D 19063 · April 2015 · Einzelpreis 19,00 € · www.productronic.de

04/2015

all-electronics.de

productronic

DAS MAGAZIN FÜR DIE ELEKTRONIKFERTIGUNG

Richtig röntgen

3D-Prüfkonzepte für MXI und AXI S.22

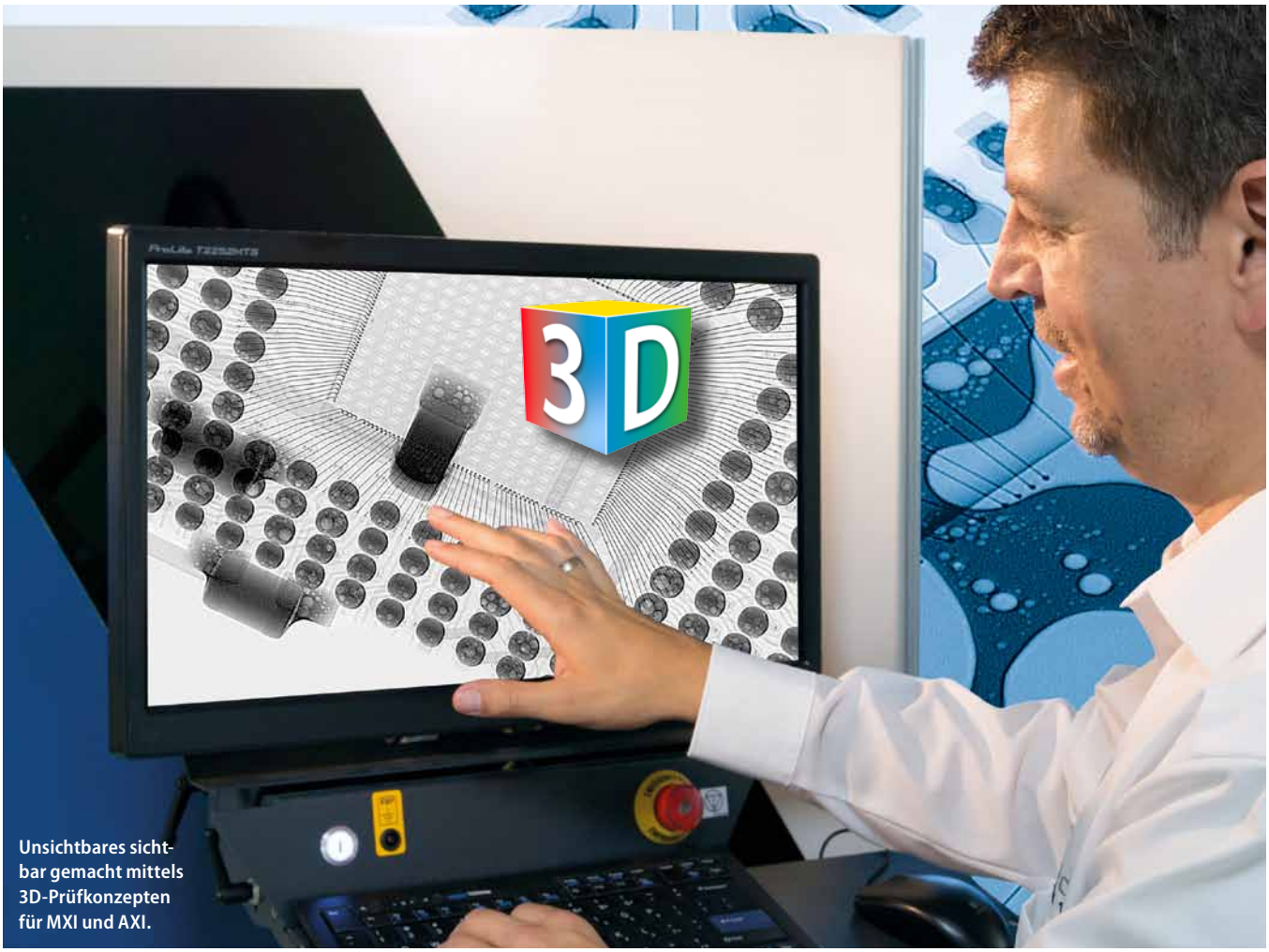
SMT HYBRID PACKAGING
In den Hallen 7A, 7 und 6 wird mit einem Innovationsfeuerwerk der Punk abgehen S. 12

BESTÜCKAUTOMATEN
Pfiffiger Allrounder für kleine und mittlere Fertigungen S. 40

WELLENLÖTEN
Welche Faktoren spielen bei der Neuanschaffung eine Rolle? S. 58

1925-2015 90 JAHRE Hüthig

SMT Hybrid Packaging 2015
Messevorbericht: Interessante Produkte für die Baugruppenfertigung
Seite 88



Unsichtbares sichtbar gemacht mittels 3D-Prüfkonzepten für MXI und AXI.

Bilder: Viscom

Richtig röntgen

3D-Prüfkonzepte für MXI und AXI

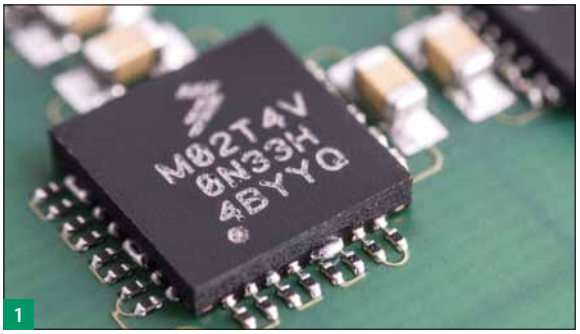
Zur Qualitätskontrolle elektronischer Baugruppen kommen in der SMT-Fertigung bewährte Inspektionssysteme zum Einsatz. 3D-Merkmale liefern dabei nicht nur bei SPI und AOI, sondern auch bei MXI und AXI wichtige Informationen für die Qualitätssicherung. In der Röntgentechnologie sind verschiedene Konzepte der 3D-Technik verfügbar. Für eine Einschätzung der verschiedenen Prüfkonzepte ist es sinnvoll, diverse Randbedingungen zu beachten und Ziele für die Prüfung zu definieren.

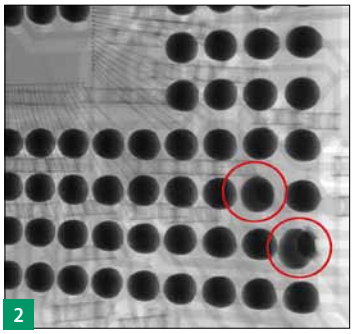
Autor: Peter Krippner

Sie sind aus der modernen SMT-Fertigung nicht mehr wegzudenken: Neben Lotpasteninspektion (SPI) und automatischer optischer Inspektion (AOI) finden auch die manuelle Röntgeninspektion (MXI, offline) und die automatische Röntgeninspektion (AXI, inline) ihre Anwendung. Denn nicht alle Lötverbindungen sind auf Baugruppen optisch sichtbar: Bauelemente wie das BGA haben ihre Lötstellen unter dem Bauteil und entziehen sich damit einer normalen optischen Lötstelleninspektion. Viele Leistungsbauelemente 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" Lötverbindungen 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 zu 100 Prozent? Hilfreich ist, sich über die nötige Prüfabdeckung klar zu werden, um dann im Abgleich mit den verschiedenen verfügbaren Technologien ein stimmiges Gesamtkonzept zu entwickeln.

Typische Fehler verdeckter Lötverbindungen

Wie erwähnt wird die Röntgeninspektion häufig zur Kontrolle verdeckter Lötstellen eingesetzt. Bauelemen-





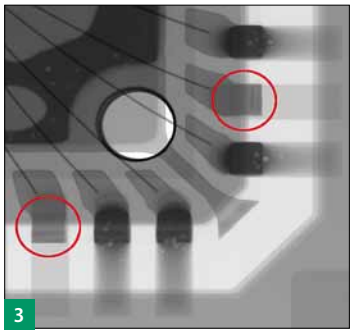


Bild 1: Ausschnitt einer typischen Baugruppe mit verdeckten Lötverbindungen (QFN).

Bild 2: Ein HIP mit Röntgeninspektion deutlich gemacht: Ball und Paste sind im Lötprozess keine Verbindung eingegangen, vielmehr ruht am Ende der Ball im Pad wie ein Kopf in einem Kopfkissen.

Bild 3 zeigt eine Teilansicht eines QFN mit fehlendem Lötzinn an den gekennzeichneten Stellen.

te mit verdeckten Lötstellen sind beispielsweise BGA, QFN (Quad Flat No-lead package, Bild 1), Leistungsbauelemente oder 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 optische Inspektion zu finden. Dies gelingt aber nur, wenn die Bauteile eine spezielle, von außen sichtbare und benetzbare Padkante aufweisen und das AOI auch Schrägsichtkameras bereitstellt. Eine universelle und sichere Lösung stellt die Röntgeninspektion dar (Bild 3).

Häufige Fehlerarten beim BGA sind beispielsweise das Head-in-Pillow (HIP, Bild 2), Voids (Lufteinschlüsse), Brückenbildung durch einzelne Lotperlen oder das No-Wetting (keine Verbindung zwischen Pad und Paste/Ball). Beim 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. Der HIP stellt eine sehr spezielle und für die Röntgeninspektion anspruchsvolle Prüfaufgabe dar. Zum einen sind die Ursachen bisher nicht vollständig bekannt, sodass 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 Lötstelle sehr ähnlich. Insgesamt hat das reale Fehlerspektrum 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
- 3D: Schräge Durchstrahlung der Baugruppe aus mehreren Richtungen mit 3D-Rückrechnung/ Schichtbildberechnung

Die Nutzung des 2D-Ansatzes setzt voraus, dass die zu betrachtende Lötverbindung nicht abgeschattet ist, beispielsweise durch auf der anderen Baugruppenseite bestückte Bauelemente. Zudem müssen die jeweils relevanten Fehlerarten im Bild der 2D-Durchstrahlung erkennbar sein. Gegebenenfalls ist es nötig, hierfür das Paddesign anzupassen (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 beziehungsweise beseitigt werden, soweit die verfügbaren Ansichten dies erlauben. Im Allgemeinen sind die Fehler in der Schrägdurchstrahlung besser erkennbar. Der technische Aufwand steigt ziemlich an, da zur Erzeugung der Schrägansichten mehrere Bildwandler oder ein beweglicher Bildwandler erforderlich sind.

Der 3D-Ansatz erlaubt eine optimale Behandlung beziehungsweise 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 verbunde-

Eck-DATEN

Dreidimensionale Röntgeninspektion mit AOI

Die Anforderungen und Randbedingungen sind im Fertigungsspektrum sehr vielfältig, sodass angepasste Prüfkonzepte gefragt sind. Soweit keine vollständige Röntgeninspektion 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, sodass 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.

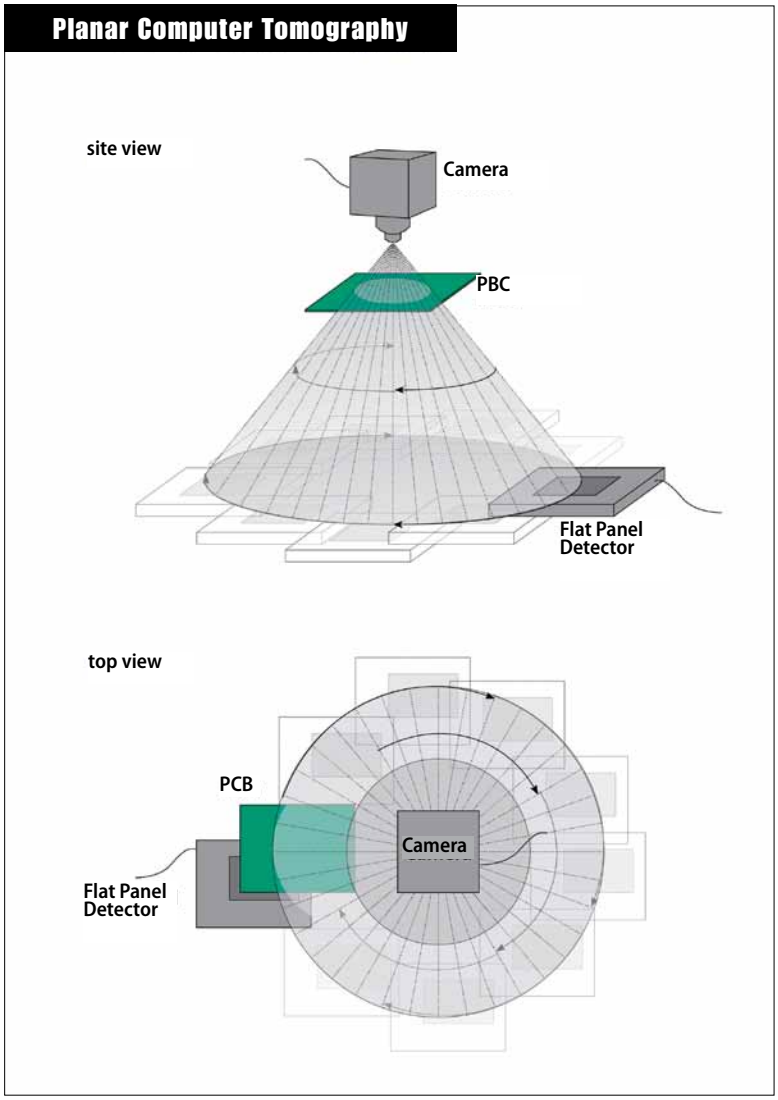


Bild 4: Prinzipskizze einer planaren Computer Tomografie (PCT): Das für die hochauflösende Röntgeninspektion großflächiger Bauteile ausgelegte Verfahren erlaubt die Untersuchung ausgewählter zweidimensionaler Schichtbilder auf Fehlstellen, Risse oder Delamination.

ner 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: Ab in die Tiefe

Unter „3D" wird bei den Röntgenprüfsystemen die Möglichkeit der Erzeugung von Schnitt- beziehungsweise 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. Wesentliche Vorteile sind die erleichterte Prüfbarkeit, ein verringerter Programmieraufwand, da weniger manuelle Anpassungen nötig sind und schließlich erhält der Operator mehr Informationen am Verifikationsplatz, wodurch sich der „Humanschlupf" minimiert.

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 oder Auslösung. Die Qualität der 3D-Rückrechnung wird von einigen Einflussfaktoren bestimmt: Darunter zählen die Anzahl verschiedener Schrägdurchstrahlungen (je mehr je besser), die Winkelabweichung aus der Senkrechten (je schräger je besser, bis zu einem gewissen Grenzwinkel) und die gewählte Vergrößerung respektive effektive Pixelauflösung auf dem Bildwandler (je höher, desto besser). Auch die Art des Bildwandlers, die Anzahl und Größe der Bildwandler und die Art des Rückrechnungsverfahrens beeinflussen die 3D-Rückrechnung.

Diese Faktoren verdeutlichen, dass eine höhere Qualität mit vielen Ansichten und einer hohen Auflösung immer mit einer Reduktion der Prüfgeschwindigkeit einhergeht. Dieser Reduktion lässt sich durch einen erhöhten technischen Aufwand (Bildwandler mit großer Fläche beziehungsweise vielen Pixeln, Einsatz mehrerer paralleler Bildwandler) begegnen. Besonders bei der Art des Bildwandlers 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 Bildverstärkern (zum Beispiel 16 Zoll), bei denen die Schrägdurchstrahlungen durch eine Unterteilung des Eingangsfensters in Sektoren realisiert wurden, aber die limitierte Bildqualität eines BV hat einen negativen Einfluss auf die Qualität der dreidimensionalen 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 ist es möglich, auch größere Schrägwinkel zu realisieren. Durch eine höhere Anzahl der verwendeten Auslenkungen/Positionen des FPD lässt sich die Qualität der 3D-Rückrechnung steigern, allerdings um den „Preis" eines höheren Zeitbedarfs für die Bildaufnahme (Bild 4).

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 neun TDI in einer Ebene in den richtigen Abständen an, so erhält man beim Scannen neun Ansichten parallel. Um alle Punkte der Baugruppe in diesen 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 zu erfassen sind.

Rahmenbedingungen der Röntgenprüfung

Seien es Kundenanforderungen für die Prüfung, das künftige Einsatzgebiet der Baugruppen oder auch der Aufbau der Fertigungslinie – sie alle haben einen Einfluss auf das Konzept der Röntgenprüfung. Soweit seitens des Kunden keine besonderen Anforderungen vorliegen, reicht eine stichprobenartige Röntgenprüfung mit einem 3D-MXI oft 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 – etwa in Automotive, Luftfahrt, etc. – so existiert häufig die Kundenforderung nach einer hundertprozentigen Kontrolle aller Lötverbindungen. Bei den verdeckten Lötstellen bedeutet dies eine Röntgenprüfung, in der Regel inline, wodurch ein MXI hierbei ausscheidet.

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 Lötverbindungen nicht mehr optisch prüfbar. Hier wird man die gesamte elektronische Baugruppe mit 3D-Röntgentechnik prüfen.

Ausgewogenes Röntgensystem-Portfolio

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

- 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

Aus den genannten Gründen hat Viscom sein Röntgensystem-Portfolio erweitert und vorhandene Systeme einer Modellpflege unterzogen. Die MXI X8011-PCB hat einen Manipulator mit fünf Achsen, sodass beliebige Durchstrahlwinkel möglich sind. Durch eine Rotationsachse ist eine 3D-Computertomografie möglich. Die X8011-PCB erlaubt auch einen halbautomatischen Betrieb, wodurch es möglich ist, Positionen zu teachen und im Batchbetrieb abfahren zu lassen. Alternativ kann auch die Software der Viscom-AXI verwendet werden, um so beim Batchbetrieb auch eine vollautomatische Auswertung zu realisieren.

Die X7056 ist ein AXI-System, 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 vollständig kompatibel zu den entsprechenden AOIs ist und neben Schrägsichtkameras auch eine echte 3D-Funktion aufweist. Im Röntgenteil können statt der Bildverstärker jetzt Flat-Panel-Detektoren angeboten werden. Der FPD ist über ein X-Y-Achssystem beweglich, sodass dreidimensionale Auswertungen in verschiedenen Qualitäts- und Durchsatzstufen möglich sind. Um auch bei Verwendung vieler Ansichten (hohe Qualität der Rückrechnung) einen hinreichenden Durchsatz sicherzustellen, sind verschiedene FPD-Größen erhältlich. Einfache Anwendungsfälle lassen sich mit 2D oder 2,5D mit entsprechend höherem Durchsatz prüfen.

Neuling unter den Röntgensystem

Ganz neu wurde das X7058 entwickelt, das demnächst vorgestellt wird. Es handelt sich um ein reines 3D-System und erfasst die gesamte elektronische Baugruppe gleichzeitig aus mehreren Ansichten, sodass eine komplette 3D-Rückrechnung möglich ist. Dies ist sinnvoll 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 für Standard-SMDs findet eine AXI-Prüfung statt.

Ein weiteres Highlight der X7058-Anlage ist das Handlingskonzept. Es erlaubt das sichere Zu- und Abführen von Baugruppen während des Strahlbetriebes – und zwar ohne Unterbrechung der Bilddatenerfassung. Dadurch fällt quasi keine Handlingszeit zum Wechsel der elektronischen Baugruppe mehr an, was die Linieneffizienz erhöht. *(mrc)* ■

Autor
Peter Krippner
Senior Vice President von Viscom

all-electronics.de

infoDIREKT 300pr0415
➤ Halle 7A, Stand 125