文章编号: 1007 - 4252(2021)01 - 0001 - 061

应用验证背景下的数字隔离器结构分析技术

郑　宇*,谢玉巧,方　岚,李苏苏,明　源,褚琤琤
(华东光电集成器件研究所,安徽 蚌埠 233000)

摘要: 元器件的结构分析是对元器件进行可靠性评价的重要技术之一。本文提出了一种数字隔离器的结构分析技术,以新研制的 GLc7640C 和进口已成熟应用的 ISO7640FM 两个数字隔离器为对象进行了结构分析,制定了该数字隔离器的结构分析方案,分解了结构单元,识别了结构要素,按照分析流程形成了结构分析结论和报告,佐证了技术的可行性,发现了相关影响可靠性的因素,并提出了建议,为同类器件的结构分析提供了参考模式。

关键词: 结构分析; 数字隔离器; 应用验证
中图分类号: TN609　　**文献标志码:** A

Structural Analysis Technology Based on Application Verification

ZHENG Yu*, XIE Yu-qiao, FANG Lan, LI Su-su, MING Yuan, CHU Cheng-cheng
(East China Institute of Photo-electron IC, Bengbu 233000, China)

Abstract: The structure analysis of components is one of the important technologies for reliability evaluation of components. This paper presents a structure analysis technique of digital isolator, analysed the structure of GLc7640C and ISO7640FM, established the structure analysis scheme of the digital isolator, including structural unit, structural elements, analysis process, formed conclusion and report, and proved the feasibility of the technology. The related factors that affect reliability are found and suggestions are given. This paper provides a reference mode for the structural analysis of similar devices.

Key words: Structural Analysis; Digital Isolator; Application Verification

0　引言

我国的电子元器件设计、制造等环节的技术水平相对落后,拥有正向设计以及核心知识产权的技术和产品并不多,国产器件的应用验证工作日趋紧迫。应用验证工作是指在基础产品完成产品研制鉴定后,按照使用要求,在实际使用条件或接近实际使用条件下,针对基础产品环境适应性、质量可靠性等,开展的一系列针对性试验、分析、评估和迭代改进工作。结构分析作为应用验证工作的重要环节,具有一票否决的属性,属于重要的验证工作项目。元器件的固有可靠性是由元器件的结构设计和生产控制所决定的,因此元器件的设计、结构、材料和工

收稿日期: 2021-02-01;　　修订日期: 2021-02-22
作者简介: 郑 宇(1985-),男,本科,高级工程师,主要研究方向为半导体、MEMS 封装测试(E-mail: 181973058@qq.com).

艺等因素带来的可靠性问题必须给予高度重视。元器件结构分析技术就是通过一系列破坏性和非破坏性检验、分析和试验，获得元器件的设计、工艺和材料等满足评价要求和相关应用要求的能力的信息，发现其不适应于应用环境的因素并提出改进建议，避免不适当结构的元器件用于最终产品[1-4]。文章以国产数字隔离器为例开展了结构分析技术研究，创新性的引入了工艺设计分析过程，不仅判别元器件的结构是否满足要求，可靠性是否存在隐患，还有更重要的就是指导设计师更好地使用国产器件，为研制单位提供改进建议。

1 结构分析技术流程

在面向样品的结构分析具体实施过程中，包含了很多方面的技术项目，如针对具体的器件，首先要明确器件的基本设计、结构以及封装形式等信息，对于常规和非常规的各种要素，采用不同的比对、评价方法，这些技术项目的实施需要按照一定的技术流程进行，以确保基于有限数量的器件能获得全面、准确、典型的结构信息。

本文选用的新研制的数字隔离器是 GLc7640C，该产品已于 2020 年 9 月完成鉴定检验。鉴定包括 A 组、B 组、C 组以及 D 组规定的试验。进行结构分析的样品批筛选试验整批合格品 265 只，不合格品 2 只，合格率为 99.25 %，符合规定要求，从合格品中选取 2 只样品开展结构分析。

对标的进口已成熟应用的 ISO7640FM 数字隔离器，用户实际使用电应力为 2.7 V~5.5 V；工作温度范围−55 ℃至+125 ℃；恒定加速度、内部水汽含量、密封等均参照 GJB2438A−2002 表 C.14 的规定；耐湿、盐雾、热冲击等均参照 GJB2438A−2002 表 C.15 的规定。

因此，结构分析时需从温度、振动、电应力等方面，重点分析该新研制的数字隔离器是否能满足应用要求。

1.1 结构单元分解

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[5]：

1) 结构单元分解应对元器件的整体结构按照物理单元进行二级或三级层次分解，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；

2) 一般应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；

3) 元器件中由多个物理单元组成、实现特定功能、反映元器件特定结构特征的部分称之为“功能单元”，这类单元在结构分析中根据元器件的具体特点和分析需要进行划分。

按照数字隔离器的物理和功能单元进行分解，获得其结构要素，并作为后续指定结构分析试验项目和流程的参考依据，如图 1 所示。

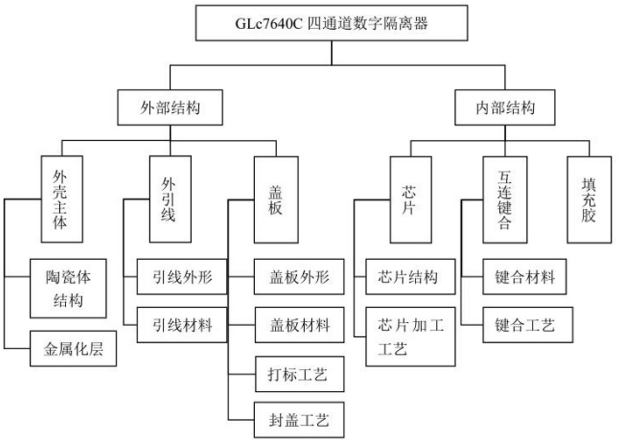

图 1 结构分解图

Fig. 1 Structural decomposition diagram

1.2 结构要素识别

各个结构单元包含多方面的结构要素，反映出该部分结构单元各方面的可靠性因素，结构要素的确定需要结合该部分结构单元的具体功能、性能进行。结构要素识别是采用矩阵表格的方式，对元器件的结构单元所包含的结构要素进行列举，如表 1 所示。

表 1　结构要素组成和识别方法[6]

Table 1 Structure elements composition and identification method

结构单元		分析项目	分析手段
封装管壳	标识	标识的方式方法、适用性	外部目检
		信息完整性及标识牢固度	耐溶剂性试验
	管壳	盖板与底座的基材与涂敷、强度	外部目检、能谱等
	引线	引线基材、牢固性、平整度	制样镜检
		引线涂覆、材料	
键合互连		内引线材料和尺寸	内部目检 制样镜检 扫描电镜检查 能谱分析 键合强度试验
		内引线布局	
		内引线弧度	
		键合强度	
		内引线材料和内电极结构的匹配性	
芯片粘接		芯片尺寸和划片质量	X 射线检查 内部目检 制样镜检 扫描电镜检查 粘片强度试验
		芯片安装位置及方向	
		芯片粘接材料及工艺	
		芯片粘接牢固度	
内部芯片		芯片焊盘	内部目检 扫描电镜检查 钝化层完整性检查
		金属化层形貌	
		钝化层完整性	

1.3　结构分析流程

在确定结构分析要素后,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,选定对应的试验项目和相应的设施或设备,并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,试验流程的主要过程如图 2 所示。

2　试验及结果

2.1　封装结构

2.1.1 外部结构

GLc7640C 和 ISO7640FM 数字隔离器外部典型形貌如图 3、图 4 所示。

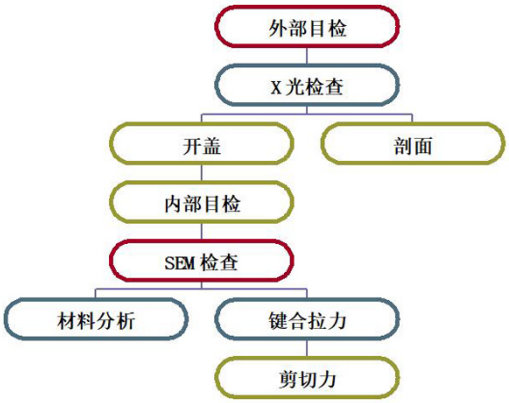

图 2　结构分析一般流程

Fig. 2 General process of structural analysis

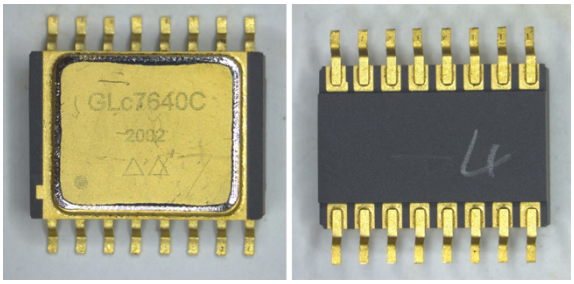

图 3　GLc7640C 外部正反面形貌

Fig. 3 Front and back appearance of GLc7640C

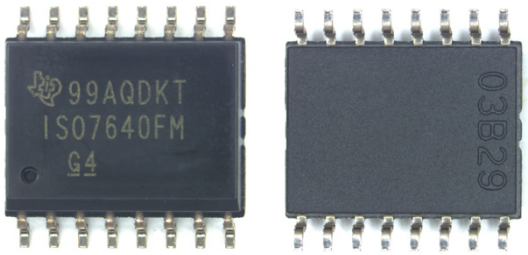

图 4　ISO7640FM 外部正反面形貌

Fig. 4 Front and back appearance of ISO7640FM

外壳主体: GLc7640C 整体为陶瓷宽体 SOP16 封装。产品外壳为 CSOP16BL 型高温共烧陶瓷管壳,管壳主体材质为 HTCC 高温共烧陶瓷。多层陶瓷内布金属化线,金属化线与金属化的城堡状区相连,城堡状区连接到底面金属化区,金属化层表面镀金。外引脚焊接在底面金属化区。

外引脚: 外引脚基材为铁镍可伐合金,表面镀金。

盖板: 管壳盖板为 MT06850815 型金属台阶盖板,基材为铁钴镍可伐合金,表面镀镍镀金,采用平

行缝焊工艺安装到外壳腔体上，并通过激光打标方式刻印产品型号、生产批次、静电敏感度标识、1 脚标记位等信息。

对样品的外部结构进行检查，结果显示：外壳主体、引脚、盖板结构完整，无裂纹、缺损；盖板、金属化层以及引脚表面镀层良好，无缺损、变形等缺陷；外部标识清晰。

2.1.2 内部结构

对 GLc7640C 进行 X 射线检查发现：样品内部键合丝形貌正常，无弧度异常，无交叉打线，无断线；样品内部第一焊点和第二焊点焊球形貌正常，未见焊球脱落，虚接等形貌；焊点间距最小为 236 μm 符合 GJB548B-2005 方法 2012 要求(>25 μm)；键合丝间距最小值为 126 um 符合 GJB548B-2005 方法 2012 要求(>50 um)；线弧最高点与盖板的距离为 442 μm 符合 GJB548B-2005 方法 2012 要求(>50 μm)，如图 5 所示。

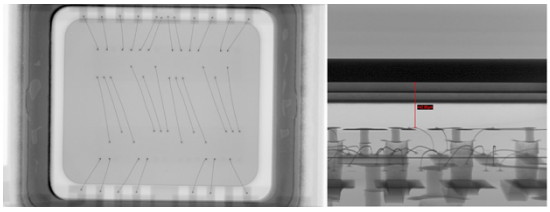

图 5 关键参数测量

Fig. 5 Key parameter measurement

内部结构形貌图如图 6、图 7 所示。

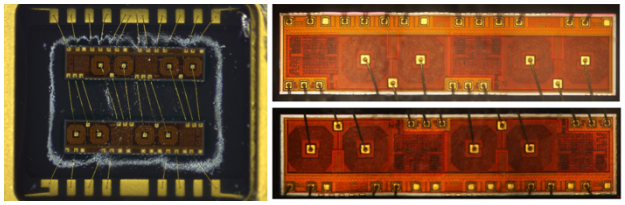

图 6 GLc7640C 整体与局部内部结构图

Fig. 6 Internal structure diagrams of GLc7640C

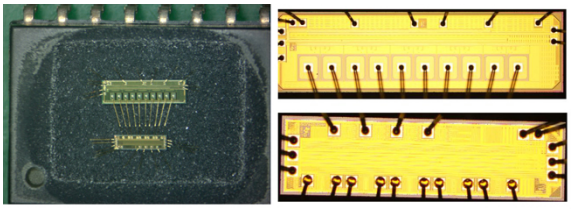

图 7 ISO7640FM 整体与局部内部结构图

Fig. 7 Internal structure diagrams of ISO7640FM

芯片：GLc7640C 和 ISO7640FM 内部芯片均为 2 只隔离器芯片。

互连键合：内部采用金丝键合方式进行互连，键合引线直径 30 μm，见图 8。

填充胶：GLc7640C 内部采用绝缘胶半填充，ISO7640FM 塑封料填充。

对样品进行内部目检，结果显示：GLc7640C 产品芯片几何机构完整，未见裂纹或缺损，芯片标识与原材料清单一致；填充胶将芯片和键合引线完全包裹，起保护作用。

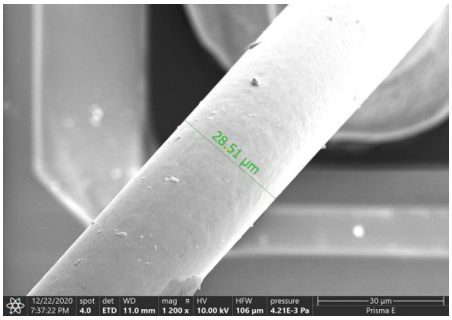

图 8 键合丝直径测量

Fig. 8 Bonding wire diameter measurement

2.2 工艺分析

在工艺设计文件与工艺流程排查中发现，新研制的数字隔离器的工艺流程中存在两种版本的电路，同研制厂家充分了解隔离器工作原理，该款隔离器为确保安全可靠的输出，尤其避免输入端噪声信号的干扰，会在隔离通道加入一个低通滤波模块，将超出输入频率范围的噪声信号进行滤除，其电路结构如图 9 所示。其中滤波器是由输入控制的电流源、滤波电容、施密特 buffer 组成，其中电路的关键参数为滤波电容的选择。滤波电容的大小一方面决定低通滤波的截止频率，另一方面也影响到信号的延迟。隔离器电路共有两版设计，其中 A 版本滤波电容 30 fF，对应的产品性能指标截止频率与传输延迟分别为 400 MHz 和 14 ns，B 版本滤波电容 60 fF，对应的产品性能指标截止频率与传输延迟分别为 200 MHz 和 20 ns。

由于实际输入信号频率范围为 0 至 150 MHz，而滤波器的截止频率为 400 M，因此 150 M~400 M 之间的噪声信号会通过输入端口进入电路内部，情况严重时会造成输出误码。由于用户使用环境较为复杂，为了避免用户在不同的使用过程中出现噪声

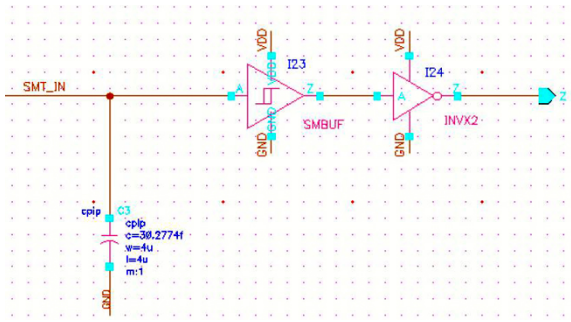

图 9　隔离器输出结构示意图

Fig. 9 Schematic diagram of isolator output structure

干扰的问题,同时考虑到修改电容仅会影响信号延迟一项参数,研制厂家提供的为 B 版本电路,即滤波电容为 60 fF,截止频率为 200 MHz,通道延时为 20 ns,距离输入信号最高频率范围保留适当裕度,在实际使用过程中可以有效滤除噪声干扰,抗干扰能力更强,国内进行大量供货的类似产品也均采用 B 版本电路设计。

GLc7640C 外壳盖板采用平行缝焊工艺安装到外壳腔体上,盖板标识采用激光打标工艺,内部键合引线采用超声热压焊工艺连接芯片键合区和外键合点金属化区,芯片加工制造采用 CMOS 工艺。对样品进行外部目检、X 光检查、内部目检、扫描电子显微镜检查、玻璃钝化层完整性检查等试验,结果显示: 该产品盖板焊缝连续; 外部标识清晰; 键合形貌良好; 芯片键合点分布合理,芯片金属化布局得当,钝化层未见缺损或其他缺陷,玻璃钝化层无破损、针孔或裂纹。各项试验均未见异常。

2.3　材料分析

GLc7640C 选用材料如表 2 所示。

表 2　GLc7640C 选用材料清单

Table 2 Material list of domestic devices

名称	型号/规格
管壳	CSOP16BL
盖板	MT06850815
键合丝	直径 30 μm
填充胶	483LV
管芯	LOGO: BM; GLW; 4CBEV3

对外引脚、盖板、键合引线进行能谱分析: 外引脚基材为铁镍可伐合金,表面镀金; 盖板基材为铁钴镍可伐合金,表面镀镍镀金; 键合引线为金线。部分能谱分析详情见图 10。

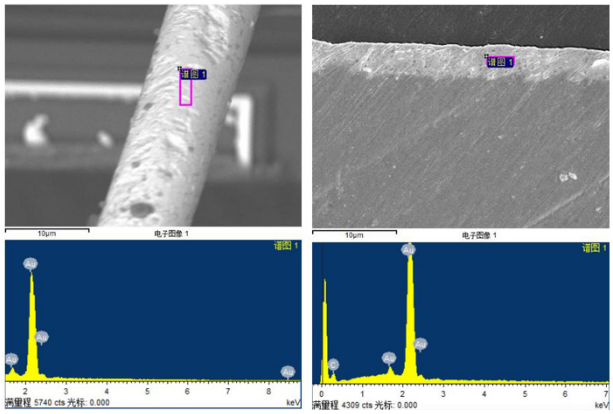

图 10　键合丝与引脚基材能谱分析图

Fig. 10 SEM of bonding wire and pin substrate

2.4　与 ISO7640FM 对比分析

封装材料方面 GLc7640C 为陶瓷封装,ISO7640FM 为塑料封装,封装材料不一致,陶瓷封装具有更好的抗机械强度和热应力适应性;

引脚方面,功能 GLc7640C 与 ISO7640FM 引脚分布对比如图 11,引脚功能一致;

外形尺寸方面,GLc7640C 为 SOP16 陶瓷封装,ISO7640FM 为 SOIC16 塑料封装,二者封装体宽度和两侧引脚末端间距基本一致,引脚宽度略有差异,相邻引脚间的线心距一致,引脚数量一致,引脚互相兼容。

引脚镀层方面,GLc7640C 引脚镀金,ISO7640FM 引脚非镀金,镀层材料不一致,镀金引脚具有更好的抗氧化、抗腐蚀性能。

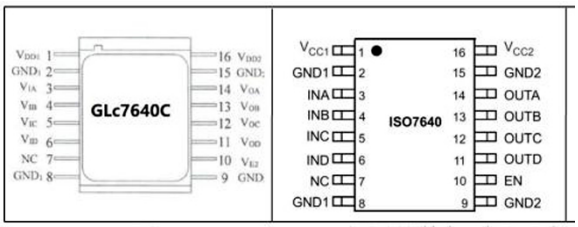

图 11　引脚功能对比图

Fig. 11 Pin function comparison diagram

3 评价与建议

综合结构分析结果认为，封装与结构方面，GLc7640C 型四通道数字隔离器各部件结构完整，镀层质量良好，标识清晰，外形尺寸符合器件手册规定；工艺方面，封盖工艺、打标工艺、键合工艺、芯片制造工艺均未见异常；材料方面，外引脚基材为铁镍可伐合金，表面镀金，盖板基材为铁钴镍可伐合金，表面镀镍镀金，键合引线为金线。与进口产品 ISO7640FM 兼容方面，引脚功能一致，外形尺寸兼容。建议研制厂家在详细规范与使用说明书中加入电路 A、B 两个版本不同性能参数的说明，更好地指导设计师进行国产器件选型与使用。

通过对数字隔离器结构分析的技术研究，形成了相应的指标体系并拆解成为三级结构分解单元，有效地指导了结构分析方案的制订，并根据元器件特定有针对性的进行相关试验，得出了结论与建议，不仅证明了技术方案的可行性，也为今后类似电子元器件的结构分析评价提供了可参考的分析模式，加速新研制器件更好地推广应用。

参考文献:

[1] ICE-Corp, Actel A1440 FPGA Construction Analysis Report [R], SCA9504-403, 1995.

[2] 张延伟，江理东，陈志强.一种新的元器件可靠性评估方法-结构分析(CA) [J]，电子产品可靠性与环境试验，2003(5) 1-3.

[3] 张磊，夏泓，龚欣.宇航元器件结构分析技术研究 [J]，电子产品可靠性与环境试验，2012，30(1)：53-57.

[4] 龚欣.航天用 DC/DC 电源模块结构分析研究 [J]，电子产品可靠性与环境试验，2010，28(5)：23-28.

[5] 王丽等.军用电子元器件应用验证结构分析试验方法，专项工程标准，2020.

[6] 许昕，陈品君，邝栗山等.数字隔离器结构分析技术研究 [J]，设计研发，2020.