

复旦大学课程教学大纲

院系：微电子学院

日期：2021 年 3 月 12 日

课程代码	MICR130033				
课程名称	闪存（FLASH）存储器技术与设计实现				
英文名称	FLASH MEMORY TECHNOLOGY AND DESIGN				
学分数	3	含实践学分	0.5	实验（含上机）学分	0.5
周学时	3	实验（含上机）学时	9	授课语言	中文
课程性质	<input type="checkbox"/> 通识教育专项 <input type="checkbox"/> 通识教育核心课程 <input type="checkbox"/> 通识教育选修 <input type="checkbox"/> 大类基础 <input type="checkbox"/> 专业必修 <input checked="" type="checkbox"/> 专业选修 <input type="checkbox"/> 其他				
教学目的	<p>（说明课程教学目标）</p> <p>通过该课程的讲授使学生了解闪存（FLASH）存储器的基本原理、单元结构和存储器电路设计与相关工艺基本知识，获得 NOR 型和 NAND 型两类通用闪存（FLASH）存储器设计和工艺制造，以及嵌入式 FLASH 技术实现等方面专业能力。同时，结合工艺技术发展，使学生学习了解到诸如 3D NAND FLASH 等最新闪存（FLASH）技术。此外，该课程也使使学生掌握有关闪存（FLASH）测试方法、可靠性保障等工程实现知识。</p>				
基本内容简介	<p>（简要介绍课程教学内容）</p> <p>该课程拟从闪存（FLASH）存储器原理、结构、电路设计，以及工艺实现、测试与可靠性保障工程等维度展开授课内容。课程主要包括：存储器概述、存储单元特性与结构、NOR/NAND 型存储器阵列与电路设计、嵌入式 FLASH 设计方法，以及 FLASH 工艺、测试方法和可靠性考核与保障等内容。使学生通过该课程学习，掌握闪存（FLASH）存储器单元和存储阵列工作原理、闪存电路设计、工艺和测试实现，以及性能保障等几个方面专业知识。</p>				
基本要求：（指对学生学习、考勤等相关要求）					
<p>（1） 考勤：课堂考勤</p> <p>（2） 作业：按课程授课要求安排作业，一般有课后书面作业（单独完成）、讨论题作业（分组完成）、小作业（下一次课课堂抽取学生上台讲解）几类</p> <p>（3） 考试：课程采用学期考试为课程学习检查方式</p> <p>（4） 分数：平时成绩与考试成绩结合</p>					

授课方式：（讲授为主/研讨为主/其他）

讲授为主，适时安排研讨。

教学内容安排(1. 共计 18 周，18 周含考试周，具体到每节课内容；2. 多人授课需按每节课明确授课教师及教学内容)：

第 1 周	第 1 节课	存储器概述（演进历史；发展趋势；行业现状；主流技术：流片、封装等）
	第 2 节课	基础知识一：（基于体硅结构的存储器类别：挥发（DRAM, SRAM 等），非挥发（EEPROM, NOR/NAND 闪存等；基于特殊材料的存储器类别：MRAM, RRAM, FRAM, PCM 等。存储器基本工作原理，半导体物理机理：HCI, FN, SSI...）
	第 3 节课	基础知识二：（存储器典型应用和功能特点介绍）
第 2 周	第 4 节课	FLASH 总体工艺概述（Floating gate; Charge trap）
	第 5 节课	NOR 型 FLASH 浮栅工艺（单元 Cross-section 结构、单元基本工作原理、Scaling Issues 及关键工艺流程）
	第 6 节课	NOR 型 FLASH 的 SONOS 工艺（单元 Cross-section 结构、单元基本工作原理、Scaling Issues 及关键工艺流程）
第 3 周	第 7 节课	NAND 型 FLASH 浮栅工艺（单元 Cross-section 结构、单元基本工作原理、Scaling Issues 及关键工艺流程）
	第 8 节课	嵌入式 FLASH（Embedded FLASH）工艺一（Cross-section 结构和工作原理，浮栅（Floating gate）类型及电荷俘获（Charge trap）类型）
	第 9 节课	嵌入式 FLASH（Embedded FLASH）工艺二（工艺特点，Scaling Issues 及典型工艺流程）
第 4 周	第 10 节课	NOR 型 FLASH 存储器电路与工作机理（电路结构和操作原理：擦、写、读）
	第 11 节课	NOR 型 FLASH 存储阵列电路（存储阵列电路结构介绍：Floating gate; SONOS）
	第 12 节课	NOR 型 FLASH 特性和性能指标（擦写次数；高温数据保持；常温数据保持等）
第 5 周	第 13 节课	NOR 型 FLASH 存储器电路设计一（模拟电路模块：振荡器、高压 PUMP 等；数字电路模块：时钟分频等；控制逻辑电路：写入状态机、I/O Logic 等）
	第 14 节课	NOR 型 FLASH 存储器电路设计二（Flash 专用电路设计：电压电平转换、检测电路、电压倍增，电压调整等模块）

	第 15 节课	NOR 型 FLASH 存储器电路设计三(性能保障设计: ECC、冗余, DFT 等设计)
第 6 周	第 16 节课	NOR 型 FLASH 特性要求(可靠性问题及解决方案)
	第 17 节课	NOR 型 FLASH 存储阵列物理版图设计
	第 18 节课	NOR 型 FLASH 存储器工艺微缩问题及应对设计
第 7 周	第 19 节课	NAND 型 FLASH 单元电路结构与工作机理(操作原理: 擦、写、读、校验)
	第 20 节课	NAND 型 FLASH 存储阵列结构(Floating gate; Charge trap)
	第 21 节课	NAND 型 FLASH 特性和性能指标(擦写次数、高温数据保持、常温数据保持、多次擦写导致的栅氧性能衰退问题等)
第 8 周	第 22 节课	NAND 型 FLASH 存储器电路设计一(控制逻辑电路、DDR 接口、检测电路、高压 PUMP、电压调整电路等)
	第 23 节课	NAND 型 FLASH 存储器电路设计二(SLC、MLC、TLC 存储类型设计)
	第 24 节课	NAND 型 FLASH 存储器电路设计三(性能保障设计: ECC, 冗余, DFT 等设计)
第 9 周	第 25 节课	NAND 型 FLASH 特性要求(可靠性问题及解决方案)
	第 26 节课	NAND 型 FLASH 存储阵列物理版图设计
	第 27 节课	NAND 型 FLASH 存储器电路工艺微缩问题及应对设计
第 10 周	第 28 节课	嵌入式 FLASH (Embedded FLASH) 电路特性介绍
	第 29 节课	嵌入式 FLASH (Embedded FLASH) 结构: (浮栅类型: 1T、1.5T、2T 结构及操作原理; 电荷俘获类型: SONOS 和 Nano-Dot 及操作原理)
	第 30 节课	嵌入式 FLASH (Embedded FLASH) IP 核性能评估
第 11 周	第 31 节课	嵌入式 FLASH (Embedded FLASH) IP 核电路设计一: (FMC (闪存存储核); BIU (总线接口单元); MCB (闪存控制模块) 等设计实现)
	第 32 节课	嵌入式 FLASH (Embedded FLASH) IP 核电路设计二(系统架构; 阵列模块; cell 选择; 高速电路技术; 低压设计和工艺实现考虑等)
	第 33 节课	嵌入式 FLASH (Embedded FLASH) IP 核电路设计三(Embedded FLASH 特殊需求及设计; 设计验证等)
第 12 周	第 34 节课	3D FLASH 存储器概述(演进及发展趋势, 国内外现状等)
	第 35 节课	3D FLASH 基本结构(BiCS; TCAT; V-NAND; SMarT; VG-NAND; DC-SF NAND 等)

	第 36 节课	3D FLASH 工作原理 (Floating gate, CT)
第 13 周	第 37 节课	3D FLASH 阵列结构 (CAN; CUA; CBA)
	第 38 节课	3D FLASH 阵列实现方法 (工艺)
	第 39 节课	3D FLASH 特性指标 (电特性及可靠性指标)
第 14 周	第 40 节课	3DFLASH 存储器设计一 (BCH 和 LDPCCECC; 基于数学图像理论的先进 ECC 纠错算法 (Advanced Algebraic and Graph-Based ECC) 等)
	第 41 节课	3D FLASH 存储器设计二 (3D NAND 系统级设计考虑)
	第 42 节课	3D FLASH 存储器设计三 (3D NAND 的技术挑战)
第 15 周	第 43 节课	NOR 型 FLASH 存储器电性能测试方法 (擦除电压/时间; 编程电压/时间; 校验; 过擦除问题等)
	第 44 课	NOR 型 FLASH 存储器可靠性测试方法 (Disturb 应对策略; 提升可靠性相关算法: PBE/PAE; ISPE 等)
	第 45 节课	NAND 型 FLASH 存储器电性能测试方法 (擦除电压/时间; 编程电压/时间; 校验; Interference、Disturb 以及过编程问题)
第 16 周	第 46 节课	NAND 型 FLASH 存储器可靠性测试方法 (Wear leveling; Garbage collection; 坏块管理; 提升可靠性相关算法 PAE/PBE; ISPP; ISPE 等)
	第 47 节课	嵌入式 FLASH (Embedded FLASH) 存储电路测试方法 (可靠性筛选与验证)
	第 48 节课	FLASH 存储器可靠性考核 (JEDEC 标准考核)
第 17 周	第 49 节课	课程内容总结
	第 50 节课	课程内容复习
	第 51 节课	课堂答疑
第 18 周	第 52 节课	考试 (笔试)
	第 53 节课	考试 (笔试)
	第 54 节课	考试 (笔试)
<p>课内外讨论或练习、实践、体验等环节设计: (如有, 须列出时间、地点和内容安排)</p> <p>根据教学情况适当安排一、二次互动讨论, 时间在第 9 周和第 16 周</p>		

如需配备助教，注明助教工作内容：

配备适当助教，辅助资料查询、课件建设、作业和小课题（练习）检查、课堂答疑等工作

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）：

1. 成绩构成比重：平时成绩比例 40%；考试成绩比例 60%
2. 期末考核方式：闭卷考试

教材（包括作者、书名、出版社和出版时间；如使用自编讲义，也请列明）：

1. Joe E. Brewer, et al., Nonvolatile Memory Technologies with Emphasis on Flash: A Comprehensive Guide to Understanding and Using NVM Devices, Wiley-IEEE Press, 2008
2. Rino Micheloni, et al., Inside NAND Flash Memories, Springer, 2010
3. 上课课件

教学参考资料（包括作者、书名、出版社和出版时间）：

1. Tariq Samad, Editor in Chief ., NAND FLASH MEMORY TECHNOLOGIES , IEEE Press , 2016
2. Hideto Hidaka Embedded Flash Memory for Embedded Systems: Technology, Design for Sub-systems, and Innovations , Springer, 2018
3. Paulo Cappelletti, et al., Flash memories, Springer, 1999
4. 三维存储芯片技术, [圣马]里诺·米歇洛尼 (Rino Micheloni) 著, 吴华强 高滨 钱鹤 译, 清华大学出版社, 2020 年

表格栏目大小可根据内容加以调整。