

Amit Verma

2D- und 3D-Röntgeninspektion in komplementären Testumgebungen

Die automatische Röntgeninspektion elektronischer Baugruppen (AXI – Automated X-Ray Inspection) findet zunehmende Verbreitung sowohl als alternatives als auch als komplementäres Testverfahren. Dem Elektronikproduzenten bietet es im Hinblick auf gewisse Herausforderungen im Testbereich einige Vorteile, die hier diskutiert werden sollen.

Zu den Herausforderungen im Testbereich gehören z.B.

- ▶ die kontinuierliche Produktminiaturisierung bei erhöhter Produktfunktionalität,
- ▶ ein zunehmender Druck hinsichtlich der Time-to-market und der Time-to-volume oder
- ▶ das Wachstum in den Bereichen Outsourcing und Fertigungsdienstleistung.

Vor dem Einsatz eines AXI-Systems sollte geklärt werden, ob sich hierfür das Transmissionsverfahren oder das Schnittbildverfahren (Cross-Section) besser eignet. Rein gefühlsmäßig glaubt man, dass eine doppelseitig bestückte Baugruppe mittels Cross-Section AXI geprüft werden müsste, da sich beim Transmissionsverfahren Lötstellen gegenseitig abdecken können, was einen geringeren Prüfzugriff bedeutet. Unter dieser Prämisse werden Kompromisse eingegangen, die den Wert bzw. die Amortisation der AXI-Lösung sehr viel stärker beeinflussen können, als eine Lösung mit geringerem Zugriff aufgrund der Überlappung von Lötstellen. Eine derartige Abwägung sollte in einer Testumgebung, in der AXI mit dem In-Circuit-Test kombiniert wird, noch genauer berücksichtigt werden, da hier ein eingeschränkter Zugriff der Transmissions-AXI bei doppelseitig bestückten Baugruppen durch den ICT (oder durch einen Flying Prober-Test) teilweise kompensiert werden kann.

Alle automatischen Inspektionsmethoden basieren im Kern auf den Grundlagen der Bildverarbeitung. Die Abbildungen beim Transmissions- und beim Cross-Sections-Verfahren weisen allerdings Merkmale auf, die zu Unterschieden bei der Testabdeckung im Fertigungsprozess, bei der Häufigkeit von Pseudofehlern und beim Anlagen-durchsatz führen. Die Ursachen für diese Unterschiede und die entsprechenden Auswirkungen auf den Testzugriff bei der Auswahl der optimalen AXI-Teststrategie sollten deshalb genau verstanden werden.

AXI als Muss in einer Teststrategie

Der allgemeine Trend in der Elektronik zeigt zu weiter steigenden I/Os, einer erhöhten Produktkomplexität, einer zunehmenden Produktminiaturisierung und einer steigenden Produktfunktionalität. Damit nimmt die Anzahl der Lötstellen auf den Baugruppen rasch zu. Heute sind Baugruppen mit mehr als 20 000 Lötstellen nicht mehr ungewöhnlich. Gleichzeitig nimmt auch die Komplexität des Fertigungsprozesses zu. Baugruppen erfahren dabei oftmals eine doppelseitige SMD-Bestückung, anschließend folgen eine manuelle Bestückung, das Wellenlöten, das Einpressen von Komponenten und verschiedene me-

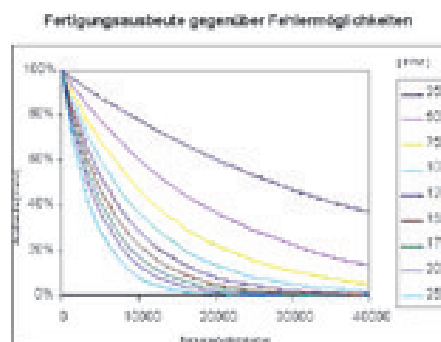


Bild 1: Fertigungsausbeute gegenüber Fehlermöglichkeiten

chanische Fertigungsstufen. Auch wenn sich die Hersteller bemühen diese Prozesse ständig zu verbessern, Fehlerraten also zu reduzieren, ist es nach wie vor schwierig dieses zu erreichen, wenn die Zahl der Fehlermöglichkeiten (OFE – Opportunity for Error) und die Komplexität des Prozesses (Anzahl der unterschiedlichen Fertigungsstufen beim gleichen Produkt) stetig ansteigen.

Dabei zeigt sich, dass sogar Hersteller, die hinsichtlich der Qualität ein Weltklasseniveau bei der strukturellen Fehlerrate pro Lötstelle von durchschnittlich 100 ppm erlangen, bei 20 000 Lötstellen rein rechnerisch nur eine einstellige Fertigungsausbeute erreichen können (Bild 1).

Da sich die Fertigungsausbeute (Yield) beim ersten Durchlauf nur im einstelligen Bereich bewegt, muss die Prozessentwicklung dem „strukturellen“ Fehlerspektrum mehr Aufmerksamkeit widmen. Das alte Sprichwort „70% bis 80% aller Fehler sind struktureller, nicht elektrischer Natur“ hat damit nach wie vor Gültigkeit. Also muss als Teil einer breit angelegten Teststrategie ein automatisches Inspektionssystem eingesetzt werden, das fähig ist, derartige strukturelle Fehler zu entdecken. Dabei sollte außerdem bedacht werden, dass bei der Dichte und Komplexität der heutigen Elektronikbaugruppen eine menschliche Sichtprüfung nicht mehr ausreicht.

- ▶ Die erhöhte Bauteildichte der heutigen Elektronikbaugruppen reduziert den physikalisch möglichen Zugang (Platz auf der Baugruppe) auch für einen Test mit Nadelbettadaptoren (ICT). Dieser reduzierte Zugang führt zu einer reduzierten Testabdeckung beim ICT, weshalb alternative Testmethoden wie AXI notwendig sind, die hierzu eine komplementäre Testabdeckung bieten.

Der Druck durch Time-to-market

Sowie der Produktzyklus sich dem Grenzwert von einem Jahr nähert, wird die Time-

to-market, d.h. die Zeit bis zur Markteinführung, zu einem entscheidenden Aspekt für die heutigen Elektronikfertiger. Je schneller sie vom Design über Prototypen zur Produktion kommen, desto höher können Marktanteile, Umsätze und letztlich Profite ausfallen.

Die Hersteller suchen daher nach alternativen Teststrategien, welche die Testentwicklungszeit reduzieren und die schnelle aber effektive Einführung neuer Produkte durch eine hohe Fehlerabdeckung und diagnostische Auflösung gerade im Frühstadium der Produktentwicklung erleichtern. Kontaktlose Testmethoden wie AXI, die eine hohe Fehlerabdeckung erreichen und eine schnelle Testentwicklung ermöglichen, ohne dass

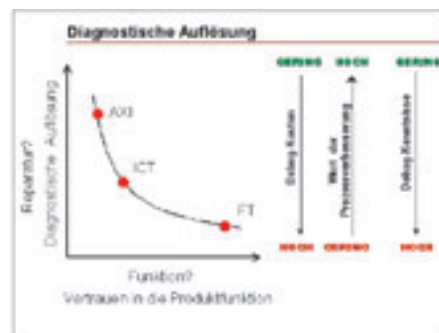


Bild 2: Diagnostische Auflösung

teure Testadapter mit langen Lieferzeiten erforderlich sind, sind somit für die Einführung neuer Produkte absolut wünschenswert.

Der Druck durch Time-to-volume

Unternehmen, welche die Nachfrage nach innovativen Produkten bereits früh im Produktlebenszyklus befriedigen können, steigern sowohl den Marktanteil als auch den Gewinn. Das Hochfahren der Produktionsmengen in einem sehr kostenbewussten und konkurrierenden Umfeld erfordert eine effektive Aufdeckung und Eindämmung der Fehler an der Quelle, eine Identifizierung der Ursachen, entsprechende Maß-

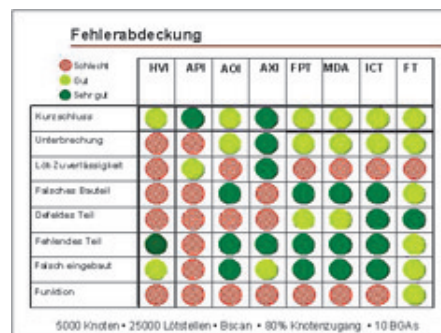


Bild 3: Prüfzugriff bei der Transmissions-AXI bei unterschiedlichen doppelseitig bestückten Baugruppen – HVI: Sichtprüfung, API: Automatische Lotpasteninspektion, AOI: Automatische Optische Inspektion, AXI: Automatische Röntgen-Inspektion, FPT: Test mittels Flying Prober, MDA: Manufacturing Defect Analyzer, ICT: In-Circuit-Test, FT: Funktionsprüfung

nahmen zur Verbesserung und letztlich eine bessere Prozessfähigkeit. Die Hersteller benötigen hierzu Testlösungen wie AXI, die Fehler näher an der Quelle mit einer ausgezeichneten diagnostischen Auflösung finden und damit ein unmittelbares Debugging und die Reparatur ermöglichen. Inspektionsmethoden wie AXI, die parametrische Daten für die kontinuierliche Beobachtung, Verbesserung und Kontrolle des Prozesses zur Verfügung stellen können, helfen dabei, die Fertigungsausbeute im Laufe der Zeit zu verbessern. Eine gute diagnostische Auflösung minimiert die Anzahl der unfertigen Produkte, stellt ein schnelles Debugging und Reparatur sicher und erleichtert kurze Produktzyklen sowie die Fertigung hoher Stückzahlen.

Kein einziges Prüfverfahren kann Antworten auf alle Probleme liefern; jedes Verfahren hat seine eigenen Stärken und Schwächen und sollte als eine mögliche Lösung innerhalb der gesamten Teststrategie untersucht werden. Obwohl Methoden wie die automatische Inspektion, die Entdeckung von Fehlern näher an der Quelle ermöglichen und damit ein schnelles Debugging und Reparatur erlauben, können

sie nicht den Grad an Gewissheit hinsichtlich der Produktfunktion bieten, wie es der digitale ICT und die Funktionsprüfung gestatten. Ein verteilter Testansatz mit einer optimalen Kombination von komplementärer und redundanter Fehlerabdeckung, um das vom Anwender geforderte Qualitätsniveau und Produktionseffizienz zu erreichen, charakterisiert eine erfolgreiche Teststrategie (Bild 2).

Wachstum bei Fertigungsdienstleistungen

Das kontinuierliche Wachstum in den Bereichen Outsourcing und Fertigungsdienstleistungen treibt die Verbreitung von automatischen Inspektionsverfahren wie AXI weiter voran. Sicherzustellen, dass das Löten zuverlässig ausgeführt wurde, und dass die Produkte frei von Fertigungsfehlern sind, gehört zur Kernkompetenz eines Anbieters von Fertigungsdienstleistungen. Auch die OEMs benötigen Testmethoden wie AXI, um sicherzustellen, dass die Fertigungspartner nur Produkte liefern, die zu 100% frei von Fertigungsfehlern sind. In dieser Hinsicht nehmen sowohl die Fertigungsdienstleister als auch die OEMs Prüftechnologien wie AXI gerne an, die eine deutliche Zuordnung des strukturellen Fehlerspektrums erlauben. AXI ist eine effektive Methode, um die strukturelle Produktqualität und Zuverlässigkeit zu überprüfen, wenn sich das Produkt von einer Stufe der Supply Chain zur nächsten bewegt, wie z.B. vom Fertigungsdienstleister zum In-house-Hersteller. Damit erleichtern automatische Inspektionstechnologien auch die Umsetzung eines Outsourcings an Fertigungsdienstleister.

Hersteller verzeichnen weltweit einen Mangel an gut ausgebildeten Fachkräften. Der Trend zu Fertigungsdienstleistungen bedeutet, dass sie sich zunehmend auf Aushilfskräfte verlassen. Deshalb sucht man auch nach Testlösungen, die helfen, diesen Druck des Arbeitsmarkts abzuschwächen. Bei vielen Produkten, besonders bei jenen mit hoher Komplexität, dauert es sehr lange, bis aufgrund dieser knappen Ressourcen das Debugging der ICT und FT durchgeführt werden kann. Es sind daher alternative Teststrategien erforderlich, die helfen können, diese Ressourcenbeschränkungen zu überwinden und einen kontinuierlicheren Fertigungsablauf, einen höheren Warenumschlag und weniger unfertige Produkte zu erreichen. AXI-Testmethoden bieten einfach anzuwendende Lösungen, die den Zeitaufwand für die Ausbildung der Anwender in der Testentwicklung und dem Debugging reduzieren, indem sich die Aufgabe von der Entwicklung und dem Debug hin zu einer Entscheidung hinsichtlich der Akzeptanz von Lötstellen wandelt – eine Kernkompetenz der Anbieter von Fertigungsdienstle-

stungen. Die Entwicklung und das Debugging von ICT und FT erfordert hingegen umfassendes Wissen über das Produkt und Fähigkeiten hinsichtlich der Schaltungsanalyse – beide Fähigkeiten sind bei Fertigungsdienstleistern schwer zu finden – eher schon das allgemeine Wissen über SMT-Prozesstechnik.

Eine komplementäre Teststrategie

Keine Testmethode erfüllt alle Testanforderungen; eine gewichtete Teststrategie, die das Gleichgewicht zwischen unterschiedlichen Faktoren wie Diagnoseauflösung, Fehlerabdeckung, Prüfzugriff, schnelle Testentwicklung, hohe Verfügbarkeit, umfassende Kosteneinsparungen und Durchsatz herstellt, wird meistens die optimale Teststrategie darstellen (**Bild 3**).

Prüfzugriff bei der Transmissions-Röntgeninspektion

Die Transmissions-AXI (manchmal auch als 2D AXI bezeichnet) erfordert prinzipiell eine Röntgenquelle und eine Detektor/Kamerabaugruppe. Die zu prüfende Baugruppe wird zwischen diesen beiden Komponenten positioniert (90° zum Röntgenstrahl) und das resultierende Bild zeigt alle Objekte, die sich im Fokus des Röntgenstrahls befinden. Bei der Transmissions-AXI können sowohl die Lötstellen auf der Oberseite der Baugruppe als auch die auf der Unterseite abgebildet werden (**Bild 4**).

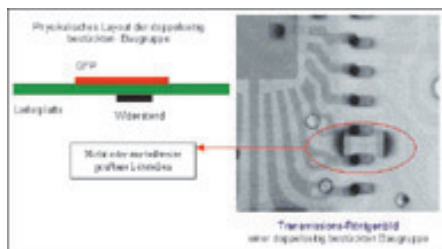


Bild 4: Die Transmissions-AXI kann sowohl die Lötstellen auf der Oberseite der Baugruppe als auch die auf der Unterseite abbilden

Obwohl die Lötstellen der Ober- und der Unterseite gleichzeitig im selben Röntgenbild erscheinen, lassen sich diese mittels der CAD-Daten und Bildverarbeitungssoftware deutlich voneinander unterscheiden. Damit ist mit einem Transmissions-AXI-System eine voneinander unabhängige und richtige Untersuchung beider Seiten möglich. Nur wenn die Lötstellen der Oberseite und der Unterseite sich gegenseitig abdecken oder sich überschneiden, sind diese Lötstellen „nicht“ oder „eingeschränkt“ prüfbar. Und darin besteht der Nachteil beim „Prüfzugriff“ mit der Transmissions-AXI. Allerdings erfahren nur jene Lötstellen, die von denen auf der anderen Seite der Baugruppe abgedeckt werden, eine

derartige Einschränkung beim Prüfzugriff; ein Teil der Lötstellen eines Bauteils ist damit nicht prüfbar, während der Rest prüfbar bleibt. Aus diesem Grund kann die Transmissions-AXI fast immer einen höheren Prozentsatz der Bauteile auf einer doppelseitig bestückten Baugruppe prüfen, als Lötstellen auf einseitig bestückten Baugruppen.

Zudem ist anzumerken, dass Lötstellen, die von Bauteilen abgedeckt werden, sich oftmals trotzdem als prüfbar erweisen (da die Bauteilkörper für die Röntgenstrahlen transparent sind). **Tabelle 1** zeigt einige Beispiele, welcher Prüfzugriff bei der Transmissions-AXI bei unterschiedlichen doppelseitig bestückten Baugruppen erreicht werden kann.

Werden doppelseitige Baugruppen durch einen Transmissions-AXI-Prozess mit zwei Durchläufen untersucht, dann steigt der Prüfzugriff, da beim ersten Durchlauf beinahe 100% der Lötstellen bereits zugänglich sind; der zweite Durchlauf bringt die gleiche Zugangsrate wie bisher. Obwohl diese Inspektionsmethode den Aufwand für das Handling der Baugruppe durch eine zweite Inspektionsstufe erhöht (eine nach der Bestückung auf der Unterseite, die andere nach der Bestückung auf der Oberseite), kann dies in bestimmten Situationen sinnvoll sein, um z.B. eine schnellere Rückkopplung zur Fertigungslinie zu haben oder um die Vorteile der Transmissions-AXI gegenüber der Cross-Section AXI auszunutzen. **Tabelle 2** zeigt den Testzugang bei zwei Durchläufen der selben Baugruppen wie in Tabelle 1. Dabei werden im zweiten Durchlauf nur die Lötstellen geprüft, die im ersten Durchlauf nicht erfasst wurden, womit die Gesamttestzeit damit praktisch gleich bleibt wie beim Test mit einem Durchlauf bei einer doppelseitigen Baugruppe.

Prüfzugriff bei der Cross-Section-AXI

Die Cross-Section AXI (auch als 3D AXI bezeichnet) ermöglicht einen maximalen Prüfzugriff bei doppelseitig bestückten Baugruppen (im Vergleich zur Transmissions-AXI). Da die Cross-Section AXI die Fähigkeit hat, die Bauteile auf der Ober- und der Unterseite unabhängig voneinander abzubilden, stellt die Abschätzung von Lötstellen wie bei der Transmissions-AXI kaum mehr ein Problem dar. Es gibt zwei Arten der Cross-Section AXI,

- ▶ digitale Tomosynthese und
- ▶ Laminographie.

Obwohl die Cross-Section AXI den Testzugriff maximiert (im Vergleich zur Transmissions-AXI auf einer doppelseitig bestückten Baugruppe), bedeutet dies nicht, dass auch ein Prüfzugriff von 100% erreicht wird. Es existieren zahlreiche Umstände, wo die Abschätzung von Bauteilen und der fehlende

Platz auf der Baugruppe für Orientierungspunkte (Surface Map Points) dazu führen, dass auch bei der Laminographie nicht alle Bauteile und Lötstellen auf der Baugruppe untersucht werden können. Die digitale Tomosynthese erreicht im allgemeinen einen höheren Prüfzugriff als die Laminographie, da hier auf die Orientierungspunkte verzichtet werden kann und zudem die Fähigkeit vorhanden ist, die Abschattungen durch Bauteile auf der anderen Seite der Baugruppe vollkommen zu kompensieren.

Wie viel Prüfzugriff ist für AXI notwendig?

Intuitiv glaubt man, dass der Test doppelseitig bestückter Baugruppen nur mittels Cross-Section AXI sinnvoll ist, weil sich einige Lötstellen bei der Transmissions-AXI gegenseitig abdecken und somit zu einem reduzierten Prüfzugriff führen. Wird aber ein maximaler Zugang, wie mit der Cross-Section AXI möglich, überhaupt in jeder AXI-Teststrategie benötigt? Die Anforderung, eine automatische Röntgeninspektion aller Lötstellen auf einer Baugruppe durchzuführen, ist sicherlich das Ergebnis momentaner Diskussionen, aber eigentlich

nicht mehr in den folgenden Fertigungsstufen fortpflanzen.

- Zweitens soll ein Feedback zu den gemessenen Prozessdaten erzeugt werden, was eine Durchführung von korrigierenden Maßnahmen an den Fehlerursachen ermöglicht und damit die kontinuierliche Verbesserung des gesamten Prozessablaufes erleichtert.

Im Zusammenhang mit dem AXI-Prüfzugriff sowie der Transmissions-AXI und der Cross-Section AXI wird keine Prüfstufe jemals 100% Prüfzugriff bzw. 100% Fehlerabdeckung erreichen und damit eine perfekte Testfunktionalität liefern. Der Wert einer Prüfstufe bei der Eindämmung von Fehlern wird statt dessen durch seine Fähigkeit bestimmt, das richtige Gleichgewicht hinsichtlich Durchsatz, Diagnoseauflösung, umfassender Kosteneinsparung, Fehlerentdeckung, Prüfzugriff, niedriger Unterstützungsbedarf, schneller Testentwicklung, hoher Verfügbarkeit und vieler anderer Faktoren, die spezifisch für jeden Hersteller sind, zu liefern. Es wäre falsch anzunehmen, dass das optimale Gleichgewicht dieser Faktoren an einem Punkt erreicht wird, wo der Prüfzugriff maximal ist. Die Transmissions-AXI bietet technologische Vorteile, die hinsichtlich der Leistungsfähigkeit in den Bereichen Fehlerabdeckung, Testentwicklungszeit, Verfügbarkeit, diagnostische Auflösung, Durchsatz und umfassende Kosteneinsparungen der Cross-Section AXI weit überlegen sind. In vielleicht allen Aspekten, außer dem Prüfzugriff, ist die

	Abmessung [Zoll]	Gesamtzahl der Bauteile	Gesamtzahl der Lötstellen	% Zugang zu den Bauteilen	% Zugang zu den Lötstellen
Baugruppe 1	16 5x7.5	1664	8869	95%	67%
Baugruppe 2	12x10	1503	12945	86%	83%
Baugruppe 3	14x11	963	6753	69%	58%

Tabelle 1: Prüfzugriff für die Transmissions-AXI bei unterschiedlichen doppelseitig bestückten Baugruppen

	% Zugang zu den Bauteilen im 1. Durchlauf	% Zugang zu den Lötstellen im 1. Durchlauf	% Zugang zu den Bauteilen im 2. Durchlauf	% Zugang zu den Lötstellen im 2. Durchlauf	% Gesamtzugang zu den Bauteilen	% Gesamtzugang zu den Lötstellen
Baugruppe 1	62%	44%	36%	39%	98%	83%
Baugruppe 2	71%	29%	23%	62%	94%	91%
Baugruppe 3	44%	38%	31%	34%	75%	72%

Tabelle 2: Testzugang bei zwei Durchläufen der selben Baugruppen wie in Tabelle 1

vollkommen unbegründet. Die Elektronikhersteller haben etliche Millionen, Jahrzehnte von Wissen und kontinuierliche Anstrengungen zur Verbesserung in den Aufbau von Fertigungsteams, Verfahren und Anlagen investiert, um Produkte von hoher Qualität und hoher Zuverlässigkeit liefern zu können. Zu glauben, dass jede einzelne Lötstelle auf der Baugruppe mittels AXI untersucht werden muss, und das ohne Wenn und Aber, um damit die Produktqualität und Zuverlässigkeit sicherzustellen, würde sicherlich Zweifel am kollektiven Wissen und der Erfahrung aufwerfen, das die Industrie über viele Jahre im Bereich der SMT-Fertigung und dem Löten aufgebaut hat.

Jede Teststufe im Fertigungsprozess dient zwei grundsätzlichen Zielen.

- Erstens sollen die in vorhergehenden Fertigungsstufen erzeugten Fehler erfasst und verhindert werden, so dass sie sich

Transmissions-AXI hinsichtlich der Leistung der Cross-Section AXI überlegen.

Sicherlich gibt es Anwendungen, wo der AXI-Prüfzugriff maximiert werden muss, aber sogar in diesen Fällen sollte eine komplementäre Teststrategie vorsichtig angedacht werden, wo mehrere Prüfstufen so kombiniert werden, dass ein intelligentes Gleichgewicht hinsichtlich einer überlappenden und komplementären Fehlerabdeckung erreicht wird. Die Lötstellen, die sich weder durch die Transmissions- noch durch die Cross-Section AXI prüfen lassen, könnten später zum Beispiel im ICT getestet werden. Durch den Einsatz komplementärer Teststrategien lassen sich also Probleme eines fehlenden Zugangs in anderen Prüfungsstufen mit einer minimalen Auswirkung auf die Produktqualität und die Fertigungseffizienz umgehen.

Der Einsatz von DFT-Software (Design-for-Test) kann diese Verteilung der komple-

mentären Tests in Prüfstufen wie AXI und ICT weiter vereinfachen und automatisieren, und zwar

► hinsichtlich des Feedbacks durch Prozessmessdaten, um korrigierende Maßnahmen an den Ursachen durchzuführen und die kontinuierliche Verbesserung zu erleichtern.

Die meisten Anstrengungen auf diesem Gebiet erfolgen mittels der Analyse von Trends und Abweichungen von Baugruppe zu Baugruppe, über die Zeit, über die verschiedenen Maschinen, Lötstellen oder Bauteile etc. Diese Art von Analysen beruht auf den Prinzipien der Statistik. Die Prinzipien stellen sicher, dass nur eine sinnvolle Erfassungsstrategie der AXI-Prozessmessdaten erforderlich ist, um die Ursachen der Abweichungen im Fertigungsprozess zu Tage zu bringen. Der für die Transmissions-AXI notwendige Zugriff auf Bauteile, Lötstellen und die unterschiedlichen Gehäusetypern auf der Baugruppe sollte dabei für die meisten Entwicklungsstudien oder Prozesssteuerungsstrategien ausreichend sein. Aus diesem Grund kann behauptet werden, dass der Prüzzugriff über entweder die Transmissions- oder die Cross-Section AXI hinreichend ist, um den Anforderungen einer Prozessrückkopplung, der Steuerung und der kontinuierlichen Verbesserung zu entsprechen.

Reduzierter Zugang für den ICT

Viele Elektronikhersteller nutzen eine komplementäre AXI/ICT-Teststrategie, um die Auswirkungen einer eingeschränkten ICT-Testabdeckung aufgrund eines reduzierten physikalischen Zugangs und fehlender Baugruppenfläche für Testpads zu kompensieren. Bei dieser Art von Teststrategie ist es wünschenswert, die Gesamtzahl der Nadeln im ICT-Adapter zu reduzieren, um damit auch die benötigte Gesamtfläche für die Testpads auf der Baugruppe zu minimieren. Sowohl mit der Transmissions- als auch mit der Cross-Sections-AXI-Strategie lässt sich die Anzahl der vom ICT benötigten Nadeln merklich reduzieren, wobei die Reduktion bei der Cross-Section-AXI deutlicher ausfällt als bei der Transmissions-AXI. Der Einsatz von DFT-Software kann die Aufteilung der komplementären Tests zwischen AXI und ICT vereinfachen und die Zahl der insgesamt notwendigen Nadeln minimieren.

Technologieunterschiede zwischen Transmissions- und Cross-Section AXI

Bisher wurden die Aspekte betrachtet, die einen Unterschied hinsichtlich des Zugangs bei den beiden Verfahren Transmissions- und Cross-Section AXI verursachen. Wie sieht es nun mit der Leistungsfähigkeit dieser Technologien in der Fertigungsumgebung aus?

Jede automatische Inspektionsmethode basiert im Kern auf der Fähigkeit, Abbildungen für eine entsprechende Bildverarbeitung zu erzeugen. Diese Abbildung mittels des Transmissions- und des Cross-Section-Verfahrens weist gewisse technologische Differenzen auf, die zu einer unterschiedlichen Leistungsfähigkeit in der Fertigung hinsichtlich der Fehlerabdeckung, der Pseudofehlerrate, des Anlagendurchsatzes, der erforderlichen Unterstützung und der Rentabilität führen.

	Fehler/Typ	Transmissions AXI	Cross-Section AXI Dig. Tomosynthese	Cross-Section AXI Laminographie
Alle Gehäuse	'Nicht im Fokus'	●	●	●
	GFP	●	●	●
Plastik BGA	Unterbrechung	●	●	●
	Unzureichend	●	●	●
	Kurzschluss	●	●	●
Keramik BGA	Unterbrechung	●	●	●
	Unzureichend	●	●	●
	Kurzschluss	●	●	●
	Poren	●	●	●
Keramik CGA	Unterbrechung	●	●	●
	Unzureichend	●	●	●
	Kurzschluss	●	●	●
PTH Stecker	Unzureichend	●	●	●
	Kurzschluss	●	●	●
Einpresstecker	vorbelegter Pin	●	●	●

Bild 5: Vergleich der relativen Stärken und Einschränkungen hinsichtlich der Fehlerabdeckung zwischen der Transmissions- und Cross-Section AXI

Bildkontrast

Das Maß für den Bildkontrast ist der Unterschied des Grauwertes zwischen dem Betrachtungsbereich (oder dem Lötstellenbereich, der untersucht wird) und dem Hintergrund (oder der Umgebung) im Röntgenbild. Je größer der Unterschied zwischen diesen Grauwerten ist, desto größer ist der Bildkontrast. Ein größerer Bildkontrast liefert eine größere Kantenschärfe und einen höheren Signal-Störabstand innerhalb des Bildes. Die Bildverarbeitungsalgorithmen suchen z.B. nach Kanten im Bereich von Lötstellen, um damit den Umfang für die Messung des Grauwertes und der Größe festzulegen; alle AXI-Lötstellenmessungen und Verfahren zur Fehlerentdeckung basieren auf der Messung dieser Grauwerte und Größen. Die Leistung eines automatischen Inspektionssystems ist damit immer von der Qualität der originären Bilder abhängig. Eine höhere Bildqualität führt somit zu einer besseren Prüfleistung.

Die Transmissions-AXI wird aufgrund seiner orthogonalen Natur (der Röntgenstrahl steht im Winkel von 90° zur Baugruppenoberfläche) immer einen höheren Bildkontrast und eine bessere Kantenschärfe gegenüber der Cross-Section AXI liefern. Alle Cross-Section-AXI-Methoden verfügen über einen reduzierten Kontrast aufgrund ihrer rotierenden (Laminographie) oder winkelförmigen (digitale Tomosynthese) Bildfassung. Der bessere Kontrast der Transmissions-AXI bietet dem Hersteller damit ein Werkzeug, das eine bessere Identifizierung

von Merkmalen, eine größere Messreproduzierbarkeit, eine höhere Fehlererkennung, eine niedrigere Rate an Pseudofehlern und eine höhere Diagnosegenauigkeit gegenüber der Cross-Section AXI ermöglicht.

Fehlerabdeckung

Die Transmissions-AXI bietet bei marginalen/feinen Lötfehlern, wie bei einer unzureichenden Lotmenge, aufgrund des besseren Bildkontrastes eine größere Fehlerabdeckung als die Cross-Section AXI. Die Abdeckungsrate der Transmissions- und der Cross-Sections-AXI ist bei den meisten Lötfehlern einschließlich der Fehler bei PBGAs recht ähnlich, wobei sich herausgestellt hat, dass die Transmissions-AXI bei der Entdeckung von Unterbrechungen und unzureichender Lötung bei PBGAs wegen der höheren Auflösung und Kantenschärfe bei der Messung der Durchmesser der Lotkugeln effektiver ist.

Bild 5 zeigt einen Vergleich der relativen Stärken und Einschränkungen hinsichtlich der Fehlerabdeckung zwischen der Transmissions- und Cross-Section AXI. Dabei fällt auf, dass die Transmissions-AXI eine Abdeckung auch bei Einpresstechnik-Steckverbindern und bei Lotkurzschlüssen außerhalb der Cross-Section-Ebene (z.B. weiter oben am Pin) bietet, während die Cross-Section AXI bei derartigen Fehlern keine Fehlerabdeckung ermöglicht.

Durchsatz

Die Transmissions-AXI verfügt über einen größeren Bildkontrast und eine bessere Bildqualität als die Cross-Section AXI. Die Hersteller können diese Vorteile natürlich auch nutzen, um den Anlagendurchsatz zu erhöhen, indem die Betrachtungsfläche auf der Baugruppe vergrößert (bei reduzierter Vergrößerung) wird und dadurch jedes Röntgenbild einen größeren Baugruppenbereich abdeckt. Dies reduziert die Gesamtzahl der Bilder, die bei der Inspektion der Baugruppe erforderlich sind und setzt damit auch die Testzeit gegenüber der Cross-Section AXI herab, die mit kleineren Betrachtungsbereichen (oder einer höheren Vergrößerung) arbeiten muss, um die gleiche Detailauflösung im Röntgenbild zu erreichen.

Die Laminographie erfordert zudem eine Vermessung der Baugruppenoberfläche mittels Laser (Laser Surface Mapping), da die Topologie der Baugruppenoberfläche für die Kalibrierung der Position bei der Cross-Section AXI bekannt sein muss. Dieses Verfahren erhöht zusätzlich die Testzeit und hat zudem negative Auswirkungen hinsichtlich einer zuverlässigen Überprüfung größerer Gebiete mittels der Laminographie (reduzierte Vergrößerung). Um die gesamte Inspektionszeit merklich zu verkürzen, muss die Gesamtzahl der Bilder reduziert werden, was nur über die Untersu- ►

chung eines größeren Baugruppenbereiches mit jedem Röntgenbild gelingt. Der Einsatz der AXI im Fertigungsprozess verbietet sowohl eine Baugruppenwölbung als auch eine Bewegung der Baugruppe während der Inspektion. Die Laminographie-Technologie ist hinsichtlich einer Cross-Section-Abbildung mit einem großen Betrachtungsbereich, in dem alle Lötstellen scharf abgebildet werden, sehr eingeschränkt. Die Toleranz, damit sich Finepitch-Lötstellen in der Fokussierebene befinden, liegt zwischen 0,025 mm und 0,076 mm. Die meisten Baugruppenhersteller spezifizieren allerdings eine Baugruppenwölbung von 1%; dies bedeutet, dass die Baugruppenwölbung in der Z-Richtung in einem 25,4 mm großen Betrachtungsbereich bis zu 0,25 mm betragen könnte. Diese Baugruppenwölbung würde aber dazu führen, dass ein bedeutender Teil der Finepitch-Lötstellen außerhalb des Fokussierbereiches liegt und dadurch nicht zu inspizieren oder sogar unzugänglich wäre. Dieses Verhalten reduziert damit die Fehlerabdeckung der Laminographie, erhöht die Pseudo-fehlerrate, steigert die Rate des Fehler-schlupfes und reduziert die Systemverfügbarkeit aufgrund der häufigen Programmeingriffe. Die digitale Tomosynthese zeigt diese Merkmale nicht, da hier ein digitales Rekonstruktionsverfahren genutzt wird.

Wann ist Cross-Section AXI erforderlich?

Wenn der Prüfenieur aufgrund gewisser Kompromisse zwischen der Transmissions- und der Cross-Section AXI sich für die Cross-Section AXI entschieden hat, dann bleibt noch die Entscheidung, ob die Laminographie oder die digitale Tomosynthese-Technologie eingesetzt werden sollte. Ein vollständiger Vergleich der relativen Stärken und Schwächen dieser beiden Cross-Sections-AXI-Technologien würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen. Es sollte allerdings beachtet werden, dass die digitale Tomosynthese viele Vorteile der Transmissions-AXI beinhaltet. Die digitale Tomosynthese AXI ist eine hybride Technologie, die Abbildungsmethoden sowohl der Transmissions-, als auch der Cross-Section-AXI nutzt.

Zusammenfassung

Die Rentabilität einer Testlösung ist von vielen Faktoren abhängig, von denen einige anwendungsspezifisch sind. Die Anschaffungskosten der Transmissions-AXI sind aufgrund der einfacheren Technologie merklich niedriger, als die der Cross-Section

AXI. Die Transmissions-AXI wird im allgemeinen Einsparungen bei den Anschaffungskosten von mehr als 300 000 DM gegenüber den heutigen Preisen der Cross-Section AXI ermöglichen. Neben den Anschaffungskosten sollten aber auch die Kosten für die laufende Unterstützung und Programmierung berücksichtigt werden. Die Systemverfügbarkeit, die elektromechanische Komplexität, die Programmierzeit, die Programmoptimierungszeit, die Reproduzierbarkeit der Messungen, die Pseudo-fehlerrate und die Fehlerabdeckung, alle tragen zur Amortisation der ausgewählten Teststrategie langfristig bei. Transmissions- und Cross-Sections-AXI-Systeme verfügen über technologische Unterschiede, die zu einer unterschiedlichen Leistungsfähigkeit in der Fertigung führen.

Obwohl AXI für die Prüfung von elektronischen Baugruppen eine sehr wertvolle und interessante Technologie ist, nähern sich viele Unternehmen der AXI aufgrund des mangelnden Wissens über die technologische Komplexität und der langsamen Rentabilität nur sehr vorsichtig. Die AXI-Anwender sollten die Auswirkung der technologischen Aspekte und der Kompromisse hinsichtlich der langfristigen Amortisation, der Bedienerfreundlichkeit, der Fehlerabdeckung und der Wirksamkeit der ausgewählten Teststrategie, dabei sorgfältig prüfen.

Fax 0 89/96 28 51 01

www.genrad.com

productronic 406

Amit Verma, GenRad Inc. USA.