。</p>	

**考核和评价方式**（提供学生课程最终成绩的分数组成，体现形成性的评价过程）：

该课程成绩采用等级制，分别用 A、B、C、D 表示，期末考核方式为课程论文撰写，学生成绩构成包括平时出勤、作业/实验及期末课程论文 3 个部分。各部分比重如下：平时出勤占比 10%；作业/实验占比 40%；期末课程设计占比 50%，3 个部分总占比 100%。

**教材选用情况：**

**是否使用教材：**  是  否。若使用教材，请填写以下表格信息，原则上教材数量不宜超过 2 本。

序号	教材名称	主编	ISBN	出版年月	出版单位	教材使用情况	教材类型
1						<input type="checkbox"/> 马工程重点教材 <input type="checkbox"/> 已出版自编教材 <input type="checkbox"/> 境外教材 <input type="checkbox"/> 其他已出版教材	<input type="checkbox"/> 国家级规划教材 <input type="checkbox"/> 省部级规划教材 <input type="checkbox"/> 校级重点立项教材 <input type="checkbox"/> 其他

**教学参考资料**（包括作者、书名、出版社、出版时间和 ISBN）：

号 No.	名称 Title	作者 Author(s)	标准 号码 ISBN/DIO	出版机 构 Publisher	出版 日期 Publication Date	是否必 读 Mandatory or Elective
1	Compact Modeling: Principles, Techniques and Applications	Gennady Gildenblat	97890481 86136	Springer	2010	否
2	SPICE	Gordon Roberts	01951084 26	Oxford University Press	1996	否

### 5.1.2 集成电路纳米技术 (CICE130002)

课程代码	CICE130002						
中文名称	集成电路纳米技术						
英文名称	CMOS nanotechnology						
学分数	2	周课时	2	授课语言	中文		
开课时间	一年级		二年级		三年级		四年级
	秋	春	秋	春	秋	春	秋 春
课程性质	<input type="checkbox"/> 通识教育核心 <input type="checkbox"/> 通识教育专项 <input type="checkbox"/> 大类基础 <input checked="" type="checkbox"/> 其他			“2+X”专业: <input checked="" type="checkbox"/> 专业核心 <input type="checkbox"/> 专业进阶 非“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修			
	<b>教学目的</b> 通过本课程学习,深入了解纳米尺度下晶体管器件性能调控机制和方法以及新型集成电路纳米器件,掌握关键集成电路纳米表征与加工技术,培养学生科学的研究思维和基本研究能力,强调理论联系实际,为将来从事集成电路相关工作奠定扎实的基础。						
<b>基本内容简介</b> 本课程教学内容将包括晶体管尺寸微缩效应以及相关材料与器件结构的优化方法;新型集成电路纳米逻辑与存储器件;关键纳米表征和加工技术在集成电路中的应用。							
<b>基本要求:</b> 预修大学物理、高等数学和半导体物理课程,掌握基本半导体知识。							
<b>授课方式:</b> 讲授为主,强调理论联系实际。							
<b>主讲教师简介:</b> 蒋昊,复旦大学集成电路与微纳电子创新学院研究员,入选国家及上海海外高层次青年人才计划。2011年6月获南京大学学士学位,2018年2月获美国马萨诸塞大学阿默斯特分校博士学位;2017年12月-2018年9月在美国马萨诸塞大学阿默斯特分校从事博士后工作,2018年9月-2020年5月在美国耶鲁大学从事博士后工作,2020年5月-2021年10月加入美国美光(Micron)公司,任新型存储器研发工程师;2022年1月至今在复旦大学担任研究员。研究领域:新型存储技术。  向都:青年研究员,新加坡国立大学物理系博士,研究方向为低维半导体材料的合成及其晶体管输运性质、逻辑存储、神经形态器件的研究。荣获国家自然科学基金委优秀青年(海外)、上海市海外高层次人才引进人才、复旦大学新工科人才计划、国家优秀自费留学生奖学金等荣誉和奖项。							
<b>教学团队成员</b>							
姓名	性别	职称	院系		在教学中承担的职责		
蒋昊	男	青年研究员	集成电路与微纳电子创新学院		主讲		

向都	男	青年研究员	集成电路与微纳电子创新学院			主讲	
<b>教学内容安排</b> （具体到每节课内容）：  第一章 前言（2个学时）：简介纳米尺度下科学与技术； 第二章 集成电路中的纳米电子器件 2.1 硅基晶体管及其微缩效应（6个学时）：温习晶体管基础知识，详细介绍尺寸微缩对晶体管特性的影响，尤其是短沟道效应、载流子迁移率以及漏电等； 2.2 硅基晶体管微缩下的材料与结构优化（4个学时）：应变硅、高k介质以及鳍式场效应晶体管等； 2.3 新型非硅沟道晶体管器件（3个学时）：从碳纳米管、二维材料到氧化物薄膜，包括其机理与进展； 2.4 新型存储器件（3个学时）：简介包括阻变、铁电、相变以及磁等新型存储器技术的工作原理以及其中的关键科学理论； 第三章 行业科技前沿（2个学时）：行业内学术界与工业界专家邀请报告 第四章 集成电路中的纳米技术应用 3.1 物相及成分分析技术（2个学时）：X射线光电子能谱与X射线衍射技术； 3.2 先进显微技术（2个学时）：原子力显微技术、扫描与透射电子显微技术、扫描探针显微技术； 3.3 纳米薄膜沉积技术（2个学时）：化学、物理、原子层沉积技术； 3.4 纳米光刻技术（2个学时）：光学及电子束光刻技术、纳米压印技术、自组装技术； 第五章 反转课堂（4个学时）：以研讨会的形式，学生自主选取感兴趣的前沿方向做10-15分钟调研报告							
<b>课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计：</b> 每周课时的最后十分钟为课堂讨论，讨论的主要内容是本堂课的知识内容掌握情况。							
<b>考核和评价方式</b> （提供学生课程最终成绩的分数组成，体现形成性的评价过程）： 最终成绩由平时成绩（占30%）、调研报告（占20%）和期末考试成绩（占50%）构成。							
<b>教材选用情况：自编PPT</b> <b>是否使用教材：</b> <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否。若使用教材，请填写以下表格信息，原则上教材数量不宜超过2本。							
序号	教材名称	主编	ISBN	出版年月	出版单位	教材使用情况	教材类型
1						<input type="checkbox"/> 马工程重点教材 <input type="checkbox"/> 已出版自编教材 <input type="checkbox"/> 境外教材 <input type="checkbox"/> 其他已出版教材	<input type="checkbox"/> 国家级规划教材 <input type="checkbox"/> 省部级规划教材 <input type="checkbox"/> 校级重点立项教材 <input type="checkbox"/> 其他

**教学参考资料**（包括作者、书名、出版社、出版时间和 ISBN）:

1. Modern Semiconductor Devices for Integrated Circuits, Chenming Hu, Prentice Hall, 2009/4/1, ISBN: 9780136085256;
2. 纳米 CMOS 集成电路, Harry Veendrick, 电子工业出版社, 2011/1/1, ISBN: 9787121126970;
3. 材料结构表征及应用, 吴刚, 化学工业出版社, 2004/2, ISBN: 9787502533403。

### 5.1.3 集成电路封装与测试 (CICE130003)

课程代码	CICE130003						
中文名称	集成电路封装与测试						
英文名称	Integrated Circuit Packaging and Testing						
学分数	3	周课时	3	授课语言	中文		
开课时间	一年级		二年级		三年级		四年级
	秋	春	秋	春	秋	春	秋 春
课程性质	<input type="checkbox"/> 通识教育核心		<input type="checkbox"/> 通识教育专项		“2+X”专业: <input checked="" type="checkbox"/> 专业核心 <input type="checkbox"/> 专业进阶		
	<input type="checkbox"/> 大类基础		<input checked="" type="checkbox"/> 其他		非“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修		
教学目的	<p>通过本课程的学习, 学生可以</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 熟悉集成电路封装和测试技术发展历程和最新技术进展;</li> <li>2) 掌握集成电路封装技术相关的设备、材料和工艺等基础知识;</li> <li>3) 了解集成电路测试原理、方法及应用, 为将来从事集成电路设计、工艺和封装等相关科研和工作打下基础。</li> </ol>						
基本内容简介	<p>本课程主要分为以下几个模块:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 集成电路封装和测试的意义和需求;</li> <li>2) 传统集成电路封装技术, 从应用、材料、工艺和设备等方面展开介绍;</li> <li>3) 先进封装技术, 主要包括 2.5D、3D 等先进封装技术, 从当前发展路线、关键技术和发展趋势等方面展开;</li> <li>4) 集成电路测试技术, 主要包括测试内容、测试原理、测试方法等内容;</li> <li>5) 理论结合实际: 以实际产品为案例介绍集成电路测试和封装技术在应用中的作用和实现</li> </ol>						
基本要求:	<p>学生可以熟悉不同的封装类型、应用需求和技术原理, 了解常用的测试方法和测试原理, 可以在实践中初步对所学知识进行验证, 可以针对代表性的芯片和系统设计合适的集成电路封装和测试方案。</p>						
授课方式:	<p>教学方法采用课堂讲授为主, 相关业界专业视频辅助教学, 学生分组报告和讨论, 并安排相关实验课加深理解并培养学生的实践能力。</p>						
主讲教师简介:	<p>江文宁, 博士, 集成电路与微纳电子创新学院 青年副研究员, 研究方向是高性能数模混合集成电路设计、高速 AD/DA、高速接口电路设计。</p> <p>袁凯平, 博士, 集成电路与微纳电子创新学院 青年副研究员, 主要从事新型微纳智能气体传感器方面的研究, 从光谱技术和半导体气体传感器技术出发, 基于新型半导体材料与器件, 旨在建立高集成度的气体传感器系统。</p>						
<b>教学团队成员</b>							

姓名	性别	职称	院系	在教学中承担的职责
江文宁	男	青年副研究员	集成电路与微纳电子创新学院	主讲
袁凯平	男	青年副研究员	集成电路与微纳电子创新学院	主讲

**教学内容安排**（具体到每节课内容）：

1. 第1周：3学时；  
课程绪论：集成电路发展历程、集成电路封装和测试的重要性和必要性、集成电路封装和测试的分类。
2. 第2周：3学时；  
传统封装流程：晶圆级、系统级和芯片级封装流程介绍以及主要技术难点和优缺点。
3. 第3周：3学时；  
传统封装过程中的设备、工艺和材料介绍以及实际应用和发展路线。
4. 第4周：3学时；  
传统封装方式在布局布线、大规模集成时在互连性能、电气特性、可靠性等方面的考虑。
5. 第5周：3学时；  
先进封装技术发展路线和当前技术介绍，主要包括 2.5D、3D 集成封装技术的特点、性能和设计考虑。
6. 第6周：3学时；  
课堂展示：学生调研先进封装技术的发展现状，课上 PPT 展示先进封装技术的最新应用和进展以及对先进封装技术发展趋势预测。
7. 第7周：3学时；  
先进封装详细介绍：材料工艺、基板工艺、连接技术等详细介绍。
8. 第8周：3学时；  
先进封装技术：芯片级封装及其关键技术和考虑。
9. 第9周：3学时；  
先进封装技术：系统级封装及其关键技术和考虑。
10. 第10周：3学时；  
先进封装技术：晶圆级封装及其关键技术和考虑。
11. 第11周：3学时；  
先进封装技术：Chiplet 封装及其关键技术和考虑。
12. 第12周：3学时；  
先进封装过程中遇到的关键技术问题：缺陷和可靠性问题、热力学问题、应力问题和失效分析等。
13. 第13周：3学时；  
针对封装性能的测试技术和测试方法：芯片级测试、系统级测试和晶圆级测试等。
14. 第14周：3学时；  
集成电路主要测试设备、测试原理和测试方法介绍。
15. 第15周：3学时；  
当前常见的工业测试：单片测试、系统级测试、大规模集成电路测试。现场进行测试实物展示，进行课题互动。
16. 第16周：3学时；  
集成电路封装和测试未来发展趋势展望，当前最先进技术介绍。

17. 第 17 周：3 学时；  
课程小论文报告（上）：由学生完成课程设计/调研报告，并在课堂上讲述，老师给予指导意见和建议。

18. 第 18 周：3 学时；  
课程小论文报告（下）：由学生完成课程设计/调研报告，并在课堂上讲述，老师给予指导意见和建议。

**课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计：**

将安排一次封装和测试实物展示。另外将安排一次学生展示和课堂讨论环节，每位学生十分钟左右，针对某个具体应用或者芯片采用的先进封装技术进行调研并对先进封装技术发展趋势预测。

**考核和评价方式**（提供学生课程最终成绩的分数组成，体现形成性的评价过程）：

最终成绩主要包括三部分：1）平时作业占比 30%；2）课堂展示占比 30%；3）期末小论文占比 40%，从多个研究题目中任选一个，完成一份调研、分析和论证报告。

**教材选用情况：**

**是否使用教材：**  是  否。若使用教材，请填写以下表格信息，原则上教材数量不宜超过 2 本。

序号	教材名称	主编	ISBN	出版年月	出版单位	教材使用情况	教材类型
1							

**教学参考资料**（包括作者、书名、出版社、出版时间和 ISBN）：

**自编讲义：**根据参考资料及最新的文献自编讲义。

**参考资料：**

《器件和系统封装技术与应用:technologies and applications》（第二版），图马拉（Tummala, Rao R.）主编，蔡镇 译 曹扬磊 译，机械工业出版社，2021。

《“芯”想事成：集成电路的封装与测试》刘子玉 著，上海科学普及出版社，2022。

《Test Techniques for Analog Circuits and Systems》，Haralampos-G Stratigopoulos, Université de Grenoble, 2015。



## 5.2 专业进阶课

### 5.2.1 超低功耗集成电路设计（CICE130004）

课程代码	CICE130004				
中文名称	超低功耗集成电路设计				
英文名称	Ultra-low Power Integrated Circuit Design				
学分数	3	周课时	3	授课语言	中文
课程性质	<input type="checkbox"/> 通识教育核心 <input type="checkbox"/> 通识教育专项 <input type="checkbox"/> 大类基础 <input checked="" type="checkbox"/> 其他		“2+X”专业： <input type="checkbox"/> 专业核心 <input checked="" type="checkbox"/> 专业进阶 非“2+X”专业： <input type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修		
	<b>教学目的</b> 通过本课程的教学，使学生了解 CMOS 集成电路功耗的来源、低功耗设计的基本原理和本领域的最新发展动态，掌握低功耗集成电路设计方法；帮助学生熟悉最新的超低功耗设计技术，锻炼学生的实践和创新能力，使之能够掌握从器件、电路到系统的低功耗设计基本技术。				
<b>基本内容简介</b>	本课程首先介绍集成电路工艺和 MOS 器件结构，进而从器件层面分析功耗的主要来源以及低功耗优化框架，然后分别从电路、系统、架构等方面详细介绍低功耗设计方法，再从应用角度介绍时钟、存储器、待机/工作状态的低功耗设计手段，最后介绍低功耗设计流程以及本领域最新的超低功耗设计技术。				
<b>基本要求：</b> 学生应掌握 CMOS 集成电路的器件结构和 MOS 管基本特性，了解器件/电路/系统的主要功耗来源，熟悉功耗抑制的基本原理，了解常用的低功耗设计方法如多电压域、电源门控、动态电压频率调节、亚阈值电路设计等，能够对电路/系统的功耗进行仿真分析，形成低功耗设计的基本能力。					
<b>授课方式：</b> 课堂讲授为主					
<b>主讲教师简介：</b> 黄张成，博士，青年研究员，南京大学本科毕业，在中国科学院研究生院获博士学位，主要从事智能感知芯片研究。主持有国家自然科学基金、上海市探索者计划、国自然重点基金课题等。作为通讯/第一作者在 DAC、TCAS-I、TCAS-II 等会议/期刊发表文章 30 余篇。曾担任十余个航天遥感工程/预研项目/元器件 XX 项目的副主任设计师/主管设计师，研制的专用电路芯片在我国天宫二号、风云四号、环境卫星等重点型号卫星中成功应用，研制的高性能读出电路在光谱成像领域实现产业化。					
<b>教学内容安排</b> （具体到每节课内容）：					
周次	内容	形式	学时		
第一周	课程绪论	讲授	3		
第二周	CMOS 集成电路工艺	讲授	3		
第三周	CMOS 器件结构与模型	讲授	3		
第四周	功耗与能耗基础	讲授	3		

第五周	低功耗优化框架	讲授	3
第六周	动态功耗优化-多电压域	讲授	3
第七周	动态功耗优化-其它技术	讲授	3
第八周	静态功耗优化技术	讲授	3
第九周	系统级低功耗设计-架构层	讲授	3
第十周	系统级低功耗设计-系统层	讲授	3
第十一周	低功耗芯片时钟设计	讲授	3
第十二周	低功耗存储器	讲授	3
第十三周	低功耗优化	讲授	3
第十四周	集成电路功耗分析	讲授+实验	3
第十五周	超低功耗/电压设计方法	讲授	3
第十六周	低功耗设计方法与流程	讲授	3
第十七周	考试周：完成课程 Project 报告		
第十八周	考试周：期末考试		

**课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计：**

本课程是以理论为主、兼有实践的课程，安排 1 次基于自动化软件的仿真类实验，和 1 次在指定题目范围内的课程 Project。

其中，1 次仿真类为：

- 1) 集成电路仿真与功耗分析（免费仿真软件）

**考核和评价方式**（提供学生课程最终成绩的分数组成，体现形成性的评价过程）：

平时作业 30%，课程期末 Project 20%，期末开卷考试占 50%。

**教材选用情况：**

**是否使用教材：** 是 否。若使用教材，请填写以下表格信息，原则上教材数量不宜超过 2 本。

序号	教材名称	主编	ISBN	出版年月	出版单位	教材使用情况	教材类型
1	低功耗设计精解（Low Power Design Essentials）	Jan Rabaey	9787111638278	2020 年 1 月	机械工业出版社	<input type="checkbox"/> 马工程重点教材 <input type="checkbox"/> 已出版自编教材 <input type="checkbox"/> 境外教材 <input checked="" type="checkbox"/> 其他已出版教材	<input type="checkbox"/> 国家级规划教材 <input type="checkbox"/> 省部级规划教材 <input type="checkbox"/> 校级重点立项教材 <input checked="" type="checkbox"/> 其他

**教学参考资料**（包括作者、书名、出版社、出版时间和 ISBN）：

1. Kiat-Seng Yeo 等著，周元英等译，低压低功耗 CMOS/BiCMOS 超大规模集成电路，电子工业出版社，2003 年；

## 5.2.2 模拟电路测试原理 (CICE130005)

课程代码	CICE130005				
中文名称	模拟电路测试原理				
英文名称	Test Techniques for Analog Circuits				
学分数	3	周课时	3	授课语言	中文
课程性质	<input type="checkbox"/> 通识教育核心 <input type="checkbox"/> 通识教育专项 <input type="checkbox"/> 大类基础 <input checked="" type="checkbox"/> 其他		“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业核心 <input checked="" type="checkbox"/> 专业进阶 非“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修		
	<p><b>教学目的</b></p> <p>通过本课程的学习,使学生掌握模拟电路测试的基本原理和基本测试方法,具备根据特定模拟电路来选择合适的测试技术并具有故障分析的基本能力;通过对各类模拟电路技术原理、基本流程和建模过程的讲解,培养学生的逻辑思维和科学研究能力,为从事集成电路相关工作提供必要的基础知识。</p>				
<p><b>基本内容简介</b></p>	<p>本课程内容包括模拟电路的测试技术分类、基本测试流程、测试模型、测试成本模型、误差诊断、故障分析、电路可测试性设计、自修复技术、错误冗余技术和计算机辅助设计测试技术等。重点介绍和分析 RF 电路、ADC 电路和神经形态硬件电路的测试基本原理、基本流程和测试方法等。</p>				
<p><b>基本要求:</b></p> <p>要求学生具有模拟电路技术、数字电路技术和集成电路实验课的相关基础。</p>					
<p><b>授课方式:</b></p> <p>教学方法采用课堂讲授为主,引导学生积极思考,课后作业辅助加深理解,使学生掌握本课程的基本内容,并学会解决一些实际相关问题的方法。</p>					
<p><b>主讲教师简介:</b></p> <p>王明,复旦大学青年研究员,博士生导师,入选国家、上海海外高层次人才计划,复旦大学新工科人才计划。作为项目负责人主持了国家重点研发计划、国家自然科学基金和上海脑计划“求索杰出青年”研究组长等项目,参与国家自然科学基金重点、面上等多项项目。以第一/通讯作者在 Nat. Electron.、Nat. Commun.、Adv. Mater. 和 IEEE EDL 等高水平期刊发表多篇论文。研究方向为新型存储与计算、柔性智能感知技术,主要包括下一代存储器、神经形态计算器件与系统、柔性可拉伸传感器及系统集成技术等。</p> <p>江文宁,博士,集成电路与微纳电子创新学院 青年副研究员,研究方向是高性能数模混合集成电路设计、高速 AD/DA、高速接口电路设计。</p>					
<b>教学团队成员</b>					
姓名	性别	职称	院系	在教学中承担的职责	
王明	男	青年研究员	集成电路与微纳电子创新学院	主讲	

江文宁	男	青年副 研究员	集成电路与微纳电子创新学院	主讲
-----	---	------------	---------------	----

**教学内容安排**（具体到每节课内容）：

本课程 3 学分，每周 3 学时，共计 48 学时，教学内容如下：

- 第 1 周 绪论，模拟电路概述，电路测试的重要性及其挑战
- 第 2 周 模拟电路的测试技术的分类及基本流程
- 第 3 周 基于机器学习的模拟电路测试技术，自适应电路测试流程
- 第 4 周 测试模型，测试成本模型
- 第 5 周 RF 电路的测试基本原理，RF 电路的校准算法，缺陷导向的测试机理
- 第 6 周 ADC 电路的测试基本原理，基本流程，动态测试方法
- 第 7 周 神经形态电路的测试基本原理，测试架构与硬件测试方法
- 第 8 周 测试性能参数评估，密度估计，极端条件测试
- 第 9 周 测试用例模型，模拟拟合与分析
- 第 10 周 误差诊断基本概念、流程和基本原理
- 第 11 周 突变故障诊断技术和参数故障诊断技术
- 第 12 周 设计合成技术
- 第 13 周 集成电路测试和电路可测试性设计
- 第 14 周 自修复技术，错误冗余技术和自愈合技术
- 第 15 周 计算机辅助设计的测试技术
- 第 16 周 课程设计/调研报告。学生完成课程设计/调研报告，并在课堂上讲述。

**课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计：**

时间：第 16 周的全部课时；地点：授课教室。内容安排：学生以个人或小组的形式在课下完成课程设计/调研报告，并在课堂上讲述，老师给予指导意见和建议。

**考核和评价方式**（提供学生课程最终成绩的分数组成，体现形成性的评价过程）：

考核方式：平时成绩（40%）+课程设计/调研报告（60%）

**教材选用情况：**

是否使用教材：■是 □否。若使用教材，请填写以下表格信息，原则上教材数量不宜超过 2 本。

序号	教材名称	主编	ISBN	出版年月	出版单位	教材使用情况	教材类型
1	《Test Techniques for Analog Circuits and Systems》	M. Jean-Michel FOURNIER	/	2015.7	Université de Grenoble	<input type="checkbox"/> 马工程重点教材 <input type="checkbox"/> 已出版自编教材 <input checked="" type="checkbox"/> 境外教材 <input type="checkbox"/> 其他已出版教材	<input type="checkbox"/> 国家级规划教材 <input type="checkbox"/> 省部级规划教材 <input type="checkbox"/> 校级重点立项教材 <input checked="" type="checkbox"/> 其他
2						<input type="checkbox"/> 马工程重点教材 <input type="checkbox"/> 已出版自编教材 <input type="checkbox"/> 境外教材 <input type="checkbox"/> 其他已出版教材	<input type="checkbox"/> 国家级规划教材 <input type="checkbox"/> 省部级规划教材 <input type="checkbox"/> 校级重点立项教材 <input type="checkbox"/> 其他

**教学参考资料**（包括作者、书名、出版社、出版时间和 ISBN）：

### 5.2.3 光电子器件与集成 (CICE130006)

课程代码	CICE130006				
中文名称	光电子器件与集成				
英文名称	Optoelectronic Devices and Integration				
学分数	3	周课时	3	授课语言	中文
课程性质	<input type="checkbox"/> 通识教育核心 <input type="checkbox"/> 通识教育专项 <input type="checkbox"/> 大类基础 <input checked="" type="checkbox"/> 其他			“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业核心 <input checked="" type="checkbox"/> 专业进阶 非“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修	
	通过本课程的学习使学生对“光电子器件与集成”的基础理论、器件原理以及制作工艺流程有比较全面的了解,并对光子-电子相互作用、光电探测技术、光波导理论等有较深的理解,掌握典型的集成光电子器件的工作原理、基本结构及应用。结合国际上这一领域的最新进展,激发学生对该领域相关方向的兴趣,培养学生分析问题的能力和思维方式。				
基本内容简介	本课程主要教授有关光电子器件与集成的相关理论知识和制备工艺与技术,以光信息传输过程中所使用的光源和探测、光信息存储所需的光电子器件为应用背景,对所涉及的半导体材料中的光子与电子相互作用的基本理论、典型集成光电子学元器件的制备工艺流程和器件结构与性能要求进行介绍。 本课程以课堂讲授的形式开展,突出课程内容的先进性与专业性、应用性,拓展学生的知识视野,使学生对所学的理论知识形象化具体化。				
<b>基本要求:</b> 1. 能够了解半导体材料在集成光电子学器件上的应用,对于重要材料的基本参数有深入了解。 2. 对于半导体激光器,光放大器及光探测器的工作原理与结构性能有深刻理解。 3. 熟悉典型集成光学元器件的制备工艺流程,理解系统集成的概念。					
<b>授课方式:</b> 课堂知识讲授、习题讲解、课后答疑。					
<b>课程负责人简介:</b> 王建禄,复旦大学集成电路与微纳电子创新学院教授,博导。2010年于中国科学院上海技术物理研究所获得微电子与固体电子学专业博士学位,2010-2021年在中国科学院上海技术物理研究所分别任助理研究员、副研究员和研究员。主要研究方向包括新型光电材料与探测器,铁电材料物理及器件,光电感知芯片与系统。					
<b>教学团队成员</b>					
姓名	性别	职称	院系	在教学中承担的职责	
陈艳	女	青年副研究员	光电研究院	承担介质波导等内容的教学任务	
吴广健	男	博士后	集成电路与微纳电子创新学院	承担部分二极管器件的教学任务	

**教学内容安排**（具体到每节课内容）：

第1周	王建禄	半导体基本概念：能带概述、统计分布及非本征半导体
第2周	陈艳	光子-电子相互作用：光子密度与能量分布及电子态密度与占据几率
第3周	陈艳	光子-电子相互作用：半导体中的载流子复合及增益过程
第4周	吴广健	发光二极管：pn结原理、能带图、反相电流及动态电容电阻
第5周	吴广健	发光二极管：基本原理、材料与结构、基本特性及其典型应用
第6周	吴广健	半导体激光器：半导体激光器原理、异质结半导体激光器、量子阱器件
第7周	吴广健	半导体激光器：激光二极管的基本特性、单频半导体激光器、垂直腔面发射激
第8周	吴广健	半导体放大器：半导体放大器原理及增益特性、噪声特性和耦合特性
第9周	王建禄	光电探测器：光电探测基本原理及性能参数、光电探测材料及吸收系数
第10周	王建禄	光电探测器：光电二极管原理、pn/pin结型光电探测器
第11周	王建禄	光电探测器：雪崩/异质结/肖特基结光电二极管、基本光电二极管电路
第12周	王建禄	光电探测器：光电探测器噪声及图像传感器、太阳能电池
第13周	陈艳	介质波导与光纤：对称平面介质平板波导及其数值孔径
第14周	陈艳	介质波导与光纤：光纤的基本原理、衰减损耗及其制造工艺
第15周	陈艳	光电子器件集成：光子集成回路和光电子集成回路简介
第16周	王建禄	复习，习题讲解及期末答疑
第17-18周	王建禄	期末考试

**课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计：**

在教学上采用对关键概念的强调和重复、问答形式加强在课堂上与学生互动；通过安排习题及课堂测试，进一步巩固和扩展课堂教学内容；以实际问题的提出与求解为线索，鼓励学生利用已有的知识来解决所面临的问题；在教学第16周，安排复习、讲解习题及期末答疑。

**考核和评价方式**（提供学生课程最终成绩的分数组成，体现形成性的评价过程）：

平时成绩占30%，期末闭卷考试成绩占70%

**教材选用情况：**

**是否使用教材：** 是 否。若使用教材，请填写以下表格信息，原则上教材数量不宜超过2本。

序号	教材名称	主编	ISBN	出版年月	出版单位	教材使用情况	教材类型
1	《光电子学与光电子-原理与实践》	S. O. Kasap	978-7-121-24993-8	2016.01	电子工业出版社	<input type="checkbox"/> 马工程重点教材 <input type="checkbox"/> 已出版自编教材 <input checked="" type="checkbox"/> 境外教材 <input type="checkbox"/> 其他已出版教材	<input type="checkbox"/> 国家级规划教材 <input type="checkbox"/> 省部级规划教材 <input type="checkbox"/> 校级重点立项教材 <input checked="" type="checkbox"/> 其他

**教学参考资料**（包括作者、书名、出版社、出版时间和ISBN）：

- 《半导体光电子学》 黄德修，电子工业出版社，978-7-121-34256-1，2018年
- 《光电技术》 杨应平，清华大学出版社，978-7-302-54107-3，2020年

## 5.2.4 先进封装 (CICE130007)

课程代码	CICE130007				
中文名称	先进封装				
英文名称	Integrated Circuit Advance Packaging				
学分数	2	周课时	2	授课语言	中文
课程性质	<input type="checkbox"/> 通识教育核心 <input type="checkbox"/> 通识教育专项 <input type="checkbox"/> 大类基础 <input checked="" type="checkbox"/> 其他			“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业核心 <input checked="" type="checkbox"/> 专业进阶	
				非“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修	
教学目的	通过本课程的学习, 学生可以 1) 熟悉集成电路先进封装技术的原理、工艺、互连电路设计和应用; 2) 掌握集成电路先进封装技术相关的设备、材料、工艺和电路设计等基础知识; 3) 了解先进封装应用发展方向, 为将来从事集成电路设计、工艺和封装等相关科研和工作打下基础。				
基本内容简介	本课程主要分为以下几个模块: 6) 集成电路封装技术发展概述; 7) 先进封装技术, 从原理、结构、材料、工艺、设备和应用等方面展开介绍; 8) 先进封装技术应用, 主要包括 3D TSV interposer, fanout package, Chiplet 等先进封装技术, 从当前发展路线、关键技术、应用和发展趋势等方面展开; 9) 三维堆叠集成电路互连设计基础 10) 解析当前采用先进封装芯片的结构并结合封装产线参观。				
基本要求:	要求学生熟悉先进封装的概念、原理和优势, 掌握 2.5D、3D 封装的关键工艺步骤和制造流程, 了解先进封装过程中应用的材料的特点, 并且对三维集成芯片中互连电路设计基础进行了解, 进行并对当前主流高性能芯片所采用的的先进封装进行了解。				
授课方式:	教学方法采用课堂讲授为主, 相关业界专业视频辅助教学, 学生分组报告和讨论, 并安排相关实验课和参观课加深理解并培养学生的实践能力。				
主讲教师简介:	袁凯平, 博士, 集成电路与微纳电子创新学院 青年副研究员, 主要从事新型微纳智能气体传感器方面的研究。  江文宁, 博士, 集成电路与微纳电子创新学院 青年副研究员, 研究方向是高性能数模混合集成电路设计、高速 AD/DA、高速接口电路设计。				
<b>教学团队成员</b>					
姓名	性别	职称	院系	在教学中承担的职责	
袁凯平	男	青年副研究员	集成电路与微纳电子创新学院	主讲	

江文宇	男	青年副 研究员	集成电路与微纳电子创新学院	主讲
<p><b>教学内容安排</b>（具体到每节课内容）：</p> <p>第1周：2学时；主讲老师： 课程绪论：集成电路封装工艺制程简介。</p> <p>第2周：2学时；主讲老师： 传统芯片封装的定义、功能、分类和制造工艺；分析主要技术难点和优缺点。</p> <p>第3周：2学时；主讲老师： 倒装芯片技术：概述、凸点制作技术、倒装芯片互连，关键材料等。</p> <p>第4周：2学时；主讲老师： BGA 芯片封装技术制造工艺及应用</p> <p>第5周：3学时；主讲老师： 芯片系统集成封装工艺：系统级封装的分类和应用</p> <p>第6周：3学时；主讲老师： 三维封装发展概述，3D 封装关键工艺</p> <p>第7周：3学时；主讲老师： TSV 工艺制程：刻蚀技术、电镀填充、背面露铜技术</p> <p>第8周：3学时；主讲老师： 晶圆键合技术与应用：晶圆级键合与 3D 封装概述，金属圆片键合技术等</p> <p>第9周：3学时；主讲老师： 晶圆减薄与拿持技术：减薄技术、临时键合技术和拆键合技术</p> <p>第10周：3学时；主讲老师： 再布线与微凸点技术：再布线技术、凸点技术</p> <p>第11周：3学时；主讲老师： 2.5D TSV 中介层封装技术：TSV 中介层的结构与特点，发展与应用，电性能分析，中介层封装设计与仿真，实例讨论。</p> <p>第11周：3学时；主讲老师： 3D 晶圆级芯片尺寸封装：集成芯片中互连电路设计基础</p> <p>第12周：3学时；主讲老师： 3D 集成电路集成封装：3D 集成方法，存储器集成方法、异质芯片 3D 集成</p> <p>第13周：3学时；主讲老师： 先进封装集成电路的散热和可靠性：3D 集成电路中的热管理，散热影响因素与改进，热机械可靠性，3D 集成电路中的电迁移等。</p> <p>第15周：3学时；主讲老师： 学生分组调研展示及讨论</p> <p>第16周：3学时；指导老师： 随堂考试并提交课程小论文报告</p>				
<p><b>课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计：</b></p> <p>本课程注重理论结合实际和课堂互动，将安排一次封装和测试实物展示。另外将安排一次学生展示和课堂讨论环节，地点为授课的教室。</p> <p>第15周 课堂展示：每位学生十分钟左右，针对某个具体应用或者芯片采用的先进封装技术进行调研并对先进封装技术发展趋势预测。</p>				
<p><b>考核和评价方式</b>（提供学生课程最终成绩的分数组成，体现形成性的评价过程）：</p> <p>最终成绩主要包括三部分：1) 平时作业占比 30%；2) 课堂展示占比 30%；3) 期末小论文占比 40%，从多个研究题目中任选一个，完成一份调研、分析和论证报告。</p>				
<p><b>教材选用情况：</b></p>				



是否使用教材：是 否。若使用教材，请填写以下表格信息，原则上教材数量不宜超过 2 本。

序号	教材名称	主编	ISBN	出版年月	出版单位	教材使用情况	教材类型
1						<input type="checkbox"/> 马工程重点教材 <input type="checkbox"/> 已出版自编教材 <input type="checkbox"/> 境外教材 <input type="checkbox"/> 其他已出版教材	<input type="checkbox"/> 国家级规划教材 <input type="checkbox"/> 省部级规划教材 <input type="checkbox"/> 校级重点立项教材 <input type="checkbox"/> 其他

**教学参考资料**（包括作者、书名、出版社、出版时间和 ISBN）：

**自编讲义：**根据参考资料及最新的文献自编讲义。

**参考资料：**

《先进倒装芯片封装技术》，唐和明 赖逸少 汪正平主编，化学工业出版社，2017。

《芯片先进封装制造》姚玉 周文成著，暨南大学出版社，2019。

## 5.2.5 存储器技术 (CICE130008)

课程代码	CICE130008				
中文名称	存储器技术				
英文名称	Memory Technology				
学分数	3	周课时	3	授课语言	中文
课程性质	<input type="checkbox"/> 通识教育核心 <input type="checkbox"/> 通识教育专项 <input type="checkbox"/> 大类基础 <input checked="" type="checkbox"/> 其他			“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业核心 <input checked="" type="checkbox"/> 专业进阶	
				非“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修	
教学目的	存储器是计算机结构的主要组成部分之一，在推动信息化社会的发展中具有举足轻重的地位。本课程拟讲授存储器技术的基础知识，包括主流存储器以及新型存储器等内容。可以使学生在已有半导体物理与器件知识基础上进一步了解各类存储器的器件结构、工作原理以及未来发展趋势。帮助学生了解信息技术领域的基础硬件以及集成电路中存储器技术的发展现状和趋势。				
基本内容简介	<p>课程教学的基本内容包含以下四部分内容：</p> <p>(一) 存储器技术概述：介绍存储器的基本概念、分类和层次化架构，以及前序课程的基础知识，回顾存储器的发展历程并介绍存储器的产业市场需求以及挑战。</p> <p>(二) 主流存储器技术：介绍计算机系统中的典型存储器工作机制及其作用，包括静态随机存储器 (SRAM)，高性能动态随机存储器(DRAM)，非挥发快闪存储器(Flash)，明确各层级存储器是如何工作并相互协作的。</p> <p>(三) 新型存储器技术：介绍传统存储器技术面临的挑战以及新兴存储器技术，包括阻变存储器 (RRAM)、相变存储器 (PCM)、磁存储器 (MRAM)、铁电存储器 (FRAM)。</p> <p>(四) 存储器驱动的新型计算技术：从实现高性能计算的角度出发，介绍打破传统冯·诺伊曼计算体系架构的新型计算技术，包括近存计算技术、存内计算技术以及神经形态计算。</p>				
基本要求:	<p>本课程拟面向工科试验班（集成电路领军人才班）2+X 培养计划的三年级本科生开设，是“集成电路模块”专业进阶课程。先修课程包括：固体物理、半导体物理与器件、集成电路工艺原理、电路基础。选修本课程学生须理解课程基本内容，完成课程作业与实验。</p>				
授课方式:	授课以讲授为主。				
课程负责人简介:	<p>刘琦，男，博士，复旦大学集成电路与微纳电子创新学院教授，杰青，博导。主要研究方向包括新型非易失存储技术、神经形态器件、类脑计算、存算一体芯片及系统。主持了国家重点研发计划、国家自然科学基金委杰青、优青和重点等项目，作为课题负责人参与 JKW 基础加强重点项目等。在 Science、Nat. Nano.、Nat. Electron.、Nat. Commun.、Adv. Mater.、Nano Lett.、IEEE EDL 等期刊发表 SCI 论文 100 多篇，Google 引用 16000 多次，获得授权中国发明专利 70 项，美国发明专利 10 项。曾获得国家自然科学二等奖、电子学会科学技术进步一等奖、中科院青年科学家奖、中科院杰出科技成就奖等奖项。</p>				

教学团队成员				
姓名	性别	职称	院系	在教学中承担的职责
张续猛	男	青年副研究员	集成电路与微纳电子创新学院	共同授课
魏莹芬	女	青年研究员	集成电路与微纳电子创新学院	共同授课
<b>教学内容安排</b> （具体到每节课内容）： 根据教学基本内容的四个部分，在下表中详细列出了每周教学内容：				
章节 Chapter	教学周 Week.	教学内容及预期效果 Content & Expected Achievement		作业/实验 Assignment
存储器概述	1	课程绪论：存储器技术概述		
	2	基础 1：能带理论与半导体器件基础		
	3	基础 2：基尔霍夫定律与反相器介绍		作业 1
主流存储器技术	4	SRAM 存储器 1：SRAM 单元、电路和缓存系统		
	5	SRAM 存储器 2：SRAM 的工艺涨落和冗余技术、发展趋势和未来挑战		作业 2
	6	DRAM 存储器 1：DRAM 单元、电路和系统		
	7	DRAM 存储器 2：主流 DRAM 技术		
	8	DRAM 存储器 3：新型 DRAM 技术		作业 3
	9	Flash 存储器 1：Flash 器件结构与工作原理		
	10	Flash 存储器 2：NOR 型和 NAND 型 Flash		
	11	Flash 存储器 3：Flash 发展历程和三维集成技术		作业 4
新型存储器技术	12	新型存储器 1：阻变、相变、磁和铁电存储器概述		
	13	新型存储器 2：新型存储器阵列与工艺		
	14	新型存储器 3：存储芯片电学测试与实验报告		期末 Project
存储驱动的新型计算技术	15	新型计算技术 1：计算体系结构发展概述		
	16	新型计算技术 2：近存、存算与神经形态计算前沿		
期末	17	考试周：期末设计报告		
	18	期末考试		
<b>课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计：</b> 本课程主要剖析介绍存储器的基础知识，教学周期内将安排学生进行 Flash、RRAM、FRAM 的电学测试，更好地理解课程内容。				
<b>考核和评价方式</b> （提供学生课程最终成绩的分数组成，体现形成性的评价过程）： 该课程成绩采用等级制，分别用 A、B、C、D 表示，期末考核方式为课程论文撰写，学生成绩构成包括平时出勤、作业/实验及期末课程论文 3 个部分。各部分比重如下：平时出勤占比 10%；作业/实验占比 40%（包括 4 次作业，每次 10%）；期末课程设计与考试占比 50%，3 个部分总占比 100%。				
<b>教材选用情况：</b> 是否使用教材：40 <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否。若使用教材，请填写以下表格信息，原则上教材数量不宜超过 2 本。				

序号	教材名称	主编	ISBN	出版年月	出版单位	教材使用情况	教材类型
1	Semiconductor Memory and Circuits	Shiming Yu	9780367687076	2022	CRC	<input type="checkbox"/> 马工程重点教材 <input type="checkbox"/> 已出版自编教材 <input checked="" type="checkbox"/> 境外教材 <input checked="" type="checkbox"/> 其他已出版教材	<input type="checkbox"/> 国家级规划教材 <input type="checkbox"/> 省部级规划教材 <input type="checkbox"/> 校级重点立项教材 <input checked="" type="checkbox"/> 其他
<b>教学参考资料</b> （包括作者、书名、出版社、出版时间和 ISBN）:							
号 No.	名称 Title	作者 Author(s)	标准 号码 ISBN/DIO	出版机 构 Publisher	出版 日期 Publication Date	是否必 读 Mandatory or Elective	
1	先进半导体存储器：结构设计与应用	[美] 沙玛著，曾莹译	9787505399488	电子工业出版社	2005	否	
2	新型阻变存储技术	刘明	9787030418296	科学出版社	2014	否	

## 5.2.6 新型计算范式概论（CICE130009）

<b>课程代码</b>	CICE130009				
<b>中文名称</b>	新型计算范式概论				
<b>英文名称</b>	Introduction on Emerging Computing Paradigm				
<b>学分数</b>	3	<b>周课时</b>	3	<b>授课语言</b>	中文
<b>课程性质</b>	<input type="checkbox"/> 通识教育核心 <input type="checkbox"/> 通识教育专项		“2+X”专业： <input type="checkbox"/> 专业核心 <input checked="" type="checkbox"/> 专业进阶		
	<input type="checkbox"/> 大类基础 <input checked="" type="checkbox"/> 其他		非“2+X”专业： <input type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修		
<b>教学目的</b>	新型计算范式是指计算机科学中新兴的计算模型和方法，它们在设计 and 实现计算系统时采用了与以冯诺伊曼为代表的传统计算模型具有显著的差别。本课程拟教授面向这一领域的基础知识，通过介绍几类广泛应用的新型算法，并结合计算机体系结构知识帮助学生了解新算法和新架构协同设计的重要性，培养学生的软硬件协同设计的素养。				
<b>基本内容简介</b>	<p>课程教学的基本内容包含以下四个部分：</p> <p>（一）人工智能深度神经网络算法及其 DNN 专用处理器架构：具体包括经典机器学习、神经网络和深度学习人工智能的基本概念和算法，并介绍典型的神经处理器（NPU）架构。</p> <p>（二）类脑拟态神经网络算法及 SNN 专用处理器架构：具体包括神经元、神经突触、脉冲传递机制，及 STDP 学习机制的等基本概念，并介绍典型的脉冲神经网络（NPU）处理器架构。</p> <p>（三）量子计算范式及量子计算机架构：介绍量子计算的基本原理、量子比特、量子门和量子纠缠、通信等内容，讲解量子计算机与经典计算机的区别和应用前景。</p> <p>（四）其他可能出现的新型计算范式：分布式计算、后量子加密、同态加密、联邦学习、区块链算法等，具体内容根据实际情况安排决定。</p>				
<b>基本要求：</b>	<p>本课程拟面向微电子科学与工程专业集成电路实验班的四年级本科生开设，是专业进阶类选修课中“集成电路模块”的选修课。先修课程包括：程序设计、数字逻辑基础、嵌入式处理器与芯片系统设计。选修本课程学生须理解课程基本内容，完成课程作业与实验。</p>				
<b>授课方式：</b>	授课以讲授为主。				
<b>主讲教师简介：</b>	<p>陈迟晓，男，博士，集成电路与微纳电子创新学院副研究员，硕士生导师。2016-2018 年美国华盛顿大学博士后，研究方向包括人工智能处理器芯片、高效能数模混合集成电路等。以负责人身份承担国家自然科学基金面上项目、科技创新 2030——新一代人工智能重大项目课题，上海市青年科技启明星。以第一作者、通信作者多次在 ISSCC、DAC、ESSCIRC、IEEE TCAS-I/TCAS-II/JETCAS 上发表论文。邮箱：<a href="mailto:cxchen@fudan.edu.cn">cxchen@fudan.edu.cn</a>。</p>				
<b>教学内容安排（具体到每节课内容）：</b>	根据教学基本内容的四个部分，在下表中详细列出了每周教学内容：				

课时	教授内容
1	绪论：什么是新型计算范式
2	深度神经网络算法和卷积神经网络
3	Transformer 及大模型算法
4	NPU 处理器架构（一）SIMD、GPU 并行计算处理器架构
5	NPU 处理器架构（二）神经网络的数据流
6	NPU 处理器架构（三）脉动阵列与加速器
7	NPU 处理器架构（四）存算一体
8	脉冲神经网络（SNN）：神经元、神经突触
9	SNN 的学习机制 STDP
10	类脑拟态处理器架构（一）
11	类脑拟态处理器架构（二）
12	量子计算的基本原理：量子比特、量子门
13	量子计算的纠缠与加密
14	量子计算机简介
15	其他新型计算范式（一）分布式计算（暂定）
16	其他新型计算范式（二）哈希计算与同态加密（暂定）
17	期末复习
18	期末考试

**课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计：**

本课程主要剖析介绍新型计算范式的基础知识，并安排学生完成新算法-新架构的新范式作为实践。

**考核和评价方式（提供学生课程最终成绩的分数组成，体现形成性的评价过程）：**

该课程成绩采用等级制，分别用 A、B、C、D 表示，期末考核方式为课程论文撰写，学生成绩构成包括平时出勤、作业/实验及期末课程论文 3 个部分。各部分比重如下：平时出勤占比 10%；作业/实验占比 40%（包括 4 次作业，每次 10%）；期末课程设计与口试文占比 50%，3 个部分总占比 100%。

**教材选用情况：**

是否使用教材：是 否。若使用教材，请填写以下表格信息，原则上教材数量不宜超过 2 本。

序号	教材名称	主编	ISBN	出版年月	出版单位	教材使用情况	教材类型

**教学参考资料（包括作者、书名、出版社、出版时间和 ISBN）：**

序号 No.	名称 Title	作者 Author(s)	标准号码 ISBN/DIO	出版机构 Publisher	出版日期 Publication Date	是否必读 Mandatory or Elective
1	Tutorial on Hardware Accelerators for DNN	Vivienne Sze		IEEE Proceeding	2018	否
2	智能计算系统	陈云霁	9787111646235	机械工业出版社	2020	否

3	Quantum Computation and Quantum Information (量子计算与量子信息)	Michael, A. Nielsen, Isaac, L. Chuang 著	<b>9787302394853</b>	清华大学出版社	2015	否
---	---	---	----------------------	---------	------	---

## 5.2.7 集成电路发展概论 (CICE130010)

课程代码	CICE130010			
中文名称	集成电路发展概论			
英文名称	Introduction to The Development of Integrated Circuits			
学分数	3	周课时	3	授课语言 中文
课程性质	<input type="checkbox"/> 通识教育核心 <input type="checkbox"/> 通识教育专项 <input type="checkbox"/> 大类基础 <input checked="" type="checkbox"/> 其他		“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业核心 <input checked="" type="checkbox"/> 专业进阶 非“2+X”专业: <input type="checkbox"/> 专业必修 <input type="checkbox"/> 专业选修	
	<b>教学目的</b> 本课程从集成电路发展历程出发, 梳理各个发展阶段面临的关键科学问题以及对应解决手段, 通过教学, 使得高年级学生对集成电路领域的整体发展历史、发展规律、发展趋势有所把握, 以此促进学生对集成电路领域整体发展的把握。			
<b>基本内容简介</b>	本课程内容包括: 晶体管发明与早期集成工艺、长沟道 MOSFET 基本工艺与主要挑战、亚微米下 MOSFET 和 CMOS 发展趋势与主要挑战、深亚微米 CMOS 极限优化、未来 MOSFET 发展趋势。围绕 1970 年以来各个历史阶段集成电路的主要挑战, 以晶体管尺寸微缩为主线重点介绍晶体管在器件集成上的技术突破。			
<b>基本要求:</b> 通过本课程的学习, 要求学生了解集成电路如何从概念走向应用, 熟悉集成电路各个历史阶段面临的问题和主要解决手段, 掌握晶体管在接触、栅极结构、隔离和互连等技术的主要特点和历史, 把握集成电路发展规律, 对集成电路未来发展趋势具备一定认知能力。				
<b>授课方式:</b> 讲授为主, 每章节都配有一定数量的开放性讨论环节				
<b>主讲教师简介:</b>  刘春森青年研究员 (博导) 研究方向为新结构、新机理逻辑存储器件设计, 以及对应的系统集成研究。主持自然科学基金委青年项目、上海市科委基础特区计划 (首批) 等。曾获中国科协第七届青年人才托举工程、上海市科技创新启明星、复旦大学学术之星和光华自立奖等。近五年以第一/通讯作者在 Nat. Nanotechnol. (6 篇)、Nat. Commun. (1 篇)、Adv. Mater. (1 篇) 和 IEDM (1 篇) 等期刊/会议发表论文 21 篇, 5 年新增引用 1700 余次, 4 篇一作论文入选 ESI 高被引论文, 2 篇一作论文入选 ESI 热点论文, 4 篇一作/通讯论文获得 Nature Nanotechnology News & Views 专栏亮点推荐, 超快存储相关的 3 篇系列工作被 Nature Nanotechnology 撰文评价为范德华异质闪存速度突破的代表性工作。				
<b>教学团队成员</b>				
姓名	性别	职称	院系	在教学中承担的职责
刘明	女	教授 / 院士	集成电路与微纳电子创新学院	顾问、辅导



刘春森	男	青年研 究员	集成电路与微纳电子创新学院	教学工作			
<p><b>教学内容安排</b>（具体到每节课内容）：</p> <p><b>第 1-2 周：</b>晶体管发明与早期集成工艺</p> <p>a) 早期晶体管概念（<b>第 1 周</b>）</p> <p>b) 基础工艺与集成概念（<b>第 1 周</b>）</p> <p>c) IC 早期发展：BJT 走向 MOSFET（<b>第 2 周</b>）</p> <p><b>第 3-5 周：</b>长沟道 MOSFET：10 <math>\mu\text{m}</math>~2 <math>\mu\text{m}</math> 节点（PMOS 转向 NMOS）</p> <p>a) 硅局部氧化（LOCOS）隔离工艺（<b>第 3 周</b>）</p> <p>b) Al:Si 接触工艺（<b>第 4 周</b>）</p> <p>c) 3 <math>\mu\text{m}</math> 节点，实例介绍 NMOS 工艺（<b>第 4 周</b>）</p> <p>d) 长沟道 MOSFET 器件模型（<b>第 5 周</b>）</p> <p>e) 2 <math>\mu\text{m}</math> 节点小尺寸效应、热电子注入问题（<b>第 5 周</b>）</p> <p><b>第 6-8 周：</b>亚微米下 MOSFET：2 <math>\mu\text{m}</math>~0.5 <math>\mu\text{m}</math>（NMOS 转向 CMOS）</p> <p>a) CMOS 技术的必要性（<b>第 6 周</b>）</p> <p>b) CMOS 技术带来的工艺挑战（<b>第 6 周</b>）</p> <p>c) MOSFET 小尺寸效应解决方案（light-doping drain）（<b>第 7 周</b>）</p> <p>d) 亚微米 MOSFET 隔离、接触技术改进（<b>第 8 周</b>）</p> <p>e) 0.8 <math>\mu\text{m}</math> 节点实例介绍 CMOS 工艺（<b>第 8 周</b>）</p> <p><b>第 9-11 周：</b>亚微米下 CMOS：0.5 <math>\mu\text{m}</math>~0.18 <math>\mu\text{m}</math>（CMOS 隔离与互连深度优化）</p> <p>a) 倒向阱工艺（<b>第 9 周</b>）</p> <p>b) 浅槽隔离技术（STI）（<b>第 9 周</b>）</p> <p>c) 自对准硅化物接触（<b>第 10 周</b>）</p> <p>d) 铜互连（镶嵌工艺）（<b>第 11 周</b>）</p> <p><b>第 12-14 周：</b>深亚微米下 CMOS：100nm~10nm（栅控能力极限优化）</p> <p>a) 持续微缩面临的困难（<b>第 12 周</b>）</p> <p>b) 应变硅技术（<b>第 13 周</b>）</p> <p>c) High-k 介质与金属栅（<b>第 13 周</b>）</p> <p>d) 三面围栅结构提升栅控能力（<b>第 14 周</b>）</p> <p>e) SOI 技术（<b>第 14 周</b>）</p> <p><b>第 15 周：</b>未来 MOSFET 发展趋势：10nm 以下</p> <p>a) FinFET 技术在极小尺寸下的困境（<b>第 14 周</b>）</p> <p>b) 围栅纳米片晶体管技术（<b>第 14 周</b>）</p> <p><b>第 16 周：</b>期末回顾与答疑</p> <p><b>第 17-18 周：</b>期末考试</p>							
<p><b>课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计：</b>在课堂教学上采用对关键问题深度解析，引导学生站在历史视角上思考如何解决，通过课堂讨论的形式加强与学生互动；课后安排开放性问题的调研、课程作业等，留待下节课问答，鼓励学生进行原创性探索；在教学第 16 周，安排期末回顾与答疑。</p>							
<p><b>考核和评价方式：</b>平时成绩占 50%，期末闭卷考试占 50%。</p>							
<p><b>教材选用情况：</b></p> <p><b>是否使用教材：</b> <input type="checkbox"/>是 <input checked="" type="checkbox"/>否。若使用教材，请填写以下表格信息，原则上教材数量不宜超过 2 本。</p>							
序	教材名称	主编	ISBN	出版年月	出版单位	教材使用情况	教材类型

号							
1						<input type="checkbox"/> 马工程重点教材 <input type="checkbox"/> 已出版自编教材 <input type="checkbox"/> 境外教材 <input type="checkbox"/> 其他已出版教材	<input type="checkbox"/> 国家级规划教材 <input type="checkbox"/> 省部级规划教材 <input type="checkbox"/> 校级重点立项教材 <input type="checkbox"/> 其他
<b>教学参考资料</b> （包括作者、书名、出版社、出版时间和 ISBN）：							
1. Stanley Wolf, Silicon processing for the VLSI era (volumel), Lattice press, 1986 2. Stanley Wolf, Silicon processing for the VLSI era (volume2), Lattice press, 1990 3. Stanley Wolf, Silicon processing for the VLSI era (volume3), Lattice press, 1994 4. Stanley Wolf, Silicon processing for the VLSI era (volume4), Lattice press, 2002 5. 李炳宗, 硅基集成电路制造工艺原理, 复旦大学出版社, 2021 6. Betty Lise Anderson 等 (邓宁 等译), 半导体器件基础, 清华大学出版社, 2007							

\*其他专业课程教学大纲可参见学生选课系统:

<http://xk.fudan.edu.cn>。



復旦大學  
FUDAN UNIVERSITY



復旦大學集成電路與微納電子  
創新學院