

DIN EN 61191-6



ICS 31.180

**Elektronikaufbauten auf Leiterplatten –
Teil 6: Bewertungskriterien für Hohlräume in Lötverbindungen von BGA
und LGA und Messmethode (IEC 61191-6:2010);
Deutsche Fassung EN 61191-6:2010**

Printed board assemblies –

Part 6: Evaluation criteria for voids in soldered joints of BGA and LGA and measurement method (IEC 61191-6:2010);

German version EN 61191-6:2010

Ensembles de cartes imprimées –

Partie 6: Critères d'évaluation des vides dans les joints brasés des boîtiers BGA et LGA et méthode de mesure (CEI 61191-6:2010);

Version allemande EN 61191-6:2010

Gesamtumfang 42 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2010-04-01 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2011-01-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61191-6:2007-12.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 682 „Montageverfahren für elektronische Baugruppen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 91 „Electronics assembly technology“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Anmerkung zu LGA

Sinngemäße Anwendung der BGA-Begrifflichkeiten auf das LGA.

Elektronikaufbauten auf Leiterplatten –
Teil 6: Bewertungskriterien für Hohlräume in Lötverbindungen von BGA und
LGA und Messmethode
(IEC 61191-6:2010)

Printed board assemblies –
Part 6: Evaluation criteria for voids in soldered
joints of BGA and LGA and measurement method
(IEC 61191-6:2010)

Ensembles de cartes imprimées –
Partie 6: Critères d'évaluation des vides dans
les joints brasés des boîtiers BGA et LGA et
méthode de mesure
(CEI 61191-6:2010)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2010-04-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2010 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61191-6:2010 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 91/897/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61191-6, ausgearbeitet von dem IEC/TC 91 „Electronics assembly technology“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2010-04-01 als EN 61191-6 angenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN und CENELEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2011-01-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2013-04-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61191-6:2010 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

- | | | |
|--------------------|-----------|---|
| IEC 61190-1-3:2007 | ANMERKUNG | Harmonisiert als EN 61190-1-3:2007 (nicht modifiziert). |
| IEC 61191-1 | ANMERKUNG | Harmonisiert als EN 61191-1. |

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Anerkennungsnotiz	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Hohlräume in Lötverbindungen	7
4.1 Allgemeines	7
4.2 Ursachen von Hohlräumen	7
4.3 Einfluss von Hohlräumen	8
4.4 Nachweis von Hohlräumen	8
4.5 Klassifizierung von Hohlräumen	8
5 Messung	9
5.1 Röntgentransmissionsgeräte	9
5.2 Messklima	9
5.3 Messverfahren	10
5.4 Aufzeichnung der Messergebnisse	10
5.5 Betrachtungen zur Messung	11
6 Hohlraumanteil	11
6.1 Berechnung des Hohlraumanteils	11
6.2 Hohlraumanteil bei mehreren Hohlräumen	13
7 Bewertung	13
7.1 Zu bewertende Lötverbindungen	13
7.2 Bewertung der aufgrund von Hohlräumen verminderten Lebensdauer bei Temperaturwechselbeanspruchung	13
7.3 Bewertungskriterien für Hohlräume	14
Anhang A (informativ) Experimentelle Ergebnisse und Simulation von Hohlräumen sowie Verringerung der Lebensdauer durch Wärmebeanspruchung	15
Anhang B (informativ) Röntgentransmissionsgerät	19
Anhang C (informativ) Hohlräume in BGA-Lotbällen	21
Anhang D (informativ) Messung mit bildgebendem Röntgentransmissionsverfahren	35
Literaturhinweise	39
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	40
Bild 1 – Hohlraumanteil	12
Bild 2 – Hohlräume in einer Lötverbindung	14

	Seite
Bild A.1 – BGA-Lötverbindung aus Sn-Ag-Cu	16
Bild A.2 – BGA-Lötverbindung aus Sn-Zn	16
Bild A.3 – LGA-Lötverbindung	17
Bild B.1 – Aufbau des Gerätes	19
Bild C.1 – Ansammlung kleiner Hohlräume an der Lotballanschlussflächen-Grenzfläche	25
Bild C.2 – Röntgenbild von Lotbällen mit Hohlräumen	26
Bild C.3 – Beispiel einer Hohlraumfläche an der Anschlussflächen- oder Leiterplattengrenzfläche	26
Bild C.4 – Hohlräume in BGA mit Rissen, die am Eckanschluss beginnen	31
Bild D.1 – Röntgentransmissionsbildgebung	36
Bild D.2 – Röntgentransmissionsabbildung der Lötverbindung	37
Bild D.3 – Typische Röntgentransmissionsbilder einer Lötverbindung	37
 Tabelle 1 – Klassifizierung von Hohlräumen	 9
Tabelle 2 – Beispiele eines Querschnitts einer Verbindung und Hohlraumanteil	13
Tabelle A.1 – Ermüdungslebensdauer verringert durch Hohlräume in Lötverbindungen von BGA	16
Tabelle A.2 – Ermüdungslebensdauer verringert durch Hohlräume in Lötverbindungen von LGA	17
Tabelle A.3 – Hohlraum-Bewertungskriterien für Lötverbindungen von BGA	18
Tabelle A.4 – Hohlraum-Bewertungskriterien für Lötverbindungen von LGA	18
Tabelle C.1 – Hohlraum-Klassifizierungt	26
Tabelle C.2 – Korrekturindikator für verwendete Anschlussflächen mit einem Raster von 1,5 mm, 1,27 mm oder 1,0 mm	27
Tabelle C.3 – Korrekturindikator für verwendete Anschlussflächen mit einem Raster von 0,8 mm, 0,65 mm oder 0,5 mm	29
Tabelle C.4 – Korrekturindikator für verwendete Anschlussflächen mit Verbindungsloch im Anschlusspad mit einem Raster von 0,5 mm, 0,4 mm oder 0,3 mm	32
Tabelle C.5 – Bildvergleich des Lotballs- und Hohlraumgrößen (Größenverhältnis) für gewöhnliche Kugelkontaktdurchmesser	33
Tabelle C.6 – C = 0 Probenahmeplan (Probengröße für bestimmte Indexwerte)	34

Einleitung

Die Notwendigkeit der Bewertung von Hohlräumen in Lötverbindungen nimmt in der Industrie zu, da die Hohlräume die Zuverlässigkeit der Verbindungen beeinträchtigen können und die Bauteile kleiner werden. Da sich die Anzahl der Verbindungen erhöht, muss die Zuverlässigkeit je Lötverbindung ebenfalls größer werden.

In einigen Ländern und Handelsorganisationen wurde dieses Thema diskutiert, und es wurden bestimmte Vorschläge für die Klassifizierung oder Bewertung von Hohlräumen gemacht, um Prozessrichtlinien zu entwickeln. Das gleiche Thema wurde auch wissenschaftlich untersucht, um den Zusammenhang zwischen Hohlräumen und Zuverlässigkeit einer Lötverbindung zu ermitteln. Die Zuverlässigkeitsuntersuchungen lieferten nennenswerte Ergebnisse, einschließlich des Zusammenhangs zwischen der (geometrischen) Form der Hohlräume und der auf Hohlräumen in einer Verbindung beruhenden Verringerung der Lebensdauer bei Temperaturwechselbeanspruchung.

Auf Grundlage der verfügbaren Informationen wurden Bewertungskriterien für Hohlräume in gelöteten Lotball-Verbindungen für BGA (Rasteranordnung von Kugelanschlüssen, en: ball grid array) und LGA (Rasteranordnung von Anschlussflächen, en: land grid array) aufgestellt.

1 Anwendungsbereich

Der vorliegende Teil der IEC 61191 legt die Bewertungskriterien für Hohlräume auf der Skala der Lebensdauer bei Temperaturwechselbeanspruchung und das Hohlraum-Messverfahren mittels Röntgenuntersuchung fest. Dieser Teil der IEC 61191 gilt für Hohlräume, die in den Lötverbindungen von BGA und LGA beim Oberflächenmontieren auf eine Leiterplatte erzeugt werden. Dieser Teil der IEC 61191 gilt nicht für das BGA-Gehäuse selbst, bevor es auf eine Leiterplatte montiert wurde.

Diese Norm gilt außer für BGA und LGA auch für Bauteile mit Verbindungen, die durch Schmelzen und Wiedererstarrung hergestellt werden, wie z. B. Flip-Chip-Bauteile und Multichip-Module. Die Norm gilt nicht für Verbindungen mit Unterfüllung zwischen Bauteil und Leiterplatte oder für Lötverbindungen innerhalb eines Bauteilgehäuses.

Diese Norm gilt für Hohlräume mit Größen von 10 Mikrometer bis einigen Hundert Mikrometer, die beim Lötvorgang entstehen, jedoch nicht für Hohlräume mit kleinerem Durchmesser als 10 Mikrometer (typischerweise flächige Mikrohohlräume).

Diese Norm ist für Bewertungszwecke vorgesehen und gilt für

- Forschungsstudien,
- Off-line-Kontrolle des Produktionsprozesses und
- Zuverlässigkeitsbeurteilung der Baugruppe.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60068-1:1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*
Amendment 1:1992

IEC 60194:2006, *Printed board design, manufacture and assembly – Terms and Definitions*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60194 und die folgenden Begriffe. Die Begriffe „BGA“ und „LGA“ wurden lediglich zur Information des Lesers hinzugefügt, siehe auch IEC 60194.

3.1

Rasteranordnung von Kugelschlüssen

BGA (en: ball grid array)

ein Gehäuse zur Oberflächenmontage, bei dem die Anschlusshöcker als Gitter am Gehäuseboden ausgebildet sind

[IEC 60194, 34.1096]

3.2

Rasteranordnung von Anschlussflächen

LGA (en: land grid array)

ein Oberflächenmontagegehäuse mit den Anschlussflächen als Flächenraster am Gehäuseboden

[IEC 60194, 33.1891, modifiziert]

3.3

Hohlraumanteil

Verhältnis der Querschnittsfläche des Hohlraums in einer Lötverbindung zur maximalen Querschnittsfläche der Verbindung.

ANMERKUNG Die praktische Berechnung für eine Hohlraumbewertung ist in 6.1 festgelegt.

3.4

Makrohohlräume

die am häufigsten auftretenden Hohlräume in Lötverbindungen, sie werden durch flüchtige Verbindungen verursacht, die während des Lötvorgangs auftreten, und haben üblicherweise einen Durchmesser von mehr als 10 µm

3.5

flächige Mikrohohlräume

eine Serie kleiner Hohlräume, die sich zwischen den Leiterplattenanschlussflächen und dem Lot befinden, sie werden durch den Oberflächenzustand der Leiterplatte verursacht

4 Hohlräume in Lötverbindungen

4.1 Allgemeines

Eine Änderung der Hohlraumgröße oder -häufigkeit kann ein Anzeichen für die Notwendigkeit einer Anpassung der Herstellungsparameter sein. Zwei belegte Ursachen für Hohlräume sind eingeschlossenes Flussmittel, das nicht genügend Zeit hatte, um aus der Lotpaste freigesetzt zu werden, oder Verunreinigungen auf unzureichend gereinigten Leiterplatten. Hohlräume erscheinen (beim Röntgen) als hellere Bereiche innerhalb der Lotbälle und werden üblicherweise über das Gehäuse willkürlich verteilt gefunden.

4.2 Ursachen von Hohlräumen

Es können Hohlräume in einem BGA-Lotball, in der Lötverbindung an einer LSI-Gehäusegrenzfläche oder in der Lötverbindung an einer Leiterplattengrenzfläche auftreten. Für diese Hohlräume können verschiedene Quellen und Gründe verantwortlich sein. So können in den BGA-Lotkugeln bereits vorhandene Hohlräume, die auf dem Herstellungsprozess der Lotkugeln beruhen können, bestehen bleiben. Die Hohlräume können in die Aufschmelzlötverbindung entweder durch in den Lotkugeln des Ausgangsbauelements vorhandene Hohlräume oder während des Aufschmelz-Montageverfahrens eingebracht werden. Außerdem können sich Hohlräume während der Oberflächenmontage nahe der Leiterplattengrenzfläche bilden. Diese Hohlräume bilden sich üblicherweise während des Aufschmelzlötvorgangs durch flüchtige Flussmittelbestandteile, die beim Verfestigen des geschmolzenen Lots eingeschlossen werden. Die Quelle flüchtiger Flussmittelbestandteile kann entweder das angewendete Flussmittel selber sein (üblicherweise beim Nacharbeiten/Umlöten) oder einer der Bestandteile der beim Aufschmelzmontageprozess verwendeten Lotpaste.

Neben den Hohlräumen, deren Bildung auf der Bauweise mit Verbindungsloch im Anschlusspad beruht, werden einige Hohlräume von der Mitte bis zur Spitze (Kugelananschluss-Bauteil-Grenzfläche) der Aufschmelzlötverbindung nachgewiesen. Das ist zu erwarten, da die eingeschlossene Luftblase und das verdampfte Flussmittel, das auf die Leiterplatten-Anschlussflächen aufgetragen wurde, im Verlauf des Aufschmelzens nach oben steigen. Dies tritt ein, wenn die aufgetragene Lotpaste und die forminstabilen (selber schmelzenden) BGA-Lotkugeln während des Aufschmelzvorgangs miteinander verschmelzen. Wenn der Aufschmelztemperaturverlauf nicht ausreichend Zeit zulässt, dass die eingeschlossene Luft bzw. das verdampfte Flussmittel entweichen kann, wird beim Festwerden des geschmolzenen Lots in der Abkühlungsphase des Aufschmelzverlaufs ein Hohlraum gebildet. Aus diesem Grund ist die Entwicklung des möglicherweise zur Hohlraumbildung beitragenden Aufschmelztemperaturverlaufs äußerst wichtig.

Die Hohlraumbildung kann auch das Ergebnis einer Oberflächenverunreinigung an der Bauelement-Anschlussfläche oder der Leiterplatten-Anschlussfläche, einer Legierungsbildung zwischen Lotball und Anschlussfläche oder von nicht ausgetriebenen Flussmittlrückständen aus dem Montageprozess sein.

4.3 Einfluss von Hohlräumen

Wie viele Hohlräume und von welcher Größe sollten im Produkt zulässig sein, bevor sie die für das Produkt geforderte Zuverlässigkeit beeinträchtigen? Hohlräume können die Zuverlässigkeit durch Schwächung der Lotbälle und Vermindern der Funktionalität beeinträchtigen, weil der geminderte Querschnitt ein geringeres Wärme- und Stromübertragungsvermögen hat. Große Hohlräume sind ungünstiger, allerdings können sich auch bereits vorhandene kleine Hohlräume während des Aufschmelzens zu größeren Hohlräumen vereinigen. Deshalb wird eine Beseitigung von Hohlräumen oder zumindest eine wesentliche Verminderung im Allgemeinen bevorzugt.

4.4 Nachweis von Hohlräumen

Für den Nachweis von Hohlräumen in BGA- und LGA-Lötverbindungen ist eine Röntgenuntersuchung erforderlich. Kostenaufwendigere Geräte beruhen auf der Röntgen-Tomographie (Senkrechtopjektion) oder -Laminographie (Schrägprojektion). Beide Arten dieser Systeme liefern nützliche Verfahren für den Nachweis und die Lokalisierung von Hohlräumen.

Röntgensysteme neigen in Abhängigkeit von den Messbedingungen zur Verzerrung der Größe von Hohlräumen. Es ist möglich, das wahre Volumen eines Hohlraums genau zu messen, jedoch kann das dafür erforderliche Verfahren eine bekannte Bezugsgröße für die radiometrische Kalibrierung des Röntgenfilms oder -detektors erfordern. In den meisten Fällen ist es günstiger, den erhöhten Aufwand der Identifizierung und Beseitigung der Ursache(n) von Hohlräumen zu widmen.

4.5 Klassifizierung von Hohlräumen

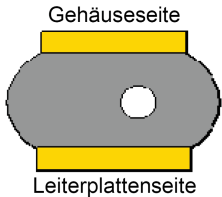
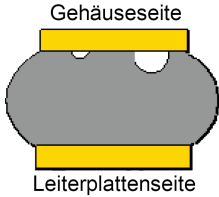
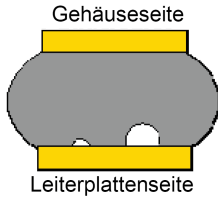
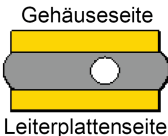
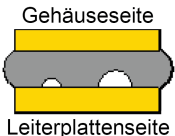
Um die verschiedenen Zustände/Bedingungen zu beurteilen, wurde Hohlräumen ein bestimmter Bezeichner auf Grundlage der räumlichen Lage zugeordnet, um ein Verfahren für die Identifikation aufzustellen und die Möglichkeit einer Korrekturmaßnahme zur Prozessverbesserung einzurichten. Die Einzelheiten sind in Tabelle 1 angegeben, in der die Klassifizierungskriterien für die Lage von Hohlräumen in der BGA-Lotballstruktur (Kugelanschlusstruktur) angegeben werden.

Die folgenden Bezeichnungen kennzeichnen die drei verschiedenen Hohlraumarten:

- Typ C: Hohlraum innerhalb des Kugelanschlusses nach dem Prozess der Leiterplattenbestückung (Oberflächenmontage);
- Typ D: Hohlraum an der Grenzfläche zwischen Kugelanschluss und Gehäusesubstrat nach dem Prozess der Leiterplattenbestückung;
- Typ E: Hohlraum an der Grenzfläche zwischen Kugelanschluss und Leiterplattensubstrat nach dem Prozess der Leiterplattenbestückung.

Das vorliegende Dokument legt die Bewertungskriterien für Hohlräume in Lötverbindungen und die Zuverlässigkeit der Verbindungen der auf einer Leiterplatte montierten Bauteile fest. Diese Norm gilt nicht für in BGA-Gehäusen im Lieferzustand vorhandene Hohlräume (Typ A und Typ B in Tabelle C.1), da bisher kein Zusammenhang zwischen Hohlräumen im Lieferzustand und Hohlräumen nach Bestückung bestätigt wurde.

Tabelle 1 – Klassifizierung von Hohlräumen

	Typ C Hohlraum innerhalb der Verbindung	Typ D Hohlraum an der Gehäusegrenzfläche	Typ E Hohlraum an der Leiterplattengrenzfläche
Hohlraum in BGA- Lötverbindung			
Hohlraum in LGA- Lötverbindung			

5 Messung

5.1 Röntgentransmissionsgeräte

Es wird ein Mikrofokus-Röntgentransmissionsgerät verwendet, mit dem ein auf einer Leiterplatte montiertes BGA- oder LGA-Bauteil von der Ober- oder Unterseite aus senkrecht zur Leiterplatte beobachtet werden kann. Erforderlichenfalls kann auch ein Röntgen-Computertomographiegerät (CT-Gerät) verwendet werden.

Das Prüfgerät sollte folgende Spezifikation und Leistung haben. Ein Beispiel für die Spezifikation eines verfügbaren Gerätes ist in Anhang B beschrieben.

- maximale Spannung: mindestens 120 kV;
- das Merkmal der Brennfleckgröße: typischerweise 2 µm;
- maximale geometrische Vergrößerung: mehr als 100fach.

Überlicherweise zur Verfügung stehende Röntgentransmissionsgeräte können in der Graustufenempfindlichkeit, die sie im Bild liefern, variieren, was seinerseits einen Einfluss auf die Genauigkeit der Flächenberechnung haben kann. Es sollte beachtet werden, dass Geräte mit einer niedrigeren Graustufenempfindlichkeit bewirken können, dass die Hohlräume mit einer verminderten Größe (und somit einem niedrigeren Wert) innerhalb der Lötverbindung erscheinen, da die Empfindlichkeit nicht ausreicht, um die wahren Kanten des kugelförmigen Hohlraums zu beobachten und die kleinsten Hohlräume überhaupt nicht sichtbar können sein. Es wird empfohlen, dass ein für diese Norm verwendetes Röntgengerät eine ausreichende Leistungsfähigkeit besitzt, damit ein Hohlraum von 20 µm (bei einer 6-schichtigen doppelseitigen Leiterplatte) gesehen werden kann.

5.2 Messklima

Wenn nicht anders festgelegt, sollte die Messung unter Konditionierung des Prüflings unter normal-klimatischen Bedingungen (Normalklima), wie in IEC 60068-1 festgelegt, durchgeführt werden.

ANMERKUNG Die Normbedingungen sind:

- Temperatur: 15 °C bis 35 °C;
- relative Luftfeuchte: 25 % bis 75 %;
- Luftdruck: 86 kPa bis 106 kPa.

5.3 Messverfahren

Nachfolgend ist ein typisches Verfahren für die Referenzmessung der Verbindungsgröße und Hohlraumgröße unter Anwendung eines Röntgentransmissionsgerätes mit Flächenberechnungsfunktion beschrieben. Für einen höheren Durchsatz bei einer erforderlichen Mindestgenauigkeit können verschiedene Verfahren angewandt werden.

- a) Es ist ein Bild der Lötverbindungen aufzunehmen und die zu messende Verbindung mit den Hohlräumen zu identifizieren. Für einen höheren Durchsatz können mehrere Verbindungen auf einem Bildschirm erfasst werden.
- b) Zum Zweck der Messung ist, die geometrische Vergrößerung zu bestimmen. Für genaue Messung wird empfohlen, dass nur eine Lötverbindung auf einem Bildschirm erfasst wird. Zum Beispiel wird für die Messung einer Verbindung mit einem Durchmesser von 500 μm eine ca. 80fache Vergrößerung empfohlen. Wenn eine höhere Auflösung eines Bilddigitalisierungsgerätes zur Verfügung steht, können mehrere Lotbälle auf einem Bildschirm erfasst werden. Je Lotball wird ein Durchmesser von mehr als 400 Pixel auf dem Bildschirm empfohlen.
- c) Es ist ein Bild des Hohlraums mit zum Durchdringen der Verbindung ausreichender Intensität der Röntgenstrahlung (zum Beispiel Röhrenspannung von 100 kV) aufzunehmen, und es sind die Intensität der Röntgenstrahlung und die Bildgebungsbedingungen anzupassen.
- d) Die Hohlraumumrissgröße ist zu messen und die Querschnittsfläche des Hohlraums zu berechnen.
- e) Bei mehreren Hohlräumen sind die Verfahren c) und d) zu wiederholen. Gemäß 6.2 kann die Messung kleinerer Hohlräume weggelassen werden.
- f) Es ist ein Bild der Verbindung mit zum Nachweisen ausreichender Intensität der Röntgenstrahlung (zum Beispiel Röhrenspannung von 40 kV) aufzunehmen, und es sind die Intensität der Röntgenstrahlung und die Bildgebungsbedingungen anzupassen.
- g) Die Umrissgröße der Verbindung ist zu messen und die Querschnittsfläche der Verbindung zu berechnen.
- h) Der Hohlraumanteil für die Lötverbindung ist zu berechnen.
- i) Wenn mehrere Lötverbindungen zu messen sind, sind die Verfahrensschritte c), d), e), f), g) und h) zu wiederholen.

Wenn unter diesen Bedingungen kein wesentlicher Unterschied zwischen den berechneten Ergebnissen besteht, kann in Verfahrensschritt f) dieselbe Bedingung wie in Verfahrensschritt c) angewandt werden.

Bei den Verfahrensschritten c) und f) können vorbestimmte Bedingungen wiederholt angewendet werden, wenn die gleichen Messungen wiederholt werden, wie die Messung an verschiedenen Punkten desselben LSI-Gehäuses.

5.4 Aufzeichnung der Messergebnisse

Wenn nicht anders festgelegt, sollten folgende Messergebnisse für jede Lötverbindung aufgezeichnet werden:

- a) Hohlraumanteil (O_v);
- b) Röntgenbild.

Die folgenden zusätzlichen Daten können bei Bedarf aufgezeichnet werden:

- c) Querschnittsfläche der Hohlräume ($A_{v1}, A_{v2}, A_{v3} \dots A_{vn}$);
- d) maximale Querschnittsfläche der Lötverbindung (A_{smax}).

5.5 Betrachtungen zur Messung

5.5.1 Intensität der Röntgenstrahlung für den Hohlraumnachweis

Für die Messung von Hohlräumen in Lötverbindungen ist eine ausreichende Intensität der Röntgenstrahlung (Röhrenspannung beträgt zum Beispiel 100 kV) zur Durchdringung der Verbindung erforderlich. Ist die Röntgenstrahlungsintensität nicht ausreichend (Röhrenspannung beträgt zum Beispiel 40 kV), wird die Röntgenstrahlung unabhängig davon, ob ein Hohlraum im Strahlungsweg vorhanden ist oder nicht, fast vollständig absorbiert, und der Hohlraum kann nicht abgebildet werden, sondern nur der Schatten der Verbindung.

5.5.2 Feststellung der tatsächlichen Kante

Die Dicke des Lots im Röntgenstrahlungsweg ändert sich allmählich an der Peripherie eines Hohlraums und einer Verbindung. Ein Röntgentransmissionsbild eines Hohlraums und einer Verbindung wird mit der Schwarz-Weiß-Abstufung an seiner Peripherie erhalten. Für eine genaue Messung ist es sehr wichtig, den äußeren Rand der Abstufung zu erkennen und die Maximalgröße der Verbindungsumrissabbildung zu messen.

5.5.3 Überprüfung der Messergebnisse

Dem Nutzer sollte ein Verfahren zur Verfügung stehen, das einen akzeptablen Zusammenhang zwischen der Messung und der tatsächlichen Größe des Hohlraums vermittelt. Die Überprüfung mit Hilfe eines Musters mit bekannten Maßen oder eine Betrachtung des Querschnitts wird empfohlen.

6 Hohlraumanteil

6.1 Berechnung des Hohlraumanteils

Der in 3.3 definierte Hohlraumanteil O_V wird aus der maximalen Querschnittsfläche der Lötverbindung, A_{smax} , und der Querschnittsfläche des Hohlraums, A_V , berechnet. Die maximale Querschnittsfläche der Lötverbindung, A_{smax} , wird aus dem projizierten Bild dieser Verbindung gemessen. Unabhängig von der Lage des Hohlraums in der Verbindung wird auch dessen Querschnittsfläche, A_V , bestimmt.

$$O_V = \frac{A_V}{A_{smax}} \quad (1)$$

Dabei ist

- O_V der Hohlraumanteil;
- A_{smax} die maximale Querschnittsfläche der Lötverbindung;
- A_V die Querschnittsfläche des Hohlraums.

Wenn zum Beispiel die Lotballgröße 300 µm und die Hohlraumgröße 50 µm im Durchmesser beträgt und der Querschnitt des Hohlraums und der der Verbindung nahezu kreisförmig sind, wird der Hohlraumanteil folgendermaßen berechnet:

$$\text{Hohlraumanteil } A = \frac{s}{S_{max}} = \frac{\frac{\pi}{4}(50)^2}{\frac{\pi}{4}(300)^2} = 0,028 \cong 3\% \quad (3)$$

Der Zusammenhang zwischen dem durch Röntgen(strahlung) erfassten Querschnittsbild und dem Hohlraumanteil ist in Tabelle 2 dargestellt.