



核心专业课
B3I493220

微电子器件实验

彭守仲

北京航空航天大学 微电子学院

第一馆203办公室 shouzhong.peng@buaa.edu.cn

2020年10月12日

课程基本信息



课程学时

- 16理论学时+32实验学时，第6-17周（周一第6-7节、周三第3-4节）

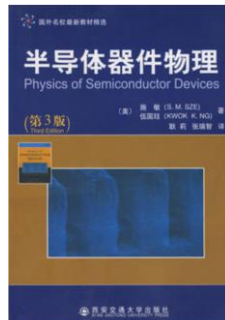
上课地点

- 主楼606教室
- 第一馆B3-A06实验室

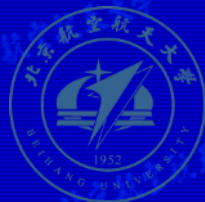


参考教材

- 《电子线路基础》第一版，张晓林、张凤言，高等教育出版社
- 《半导体器件物理》第三版，施敏，西安交通大学出版社



课程考核形式



■ 平时成绩 10%

- 课程签到、随堂测验等。

■ 课堂实验 45%

- 课堂实验完成情况。

■ 实验报告 45%

- 实验报告撰写情况。
- 完成实验后的第一个星期一将实验报告交给教辅。
- 教辅：博士研究生芦家琪(15932269091)、李伟祥(18801163376)。

教学目标



- 为什么要上微电子器件实验课？
- 为什么微电子器件实验课被列为
核心专业课？

1. 深入理解器件机理



■ 信息产业的核心是集成电路



移动通信



航空航天



人工智能



智能穿戴



工业物联网

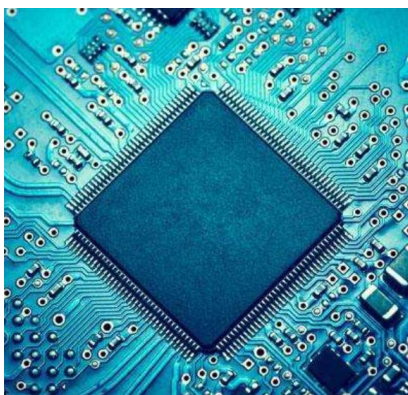


自动驾驶

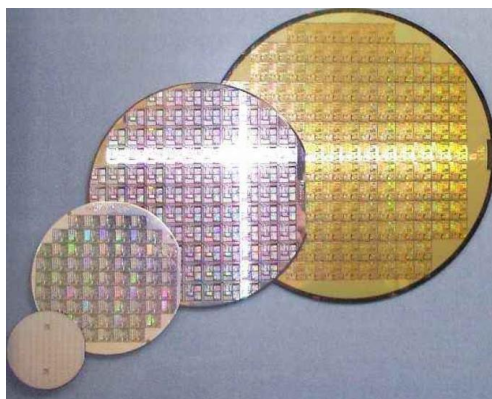
1. 深入理解器件机理



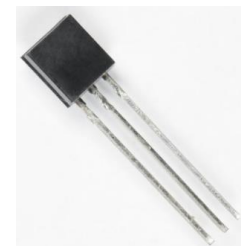
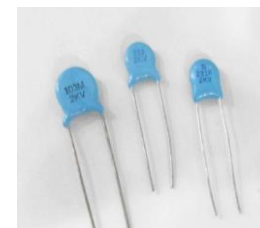
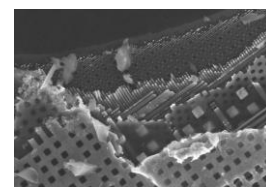
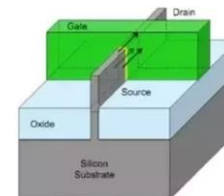
■ 集成电路的核心是微电子器件



芯片



晶圆



微电子器件

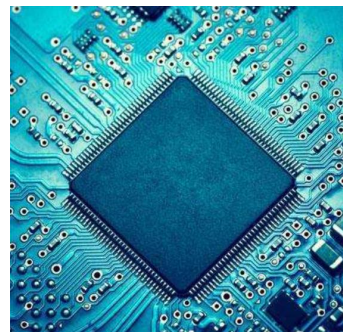
1. 深入理解器件机理



传统微电子器件



第一只晶体三极管



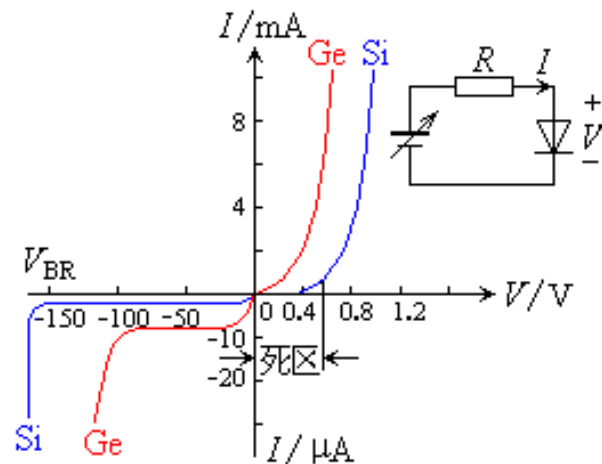
芯片



手机

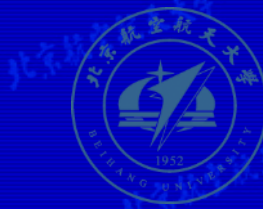


二极管

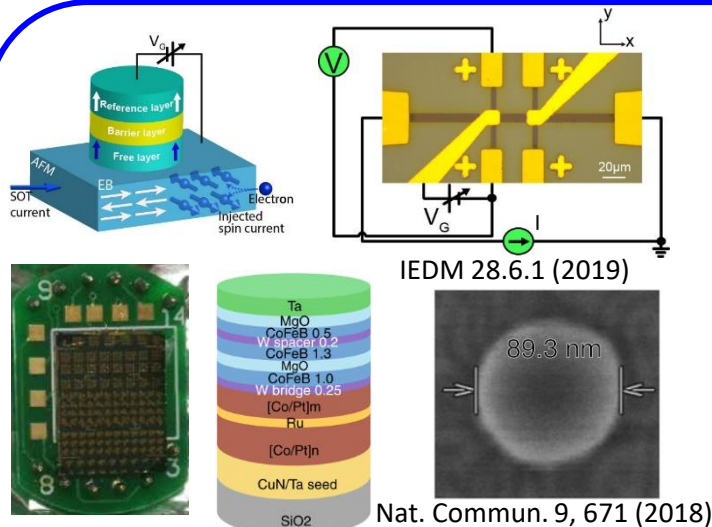


PN节伏安特性曲线图

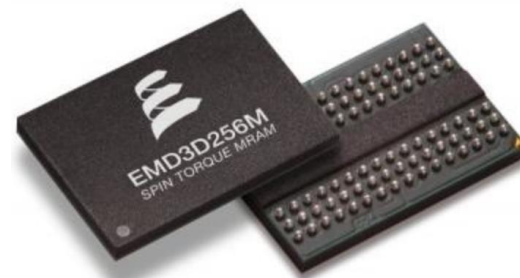
1. 深入理解器件机理



■ 新型微电子器件，例如：自旋电子器件



自旋电子器件研究



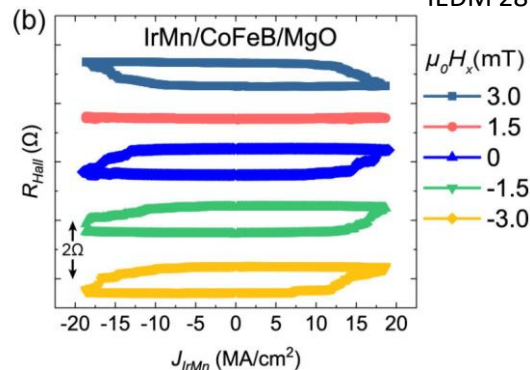
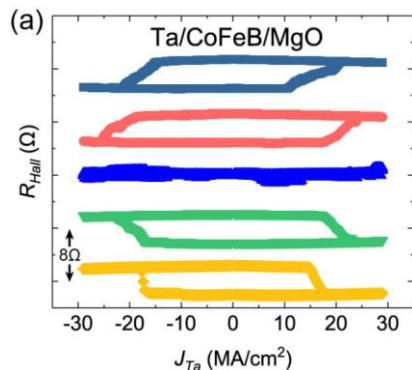
<https://www.everspin.com/>

磁随机存储器芯片



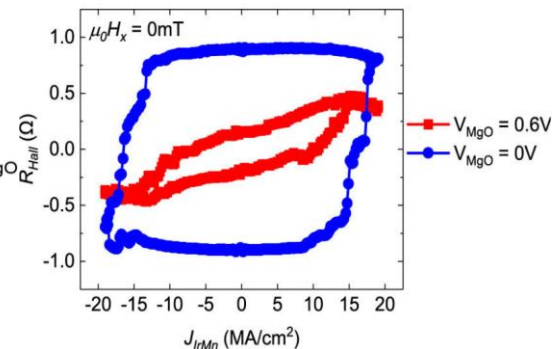
SAMSUNG

手表



采用新型材料提高器件性能

IEDM 28.6.1 (2019)



采用新型机理提高器件性能

2.掌握通用仪表使用方法



■ 通用仪表广泛应用于科研和产业



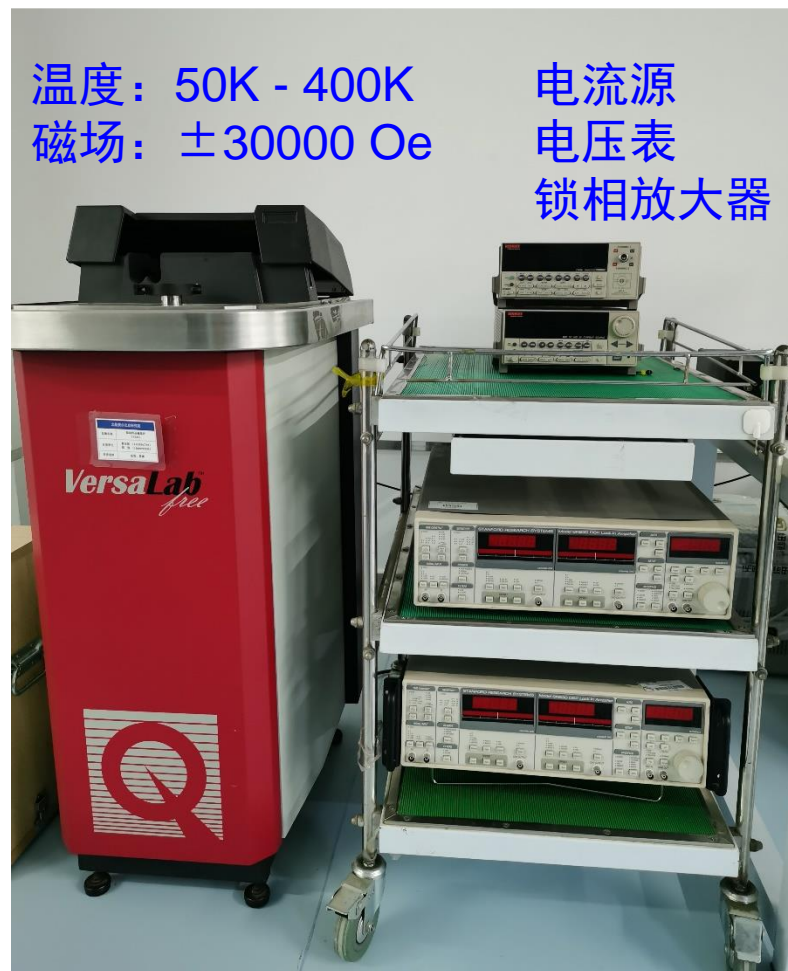
温度: 1.85K - 400K
磁场: ± 90000 Oe



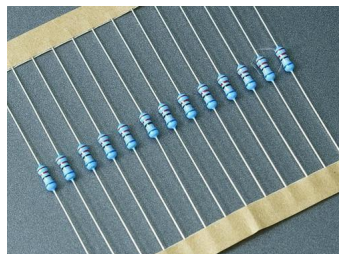
电流源
电压表
锁相放大器

温度: 50K - 400K
磁场: ± 30000 Oe

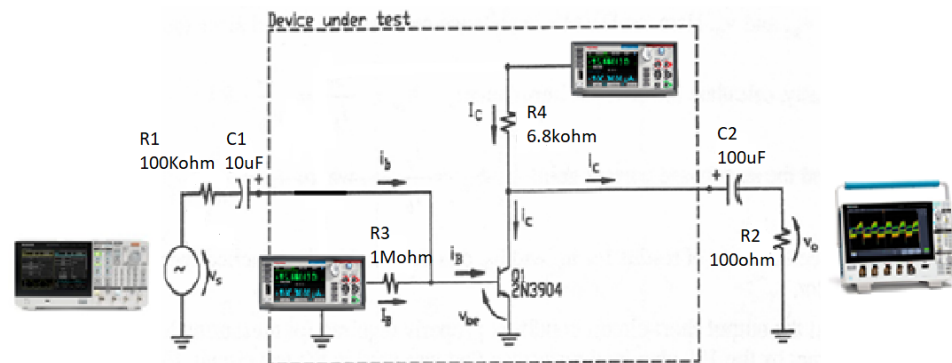
电流源
电压表
锁相放大器



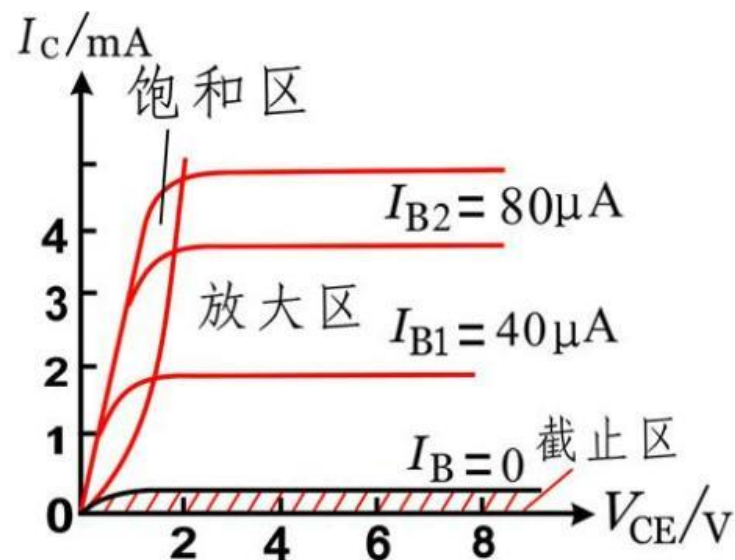
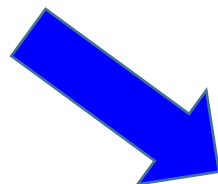
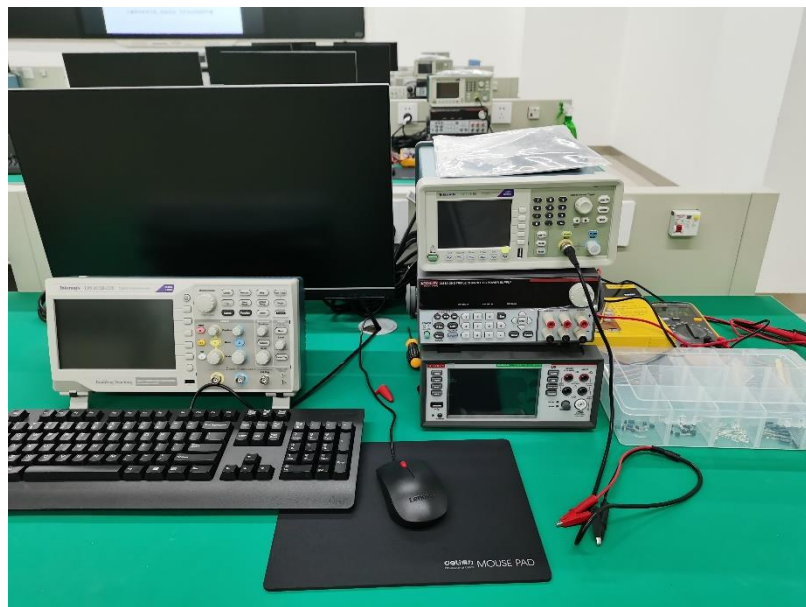
3.提高动手能力和工程实践能力



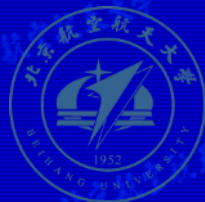
+



+



教学目标



- 为什么要上微电子器件实验课？
- 为什么微电子器件实验课被列为**核心专业课**？
- 为了：
 - 1. 深入理解器件机理
 - 2. 掌握通用仪表使用方法
 - 3. 提高动手能力和工程实践能力

电子元器件



■ 电子元器件

□ 电阻、电容、电感、晶体管、集成电路等的总称

■ 电子元件

□ 一般又将电阻、电容、电感等这些无源元件称为电子元件

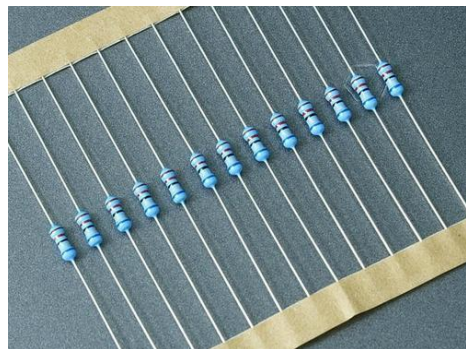
■ 电子器件

□ 一般将晶体管、集成电路等利用电子在真空中、气体或特定固体中的运动或能量状态的改变而作用于电路的元件——即有源元件，称为电子器件

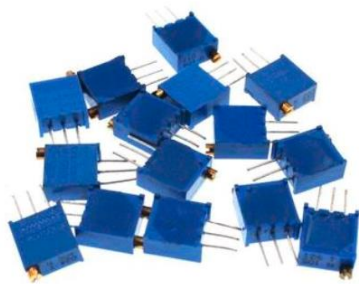
电子元器件：电阻



□ 电阻（电阻器）



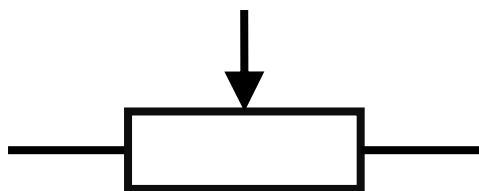
定值电阻



可调电阻



R



R_x

通用符号

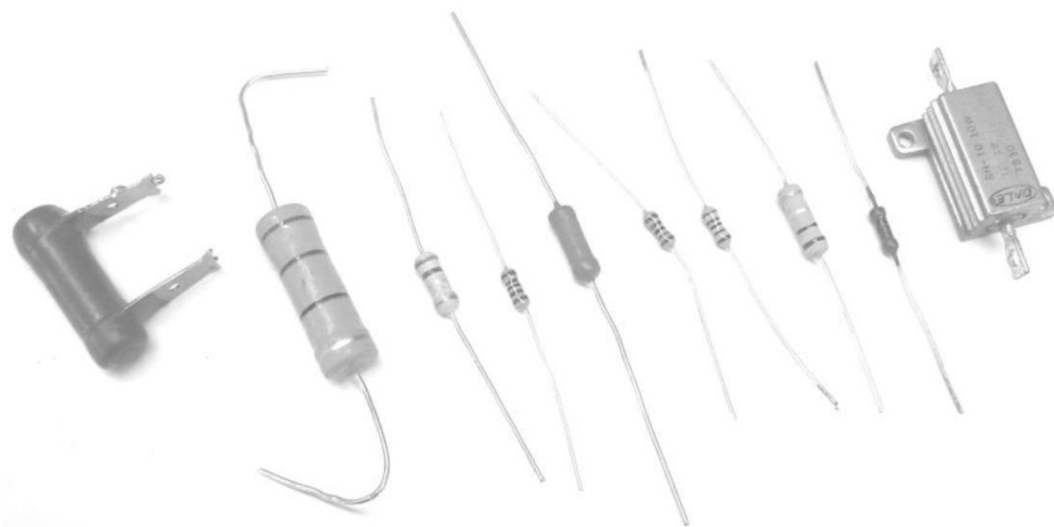
- 电阻的主要物理特征是变电能转化为热能，是一个耗能元件。电阻在电路中通常起到分压、分流的作用。
- 电阻通常用字母R表示，电阻的单位是欧姆，简称欧，符号为 Ω 。
- 可变电阻通常可以通过旋转上方的旋钮改变其阻值。

$$R = \frac{U}{I}$$

电子元器件：电阻



□ 电阻（电阻器）



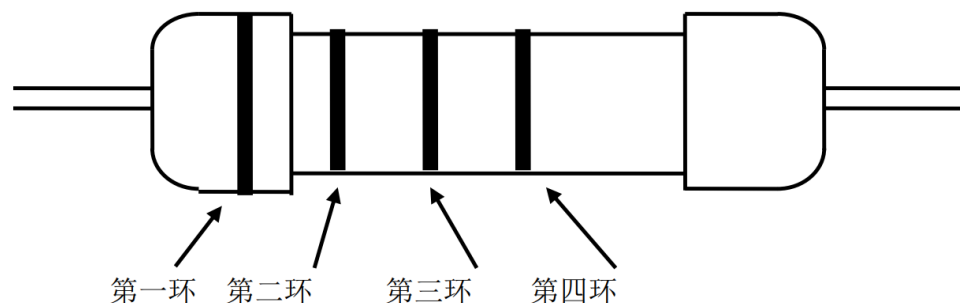
常见的电阻

- 电阻在工作时会发热，若热量来不及散掉，就会将电阻烧毁。所以电阻本身有一个功率极限，即电阻的**额定功率**。
- 常见的额定功率系列有1/16W、1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W等。
- 一般来说相同材料电阻体积越大，其功率也就越大

电子元器件：电阻



□ 色环标注法



有效数字 有效数字 倍率 误差

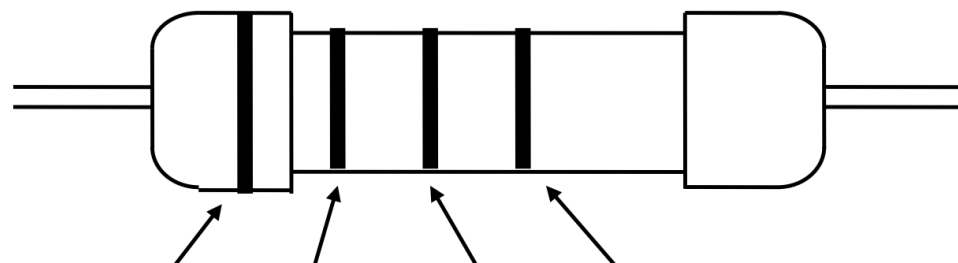
共用十种颜色表示0-9，
另外用金色和银色表示误差

- **色环标注法**是小功率电阻使用最多的标注法。
- 色环标注法又分为四环表示和五环表示两种。
- **四环电阻**又称为普通电阻，它的误差范围在 $\pm 5\%$ - $\pm 20\%$ 之间，是工程上常用的电阻系列。它造价低，一只普通电阻的出厂价仅几分钱。
- **五环电阻**又称精密电阻，它的精度比四环电阻要高出一个数量级，最高可达到千分之一。

电子元器件：电阻



□ 四环电阻



第一环 第二环 第三环 第四环
有效 有效 倍率 误差
数字 数字

举例：

红色 红色 红色 金色
 $22 \times 10^2 \Omega$ (2.2k Ω)，误差5%

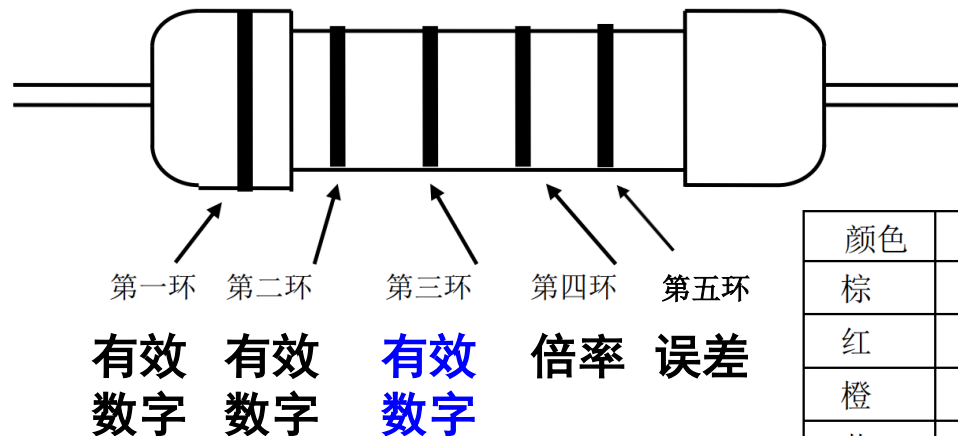
棕色 黑色 银色 银色
 $10 \times 10^{-2} \Omega$ (0.1 Ω)，误差10%

颜色	第一环	第二环	第三环倍率	第四环误差
棕	1	1	$\times 10^1$	
红	2	2	$\times 10^2$	
橙	3	3	$\times 10^3$	
黄	4	4	$\times 10^4$	
绿	5	5	$\times 10^5$	
兰	6	6	$\times 10^6$	
紫	7	7	$\times 10^7$	
灰	8	8		
白	9	9		
黑	0	0		
金			$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
银			$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

电子元器件：电阻



五环电阻：精度较高



颜色	第一环	第二环	第三环	第四环倍率	第五环误差
棕	1	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$
红	2	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
橙	3	3	3	$\times 10^3$	
黄	4	4	4	$\times 10^4$	
绿	5	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
兰	6	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.2\%$
紫	7	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	8		
白	9	9	9		
黑	0	0	0	$\times 10^0$	
金				$\times 10^{-1}$	
银				$\times 10^{-2}$	
无色					

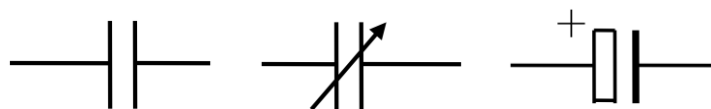
电子元器件：电容



□ 电容（电容器）



电容



C

通用符号

- 电容器的基本构造是在两片金属板之间添加某种电介质制成。它的物理特性是能够储存电荷，给定电位差下自由电荷的储藏量称为电容量，记为C，单位是法拉（F）
- 电容器最显著的电特性是阻止直流电流通过、允许交流电流通过，在调谐、旁路、耦合、滤波等电路中起着重要的作用
- 我国在电解电容上标注引脚的极性时，是在引脚的正极处注明一个（+）符号；而进口的电容则是在负极处注明（-）符号。通常引脚长的是正极

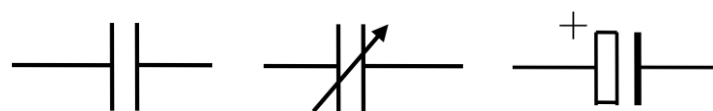
电子元器件：电容



□ 电容的标注方法



电容



C

通用符号

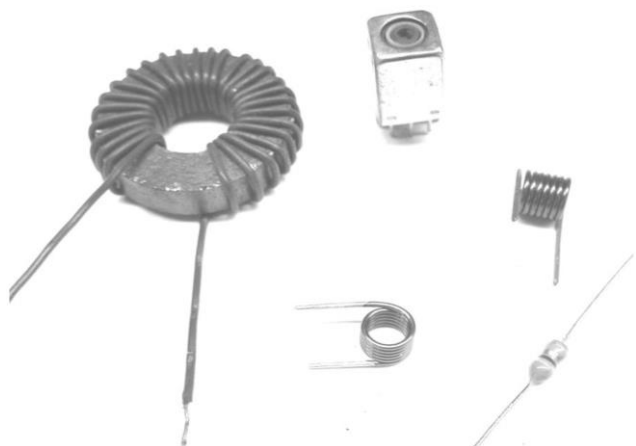
➤ 数码表示法：

- 用三位阿拉伯数字表示电容的容量。其中：第一位和第二位是有效数字，第三位是倍率，单位是pF，第三位数字为9时表示倍率是 10^{-1} 。
- 例如：102表示电容量是 $10 \times 10^2 = 1000 \text{ pF}$

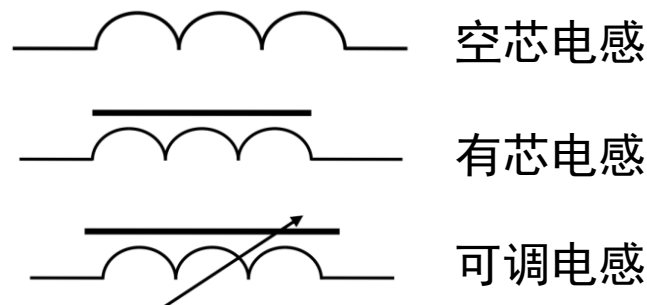
电子元器件：电感



□ 电感



电感



L

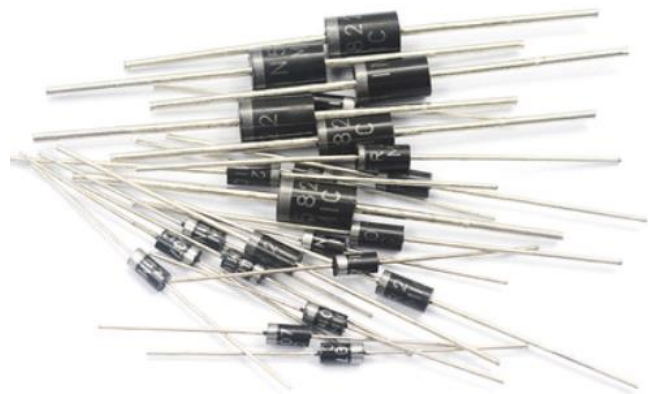
通用符号

- 电感是由电磁线在特定的模子上绕制而成的，它的量纲是亨利，用字母（H）表示，在电路中用字母（L）表示电感元件
- 由于线圈内的磁性材料的不同，电感又有高频电感和低频电感之分。高频电感的磁性材料是铁氧体；低频电感的材料是硅钢片。前者可用于几百MHz；后者只能工作在几十Hz

电子元器件：二极管



■ 二极管



整流二极管



发光二极管



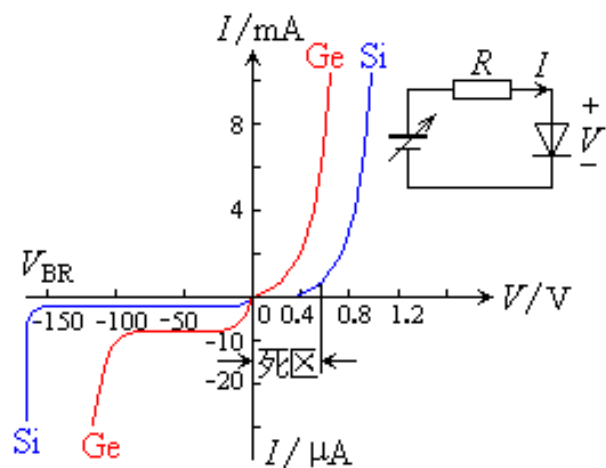
通用符号

- 在PN结的两端引出两根金属导线作为电极就构成了二极管。
- 二极管具有**单向导电性能**，即给二极管阳极和阴极加上正向电压时，二极管导通；当给阳极和阴极加上反向电压时，二极管截止。因此，二极管的导通和截止，相当于开关的接通与断开。

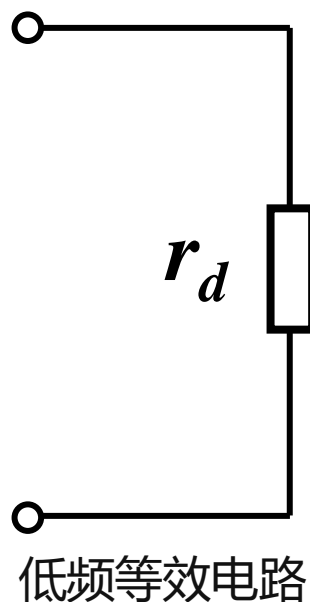
电子元器件：二极管



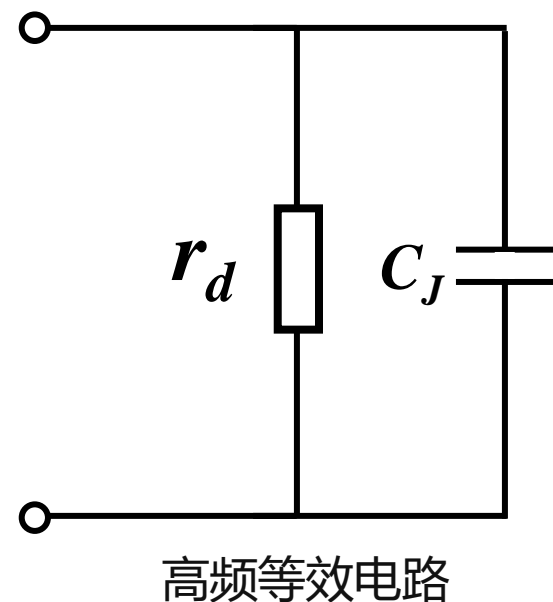
■ 二极管



PN节伏安特性曲线图



低频等效电路



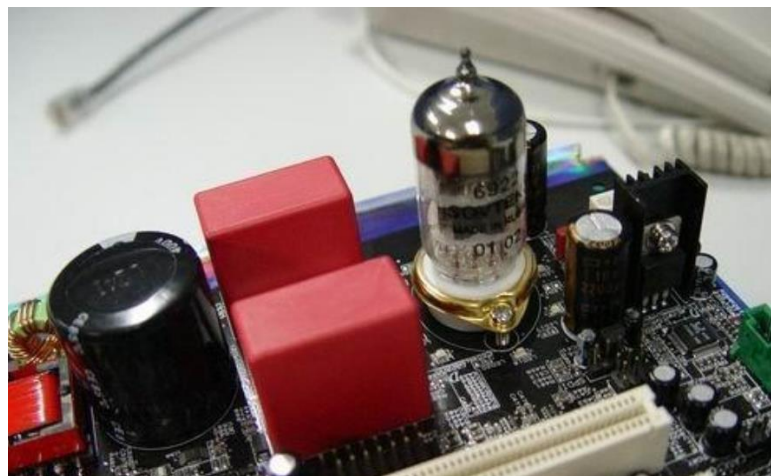
高频等效电路

- 在小信号低频交流电路中，二极管可以等效为一个电阻。
- 在工作频率较高时，二极管的结电容不可忽略，二极管可以等效为一个电阻并联一个小电容。

电子元器件：三极管



■ 晶体三极管之前：真空电子三极管

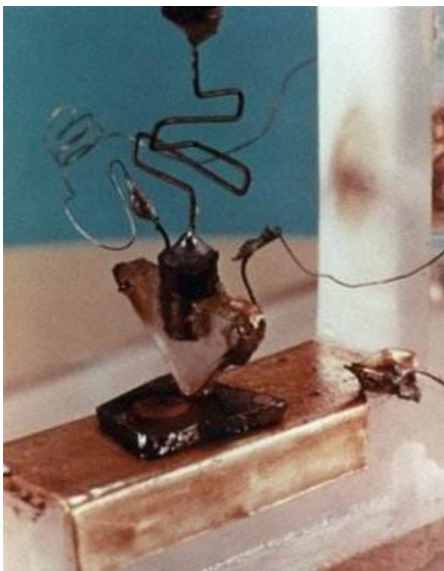


- 晶体三极管出现之前是真空电子三极管在电子电路中以放大、开关功能
- 真空三极管为计算机的诞生铺平了道路，在世界上第一台电子计算机 ENIAC 里面，电子管是其最基本的元件了
- 电子管**庞大的尺寸和巨大的能耗**是两个致命的缺陷，所以会被小巧玲珑的半导体器件取代
- 但在模拟电路中，电子管的高保真放大特性仍然让与晶体管 and 集成电路相形见绌。因此，电子管仍被用在音响中

电子元器件：三极管



■ 第一只晶体三极管



巴丁
布莱顿
肖克利

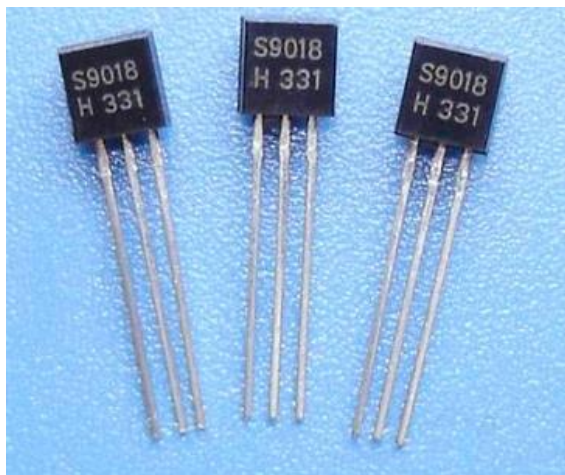
- 1947年美国贝尔实验室发明锗晶体三极管
- 获1956年诺贝尔物理学奖

电子元器件：三极管

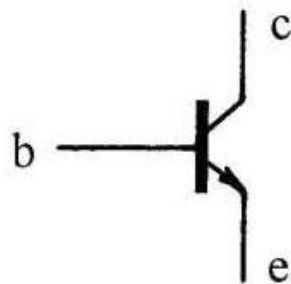


■ 三极管（晶体三极管）

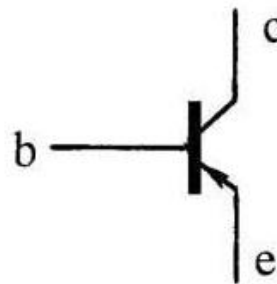
- 具有电流放大作用，是电子电路的核心元件
- 广义三极管：双极型三极管(BJT)、场效应管(FET)等
- 狭义三极管：双极型三极管(BJT)



三极管



NPN 型



PNP 型

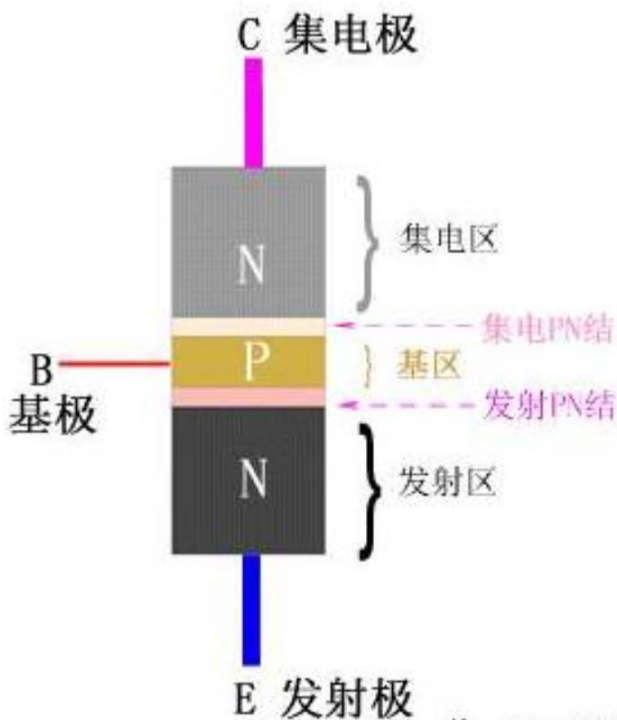
通用符号

- 三极管的三个引脚分别为发射极e(Emitter)、基极b(Base)和集电极c(Collector)。

电子元器件：三极管



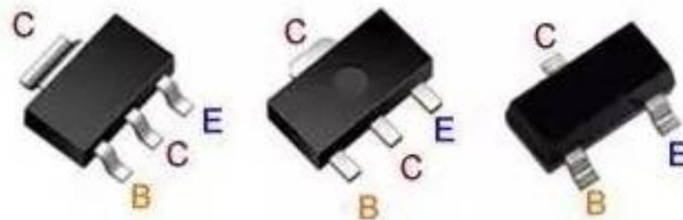
■ NPN和PNP



TO封装 (Transistor Outline)



SOT封装 (Small Outline Transistor)

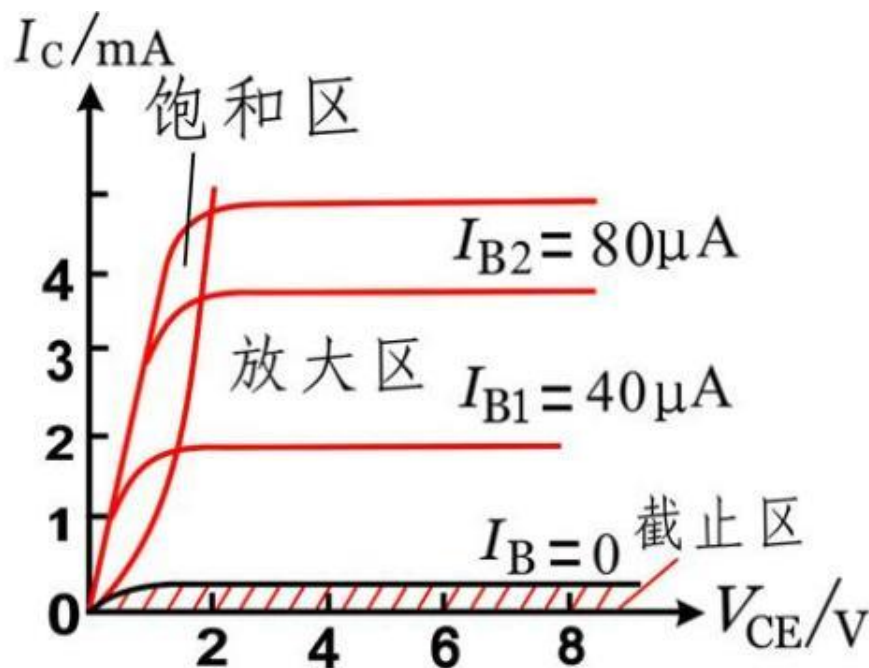


➤ 三极管的由两个背对背的PN结组成

电子元器件：三极管



■ 三极管的功能



输出特性曲线

- 截止区：当 $I_B=0$ 时， I_C 很小，相当于开关断开
- 放大区：当 $I_B > 0$ 时， I_B 轻微的变化会在 I_C 上以几十甚至百多倍放大表现出来，表现出放大功能
- 饱和区：当 I_B 很大时， I_C 也很大，且 I_C 不随 I_B 的增大而增大，三极管失去放大功能，表现为开关导。

- 三极管是一种控制电流的半导体器件，其作用是把微弱信号放大成幅度值较大的电信号，也用作无触点开关。

电子元器件：三极管



■ 多种多样的晶体三极管

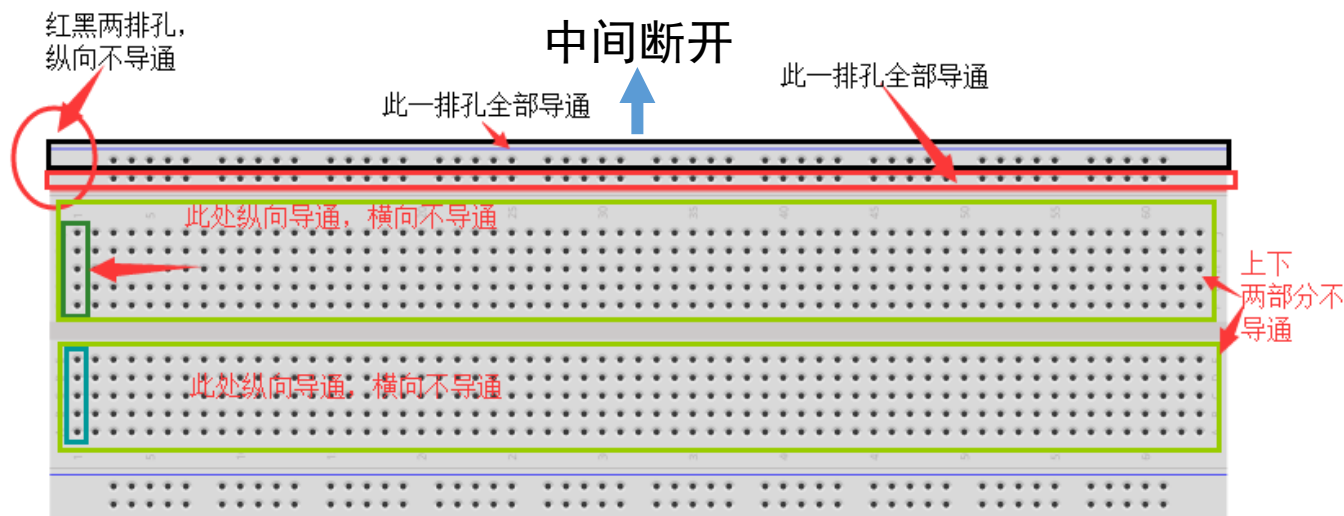


- 小功率三极管一般为塑料包封；
- 大功率三极管一般为金属铁壳包封。

面包板



■ 面包板



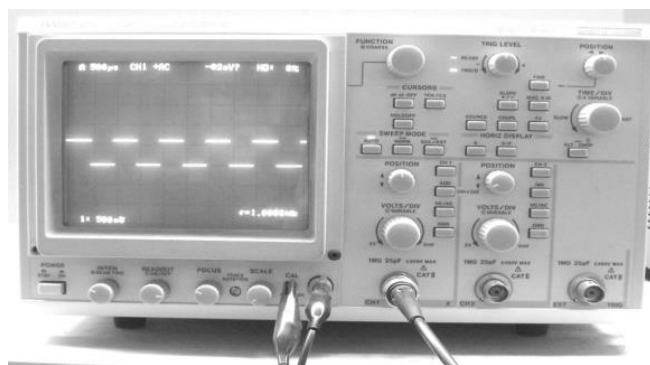
面包板导通图示

- 面包板即 " 集成电路实验板 " ，就是一种插件板，此 " 板 " 上具有若干小型 " 插座（孔） " 。
- 在进行电路实验时，可以根据电路连接要求，在相应孔内插入电子元器件的引脚以及导线等，使其与孔内弹性接触簧片接触，由此连接成所需的实验电路。
- 面包板免去了焊接，节省了电路的组装时间，而且原件可以重复使用，非常适合电子电路的组装、调试和训练。

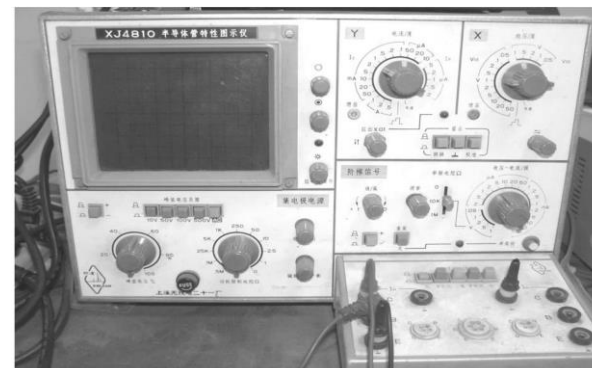
传统微电子实验设备



双路跟踪稳压稳流电源



示波器



半导体管特性图示仪

传统教学设备的不足：

1. 采用教学专用仪器，与实际科研和产业脱节
2. 插入器件就能得到结果，学生动手思考机会少
3. 电路固定，通用性/扩展性差，学生无法自主进行新的探索
4. 设备老旧，与时代脱节

微电子器件实验课 (B3-A06)



- 搭建通用的综合微电子实验平台：
 - 使用通用仪器、通用器件，以及与科研、产业一致的测试方法，对接现代微电子及半导体领域的科研和生产的标准作业流程
 - 学习经典测试原理和测试方法，掌握小信号的测试、连接、误差分析方法
 - 测试原理清晰，实验内容与理论课程相结合，按照行业测试规范提供数据并计算测试结果
 - 学习阅读常见器件手册，根据指标设计测试方案，培养学生自主思考，解决实际工程实践能力

实验仪表介绍：电源



■ KEITHLEY 2231A-30-3 三通道直流电源



输出范围：

	电压	电流
CH1	0-30V	0-3A
CH2	0-30V	0-3A
CH3	0-5V	0-3A

最大功率： 195W

- 主要功能：输出3个独立的电流或电压，为多种电路和器件的测试提供所需的功率
- 使用方法：打开电源表，接线（红色为正，黑色为负），在左侧选择通道以及需要输出的参数类型，键盘输入所需参数大小，按enter确定，按on/off输出。
- 注意事项：
CV表示恒定电压输出模式；
CC表示恒定电流输出模式。

实验仪表介绍：任意函数发生器



■ Tektronix AFG1062 任意波形发生器



- 性能指标：
 - 双通道，60MHz正弦波形；
 - 30MHz方波；
 - 14位，300MS/s任意波形，
 - 1M点记录长度；
 - 幅度1mVpp-10Vpp输出
 - 50种内置波形。

- 主要功能：生成各种实验室测试所需的精准波形。
- 使用方法：打开电源表，接线，在屏幕下方选择需要输出的波形，在屏幕右侧设置需要的频率、幅值、偏置等参数，按on/off输出。
- 内置波形：正弦波、方波、脉冲波、锯齿波、噪声波和45种常用任意波形。

实验仪表介绍：万用表



■ KEITHLEY DMM6500 6位半台式/系统数字万用表



- 主要功能：测量电阻，通断性，电容以及交流电和直流电的电流、电压等参数。
- 主要特点：15种测量功能；触摸屏。

■ Fluke 15B Pro 数字万用表



- 使用方法：接线（黑色接负，红色根据要测的参数对比接线端上方标志选择），旋转旋钮选择要测的参数即可。
- 注意事项：
此产品在20分钟不进行任何操作后，会发出蜂鸣声，随后自动关机。请在蜂鸣声响时旋转旋钮再调回所需位置。如果已自动关机，首先将旋钮调回OFF位置，再调到所需位置。

实验仪表介绍：示波器



■ Tektronix TBS 1072B-EDU 数字示波器



- 性能指标：
 - 70MHz带宽；
 - 双通道；
 - 2GS/s的采样率；
 - 2.5k点记录长度；
 - 34种自动测量。
- 主要功能：测量交流信号的波形以及相关参数。可以测量周期、频率、峰峰值、RMS、周期RMS等参数。
- 使用方法：打开电源表，接线，选择要查看的通道，选择要查看的参数，可以按“Autoset”进行自动设置。
- 注意事项：仅使用一个通道测试时，请断开另一个通道的探头，否则会测不到信号。

随堂测试



随堂测试：

- 1、请画出PN结伏安特性曲线图
- 2、请画出二极管的低频等效电路和高频等效电路
- 3、请画出共射BJT的输出特性曲线图

谢谢！