

# 半导体器件可靠性

国防工业出版社



73.7314  
152  
=2

# 半 导 体 器 件 可 靠 性

《半导体器件可靠性》编写组 编

国防工业出版社

0-02/15

## 内 容 简 介

本书概括地介绍了半导体器件可靠性的基本知识, 抽样检验、可靠性试验、数据处理方法及系统可靠性的简单计算方法, 简单地介绍了半导体器件可靠性设计、失效机理分析及质量控制的一般方法。书中给出了各种计算举例, 书末有统计数表等附录, 供查用。

本书的主要对象是电子工业的技术人员, 也可供其他专业中从事可靠性工作的同志参考。

## 半 导 体 器 件 可 靠 性

《半导体器件可靠性》编写组 编

\*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092 1/32 印张 11 5/8 字数 257 千字

1978 年 3 月第一版 1978 年 3 月第一次印刷 印数: 00,001—30,000 册

统一书号: 15034·1635 定价: 0.94 元

# 目 录

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 引言                  | 6   |
| 第一章 可靠性的基础知识        | 11  |
| § 1 数学预备知识          | 11  |
| § 2 可靠性的定义和数学描述     | 18  |
| § 3 器件的失效规律和常用的寿命分布 | 22  |
| 第二章 抽样检验            | 28  |
| § 1 关于两类错误          | 29  |
| § 2 单式计件抽样          | 31  |
| § 3 复式计件抽样和序贯计件抽样简介 | 38  |
| § 4 计量抽样简介          | 41  |
| § 5 各种抽样方法的比较       | 44  |
| § 6 寿命试验的抽样问题       | 48  |
| 第三章 可靠性试验           | 50  |
| § 1 概述              | 50  |
| § 2 环境实验            | 53  |
| § 3 寿命试验            | 66  |
| § 4 加速试验            | 68  |
| § 5 特殊试验            | 88  |
| § 6 使用试验            | 91  |
| § 7 可靠性筛选           | 92  |
| § 8 可靠性考核和鉴定        | 106 |
| § 9 数据处理            | 109 |
| 第四章 失效分析            | 124 |

|        |                     |     |
|--------|---------------------|-----|
| § 1    | 目的和内容               | 124 |
| § 2    | 失效模式                | 126 |
| § 3    | 失效机理                | 133 |
| § 4    | MOS 电路和大规模集成电路的失效机理 | 155 |
| § 5    | 辐射引起的失效             | 159 |
| § 6    | 失效分析方法              | 164 |
| 第五章    | 设计与工艺中的可靠性考虑        | 175 |
| § 1    | 设计中的可靠性考虑           | 175 |
| § 2    | 提高可靠性的工艺措施          | 194 |
| § 3    | 防止功率器件热烧毁           | 220 |
| § 4    | 提高器件的抗辐射性能          | 226 |
| 第六章    | 质量控制                | 230 |
| § 1    | 质量控制的内容             | 230 |
| § 2    | 环境控制                | 232 |
| § 3    | 工艺监控方法              | 238 |
| § 4    | 质量控制图               | 264 |
| 第七章    | 系统可靠性               | 280 |
| § 1    | 可靠性逻辑框图和数学模型        | 280 |
| § 2    | 简单系统的可靠性计算(数学模型)    | 283 |
| § 3    | 可靠性预计               | 298 |
| § 4    | 可靠性分配               | 312 |
| 附录 I   | 抽样表、常用分布表、系数 $f$ 值表 | 320 |
| 附录 II  | 国内外集成电路的镜检标准参考      | 351 |
| 附录 III | 系统可靠性计算用若干公式的推导     | 361 |

73.7314  
152  
=2

# 半 导 体 器 件 可 靠 性

《半导体器件可靠性》编写组 编

国防工业出版社

0-02/15

## 内 容 简 介

本书概括地介绍了半导体器件可靠性的基本知识, 抽样检验、可靠性试验、数据处理方法及系统可靠性的简单计算方法, 简单地介绍了半导体器件可靠性设计、失效机理分析及质量控制的一般方法。书中给出了各种计算举例, 书末有统计数表等附录, 供查用。

本书的主要对象是电子工业的技术人员, 也可供其他专业中从事可靠性工作的同志参考。

## 半 导 体 器 件 可 靠 性

《半导体器件可靠性》编写组 编

\*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092 1/32 印张 11 5/8 字数 257 千字

1978 年 3 月第一版 1978 年 3 月第一次印刷 印数: 00,001—30,000 册

统一书号: 15034·1635 定价: 0.94 元

## 编 者 话

由于我国电子工业的迅速发展,电子产品,尤其是半导体器件,在各个领域中使用范围不断扩大,随着尖端技术的发展,对电子产品的可靠性提出了更高的要求,因之可靠性工作越来越受到重视。为了普及可靠性基本知识,我们编写了这本《半导体器件可靠性》。

本书内容主要是针对半导体专业,书中“器件”一词是指半导体二极管、晶体管和集成电路等而言。

在编写过程中,不少同志提出了宝贵意见,何国伟和许康同志还对本书进行了审阅和修改,在此表示衷心的感谢!

参加本书编写的有:邓永孝、庄鑫秋、金毓铨、耿炳坤、徐立生、韩大星、韩卓人等同志。

由于我们水平有限,成稿时间较早,书中可能还有很多错误,希望读者批评指正。

《半导体器件可靠性》编写组



# 目 录

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 引言                  | 6   |
| 第一章 可靠性的基础知识        | 11  |
| § 1 数学预备知识          | 11  |
| § 2 可靠性的定义和数学描述     | 18  |
| § 3 器件的失效规律和常用的寿命分布 | 22  |
| 第二章 抽样检验            | 28  |
| § 1 关于两类错误          | 29  |
| § 2 单式计件抽样          | 31  |
| § 3 复式计件抽样和序贯计件抽样简介 | 38  |
| § 4 计量抽样简介          | 41  |
| § 5 各种抽样方法的比较       | 44  |
| § 6 寿命试验的抽样问题       | 48  |
| 第三章 可靠性试验           | 50  |
| § 1 概述              | 50  |
| § 2 环境实验            | 53  |
| § 3 寿命试验            | 66  |
| § 4 加速试验            | 68  |
| § 5 特殊试验            | 88  |
| § 6 使用试验            | 91  |
| § 7 可靠性筛选           | 92  |
| § 8 可靠性考核和鉴定        | 106 |
| § 9 数据处理            | 109 |
| 第四章 失效分析            | 124 |

|        |                     |     |
|--------|---------------------|-----|
| § 1    | 目的和内容               | 124 |
| § 2    | 失效模式                | 126 |
| § 3    | 失效机理                | 133 |
| § 4    | MOS 电路和大规模集成电路的失效机理 | 155 |
| § 5    | 辐射引起的失效             | 159 |
| § 6    | 失效分析方法              | 164 |
| 第五章    | 设计与工艺中的可靠性考虑        | 175 |
| § 1    | 设计中的可靠性考虑           | 175 |
| § 2    | 提高可靠性的工艺措施          | 194 |
| § 3    | 防止功率器件热烧毁           | 220 |
| § 4    | 提高器件的抗辐射性能          | 226 |
| 第六章    | 质量控制                | 230 |
| § 1    | 质量控制的内容             | 230 |
| § 2    | 环境控制                | 232 |
| § 3    | 工艺监控方法              | 238 |
| § 4    | 质量控制图               | 264 |
| 第七章    | 系统可靠性               | 280 |
| § 1    | 可靠性逻辑框图和数学模型        | 280 |
| § 2    | 简单系统的可靠性计算(数学模型)    | 283 |
| § 3    | 可靠性预计               | 298 |
| § 4    | 可靠性分配               | 312 |
| 附录 I   | 抽样表、常用分布表、系数 $f$ 值表 | 320 |
| 附录 II  | 国内外集成电路的镜检标准参考      | 351 |
| 附录 III | 系统可靠性计算用若干公式的推导     | 361 |

# 引 言

可靠性是产品的一个重要指标,是对产品保持其性能的能力的衡量。可靠性问题的存在和发展,是和社会的生产斗争和阶级斗争紧密联系的。在古代,人类的生产工具、生活用品都是比较简单的东西,它们的损坏和更换现象容易为人们所理解,可靠性问题尚未形成专门的理论。电子技术出现的早期,这一问题仍不很突出。到 20 世纪 30~40 年代,出现了比较复杂的电子系统。这些系统和包括这些系统的产品,虽然可以成批制造出来,其性能也可以达到当时的要求,但有些产品由于经常出现故障而无法使用。例如有的雷达、水声等设备,就因为经常出现故障而不得不处于停机修理状态。因此人们不得不把很大的注意力放在研究可靠性理论和提高产品可靠性的技术上。经过短短几十年时间,可靠性问题已经发展成为一门内容相当丰富的学科。

半导体器件和其它电子元、器件能够可靠工作,是整个电子系统可靠工作的基础。半导体器件和其它电子元、器件的可靠性问题,在整个可靠性学科中占有重要的地位。

## 一、提高元、器件可靠性的重要意义

毛主席历来教导我们要重视产品质量。毛主席说:“一切产品,不但求数量多,而且求质量好,耐穿耐用”,“数量不可不讲,把质量提到第一位恐怕到时候了”。提高产品可靠性是提

高产品质量的一个重要方面。提高半导体器件和其它电子元、器件的可靠性是当前国防建设和国民经济发展的迫切需要。

质量,是指产品各方面特性的总和;可靠性,是质量的一个重要指标。

例如:一台收音机的质量好坏根据其灵敏度、选择性、音质、可靠性和使用是否方便等来确定。一台收音机,或者任何一台电子设备,一个元、器件,它的主要电性能当然是最重要的指标。一台收音机如果连本地电台都听不清,当然毫无用处。但可靠性也是一个十分重要的指标。而且常常在电性能解决以后,可靠性不能过关,它便上升为第一位的问题。一台收音机如果时而不响,经常烧坏零件,其它指标再好也没有人愿意用它。收音机尚且如此,应用于工业、国防的电子设备和元、器件的可靠性之重要就不难想见了。

随着科学技术的发展,电子系统的使用日益广泛,在很多重要场合起着关键作用。在国民经济各部门,广泛应用电子系统进行测量、控制和数据处理。这些系统出现故障,会对生产造成影响,甚至危及安全。各种电台、海底电缆、地下电缆、通信卫星等,是当代通信的重要手段。海缆、地缆、通信卫星都要求能正常工作几年至几十年。如果这些系统出现故障,就会因为难于或根本无法修理而造成巨大的损失。在军事上,无论侦察工具、防御手段或进攻性武器都包含了大量的电子系统。反导弹系统如果出现故障,就不能及时拦截来袭的敌方导弹,造成严重的后果。中、远程导弹出现故障就不能摧毁敌方目标,即使在试验阶段出现故障,都可能带来重大的政治、经济损失。以上这些系统对元、器件的可靠性提出很高的要求是不难理解的。

随着电子系统的广泛应用,元、器件在贮存、运输和使用中遇到的各种环境的影响日益复杂,有些是很苛刻的。电子元、器件会遇到振动、冲击等机械作用,其作用强度可能达到重力作用的几十、几百甚至上千、上万倍。也会遇到绝对温度几度的低温和摄氏几百度的高温。还会遇到潮湿、盐雾甚至各种射线的辐照。尤其各种环境因素的综合作用,常对元、器件造成更为不利的影响。这些作用可使元、器件的损坏加速十倍到百倍。这是必须提高元、器件可靠性的又一原因。

必须提高元、器件可靠性的再一原因是电子系统日益复杂,使用的元、器件数量日益增多。一部设备由多个元、器件组成,其中每一个元、器件失效,都可能影响设备的正常工作。所以一般来说,如果元、器件的可靠性相同,设备所用的元、器件数量愈多,出现故障的可能就愈大。如果每一个元、器件平均能正常工作 10 万小时,在满足一定近似条件时,可求得:由 100 个元、器件组成的设备平均可正常工作 1000 小时;由 10 万个元、器件组成的系统平均只能正常工作 1 小时。目前,大型电子计算机、大型相控阵雷达、远程导弹等所用元、器件数都在 10 万数量级。所以元、器件必须有很高的可靠性,否则这些系统就无法工作。采用冗余技术或备分技术可以提高设备的可靠性,但又受到一些新的因素的限制。例如,自动检测故障和切换的电路也存在可靠性问题;大量采用备分技术,必然增加元、器件数量,增加体积、重量和耗电等等。所以根本途径还在于提高元、器件的可靠性。

## 二、可靠性工作的主要内容

在可靠性工作的开始阶段,只限于对元、器件的失效进行



节。图 0.1 的各方框中所包括的可靠性方面的工作将在本书各章中分别介绍。

# 第一章 可靠性的基础知识

## § 1 数学预备知识

经过一定的试验和分析,我们可以知道哪一批器件失效较少,工作比较可靠;哪一批器件失效较多,可靠性较差。但是,具体到一个器件,在失效之前我们无法断定它将在何时失效。因为一个器件的失效可能与很多未知因素有关,这类现象通常称为“随机现象”。可靠性工作中经常用到研究随机现象的数学知识,即概率论和数理统计学的知识。在这一节中,我们首先介绍这方面的一些基本概念。

### 一、事件和概率

对现象的一次观察,一个试验结果的出现等等,我们都称为一个“事件”。

有一种事件是在一定的条件下肯定会出现的,称为必然事件。例如从100只合格器件中任抽1只,抽到的必然是合格器件。就是说,“从100只合格器件中任抽1只”这一条件满足时,“抽到合格器件”这一事件必然会发生。

还有一种事件是在一定的条件下不可能出现的,称为不可能事件。例如在100只合格器件中任抽1只,不可能抽到不合格器件。就是说,当“从100只合格器件中任抽1只”这一条件满足时,“抽到不合格器件”这一事件不可能发生。

另外一类事件,在一定的条件下可能发生也可能不发生,



称为随机事件。例如 100 只器件中有 90 只合格品, 10 只不合格品, 从其中任抽 1 只, 可能抽到合格器件, 也可能抽到不合格器件。就是说, 当“从合格率为 90% 的 100 只器件中任抽 1 只”这一条件满足时, “抽到合格器件”这一事件可能发生, 也可能不发生。

随机事件与很多未知因素有关, 初看起来似乎是不可捉摸的。但是人们在大量实践中发现这类事件并不是完全没有规律的。上面的例子如果我们重复进行很多次, 就会发现抽到合格器件的次数大约占总次数的 90%, 而抽到不合格器件的次数大约占总次数的 10%。一个更简单的例子是, 把一枚硬币自由抛起后落在桌面上, 如果进行很多次就会发现, 硬币正面向上和反面向上的次数大体相等。也就是说在大量的现象中, 随机现象显露出了它们的规律性。抛硬币的例子, 我们可以说正面向上和反面向上的可能性各占  $1/2$ 。从 100 只器件中任抽 1 只的例子, 我们可以说抽到合格器件的可能性占 90% 而抽到不合格器件的可能性占 10%。这种可能性我们称为概率。当然, 事件概率的大小是与条件分不开的。

显然, 必然事件的概率为 1, 不可能事件的概率为 0, 随机事件的概率界于 0 与 1 之间。

下面我们再对事件之间的关系作一些讨论。

如果一个事件的发生不影响另一事件发生的概率, 则称这两个事件相互独立。例如在电路中无关的两个器件的失效就是独立事件。因为一个器件失效对另一器件失效与否并无影响。

如果一个事件发生, 另一事件便不可能发生, 则称这两个事件互不相容。如二事件互不相容又必居其一, 则称这两个事件为对立事件。一个设备, 正常与发生故障这两个事件就