



北京航空航天大学
BEIHANG UNIVERSITY



可靠性与系统工程学院

元器件质量与可靠性保证

主讲教师：付桂翠

Email: fuguicui@buaa.edu.cn

2023年03月21日



元器件质量保证中心

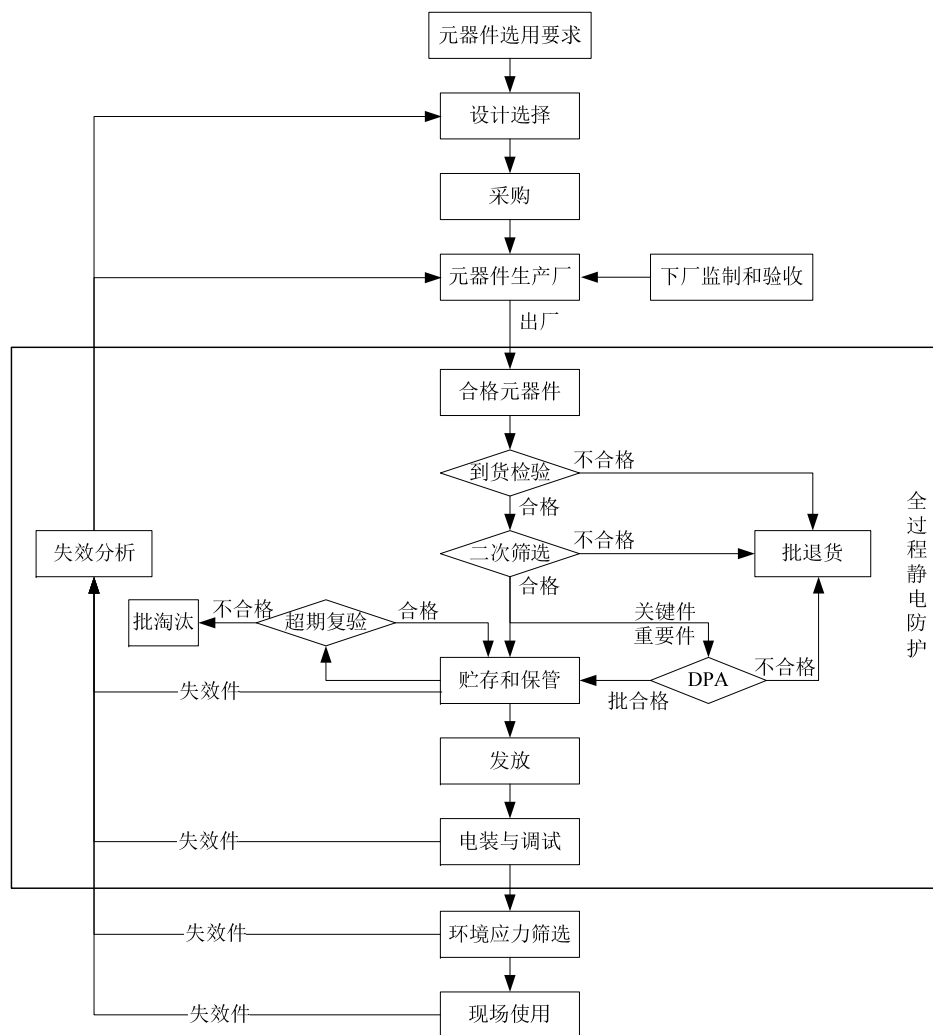
C 本节内容 CONTENTS

第六讲：电子元器件使用可靠性保证

- 一、军用电子元器件的使用质量管理流程
- 二、元器件选择控制要求
- 三、电子元器件应用验证



军用电子元器件的使用质量管理流程



使用全过程：

选择、采购、监制、
验收、二次筛选、
DPA、失效分析、保
管贮存、超期复验、
发放、装联和调试、
使用设计、静电防
护、评审

主要工作项目

- ❖ 元器件的选择管理
- ❖ 元器件的采购管理
- ❖ 监制、验收管理
- ❖ 二次筛选管理
- ❖ 破坏性物理分析管理
- ❖ 失效分析管理
- ❖ 使用质量管理
- ❖ 元器件的储存管理
- ❖ 元器件的评审管理

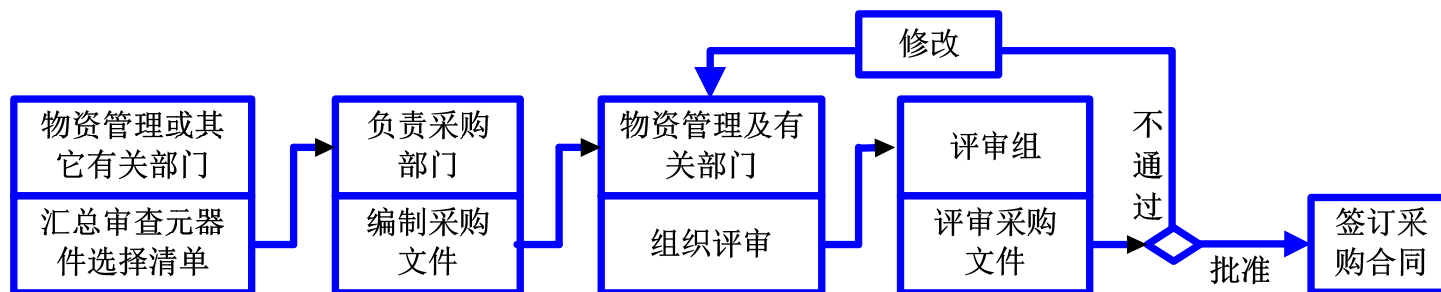
元器件选择原则

除了考虑功能、性能要求外，还应考虑装备的可靠性要求：

- ◆ 元器件的**技术标准**（包括技术性能指标、质量等级等）应满足装备的要求。
- ◆ 首先从该型号的“**元器件优选目录**”中选择。
- ◆ 优先选用**国产元器件**。
- ◆ 选择经实践证明质量稳定、可靠性高**有发展前途的标准元器件**，不允许选择淘汰品种的元器件。
- ◆ 选择设备适用的**元器件质量等级**，并应满足设备**可靠性指标要求和规定的元器件选择最低质量等级**要求。

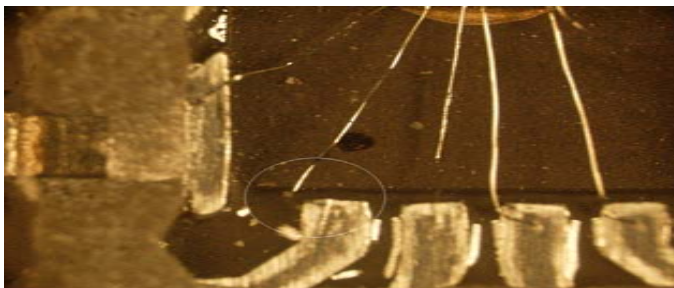
元器件的采购管理

- ◆原则：保证质量，节省经费，尽量集中
- ◆选择元器件优选目录上列举的生产和供应商
- ◆实施动态管理、优胜劣汰
- ◆应该定期跟踪和考察元器件生产及供应商



元器件监制、验收管理

所谓监制即是到元器件生产单位去对元器件生产过程进行监督。通过监制能够发现影响元器件固有可靠性的各种薄弱环节，使具有潜在严重缺陷的元器件在生产阶段就予以剔除。



内引线只是搭接

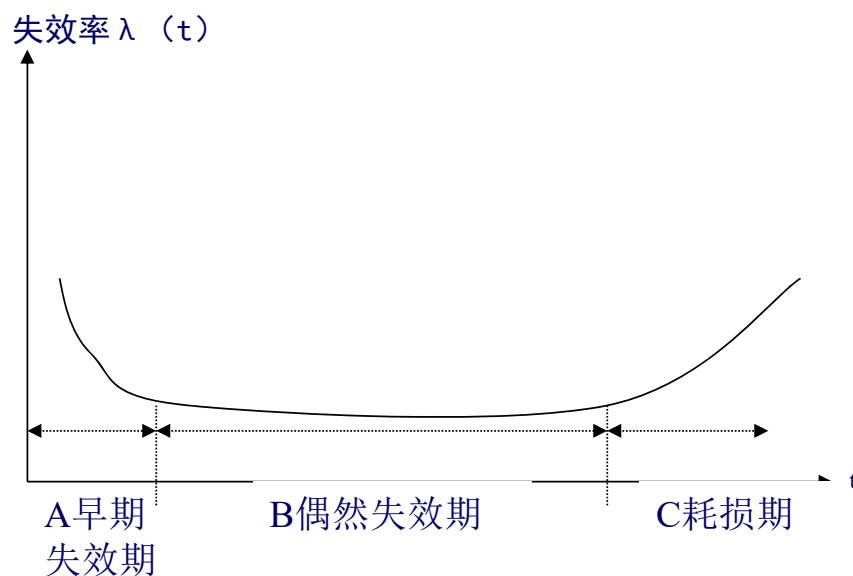
元器件验收包括下厂验收和到货检验。

下厂验收：采购单位组织具备验收资格的人员，按采购合同中规定的元器件标准或协议，到供货单位进行验收。

到货检验：采购单位在元器件到货以后，在一定时间内完成对元器件的检验。

元器件二次筛选

浴盆曲线：产品故障率随时间变化的曲线。



早期故障阶段：产品投入初期，设计制造中的缺陷，加强管理和筛选剔除。

偶然故障阶段：投入使用一段时间后，故障率为一常数，出现故障主要由偶然因素引起。

耗损故障阶段：产品的故障率迅速上升。很快大批量产品报废。材料的老化、磨损等。

元器件二次筛选

- 元器件筛选是指为了：（1）选择具有一定特性的产品；（2）剔除早期失效而对100%元器件进行的一种或几种试验。
- 元器件的筛选分为一次筛选和二次筛选
- 一次筛选是元器件生产厂出厂前对元器件进行的筛选。（生产单位）
- 二次筛选（使用单位）
- 筛选按照筛选规范去执行

筛选的典型试验

示例

- 温度循环
- 颗粒碰撞噪声检测
- 老练
- 测试
- 密封性检查

	常温 初测	温度 循环	恒定 加速 度	颗粒 碰撞 噪声 检测	常温中 测	高温 功率 老炼	常温 终测	高低 温测 试	密封 性试 验	外部 目检
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
单片微电路	√	√	按需要 选做	√	√	√	√	√	√	√
混合微电路	√	√		√	√	√	√	√	√	√
项目PDA(%)						5			12	
总的PDA(%)*	15									

* 航空型号可按需要，其总的批允许不合格率(%)的可供选择范围为15%~18%。

9

元器件破坏性物理分析(DPA)

- 破坏性物理分析（DPA）：是为验证元器件的设计、结构、材料和制造的质量是否满足预定用途或有关规范的要求，对元器件的合格批产品按批次抽样，并对样品进行一系列检验和分析的过程，并做出生产批质量合格与否的结论。
- 作用：能发现元器件内部的潜在缺陷，防止有严重缺陷的元器件装机使用，是确保元器件的质量和可靠性的重要手段。
- 按GJB4027的要求和方法具体实施。

元器件破坏性物理分析(DPA)

DPA主要试验项目及可以发现的缺陷、可预防的失效模式

序号	主要试验项目	可以预防的失效模式
1	外部目检	封装和镀层不符合要求；密封缺陷；
2	X射线检查	结构错误；多余物；装配工艺不良
3	颗粒碰撞噪声检测 (PIND)	可动颗粒引起的随机短路
4	密封	不良的环境气氛引起的电性能不稳定； 内部腐蚀开路
5	内部水汽含量	内部水汽含量过高引起电性能不稳定； 内部腐蚀开路
6	内部目检	加工工艺缺陷引起的质量缺陷
7	键合强度	键合强度缺陷引起的引线开路
8	扫描电镜检验	氧化层台阶处电迁移引起开路
9	芯片剪切强度	芯片脱离管座引起的开路； 粘结不良，芯片散热不良造成过热烧毁

元器件破坏性物理分析(DPA)

破坏性物理分析主要设备



3D X-Ray



扫描电子显微镜设备 (SEM)

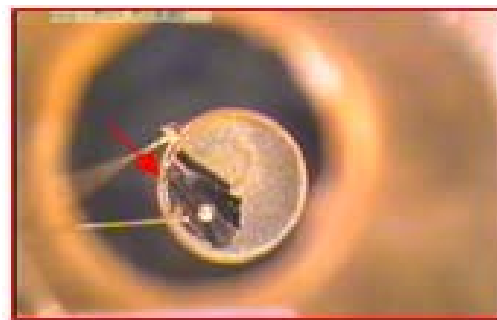


立体/金相显微镜

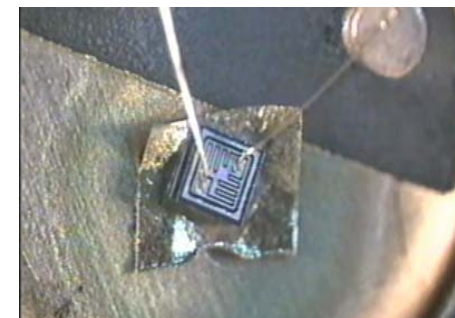


内部气氛分析仪

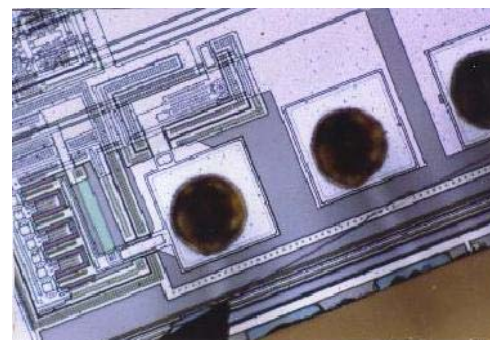
破坏性物理分析工作实例



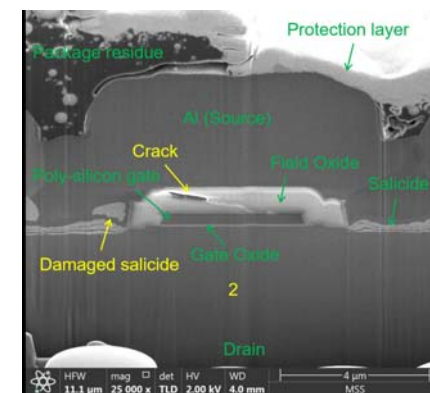
批次性的键合缺陷“零克点”



金焊片的尺寸与芯片不匹配



芯片破损有裂纹



FIB发现场氧层裂纹

元器件失效分析管理

- 为了寻找和分析失效元器件的失效部位和失效机理, 确定失效原因。
- 明确应采取的纠正措施, 以提高元器件的可靠性。

失效分析常用的方法

从外部分析到内部, 从非破坏分析到破坏性分析; 包括外观检查、电测试、再使用光学、化学、机械、电子等技术分析方法。

- a. 元器件外观检查;
- b. 元器件解剖前电性能检查、密封性试验、PIND ;
- c. 元器件显微镜观察照相;
- d. 解剖元器件;
- e. 元器件解剖后电性能检查。
- f. 元器件解剖后其它电性能检查

军用元器件的失效分析管理要求

- (1) 对**关键的、重要的以及多次出现失效而未找到原因的元器件**应进行失效分析，提交专门的失效分析机构或主管部门认可的失效分析机构进行，以便了解元器件失效机理，采取有效纠正措施。
- (2) 对一般元器件的失效也应组织有关人员进行分析和试验，找出原因，并采取纠正措施。

元器件使用设计管理要求

◆ 元器件进行降额使用

元器件的失效率与其工作应力直接相关，使元器件实际使用应力低于其规定的额定应力，从而达到降低工作失效率、延长使用寿命的目的。

◆ 开展热设计。

温度是影响元器件失效率的重要因素。

◆ 考虑元器件的抗辐射问题

采用抗辐射加固的半导体器件。

◆ 防止元器件的静电损伤

元器件贮存质量管理要求

(1) 保管与贮存条件

元器件的保管与贮存必须符合规定的保管贮存条件，特别对需要防潮、防腐、防锈、防老化、防静电等有要求的元器件更应妥善保管。

(2) 存放要求

元器件的库房应分一般库房与受控库房。库房存放应做到不同品种分类分批存放，库房内应标志明显、存放合理、排列有序、安全、整洁，温湿度应有记录。

超期贮存元器件质量管理要求

◆为什么会出现超期贮存的元器件？

国内型号承研单位通常储备一定的元器件，元器件有贮存期的要求，超过了贮存期就是超期元器件。

◆超过了规定贮存期的元器件，通过规定的检验，仍然能作为合格的产品用于军工产品上。

国军标GJB/Z123-99《宇航用电子元器件有效贮存期及超期复验指南》规定了超期贮存元器件的质保要求。

半导体器件类别	基本有效贮存期(月)			说明
	I	II	III	
非密封片式半导体器件	12	—	—	
朔料封装分立器件	18	12	8	
玻封、玻璃钝化分立器件	24	18	12	
非塑料封装的光电器件				
金属或陶瓷封装分立器件	30	24	20	
金属或陶瓷封装集成电路				
金属壳封装混合电路				

元器件的评审管理要求

❖ 目的

发现元器件选用过程中存在的问题，并提出改进意见。

❖ 内容

- a. 检查元器件的选用是否符合优选要求？
- b. 检查关键、重要的元器件选用情况是否正确合理？
- c. 检查元器件的使用（降额设计、热设计等）是否符合有关规定？
- d. 是否按规定进行了元器件验收、二次筛选和DPA？以及对不合格批的处理？
- e. 元器件是否符合规定的元器件贮存期要求？
- f. 是否对失效元器件进行了失效分析？

C 本节内容 CONTENTS

第六讲：电子元器件使用可靠性保证

- 一、军用电子元器件的使用质量管理流程
- 二、军用元器件选择要求
- 三、电子元器件应用验证



军用产品元器件的选择

- ①**特性选择**：根据元器件的使用部位的**电性能**、**体积**、**重量**等要求选择元器件的**品种**、**规格**和**供货单位**。
- ②**质量等级选择**：按可靠性要求选择元器件执行的规范和**质量等级**。
- ③**环境适应性选择**：选择元器件工作适用的**温度范围**、可承受的**振动**频率范围和量级、以及**密封性**、静电敏感度、辐射强度保证(RHA)等级等承受环境的能力。

元器件优选目录PPL

- MIL-STD-975 《NASA标准电子元器件清单》
- MIL-HDBK-979 《宇航用标准元器件数据手册》
- 《航天型号元器件优选目录》
- 《XX工程元器件优选目录》

XX型号电子元器件优选目录

序号	名称	型号	主要性能参数	质量等级	技术标准	封装形式	生产厂家
1	BCD-7 段译码器/驱动器 (OC, 15V)	JT54LS247	$V_{CC}=5V; I_{CC}\leq 7mA; t_{pd}\leq 100ns$	B1	QZJ840614, GJB4589.1	D16,J16	871、873 厂
2	8 选 1 数据选择器 (3S, 互补输出)	JT54LS251	$V_{CC}=5V; I_{CC}\leq 6.6mA; t_{pd}\leq 28.5ns$	B1	QZJ840614, GJB4589.1	D16,J16	871、873 厂
3	四 2 选 1 数据选择器 (3S)	JT54LS257	$V_{CC}=5V; I_{CC}\leq 9.4mA; t_{pd}\leq 10.5ns$	B1	QZJ840614, GJB4589.1	D16,J16	871、873 厂
4	八上升沿 D 触发器 (有公共清除端)	JT54LS273	$V_{CC}=5V; I_{CC}\leq 17mA; f_{max}\geq 40MHz$	B1	QZJ840614, GJB4589.1	D20,J20	871、873 厂
5	四S-R 锁存器	JT54LS279	$V_{CC}=5V; I_{CC}\leq 3.8mA; t_{pd}\leq 12ns$	B1	QZJ840614, GJB4589.1	D16,J16	871、873 厂

C 本节内容 CONTENTS

第六讲：电子元器件使用可靠性保证

- 一、电子元器件的使用质量管理流程
- 二、元器件选择及其控制要求
- 三、电子元器件应用验证



元器件应用验证的要素

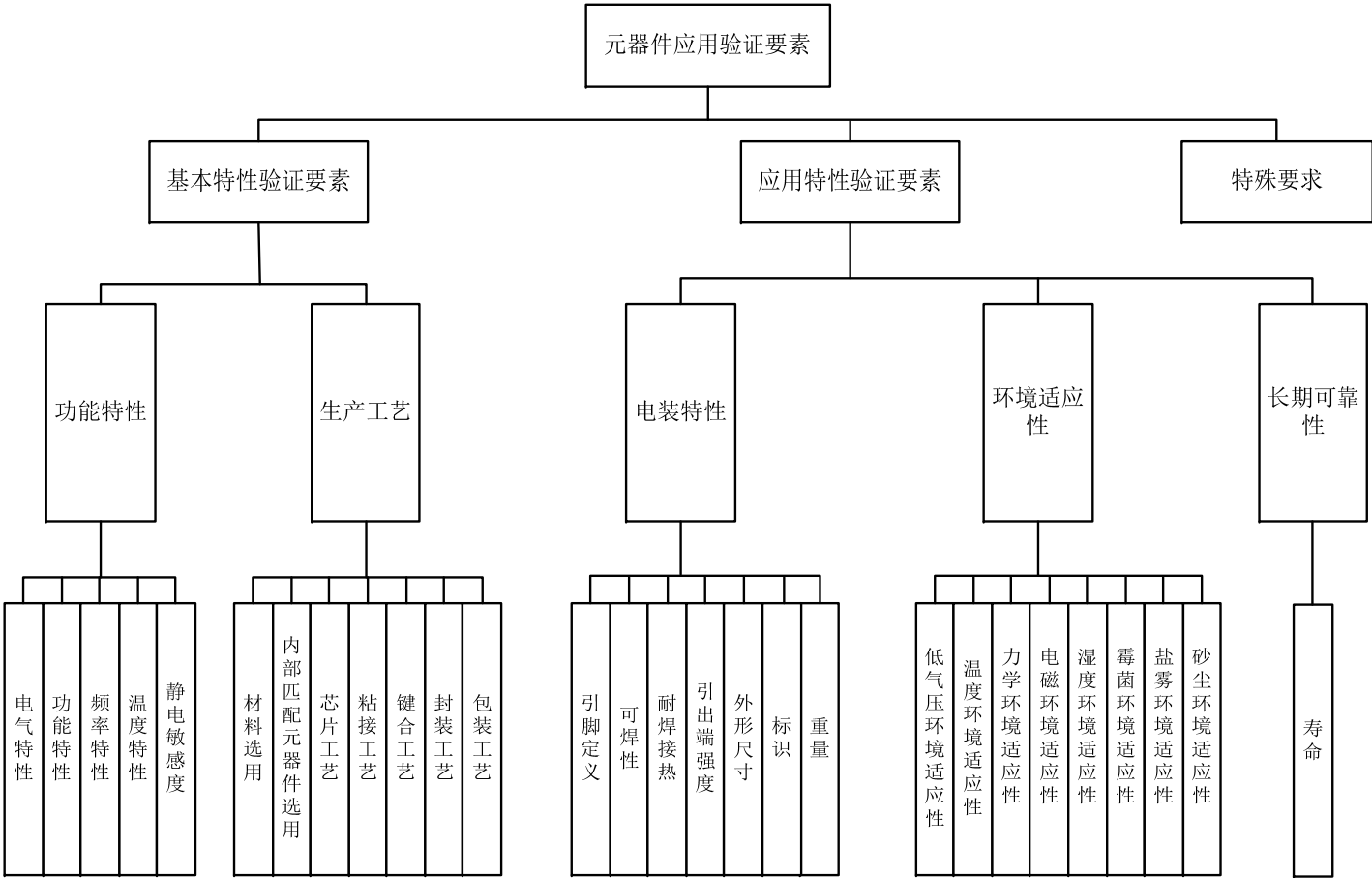
元器件应用验证是对元器件在应用前开展的一系列试验、评估和综合评价等工作。

元器件基本特性描述元器件出厂时自身特性，包括元器件功能特性参数要素和元器件生产工艺要素

元器件应用特性描述元器件在使用过程中的特性，包括电装特性、应用环境适应性以及长期可靠性

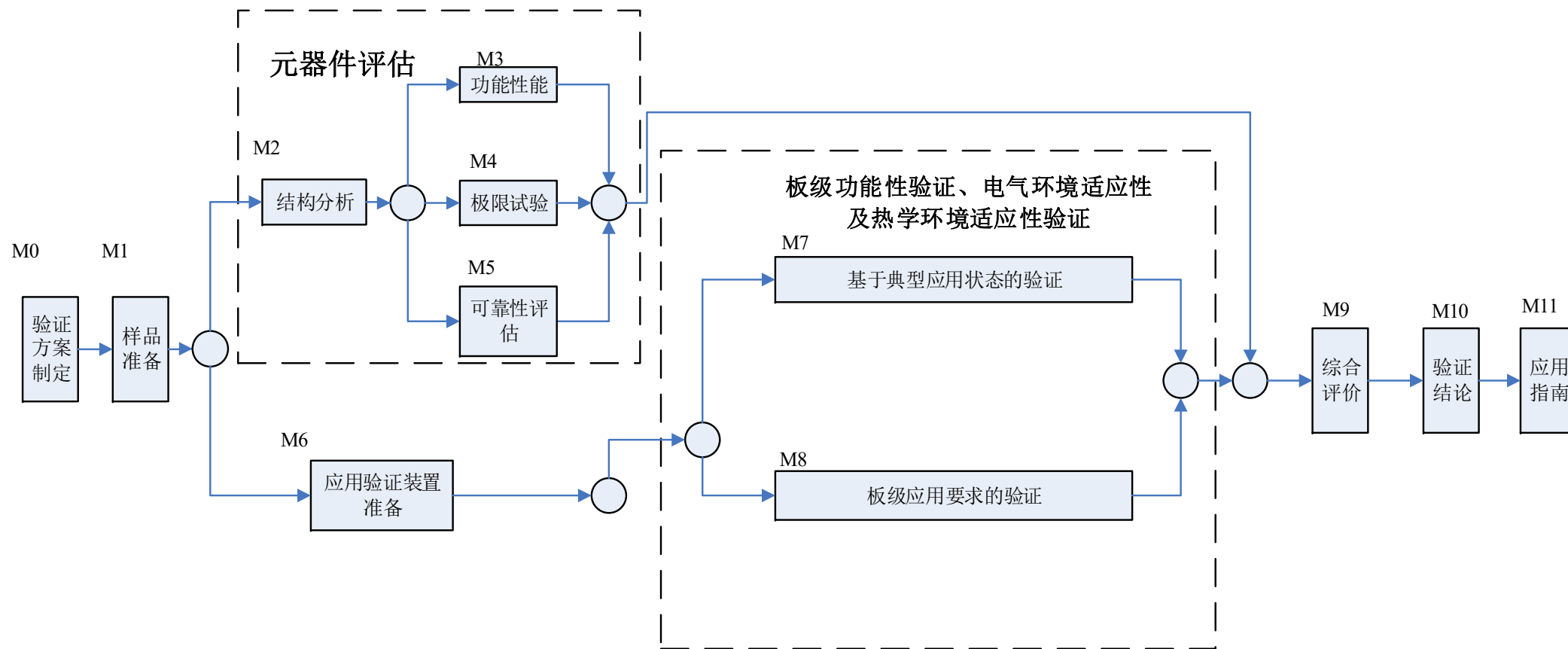
元器件应用验证的要素

- 功能性能验证要素
- 工艺结构验证要素
- 电装特性验证要素
- 环境适应性要素
- 长期可靠性验证要素



元器件应用验证方案设计

某器件验证技术流程

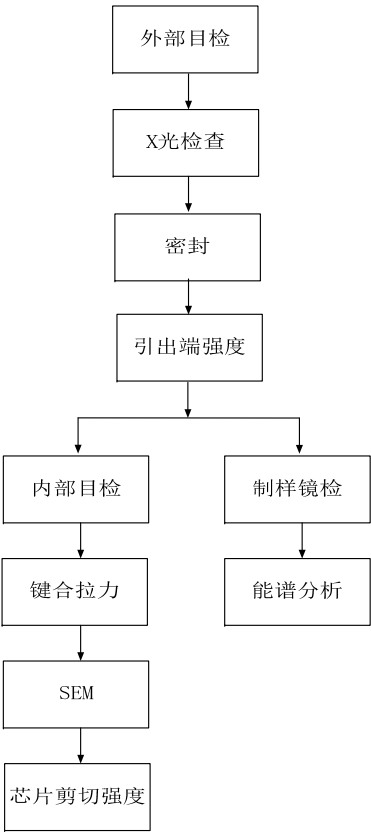


元器件应用验证方案设计

- (1) 试验项目的确定
- (2) 试验条件的确定
- (3) 试验分组与抽样
- (4) 失效判据

参数名称	符号	测试条件（除另有规定外， $V_S \pm 15V$, T_A 全温）	A 组 分组	F400A/OP400AZ		F400/OP400AZ		单位
				最小	最大	最小	最大	
输入失调电压	V_{IO}	$R_S \leq 10k\Omega$	25℃	1	150	—	300	μV
输入失调电流	I_{IO}	$V_{CM} = 0V$	25℃	2, 3	270	—	400	nA
				1	1.0	—	3.5	
输入偏置电流	I_{IB}	$V_{CM} = 0V$	25℃	2, 3	2.5	—	6.0	nA
				1	3.0	—	7.0	
大信号电压增益	A_{VD}	$V_O = \pm 10V$, $R_L = 10k\Omega$	25℃	1	5000	—	3000	V/mV
				2, 3	3000	—	2000	
		$V_O = \pm 10V$, $R_L = 2k\Omega$	25℃	1	2000	—	1500	
				2, 3	1000	—	1000	
共模抑制比	K_{CMR}	$V_{CM} = \pm 12V$, $R_S \leq 10k\Omega$	25℃	1	120	—	110	dB
				2, 3	115	—	105	
输出电压幅度	V_{OPP}	$R_L = 10k\Omega$	25℃	1	± 12	—	± 12	V
				1	± 11	—	± 11	
		$R_L = 10k\Omega$	25℃	2, 3	± 12	—	± 12	
				2, 3	± 11	—	± 11	
电源电压抑制比	K_{SVR}	$R_S \leq 10k\Omega$	25℃	1	—	1.8	—	$\mu V/V$
				2, 3	—	3.2	—	
电源电流 (每个运放)	I_S	$R_L = \infty$	25℃	1	—	725	—	μA
				2, 3	—	775	—	
输入电压范围*	V_{IR}		1, 2, 3	± 12	—	± 12	—	V
输入噪声电压*	V_{NI}	$f = 0.1Hz \sim 10Hz$, 25℃	4	0.5(典型值)	—	0.5(典型值)	—	μV_{rms}
输入噪声电压密度*	$V_{NI/f}$	$f_0 = 10Hz$	25℃	4	—	36	22(典型值)	nV/\sqrt{Hz}
		$f_0 = 1000Hz$		4	—	18	11(典型值)	
输入噪声电流*	I_{NI}	$f = 0.1Hz \sim 10Hz$, 25℃	4	15(典型值)	—	15(典型值)	—	pA_{rms}
输入噪声电流密度*	$I_{NI/f}$	$f_0 = 10Hz$, 25℃	4	0.6(典型值)	—	0.6(典型值)	—	pA/\sqrt{Hz}
转换速率*	S_R	25℃	4	0.1	—	0.1	—	V/ μs
差模输入阻抗*	R_{ID}	25℃	1	10(典型值)	—	10(典型值)	—	M Ω
共模输入阻抗*	R_{IC}	25℃	1	200(典型值)	—	200(典型值)	—	G Ω
输入电容*	C_I	25℃	1	3.2(典型值)	—	3.2(典型值)	—	pF
增益带宽乘积*	GBW	$A_V = \pm 1.0$	25℃	4	500(典型值)	—	500(典型值)	kHz
通带分离度*	CSR	$V_O = 20V_{PP}$, $f_0 = 10Hz$	25℃	4	123	—	123	dB
输入失调电压 长期稳定性*		25℃	1	0.1(典型值)	—	0.1(典型值)	—	$\mu V/$ mo
电容负载稳定性*		$A_V = +1$, 无自激 25℃	1	10(典型值)	—	10(典型值)	—	nF

功能特性参数测试项目



结构分析项目

- 6.3 器件可靠性试验
- 6.3.1 稳态寿命试验
按照 GJB 548B-2005 方法 1005.1 规定的试验条件（125℃，1000h）。
采信鉴定试验结论。
- 6.3.2 ESD 试验
按照 GJB 548B-2005 方法 3015，500V。
采信鉴定试验结论。
- 6.3.3 热冲击试验
按照 GJB 548B-2005 方法 1011 试验条件。
采信鉴定试验结论。
- 6.3.4 温度循环
按照 GJB 548B-2005 方法 1010 试验条件。
采信鉴定试验结论。
- 6.3.5 恒定加速度试验
按照 GJB 548B-2005 方法 2001.1 试验条件。
采信鉴定试验结论。
- 6.3.6 引出端强度
按照 GJB 548B-2005 方法 2014 规定的试验条件。
采信鉴定试验结论。
- 6.3.7 扫频振动
按照 GJB 548B-2005 方法 2007 试验条件。
采信鉴定试验结论。
- 6.3.8 机械冲击
按照 GJB 548B-2005 方法 2002 试验条件。
采信鉴定试验结论。

可靠性试验项目

元器件应用验证方案设计

- (1) 试验项目的确定
- (2) 试验条件的确定
- (3) 试验分组与抽样
- (4) 失效判据

6.3 器件可靠性试验

6.3.1 稳态寿命试验

按照 GJB 548B-2005 方法 1005.1 按规定的试验条件（125℃，1000h）进行试验，
采信鉴定试验结论。

6.3.2 ESD 试验

按照 GJB 548B-2005 方法 3015，500V。
采信鉴定试验结论。

6.3.3 热冲击试验

按照 GJB548B-2005 方法 1011 试验条件。
采信鉴定试验结论。

6.3.4 温度循环

按照 GJB548-2005 方法 1010 试验条件。
采信鉴定试验结论。

6.3.5 恒定加速度试验

按照 GJB 548B-2005 方法 2001.1 试验条件。
采信鉴定试验结论。

某器件可靠性试验条件

6.5.8 温度冲击试验

板级温度冲击试验参照 GJB150.5A-2009 进行，高温及低温极限值可参照用户板卡/单机鉴定级或筛选条件的试验剖面，参考试验剖面如下：

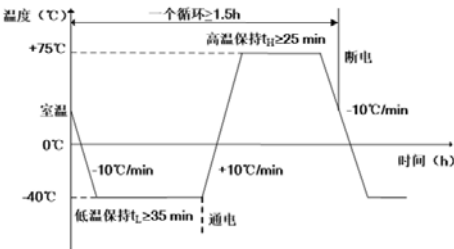


图 6.4 板级温度冲击试验条件示意图

表 6.24 板级温度冲击条件

参数类型	单板级
温度范围	0℃~+60℃
温控误差	高温：±2℃ 低温：±3℃
温度变化速率	升温率：10℃/min 降温率：10℃/min 尽可能采用一箱法。若采用二箱法，转移时间不大于 3min。
一次循环时间	1.5 h
温度保持时间	根据热平衡时间测定结果确定。没有热平衡时间测定结果的产品可参考下列数值： 高温保持时间 t _H ≥25 min 低温保持时间 t _L ≥35 min
循环次数	10 次
监测方式	板卡应通电，具备条件时应每个循环进行检测，条件不具备时至少在第 5 个循环、第 8 个循环和第 10 个循环各检测一次。

某器件板级冲击试验条件

元器件应用验证方案设计

- (1) 试验项目的确定
- (2) 试验条件的确定
- (3) 试验分组与抽样
- (4) 失效判据

某器件试验分组
与样品分配情况

序号	验证指标		样品编号
元器件功能性能测试			
国产器件数量及编号： 3 #1-#3 进口器件数量及编号： 3 #01-#03			
1	功能和性能		#1-#3
2	关键参数一致性分析		#1-#3
3	关联电特性		#1-#3
4	主要功能性能比对分析		#01-#03
器件结构分析			
国产器件数量及编号： 2 #4-#5 进口器件数量及编号： 0			
1	设计可靠性	封装结构分析	#4、#5
		芯片结构分析	
		键合结构分析	
2	工艺可靠性	封装工艺分析	#4、#5
		芯片工艺分析	
		键合工艺分析	
3	材料可靠性	封装材料分析	#4、#5
		焊接材料分析	
		键合材料分析	
		芯片粘接材料分析	
器件极限评估			
国产器件数量及编号： 6 #6-#14 进口器件数量及编号： 0			
1	电学极限试验		#6-#8
2	热学极限试验		#9-#12
3	力学极限试验		#13-#14
通用板卡级验证			
国产器件数量及编号： 1 #15 进口器件数量及编号： 1 #04			
1	板级功能性能完整性测试		#15、#04
2	与进口样品应用差异性测试		#15、#04
3	电气环境适应性		#15、#04
4	热学环境适应性		#15、#04
5	力学环境适应性		#15、#04

元器件应用验证方案设计

- (1) 试验项目的确定
- (2) 试验条件的确定
- (3) 试验分组与抽样
- (4) 失效判据

3.2.4.1 → 结构分析试验项目汇总

表·27· 结构分析试验项目

序号	试验项目	样品编号	分析结论
1	外部目检	4#、5#	通过
2	X 光检查	4#、5#	通过
3	密封	4#、5#	通过
4	内部目检	4#	通过
5	SEM	4#	通过
6	成份分析	4#	通过
7	键合拉力测试	4#	通过
8	芯片剪切强度测试	4#	通过

试验内容详见结构分析报告（报告编号：HY2103027A）。

3.2.4.2 → 分析评价结果

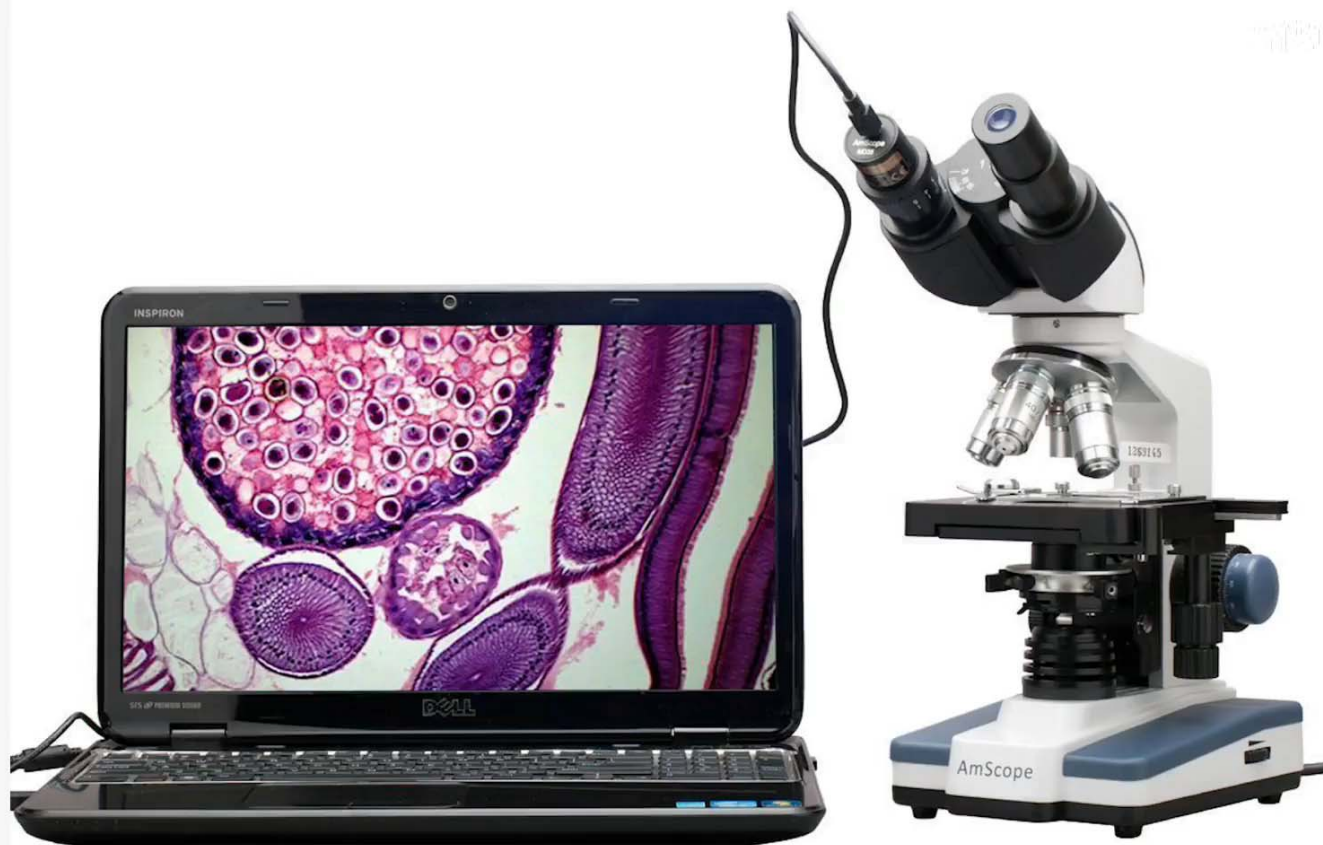
器件为 CSOP-08 金属陶瓷扁平封装，标识清晰，壳体结构完整，引线与壳体结合紧密，盖板及引线镀金，镀层完整无脱落。

某器件结构分析试验评价结果

课后习题

1. 电子元器件的使用可靠性保证工作包含哪些项目？
2. 选择元器件的质量等级时，为什么不能尽可能选择高质量等级的器件？
3. 元器件应用验证的定义是什么？为什么要进行应用验证工作？
4. 思考如果仅对照器件手册，将封装与功能参数相同的国产型号元器件直接代替某进口元器件装机使用，验证不充分的情况下，可能会产生什么后果。
5. 对元器件进行应用验证工作时，应对哪些要素进行验证？

【科普】扫描电子显微镜之简要介绍 (SEM)





The End

付桂翠

可靠性与系统工程学院

fuguicui@buaa.edu.cn