



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY



可靠性与系统工程学院

元器件可靠性与质量保证

主讲教师：付桂翠

Email: fuguicui@buaa.edu.cn

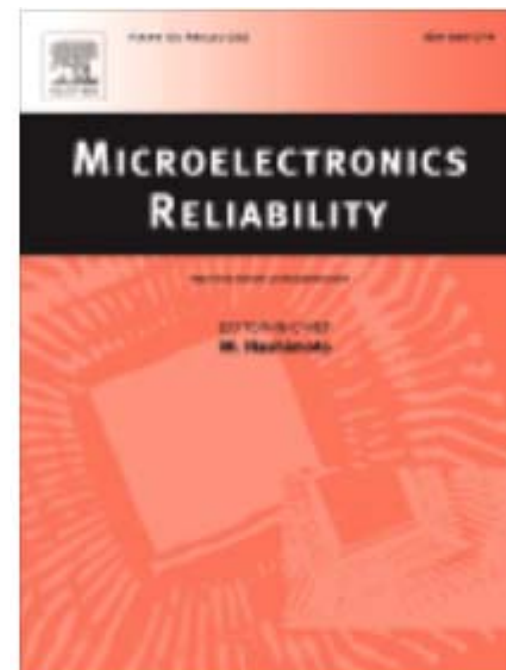
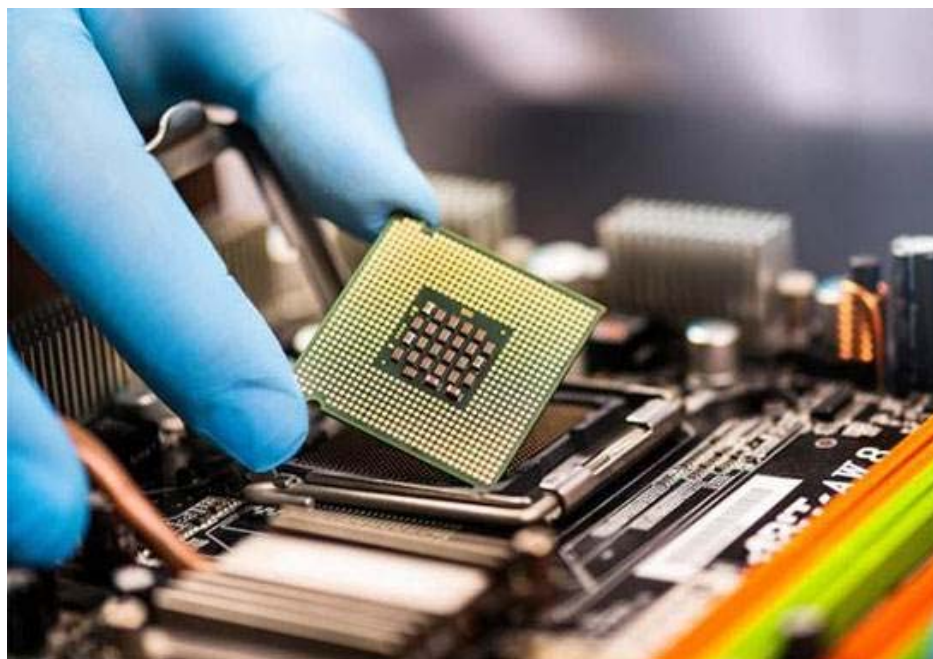
2023年02月20日



元器件质量保证中心

讨论

- ❖ 可靠性?
- ❖ 元器件?
- ❖ 元器件可靠性?



C 本节内容 CONTENTS

第一章：电子元器件可靠性概述

- 一、课程概况
- 二、考核要求
- 三、元器件的发展历程
- 四、元器件可靠性的基本概念
- 五、元器件标准体系和质量等级



一、课程概况

□ 课程主讲内容

➤ 元器件分类及元器件可靠性相关标准

➤ 元器件固有可靠性

元器件制造技术
元器件封装技术
元器件可靠性试验技术

➤ 元器件使用可靠性

元器件使用可靠性保证管理
元器件降额设计
热设计与热分析
可靠性筛选技术
静电损伤及防护技术
破坏性物理分析技术
失效分析技术



制程工艺

先进封装技术

高端IC设计



国产元器件

“能生产”

“能使用”

“敢使用”

元器件可靠性

C 本节内容 CONTENTS

第一讲：电子元器件可靠性概述

一、课程概况

二、考核要求

三、元器件的发展

四、电子元器件可靠性的基本概念

五、电子元器件标准体系和质量等级



二、考核要求

- 课时安排：24学时，2学时/次
- 任课教师：付桂翠、万博
- 课程安排：课堂教学22学时，考试2学时
- 考试安排：平时考核和期末闭卷考试相结合，其中平时成绩占20%，期末闭卷考试成绩占80%。
- 使用教材：付桂翠 万博等，电子元器件可靠性技术基础（第2版）北航出版社。2022

元器件质量与可靠性 课程签到统计

2022/02/28 至 2025/02/27



长按或扫码进入

微信小程序·小小签到 如扫码失败请将微信升级至最新版



C 本节内容 CONTENTS

第一讲：电子元器件可靠性概述

一、课程概况

二、考核要求

三、元器件的发展历程

四、电子元器件可靠性的基本概念

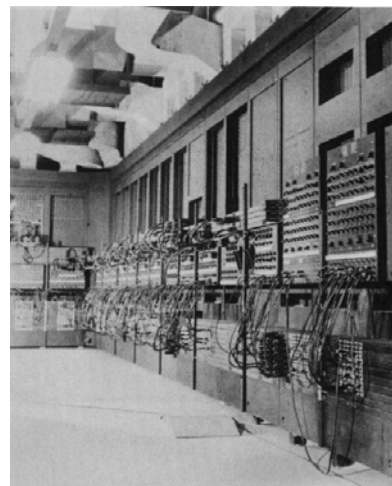
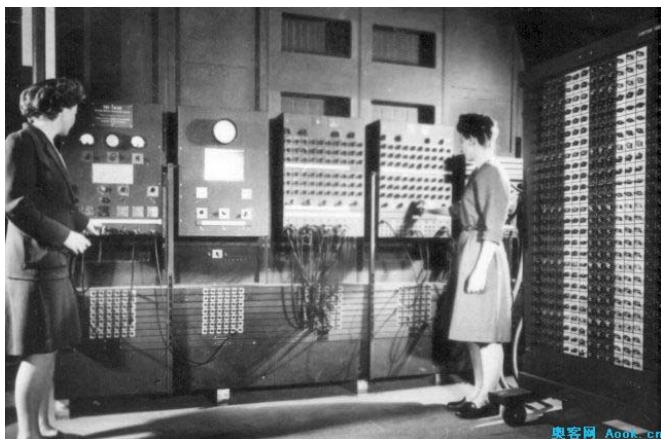
五、电子元器件标准体系和质量等级



三、元器件的发展

【电子管的诞生】：

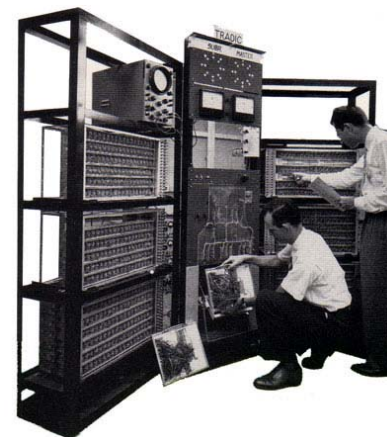
- 1906 年，美国物理学家，“电子管之父” Lee De Forest发明了真空三极管，利用这种新的元件，电路能够实现放大、振荡和开关等功能；
- 真空三极管的发明，使电子管成为实用的器件；
- 功耗大，产生的热量过多，且极易烧坏；
- 1946年诞生的第一台电子计算机ENIAC，其中采用了大约18,000只电子管，，占地面积170多平方米，重量约30吨，功率25KW。这台机器每隔两天发生一次故障



三、元器件的发展

【第一个半导体晶体管的诞生】：

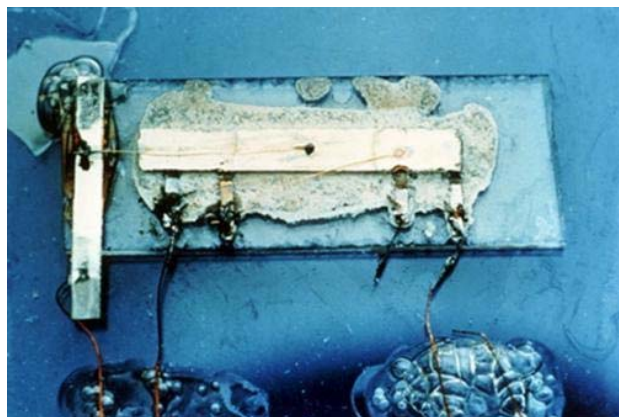
- 1947年12月16日：William Shockley、John Bardeen和Walter Brattain成功地在贝尔实验室制造出第一个晶体管；
- 评价：晶体管“使我们的社会发生了伟大变革，这场变革的深远意义不亚于钢铁的发现、蒸汽机的发明以及英国工业革命。”
- 1950年，William Shockley又开发出双极晶体管，这是现在通行的标准晶体管；
- 1954年5月24日，贝尔实验室使用800只晶体管组装了世界上第一台晶体管计算机TRADIC，功率100瓦。



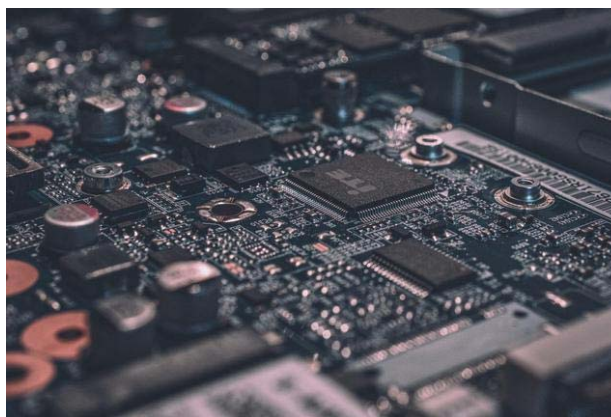
三、元器件的发展

【第一块集成电路的发明】：

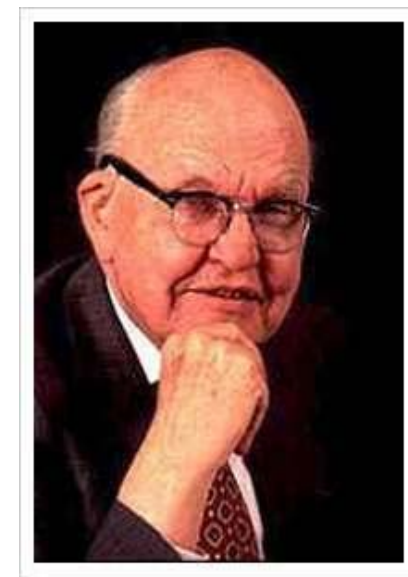
- 1958年9月12日，基尔比研制出世界上第一块集成电路；
- 具有五个集成元件的简单振荡电路，电路中的元器件，包括二极管、晶体管、电阻和电容等全部制造在了同一个晶片上；
- 半导体材料：锗



第一块集成电路



现代集成电路



杰克 基尔比
——集成电路之父

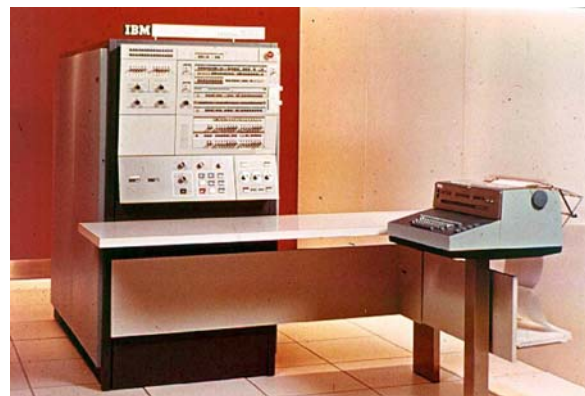
三、元器件的发展

【集成电路由“发明时代”进入“商用时代”】：

- 1959年7月，仙童半导体的诺伊斯 (Robert Noyce) 研究出一种二氧化硅的扩散技术和PN结的隔离技术，并创造性地在氧化膜上制作出铝条连线，使元件和导线合成一体，从而为半导体集成电路的平面制作工艺、为工业大批量生产奠定了坚实的基础；
- 半导体材料：硅—地球上含量最丰富的元素之一，商业化价值更大，成本更低；
- 1961年，仙童半导体公司和德州仪器公司共同推出了第一颗商用集成电路。



罗伯特·诺伊斯

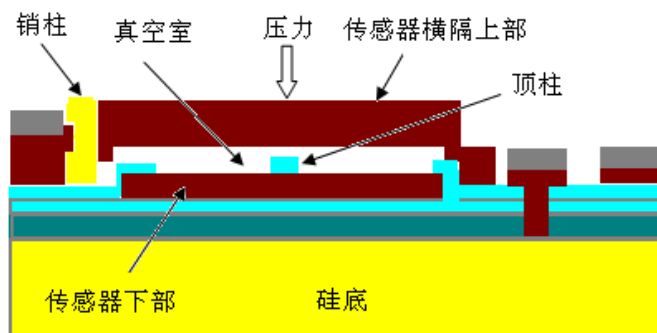


世界上第一台用集成电路计算机—IBM360

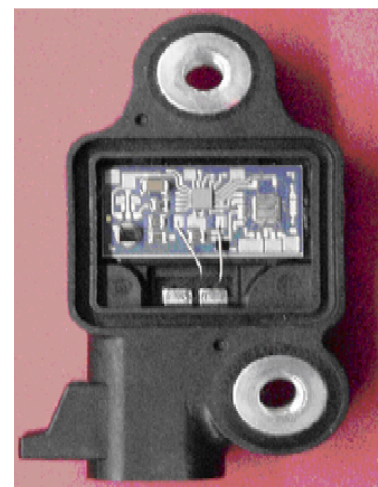
三、元器件的发展

【MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 出现】：

- 1959年微机电系统出现，70年代末，微机电系统兴起。微机电系统是集执行器和传感器等微型装置、微型机构与处理电路为一体的微型系统。
- 微传感器：压力传感器，加速度传感器，
- 压力传感器：将薄膜变形的能量转变为电能量（信号）输出的器件
- 加速度传感器：测量物体运动加速度。
- 微执行器：微探针，微齿轮，微弹簧等

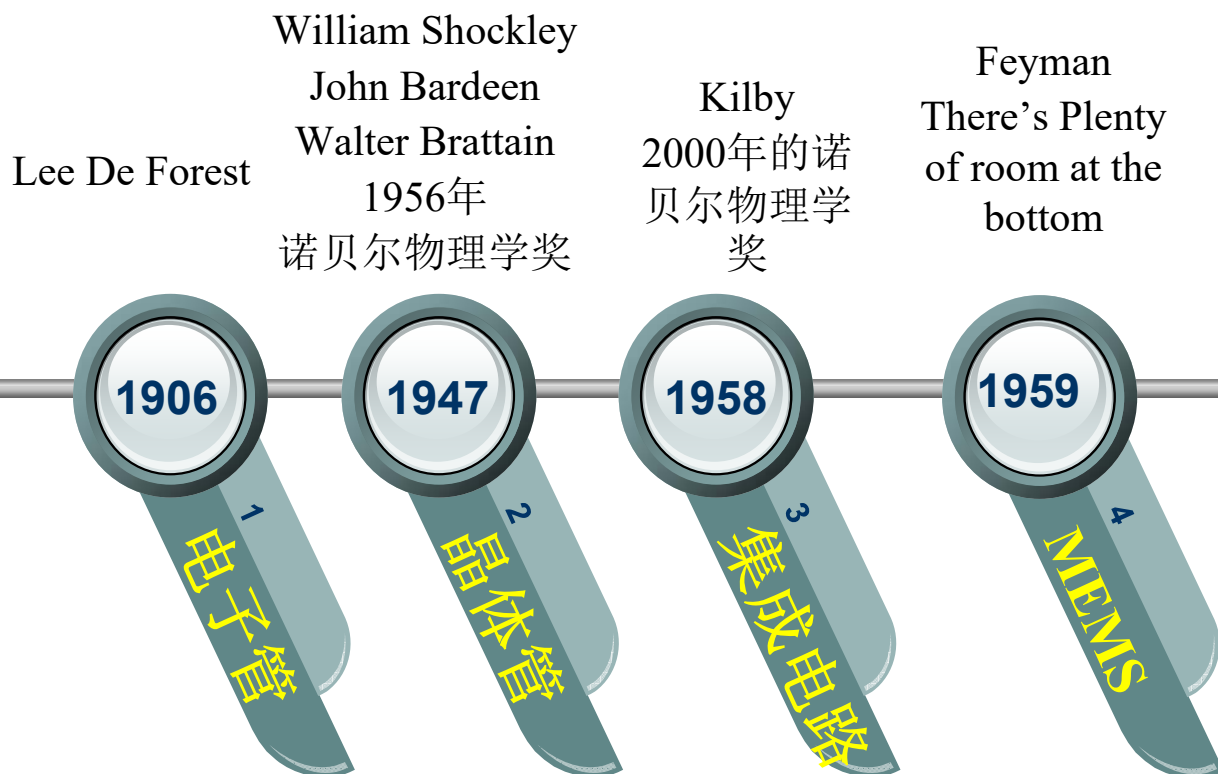


压力传感器

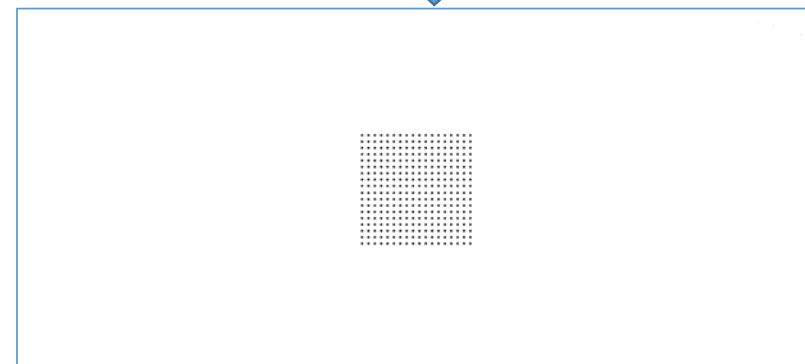


加速度计

三、元器件的发展



造芯片有多难？华为为什么不自己造芯片？



科普视频

C 本节内容 CONTENTS

第一讲：电子元器件可靠性概述

- 一、课程概况
- 二、考核要求
- 三、元器件的发展
- 四、电子元器件可靠性的基本概念**
- 五、电子元器件标准体系和质量等级



四、电子元器件可靠性的基本概念

【电子元器件】：

- 元器件是电子电路、系统的基础部件，是能够完成预定功能且不能再分割的基本单元。
- 根据GJB 8118-2013《军用电子元器件分类与代码》电子元器件可被定义为：在电子线路或电子设备中执行电气、电子、电磁、机电和光电功能的基本单元。该基本单元可由多个零件组成，通常不破坏是不能将其分解的。
- 军用电子元器件则被定义为用于武器装备中的电子元器件。



四、电子元器件可靠性的基本概念

电子元器件分类及代码

- 一共分为五层；
- 第一层为四位数，与GJB 7000-2010中的代码保持一致；
- 其余每层均为两位数。

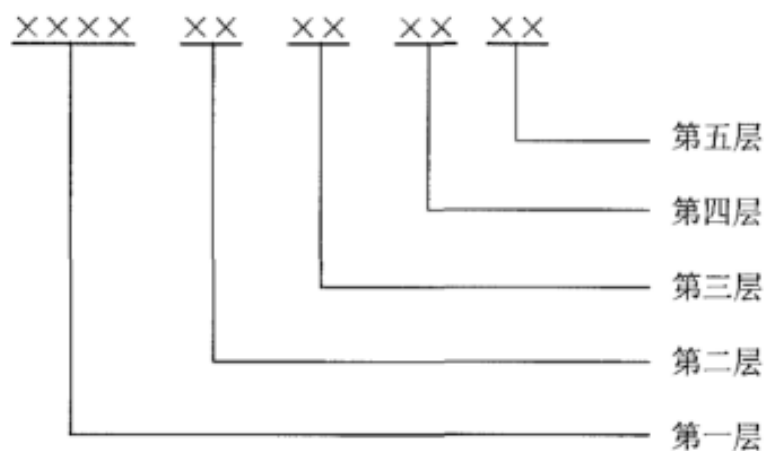


图1 分类代码结构

[1] GJB 8118-2013, 军用电子元器件分类与代码 [S]. 北京：中国人民解放军总装备部, 2013.

四、电子元器件可靠性的基本概念

- 军用电子元器件第一层类目及代码表

第一层代码	第一层类目名称	第一层代码	第一层类目名称
5905	电阻器	5985	天线、波导管和相关设备
5910	电容器	5990	同步器和分解器
5911	敏感元件和传感器(件)	5995	通信设备电缆、软线和电线组件
5915	滤波器和网络	5998	电气电子组件、板和卡(仅列出印制电路板)
5920	保险丝、避雷器、吸收器和保护装置	5999	其他电气和电子元件
5925	断路器	6010	光纤
5930	开关	6020	光缆
5935	电连接器	6021	光纤开关
5945	继电器	6030	光纤装置及器件
5950	线圈、变压器和磁性元件	6032	光纤用光源和图像探测器
5955	振荡器和压电晶体	6035	光传输和图像传输器件
5956	声表面波和声体波器件	6060	光纤互连器件
5960	电子管和附件(真空电子器件)	6099	其他光纤元件
5961	半导体分立器件和附件	6116	燃料电池及其部件和附件(仅列出燃料电池)
5962	微电路	6117	太阳能电力系统(仅列出太阳能电池)
5965	送受话器和扬声器	6135	非充电电池(原电池)
5980	光电子器件	6140	充电电池(蓄电池)

[1] GJB 8118-2013, 军用电子元器件分类与代码 [S]. 北京：中国人民解放军总装备部, 2013.

四、电子元器件可靠性的基本概念

- 军用元器件分类代码示例

示例1

分类代码	类目名称	说明
5905	电阻器	不包括热敏电阻器、压敏电阻器、光敏电阻器(5911)
590501	固定电阻器	
59050101	膜电阻器	
5905010101	金属膜电阻器	包括金属氧化膜电阻器
5905010102	碳膜电阻器	
5905010103	玻璃釉电阻器	
5905010199	其他膜电阻器	

示例2

5962	微电路	
596201	半导体集成电路	不包括微波半导体集成电路; 包括: 锗硅、应变硅、绝缘体上硅(SOI)半导体集成电路
59620101	模拟集成电路	
5962010101	放大器	
596201010101	运算放大器	
596201010102	线性放大器	

[1] GJB 8118-2013, 军用电子元器件分类与代码 [S]. 北京: 中国人民解放军总装备部, 2013.

四、电子元器件可靠性的基本概念

【电子元器件可靠性】：

经典可靠性定义是：产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。

固有可靠性是针对构成电子元器件的原材料性能及制成后在运行中所受应力情况，在设计阶段所赋予，在制造过程加以保证得到的；是设计赋予、制造保证的。

使用可靠性是指电子元器件在实际使用中表现出的可靠性。包括电子元器件使用单位合理选用电子元器件、正确使用电子元器件等方面。

电子元器件可靠性

=

固有可靠性

+

使用可靠性

四、电子元器件可靠性的基本概念

【电子元器件可靠性的影响因素】：

(1) 设计过程

- 设计过程
- 制造过程
 - ◆ 制造过程工艺因素
 - ◆ 人员因素
 - ◆ 机器因素
 - ◆ 材料因素
 - ◆ 技术与方法
 - ◆ 环境因素
- 检验过程
- 使用过程

设计项目		设计因素	失效模式
模型设计	晶体管（金属氧化物半导体）	大小、形状, 氧化膜厚度	功能失效
	电阻（扩散）	大小、形状, 扩散深度, 掺杂浓度	功能失效、不足的击穿电压, 短路
	金属化（多晶硅）	大小、形状, 薄膜厚度, 掺杂浓度	功能失效, 开路
	连接衬底	大小、形状, 布线引导形状	不当的连接, 开路
制造工序设计	氧化（热氧化方法）	温度, 时间, 反应气体, 薄膜厚度	功能失效
	钝化沉积（化学气相沉积）	温度, 时间, 反应气体, 薄膜厚度	功能失效
	扩散（离子注入）	温度, 时间, 掺杂浓度, 扩散深度	功能失效, 不足的击穿电压
	金属沉积（铝）	沉积方法, 温度, 薄膜厚度	功能失效, 开路, 短路
	管芯分离	切割方法, 镜片厚度	管芯破裂, 瑕疵, 短路
	管芯结合	结合方法、材料, 温度	特性失效

四、电子元器件可靠性的基本概念

【电子元器件可靠性的影响因素】：

(1) 设计过程

- 设计过程
- 制造过程
 - ◆ 制造过程工艺因素
 - ◆ 人员因素
 - ◆ 机器因素
 - ◆ 材料因素
 - ◆ 技术与方法
 - ◆ 环境因素
- 检验过程
- 使用过程

设计项目		设计因素	失效模式
封装设计（气体密封）	密封方法	玻璃，金属焊接、熔接，树脂连接，密封条件	气体密封缺陷，功能失效，大的漏电流，腐蚀
	密封气体	化学反应，含湿量	功能失效，大的漏电流，腐蚀
	包封材料	玻璃，陶瓷，金属，树脂，热膨胀，机械强度	损坏包装，气体封闭缺陷，功能失效，热失控
	外部导线材料	电导率，硬度，热膨胀，耐蚀性，机械强度	接触缺陷，导线损坏缺陷
包装设计	成型方法	移动模型、焊接等	开路，短路
	成型的树脂材料	强化剂，化学电阻，杂质，热膨胀，导热系数	功能失效，开路，短路，腐蚀
	包装的形状和大小	芯片尺寸和包装尺寸的相关性	失去外部导线，开路，短路，腐蚀
	成型条件	温度，时间，压力	开路，短路，焊接导线位移
	外部导线	材料的电导率，硬度，热膨胀，耐蚀性，弯曲强度 导线形状和大小，抗张强度，弯曲强度	接触缺陷，导线损坏缺陷 导线损坏缺陷

四、电子元器件可靠性的基本概念

【电子元器件可靠性的影响因素】：

- 设计过程
- 制造过程
 - ◆ 制造过程工艺因素
 - ◆ 人员因素
 - ◆ 机器因素
 - ◆ 材料因素
 - ◆ 技术与方法
 - ◆ 环境因素
- 检验过程
- 使用过程

(2) 制造过程

不同类别的电子元器件制造过程与工艺不同，但这些工艺和过程都可能影响其可靠性。除了产品对制造过程中的工艺因素敏感外，对外部环境条件也很敏感，且制造过程中的设备故障、应用材料以及任何技术操作和人为因素也都直接影响产品的可靠性

一块小小的CPU为什么要这么贵？
概述一个简单的CPU是如何生产

一颗芯片是怎么造的

四、电子元器件可靠性的基本概念

【电子元器件可靠性的影响因素】：

- 设计过程
- 制造过程
 - ◆ 制造过程工艺因素
 - ◆ 人员因素
 - ◆ 机器因素
 - ◆ 材料因素
 - ◆ 技术与方法
 - ◆ 环境因素
- 检验过程
- 使用过程

(3) 检验过程

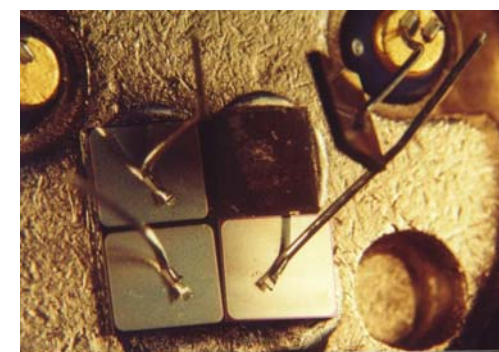
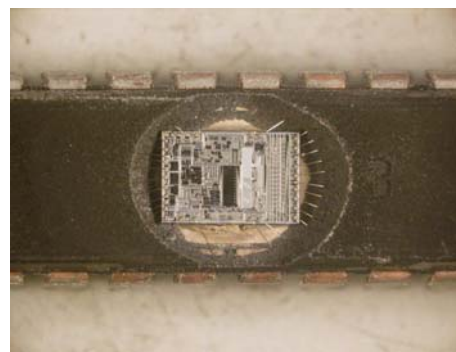
目的：发现早期失效

主要涉及：入厂检验

测试

筛选

DPA



(4) 使用过程

合理选用

正确使用



C 本节内容 CONTENTS

第一讲：电子元器件可靠性概述

- 一、课程概况
- 二、考核要求
- 三、元器件的发展
- 四、电子元器件可靠性的基本概念
- 五、电子元器件标准体系和质量等级**



五、电子元器件标准体系和质量等级

【电子元器件相关标准】：

□ 按标准级别分类

(1) 国家级标准：

包括国家标准（代号GB，以下简称“国标”）和国家军用标准（代号GJB，以下简称“国军标”）；

(2) 行业级标准：

包括行业标准和行业军用标准，我国电子、航天、航空等行业均制定有适用于本行业的标准；

(3) 企业级标准：

包括企业标准和企业军用标准。

□ 按标准类型分类

(1) 规范

包括元器件的总规范和详细规范，统称产品规范。元器件的总规范对某一类元器件的质量控制规定了共性的要求；详细规范是对某一类元器件中的一个或一系列型号规定的具体性能和质量控制要求。

(2) 标准：

涉及可靠性试验方法、测量检验规范、失效分析方法和生产线认证标准等。

(3) 指导性技术文件：

如指导正确选择和使用元器件的指南、用于电子设备可靠性预计的手册等。

五、电子元器件标准体系和质量等级

【电子元器件相关标准】：

□ 标准类型划分--规范

总规范

国军标/国标编号	国军标/国标名称	参考美军标编号
GJB 33A-1997	半导体分立器件总规范	MIL-S-19500H
GJB 597A-1996	半导体集成电路总规范	MIL-M-38510G
GJB 2438B-2017	混合集成电路通用规范	MIL-H-38534C
GJB 63B-2001	有可靠性指标的固体电解质钽电容总规范	MIL-C-39003
GJB 65B-1999	有可靠性指标的电磁继电器总规范	MIL-R-39016
GB/T 4589.1-2006	半导体器件、分立器件和集成电路总规范	N/A
GB/T 8976-1996	膜集成电路和混合膜集成电路总规范	N/A

详细规范

国军标/国标编号	国军标/国标名称
GJB 33A/12-2003	半导体分立器件 2CK36 型硅大电流开关二极管详细规范
GJB 9147-2017	半导体集成电路运算放大器测试方法
GJB 2438/1-2001	混合集成电路 HB系列DC/DC变换器详细规范
GJB 63A/1A-1991	有可靠性指标的JCAK型固体电解质钽电容器详细规范
GJB 65/26-2017	JRW-130M型有失效率等级的微型电磁继电器详细规范

我国国家标准和国家军用标准规定的元器件总规范/详细规范示例



五、电子元器件标准体系和质量等级

【电子元器件相关标准】：

总规范和详细规范的区别

GJB 2438B-2017

目次

前言.....II

1 范围.....1

2 引用文件.....1

3 要求.....1

3.1 总则.....1

3.2 本规范的附录.....1

3.3 本规范的质量等级.....1

3.4 一般要求.....2

3.5 产品要求.....5

3.6 可循环、可回收或环保材料的使用.....6

4 质量保证规定.....6

4.1 一般要求.....6

4.2 质量保证大纲.....6

4.3 基线工艺流程.....6

4.4 质量保证大纲计划.....6

4.5 列入 QML 的验证.....6

5 交货准备.....7

5.1 包装要求.....7

5.2 运输、装卸和储存.....7

6 说明事项.....7

6.1 预定用途.....7

6.2 采购文件中应明确的内容.....7

6.3 术语和定义.....8

6.4 破坏性试验.....11

6.5 非破坏性试验.....12

附录 A (规范性附录) 质量保证大纲.....13

附录 B (资料性附录) 统计抽样.....22

附录 C (规范性附录) 混合集成电路和多芯片组件的通用性能验证.....24

附录 D (规范性附录) 通用设计和结构准则.....52

附录 E (规范性附录) 混合集成电路和多芯片组件辐射加固保证要求.....62

GJB 2438/1-2001

目次

1 范围.....1

2 引用文件.....2

3 要求.....3

4 质量保证规定.....18

5 交货准备.....19

6 说明事项.....19

附录 A 封装结构和外形尺寸.....20

混合集成电路通用规范

混合集成电路
HB系列DC/DC变换器详细规范

GJB总规范、详细规范内容差异

GJB 2438B-2017

附录 A
(规范性附录)
质量保证大纲

A.1 范围

本附录规定了承制方制定质量保证大纲的详细要求，以实施验证与预防措施，保证产品质量和可靠性。质量保证大纲应能证实保证符合适用性能要求的各种方法，包括设计、制造及验证。本附录同时规定了两种质量保证大纲方案，其一是无技术审查委员会的质量保证大纲(即非 TRB 质量保证大纲)，其二是技术审查委员会质量保证大纲(即 TRB 质量保证大纲)。

A.2 技术审查委员会 (TRB) 质量保证大纲

采用该方案的承制方必须建立一套 TRB 程序，并得到鉴定机构认可。TRB 程序允许承制方将本规范规定的传统设计、结构要求和检测试验(如筛选、质量一致性检验及鉴定检验)等转向具有充分证据证明有效的另一些预防方法。替代的预防方法包括统计过程控制 (SPC)、定期工艺能力认证、设计分析、健壮设计、离线可靠性评价等。这些证据能够证明，在不执行检测试验项目或不遵循本规范规定的设计与结构要求时，这些预防方法也能确保产品符合本规范最低的质量和可靠性要求。承制方应以本规范作为依据建立一个质量保证大纲，并应包括验证的整条生产线。该生产线由 TRB 控制，根据技术或工艺的相应特点，TRB 可以修改、替换或取消一些检测试验。可采用统计过程控制和实验设计等技术确定工序能力。这些替代方法一经确定，则需要定期进行评价，以保证这些工艺持续满足所要求的工序能力。质量保证大纲也需要一个持续改进的程序，以降低产品总成本和改进质量及可靠性。对每种产品还应制定一个用户符合性矩阵 (CCM)，将其作为转换用户要求过程的一部分，并规定出满足最终产品性能要求的方法。

A.3 质量体系要求

A.3.1 管理职责

管理者的职责是确保质量体系有效运行并圆满实现其目标。

A.3.2 质量管理体系

A.3.2.1 质量保证大纲要求

A.3.2.1.1 总则

本规范规定的质量保证大纲由能够充分保证电路质量的一系列文件组成。本章是制定这些文件的指南。承制方可以采取引用已有的程序、文件或规范并作一些概要说明的方式编写质量保证大纲。对同一承制方内不同生产线的不同处理方法应在质量保证大纲中说明和解释，或对这些不同的生产线分别制定各自的质量保证大纲。质量保证大纲至少应包含本附录规定的各条要求，适用时还应包括全部 TRB 方面的规定。

A.3.2.1.2 组织结构职能方框图

该图应以职能方框图形式标明在制定、审批和执行产品质量保证大纲的所有方面的权限和责任范围(在职责和人员两方面)。任职者的姓名不要求标在图上。

A.3.2.1.3 基线工艺流程图

基线工艺流程图应标明所使用的有关材料检验、生产工艺、生产环境和生产控制的所有主要文件。这些文件应规定名称和编号，便于识别。更改批准之后应按 A.3.5 已批准文件的更改控制程序处理。

A.3.2.1.4 设计指南

设计指南用于电路设计和/或核实其设计(见 A.3.4)。

13

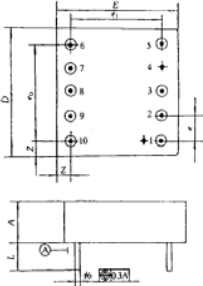
混合集成电路通用规范

GJB 2438/1-2001

附录 A
(补充件)
封装结构及外形尺寸

本附录规定了本规范所包含的 DC/DC 变换器电路的封装形式、外形尺寸和结构尺寸。

A.1 W1008SQ 型结构及外形尺寸见图 A1。



外形代号	W1008SQ
尺寸	10
尺寸(最大)mm	27.2

尺寸代号	数 值 (mm)		
	最 小	公 称	最 大
A	-	0.6	6.0
B	-	27	27.2
C	-	5.08	-
D	-	20.32	-
E	-	6	-
F	-	-	3.38
G	-	20.32	-

图 A.1

混合集成电路
HB系列DC/DC变换器详细规范

五、电子元器件标准体系和质量等级

【电子元器件相关标准】：

□ 标准类型划分—标准

表2 我国国家标准和国家军用标准规定的元器件可靠性标准示例

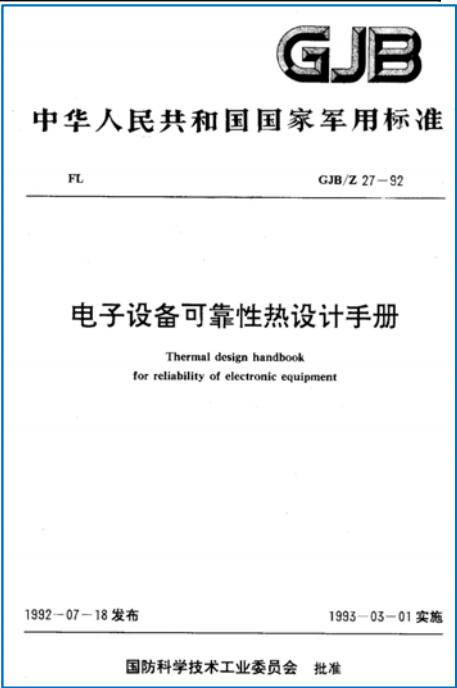
标准类别	国军标/国标编号	国军标/国标名称	参考美军标编号
可靠性试验方法	GJB 128A-1997	半导体分立器件试验方法	MIL-STD-750H
	GJB 360A-1996	电子及电气元件试验方法	MIL-STD-202F
	GJB 548B-2005	微电子器件试验方法和程序	MIL-STD-883D
	GJB 1217-1991	电连接器试验方法	MIL-STD-1344A
	GB 2689	寿命试验和加速寿命试验方法	N/A
失效率鉴定方法	GB/T 1772-1979	电子元器件失效率试验方法	N/A
	GJB 2649-1996	军用电子元件失效率抽样方案和程序	N/A
失效分析/破坏性物理分析方法	GJB 3157-1998	半导体分立器件失效分析方法和程序	N/A
	GJB 3233-1998	半导体集成电路失效分析程序和方法	N/A
	GJB 4027A-2006	军用电子元器件破坏性物理分析方法	MIL-STD-1580A

五、电子元器件标准体系和质量等级

【电子元器件相关标准】：

□ 标准类型划分—指导性文件

标编号	国军标/国标名称
GJB/Z 299C	电子设备可靠性预计手册
GJB/Z 35	元器件降额准则
GJB/Z27	电子设备可靠性热设计手册



五、电子元器件标准体系和质量等级

【电子元器件质量等级】：

□ 元器件的可靠性一般由失效率或质量等级来表征。

失效率等级 名称	GB/T 1772- 1979	GJB 2649- 1996	最大失效率/ (1/h)
亚五级	Y	L	3×10^{-5}
五级	W	M	10^{-5}
六级	L	P	10^{-6}
七级	Q	R	10^{-7}
八级	B	S	10^{-8}
九级	J	-	10^{-9}
十级	S	-	10^{-10}

采用失效率等级来表征元器件的可靠性具有局限性。一方面，对于贵重、单价高的器件，**获得失效率数据的代价高昂甚至无法获得。**

例如，要鉴定单价为1000元的微处理器芯片的失效率等级为八级，就需要采用10000只器件做10000小时的试验（如不加速），通常经济上无法承受，因此，标准中规定失效率等级表征方法只用于相对廉价的电子元件。另一方面，**单用失效率不能反映元器件可靠性的所有方面，例如抗静电、抗辐射以及其他抗恶劣环境的能力无法用单一失效率指标来表征。**

→ 鉴于此，电子器件的可靠性主要用**质量等级**来表征。

五、电子元器件标准体系和质量等级

【电子元器件质量等级】：

元器件的质量是指元器件在设计、制造、筛选过程中形成的品质特征，可通过质量认证试验确定。元器件的质量等级则是指元器件装机使用前，按产品执行标准或供需双方的技术协议，在制造、检验及筛选过程中质量的控制等级，用于表示元器件的固有可靠性（引自GJB 299C）。具有相同物理结构、功能和技术指标的元器件可能具有不同的质量等级。

不同标准体系中规定的质量等级不同。在国军标元器件总规范体系中，规定的是质量保证等级，主要供元器件生产方用于元器件生产过程控制。元器件生产方在其技术条件、合格证明以及产品标志上，一般使用的是质量保证等级，可供元器件使用方采购时参考。

国军标总规范中规定的元器件质量保证等级

元器件类别	依据标准	质量保证等级（从高到低）
半导体分立器件	GJB 33A-1997	JY（宇航级）、JCT（超特军级）、JT（特军级）、JP（普军级）
半导体集成电路	GJB 597A-1996	S、B、B1
混合集成电路	GJB 2438A-2002	K、H、G、D
光电模块	SJ-20642-1997	M2、M1
晶体振荡器	GJB 1648-1993	S、B
声表面波器件	GJB 2600A-2007	S、B、B1
固体继电器	GJB 1515A-2001	Y（军级）
微波组件	SJ-20527A-2003	J、C、T

美军标总规范中规定的质量保证等级

元器件类别		依据标准	质量保证等级（从高到低）
半导体分立器件		MIL-S-19500H	JANS（宇航级）、JANTXV（超特军级）、JANTX（特军级）、JAN（普军级）
微电路		MIL-M-38510J	S、B
半导体集成电路		MIL-I-38535	V、Q、M
混合集成电路		MIL-H-38534C	V、K、H、G、E、D
有可靠性指标的元件	固体电介质钽电容	MIL-C-39003	失效率等级：S（八级）、R（七级）、P（六级）、M（五级）、L（亚五级）
	电磁继电器	MIL-R-39016	

五、电子元器件标准体系和质量等级

【电子元器件质量等级】：

在元器件预计标准体系中，GJB 299C-2006《电子设备可靠性预计手册》（参考美军标MIL-HDBK-217F）和GJB/Z 108A《电子设备非工作状态可靠性预计手册》所规定的质量等级用质量系数（ πQ ）表征，反映了同类元器件不同质量等级的相对质量差异。

下表给出了GJB 299C可靠性预计手册中规定的元器件质量等级的分级情况。右表给出了GJB 299C可靠性预计手册中规定的单片集成电路的质量等级、质量系数及质量保证等级的对应情况。

GJB 299C可靠性预计手册中规定的元器件质量等级分级示例

元器件类别	质量等级分级（从高到低）
单片集成电路	A（A ₁ ,A ₂ ,A ₃ ,A ₄ ），B（B ₁ ,B ₂ ），C（C ₁ ,C ₂ ）
混合集成电路	A（A ₁ ,A ₂ ,A ₃ ,A ₄ ,A ₅ ,A ₆ ），B（B ₁ ,B ₂ ），C
半导体分立器件	A（A ₁ ,A ₂ ,A ₃ ,A ₄ ,A ₅ ），B（B ₁ ,B ₂ ），C
电阻器	A（A _{1T} ,A _{1S} ,A _{1R} ,A _{1P} ,A _{1M} ,A ₂ ），B（B ₁ ,B ₂ ），C
铝电解电容器	A（A _{1B} ,A _{1Q} ,A _{1L} ,A _{1W} ,A ₂ ），B（B ₁ ,B ₂ ），C
感性元件	A（A ₁ ,A ₂ ），B（B ₁ ,B ₂ ），C
机电式继电器	A（A _{1R} ,A _{1P} ,A _{1M} ,A _{1L} ,A ₂ ），B（B ₁ ,B ₂ ），C

半导体单片集成电路质量等级、质量系数 πQ 和质量保证等级

质量等级	质量要求说明	质量要求补充说明	πQ	相应质量保证等级
A	A ₁	符合 GJB597A 且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 S 级产品	-	S
	A ₂	符合 GJB597A 且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B 级产品	0.08	B
	A ₃	符合 GJB597A 且列入军用电子元器件合格产品目录（QPL）的 B1 级产品	0.13	B1
	A ₄	符合 GB/T 4589.1 的 III 类产品，或经中国电子元器件质量认证委员会认证合格的 II 类产品	0.25	G(QZJ840614~15)
B	B ₁	按 GJB597A 的筛选要求进行筛选的 B ₂ 质量等级产品；符合 GB/T 4589.1 的 II 类产品	0.50	G(七九〇五)
	B ₂	符合 GB/T 4589.1 的 I 类产品	1.0	
C	C ₁	—	符合 SJ331 的 IV 类产品	3.0
	C ₂	低档产品	10	32

五、电子元器件标准体系和质量等级

【电子元器件质量等级】：

元器件两种质量分级间的近似对应关系

质量等级		质量保证等级和“七专”等级						
		半导体集成电路	混合集成电路	半导体分立器件	光电子器件	电阻器	电位器	电容器
A	A ₁	S	K	JY	JY	-		
	A _{1T}			-		T		-
	A _{1S}			-		S/B		
	A _{1R}			-		R/Q		
	A _{1P}			-		P/L		
	A _{1M}			-		M/W		
	A ₂	B	H	JCT		G (QZJ840629~31)	G (QZJ840632~33)	G (QZJ840626)
	A ₃	B1	G	JT		-		
	A ₄	G (QZJ840614~15)	D	JP/G (QZJ840611A)	JP/G (QZJ840611A)	-		
	A ₅	-	QML	G (QZJ840611~12)	G (QZJ840613)	-		
	A ₆	-	G (QZJ840616)	-				
B	B ₁	G (七九0五)			-	G (七九0五)		

习题

- 1、简述电子元器件可靠性的含义是什么？
- 2、简述影响电子元器件可靠性的主要因素有哪些？
- 3、目前元器件国产化进程加快，你认为主要原因是什么？目前元器件国产化面临的问题有哪些？



The End

付桂翠

可靠性与系统工程学院

fuguicui@buaa.edu.cn