

中华人民共和国国家标准

GB/T 41032—2021

宇航用元器件结构分析通用指南

General guidelines for construction analysis components for
space applications

2021-12-31 发布

2022-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 前言 | III |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语、定义和缩略语 | 1 |
| 3.1 术语和定义 | 1 |
| 3.2 缩略语 | 1 |
| 4 结构分析流程 | 2 |
| 4.1 一般流程 | 2 |
| 4.2 CA 样品及信息确认 | 2 |
| 4.3 应用环境调查 | 3 |
| 4.4 结构分析方案制定 | 3 |
| 4.5 结构分析试验实施 | 4 |
| 4.6 结构判别与评价 | 4 |
| 4.7 结构分析结论和报告 | 5 |
| 5 结构分析方法 | 6 |
| 5.1 结构单元分解 | 6 |
| 5.2 结构要素识别 | 6 |
| 5.3 结构判别 | 7 |
| 附录 A (资料性) 宇航用元器件结构单元分解示例 | 8 |
| 附录 B (资料性) 宇航用元器件结构要素组成示例 | 9 |
| 附录 C (资料性) 宇航用元器件结构分析试验流程示例 | 11 |
| 附录 D (资料性) 标准规范结构判据示例 | 12 |
| 附录 E (资料性) 失效案例结构判据示例 | 13 |

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国宇航技术及其应用标准化技术委员会(SAC/TC 425)提出并归口。

本文件起草单位：中国空间技术研究院。

本文件主要起草人：王旭、龚欣、孟猛、张海明、段超、王智彬、王彤、张延伟。

宇航用元器件结构分析通用指南

1 范围

本文件提供了宇航用元器件结构分析的一般流程和方法,给出了样品、分析试验流程、结构单元分解和结构要素识别方法、结构判别依据等需考虑的信息。

本文件适用于半导体集成电路、半导体分立器件、光电器件、电阻器、电容器、电连接器、继电器、开关、熔断器、石英晶体、声表器件、滤波器、射频元件等类别元器件的结构分析工作,其他类别元器件参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 19000 质量管理体系 基础和术语

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 19000 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

结构 construction

元器件的各部分及其搭配,包括物理形态、材料、工艺以及界面等。

3.1.2

结构分析 construction analysis

采用检验、试验分析等方法以及复核复算、仿真等手段,获取元器件的设计、工艺和材料等要素,分析评价其功能性能满足性、固有可靠性状况、工艺质量能力、应用环境适应性、潜在危害等因素的活动。

3.1.3

结构单元 construction unit

元器件物理结构或功能可区分的单元。

3.1.4

结构要素 construction element

影响元器件固有可靠性和使用可靠性的结构单元特征。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CA:结构分析(Construction Analysis)

DPA:破坏性物理分析(Destructive Physical Analysis)

FA:失效分析(Failure Analysis)

4 结构分析流程

4.1 一般流程

宇航用元器件结构分析的一般流程如图 1 所示。

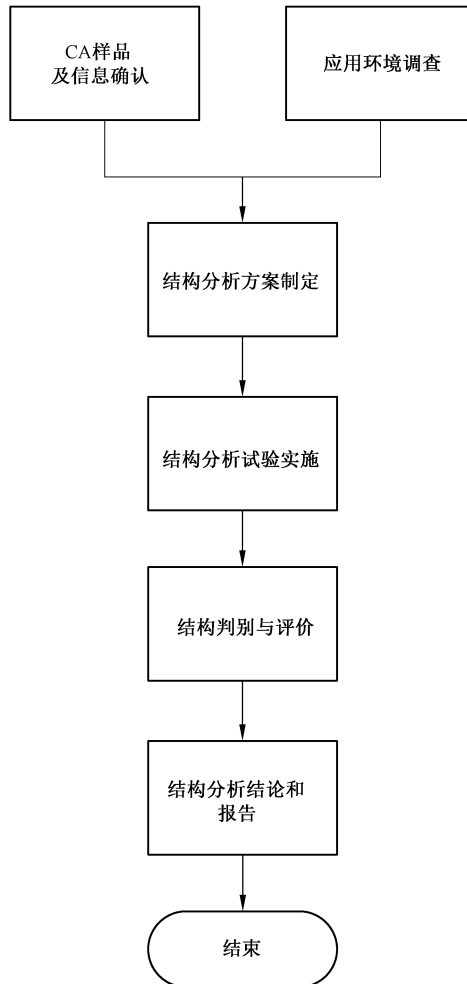


图 1 宇航用元器件结构分析工作一般流程

4.2 CA 样品及信息确认

结构分析方案编制前,宜参照以下项目了解信息并对结构分析样品进行确认:

- 充分了解样品的研制背景信息,如元器件是属于新研还是原有产品升级改进,用户定制还是通用产品,产品成熟度以及该生产单位的研制能力;
- 充分了解结构分析样品的状态,如了解元器件是否已经量产还是处于研制样品、工程样件阶段,设计状态、工艺状态是否固化等;
- 结构分析的样品数量以能获取全面的结构信息为原则,为准确获取某些结构要素,可以增选半成品、零部件等进行补充分析。

4.3 应用环境调查

4.3.1 概述

元器件的可靠性分为固有可靠性和应用可靠性,固有可靠性与元器件固有的功能设计、结构设计、材料选用和加工工艺直接相关,是客观存在的;应用可靠性是在应用环境下表现出的可靠性,与环境相关,也就是说在某种应用条件下可靠工作的元器件可能并不能适应于另一种特定工作环境,是相对适应,因此对元器件的应用环境进行调查是非常重要的。

4.3.2 调查范围

调查范围宜包括以下内容:

- a) 由元器件研制单位提供其产品的预定应用环境条件;
- b) 由元器件使用单位提供该元器件的应用环境要求;
- c) 结构分析单位根据元器件功能性能调查的该类元器件应该具有的应用环境范围。

4.3.3 调查项目

调查项目宜包括以下内容:

- a) 应用的装联条件、固封条件、可能接触的溶剂;
- b) 应用的温度范围、温变速率、循环次数、极限温度保持时间等;
- c) 应用的气压环境、变化速率,极限保持时间等;
- d) 湿度及盐气环境等;
- e) 机械应力类型、量级、周期等;
- f) 功率、电流、电压、频率等;
- g) 散热环境、磁场环境、电磁环境等;
- h) 辐照环境、原子氧环境等。

4.4 结构分析方案制定

4.4.1 概述

结构分析方案宜考虑分析目的的指引,综合考虑调研到的元器件研制背景信息和目标应用环境信息,对元器件结构进行结构单元分解和结构要素识别,选择结构分析试验项目,并根据样品情况,设计合理的试验流程,形成可执行的操作方案。

4.4.2 结构单元及要素信息准备

为了确保结构分析评价过程能够全面地覆盖元器件的各种设计、工艺和材料要素,提高分析评价的针对性,宜首先对样品的结构单元进行分解,对结构要素进行确定。确定途径包括:

- a) 在有条件时,可通过分析生产厂提供产品的设计文件、工艺文件获得;
- b) 对同类样品以往的结构分析或破坏性物理分析(DPA)信息进行搜集整理;
- c) 选取少量样品进行非破坏性(如 X 光检查等)分析或破坏性分析(如样品剖面检查等),获取样品的结构信息。

4.4.3 方案因素

制定方案需要考虑的因素有:

- a) 该类产品应该具有的通用固有可靠性;

- b) 产品是否具有继承性,是否需要针对局部改动的地方进行影响分析;
- c) 产品的目标应用环境应力适应性;
- d) 同类产品的典型失效模式;
- e) 产品可能受到的线路中其他元器件的影响;
- f) 用户的特殊需求。

4.4.4 方案内容

结构分析方案中宜考虑以下内容:

- a) 样品基本信息,如元器件类别、名称、型号规格、质量等级、生产单位、数量、批次等;
- b) 元器件目标应用背景、研制背景;
- c) 元器件基本构成以及同类结构的典型失效模式;
- d) 元器件的结构单元分解结果、结构要素识别结果及对应的分析试验项目;
- e) 整合、优化后的分析试验流程。

4.5 结构分析试验实施

结构分析试验实施过程中的注意事项如下:

- a) 根据分析方案所确定的试验流程,试验项目,试验人员、仪器设备、环境、方法等均符合相关技术要求,试验数据记录应完整、详实;
- b) 在各项目的实施过程中,应结合元器件的结构单元划分和每个结构单元所包含的结构要素以及要素之间的界面进行数据采集;
- c) 分析过程中应及时对采集到的信息和数据进行综合分析,当分析发现新的可靠性影响因素时,应及时对前期方案进行必要的调整;
- d) 在结构分析实施过程中特别是进行破坏性试验过程中需要注意对样品的保护,前序试验不应后续试验造成影响,如实施过程中无法避免,应及时追加样品,确保预定的结构信息获取准确、完整。

4.6 结构判别与评价

在按照元器件结构分析方案对元器件进行相关分析试验项目后,需要基于分析试验结果结合宇航应用条件,对元器件的设计、工艺和材料等方面进行判别与评价,判别及评价主要包含以下内容:

- a) 结构设计合理性评价:查看是否使用了禁限用结构;以相关设计标准、规范以及要求为判据,结合宇航使用要求,综合各项分析结果,评价结构设计的合理性;
- b) 工艺设计和质量检查:查看是否使用了禁限用工艺;对元器件的生产工艺水平、工艺实现方式的合理性以及是否存在潜在隐患等进行评价;
- c) 材料适用性分析:查看是否存在宇航禁限用材料;对样品进行材料分析,评价样品材料选择是否合理;
- d) 可装配性分析:根据样品的封装设计,结合宇航组装工艺的相关要求及可靠性要求,分析元器件的封装结构、工艺、材料是否满足宇航的组装工艺要求;
- e) 失效隐患分析:根据样品的结构单元、结构要素的采集结果,结合同类元器件失效机理,以往失效案例等,分析潜在的失效隐患;
- f) 可靠性保证能力评价:根据元器件结构、工艺、材料之间的匹配性,分析生产单位在实现产品过程中是否具备成熟的可以量产的工艺能力和稳定的合格材料获取途径。

4.7 结构分析结论和报告

4.7.1 结构分析结论

宇航用元器件结构分析的结论宜从样品本身和产品实现能力两个层面给出是否适合宇航应用的分析结论。其中对样品本身的评价宜针对具体的结构单元和结构要素从设计满足性、固有可靠性和使用可靠性等维度给出全面的评价。产品实现能力宜结合研制单位的产品设计能力、工艺掌握成熟度以及原材料获取稳定性等方面针对后续提供大批量产品的能力进行评价。此外,还可根据分析提出应用或者改进建议。

结构分析结论一般分为样品本身结构分析结论、产品实现能力分析结论、改进或应用建议三个方面:

- a) 样品本身的结构分析结论可分为以下四种:
 - 1) 适合宇航应用(可用):与宇航常见或典型结构相符,该结构一般有成功飞行经历,风险度较低,适合已知的宇航应用环境;
 - 2) 特定范围可用(限用):存在结构单元或材料与宇航典型结构不相符,在某些型号或环境条件下可用,并给出限用范围(可给出具体的运载、卫星等宇航型号类别)或者限用条件;
 - 3) 不适合宇航应用(禁用):器件中含有航天禁用结构、工艺或材料,存在较大设计、结构可靠性问题,给出不适合宇航应用的原因以及进行产品设计更改或者工艺改进的方面;
 - 4) 进一步评价:对于新型结构等可靠性未知的情况,目前无法给出明确结论,需要结合后续的考核及验证结构给出最终评价,结论中需给出需要评价的内容。
- b) 产品实现能力分析结论分为:
 - 1) 产品实现力良好:产品结构、工艺设计成熟,原材料获取渠道相对稳定,利于稳定批量生产;
 - 2) 产品实现力较差:产品结构、工艺设计实现难度较高或者原材料获取不稳定,不利于稳定批量生产。
- c) 改进或应用建议分以下几种情况:
 - 1) 对于可用结论,可以对使用方提出使用注意事项,以便后续确保产品的使用可靠性;
 - 2) 对于限用结论,说明产品的限用范围或者限制使用条件;
 - 3) 对于禁用结论,针对发现的问题给出元器件研制方提出生产改进建议,以便后续改进,提高产品的固有可靠性;
 - 4) 对于进一步评价结论,提出相应的后续评价验证工作要求。

4.7.2 结构分析报告

结构分析报告宜包括以下内容:

- a) 样品信息:样品类别、名称、型号规格、质量等级、生产单位、数量、批次等信息,以及样品基本功能、性能等方面的信息;
- b) 分析背景:元器件的研制背景,本次结构分析预定达到的目的;
- c) 结论分类:综合分析结果,给出适合宇航应用(可用)、特定范围可用(限用)、不适合宇航应用(禁用)以及需进一步评价的结论分类;
- d) 总体描述:对样品的设计、工艺和材料等方面的总体分析描述,对研制单位产品实现能力的综合评价;
- e) 详细描述:结合样品的具体结构单元组成,对各部分的结构进行详细描述(包含典型结构特征和缺陷的照片、图示等)。

5 结构分析方法

5.1 结构单元分解

5.1.1 结构单元分解原则

结构单元分解是结构分析的关键步骤之一,主要划分原则如下:

- a) 结构单元分解宜对元器件的整体结构按照物理单元逐层进行分解,获得结构要素,作为确定分析项目、确定结构要素识别方向、策划试验流程的依据;
- b) 一般宜分解到元器件的最小物理单元,以及工艺、材料的最小界限,但同时也需要注意结合器件结构的典型性、成熟性等进行调整,对于公认的典型结构单元一般不需要再分解到该部分的最小结构单元。



5.1.2 结构单元分解方法

结构单元分解的一般实施途径:

- a) 对元器件的结构类别进行初步分析。
- b) 对同类结构的元器件以往结构分析情况进行了解,掌握其结构单元组成,作为待分析元器件的结构单元组成的基础考虑。
- c) 结合元器件的功能特性以及结构单元的成熟性,采用树状图的方式逐层分解待分析元器件的结构单元,直至最低层级结构单元的结构要素可识别。附录 A 给出宇航用典型元器件结构单元分解示例。

5.2 结构要素识别

5.2.1 结构要素确定

各个结构单元的结构要素需要结合该结构单元具体的功能、性能进行识别确定,结构要素的合集应能全面反映结构单元的可靠性,并有利于采用相应的试验或者仿真手段进行信息获取。附录 B 给出宇航用典型元器件结构要素示例。

5.2.2 结构要素信息获取

在确定结构要素后,要综合结构要素所反映的可靠性属性以及结构单元的客观物理、化学特征,设定对应的试验项目和仿真手段获取用以评价结构可靠性的结构要素信息。试验项目选定后,建立优化的结构分析试验流程,按照先进行非破坏性分析试验、再进行破坏性分析试验的一般顺序统筹分配分析样品,形成试验流程的主要过程如下:

- a) 首先对元器件的标准试验方法以及以往开展的 DPA 和 FA 过程的非标准试验方法进行收集;
- b) 对元器件的结构单元所包含的结构要素以及对应的分析试验项目进行列举;
- c) 结合元器件结构特点,对分析过程针对器件物理、化学、热学等方面进行的分析试验项目进行整理、汇总;
- d) 对所有的分析试验项目进行整合、优化,获得完整的分析试验流程;
- e) 完成分析试验,并记录试验结果,结果包含但不限于数值、照片、图谱、文字描述等。

附录 C 给出了宇航用典型元器件结构分析试验流程示例。

5.3 结构判别

5.3.1 基于标准规范的判别

基于标准规范的判别依据包括：

- a) 针对该类/型元器件的国家标准和国外军用标准和宇航标准、宇航企业的行业标准中关于元器件的设计、工艺和材料方面的要求；
- b) 各领域明确的相关的禁、限用清单和要求，以及明确不得采用的设计、工艺和材料等要求；
- c) 归纳总结具体要求条款和项目，并对其适用的范围进行分析，按类别形成的结构分析专用结构判别的要求判据。附录 D 给出了标准规范判据示例。

5.3.2 基于元器件典型结构的判别

基于元器件典型结构的判别依据可按照以下程序获取：

- a) 按照元器件的结构类别，选取典型的宇航级或高可靠元器件样品，选取的型号规格可参照国内外宇航企业的优选目录品种；
- b) 按照结构分析的基本方法，对样品从外至内进行逐层次的结构单元分解和结构要素识别；
- c) 通过对典型高可靠宇航用元器件的结构分析，获得该类型元器件结构设计、工艺和材料的详细信息；
- d) 按照结构单元分解的层次对获得的信息进行整理，并对使用原则和适用范围进行分析，作为结构判别的实物判据内容。

5.3.3 基于失效案例的判别

基于失效案例的判别依据可按以下方式获取：

- a) 针对同类器件公开报道的以及各用户内部失效案例和失效机理进行调研。
- b) 针对失效原因与元器件的结构有关的案例进行分析，明确背景、失效过程、失效模式、失效机理、失效原因等信息。
- c) 对失效案例所反映出的元器件设计、工艺和材料方面的问题进行归纳，并对其适用的范围进行分析，形成结构判别的以往案例判据。附录 E 给出了失效案例结构判据示例。

5.3.4 基于仿真结果的判别依据

元器件结构分析时，对于难以采取物理化学方式获取的结构信息并对其进行判定的，可采取软件模拟的方式进行仿真分析，但仿真结果作为最终判别依据时，应确保仿真的关键模型的准确性得到验证。



附录 A

(资料性)

宇航用元器件结构单元分解示例

宇航用元器件结构单元分解如图 A.1 所示,以大规模集成电路为例。

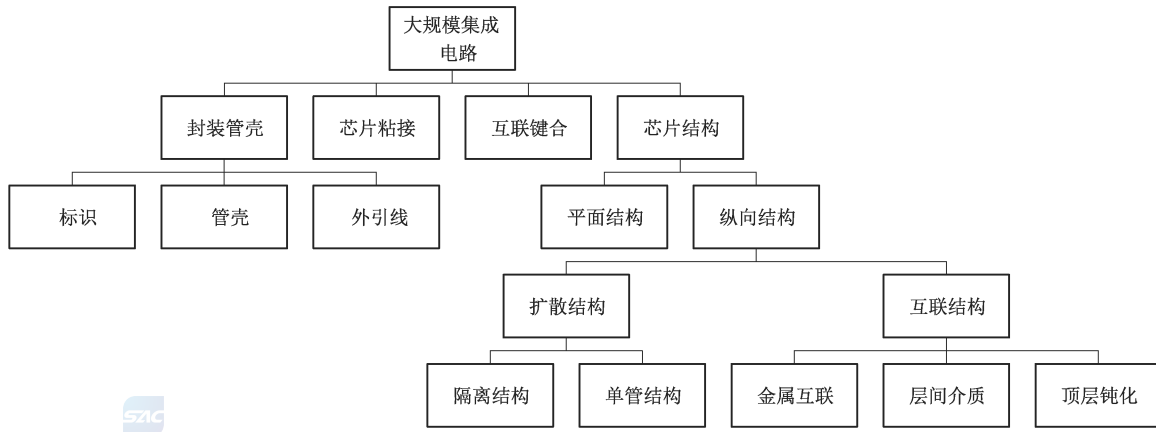


图 A.1 大规模集成电路结构单元分解图

附录 B

(资料性)

宇航用元器件结构要素组成示例

宇航用元器件结构要素组成如表 B.1 所示,以大规模集成电路为例。

表 B.1 大规模集成电路结构要素组成和识别方法


| 结构单元 | | 结构要素 | 分析试验方法 |
|---|-----------|--|---|
| 装 管 壳 | 标识 | 标识的方式方法 | 外观检查 耐溶剂性测试 扫描电镜检查和能谱分析 |
| | | 标识材料适用性 | |
| | | 信息完整性及标识牢固度 | |
| | 管壳 | 盖板与底座的基材与涂覆 | 外观检查 物理尺寸 扫描电镜检查和能谱分析 热性能测试 颗粒碰撞噪声检测(PIND) 内部气氛分析 |
| | | 盖板与底座的尺寸(内腔尺寸) | |
| | | 盖板与底座的机械强度 | |
| | | 管壳内部金属化布线 | |
| | | 底座基材及内外涂覆 | |
| | | 管壳内部金属化布线 | |
| | | 密封工艺和密封材料 | |
| | 外引线 | 外引线基材和涂覆 | 外观检查/共面性检查/剖面检查 引线涂覆厚度/附着力测试 引线牢固性/焊球剪切/焊柱拉脱 扫描电镜检查和能谱分析 |
| | | 外引线尺寸和引线牢固性 | |
| | | 外引线焊接工艺和材料 | |
| 焊球/焊柱工艺、材料、牢固度和共面度 | | | |
| 芯片粘接 | 芯片尺寸和划片质量 | X光检查/超声扫描 内部目检/剖面检查 扫描电镜检查和能谱分析 剪切力测试 | |
| | 芯片安装位置及方向 | | |
| | 芯片粘接材料及工艺 | | |
| | 粘结实固度 | | |
| 键合系统  | 内引线材料和尺寸 | 内部目检 剖面检查 扫描电镜检查 能谱分析 键合力测试 | |
| | 内引线布局 | | |
| | 内引线弧度 | | |
| | 键合强度 | | |
| | 键合形成工艺情况 | | |
| 芯 片 结 构 | 平面结构 | 内键合区分布 | 内部目检 扫描电镜检查 芯片剥层检查 |
| | | 电源和地线分布 | |
| | | 功能区分布 | |
| | | 功能单元结构形式和适应性 | |
| | | 输入保护网络结构形式和适应性 | |

表 B.1 大规模集成电路结构要素组成和识别方法 (续)

| 结构单元 | | | 结构要素 | | 分析试验方法 |
|------|------|------|------|-------------|--|
| 芯片结构 | 纵向结构 | 扩散结构 | 隔离结构 | 隔离工艺及结构 | 内部目检 剖面分析 芯片剥层检查 扫描电镜检查 能谱分析 透射显微分析 |
| | | | | 隔离结构适应性 | |
| | | | 单管结构 | 特征尺寸 | |
| | | | | 单管工艺、材料及结构 | |
| | | 互联结构 | 金属互联 | 单管结构适应性 | |
| | | | | 互联层数 | |
| | | | | 接触孔和通孔工艺和质量 | |
| | | | 层间介质 | 互联金属材料结构和尺寸 | |
| | | | | 层间介质制作工艺 | |
| | | | 顶层钝化 | 层间介质材料和尺寸 | |
| | | | | 顶层钝化工艺和材料 | |
| | | | | 钝化层厚度和完整性 | |

附录 C

(资料性)

宇航用元器件结构分析试验流程示例

宇航用元器件结构分析试验流程如图 C.1 所示,以大规模集成电路为例。

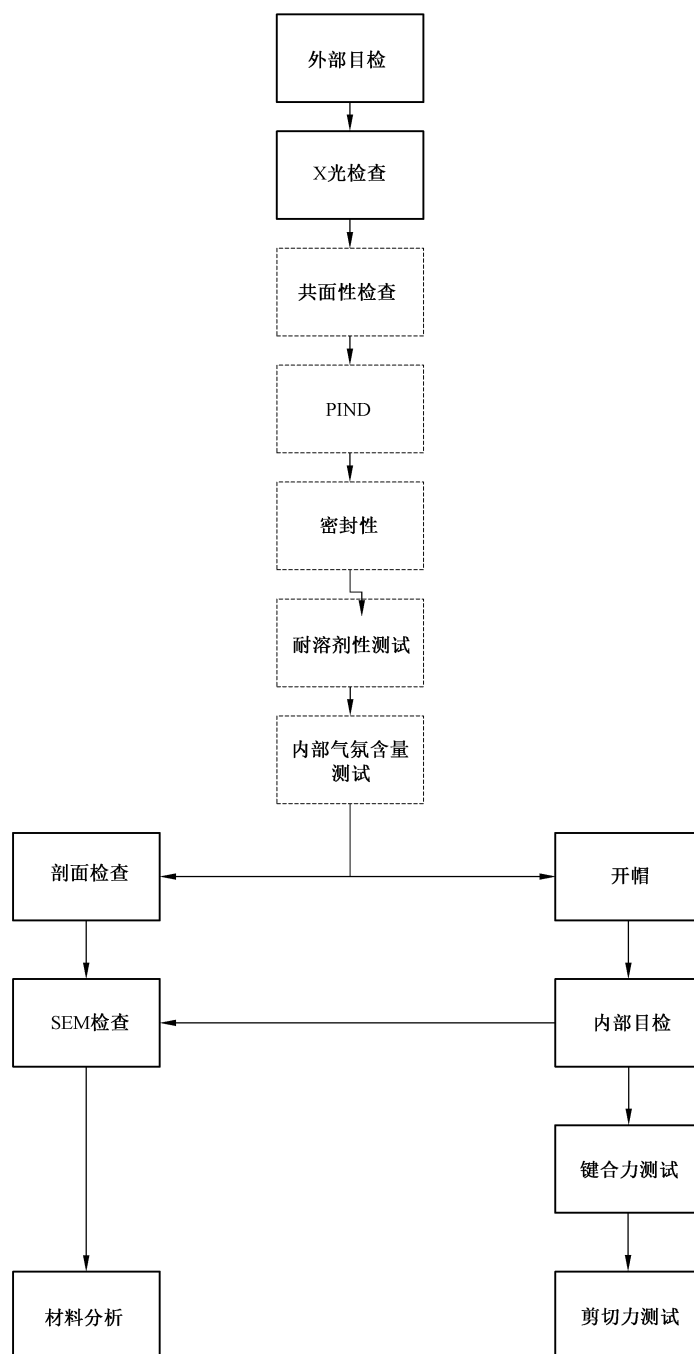


图 C.1 大规模集成电路结构分析试验流程

附 录 D
(资料性)
标准规范结构判据示例

标准规范结构判据示例如表 D.1 所示。

表 D.1 标准规范结构判据示例

| 序号 | 判别内容 | 判别原则 |
|----|--|-------|
| 1 | 半导体元器件禁止使用无钝化层的有源芯片,原则上不得使用内涂料作为芯片的保护 | 禁用/限用 |
| 2 | 半导体元器件内部键合点不允许点胶加固 | 禁用 |
| 3 | 功率电路芯片侧原则上不允许采用金-铝键合 | 限制 |
| 4 | 半导体集成电路限制在芯片侧采用不同金属材料键合工艺;如果必须在芯片端用到金-铝异质键合,应通过专门的工艺鉴定 | 限制 |
| 5 | 半导体集成电路慎用玻璃烧结芯片工艺 | 限制 |
| 6 | 半导体分立器件禁用玻璃或树脂银浆芯片烧结工艺 | 禁用 |
| 7 | 轴向玻封二极管禁止使用压接连接方式;推荐使用共晶焊 | 禁用 |
| 8 | 元器件内部禁止使用干燥剂材料 | 禁用 |
| 9 | 半导体单片集成电路限制使用塑料封装等非密封封装 | 限制 |
| 10 | 如元器件使用有毒物质,如 BeO 等,应按规定在元器件封装正面标记警告 | 限制 |
| 11 | 禁止使用纯银、纯锡等金属材料作为表面涂覆,使用锡铅合金时,铅含量应大于 3% | 禁用 |
| 12 | 非固体电解质钽电容器禁止使用银外壳 | 禁用 |
| 13 | 金属化塑料薄膜电容器使用金属铝膜时,铝的纯度应不小于 99.9% | 限制 |
| 14 | 电容器采用云母片叠压 | 限制 |
| 15 | 固定金属膜电阻禁止采用非气密封空心结构;禁止采用内涂层金属化的密封空心结构 | 禁用 |
| 16 | 功率线绕固定电阻器线径不小于 25.4 μm ;内部连接应采用熔焊 | 限制 |
| 17 | 片式膜固定电阻器禁用铜、镍作为导电膜 | 禁用 |
| 18 | 固定金属膜电阻如没有防护性内涂层时,禁止使用铝材料作端电极 | 禁用 |
| 19 | 电磁继电器禁止使用汞或汞化合物;禁止使用镁或镁合金(触点除外);内外部零部件不得镀锌、镀镉,外壳不得镀纯银 | 禁用 |
| 20 | 电连接器禁止同轴接触件使用缠绕接驳方式 | 禁用 |
| 21 | 电连接器禁止绝缘介质使用不良或未认可的有机材料;采用镀镍、铁磁、亚铁磁材料或者使用滤波插针的射频连接器,应采取适当措施使信号不受干扰;禁止使用不相容金属;禁止镀锌或镀镉 | 禁用 |
| 22 | 除另有规定外,禁止使用锡焊密封工艺;慎用超声清洗工艺,所选功率、时间等工艺参数应经充分论证和试验验证 | 禁用/限用 |

附录 E

(资料性)

失效案例结构判据示例

失效案例结构判据示例如表 E.1 所示。

表 E.1 失效案例结构判据示例

| 序号 | 元器件类别 | 失效模式 | 失效原因 | 结构判据 |
|----|-------|------|---|----------------------|
| 1 | 继电器 | 绝缘下降 | 由于外壳镀层银离子迁移在引出线和壳体之间形成漏电通道,导致继电器绝缘下降 | 禁止使用纯银、纯锡等金属材料作为表面涂覆 |
| 2 | 运算放大器 | 功能失效 | 运放两引出端之间呈开路,是由于内引线在外键合点位置断裂。键合点断裂是由于运放内部有内涂料覆盖,在温度变化过程中内涂料产生的应力将内引线拉断 | 元器件内部键合点禁止点胶加固 |
| 3 | 玻封二极管 | 开路 | 二极管在温度试验后,芯片触点与引线柱开路 | 玻封二极管禁用压接式连接 |
| 4 | 接口电路 | 开路 | 电路失效是由于内部芯片与底座之间玻璃粉烧结存在开裂,粘接不牢固,在试验过程中的外力作用下芯片脱落,在接下来的试验过程中,芯片带着引线一起在器件内部振动和撞击,将内引线在键合点附近拉断,导致电路的部分管脚开路失效 | 慎用玻璃粘接芯片 |