

Richtig Röntgen

3D-Prüfkonzepte für MXI und AXI

In der SMD-Fertigung kommt zur Qualitätskontrolle der Baugruppen neben Lotpasteninspektion (SPI) und automatischer optischer Inspektion (AOI) auch die Manuelle Röntgeninspektion MXI (offline) und die Automatische Röntgeninspektion AXI (inline) zum Einsatz. 3D-Merkmale liefern dabei nicht nur bei SPI und AOI, sondern auch bei MXI und AXI wichtige Informationen für die Qualitätssicherung. In der Röntgentechnologie sind verschiedene Konzepte der 3D-Technik verfügbar. Für eine Einschätzung der verschiedenen Prüfkonzepte ist es sinnvoll, diverse Randbedingungen zu beachten und Ziele für die Prüfung zu definieren.

Nicht alle Lötstellen auf Baugruppen sind optisch sichtbar: Bauelemente wie das Ball Grid Array (BGA) haben ihre Lötstellen unter dem Bauteil und entziehen sich damit einer normalen optischen Lötstelleninspektion. Viele Leistungsbaulemente haben Kühlflächen unter dem

Bauelement und müssen zur Wärmeabfuhr auf korrekte Flächenlötung geprüft werden. Aus diesen Gründen wird nach dem Löten vermehrt Röntgeninspektion mit MXI oder AXI betrieben, um diese „unsichtbaren“ Lötstellen einer Qualitätskontrolle zu unterziehen. Dabei stellt sich die Frage, wie geprüft werden soll: mit 2D-, „2.5D“- oder 3D-Technologie? Inline oder offline? Stichprobe oder 100 % Prüfung? Hilfreich ist auf jeden Fall, sich über die notwendige Prüfabdeckung klarzuwerden, um dann im Abgleich mit den verschiedenen verfügbaren Technologien ein stimmiges Gesamtkonzept zu entwickeln.



Ausschnitt einer typischen Baugruppe mit verdeckten Lötstellen (QFN)

Typische Fehler verdeckter Lötstellen

Wie erwähnt wird die Röntgeninspektion häufig zur Kontrolle verdeckter Lötstellen eingesetzt. Bauelemente mit verdeckten Lötstellen sind beispielsweise:

- BGA
- QFN (Quad Flat No-lead package)
- Leistungsbaulemente
- DFN (Discrete Flat No-lead package)

BGA und QFN sind im Rahmen der Miniaturisierung schon seit langem von modernen, anspruchsvollen Baugruppen nicht mehr wegzudenken. Auch DFN-Bauformen werden häufiger und vielfältiger in der SMD-Fertigung im Bereich der Transistor- und Dioden-Bauteile eingesetzt. Neben dem reduzierten Platzbedarf gehören eine erhöhte elektrische Leistung, eine geringere Bauteilhöhe und eine bessere Wärmeableitfähigkeit zu ihren Vorteilen.

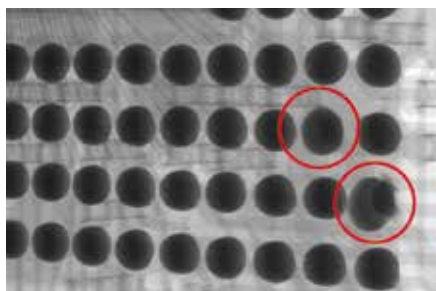
Gerade bei QFN und DFN wird häufig versucht, die Lötfehler durch eine op-

tische Inspektion zu finden. Dies gelingt aber nur, wenn die Bauteile eine spezielle, von außen sichtbare und benetzbare Padkante aufweisen und das AOI Schrägsichtkameras bereitstellt. Eine universelle und sichere Lösung stellt die Röntgeninspektion dar.

Beim BGA können beispielsweise die folgenden Fehlerarten unterschieden werden:

- Head in pillow (HIP)
- Voids (Einschlüsse)
- Brücken
- No wetting (Keine Verbindung zwischen Pad und Paste/Ball)

Bei einem HIP sind der Ball des BGA und das Pastendepot auf dem Pad vor dem Löten im Prinzip völlig in Ordnung. Beim Löten verbinden sich Ball und Paste aber nicht, vielmehr ruht am Ende der Ball im Pad wie ein Kopf in einem Kopfkissen (Head In Pillow). Der HIP stellt eine sehr spezielle und für die Röntgeninspektion anspruchsvolle Prüfaufgabe dar. Zum einen sind die Ursachen bisher nicht vollständig bekannt, so dass HIP in einer laufenden Serienfertigung oft längere Zeit nicht auftritt, um dann über einen gewissen Zeitraum verstärkt beobachtet zu werden. Zum anderen ist die bildliche Ausprägung in einer senkrechten Durchstrahlung (2D), einer Schrägdurchstrahlung (2.5D) und auch in einem Schichtbild (3D) einer korrekten Lötstel-



HIP am BGA



HIP am BGA, vertikaler Schnitt

le sehr ähnlich. Das obere Bild zeigt zwei HIP (je zweite Lötstelle von links und rechts) auf einem realen Produktionsboard in einem senkrechten Schnitt. Der linke Ball weist einen Void auf.

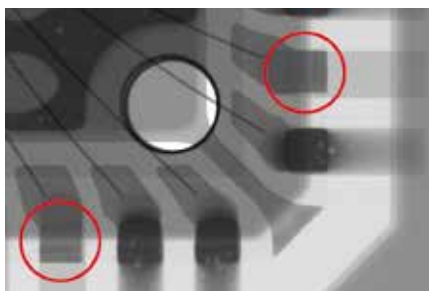
Insgesamt hat das reale Fehlerpektrum in der jeweiligen Produktion Auswirkungen auf die Auswahl der Prüftechnik und des Prüfkonzepts.

2D-, 2.5D- und 3D-Röntgentechnologie

Im Bereich der Röntgenprüfsysteme werden generell die folgenden Ansätze unterschieden:

- 2D: Senkrechte Durchstrahlung der Baugruppe
- „2.5D“: Schräge Durchstrahlung der Baugruppe, ggf. aus unterschiedlichen Richtungen
- 3D: Schräge Durchstrahlung der Baugruppe aus mehreren Richtungen mit 3D-Rückrechnung/Schichtbildberechnung

Die Nutzung des 2D-Ansatzes setzt voraus, dass die zu betrachtende Lötstelle nicht abgeschattet ist, beispielsweise durch auf der anderen Baugruppenseite bestückte Bauelemente. Zudem müssen



Lötzinn fehlt am QFN, Teilansicht

die jeweils relevanten Fehlerarten im Bild der 2D-Durchstrahlung erkennbar sein. Gegebenenfalls muss hierfür das Pad-design angepasst werden (Teardrop-Design). Die Vorteile des 2D-Ansatzes sind eine relativ hohe Geschwindigkeit (je Szene wird nur eine Bildaufnahme benötigt) und ein geringer technischer Aufwand. Allerdings bleiben die Flexibilität und die Prüftiefe entsprechend limitiert.

Bei dem 2.5D-Ansatz können Abschattungen besser behandelt bzw. beseitigt werden, soweit die verfügbaren Ansichten dies erlauben. Im Allgemeinen sind die Fehler in der Schrägdurchstrahlung besser erkennbar. Der technische Aufwand steigt, da zur Erzeugung der Schrägsichten mehrere Bildwandler oder ein beweglicher Bildwandler erforderlich sind.

Der 3D-Ansatz erlaubt eine optimale Behandlung bzw. Beseitigung von Abschattungen, soweit genug verschiedene und hinreichend schräge Ansichten in die 3D-Rückrechnung einfließen. Die Fehlererkennung ist nicht prinzipiell besser, da durch die Verrechnung der Ansichten und damit verbundener Artefakte auch Informationsverluste eintreten können. Allerdings werden im Gegensatz zur 2D- oder 2.5D-Prüfung bestimmte Fehler überhaupt erkennbar, beispielsweise auf doppelseitig dicht bestückten Baugruppen, wo 2D unter Umständen völlig versagt und 2.5D mindestens einen enormen Einrichte- und Programmieraufwand bedeutet. Mit dem 3D-Ansatz geht ein erhöhter technologischer Aufwand einher, der im Folgenden beschrieben wird.

3D-Röntgentechnologie

Unter „3D“ wird bei den Röntgenprüf-systemen die Möglichkeit der Erzeugung von Schnitt- bzw- Schichtbildern verstanden. Bei doppelseitig bestückten Leiterplatten oder Package-on-Package (PoP) bietet dies die Möglichkeit, eine bestimmte „Ebene“ herauszuarbeiten und die anderen, störenden Ebenen zu eliminieren. Die Vorteile sind:

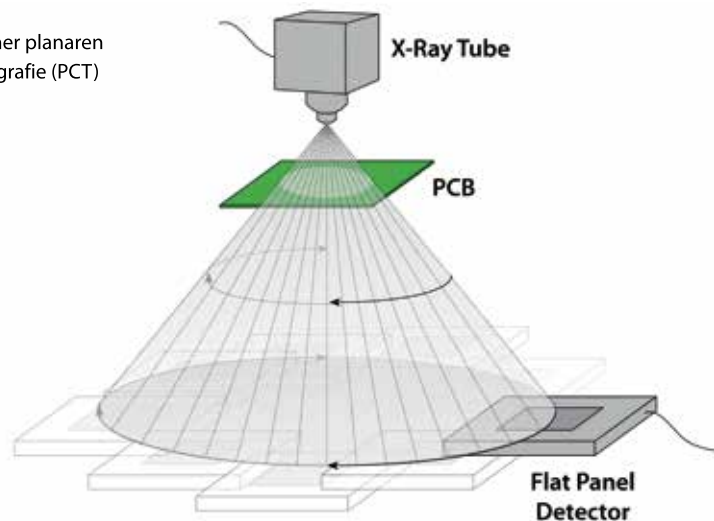
- Herstellung der Prüfbarkeit
- Verringerter Programmieraufwand, da weniger manuelle Anpassungen
- Mehr Informationen am Verifikationsplatz für den Operator, dadurch weniger Humanschlupf

Zumeist befindet sich die Baugruppe zwischen der Röntgenröhre und dem Bildwandler. Je nach dreidimensionaler Anordnung dieser drei Elemente erhält man eine Schrägdurchstrahlung mit einem bestimmten Winkel und einer bestimmten Vergrößerung bzw. Auslösung. Die Qualität der 3D-Rückrechnung wird von folgenden Einflussfaktoren bestimmt:

- Anzahl verschiedener Schrägdurchstrahlungen (je mehr je besser)
- Winkelabweichung aus der Senkrechten (je schräger je besser, bis zu einem gewissen Grenzwinkel)
- Gewählte Vergrößerung bzw. effektive Pixelauflösung auf dem Bildwandler (je höher je besser)
- Art des Bildwändlers
- Anzahl und Größe der Bildwandler
- Art des Rückrechnungsverfahrens

Die Aufzählung verdeutlicht, dass eine höhere Qualität mit vielen Ansichten und einer hohen Auflösung immer mit einer Reduktion der Prüfgeschwindigkeit einhergeht. Dieser Reduktion kann ggf. durch einen erhöhten technischen

Prinzipskizze einer planaren Computertomografie (PCT)



Aufwand (Bildwandler mit großer Fläche bzw. vielen Pixeln, Einsatz mehrerer paralleler Bildwandler) begegnet werden.

Besonders bei der Art des Bildwändlers gibt es deutliche Unterschiede, gebräuchlich sind:

- Analoge Bildverstärker (BV)
- Flat-Panel-Detektoren (FPD)
- TDI-Röntgenzeilenkameras (TDI)

BV haben ein Eingangsfenster, auf dem die Röntgenstrahlung nach der Durchstrahlung der Baugruppe auftritt. Auf dem Ausgangsfenster des BV ist nach der Bildwandlung das Röntgenbild zu sehen und muss durch eine Kamera dem Analyserechner zugeführt werden. BV als Bildwandler bei 3D-Röntgensystemen haben sich nicht bewährt. Zwar gab es Versuche mit großen (z. B. 16“) BV, bei denen die Schrägdurchstrahlungen durch eine Unterteilung des Eingangsfensters in Sektoren realisiert worden, aber die limitierte Bildqualität eines BV hat einen negativen Einfluss auf die Qualität der 3D-Ergebnisbilder.

FPD haben eine sehr hohe Bildqualität und liefern am Ausgang/Interface bereits

ein digitales Bildsignal. Sie sind in verschiedenen Größen (Pixelzahl) erhältlich, mit der Pixelzahl steigt allerdings der Preis. Ein paralleler Einsatz zur Erzeugung der verschiedenen Ansichten ist technologisch eher schwierig. Stattdessen ist eine flexible Auslenkung des FPD aus der Senkrechten sinnvoll. Je nach Größe der Auslenkung können auch größere Schrägwinkel realisiert werden. Durch eine höhere Anzahl der verwendeten Auslenkungen/Positionen des FPD kann die Qualität der 3D-Rückrechnung stark gesteigert werden, allerdings um den „Preis“ eines höheren Zeitbedarfs für die Bildaufnahme.

TDI-Kameras arbeiten nach dem TDI-Prinzip (Time Delay Integration) und verbinden eine verbesserte Bildqualität mit einer sehr hohen Datenrate. Durch die kompakte Bauweise hat man die Möglichkeit des Paralleleinsatzes mehrerer TDI. Ordnet man beispielsweise 9 TDI in einer Ebene in den richtigen Abständen an, so erhält man beim Scannen 9 Ansichten parallel. Um alle Punkte der Baugruppe in den 9 Ansichten zu erfassen, sind am Anfang und Ende des Scannens entsprechende Zusatzscans notwendig. TDI-Kameras eignen sich also besonders,

wenn größere Flächen der Baugruppe in kurzer Zeit für eine 3D-Rückrechnung erfasst werden sollen.

Rahmenbedingungen der Röntgenprüfung

Es gibt einige äußere Einflussfaktoren, die das Konzept der Röntgenprüfung erheblich beeinflussen können:

- Kundenanforderungen für die Prüfung
- Einsatzgebiet der Baugruppen
- Aufbau der Fertigungslinie

Soweit seitens des Kunden keine besonderen Anforderungen vorliegen, reicht eine stichprobenartige Röntgenprüfung mit einem 3D-MXI häufig aus. Insbesondere dann, wenn durch 3D-SPI und eine entsprechende Qualität der Bestückung das Löten der BGA erfahrungsgemäß kein Problem darstellt. Der Nachweis erfolgt dann durch ebendiese stichprobenartige Kontrolle.

Werden die Baugruppen allerdings in sicherheitsrelevanten Gebieten eingesetzt – z. B. Automotive, Luftfahrt etc. – so existiert häufig die Kundenforderung

nach einer 100 % Kontrolle aller Lötstellen. Bei den verdeckten Lötstellen bedeutet das eine Röntgenprüfung, in der Regel inline, d. h. MXI scheidet hier aus.

In anderen Bereichen wie Consumer, Computer und Communication (CCC) wird häufig sehr eng bestückt, und die Prüfung soll am Ende der Fertigungslinie in doppelseitig bestücktem Zustand stattfinden. In diesem Fall sind häufig auch schon Abdeckungen (Shieldings) montiert und auch SMDs mit eigentlich sichtbaren Lötstellen nicht mehr optisch prüfbar. Hier wird man möglichst die gesamte Baugruppe mit 3D-Röntgentechnik prüfen wollen.

Optimales Röntgensystem-Portfolio

Um unter den genannten Umständen für jeden Anwendungsfall eine passende Lösung für die Röntgenprüfung anbieten zu können, erscheint folgendes Portfolio optimal:

- MXI: Flexibles Offline-System zur Prüfung von Stichproben und kleinen bis mittleren Aufträgen mit 3D-Funktionalität
- 3D-AOI-/AXI-Kombisystem: Inline-System zur kombinierten, ausbalancierten AOI- und flexiblen 3D-AXI-Prüfung
- 3D-AXI: Vollflächige 3D-Inspektion beidseitig bestückter Baugruppen



Universelles 3D-AXI Viscom X7056 mit FPD und mit optionaler AOI

Aus den genannten Gründen hat Viscom sein Röntgensystem-Portfolio erweitert und vorhandene Systeme einer Modellpflege unterzogen.

Viscom X8011 PCB:

Dieses MXI hat einen Manipulator mit 5 Achsen, so dass beliebige Durchstrahlwinkel möglich sind. Durch eine Rotationsachse ist eine 3D-Computertomografie möglich. Die X8011 PCB erlaubt auch einen halbautomatischen Betrieb, d. h. es können Positionen geteicht werden und im Batchbetrieb abgefahren werden. Alternativ kann auch die Software der Viscom-AXI verwendet werden, um so beim Batchbetrieb auch eine vollautomatische Auswertung zu realisieren.

Viscom X7056 FPD:

Die X7056 ist ein bewährtes Viscom-AXI, das eine parallele AOI-Prüfung im vorderen Bereich der Anlage erlaubt. Im Rahmen einer Modellpflege wurde im AOI-Teil das neue AOI-Sensormodul XM8-3D verfügbar gemacht, welches 100 % kompatibel zu den entsprechenden Viscom-AOIs ist und neben Schrägsichtkameras auch eine echte 3D-Funktion aufweist.



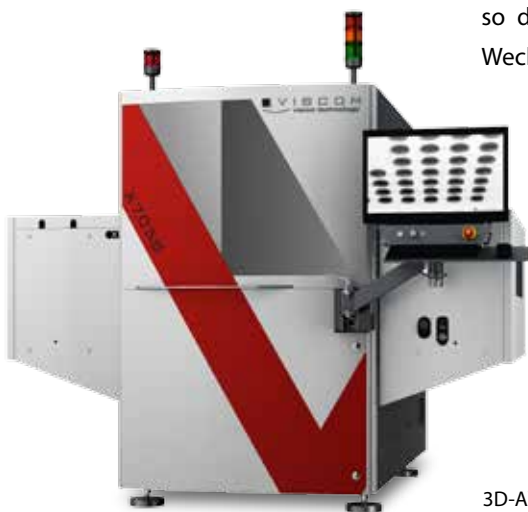
Röntgeninspektion mit der X8011 PCB

Im Röntgenteil können statt der Bildverstärker jetzt Flat-Panel-Detektoren angeboten werden. Der FPD ist über ein xy-Achssystem beweglich, so dass 3D-Auswertungen in verschiedenen Qualitäts- und Durchsatzstufen möglich sind. Um auch bei Verwendung vieler Ansichten (hohe Qualität der Rückrechnung) einen hinreichenden Durchsatz zu gewährleisten sind verschiedene FPD-Größen verfügbar. Bei einfachen Anwendungsfällen kann natürlich mit 2D oder 2.5D mit entsprechend höherem Durchsatz geprüft werden.

Viscom X7058:

Dieses System wurde völlig neu entwickelt und wird demnächst vorgestellt. Es ist ein reines 3D-System und erfasst die gesamte Baugruppe gleichzeitig aus mehreren Ansichten, so dass eine komplette 3D-Rückrechnung möglich ist. Dies ist ideal für hochintegrierte und doppelseitig bestückte Baugruppen, da keine Programmierarbeit zur Behandlung der Abschattungsfälle notwendig ist. In vielen Anwendungsfällen wird sogar auf das AOI verzichtet und auch die Standard-SMDs AXI-geprüft.

Ein weiteres Highlight der Anlage ist das Handlingskonzept. Es erlaubt das sichere Zu- und Abführen von Baugruppen während des Strahlbetriebes ohne Unterbrechung der Bilddatenerfassung, so dass quasi keine Handlingszeit zum Wechsel der Baugruppe anfällt.



3D-AXI X7058 von Viscom

Zusammenfassung

Die Ausführungen zeigen, dass es DIE Lösung für eine Röntgeninspektion nicht gibt. Die Anforderungen und Randbedingungen sind ja Fertigungsspektrum sehr vielfältig, so dass angepasste Prüfkonzepete gefragt sind.

Soweit keine 100 % X-ray-Inspektion gefordert ist, wird ein MXI mit voller 3D-Funktionalität allen Ansprüchen genügen.

Ist eine AOI-Prüfung der SMDs mit sichtbaren Lötstellen akzeptiert und etabliert, bietet sich eine auf die verdeckten Lötstellen fokussierte Röntgenprüfung an. Eine 3D-Funktion ist dabei wichtig, um auch bei Prüfung doppelseitig bestückter Baugruppen sicher prüfen zu können. Optimal ist ein Kombisystem mit AOI-Teil, so dass kein extra AOI mehr benötigt wird.

Bei hochintegrierten Baugruppen mit Abdeckungen wird eine Röntgenprüfung aller Bauelemente die beste Lösung darstellen. Hier wird ein AXI benötigt, welches die gesamte Baugruppe in 3D erfassen und prüfen kann, um aufwändige Einrichtarbeiten zu vermeiden.

Autor: Peter Krippner, Viscom AG

Impressum

Verantwortlicher Herausgeber:

Viscom AG

Carl-Buderus-Str. 9 -15

30455 Hannover

Tel.: +49 511 94996-0

Fax: +49 511 94996-900

info@viscom.de

www.viscom.de

Redaktion:

Martina Engelhardt

Tel.: +49 511 94996-531

Gestaltung und Layout:

Sandra Hiltmann