

中华人民共和国国家标准

GB/T 19247.6—2024

印制板组装 第6部分：球栅阵列(BGA)和盘栅阵列 (LGA)焊点空洞的评估要求及测试方法

Printed board assemblies—Part 6: Evaluation criteria for voids in soldered
joints of BGA and LGA and measurement method

(IEC 61191-6:2010, MOD)

2024-03-15 发布

2024-07-01 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

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 焊点空洞 2

 4.1 概述 2

 4.2 空洞来源 2

 4.3 空洞的影响 2

 4.4 空洞检测 2

 4.5 空洞分类 2

5 测量 3

 5.1 X射线透射设备 3

 5.2 测量环境 3

 5.3 测量过程 4

 5.4 测量值的记录 4

 5.5 测量考虑因素 4

 5.5.1 空洞检测的X射线强度 4

 5.5.2 实际边缘的检测 4

 5.5.3 测量结果的验证 5

6 空洞率 5

 6.1 空洞率的计算 5

 6.2 多空洞的空洞率 6

7 评估 6

 7.1 焊点的评估 6

 7.2 因空洞而降低热寿命周期的评估 6

 7.3 空洞的评估准则 7

附录A（资料性） BGA焊球空洞 8

附录B（资料性） X射线透射设备 18

附录C（资料性） 空洞试验结果和模拟及热应力作用下的寿命缩短 20

附录D（资料性） X射线透射成像测量 23

参考文献 26

图1 空洞率 5

图2 焊点内空洞 7

图 A.1 聚集在焊球-器件焊盘界面的小空洞 8

图 A.2 有空洞的焊球 X 射线图像 9

图 A.3 焊盘与基板界面上的空洞区域示例 11

图 A.4 边角引线有裂纹的 BGA 空洞 17

图 B.1 X 射线透射设备结构 18

图 C.1 BGA 焊点, Sn-Ag-Cu 20

图 C.2 BGA 焊点, Sn-Zn 21

图 C.3 LGA 焊点 21

图 D.1 X 射线透射成像 23

图 D.2 焊点的 X 射线透射图像 24

图 D.3 焊点的典型 X 射线透射图像 25

表 1 空洞的分类 3

表 2 焊点横截面和空洞率的示例 6

表 3 BGA 焊点中空洞评估准则 7

表 4 LGA 焊点中空洞评估准则 7

表 A.1 空洞分类 10

表 A.2 适用于 1.5 mm、1.27 mm、1.0 mm 引脚节距焊盘纠正措施的限值 11

表 A.3 适用于 0.8 mm、0.65 mm、0.5 mm 引脚节距焊盘纠正措施的限值 13

表 A.4 适用于 0.5 mm、0.4 mm、0.3 mm 引脚节距微通孔盘纠正措施的限值 14

表 A.5 常见焊球接触直径球-空洞尺寸图像比较 15

表 A.6 C=0 抽样方案 (特定指标值^a 的样本量) 16

表 C.1 BGA 焊点空洞降低疲劳寿命 21

表 C.2 LGA 焊点空洞降低疲劳寿命 21

表 C.3 BGA 焊点空洞评估标准 22

表 C.4 LGA 焊点中空洞评估标准 22

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。

本文件是 GB/T 19247《印制板组装》的第 6 部分。GB/T 19247 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：通用规范 采用表面安装和相关组装技术的电子和电气焊接组装的要求；
- 第 2 部分：分规范 表面安装焊接组装的要求；
- 第 3 部分：分规范 通孔安装焊接组装的要求；
- 第 4 部分：分规范 引出端焊接组装的要求；
- 第 6 部分：球栅阵列(BGA)和盘栅阵列(LGA)焊点空洞的评估要求及测试方法。

本文件修改采用 IEC 61191-6:2010《印制板组装 第 6 部分：球栅阵列(BGA)和盘栅阵列(LGA)焊点空洞的评估要求及测试方法》。

本文件与 IEC 61191-6:2010 相比做了下述结构调整：

- 附录 A 对应 IEC 61191-6:2010 中的附录 C；
- 附录 C 对应 IEC 61191-6:2010 中的附录 A。

本文件与 IEC 61191-6:2010 的技术差异及其原因如下：

- 将规范性引用的 IEC 60194:2006 改为 IEC 60194-1:2021 和 IEC 60194-2:2017，原引用 IEC 术语标准已进行了拆分；
- 删除了术语“球栅阵列”和“盘栅阵列”，IEC 60194-2:2017 有了明确的界定；
- 增加了 A 型(器件来料时焊球内空洞)、B 型(器件来料时焊球/器件界面空洞)两种空洞类型(见 4.5)，便于空洞识别以及空洞评估；
- 增加了 X 射线设备的灰度技术指标(见 5.1)，灰度对焊点及空洞的观察、测量及计算精度有非常重要的影响；
- 将 IEC 61191-6:2010 附录 A 中的表 A.3 和表 A.4 添加到本文件第 7 章，作为表 3“BGA 焊点中空洞评估准则”和表 4“LGA 焊点中空洞评估准则”，便于本文件的应用。

本文件做了下列编辑性改动：

- 删除了第 1 章范围最后一段内容；
- 更改 5.3 中焊点及空洞的测量过程程序，进行了明确的操作工序定义；
- 增加了表 2 的表头。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国印制电路标准化技术委员会(SAC/TC 47)归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第二十研究所、中国电子标准化研究院。

本文件主要起草人：张晟、张裕、赵文忠、聂延平、姚成文、金星、张飞、刘冰、曹易。

引 言

印制板组装是电子产品的基础组成技术,印制板组装工艺是电子制造的基础工艺。为了保证电子产品高质量制造过程控制,促进电子和电气焊接互联及组装技术的发展,建立统一的组装技术要求和操作规范是印制板组装的首要任务。在这方面,我国已经建立了印制板组装国家标准体系,在该标准体系中,GB/T 19247《印制板组装》是指导我国电子产品印制板组装的基础性和通用性的标准。GB/T 19247旨在规定普遍适用于印制板表面安装焊接、通孔安装焊接、引出端焊接、球栅阵列和盘栅阵列焊点空洞的评估要求及测试方法的要求,拟由以下部分构成。

- 第1部分:通用规范 采用表面安装和相关组装技术的电子和电气焊接组装的要求。目的在于规定高质量电子和电气焊接互联和组装的材料、方法及检验判据所采用表面安装和相关组装技术的要求。
- 第2部分:分规范 表面安装焊接组装的要求。目的在于规定适用于整体式安装、通孔安装、芯片安装、引出端安装组装中表面安装的焊接连接要求。
- 第3部分:分规范 通孔安装焊接组装的要求。目的在于规定适用于表面组装、芯片组装、端接组装中引线通孔安装焊接组装的要求。
- 第4部分:分规范 引出端焊接组装的要求。目的在于规定适用于表面组装、芯片组装、端接组装中引出端和导线互联焊接组装的要求。
- 第6部分:球栅阵列(BGA)和盘栅阵列(LGA)焊点空洞的评估要求及测试方法。目的在于规定适用于印制板组件上球栅阵列、盘栅阵列、倒装芯片和多芯片组件焊点空洞评估要求,以及利用X射线观察法测定空洞的方法。

印制板组装
第 6 部分：球栅阵列(BGA)和盘栅阵列(LGA)焊点空洞的评估要求及测试方法

1 范围

本文件规定了印制板组装件在热循环寿命内焊点空洞评估要求,描述了利用 X 射线观察法测定空洞的方法。

本文件适用于印制板上焊接的球栅阵列(BGA)器件和盘栅阵列(LGA)器件焊点产生的空洞评估和测试,不适用于印制板组装前 BGA 器件封装自身空洞的评估和测试。

本文件也适用于除 BGA 器件和 LGA 器件外,具有熔化和再凝固形成焊点的空洞评估和测试,如倒装芯片和多芯片组件。不适用于印制板组装件 BGA 器件和印制板之间有底部填充材料,或器件封装体内焊点的评估和测试。

本文件适用于焊点中产生的从 10 μm 到几百微米的大空洞,不适用于直径小于 10 μm 的较小空洞(如平面微空洞)。

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 2421—2020 环境试验 概述和指南(IEC 60068-1:2013,IDT)

注:GB/T 2421—2020 被引用的内容与 IEC 60068-1:1998 被引用的内容没有技术上的差异。

IEC 60194-1:2021 印制板设计、制造及装配 术语和定义 第 1 部分:印制板和电子组装技术中的常见用法(Printed boards design, manufacture and assembly—Vocabulary—Part 1: Common usage in printed board and electronic assembly technologies)

IEC 60194-2:2017 印制板设计、制造及装配 术语和定义 第 2 部分:电子技术以及印制板和电子组装技术中的常见用法(Printed boards design, manufacture and assembly—Vocabulary—Part 2: Common usage in electronic technologies as well as printed board and electronic assembly technologies)

3 术语和定义

IEC 60194-1:2021,IEC 60194-2:2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1
空洞率 void occupancy
 O_v
焊点的空洞截面积与焊点最大横截面积的比值。

3.2
大空洞 macrovoid
在焊接过程中形成的直径大于 10 μm 的空洞。

3.3
平面微空洞 planar microvoids
在印制板(PCB)和焊点之间的界面上形成的一系列直径小于 10 μm 的小空洞。这些空洞是因印

制板的表面状况造成的。

4 焊点空洞

4.1 概述

空洞大小或出现频次的变化可作为制造参数需要调整的信号。空洞是由于在焊接过程中没有足够的时间从焊膏中释放出来而被束缚的助焊剂,以及清洁不当的印制板表面污染物引起的。空洞在焊点 X 射线成像中显示为较亮的区域,通常在整个封装中随机出现。

4.2 空洞来源

空洞可能存在于 BGA 焊球中、焊点中靠近器件封装界面处或焊点中靠近印制板(PCB)界面处。各种来源或原因可能导致这些空洞,空洞有可能是从 BGA 焊球制作过程中最初自带的空洞转变来的,空洞也会由最初器件焊球内部的空洞在回流焊接时被诱导生成,或者在回流焊接过程中生成;空洞也有可能回流焊接时,在靠近 PCB 界面处形成。这些空洞是典型的回流焊接过程中熔融焊料凝固时助焊剂挥发不及时所形成的。助焊剂挥发物一方面来源于助焊剂本身(通常是返工),另一方面来源于回流组装过程中使用的焊膏成分。

除了在焊盘上的导通孔(盘中孔)形成空洞外,还可以在回流焊接焊点的中间到顶部(焊料球/器件界面)形成空洞,这是因为焊点中被困的气泡和 PCB 焊盘表面汽化的助焊剂在回流焊接过程中上升形成的。当使用的焊膏与可塌陷 BGA 焊料球在回流焊接过程共同熔融时,也会发生该情况。如果回流焊接过程中没有足够的时间和逃逸空间让被困的气体 and 汽化物逸出,就会在回流曲线的冷却区域凝固形成空洞。因此,回流曲线的优化提升对于空洞的形成有至关重要的作用。

空洞也可能是由焊球与焊盘金属间化合物形成时器件焊端表面污染物或 PCB 焊盘表面污染物导致,或者由装配过程中未排出的焊膏中助焊剂残留物导致。

4.3 空洞的影响

空洞的数量和尺寸大小是影响产品可靠性的重要因素。因为空洞减小了焊球的横截面积,使其热传输和载流能力减小,导致焊球弱化和功能降低,从而会影响产品的可靠性。大空洞更有害,但预先存在的小空洞会在回流过程中合并融合产生更大的空洞。通常首选方法是消除空洞,或至少尽可能减少空洞。

4.4 空洞检测

BGA 和 LGA 焊点中的空洞宜采用 X 射线设备检测。还可以采用成本更高的 X 射线断层成像和分层成像设备进行检测,这两种设备都可以对空洞进行检测和定位。

X 射线系统往往会扭曲空洞的大小,这取决于测量的条件和所使用的 X 射线设备的能力。为了精确地测量空洞的真实体积,就需要一个已知的参考对 X 射线胶片或检测器进行辐射校准。通常情况下,最好把精力花在识别和消除空洞的原因上。

4.5 空洞分类

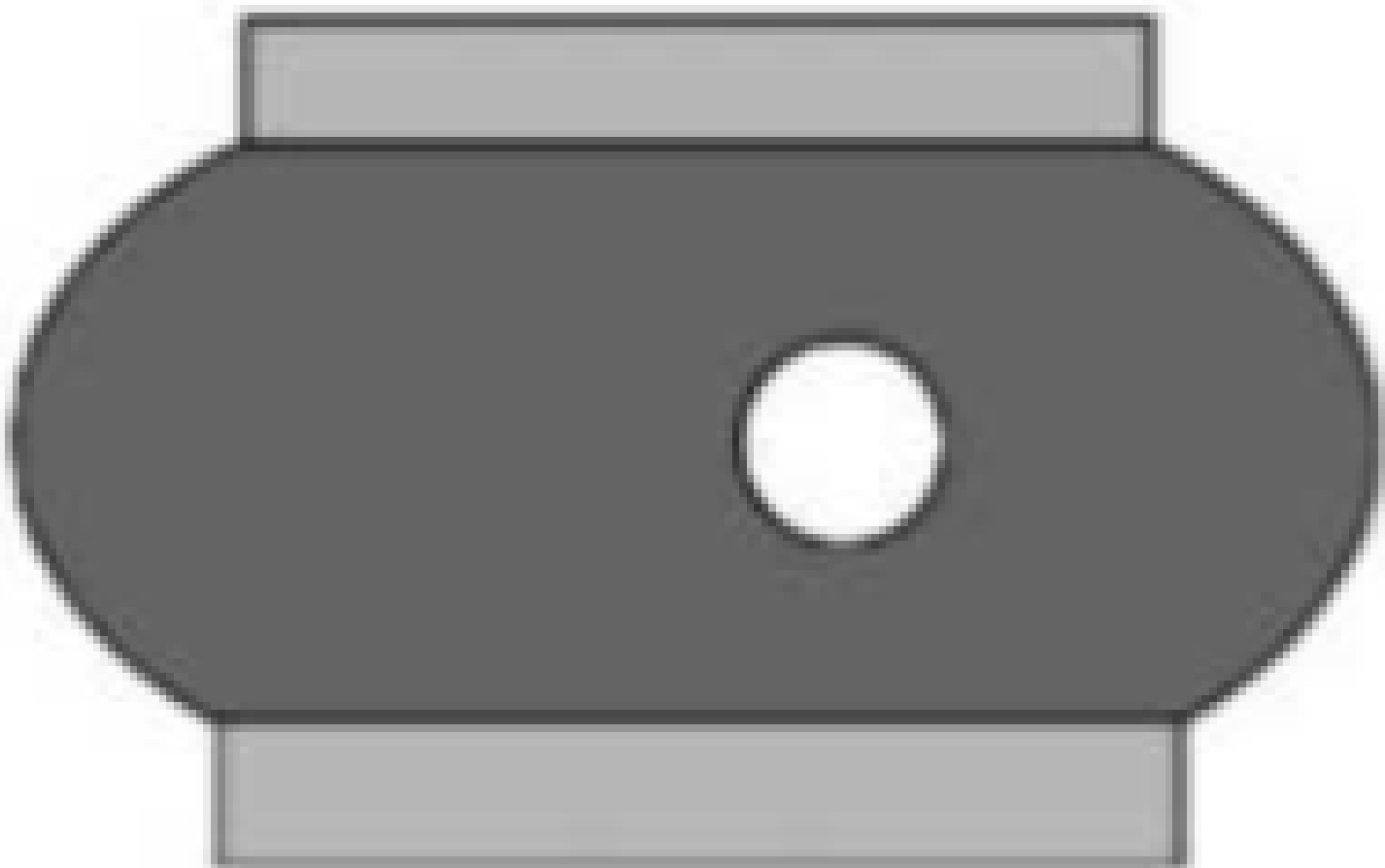
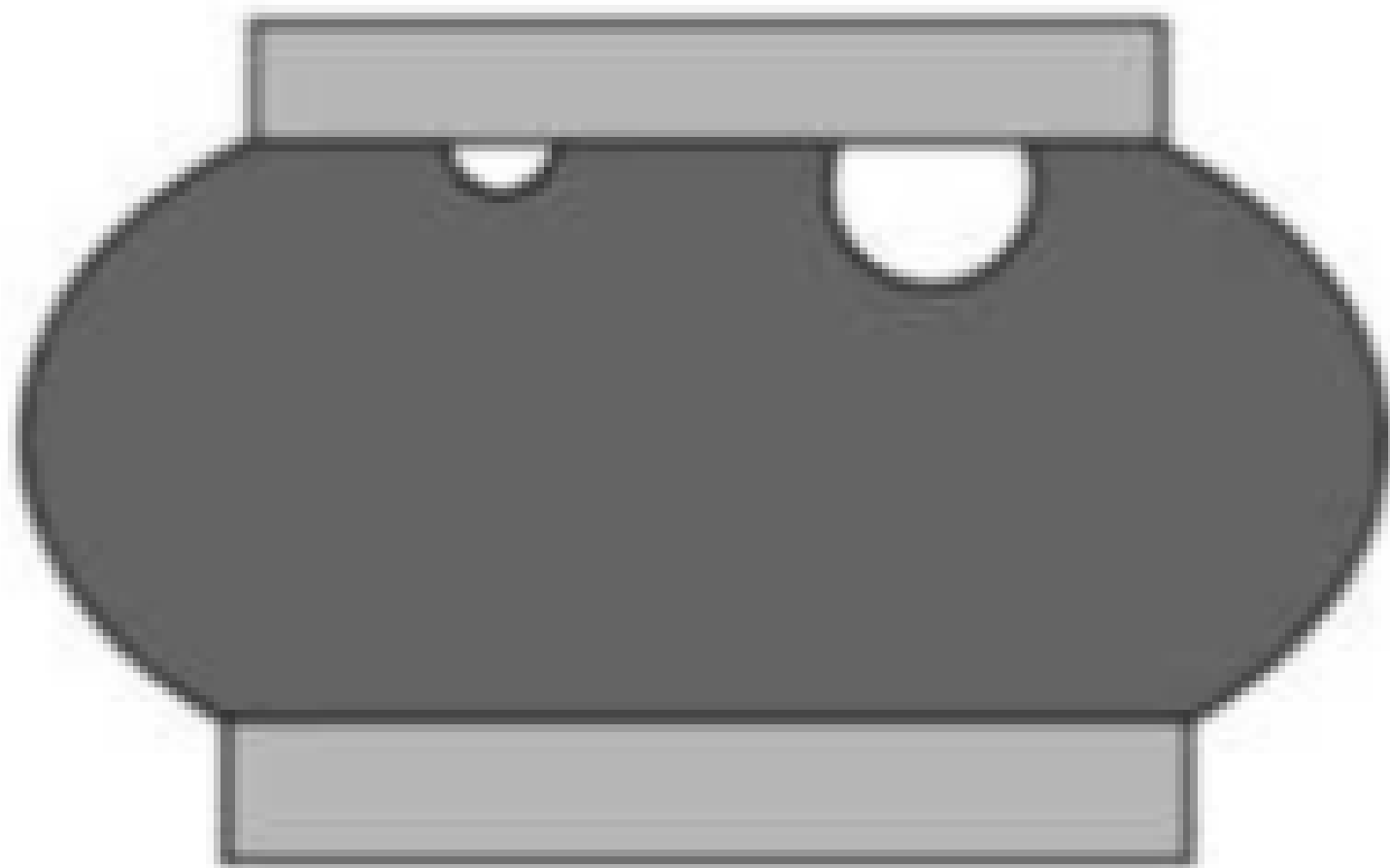
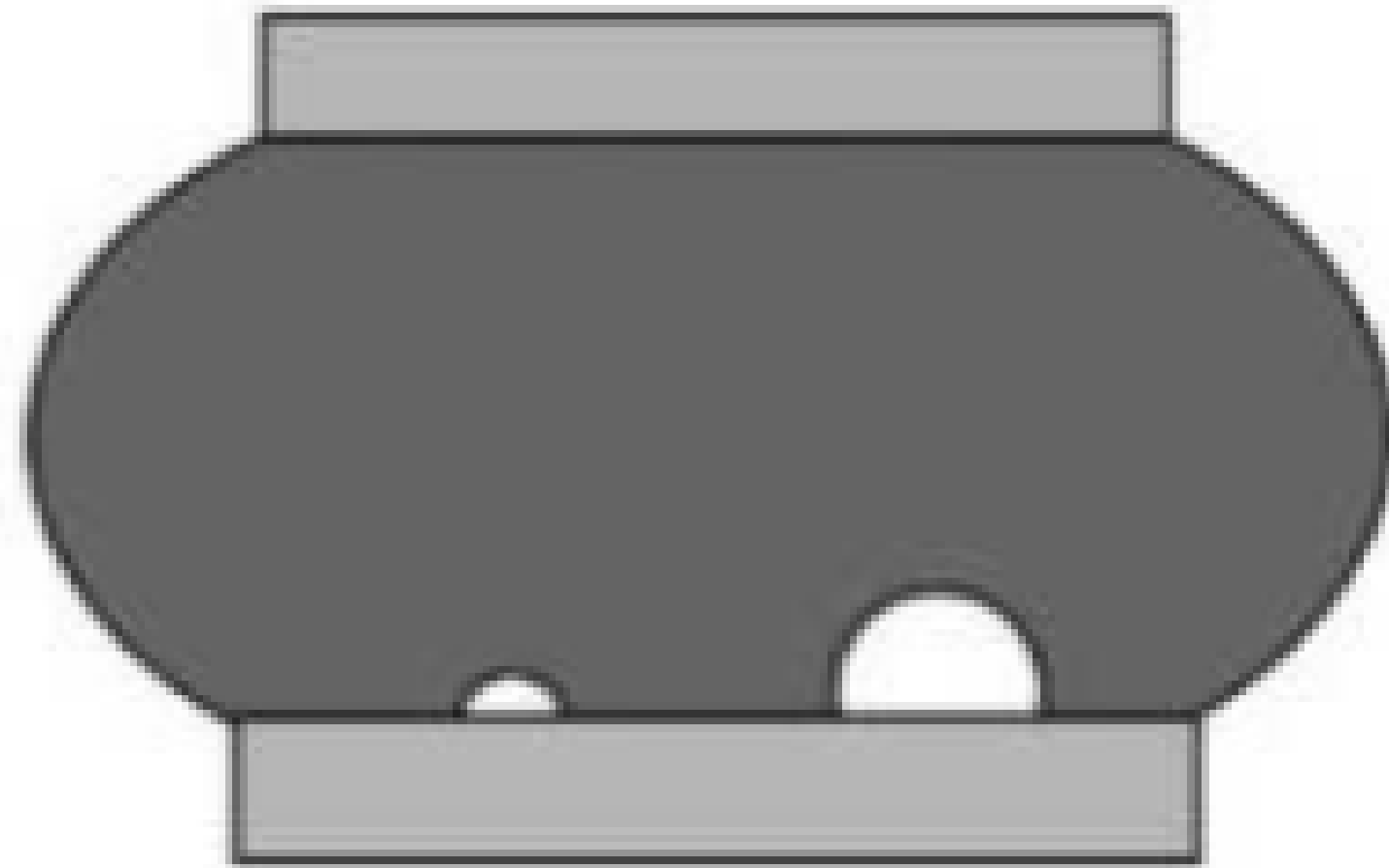

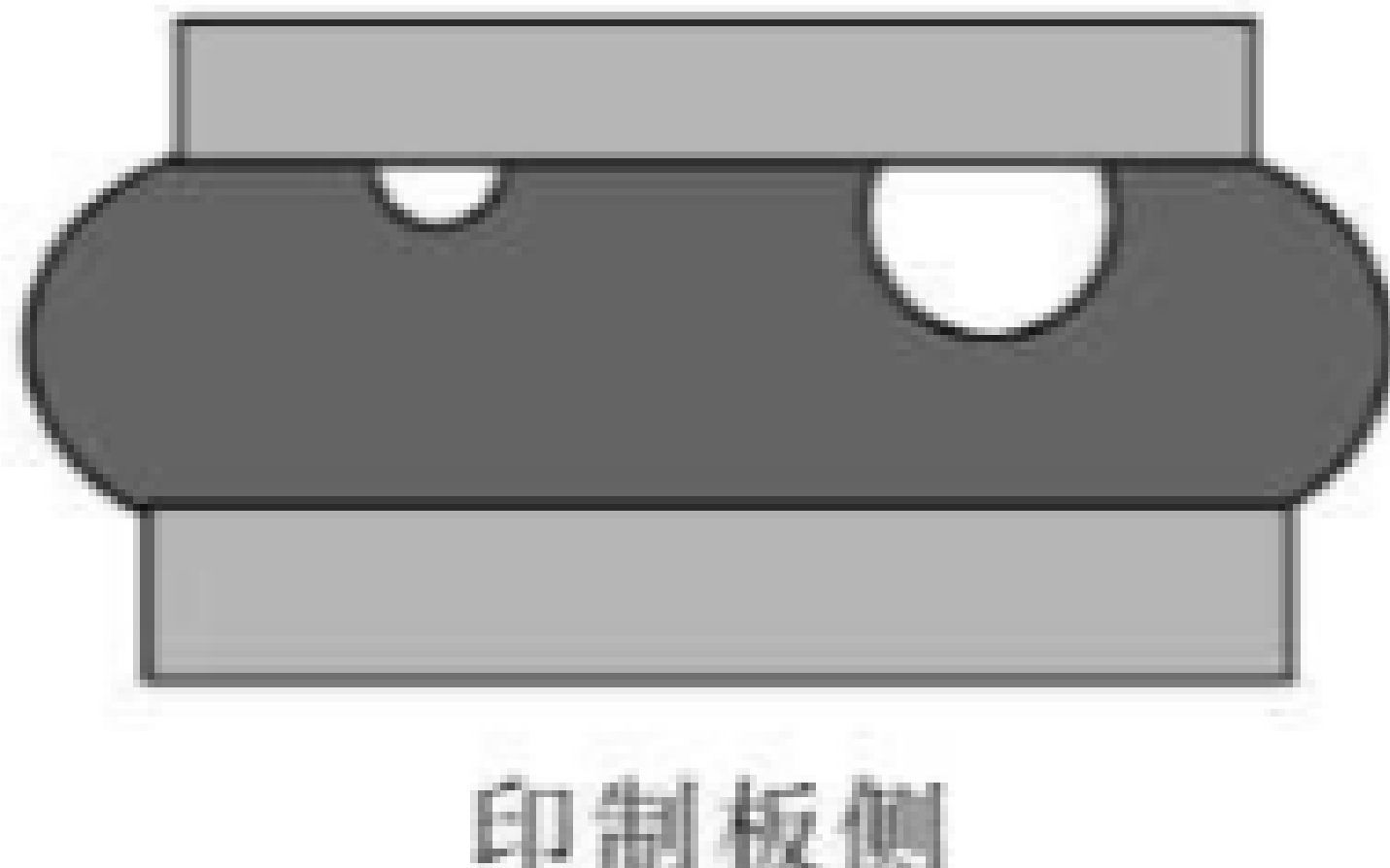
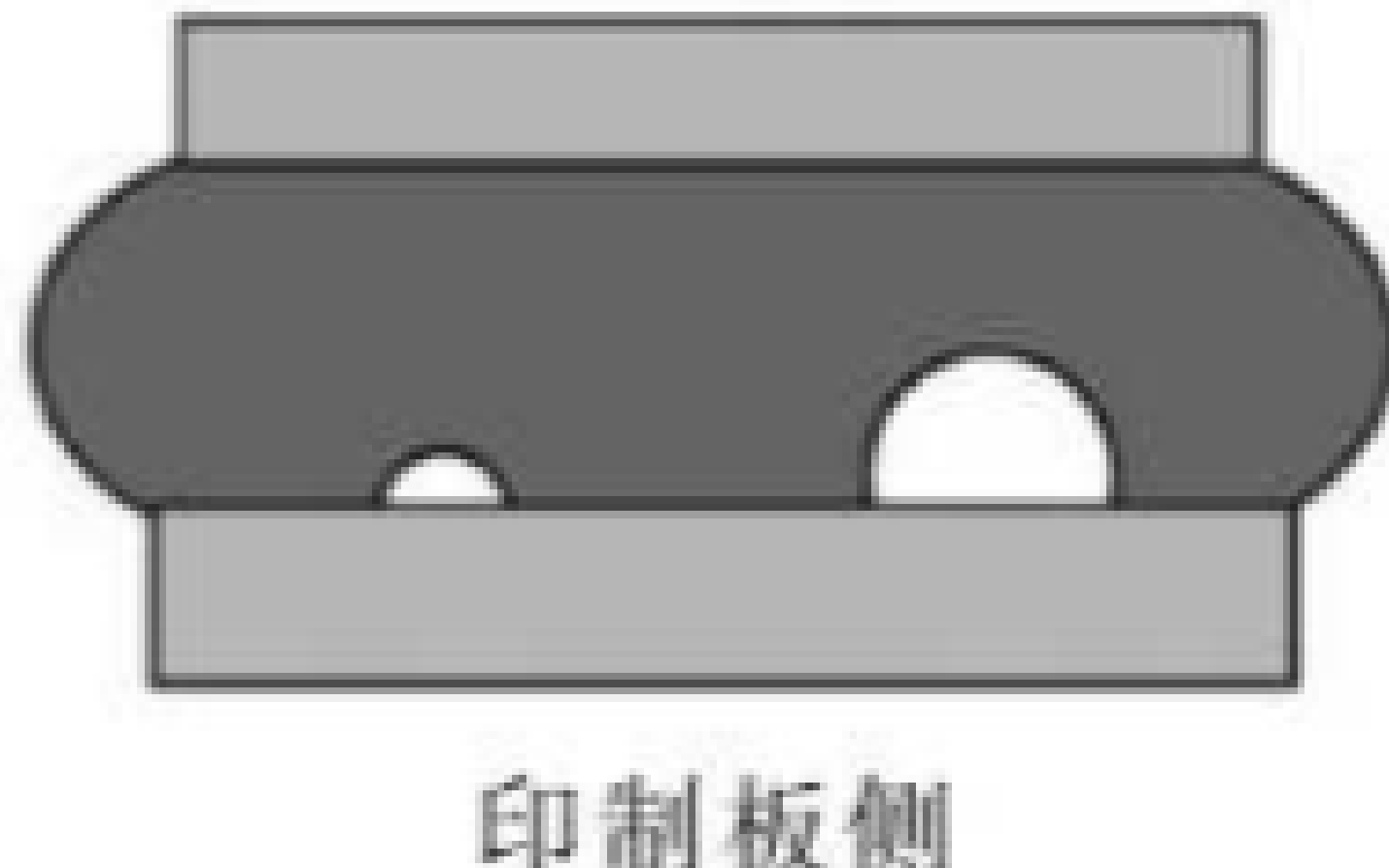
为了评估不同的情况,根据空洞位置给出了特定空洞标识符,来建立空洞识别的方法和工艺改进措施的可能性。根据空洞位置给出 A 型、B 型、C 型、D 型和 E 型特定标识符。A 型和 B 型为印制板组装前,器件来料时本身自带的空洞,见附录 A 中的表 A.1。C 型、D 型和 E 型为印制板组装后的空洞,详见表 1。

五种空洞类型描述定义如下:

- A 型:印制板组装前,来料时焊球(器件级)内空洞;
- B 型:印制板组装前,来料时焊球/器件界面的空洞;
- C 型:印制板组装后,焊点内空洞;
- D 型:印制板组装后,焊点/器件界面的空洞;
- E 型:印制板组装后,焊点/印制板界面的空洞。

本文件规定了焊点内空洞和印制板组装件焊点可靠性的评估准则,本文件适用于 C 型、D 型和 E 型空洞,不适用于 BGA 器件来料时本身自带的 A 型和 B 型空洞,因为这种来料时 BGA 器件自身空洞和组装后形成的空洞之间的任何相关性目前尚未得到证实。

表 1 空洞的分类

类型	C 型 焊点内空洞	D 型 器件界面空洞	E 型 印制板界面空洞
BGA 焊点空洞	<div>器件侧</div>  <div>印制板侧</div>	<div>器件侧</div>  <div>印制板侧</div>	<div>器件侧</div>  <div>印制板侧</div>
LGA 焊点空洞	<div>器件侧</div>  <div>印制板侧</div>	<div>器件侧</div>  <div>印制板侧</div>	<div>器件侧</div>  <div>印制板侧</div>

5 测量

5.1 X 射线透射设备

通常采用带有面积计算功能的微聚焦 X 射线透射设备,从印制板上方或下方观察安装在印制板上的 BGA 器件和 LGA 器件。必要时也可以使用 X 射线计算机断层成像(CT)设备进行测量。X 射线透射设备见附录 B。

测试设备应具备以下技术性能和参数:

- a) 最大电压:不小于 120 kV;
- b) X 射线特征分辨率:通常为 2 μm ;
- c) 最大几何放大率:大于 100 倍;
- d) 灰度:大于 65 000(16 位)。

通常 X 射线设备提供的不同图像灰度灵敏度,会影响面积计算的精度。灰度较低的系统会导致焊点的空洞显示尺寸缩小(测量值偏低),若没有足够的灵敏度,则无法观察到球形空洞的真实边缘,甚至最小的空洞可能根本无法看到,BGA 焊点中空洞尺寸会影响其焊点的可靠性,对其寿命影响见附录 C。对于 6 层双面印制板测量使用的 X 射线设备宜具有识别直径 20 μm 空洞的能力。

5.2 测量环境

除非另有规定,应按照 GB/T 2421—2020 中 4.3 规定的标准大气条件进行测量。并且样品应在该

条件下放置一定时间。

标准条件如下：

- a) 温度： $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $25\%\sim 75\%$ ；
- c) 大气压力： $86\text{ kPa}\sim 106\text{ kPa}$ 。

5.3 测量过程

一般采用带有面积计算功能的 X 射线透射设备，进行焊点及空洞尺寸测量，可参考附录 D。通常按照下列程序进行测量，检测量大而精度要求低的可以采用不同的测量过程。

- a) 空洞识别：首先检测 BGA/LGA 器件所有焊点图像，并识别出有空洞的焊点。操作时可以在一个屏幕上检测多个焊点，以提高检测量。
 - b) 几何放大率确定：调节 X 射线放大率，确定合理的放大倍数，对有空洞的单个焊点进行精确测量。例如，对直径 $500\text{ }\mu\text{m}$ 的焊点，推荐用 $80\times$ 放大率测量。当采用较高像素的图像数字化系统时，可以在屏幕上检测多个焊点，且每个焊点的直径像素都超过 400 像素。
 - c) 空洞图像检测：调节 X 射线强度和成像条件，保证足够的 X 射线强度（如：管电压为 100 kV ）穿过焊点，以便观察到清晰的空洞图像。
 - d) 空洞面积计算：获取清晰的空洞图像并计算横截面积。
 - e) 多空洞面积计算：当有多个空洞时，重复执行过程 c) 和 d)。根据 6.2 计算多空洞截面积之和的方法，测量的较小空洞可以跳过不计。
 - f) 焊点图像检测：调节 X 射线强度和成像条件，在足够的 X 射线强度（例如，管电压为 40 kV ）下识别焊点，以便观察到清晰的焊点图像。
 - g) 焊点面积计算：获取清晰的焊点图像并计算横截面积。
 - h) 焊点的空洞率计算：按 6.1 和 6.2 计算焊点的空洞率。
 - i) 多焊点空洞的检测：当有多个焊点需要测量时，重复过程 c)、d)、e)、f)、g) 和 h)。
- 在过程 f) 中，如果相同条件下计算结果没有明显差异，可采用与过程 c) 相同的条件。
- 在过程 c)、f) 中，对同一块器件的不同焊点进行类似测量时，可以重复使用预定的条件。

5.4 测量值的记录

除非另有规定，每个焊点都应记录以下测量结果：

- a) 空洞率(O_v)；
- b) X 射线图像；
必要时，应记录下面补充性数据；
- c) 空洞的横截面积(A_{v1} 、 A_{v2} 、 $A_{v3}\cdots A_{vn}$)；
- d) 焊点的最大横截面积(A_{smax})。

5.5 测量考虑因素

5.5.1 空洞检测的 X 射线强度

对焊点的空洞进行检测和测量时，应有足够的 X 射线强度（例如，管电压为 100 kV ）穿透焊点。当 X 射线强度（例如，管电压为 40 kV ）不足时，X 射线几乎完全衰减，无论焊点上是否有空洞，都不能形成任何空洞图像，只能观察到焊点轮廓。

5.5.2 实际边缘的检测

在 X 射线路径中，焊料的厚度在空洞和焊点的周围逐渐变化，空洞和焊点的 X 射线成像正是利用其周围边缘的黑白渐变来获取。为获得精确测量结果，检测灰度的外边缘和测量轮廓图像的最大尺寸是非常重要的。

5.5.3 测量结果的验证

使用者应有必要的流程来保证空洞的测量值和实际值之间的相关性,建议使用已知尺寸的样本或观察实际横截面积进行验证。

6 空洞率

6.1 空洞率的计算

空洞率(O_v),由空洞的横截面积(A_v)和焊点的最大横截面积(A_{smax})的比率计算得来,见公式(1)。无论空洞在焊点的位置如何, A_{smax} 是由焊点的投影图像测得, A_v 是由空洞的投影图像测得,图 1 a) BGA 焊点中平面微空洞此处不考虑,如图 1 所示。

$$O_v = \frac{A_v}{A_{smax}}$$

.....(1)

式中:
 O_v —— 空洞率;
 A_{smax} —— 焊点最大横截面积,单位为平方微米(μm^2);
 A_v —— 空洞横截面积,单位为平方微米(μm^2)。

示例:如果焊点尺寸为直径 300 μm ,空洞尺寸为直径 50 μm ,空洞和焊点的横截面积近似于圆,则空洞率计算如下:

$$O_v = \frac{A_v}{A_{smax}} = \frac{\pi(50/2)^2}{\pi(300/2)^2} = 0.028 \approx 3\%$$

.....(2)

X 射线检测到的横截面图像、空洞率和直径比的关系,见表 2。

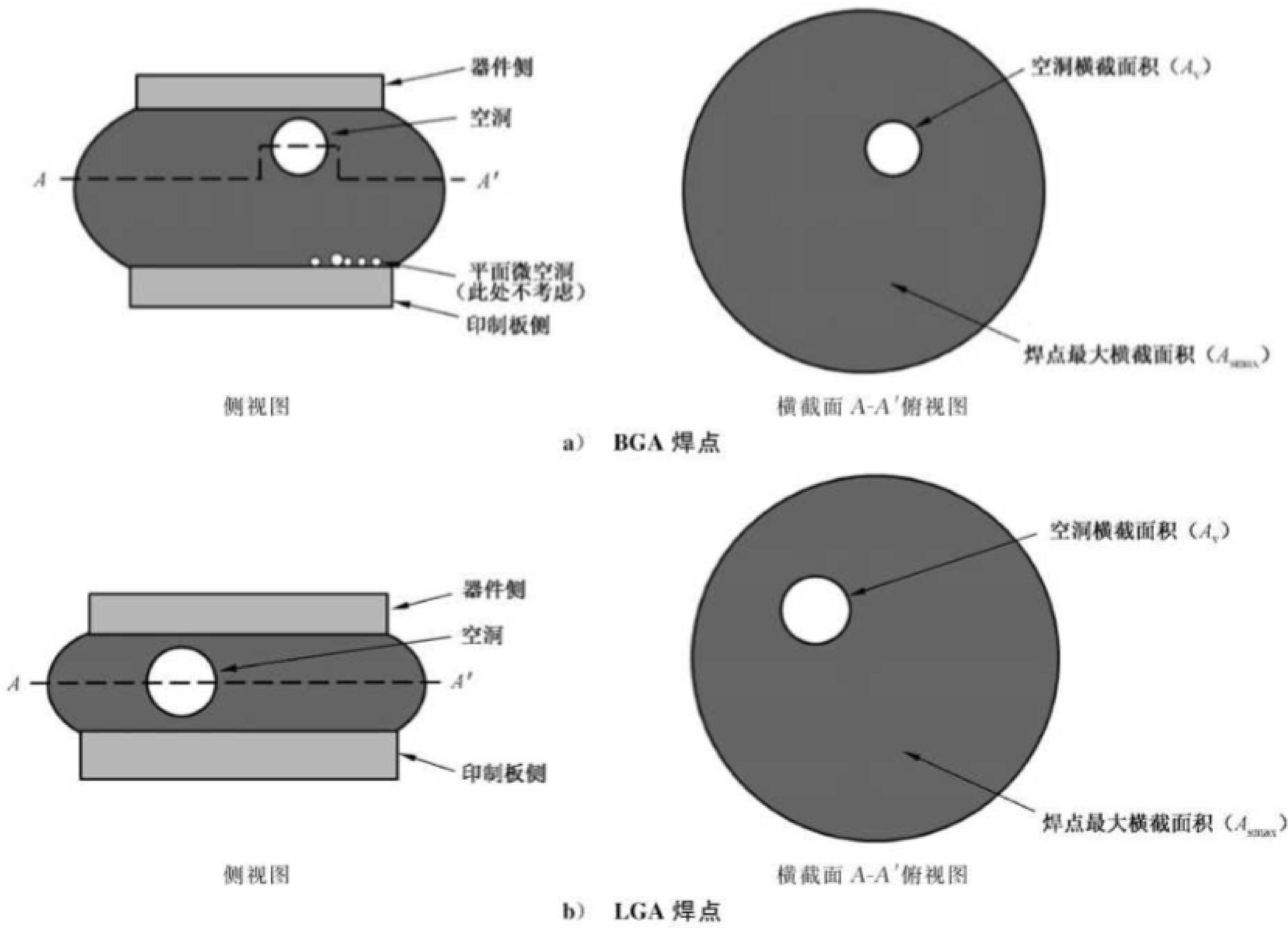





图 1 空洞率

表 2 焊点横截面和空洞率的示例

类型		示例 1	示例 2	示例 3
焊点和空洞 的横截面				
空洞率(O_v)	$\frac{A_v}{A_{\text{max}}}$	17%	6%	3%
空洞直径与 焊点最大直径 比率 ^a	$\frac{D_v}{D_s}$	41%	25%	17%
注 1: D_v ——空洞直径,单位为微米(μm)。 注 2: D_s ——焊点直径,单位为微米(μm)。				
^a 当空洞和焊点的横截面近似于圆时。				

6.2 多空洞的空洞率

当有多个空洞时,将所有空洞的横截面面积之和作为焊点空洞的横截面面积,见公式(3)。

$$O_v = \frac{A_v}{A_{\text{max}}} = \frac{A_{v1} + A_{v2} + A_{v3} + \dots + A_{vn}}{A_{\text{max}}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

A_{v1} 、 A_{v2} 、 A_{v3} ... A_{vn} ——焊点存在多个空洞时第 1 个到第 n 个空洞的横截面积。

在计算过程中,仅考虑横截面积大于焊点最大横截面积 0.25%的空洞,而较小的空洞可以忽略不计。当多个空洞重叠时,可用多个空洞的投影图像面积来计算空洞率,而不是计算每个空洞的横截面面积之和。

7 评估

7.1 焊点的评估

除非另有规定,所有焊点都应进行评估。如果 BGA 的焊点位于最高热应力或最高机械应力处,那么空洞会降低组装好的 BGA 器件在热循环中的寿命。如果已知特定的焊点在热循环中影响可靠性时,只评估这些焊点,其他的焊点可以被忽略。

7.2 因空洞而降低热寿命周期的评估

评估准则和空洞率与许用的热寿命周期相对应。热寿命周期因空洞而缩短,并用待评估焊点热寿命周期与没有空洞时焊点的热寿命周期的比值来定义。该准则可适用于任何焊球,无论寿命长短、作用的应力、焊料和焊点结构,只要断裂发生不受影响。

对于相对较小空洞,其对焊点可靠性的影响取决于焊点内空洞位置和失效模式(疲劳裂纹路径)之间的相互作用关系。只有位于焊点疲劳路径附近的空洞,才会降低焊点的可靠性。通常,焊点只有一种失效模式,并且很少变化,但是小型或中型空洞的位置是不确定的因素。小空洞恰好出现在疲劳裂纹路

径上是很少见的。尽管这种情况发生的可能性并不大,但是由于裂纹路径无法事先预判,同时垂直方向不能定位空洞的位置,一旦空洞正好出现在疲劳裂纹路径上,这是影响可靠性的最坏情况,评估时应当考虑这种最坏的情况。

图 2 显示了 Sn-Ag-Cu 焊点中空洞是如何影响焊点可靠性的。因为空洞位于焊点疲劳裂纹路径附近,它减少了裂纹路径的横截面,降低了焊点的疲劳寿命。在 Sn-Ag-Cu 焊点中,疲劳裂纹通常是在焊点体积内传播,所以靠近裂纹路径附近的空洞与裂纹相互作用的可能性较大,从而影响焊点的可靠性。如果比较小的空洞位置远离裂纹路径,焊点的可靠性不会受到影响。

另一方面,在 Sn-Zn 合金焊点中,疲劳裂纹的传播路径非常靠近于焊料区与铜电极之间的界面。如图 2 b)所示。大空洞很少与这种界面裂纹路径重叠。即使对于相当大的空洞,也不会发生空洞和疲劳裂纹路径之间的相互作用。因此,对于 Sn-Zn 合金的 BGA 焊点,规定了不同的准则。

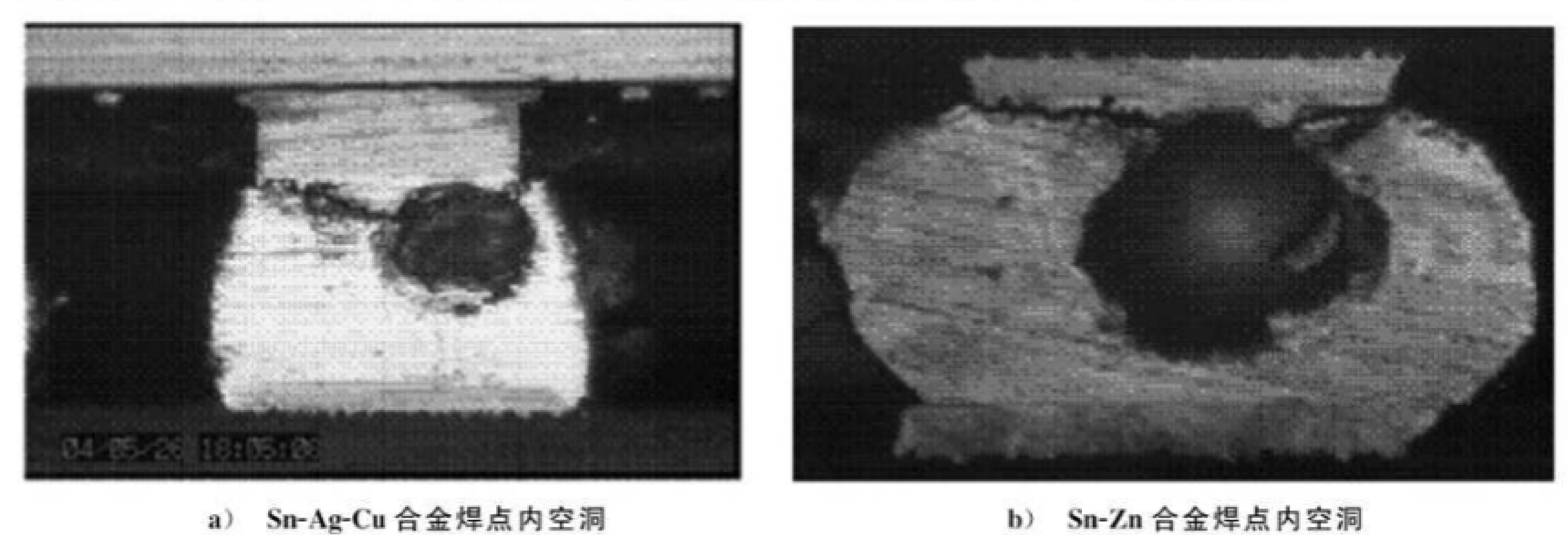


图 2 焊点内空洞

7.3 空洞的评估准则

BGA 器件和 LGA 器件焊点空洞的典型评估准则见表 3 和表 4,该准则是根据附录 C 中所描述的实验结果和数据分析得出的。

本评估准则不适用于与本文件中描述的具有不同结构和材料的组件,以及那些具有足够设计可靠性裕度的组件。

表 3 BGA 焊点中空洞评估准则

降低空洞率工艺目标		边际值	优选值	目标值
空洞评估准则 (空洞率)	Sn-Ag-Cu 合金	<20%	<10%	<5%
	Sn-Zn-(Bi)合金	<30%	<25%	<20%
注：对于可靠性具有足够设计余量的装配件,没有指定评估标准。				

表 4 LGA 焊点中空洞评估准则

降低空洞率工艺目标	边际值	优选值	目标值
空洞评估准则(适用于所有无铅焊料) (空洞率)	<35%	<20%	<5%
注：对于可靠性具有足够设计余量的装配件,没有指定评估准则。			

附录 A
(资料性)
BGA 焊球空洞

A.1 焊球接触空洞

当前的行业数据表明,焊点空洞不是可靠性所关注的问题,但是,空洞大小或空洞频次的变化可能是制造参数需要调整的迹象。关于空洞形成的原因有两种,一是助焊剂被包裹没有足够的时间从焊膏中释放出来,二是清洁不当的电路板上的污染物。在焊点的 X 射线成像中,空洞是一个较亮的区域,通常在整体焊点中随机出现。

在 X 射线系统中,空洞测量的质量取决于 X 射线系统的性能和质量,以及在测量中正确合理使用 X 射线管的条件。为了精确测量到空洞的真实体积,需要一个已知的 X 射线胶片或探测器的辐射校准作参考。在大多数情况下,最好把精力花在查明和消除空洞的起因上。

A.2 空洞来源

空洞可能存在于 BGA 焊球中、焊点中靠近 BGA 器件界面处,或焊点中靠近印制板界面处。各种来源或原因都有可能导致这些空洞。空洞有可能是从 BGA 焊料球制作过程中最初自带的空洞转变来的,空洞也会由最初焊料球内部的空洞在回流焊接时被诱导生成,或者在回流焊接过程中生成。空洞也有可能来自 BGA 与 PCB 焊接时,在靠近 PCB 和焊球界面处形成。这些空洞通常都是在回流焊过程中,通过助焊剂挥发物在熔化的焊点凝固过程中被截留形成的。助焊剂挥发物来自助焊剂本身(通常是返工),或在回流焊接组装过程中使用的焊膏成分。

除了在焊盘上的导通孔(盘中孔)形成空洞外,在回流焊接焊点的中间到顶部(焊球/BGA 界面)也会检测到一些空洞。这是因为在回流过程中,施加到印制板 BGA 焊盘焊膏中气泡和助焊剂挥发向上溢出产生空洞。当使用的焊膏和可塌陷的 BGA 焊料球在回流焊接一起熔化时,就会发生这种情况。如果回流焊接过程没有给被困的空气或汽化的焊剂留出足够的时间来逃逸,那么熔融焊料在回流焊接的冷却区凝固时,就会形成空洞。因此,回流曲线的优化提升对于空洞的形成控制有至关重要的作用。

空洞也可能是焊球与焊盘金属间化合物形成时,器件焊端表面污染物或 PCB 焊盘表面污染物导致,或者装配过程中未挥发的助焊剂残留物导致,如图 A.1 所示。

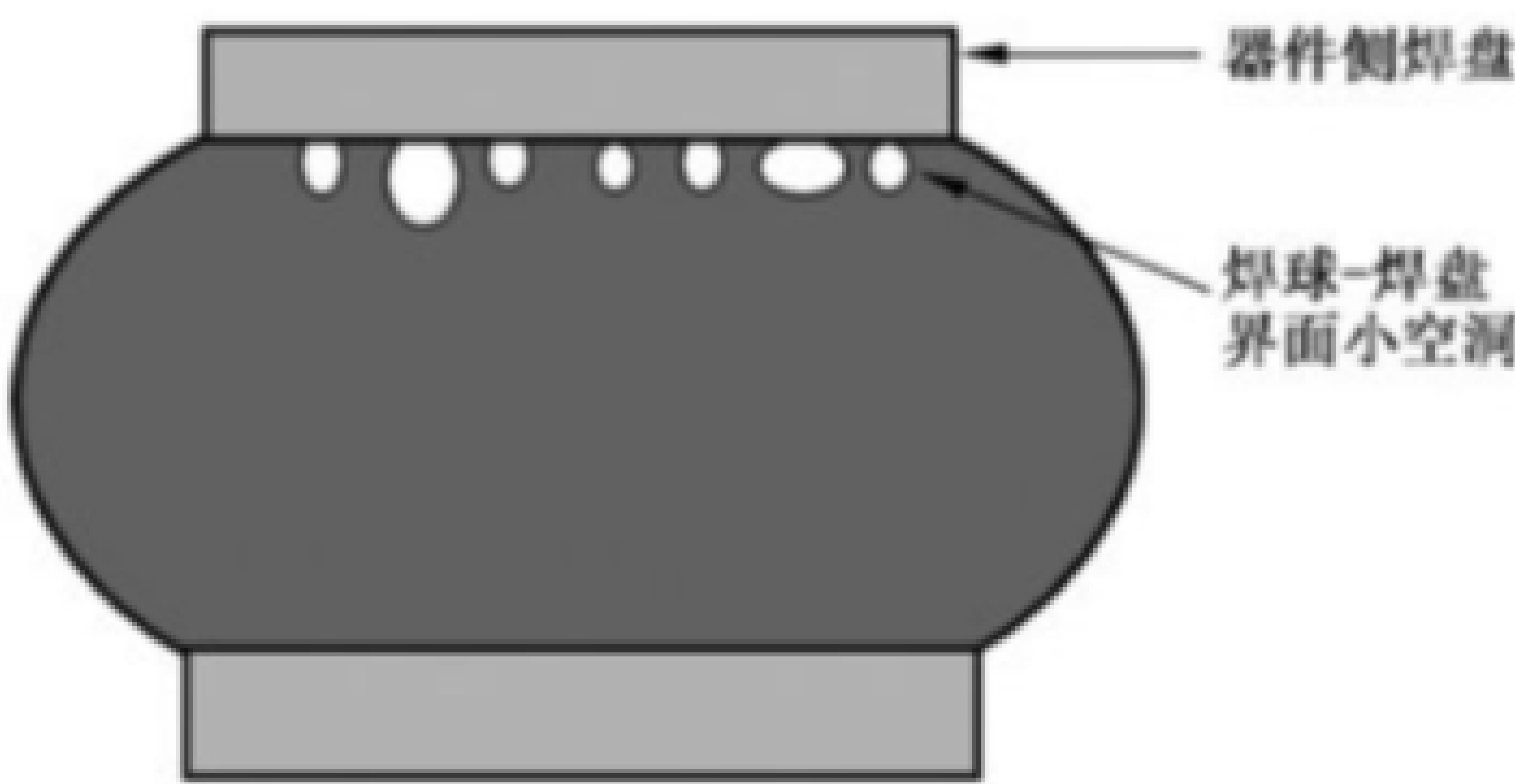


图 A.1 聚集在焊球-器件焊盘界面的小空洞

A.3 空洞的影响

空洞的数量和尺寸大小是影响产品可靠性的重要因素。因为空洞减小了焊球的横截面积,使其热传输和载流能力减小,导致焊球弱化和功能降低,可能会影响产品的可靠性。大空洞更有害,但预先存在的小空洞会在回流过程中合并融合产生更大的空洞。通常首选方法是消除空洞,或至少尽可能减少

空洞。

许多研究表明,可控生产流程中产生的中等尺寸的空洞可以小幅提升焊点可靠性,这种提升的可靠性来自于增加的焊点高度和裂纹扩展的暂时性阻滞和局部阻滞。BGA 焊点空洞的检测需要 X 射线,为了评估空洞及其位置的影响,还可能需要进行切片分析。

与引线器件不同的是,BGA 不仅有外围的焊点,而且也有不被常规视觉技术检测到的中心区域的不可见焊点。基于 X 射线断层成像和分层成像的高精设备,这两种系统都提供了有价值的空洞检测和定位技术。但是,推荐在产品生产放行之前,对可接收的空洞进行工艺鉴定。

A.4 X 射线检测及测量注意事项

一些用于焊点空洞检测的老式 X 射线检测系统,使用了 X 射线成像装置,它能展现出在文献中称为“电晕”或“荧光晕”的畸变形式。这种异常的表现,如图 A.2 所示,为黑暗背景中的光亮区(类似焊点空洞),光亮区会随着 X 射线源电压增加或减小而扩大或缩小,这种变化可能相当大,其结果是,空洞实际尺寸的测量结果具有不确定性。

在最近几年,X 射线系统的性能有了显著的提高,随着数字 X 射线成像技术的迅速发展,图像的像素达到 200 万像素,典型系统的像素在 100 万像素到 130 万像素之间。然而,现在 X 射线灰度敏感度的提高对其性能具有更大影响,与早期系统相比,这对现在能够看到的 X 射线图像有较大影响。与 8 位旧系统相比,现在的 X 射线系统能够提供 16 位的灰度敏感度,它们能够更好地区分密度的细微变化。在没有任何电晕的情况下,它们能够看到更多的较小的空洞,并且对整个焊点中的较大空洞提供了更好的清晰度。因此,相比更早的或较差的 X 射线系统同类设备,这些新的系统将会检测到更多空洞,并提供更精确的空洞计算。

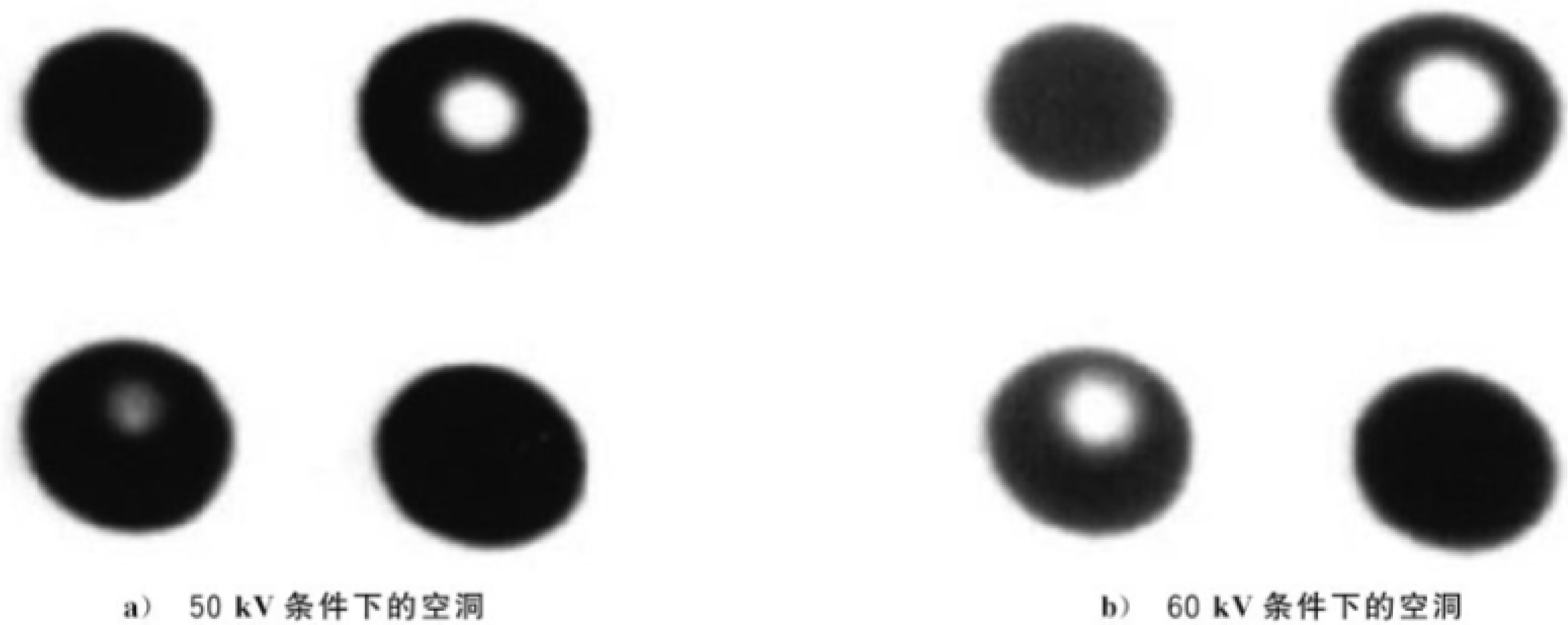


图 A.2 有空洞的焊球 X 射线图像






A.5 空洞分类

为了评估不同的情况,根据空洞位置给出了特定空洞标识符,来建立空洞识别的方法和工艺改进措施的可能性。详见表 A.1,它给出了 BGA 焊球结构中空洞位置的分类准则。

以下描述确定了五种不同的空洞类型:

- A 型:印制板组装前,来料时焊球(器件级)内空洞;
- B 型:印制板组装前,来料时焊球/器件界面处空洞;
- C 型:印制板组装后,焊点内空洞;
- D 型:印制板组装后,焊点/器件界面的空洞;
- E 型:印制板组装后,焊点/印制板界面的空洞。

表 A.1 空洞分类

空洞的分析	焊点内空洞	器件界面空洞	印制板界面空洞
连接到 PCB 前的 BGA 球内空洞	 A 型	 B 型	N/A
连接到 PCB 后的 BGA 球内空洞	 C 型	 D 型	 E 型

A.6 空洞的控制

用户应与器件供应商合作,控制 BGA 焊料球中空洞出现的频率和大小,以达到可接收水平。为达到此目标,供应商可调整它们的工艺和材料控制。

通常,在来料的 BGA 焊球中很少发现空洞。宜研究改进回流焊接的时间-温度曲线、助焊剂的用量、类型和性能。通过对物料控制、工艺调整和优化来影响空洞的形成。在最初的 BGA 焊接和 BGA 返工中过量使用助焊剂极有可能因为助焊剂的挥发而产生空洞。因此,该工艺的特点是保持助焊剂用量最小化。

A.7 焊球空洞的工艺控制标准

工艺开发和控制需要不断的创新以适应不断变化的技术。随着 BGA 封装尺寸、焊球尺寸和引脚节距的不断减小,生产现场使用的参数需要调整。为了达到质量和可靠性的目标,可能需要引入新的材料和工艺。

在产品寿命的各个阶段,从开发到制造,都有可能出现空洞。为了确保产品满足客户期望的产品寿命和可靠性要求,有必要维持最低可接受的标准,制造商可使用过程控制和持续产品改进技术来控制空洞。

空洞出现的频次和大小的变化,是需要对过程进行控制以及对工艺过程和材料改进的信号。宜对空洞出现的频率和大小规定一个基本的控制要求。例如,确定一个可接受的极限目标,即允许不超过 5% 的焊球有空洞。另外,还可以规定空洞的极限尺寸,以及空洞尺寸与焊球的关系。例如,规定空洞的直径不大于焊球横截面直径的 25%,此时该空洞的面积约为焊球总横截面积的 6%,见图 A.3。任何此类过程控制的规定都宜与客户在合同中进行约定。

当单个焊球有多个空洞时,宜将这些空洞累加并计算总的空洞值。除了关注空洞和球内空洞百分比外,更应关注空洞的位置。没有证据或经验数据表明球内空洞将引起焊点失效。位于焊球和器件界面的空洞,以及位于焊球和 PCB 板界面的空洞更易于导致焊点开裂,这是因为裂纹通常发生在界面,同

时空洞能够(及时)提供加速开裂的路径。

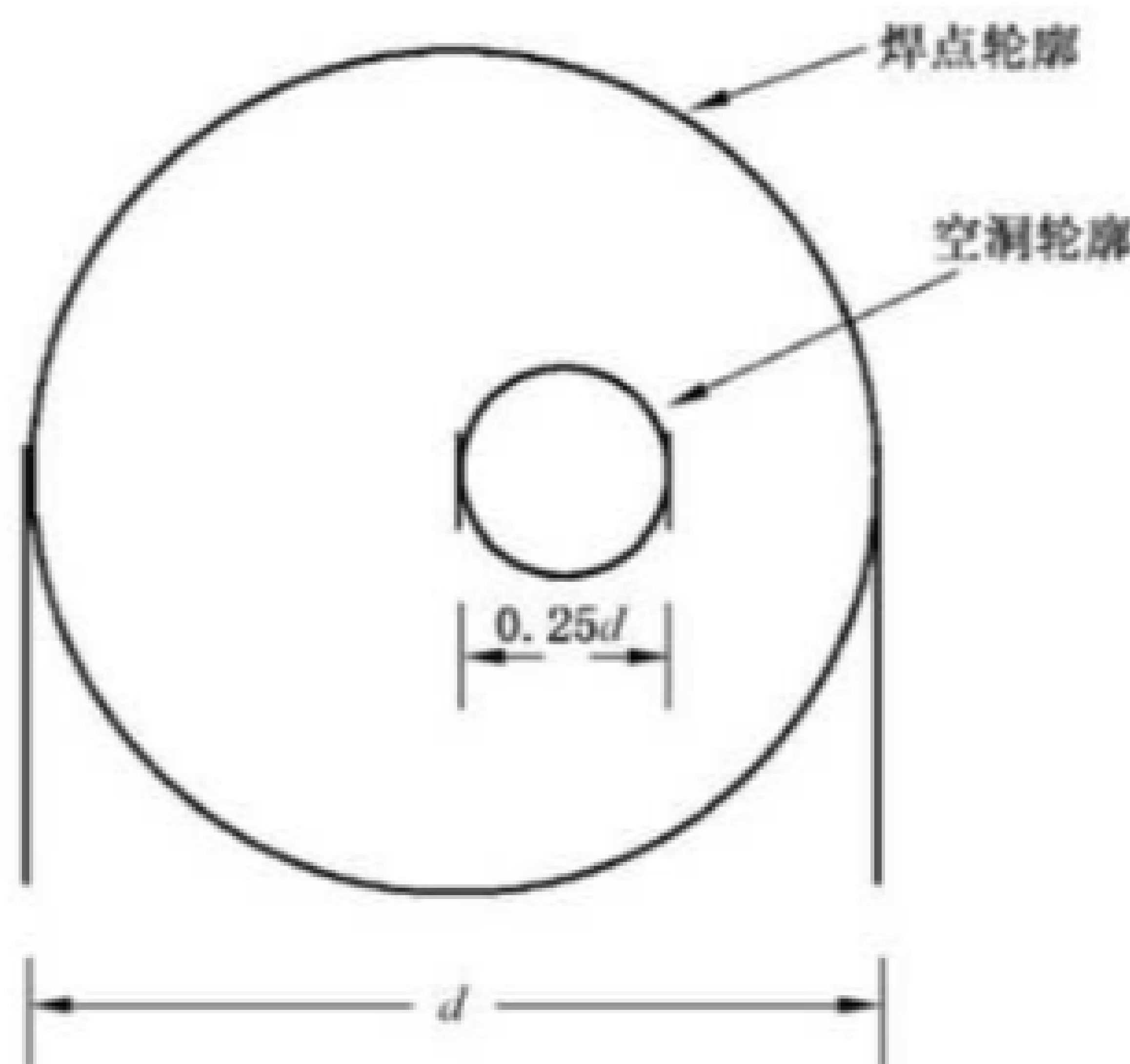


图 A.3 焊盘与基板界面上的空洞区域示例

A.8 评估标准

BGA 组件的评估标准是基于电子行业装配工艺专业人员的经验。空洞分类是以空洞在器件组装焊接前就存在,还是在组装后产生来定义。这些有用的信息可以与最终使用环境的可靠性条件相关联。建立一个空洞尺寸限定结构工艺过程,有助于满足客户界定的可接受条件。

A.9 工艺特性

表 A.2~表 A.4 详细描述了空洞的特征,确定了空洞的类型,并将这些信息与 IEC 采用的三种表现层次中可能出现的次数相关联。对超出设定目标值的空洞数量进行评估,有助于工艺提升或工艺参数优化。

工艺改进应该在正常的生产周期中采用统计过程控制(SPC)方法。表 A.2~表 A.4 还可应用于新产品的引进、产品和工艺条件、设备的改变、元器件资质、客户意见的反馈,以及对工艺或参数任何类似的更改等。所使用的抽样方案应在印制板组件级执行,除非 SPC 结果显示为器件相关问题(例如,一个可塌陷 BGA 中存在空洞,而板上其他可塌陷 BGA 中无空洞)。在这种情况下,抽样方案宜针对该组件的可疑器件,而不是检查整个组装过程。

表 A.2 适用于 1.5 mm、1.27 mm、1.0 mm 引脚节距焊盘纠正措施的限值

空洞类型	空洞描述	纠正措施的限值			采取措施
		1 级	2 级	3 级	
器件来料评估时,由横截面/X 射线分层成像(根据表 A.6 取样)确定					
A	焊料球内空洞 (装配前)	高达 90% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 20%; (图像直径的 45%)			调查生产过程中的根本原因,并采取纠正措施
B	封装界面空洞 (装配前)	高达 80% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 15%; (图像直径的 40%)	高达 70% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 10%; (图像直径的 32%)	高达 50% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 5%; (图像直径的 22%)	调查生产过程中的根本原因,并采取纠正措施
		所有累积空洞的球,无论大小,都被考虑			

表 A.2 适用于 1.5 mm、1.27 mm、1.0 mm 引脚节距焊盘纠正措施的限值（续）

空洞类型	空洞描述	纠正措施的限值			采取措施
		1 级	2 级	3 级	
装配后评估,由横截面/X 射线分层成像(根据表 A.6 取样)确定					
C	焊球回流焊接后的球内空洞	高达 100% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 25%; (图像直径的 50%)			调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施
D	空洞在封装界面(焊球回流焊接后)	高达 100% 球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 25%; (图像直径的 50%)	高达 80% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 20%; (图像直径的 45%)	高达 60% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 15%; (图像直径的 40%)	调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施
		所有累积空洞的球,无论大小,都被考虑			
E	空洞在安装表面界面(焊球回流焊接后)	高达 100% 球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 25%; (图像直径的 50%)	高达 80% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 20%; (图像直径的 45%)	高达 60% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 15%; (图像直径的 35%)	调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施
		累积空洞面积小于 2%(图像直径的 15%)的球没有计算			
由 X 射线透射扫描确定(根据表 A.6 取样),用于器件来料时或装配后的过程评估					
A B	来料时空洞	高达 80% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 15%; (图像直径的 35%)	高达 70% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 10%; (图像直径的 32%)	高达 50% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 5%; (图像直径的 22%)	调查生产过程中的根本原因,并采取纠正措施
		所有累积空洞的球,无论大小,都被考虑			
C D E	焊球回流焊接后空洞	高达 70% 球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 25%; (图像直径的 50%)	高达 60% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 25%; (图像直径的 50%)	高达 50% 的球有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 20%; (图像直径的 45%)	调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施

表 A.3 适用于 0.8 mm、0.65 mm、0.5 mm 引脚节距焊盘纠正措施的限值

空洞类型	空洞描述	纠正措施的限值			采取措施
		1 级	2 级	3 级	
器件来料评估时,由横截面/X射线分层成像(根据表 A.6 取样)确定					
A	焊料球内空洞 (装配前)	高达 90% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 15%; (图像直径的 40%)			调查生产过程中的根本原因,并采取纠正措施
B	封装界面空洞 (装配前)	高达 80% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 12%; (图像直径的 35%)	高达 70% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 9%; (图像直径的 30%)	高达 50% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 4%; (图像直径的 20%)	调查生产过程中的根本原因,并采取纠正措施
		所有累积空洞的球,无论大小,都被考虑			
装配后评估,由横截面/X射线分层成像(根据表 A.6 取样)确定					
C	焊球回流焊接后的球内空洞	高达 100% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 20%; (图像直径的 45%)			调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施
D	空洞在封装界面 (焊球回流焊接后)	高达 100% 球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 20%; (图像直径的 45%)	高达 80% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 15%; (图像直径的 40%)	高达 60% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 12%; (图像直径的 35%)	调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施
		所有累积空洞的球,无论大小,都被考虑			
E	空洞在安装表面 界面(焊球回流焊接后)	高达 100% 球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 20%; (图像直径的 45%)	高达 80% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 15%; (图像直径的 40%)	高达 60% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 12%; (图像直径的 35%)	调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施
		累积空洞面积小于 2%(图像直径的 15%)的球没有计算			
由 X 射线透射扫描确定(根据表 A.6 取样),用于器件来料时或装配后的过程评估					
A B	来料时空洞	高达 80% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 9%; (图像直径的 30%)	高达 70% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 6%; (图像直径的 26%)	高达 50% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 4%; (图像直径的 20%)	调查生产过程中的根本原因,并采取纠正措施
		所有累积空洞的球,无论大小,都被考虑			

表 A.3 适用于 0.8 mm、0.65 mm、0.5 mm 引脚节距焊盘纠正措施的限值（续）

空洞类型	空洞描述	纠正措施的限值			采取措施
		1 级	2 级	3 级	
C D E	焊球回流焊接后空洞	高达 70%球可能有空洞； 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 20%； (图像直径的 45%)	高达 60%的球可能有空洞； 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 15%； (图像直径的 40%)	高达 50%的球可能有空洞； 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 10%； (图像直径的 32%)	调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施
		累积空洞面积小于 4%(图像直径的 20%)的球没有计算			

表 A.4 适用于 0.5 mm、0.4 mm、0.3 mm 引脚节距微通孔盘纠正措施的限值

空洞类型	空洞描述	纠正措施的限值			采取措施
		1 级	2 级	3 级	
器件来料评估时,由横截面/X 射线分层成像(根据表 A.6 取样)确定					
A	焊料球内空洞 (装配前)	高达 90% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 9%;(图像直径的 30%)			调查生产过程中的根本原因,并采取纠正措施
B	封装界面空洞 (装配前)	高达 80% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 6%; (图像直径的 25%)	高达 70% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 4%; (图像直径的 20%)	高达 50% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 2%; (图像直径的 15%)	调查生产过程中的根本原因,并采取纠正措施
		所有累积空洞的球,无论大小,都被考虑			
装配后评估,由横截面/X 射线分层成像(根据表 A.6 取样)确定					
C	焊球回流焊接后的球内空洞	高达 100% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 25%;(图像直径的 50%)			调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施
D	空洞在封装界面 (焊球回流焊接后)	高达 100% 球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 15%; (图像直径的 40%)	高达 80% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 10%; (图像直径的 32%)	高达 60% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 5%; (图像直径的 22%)	调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施
		所有累积空洞的球,无论大小,都被考虑			
E	空洞在安装表面 界面(焊球回流焊接后)	高达 100% 球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 15%; (图像直径的 40%)	高达 80% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 10%; (图像直径的 32%)	高达 60% 的球可能有空洞; 任何球内的最大空洞尺寸是面积的 5%; (图像直径的 22%)	调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施
		累积空洞面积小于 2%(图像直径的 15%)的球没有计算			

表 A.4 适用于 0.5 mm、0.4 mm、0.3 mm 引脚节距微通孔盘纠正措施的限值（续）

空洞类型	空洞描述	纠正措施的限值			采取措施
		1 级	2 级	3 级	
由 X 射线透射扫描确定(根据表 A.6 取样),用于器件来料时或装配后的过程评估					
A B	来料时空洞	不推荐			调查生产过程中的根本原因,并采取纠正措施
C D E	焊球回流焊接后空洞	不推荐			调查生产过程中和来料的根本原因,并采取纠正措施

A.10 不同直径焊点的可检测空洞百分比

以 0.20 mm 直径的空洞为例,表 A.5 提供了该空洞在不同焊球直径中所占的空洞百分比。当焊点尺寸减小时,检测到的空洞直径百分比会增大。即在直径 0.75 mm 的焊点中,空洞直径百分比为 27%,换算到直径 0.30 mm 的焊点中时空洞直径百分比为 67%。缺陷的确定取决于产品的可靠性要求。例如,如果最大允许的空洞尺寸是焊料球直径的 30%(相当于 11%的面积),这可能是一个空洞,也可能是多个空洞的总和。一些较新的 X 射线设备使用的算法能够统计空洞面积,但是,X 射线断层扫描的算法可能无法完成空洞的总和统计。

对于单一的空洞,X 射线断层扫描可以识别出大于预定尺寸的空洞缺陷。

例如:如果焊球直径是 0.75 mm,最大允许空洞尺寸是焊料球直径的 30%,球中心的最大空洞尺寸将计算如下:

最大空洞直径: $0.75\text{ mm} \times 30\% = 0.225\text{ mm}$

当空洞不在焊球的中心位置,而靠近印制板焊盘或器件焊盘,焊球的横截面直径将会减小,同时空洞的最大允许尺寸也会减小。

表 A.5 常见焊球接触直径球-空洞尺寸图像比较

焊球直径/X 射线图像 mm	直径 0.20 mm 空洞	
	空洞直径/%	空洞面积/%
0.85	24	6
0.75	27	7
0.65	31	9
0.55	36	13
0.45	44	20
0.40	50	25
0.30	67	44

A.11 空洞评估的抽样方案

由于业界对空洞的关注,本附录试图规定评估空洞的基本目标和工艺控制技术 的标准。通常,在没有任何迹象表明空洞会引起可靠性复杂化和对可靠性产生影响的情况下,报废或返修一个完好的产品

是没有必要的。空洞检测的标准不是基于 100% 的检查,而是通过抽样方案来实现。

抽样方案条件与表 A.6 所示相同,宜注意的是,表是基于 $C=0$ 的。这意味着,在选择样本时,任何超出如表 A.2 所示的空洞尺寸特征的情况,都需要对总批次进行 100% 的评估。适当的纠正措施会根据产品的级别水平和客户的要求而有所不同,最终的措施是拆除和更换受影响的器件,但是,这些解决措施宜仔细评估,因为该产品宜在设计时允许进行返修,包括重新评估。

表 A.6 $C=0$ 抽样方案 (特定指标值^a 的样本量)

批量大小	A 级			B 级			C 级			
	2.5	4.0	6.5	1.5	2.5	4.0	0.10	1.0	2.5	4.0
1~8	5	3	2	^b	5	3	^b	^b	5	3
9~15	5	3	2	8	5	3	^b	13	5	3
16~25	5	3	3	8	5	3	^b	13	5	3
26~50	5	5	5	8	5	5	^b	13	5	5
51~90	7	6	5	8	7	6	^b	13	7	6
91~150	11	7	6	12	11	7	125	13	11	7
151~280	13	10	7	19	13	10	125	20	13	10
281~500	16	11	9	21	16	11	125	29	16	11
501~1 200	19	15	11	27	19	15	125	34	19	15
1 201~3 200	23	18	13	35	23	18	125	42	23	18
3 201~10 000	29	22	15	38	29	22	192	50	29	22
10 001~35 000	35	29	15	46	35	29	294	60	35	29
C:表示抽出样本中允许的不合格品判定数。 AQL:表示接受质量限值,以不合格品百分数或每百单位产品不合格数表示。 A 级、B 级、C 级索引值:表示不同级别抽检样品的不合格百分数。										
^a 如果特定产品被用户确定为关键件,并且需要一个较小的索引值,那么索引值与可接受的质量水平(A.Q.L.)值相关联。用户应在采购人员的文件中指定要求,并说明对主图纸的关键要求。 ^b 表示检查整批货。										

A.12 表 A.6 的抽样应用举例

一旦制定了允许的空洞百分比协议,就宜从生产单位抽取随机样本,并根据协议中所确定的接受条件进行评估。抽取多少样本取决于正在生产的单元数量,还宜考虑特殊组件部分的 BGA 数量。

2.5 的指标值能够表征生产过程水平,其中包括 BGA 组装和空洞发生工艺水平。A 级指标 2.5 可以用来评估消费品和计算机应用产品,也适用于电信设备。

对于要求高性能和长寿命的 B 级设备,以及需要不间断服务但非关键的设备,以及允许存在某些外观缺陷的设备,应使用 1.5 的指标值。

C 级适用于高可靠性电子产品,包括商用设备和军用产品设备,其持续性能或需求性能是非常关键的,该类设备不能停机,宜在需要时发挥作用,如生命保障产品,或者关键武器系统。此类包含 BGA 的印制板组件适用于需要高可靠性保证和不间断服务领域,因此该类评估要求 1.0 指标值的样本。

指标值的目的是确定所审查的样本都满足规定的空洞协议,但是,在统计中仍存在有百分之几的产品不符合规定条件。C 级的 1.0 指标值要求从 125 个组件的生产批次中对 13 个样品进行抽验,即使所

有的样品都满足协议要求,但该批次仍然可能有 1%的产品不符合规定,这涉及不到 2 个组件,在许多应用中是可接受的风险。

A.13 细节距 BGA

存在空洞的细节距 BGA 焊点中,实际的焊接面积要远小于标准节距 BGA 焊点接触面积。表 A.3 表示当器件来料评估或装配后评估中,发现 X 射线图像显示存在空洞时,宜采取的纠正措施。焊球的图像基于 BGA 节距,当节距缩小时,焊盘和焊接接触区域面积也随之减小。考虑到这一点,建议纠正措施以减小空洞大小来补偿,从而提高最终的焊接可靠性。

A.14 细节距 BGA 焊盘的导通孔设计

随着设计精细化和微距化,鼓励采用微通孔和焊盘的导通孔(盘中孔)设计以获得足够的布线空间。特别在使用无铅组装设计时,空洞的情况越加严峻。图 A.4 给出了一个示例,由于焊盘上焊料的缺失而形成空洞,导致焊点内的裂纹从空洞中扩展出来。通过堵孔和覆盖镀层,滞留空气不会加剧裂纹扩展,从而克服焊盘焊料缺失导致裂纹产生的情况,焊盘的导通孔设计要求进一步限制空洞的产生,如表 A.4所示。

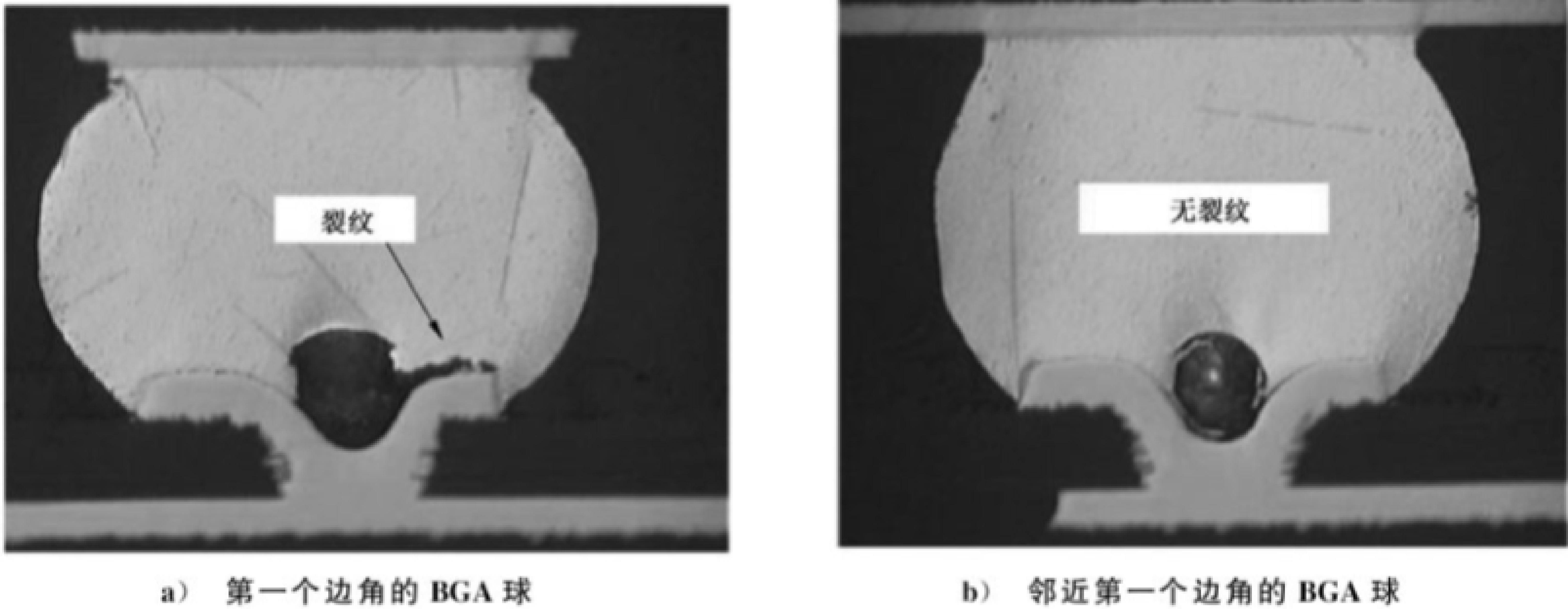


图 A.4 边角引线有裂纹的 BGA 空洞

附录 B
(资料性)
X 射线透射设备

B.1 概述

X 射线透射设备性能的示例,如图 B.1 所示。

注: X 射线系统中,X 射线管可放置在样本的下面,检测器在上面。

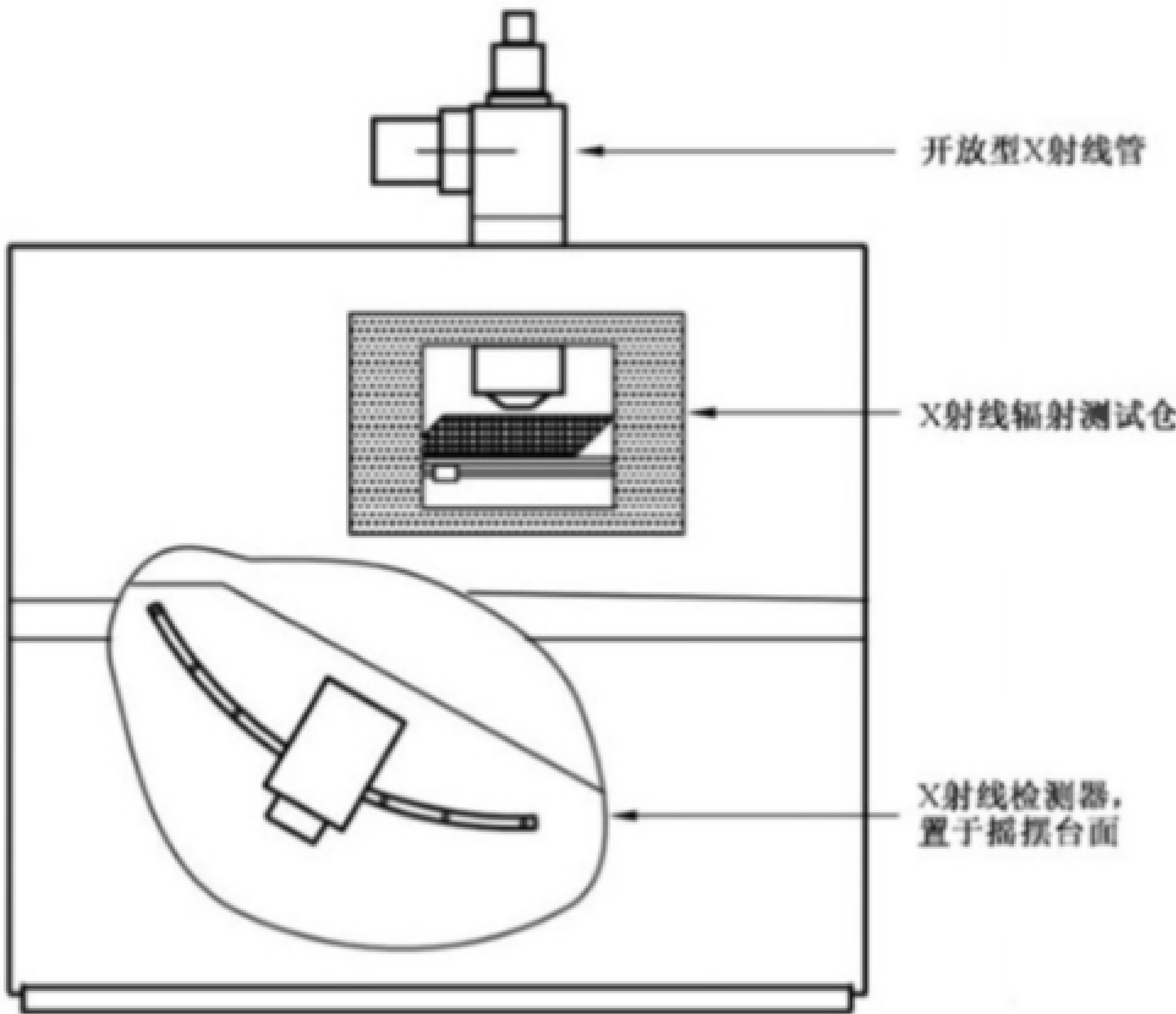


图 B.1 X 射线透射设备结构

B.2 X 射线管

X 射线管特征如下:

- a) 开放或密封型 X 射线管
- b) 电压30 kV~160 kV;
- c) 电流0 mA~0.2 mA;
- d) 目标输出最大 3W~10 W;
- e) X 射线特征识别尺寸典型值为 2 μ m;
- f) 靶材透射型钨靶;
- g) 靶材厚度0.5 mm 或以下;
- h) X 射线辐射角度120°或以上。

B.3 机械手

机械手特点如下:

- a) 多轴遥控机械手;
- b) X 轴(侧向)范围 400 mm \pm 5 mm ;
- c) Y 轴(深度)范围 300 mm \pm 5 mm ;

d) Z 轴(垂直) 范围 250 mm±5 mm。

B.4 电视系统

电视系统特点如下：

- | | |
|------------|------------------------|
| a) 最大几何放大率 | 200×或以上； |
| b) 探测器 | 图像增强器(1.1 管),2″、4″、6″； |
| c) 中心分辨率 | 75 线对/厘米； |
| d) 相机 | 2/3″CCD 相机； |
| e) 水平分辨率 | 570 电视线。 |

注：一些系统采用 CMOS 探测器代替图像增强器。

B.5 图像处理器

图像处理器特点如下：

- a) 积分、平均、对比度控制；
- b) 两点测量、面积和面积比率。

附录 C
(资料性)

空洞试验结果和模拟及热应力作用下的寿命缩短

有相关科学论文认为,BGA 焊点中大空洞会降低焊点的可靠性,而非常小的空洞不会影响焊点的可靠性。对于中等尺寸的空洞,它对可靠性的影响取决于空洞在焊点中的位置与焊点失效模式之间的相互作用关系。焊点一般只有一种失效模式,并且很少变化,但中小型空洞的位置是不确定因素。结果表明,在疲劳裂纹路径上很少出现中小型空洞,这种空洞对可靠性没有坏的影响。然而,中小型空洞碰巧出现在焊点疲劳裂纹路径附近,并降低焊点可靠性的可能性非常小。想要通过少数的试验架次得到这类结果是非常困难的。如果一定要解决大量商业产品的可靠性问题,宜集中精力关注最坏的情况。因此有必要研究空洞对可靠性的影响机理。

通过等温力学疲劳试验,研究了大空洞对 BGA 焊点热疲劳可靠性的影响。为了替代焊点(器件侧和印制板侧)两端之间的热失配试验,采用压电装置驱动的特殊疲劳测试设备对 BGA 焊点进行反复剪切变形,此时变形可得到精确控制。在测试前,对焊点中空洞的位置和大小进行测量。在测试过程中,通过光学显微镜直接对 BGA 焊点中疲劳裂纹进行检测。当疲劳裂纹扩展到焊点的整个投影面积时,循环次数定义为焊点的疲劳寿命。因此,通过没有空洞焊点的疲劳寿命与有空洞焊点的疲劳寿命进行比对,空洞对 BGA 焊点可靠性的影响就非常清楚了。

图 C.1 和图 C.2 给出了焊点相对疲劳寿命与空洞位置、空洞大小之间的关系,相对疲劳寿命是通过以无明显空洞的 BGA 焊点疲劳寿命为基准进行归一化处理得来的。在 Sn-Ag-Cu 试样中,疲劳裂纹经常出现在靠近芯片一侧末端的焊点周围,因此,位于这一侧的大空洞对疲劳寿命影响较大,由于焊点中此类空洞的位置难以控制,位于和疲劳裂纹路径同一区域的空洞的影响宜被视为 Sn-Ag-Cu 焊点最坏的情况。在 Sn-Zn 合金焊点中,由于 Sn-Zn 焊料的硬度远远高于 Sn-Ag-Cu 硬度,并且焊料和 Cu 电极界面处微观结构与 Sn-Ag-Cu 焊点的不同,因此疲劳裂纹传播的路径非常靠近焊料和 Cu 电极界面。其结果是,较大空洞很少与这种界面裂纹路径重叠,即使对于相当大的空洞和疲劳裂纹路径之间的相互作用也不会发生。这就是为什么 Sn-Zn 焊点空洞的影响不像 Sn-Ag-Cu 焊点空洞的影响那样显著。

采用有限元分析方法,研究了大空洞对 LGA 焊点热疲劳寿命的影响,包括从最初的疲劳裂纹到裂纹扩展直至焊点完全失效整个疲劳过程,通过对比 BGA 案例试验结果与 BGA 仿真结果的一致性,证实了 LGA 有限元分析的可靠性。通过研究 3 种不同 LGA 焊点,结果显示大空洞对 LGA 焊点可靠性的影响几乎不受焊点形状的影响,以及疲劳寿命的缩短几乎和空洞面积与焊点面积的比率相同。此外,图 C.3 中所示关系的基本趋势不依赖焊接材料。

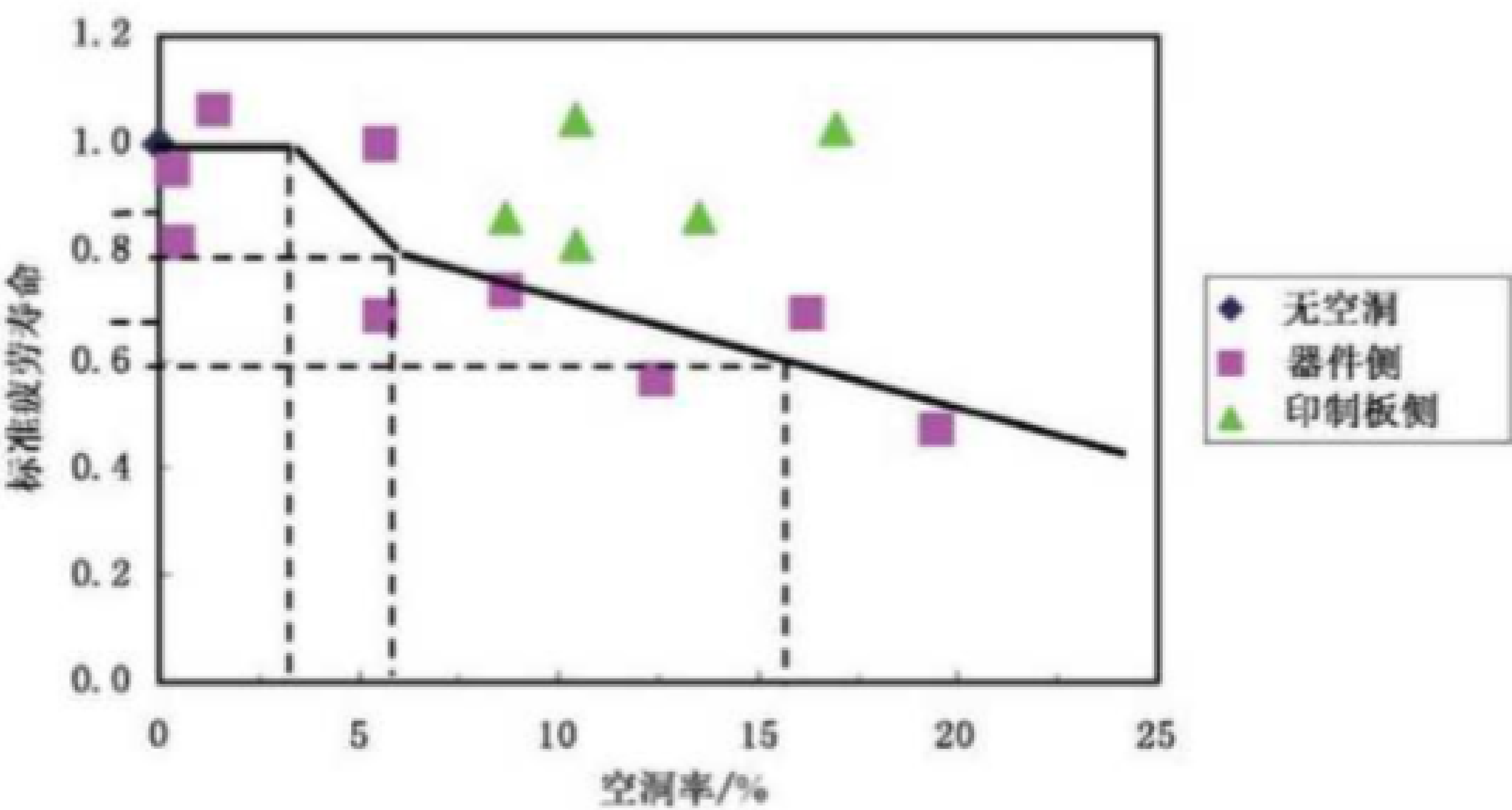


图 C.1 BGA 焊点, Sn-Ag-Cu

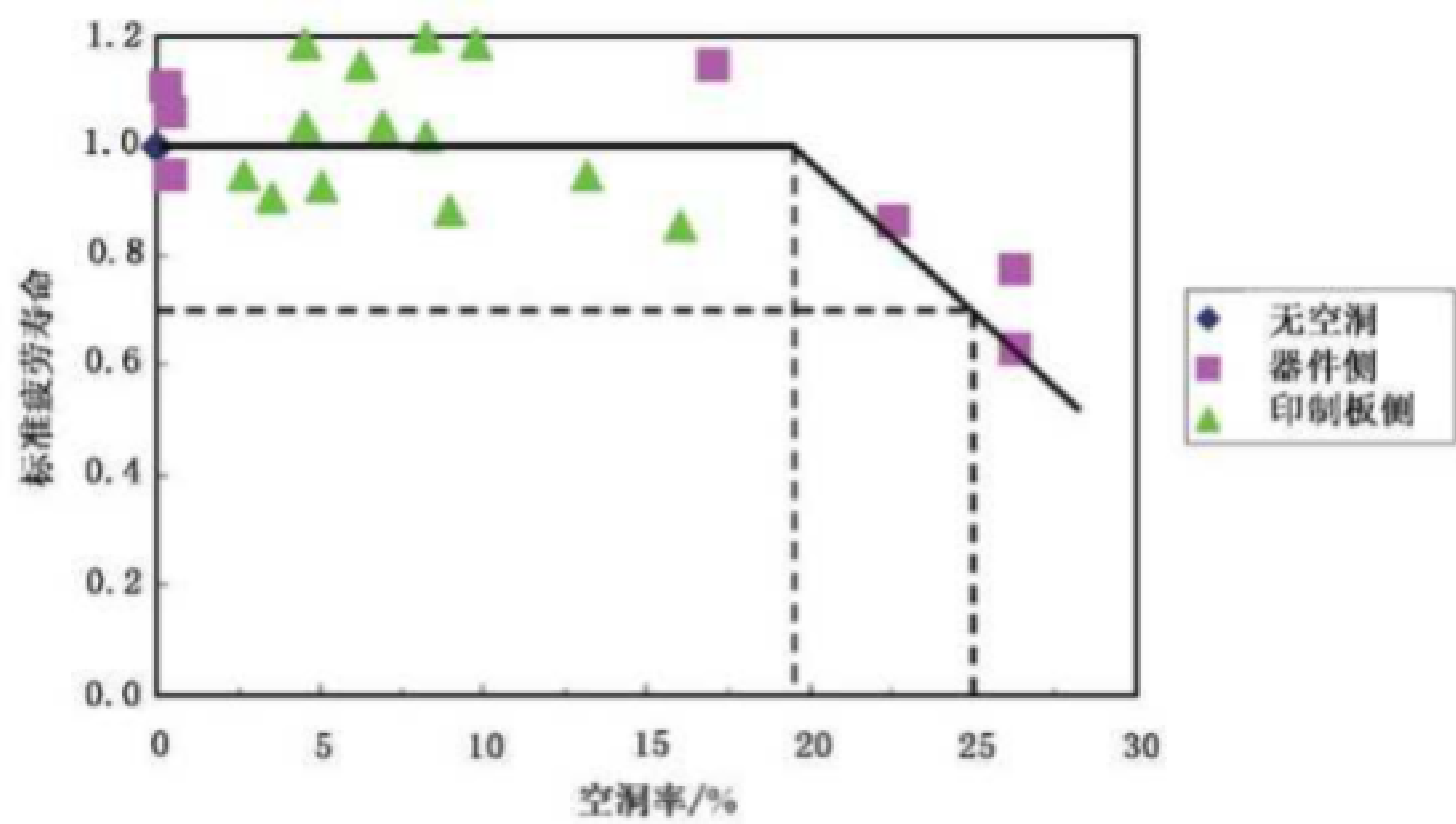


图 C.2 BGA 焊点,Sn-Zn

表 C.1 BGA 焊点空洞降低疲劳寿命

降低的疲劳寿命与设计寿命(无空洞)的比值		60%	80%	等同于设计寿命
空洞评估标准 (空洞率)	Sn-Ag-Cu 合金	<20%	<10%	<5%
	Sn-Zn-(Bi) 合金	<30%	<25%	<20%

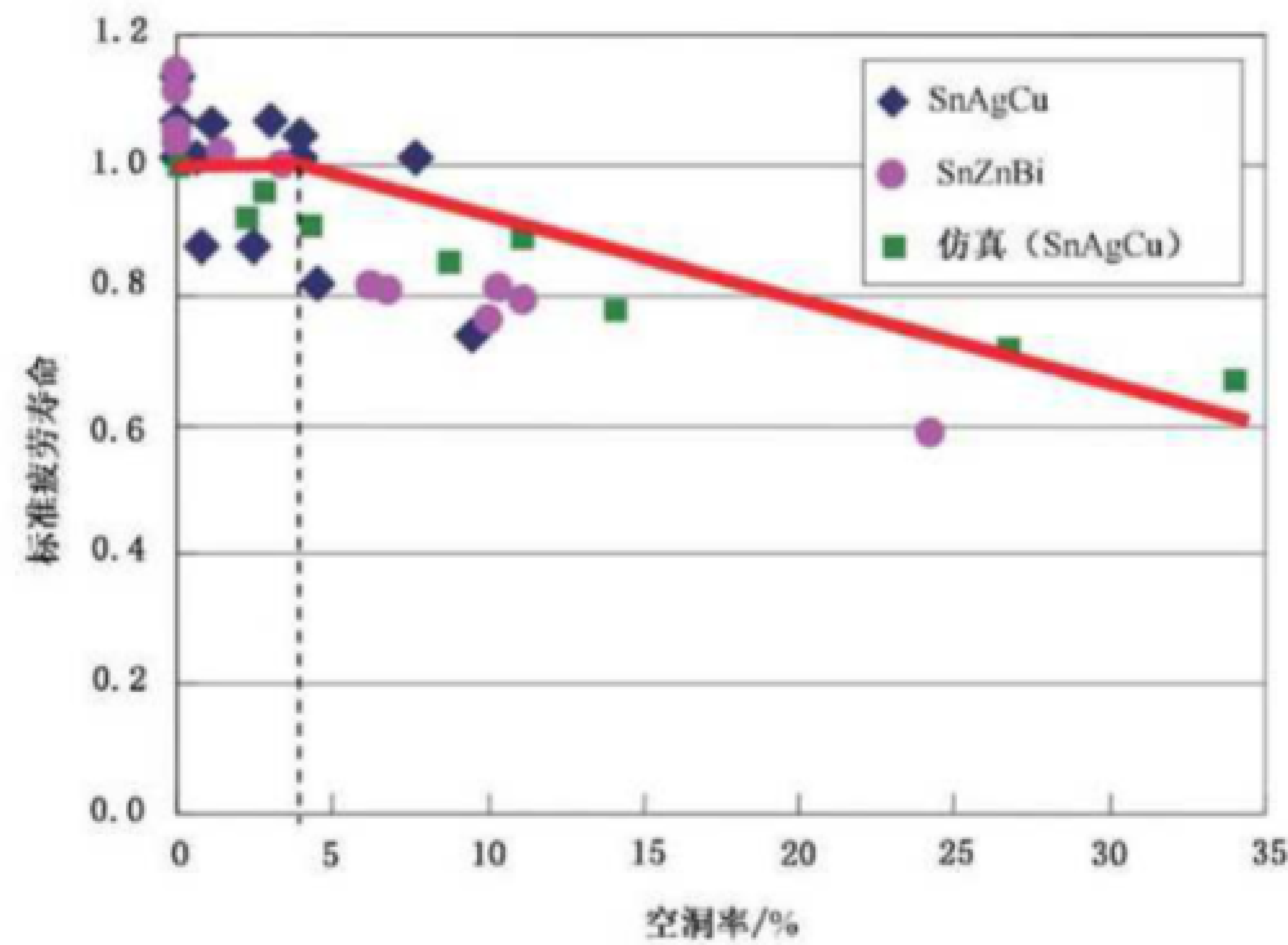


图 C.3 LGA 焊点

表 C.2 LGA 焊点空洞降低疲劳寿命

降低的疲劳寿命与设计寿命(无空洞)的比值		60%	80%	等同于设计寿命
空洞评估标准(对全部无铅焊点) (空洞率)		<35%	<20%	<5%

表 C.1 和表 C.2 显示了空洞对可靠性影响的最坏情况。这些数据通过试验和分析方法得到了证实,结果表明,BGA 焊点的疲劳寿命与焊点相应位置的空洞大小之间存在真实的一对一关系。这些表格没有给出纠正措施指标的空洞裕度,只是显示空洞对 BGA 焊点可靠性的最坏影响。详细的科学证

据可以在“空洞对 BGA/CSP 焊点的可靠性影响”一文或 Shibutani 等人编写的论文中找到(见参考文献)。

另一方面,M Wickham 等人编写的“空洞对无铅可靠性的影响”文章(见参考文献),给出了空洞对 BGA 可靠性影响的试验结果,但它仅表示每个焊点空洞的平均影响。因此很难理解空洞大小与其可靠性影响之间的一对一关系。

Mohammad 等人在“空洞对 BGA/CSP 焊点可靠性的影响”一文中,通过试验和分析的方法,研究了空洞对 BGA 可靠性的影响,本文仅给出了空洞大小对可靠性平均影响的试验数据,并没有给出焊点自身空洞对可靠性的影响程度。结果表明,小空洞也会影响可靠性,并进一步用分析方法研究了可靠性与小空洞之间的关系。

在 IPC-7095B(见参考文献)的表 7-10、表 7-11 和表 7-12 给出了纠正措施的标准,指出了对细节距 BGA 空洞值的限制[任何球的最大空洞尺寸是其面积的 5%(图像直径的 22%)]。

基于以上的研究综述,可以得出结论,将空洞大小的测量方法和评估准则进行标准化是非常重要的。推荐的评估标准见表 C.3 和表 C.4。

表 C.3 BGA 焊点空洞评估标准

降低空洞率工艺目标		边际值	优选值	目标值
空洞评估标准 (空洞率)	Sn-Ag-Cu 合金	<20%	<10%	<5%
	Sn-Zn-(Bi)合金	<30%	<25%	<20%
对于具有足够可靠性设计裕度的装配件,没有指定评估标准				

表 C.4 LGA 焊点中空洞评估标准

降低空洞率工艺目标	边际值	优选值	目标值
空洞评估准则(对所有无铅焊点) (空洞率)	<35%	<20%	<5%
对于具有足够可靠性设计裕度的装配件,没有指定评估标准			

附录 D
(资料性)
X 射线透射成像测量

D.1 X 射线成像原理

图 D.1 显示了 X 射线透射扫描成像原理。X 射线源发出的 X 射线通过样本,并在成像区域透射出样本的放大阴影。X 射线因为焊点材料、铜线和板内其他材料而衰减,并根据焊点和空洞的布局到达成像区域形成不同强度分布的图像。X 射线的强度分布通过成像设备(通常是图像增强器)转化为黑白图像,一些透射 X 射线系统可以将图像数字化(通常为 40 万像素分辨率或更高)及区域像素相加,来实现面积计算功能。通常可用的透射 X 射线系统可以改变图像中所提供的灰度灵敏度,反过来,这又会对面积计算的精度产生影响。宜注意的是,较低灰度灵敏性的系统可能会导致焊点内的空洞尺寸缩小(从而出现更小的值),这是由于没有足够的灵敏度来观察球形空洞的真实边缘,同时最小的空洞可能完全看不见。因此建议,使用本附录的 X 射线系统要有足够的能力检测 20 μm 直径的空洞(对 6 层双面板)。

D.2 几何放大率

几何放大率是 X 射线焦点到成像区域(A+B)的距离与 X 射线焦点到样本(A)的距离的比值,如图 D.1 所示。

注: X 射线系统可将 X 射线管配置于探测器的上方或下方。

几何放大率 = $\frac{A+B}{A} = \frac{D_1}{D_0} = \frac{d_1}{d_0}$ (D.1)

- 式中:
- D₁——焊点图像直径;
 - D₀——焊点实际直径;
 - d₁——空洞图像直径;
 - d₀——空洞实际直径。

几何放大率是定义图像放大的一个因素,对精确测量非常重要。几何放大率取决于从 X 射线源到观察点距离,即使样本是固定的,对于使用 X 射线透射成像来测量空洞率来说,确定每一次测量的距离对实现 X 射线透射成像的精确测量非常重要。

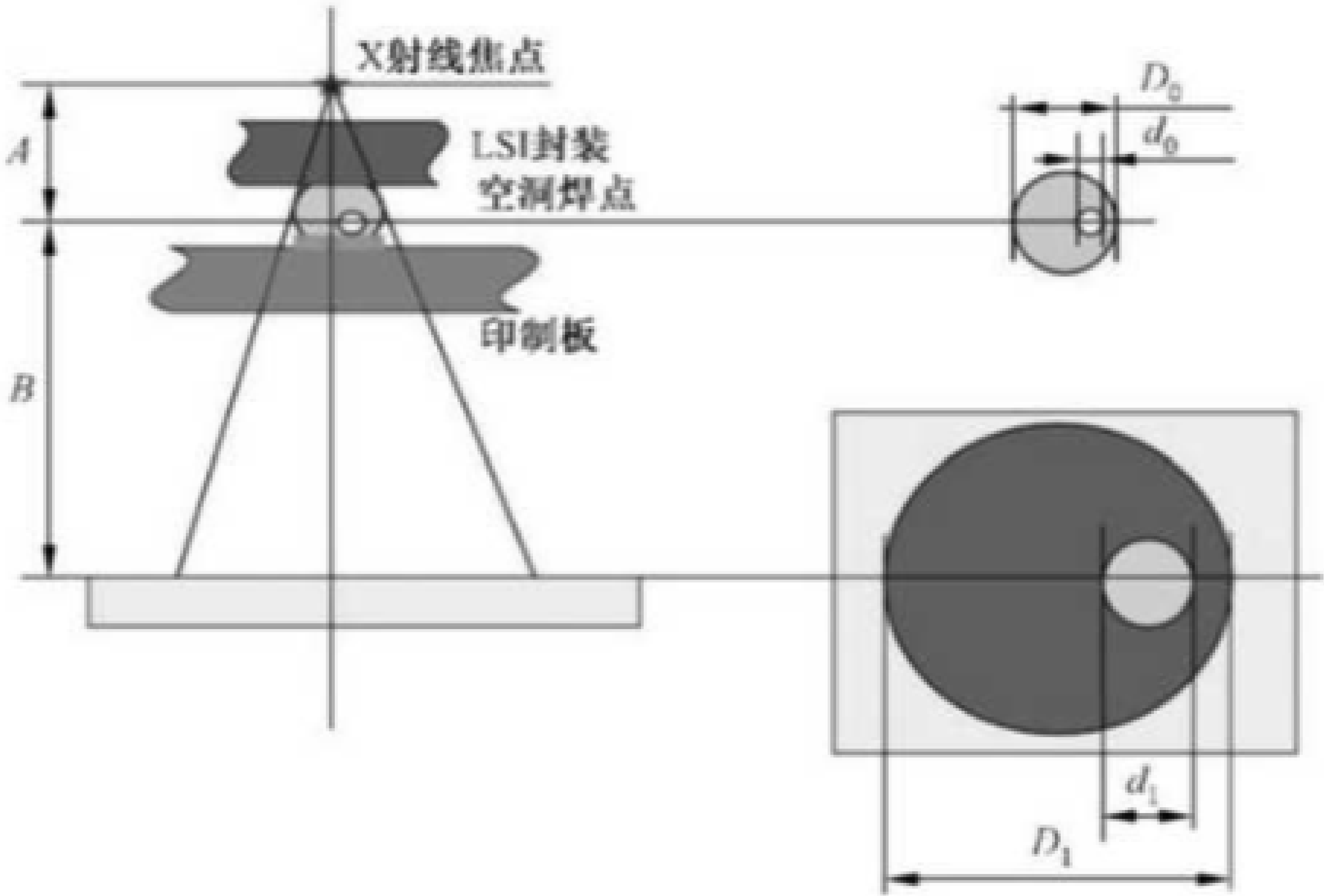


图 D.1 X 射线透射成像

D.3 空洞检测的 X 射线强度要求

图 D.2 a)和图 D.2 b)所示为 X 射线在焊点处通过的焊料的厚度,X 射线强度随着其在焊点的路径长度增加而衰减。当 X 射线强度足够强时,穿过焊点并形成可接受的对比度图像(例如,管电压为 100 kV),就会在焊点内检测到空洞。相反,如果焊点受到 X 射线强度不足的照射(例如,管电压为 40 kV),则合成的图像只会显示无任何空洞的焊点,因为 X 射线几乎完全衰减,无论路径是否存在空洞。因此,需要足够的 X 射线强度穿过焊点,才能够检测和测量焊点内空洞。

D.4 焊点和空洞的 X 射线透射图像

使用成像设备探测到的 X 射线强度分布,如图 D.2 c)所示。在 X 射线路径上,焊点的厚度是不均匀的,由于焊点为球形,在焊点的边缘处逐渐减小。根据焊点的厚度,X 射线在成像设备上被衰减和检测。在焊点边缘焊点厚度减小的地方,检测到的 X 射线强度逐渐增大,焊点的 X 射线透射图像通过其周围边缘的黑、白梯度检测出。为了获得精确的测量值,检测出梯度的外边缘并测量焊点轮廓图像的最大尺寸是非常重要的。最大轮廓尺寸的图像表示焊点的真实大小,较少受到较差测量条件的影响,如图 D.2 c)所示。

另一方面,含有空洞的焊料厚度,随着空洞边缘呈球形而逐渐增大。检测到的 X 射线强度随焊料厚度的增加而逐渐减小,并且空洞的 X 射线透射图像以其周围边缘黑白色渐变的方式检测到。除了焊点外,为了获得精确的测量值,检测出梯度的外边缘,并测量空洞轮廓图像的最大尺寸是非常重要的,如图 D.2 c)所示。

无论测量的是焊点还是空洞,为了得到空洞或焊点的真实尺寸,避免周围边缘梯度的渐变的不确定性,都宜检测出轮廓的最大尺寸。

与各种 X 射线管电压相对应的 X 射线传输图像,如图 D.3 所示。

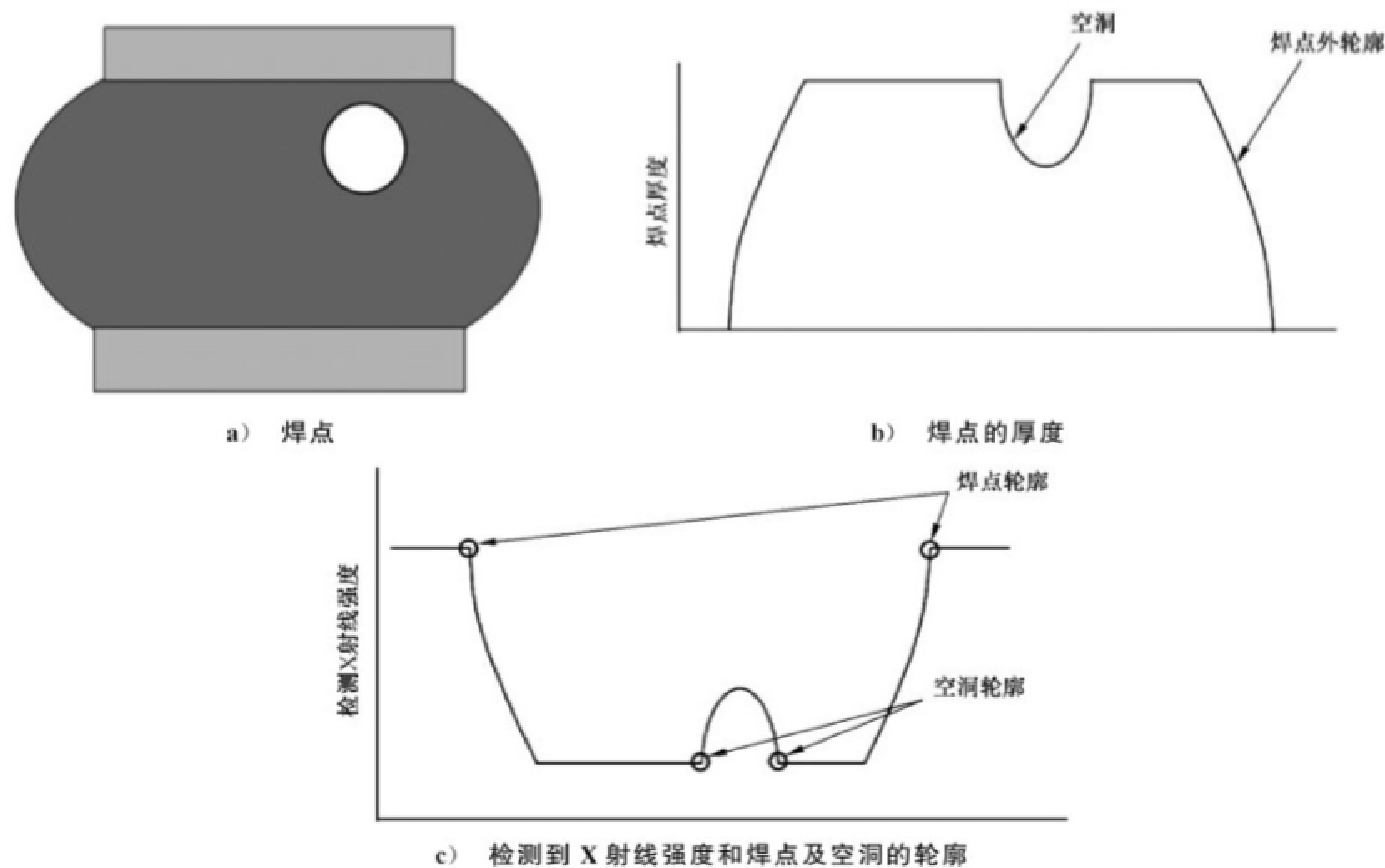


图 D.2 焊点的 X 射线透射图像

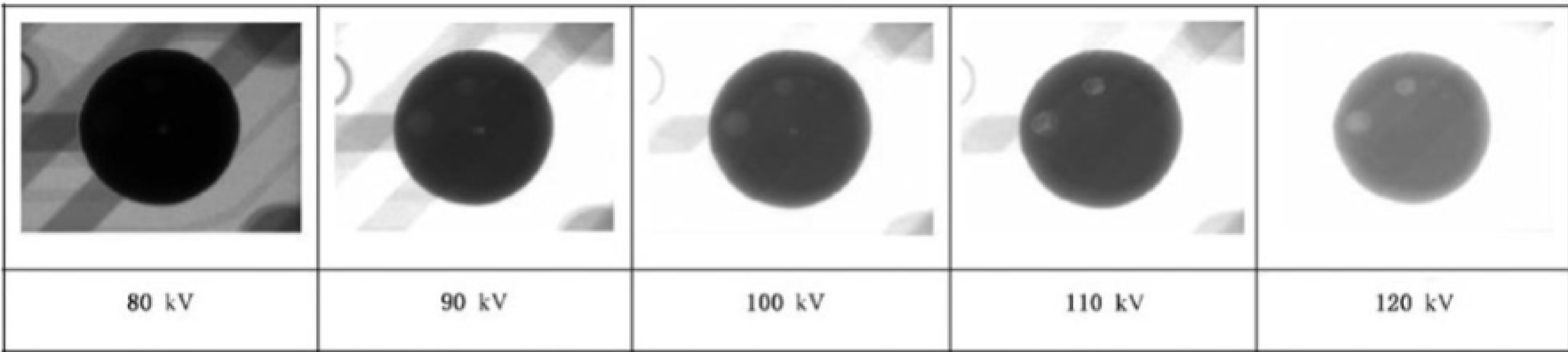


图 D.3 焊点的典型 X 射线透射图像

D.5 背景

在组装有 BGA 和 LGA 的印制板组件上,有印制线、铜金属化孔及其他金属材料,在 X 射线透射图像的同一视图中,可以检测到这些金属部件及焊点或空洞。从不必要的背景中,清晰地分辨出焊点和空洞很重要。大多数较厚的 BGA 焊点(例如,超过 300 μm)能够容易识别。相反,如果 LGA 焊点比 BGA 薄(例如,100 μm),那么宜仔细地进行测量以确定焊点。

D.6 测量确认

通过测量(与样品)具有相同结构、材料和尺寸的额外样品的焊点或空洞的横截面积,检查焊点或空洞的实际尺寸与 X 射线透射图像的测量尺寸之间的关系,可用于校准。

参 考 文 献

- [1] IEC 61190-1-3:2017 Attachment materials for electronic assembly—Part 1-3: Requirements for electronic grade solder alloys and fluxed and non-fluxed solid solders for electronic soldering applications
 - [2] IEC 61191-1 Printed board assemblies—Part 1: Generic specification—Requirements for soldered electrical and electronic assemblies using surface mount and related assembly technologies
 - [3] Yu Qiang, Shibutani Tadashiro, Kim Do-Seop, Kobayashi Yusuke, Yang Jidong and Shiratori Masaki, “Effect of process-induced voids on isothermal fatigue resistance of CSP lead-free solder joints”, *Microelectronics Reliability*, 48, 2008, 431-437, 2008
 - [4] Yu Qiang, Shibutani Tadashiro, Kobayashi Yusuke and Shiratori Masaki, “The effect of voids on thermal reliability of BGA lead-free solder joint and reliability detecting standard”, *Proc. 10th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic System (Itherm 2006)*, pp. 1024-1030, 2006
 - [5] Kim Doseop, Yu Qiang, Kobayashi Yusuke, and Shibutani Tadashiro, “Effect of voids on thermal fatigue reliability of lead free solder joint”, *Proc. IPACK05*, pp. 1-6 (IPACK2005-73136), 2005
 - [6] Wickham M., Dusek M., Zou L. and Hunt C., “Effect of Voiding on Lead-Free Reliability”, *NPL REPORT DEPC MPR 033*, April 2005
 - [7] Yunus Mohammad, Srihari K., Pitarresi J.M., Primavera Anthony, “Effect of voids on the reliability of BGA/CSP solder joints”, *Microelectronics Reliability* 43 (2003) pp. 2077-2086
 - [8] IPC-7095B:2008, “Design and Assembly Process Implementation for BGAs”, Association Connecting Electronics Industries
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

印制板组装

第 6 部分：球栅阵列(BGA)和盘栅阵列
(LGA)焊点空洞的评估要求及测试方法

GB/T 19247.6—2024

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址：www.spc.net.cn

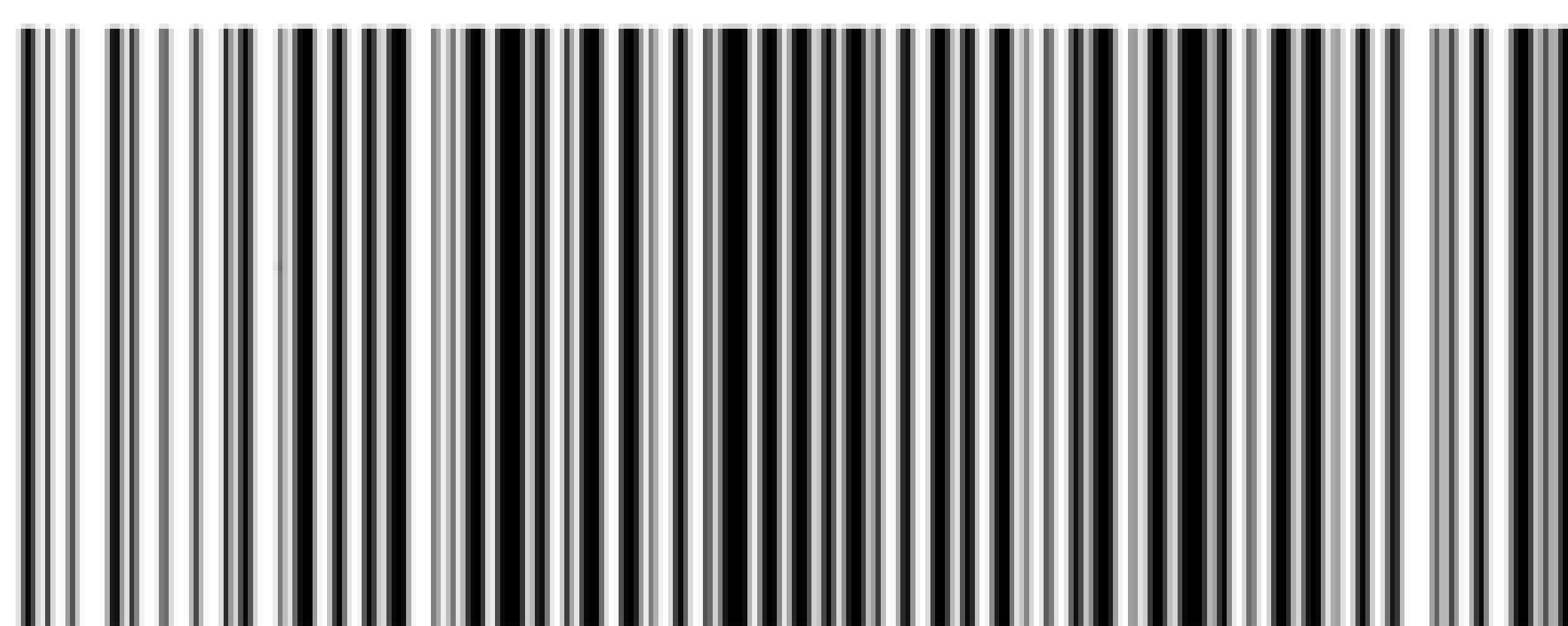
服务热线：400-168-0010

2024 年 3 月第一版

*

书号：155066 • 1-75442

版权专有 侵权必究



GB/T 19247.6—2024

www.bzxz.net

免费标准下载网