



《电子线路》

南京航空航天大学 王成华

chwang@nuaa.edu.cn 025-84892797 (0)

南京航空航天大学





一、信息无处不在，信息改变生活



电视广播



现代信息化战争



数码摄像机



因特网



移动通信



信息社会



核磁共振



笔记本电脑



MP5音视频播放器



GPS导航仪



计算机硬件

笔记本电脑



信息服务业



信息检索、电子商务和娱乐等

通信产业



固定通信



移动通信



微波通信



卫星通信

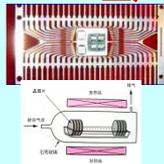


曙光超级计算机

集成电路生产装备

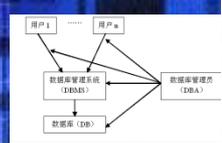


半导体材料



集成电路

软件产业



通用软件



专业软件

微电子产业



电视机



摄像机



DVD播放机

数字家电产业



光网络



光设备



光存储介质



激光照明



光纤光缆

光电子产业

互联网产品



路由器



交换机



网卡



调制解调器



集线器

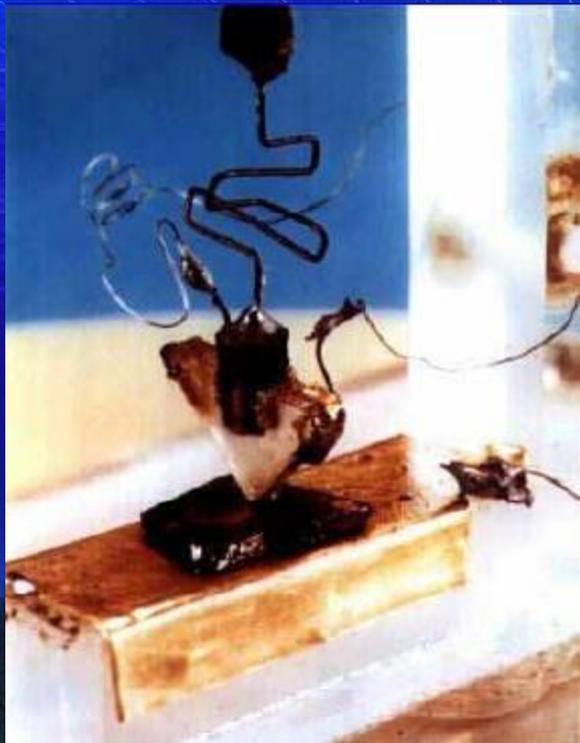


二、集成电路



集成电路应用

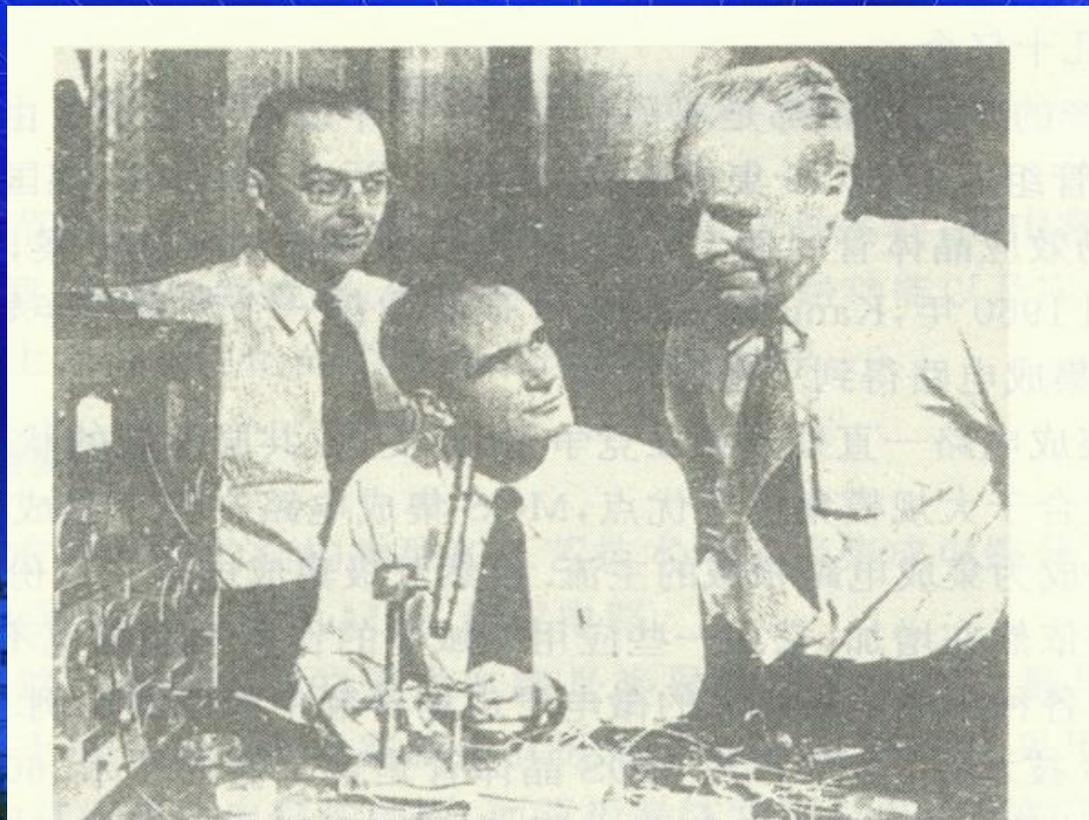




最原始的点接触晶体管

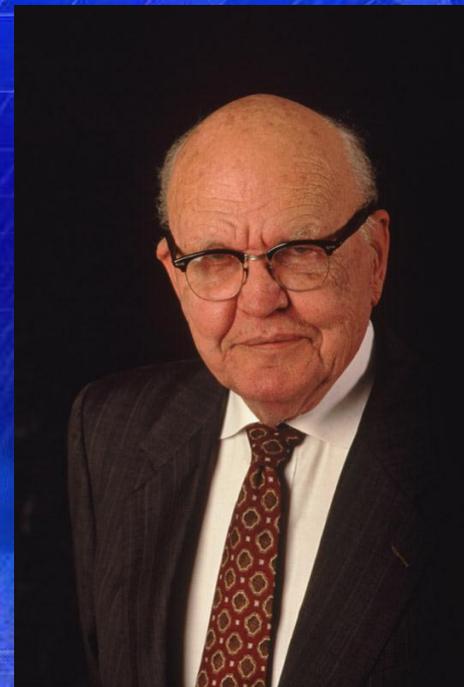
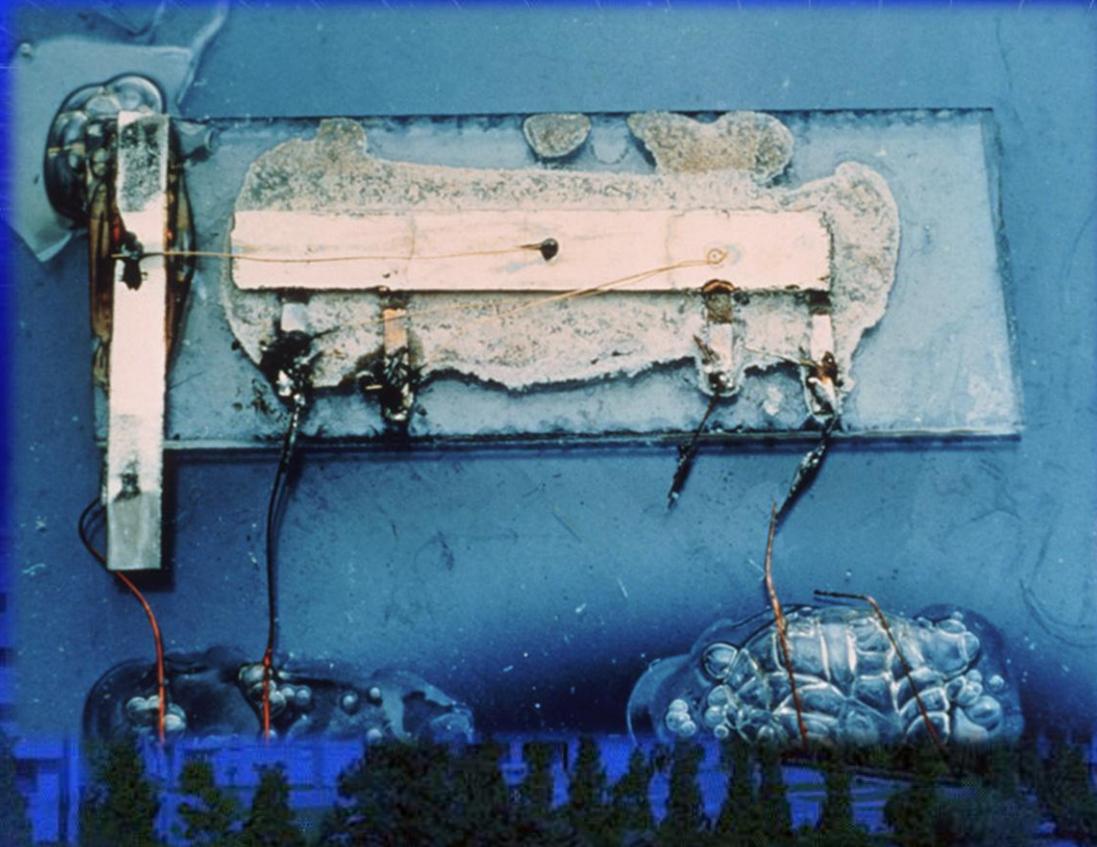
- 1947年12月16日,美国贝尔实验室(Bell-Lab),William Shockley领导的研究小组发现了晶体管效应
- 1948年6月向全世界公布
- 1956年,W.Shockley,John Bardeen,Walter Brattain获诺贝尔物理奖,' for their researches on semiconductors and their discovery of the transistor effect'





晶体管的三位发明人：巴丁、肖克莱、布拉顿





集成电路之父

- 1958年 德州仪器公司(TI)的Jack Kilby发明了集成电路
- 获得2000年诺贝尔物理学奖





晶体管、集成电路这两项革命性的发明，人类社会进入了**微电子时代**和**信息时代**。





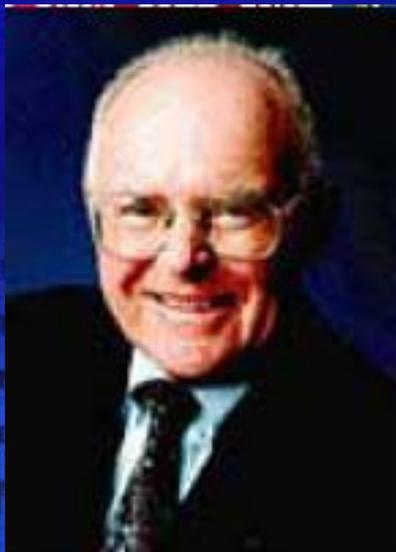
年份	1947	1950	1961	1966	1971	1980	1990	2000	2003
工艺	晶体管	分立元件	SSI	MSI	LSI	VLSI 超大	ULSI 甚大	GSI 巨大	SoC
产品芯片上大约晶体管数目	1	1	10	100-1K	1K-20K	20K-1M	1M-10M	>10M	>50M
典型产品	结型晶体管	结型晶体管和二极管	平面器件, 逻辑门, 触发器	计数器, 复接器, 加法器	8位微处理器, ROM RAM	16位32位微处理器, 复杂外围电路	专用处理器, 虚拟现实机, 灵巧传感器	P-III	P-IV, 手机芯片等

集成电路工艺、电路规模和产品的发展概况





摩尔定律 (Moore's Law) :



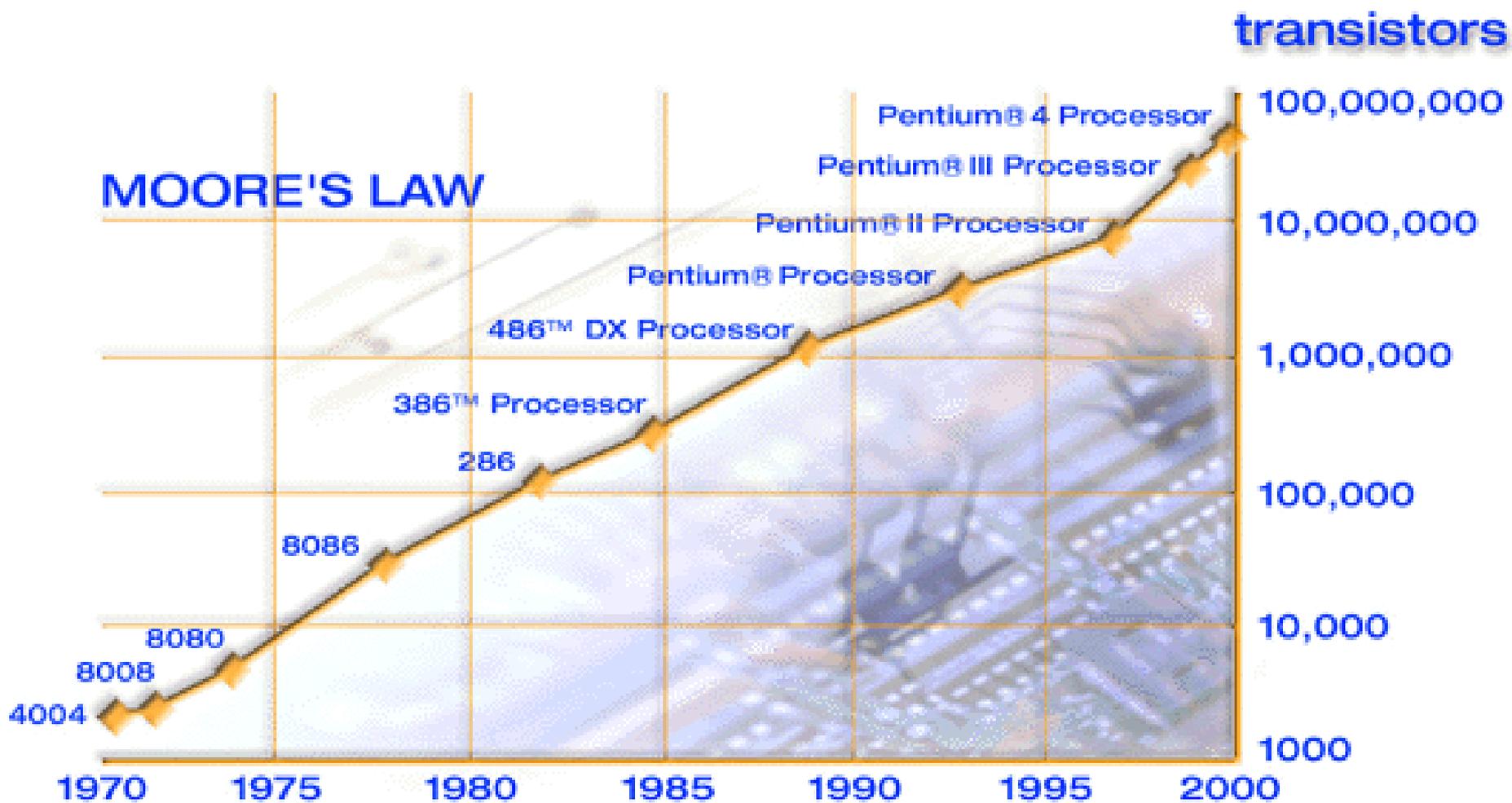
- Moore's law : the number of components per IC doubles every 18 months.
- Moore's law hold to this day.

1965年，著名的“摩尔定律”归纳了集成电路产业中信息技术进步速度。戈登·摩尔 (Gordon Moore) 总结出IC上可容纳的晶体管数目，约每隔18个月便会增加一倍，性能也将提升一倍，即3年4番的增长规律。



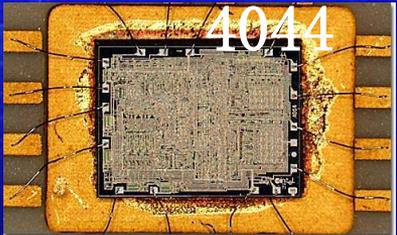


Intel的CPU验证摩尔定律





微处理器的发展



- 1971年第一个微处理器4004
- 2000多个晶体管
- 10 μ mPMOS工艺

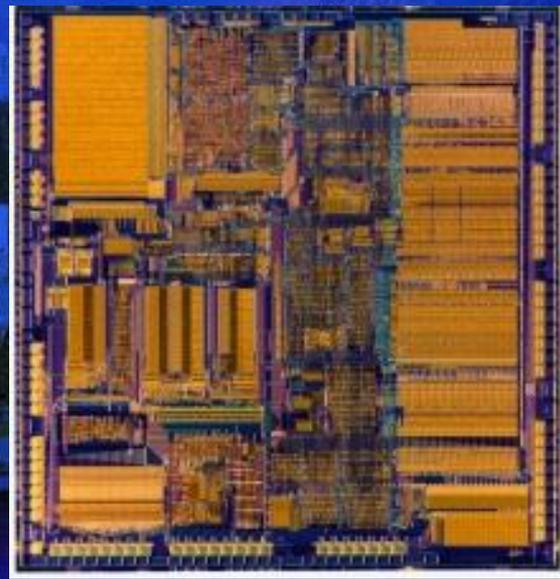
- 1982年286微处理器
- 13.4万个晶体管
- 频率6MHz、8MHz、10MHz和12.5MHz

Intel 386

8088



- 1979年3月
- 16 Bit
- 2.9万晶体管
- 5到8MHz
- 1.5 μ m



- 1985年10月
- 32 Bit
- 27.5万晶体管
- 16到32 MHz
- 1 μ m





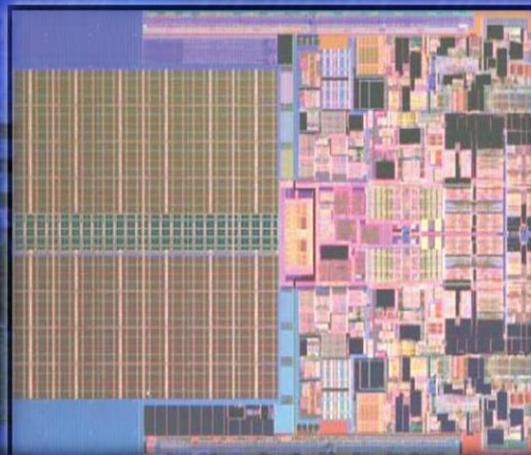
● 1999年2月，英特尔推出

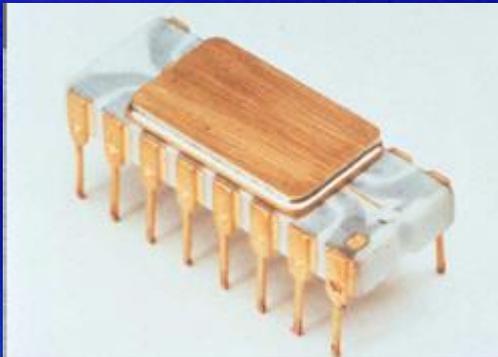
Pentium III处理器，950万个晶体管， $0.25\mu\text{m}$ 工艺制造

● 2002年1月推出的Pentium 4处理器，5500万个晶体管， $0.13\mu\text{m}$ 工艺生产

● 2002年8月13日，英特尔开始90nm工艺；2005年顺利过渡到65nm工艺

● 2007年英特尔推出45nm正式量产工艺，45nm技术是全新的技术。





- 1971年Intel 4004 CPU，
集成了2300个晶体管



- 2007年Intel酷睿2四核CPU，
集成了8亿个晶体管





三、《电子线路》课程定位

- 是电子信息类专业重要的**专业基础课**
- 是宽口径招生的**主要平台课**
- 是培养工程师**硬件能力**的**入门课程**
- 是十分强调**应用实践**的**工程性质**的课程
- 也是很多重点院校的**考研课程**





四、《电子线路》课程教学基本要求

(一) 课程的地位、作用和任务

是电子信息类专业的主干技术基础课程。

课程的基本作用和任务是：通过对常用电子器件、模拟电路及其系统的分析和设计的学习，使学生系统地掌握电子线路的基本原理、基本概念和各种功能单元电路的工作原理和分析设计方法，为电子系统的工程实现和后续课程学习打下必备的基础。

课程强调理论联系实际，注重培养学生解决实际问题的能力和工程实践能力。





(二) 理论教学部分教学基本要求

1. 半导体器件的工作原理和基本特性

- 1) 了解半导体的导电机理、PN结及其特性，掌握晶体二极管、双极型晶体管和场效应管的工作原理、特性和参数。
- 2) 掌握晶体二极管、双极型晶体管和场效应管的大信号和小信号模型。了解模型参数的含义。
- 3) 了解半导体器件的加工工艺。





2. 放大器

- 1) 掌握双极型晶体管和MOS场效应管组成的三种基本组态放大器的电路组成、工作原理、静态和动态分析方法以及主要的性能特点。
- 2) 掌握图解分析法和等效电路分析法。
- 3) 掌握差分放大电路的电路组成、工作原理、大信号和小信号的分析方法及性能特点。
- 4) 了解电流模电路的概念和跨导线性原理。
- 5) 掌握放大器的增益、输入输出阻抗、频率响应的概念和基本分析方法。
- 6) 掌握多级放大器的工作原理和分析方法。
- 7) 掌握使用Spice分析晶体管电路的基本方法。了解电子器件的Spice模型的概念及获得模型参数的途径。





3. 负反馈放大器

- 1) 掌握负反馈的概念。掌握四种基本类型的负反馈放大器的电路结构、工作原理、基本分析方法。
- 2) 掌握负反馈对放大电路性能的影响及深度负反馈放大器的工程估算方法。
- 3) 了解负反馈放大电路的稳定性和相位补偿方法。

4. 集成运算放大器

- 1) 掌握集成运放的组成和基本特点。了解集成运放的主要性能指标。
- 2) 掌握集成运放中常用的镜像电流源、有源负载放大器、互补输出电路、直接耦合多级放大器等基本单元电路的结构、工作原理和分析方法。
- 3) 了解典型的双极型和MOS型运算放大器的内部电路结构和工作原理。
- 4) 掌握理想运放典型应用电路的结构、工作原理和分析方法，包括：运算电路、波形发生器、电压比较器、有源滤波器等。



5. 功率放大器

- 1) 了解功率放大器的功能和性能指标。了解影响功放电路效率的主要因素。掌握A、B类放大器的电路组成、工作原理、分析方法和性能特点。
- 2) 了解D类功率放大电路的特点。

6. 电源变换电路

- 1) 掌握整流、滤波、稳压电路的原理、性能指标和设计方法。
- 2) 了解开关稳压器的的工作原理和其提高效率的原因。了解集成开关稳压电源电路的原理和使用方法。
- 3) 了解稳流电路的工作原理。





(三) 实验教学部分教学基本要求

1. 能力要求

- 1) 了解示波器、电子电压表、晶体管特性图示仪、信号发生器、频率计和扫频仪等常用电子仪器的基本工作原理；掌握正确使用方法。
- 2) 掌握电子线路的基本测试技术，包括电子元器件参数、放大电路静态和动态参数、信号的周期和频率、信号的幅度和功率等主要参数的测试。
- 3) 能够正确记录和处理实验数据，进行误差分析，并写出符合要求的实验报告。
- 4) 能够通过手册和互联网查询电子器件性能参数和应用资料，能够正确选用常用集成电路和其它电子元器件。
- 5) 掌握基本实验电路的装配、调试和故障排除方法。
- 6) 掌握用Spice分析设计电子电路的基本方法。

2. 参考实验内容

- 1) 基本实验：常用电子仪器使用练习、基本放大电路、反馈放大电路、基本运算电路和波形发生电路、音频功率放大器等。
- 2) 综合性实验。





(四) 说明

1. **先修课程**：高等数学、大学物理、电路。

2. **建议学时**

1) 理论教学：不少于64学时

2) 实验教学：不少于24学时





五、《电子线路》课程内容

1. 半导体器件基础
2. 放大器基础
3. 集成运算放大器与模拟乘法器
4. 信号运算与处理电路
5. 放大器的频率响应
6. 反馈放大电路及其稳定性
7. 波形产生与变换电路
8. 功率电路与直流稳压电源
9. 电流模式电路
10. 可编程模拟器件与电子设计自动化软件





1. 半导体器件基础

内容	重点与难点
<ul style="list-style-type: none">● PN结与半导体二极管● 半导体三极管● 场效应晶体管● 集成化器件及其特点	<ul style="list-style-type: none">★ 工作原理★ 特性曲线★ 性能参数★ 等效电路





2.放大器基础

内容

- 放大器的基本概念与技术指标
- 共射放大器的工作原理与分析方法
- 三种组态三极管放大器的分析与比较
- 场效应管放大器
- 多级放大器
- 用SPICE分析放大器

重点与难点

- ★放大的概念与指标
- ★直流分析与交流分析
- ★图解法与微变等效电路法
- ★CE、CB、CC的性能
- ★CS、CG、CD的性能
- ★多级放大器的分析





3.集成运算放大器与模拟乘法器

内容	重点与难点
<ul style="list-style-type: none">● 电流源电路● 差分放大电路● 双极型集成运算放大器● 场效应管集成运算放大器● 集成运算放大器的技术参数● 理想集成运算放大器● 模拟乘法器原理	<ul style="list-style-type: none">★ 电流源的原理★ 差分放大电路的分析★ 集成运放内部电路分析★ 集成运放的参数★ 理想运放的特性★ 模拟乘法器内部电路与应用





4. 信号运算与处理电路

内容

- 基本运算电路
- 有源滤波器
- 电压比较器
- 用PSPICE分析集成运算放大器应用电路

重点与难点

- ★ 运算电路的分析
- ★ 一、二阶低通滤波器的分析
- ★ 开关电容滤波器
- ★ 迟滞比较器





5.放大器的频率响应

内容

- 频率响应概述
- 单级共射放大器的频率响应
- 共基和共集放大器的频率响应及组合宽带放大器
- 多级放大器的频率特性
- 频率响应与阶跃响应
- 用PSPICE分析放大器频率响应实例

重点与难点

- ★ 频率响应的概念
- ★ CE放大器的频率响应
- ★ 多级放大器的带宽
- ★ 频率响应与阶跃响应的关系





6. 反馈放大器及其稳定性

内容	重点与难点
<ul style="list-style-type: none">● 反馈的基本概念与分类● 负反馈对放大电路性能的影响● 深度负反馈放大电路的分析计算● 负反馈放大电路的稳定性分析● 用PSPICE分析反馈放大器	<ul style="list-style-type: none">★ 反馈类别与组态的判断★ 深度负反馈放大器的计算★ 稳定工作条件与频率补偿





7. 波形产生与变换电路

内容

- 正弦波振荡电路
- 非正弦信号发生器
- 集成多功能信号发生器
- 波形变换电路
- 用PSPICE分析振荡电路

重点与难点

- ★ 振荡的原理
- ★ 正弦波振荡电路
- ★ 非正弦波振荡电路
- ★ 波形变换电路





8. 功率放大电路与直流稳压电源

内容

- 互补推挽功率放大电路
- 集成功率放大器
- 线性直流稳压电源
- 开关型直流稳压电源
- 用PSPIICE分析功率电路实例

重点与难点

- ★ 功率放大电路的特点
- ★ 乙类推挽功率放大器分析
- ★ 串联型线性直流稳压电路原理
- ★ 开关型直流稳压电路原理





9. 电流模式电路

内容	重点与难点
<ul style="list-style-type: none">● 电流模式电路的基本概念● 跨导线性环● 电流传输器● 跨导运算放大器● 电流反馈型集成运算放大器	<ul style="list-style-type: none">★ 电流模电路的概念★ 跨导线性环的原理★ 电流传输器的特性★ OTA的应用★ 电流模集成运放的特性





10.可编程模拟器件与电子设计自动化软件

内容

- 模拟可编程器件的原理
- 模拟可编程器件的应用
- Multisim软件
- Multisim仿真实例

重点与难点

- ★ 模拟可编程器件工作原理
- ★ 基本应用电路设计
- ★ 应用Multisim仿真电路



六、《电子线路》课程结构





第三层次：独立
工作能力培养

5 自主开发

6 参与科研

3 课程设计 (3个)

4 系统设计 (1个)

第二层次：系统
设计能力培养

1 基本实验 (5个)

2 选做实验 (3个)

第一层次：基本
实验技能培养

“三层次六类别”实践教学体系





江苏省
电工电子实验教学示范中心

JIANG SU SHENG DIAN GONG DIAN ZI SHI YAN JIAO XUE SHI FAN ZHONG XIN

国家级实验教学示范中心

南京航空航天大学电工电子实验教学中心

- 2005年6月 被评为“江苏省首批实验教学示范中心”
- 2006年12月，被评为“国家级实验教学示范中心”





电工实验室



信号与系统实验室



EDA实验室



自动控制原理实验室



微机原理实验室



电子实验室



自选实验项目

学科竞赛和科技活动



学科竞赛和科技活动

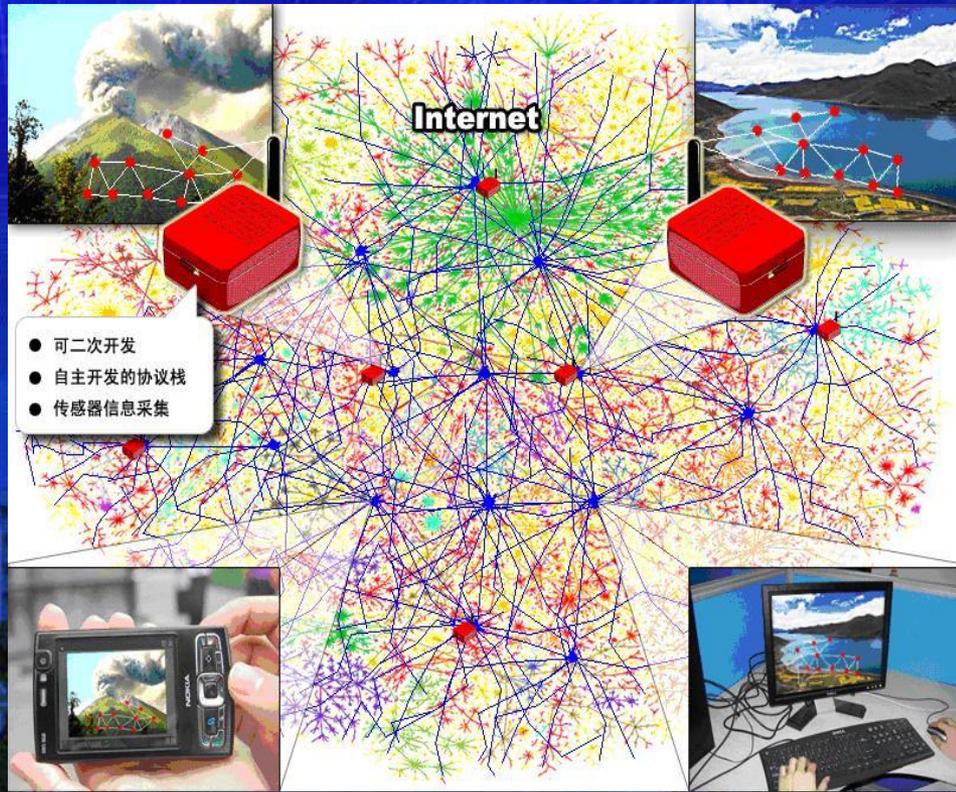
参与科研和创新基金项目



“嵌入式系统小组”

南京航空航天大学





创新团队成果

南京航空航天大学“无线传感器网络”网关、节点和应用示意图





七、《电子线路》教学特点

- 以“有源器件”为基础
- 以“单元电路”为主体
- 以“分析方法”为重点
- 以“实践应用”为目的
- 强调“研究性”教学





《电子线路》“过四关”：

- ◆第一关：“**器件关**”（入门基础）
- ◆第二关：“**近似关**”（工程估算的分析方法）
- ◆第三关：“**动手关**”（实践应用）
- ◆第四关：“**EDA关**”（设计开发）





• 会看：电路的识别、定性分析。

- 是哪种电路：

- 共射、共基、共集、共源、共漏、差分放大电路及哪种接法
- 引入了什么反馈，什么组态的负反馈
- 比例、加减、积分、微分.....运算电路
- 低通、高通、带通、带阻....有源滤波器
- 单限、滞回、窗口电压比较器
- 正弦波、矩形波、三角波、锯齿波发生电路
- 线性、开关型直流稳压电源.....

- 性能如何：

- 放大倍数大小、输入电阻高低、带负载能力的强弱、频带宽窄
- 输出功率大小、效率高低
- 滤波效果好坏，稳压性能好坏.....





- **会算：** 电路的定量分析。不同类型电路的性能有不同的描述方法，要得到这种“描述”需要不同的分析方法

— 例如求解

- 放大电路的电压放大倍数、输入电阻、输出电阻
- 截止频率、波特图
- 深度负反馈条件下的放大倍数
- 运算关系
- 电压比较器的电压传输特性
- 非正弦波振荡电路的输出电压波形及其频率和幅值
- 功放的输出功率及效率
- 直流电源输出电压的平均值、可调范围





• 会选：电子电路设计

– 已知需求（功能）选择电路形式

- 例如：是采用单管放大电路还是采用多级放大电路；是直接耦合、阻容耦合、变压器耦合还是光电耦合；是晶体管放大电路还是场效应管放大电路；是否用集成放大电路。

– 已知性能选择元器件类型

- 例如：是采用通用型集成运放还是采用高精度型、高阻型、低功耗.....集成运放。

– 在已知指标情况下选择元器件的参数

- 电路中所有电阻、电容、电感等的数值。





• 会调:

- 电路调试的方法及步骤。
- 调整电路性能指标应改变哪些元件参数、如何改变。
- 电路故障的判断和消除。
- 例如
 - 调整放大器的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻的方法与步骤
 - 调整三角波振荡电路的振荡频率和幅值达到预定值的方法和步骤
 - 电路中某元件断路或短路将产生什么现象
 - 电路出现异常情况可能的原因。



八、《电子线路》课程建设

- 《电子线路》2005年：国家级精品课程
- 网址：<http://gc.nuaa.edu.cn>





《电子线路》课程特色：

- ◆ 准确定位课程的地位与作用，站在整体优化的高度上来优化课程的结构，在知识传授和能力培养的衔接上更能符合学生的认知规律，学生创新思维的培养更加系统并落到实处。
- ◆ 理论教学与实践教学并重，提出了“三层次六类别”的实践教学体系，实实在在地提高了教学质量和学生素质。
- ◆ 建成了一支乐于奉献、结构合理的高水平师资队伍，出版了一批有影响的教材。





《电子线路基础》	清华大学出版社	王成华主编	2008	国家十一五规划教材 江苏省精品教材
《电子电路基础》	电子工业出版社	刘京南 王成华主编	2003	同时在台湾地区发行
《电路与模拟电子学》	科学出版社	王成华主编	2007	国家十一五规划教材
《电子线路基础教程》	科学出版社	王成华主编	2000	
《现代电子技术（模拟部分）》	北航出版社	王成华主编	2005	国防科工委十五规划教材
《现代电子技术（模拟部分） 解题指南》	北航出版社	王成华主编	2007	





《现代电子技术（模拟部分）》教材特点：

- ◆ 兼顾分立与集成
- ◆ 强调基本概念、基本工作原理、基本分析方法
- ◆ 处理模拟与数字的衔接
- ◆ 引入电流模电路与电子设计自动化





希望在课堂教学中追求这样的一种境界：

- ◆ 让学生真正成为课堂学习的主人；
- ◆ 让学生充分感受求知的乐趣；
- ◆ 让学生在不断的探索和研讨中发现规律；
- ◆ 让学生在解决问题的过程中全面提高素质。

