

Vollständige Fehlerabdeckung durch Kombination verschiedener Testverfahren (ICT, MFT, AOI, AXI, BScan...)

von Mario Berger, GÖPEL electronic GmbH

1 Einleitung

In der heutigen Zeit, die durch eine zunehmende Auslagerung der Fertigungsstätten in Billiglohnländer geprägt ist, ist in einem hochtechnologisierten Land wie Deutschland ein erfolgreiches Qualitätsmanagement eines der wichtigsten Argumente für den Erhalt des Standortes. Immer neuere Technologien stellen ständig höhere Ansprüche an den Fertigungsprozess. Das Beherrschen hochmoderner Verfahren sowie die Sicherstellung eines hohen Qualitätsniveaus in Einklang mit einem vertretbaren Maß an Aufwand zu bringen, hilft mit die Zukunft des High-Tech Standortes Deutschland zu sichern.

Die genaue Analyse des Fertigungsprozesses steht dabei an erster Stelle. Der Workshop „Vollständige Fehlerabdeckung durch Kombination verschiedener Testverfahren (ICT, MFT, AOI, AXI, ...)“ befasst sich in diesem Zusammenhang mit dem für die Produktqualität wohl wichtigsten Prozess, der Herstellung von Flachbaugruppen. In diesem Zusammenhang werden die für diesen Vorgang typischen Fehler sowie Möglichkeiten zu deren Diagnose aufgeführt. Dabei wird dem Aspekt der Testkosten genauso Beachtung geschenkt wie dem stetigen Trend zu mehr Flexibilität.

2 Mögliche Fehler beim Fertigungsprozess

Die VDI/VDE Richtlinie 3715 befasst sich sehr ausführlich mit dem Thema der Herstellung von Flachbaugruppen. So wird darin geklärt wie sich die Qualität eines Produktes an welchem Punkt des Fertigungsprozesses (Lotpastendruck, Bestückung, Reflowlötprozess, ...) am Besten kontrollieren und verbessern lässt. Im Rahmen dieses Artikels kann unmöglich auf die gesamte Breite dessen eingegangen werden. Auch stehen die bei den aufgeführten Prozessschritten einzusetzenden Testverfahren weitestgehend fest. Von größerem Interesse ist da schon die Prüfung der fertig bestückten und gelöteten Flachbaugruppe. Hier ist eine Vielzahl von Testverfahren am Markt verfügbar wobei jedes einzelne seine ganz speziellen Vorzüge und Nachteile hat. Ziel des Workshops ist es, diese speziellen Eigenschaften der Testverfahren aufzuzeigen und durch Kombinationen miteinander die Nachteile schließlich auf ein Minimum zu reduzieren.

Was für Fehler sind nun auf einer fertigen Flachbaugruppe überhaupt zu erwarten? Dieser Frage ist die Firma GÖPEL einmal nachgegangen und hat in enger Zusammenarbeit mit

einem Kunden (der hier ausdrücklich nicht genannte werden möchte) eine genaue Analyse durchgeführt. Das Ergebnis ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Fertigungsschritt	Fehler	Fehleranteil
Lieferung	Bauteildefekte	30,5 %
Bestückung	Fehlende Bauteile	25,9 %
	Fehlbestückte Bauteile	3,0 %
	Falscher Bauteil-Aufdruck (Lieferant)	3,5 %
	Falsche Position (seitlicher Versatz, falsche Höhe)	3,0 %
	Verpolter Steckverbinder	1,0 %
Löten	Unzureichende Lötstellen	33,1 %
Gesamt		100,0 %

Tabelle 1: Beispiel einer Fehlerverteilung

Auffallend sind die drei großen Fehlerblöcke. Zum Einen sind die verwendeten Bauteile bereits bei der Anlieferung defekt. Zum Anderen fehlen Bauteile nach dem Bestücken oder sind nur unzureichend verlötet. Dies sind drei völlig unterschiedliche Fehlertypen, weswegen man bereits an dieser Stelle den Eindruck hat, dass ein einziges Testverfahren allein vermutlich nicht ausreichen wird.

3 Die Testmöglichkeiten von heute

Heutzutage gibt es eine Vielzahl von Testverfahren. In der nachfolgenden Tabelle sind die bekanntesten in chronologischer Reihenfolge sowie nach dem zugrundeliegenden Prinzip aufgelistet.

Optische Testverfahren	Elektrische Testverfahren
manuelle Sichtkontrolle (OI)	Multifunktionstest (MFT)
automatische optische Inspektion (AOI)	In-Circuit Test (ICT)
automatische Röntgeninspektion (AXI)	Flying Probe (FP)
	Boundary Scan (BS)

Tabelle 2: Heutige Testverfahren

Das Prinzip eines Testverfahrens, optisch oder elektrisch, ist entscheidend für die mögliche Anwendbarkeit zur Auffindung eines Fehlers. So können mit einem optischen Verfahren logischerweise alle sichtbaren Fehler aufgedeckt werden. Das sind z.B. fehlende Bauteile, falsche Bauteile (falsche Spannungsfestigkeit eines Kondensators) oder auch verpolte bzw. verdrehte Bauteile. Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit einer qualitativen Beurteilung von Lötstellen nach z.B. IPC Norm (IPC-A-610). Die Grenzen des optischen Testprinzips liegen im elektrischen Bereich. Logischerweise kann man keinerlei Aussage über

die korrekte Funktion eines Bauteils treffen. Damit man erfolgreich mit einem optischen Testverfahren arbeiten kann, ist ein freier Blick auf die Leiterplatte von essentieller Bedeutung.

Ganz im Gegensatz dazu lässt sich mit dem elektrischen Test natürlich das richtige Verhalten eines Bauteils nachweisen, beispielsweise ob der Widerstand auch 10Ω hat oder die Ausgangstreiber des ICs funktionieren. Auch ist ein freier Zugang zur Flachbaugruppe bzw. zum einzelnen Pin eines Bauteils nicht bei jedem elektrischen Testverfahren zwingend erforderlich. Was mit diesem Prinzip nicht gelingen wird, ist eine qualitative Beurteilung einer Lötstelle wie auch das Detektieren eines mechanischen Defektes eines Bauteiles oder ähnliches.

Als zusätzlichen Nutzen bieten die elektrischen Testverfahren Möglichkeiten, die schon heute über das reine Testen hinausgehen. Als Beispiel sei hier einmal die In-Circuit Programmierung (ICP) genannt.

Mit welchem Testprinzip kann man nun welche Fehler detektieren? Die möglichen Fehler sind aus Tabelle 1 bekannt, jedoch müssen diese noch etwas konkretisiert werden. Das gelingt recht einfach, da die notwendigen Informationen vorliegen. Die Ergebnisse sind in der nachfolgende Tabelle 2 dargestellt. Darin enthalten sind zwei zusätzliche Spalten „O“ für das optische Prinzip und „E“ für das elektrische. Ein **X** in der jeweiligen Spalte bedeutet, dass das Prinzip zum Detektieren des Fehlers geeignet ist.

Fertigungsschritt	Fehler	O	E	Fehleranteil
Lieferung	Mechanische Bauteildefekte	X		9,2 %
	Elektrische Bauteildefekte		X	21,3 %
Bestückung	Fehlende Bauteile, elektrisch prüfbar	X	X	20,1 %
	Fehlende Bauteile, elektrisch nicht prüfbar	X		5,8 %
	Fehlbestückte Bauteile	X		3,0 %
	Falscher Bauteil-Aufdruck (Lieferant)	X		3,5 %
	Falsche Position (seitlicher Versatz, falsche Höhe)	X		3,0 %
	Verpolter Steckverbinder	X		1,0 %
Löten	Unzureichende Lötstellen, ohne Kontakt	X	X	27,8 %
	Unzureichende Lötstellen, mit Kontakt	X		5,3 %
Gesamt				100,0 %

Tabelle 3: Fehlerabdeckung unterteilt nach Testprinzip

Im ersten Moment scheint die relativ hohe Fehlerabdeckung der optischen Testverfahren die elektrischen Verfahren in den Hintergrund zu rücken. Ein genauer Blick verrät jedoch, dass gerade bei einem der drei großen Fehlerblöcke, genauer gesagt bei den „elektrischen Bauteildefekten“, das optischen Prinzip nicht zum Ziel führt. Hinzu kommt noch, dass man voraussetzt, dass ein freier Zugang (Blick) zur Flachbaugruppe gegeben ist, also optimale Bedingungen für die optische Inspektion vorliegen. Ebenso wird davon ausgegangen, dass sich keine Lötstellen unter den Bauelementen befinden, wie dies bei Ball Grid Arrays (BGA) oder J-Lead Pins (siehe Abbildung 1) der Fall ist. Dann nämlich würde z.B. eine Röntgeninspektion benötigt um diese Lücke wieder zu schließen. Wäre in solch einem Fall ein elektrischer Test vielleicht sinnvoller? Wenn ja, bleibt noch die Frage, für welches der elektrischen Testverfahren man sich entscheidet.

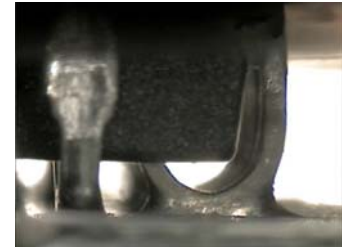


Abb. 1
J-Lead pin

Um diese Fragen beantworten zu können, sind zumindest grundlegende Kenntnisse über die einzelnen Testverfahren von Nöten, wie auch das Wissen um deren Vor- und Nachteile.

4 Die Testverfahren zusammengefasst

Es wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Testverfahren weitestgehend bekannt sind. An dieser Stelle soll nicht jedes Verfahren im Detail erklärt, sondern ein kurzer Überblick über deren Vor- und Nachteile angeboten werden. Offensichtliche, sich aus dem zugrundeliegenden Testprinzip ergebenden Eigenschaften werden aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht noch einmal explizit aufgeführt.

4.1 Manuelle Sichtkontrolle (OI)



Abb. 2
Sichtkontrolle

Ein Mitarbeiter untersucht mit einer Lupe oder einem Mikroskop die einzelnen Bauteile und Lötstellen der Flachbaugruppe. Je nachdem, wie gut der Prüfer qualifiziert ist und wie hoch seine Konzentration ist, lassen sich mit diesem Testverfahren alle möglichen sichtbaren Fehler finden.

- | | |
|-----------|--|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> • es müssen keine Prüfprogramme erstellt werden; das Verfahren ist somit äußerst flexibel • hohe Genauigkeit bei entsprechender Qualifikation |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> • lange Prüfzeit, deshalb meist nur Stichprobenprüfung |

- Fehlererkennung ist abhängig von Tagesform des Prüfers
 - Fehler liegen nicht automatisch in elektronischer Form vor
- Kostenfaktoren
- überschaubare Kosten für benötigtes Equipment
 - hohe Personalkosten

4.2 Automatische Optische Inspektion

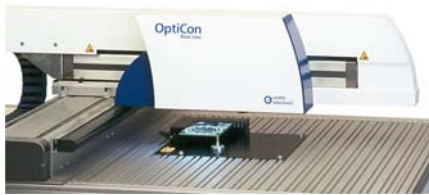


Abb. 3
Einfaches AOI-System

Eine verfahrbare Kamera übernimmt die Funktion des Prüfers bei der manuellen Sichtkontrolle. Die Bilddaten werden an einen Steuerrechner übertragen, welcher diese dort mit einer Bildverarbeitungssoftware auf Grundlage von geometrischen Daten oder einem

Gutmuster bewertet.

In Abbildung 3 sind deutlich die beiden Achsen für das Verfahren der Kamera in X-Y Richtung zu erkennen. Die Kamera schaut hierbei senkrecht auf den Prüfling, allerdings gibt es auch Systeme bei der diese geneigt sein kann.

- | | |
|----------------|---|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> • hohe Fehlerabdeckung bei je nach Anbieter geringem Aufwand für die Prüfprogrammerstellung • an vielen Stellen des Fertigungsprozesses sinnvoll einsetzbar (z.B. nach dem Lötpastendruck oder vor dem Lötprozess) |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> • keine besonderen |
| Kostenfaktoren | <ul style="list-style-type: none"> • es wird kein Prüfadapter benötigt • Anschaffungskosten eines Komplettsystems sind überschaubar |

4.3 Automatische optische Röntgeninspektion

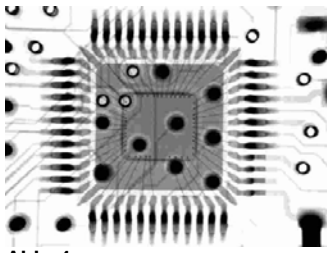


Abb. 4
Röntgenbild eines ICs

Das Prinzip ist umgekehrt zu dem bei der AOI. In diesem Fall wird die Flachbaugruppe unter der feststehenden Röntgenröhre verfahren. Auf deren gegenüberliegender Seite ist eine Kamera befestigt, welche die aufgenommenen Röntgenbilder (siehe Abbildung 4) wieder an einen Steuerrechner zur weiteren Verarbeitung übermittelt. Das weitere Verfahren gleicht dem

des AOI-Testverfahrens, eine Bildverarbeitungssoftware bewertet die aufgenommenen Bilder auf Grundlage von geometrischen Daten oder einem Gutmuster.

- | | |
|----------------|--|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none">• qualitative Beurteilung „unsichtbarer“ Lötstellen, z.B. unter BGAs möglich |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none">• aufwendiges Verfahren mit sehr speziellen Applikationen |
| Kostenfaktoren | <ul style="list-style-type: none">• es wird kein Prüfadapter benötigt• sehr teures Testsystem |

4.4 Multifunktionstest



Abb. 5
Funktionstest mit Klimaschrank

Der Prüfling wird mittels eines Adapters an seinen „natürlichen“ Schnittstellen (Stecker und Buchsen am Gehäuse) angeschlossen. Das Testsystem simuliert dann an diesen Schnitten den späteren Einsatzfall. Dies kann auch unter Extremsituationen und am Grenzbereich des Prüflings erfolgen (Klimaschrank).

- | | |
|----------------|---|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none">• Simulation des Einsatzfalls• Funktionsüberprüfung des Gesamtsystems auch an den Systemgrenzen (Temperatur, Leistung) |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none">• im Fehlerfall nur sehr ungenaue Diagnose möglich• nur für die Gesamtfunktion relevante Bauteile werden überprüft |
| Kostenfaktoren | <ul style="list-style-type: none">• in Abhängigkeit vom geforderten Nutzen zum Teil sehr aufwendige und individuelle Prüfprogrammerstellung• Prüfadapter wird benötigt und ist sehr individuell auf den Prüfling zugeschnitten |

4.5 In-Circuit Test

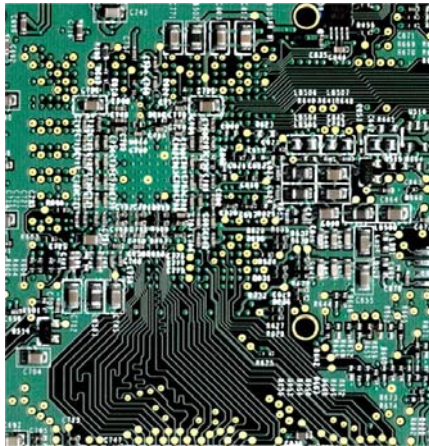


Abb. 6
Testpunkte auf einer Grafikkarte

Die Leiterbahnen der Flachbaugruppe werden mittels Nadeln an dafür vorgesehenen Testpunkten (siehe Abbildung 6) kontaktiert. Die Nadeln sind in einem Nadelbettadapter präzise positioniert, damit ein Kontakt zum jeweiligen Testpunkte gewährleistet wird. Jede einzelne Nadel ist dann über einen Draht mit dem In-Circuit Tester verbunden. Dieser kann dann kontrolliert die Leiterbahnen der Flachbaugruppe stimulieren und messen und somit elektrische Fehler diagnostizieren.

Aufgrund der Geometrie der Nadeln muss man bestimmte Regeln beim Setzen der Testpunkte auf der Leiterplatte beachten. Es ist offensichtlich, dass die Anzahl der Testpunkte auf einer bestimmten Fläche begrenzt ist, was eines der Hauptprobleme des ICT Verfahrens für zukünftige wie auch aktuelle Vorhaben sein wird und ist.

- | | |
|----------------|---|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none">• sehr schnelles Testverfahren• geringer Aufwand für Testprogrammerstellung bei einfachen Bauteilen (Widerstände, Kondensatoren) |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none">• Setzen von Testpunkten ist wegen der immer kompakter werdenden Bauweisen zum Teil nicht mehr möglich• geringe Flexibilität, aufgrund des sehr individuell auf den Prüfling zugeschnittenen Nadelbettadapters• sehr großer Aufwand für Testprogrammerstellung bei sehr komplexen Bauteilen (Prozessoren, PLDs) |
| Kostenfaktoren | <ul style="list-style-type: none">• sehr teure Nadelbettadapter• Lieferzeit des Nadelbettadapters• hohe Kosten für Zukauf von Funktionsbeschreibungen von komplexen Bauteilen• zusätzliche Kosten bei Layoutänderungen• sehr teures Testsystem |

4.6 Flying Probe Test

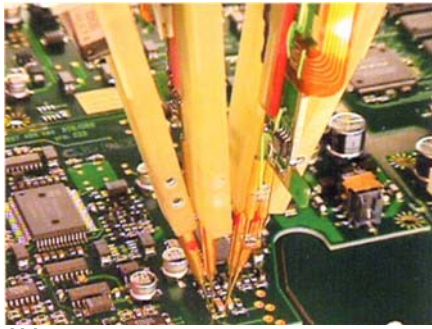


Abb. 7
Flying Probe in Aktion

Der Flying Probe Test (FPT) ist aus dem In-Circuit Test hervorgegangen. Sein Ziel ist, dessen Nachteile zu minimieren. Er funktioniert vom Prinzip her gleich dem ICT, außer dass die Nadeln zum Kontaktieren der Testpunkte nicht starr in einem Nadelbettadapter eingebunden sind, sondern verfahrbar sind. Die Nadeln eines Flying Probers (siehe Abbildung 7) fahren

die Testpunkte der Flachbaugruppe nacheinander an. Die Abarbeitung der Prüfvektoren erfolgt also nicht parallel wie beim ICT, sondern sequentiell. Aufgrund der begrenzten Anzahl der Nadeln (typischerweise 4 Stück, jedoch sind heutzutage Gerät mit bis zu 24 Nadeln verfügbar) müssen die Testpunkte entsprechend oft angefahren werden, um alle Testvektoren abzuarbeiten.

- | | |
|----------------|---|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none">• hohe Flexibilität, da kein Adapter mehr benötigt wird• Lagetoleranzen des Prüflings können per Software leicht ausgeglichen werden• geringer Aufwand für Testprogrammerstellung bei einfachen Bauteilen (Widerstände, Kondensatoren) |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none">• sehr langsam, aufgrund der sequentielle Abarbeitung der Prüfvektoren• Setzen von Testpunkten ist wegen der immer kompakter werdenden Bauweisen zum Teil nicht mehr möglich• sehr großer Aufwand für Testprogrammerstellung bei sehr komplexen Bauteilen (Prozessoren, PLDs)• hohe Belastung der Mechanik des Testsystems |
| Kostenfaktoren | <ul style="list-style-type: none">• hohe Kosten für Zukauf von Funktionsbeschreibungen von komplexen Bauteilen• sehr teures Testsystem mit hohem Wartungsaufwand |

4.7 JTAG/Boundary Scan

Typischer Boundary Scan IC

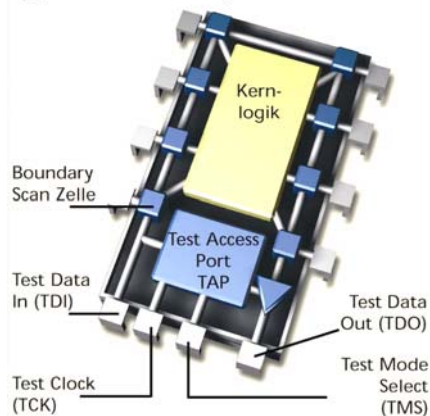


Abb. 8
Boundary Scan fähiges Bauteil

Hier handelt es sich um ein relativ neuartiges, aber revolutionäres elektrisches Testverfahren. Das Stimulieren und Messen der einzelnen Leiterbahnen einer Flachbaugruppe erfolgt nicht mehr über vorher festgelegte Testpunkte und der daran angeschlossenen Messtechnik, sondern über die im Bauteil integrierten Boundary Scan Zellen. Der Aufbau eines solchen Bauteils ist einmal in Abbildung 8 dargestellt. Die notwendige Informationsübertragung zwischen dem Testsystem und den Boundary Scan

Bauteilen geschieht über einen vierdrahtigen Testbus. Dieser muss im Layout der Leiterplatte berücksichtigt werden (an Stelle Testpunkte zu setzen wie beim ICT oder FPT). Ein Testsystem muss somit auch nur über einen Anschluss für diesen Testbus verfügen.

Da man keine Testpunkte mehr benötigt ergeben sich nicht die zunehmenden Probleme, vor denen der ICT wie auch der FPT stehen. Bei genauerer Betrachtung von Abbildung 8 wird man feststellen, dass sich die Boundary Scan Zellen zwischen dem Pin des Bauteils und dessen innerer Logik befinden. Die innere Logik spielt somit für das Testen der Leiterbahnen einer Flachbaugruppe keinerlei Rolle mehr. Es ist egal, ob es sich um einen Prozessor oder ein PLD handelt.

Vorteile

- hohe Flexibilität, da keine Testpunkte benötigt werden
- hohe Flexibilität, da kein prüflingsspezifischer Adapter benötigt wird
- geringer Aufwand für Testprogrammerstellung auch bei komplexen Bauteilen (es werden keine Funktionsbeschreibungen mehr benötigt)
- schnelles Testverfahren
- sehr kompaktes Testsystem (im einfachsten Falle ein PC oder Laptop mit Einsteckkarte)
- bietet Unterstützung während des kompletten Produktlebenszyklus

Nachteile

- derzeit nur begrenzt Tools für den analogen Bereich verfügbar

Kostenfaktoren

- kostengünstiges Testsystem mit hohem Return-On-Invest

Soweit die Ausführungen zu den einzelnen Testverfahren. Zieht man ein kurzes Resümee, so fällt zunächst auf, dass die Unterschiede bei den elektrischen Testverfahren wesentlich gravierender ausfallen als bei den optischen. Bei letzteren hat man im Prinzip nur die Wahl

zwischen der manuellen Inspektion oder der automatischen. Optional kann dann zusätzlich noch ein Röntgensystem eingesetzt werden.

Der Funktionstest ist der Außenseiter bei den elektrischen Testverfahren. Wie die automatische Röntgeninspektion ist auch dieser mehr eine zusätzliche Option als ein gleichwertiger Ersatz zu den übrigen elektrischen Testverfahren.

5 Die Kombinationen im Detail

Es macht durchaus Sinn alles mit jedem zu kombinieren, nur sollte dabei am Ende auch ein gewisser Nutzen entstehen. Dies steht im Hauptfokus der nachfolgenden Betrachtungen. So wird z.B. die Kombination der manuellen Sichtkontrolle mit der automatischen optischen Inspektionssystem sehr selten angewandt.

Ruft man sich Tabelle 3 über die Fehlerabdeckung der beiden Testprinzipien noch einmal ins Gedächtnis, so gelangt man schnell zu der Erkenntnis, dass es sicher von Vorteil ist, ein optisches Testverfahren mit einem elektrischen zu verbinden. Von Seiten der optischen Inspektion hat man die im vorigen Kapitel bereits angesprochene Auswahl zwischen manueller oder automatischer Variante. Die manuelle Inspektion ist relativ gut für das Einfahren eines Prozesses geeignet, bietet aber keine zuverlässige kontinuierliche Qualitätskontrolle des Produktes. Dies ist aber von essentieller Bedeutung, wenn man ein konsequent hohes Niveau der Produkte erreichen möchte und muss. Aus diesem Grund wird in den nachfolgenden Betrachtungen die mögliche Kombinationen mit der manuellen Inspektion nicht näher betrachtet.

5.1 Automatische Optische Inspektion + Automatische Röntgeninspektion



Abb. 9
Kombination AOI + AXI

Ein AOI-System mit einem AXI-System zu kombinieren macht überall da Sinn, wo man möglichst alle Lötstellen qualitativ beurteilen möchte, also auch die, welche sich unter einem BGA befinden. Die Kombination beider Testverfahren bietet sich an, da beide gemeinsam in einem Gehäuse untergebracht werden können und die Fehlerauswertung bzw. Analyse von ein und dem selben Programm erfolgen kann.

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Fehlerabdeckung • beide Verfahren in einem Gehäuse integriert • einfache Prüfprogrammerstellung basierend auf dem gleichen Prinzip
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • keine, die auf die optischen Verfahren zurückzuführen sind
Resümee	<ul style="list-style-type: none"> • Diese Kombination der Testverfahren macht Sinn, um eine hohe Fehlerabdeckung auch an sonst nicht zugänglichen Stellen sicherzustellen.

5.2 Automatische Optische Inspektion + Multifunktionstester

Der Nachteil der fehlenden Funktionsprüfung der Bauteile des AOI-Systems wird mittels eines nachgeschalteten Funktionstests weitestgehend wettgemacht. Es bleiben die Nachteile, welche der Funktionstest prinzipiell hat.

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • erhöhte Fehlerabdeckung
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • im Falle eines elektrischen Fehlers nur sehr ungenaue Diagnose möglich
Resümee	<ul style="list-style-type: none"> • Mit dem AOI-System kann man Aussagen darüber treffen, ob das Gesamtsystem prinzipiell funktioniert, wenn jedes Bauteil vorschriftsmäßig platziert ist. Wenn der Prüfling zusätzlich den Funktionstest besteht, kann man mit einer großen Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass er fehlerfrei ist. Legt man nicht viel Wert auf eine genaue Diagnose so ist dies sicher eine vorteilhafte Kombination.

5.3 Automatische Optische Inspektion + In-Circuit Test

Auch diese Kombination kompensiert den Nachteil der fehlenden Funktionsprüfung der Bauteile des AOI-Systems mittels des nachgeschalteten In-Circuit Tests.

Die Diagnosemöglichkeiten bei einem aufgetretenen elektrischen Fehler sind jedoch sehr viel umfangreicher. Jedoch steht die hohe Flexibilität des AOI-Systems in keinerlei Verhältnis zu der des IC Tests. Auch bleiben die Probleme, die der ICT prinzipiell mit sich bringt, insbesondere aufgrund des teuren Nadelbettadapters, bestehen.

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • maximale Fehlerabdeckung
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Flexibilität des Gesamtsystem, aufgrund des sehr individuell auf den Prüfling zugeschnittenen Nadelbettadapters für den ICT

- großer Aufwand für mehrfache Testprogrammerstellung
- Resümee
- Die mit dieser Kombination erzielbare Fehlerabdeckung ist sehr hoch. Allerdings ist der Preis (Unflexibilität, Nadelbettadapter), den man dafür zahlt, auch sehr hoch.

5.4 Automatische Optische Inspektion + Flying Probe Test

Diese Kombination ist vergleichbar mit der vorigen Kombination AOI + ICT. Allerdings ist das Gesamtsystem sehr viel flexibler da keinerlei Adapter benötigt werden. Nach wie vor bleiben die Probleme, die der Flying Probe an sich mitbringt. Ganz vorn zu nennen ist hier die geringe Geschwindigkeit des Testverfahrens. Dies wirkt sich negativ auf die Beurteilung diese Kombination aus.

- Vorteile
- maximale Fehlerabdeckung
 - hohe Flexibilität, da kein prüflingspezifischer Adapter benötigt wird
- Nachteile
- geringe Geschwindigkeit des Gesamtablaufes, aufgrund der Arbeitsweise des Flying Probers
 - großer Aufwand für doppelte Testprogrammerstellung
- Resümee
- Wie bei der Kombination AOI + ICT ist die erzielbare Fehlerabdeckung sehr hoch. Das Gesamtsystem ist jedoch sehr viel flexibler, da es ohne jeglichen Adapter auskommt. Als Nachteil soll in erster Linie auf die geringe Geschwindigkeit des Flying Probe hingewiesen werden, wohl wissend um die weiteren Nachteile dieses Testverfahrens.

5.5 Automatische Optische Inspektion + Boundary Scan

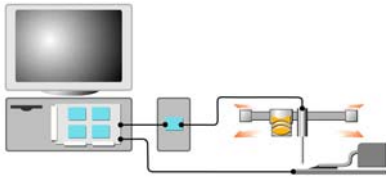


Abb. 10
Mögliche Erweiterung des BScan Tests

Hierbei handelt es sich um die Top-Kombination. Boundary Scan schließt nicht nur die Lücke beim AOI-System was die Funktionsüberprüfung der Bauteile angeht, sondern ermöglicht auch zuvor nur manuell durchführbare Tests. Da Boundary Scan zum Testen

einer Flachbaugruppe lediglich einen Anschluss für den Testbus benötigt, kann dieser Test ohne Probleme in das AOI-System hinein integriert werden. Eine optische Ausgabereinheit auf dem Prüfling, z.B. eine LED, kann dann mittels BScan im AOI-System angeregt werden und dessen korrekte Funktion mit dem AOI-System kontrolliert werden.

Ein weiterer großer Vorteil dieser Kombination ist auch, dass beide Tests parallel ausgeführt werden können: während die AOI die Lötstellen inspiziert, kann Boundary Scan die elektrische Funktion überprüfen und beispielsweise ein vorhandenes PLD programmieren.

Befestigt man neben der Kamera des AOI-Systems noch eine Messspitze und verbindet diese mit dem Boundary Scan Testsystem, so kann diese als zusätzliche virtuelle Boundary Scan Zelle genutzt werden, was wiederum die Fehlerabdeckung seitens des elektrischen Tests erhöht.

Vorteile	<ul style="list-style-type: none">• sehr hohe Fehlerabdeckung• hohe Flexibilität, da kein prüflingsspezifischer Adapter benötigt wird• parallele Abarbeitung beider Testverfahren• einfache Integration von BScan in AOI-System• Erhöhung der Fehlerabdeckung um optische Ausgabereinheiten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">• Boundary Scan bietet derzeit nur begrenzt Tools für den analogen Bereich• erhöhter Aufwand für doppelte Testprogrammerstellung
Resümee	<ul style="list-style-type: none">• AOI und BS ergänzen sich ideal. Keine andere Kombination verspricht so viele Vorteile bei vergleichbar minimalen Kosten wie diese.

Unter optimalen Bedingungen machen keine weiteren Kombinationen der Testverfahren Sinn. Die erzielbare Fehlerabdeckung ist nahezu 100%. Optimal bedeutet in diesem Fall, dass mit einem einzigen elektrischen Testverfahren sämtliche elektrische Fehler gefunden werden können. Das setzt aber beim ICT wie auch beim FPT einen Testpunkt pro Leiterbahn der Flachbaugruppe sowie die Möglichkeit einer Funktionsbeschreibung aller Bauteile voraus. Bei Boundary Scan erfordert dies nur eine konsequente Boundary Scan Architektur (welche

mittlerweile von allen bedeutenden Chiplieferanten generell angeboten wird). Die optischen Testverfahren hingegen haben derartige Einschränkungen nicht.

Wie üblich wird man diese optimalen Bedingungen für die elektrischen Testverfahren in der Praxis viel zu selten finden. Um trotzdem eine größtmögliche Fehlerabdeckung erzielen zu können, erscheint ein Blick auf die Kombination der elektrischen Testverfahren untereinander als sinnvoll. Möglicherweise ergeben sich Synergien, die die Nachteile der Testverfahren auf ein Minimum reduzieren.

5.6 In-Circuit Test + Boundary Scan

Mit dem ICT kann man alle elektrischen Fehler finden. Warum sollte man sich dann die Mühe machen, es noch mit Boundary Scan zu kombinieren? Ein Blick auf die Probleme des In-Circuit Testverfahrens zeigen warum.

Was macht man, wenn auf der Baugruppe einfach kein Platz für Testpunkte ist? Dann müsste man beim ICT auf das Testen dieser Leiterbahnen verzichten. Bei Boundary Scan hingegen hat man unbegrenzten Zugriff.

Wie sieht die Funktionsbeschreibung für einen PowerPC aus? Boundary Scan benötigt diese nicht.

Klare Vorteile, die den Einsatz von Boundary Scan nahe legen. Doch wenn die Anzahl der Boundary Scan Bauteile nicht ausreicht um jedes Netz zu erreichen, wird der ICT benötigt. Doch wo zieht man da jetzt die Grenze? Darauf gibt es eine einfache Antwort. Mit BScan wird soviel wie möglich getestet, da es die größtmögliche Effektivität bietet. Die verbleibenden Prüfaufgaben übernimmt der ICT. Somit werden die Kosten für die Testprogrammerstellung auf ein Minimum reduziert.

Die Kombination hat noch einen ganz entscheidenden Vorteil. Der Aufwand für den beim ICT benötigten Nadelbettadapter wird minimiert, da jede Nadel Geld kostet. Somit spart man mit jeder Nadel, die nicht benötigt wird, muss bares Geld. Bei einigen hundert gesparten Nadeln pro Adapter rechnet sich das.

- | | |
|-----------|---|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none">• sehr schnelles Gesamtsystem• sehr hohe Fehlerabdeckung auch bei hochkompakten Flachbaugruppen• Reduzierung der Kosten für den Nadelbettadapter auf ein Minimum• einfache Testprogrammerstellung, da sich jedes Testverfahren auf das konzentriert, wofür es am besten geeignet ist |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none">• erhöhter Aufwand für doppelte Testprogrammerstellung• geringe Flexibilität des Gesamtsystem, aufgrund des sehr individuell auf den Prüfling zugeschnittenen Nadelbettadapters für den ICT |

- Resümee
- Das Zusammenspiel von In-Circuit Test und Boundary Scan führt zu einer sehr hohen Fehlerabdeckung auch bei hochkompakten Flachbaugruppen. Die Kosten für den Nadelbettadapter sowie für die Testprogrammerstellung lassen sich spürbar verringern.

5.7 Flying Probe Test + Boundary Scan

Der große Nachteil des Flying Probe Tests, nämlich dessen Abarbeitungsgeschwindigkeit, kann durch die Kombination mit Boundary Scan weitestgehend verringert werden. Wie bei der vorigen Kombination von ICT + BScan überlässt man das Gros der Testarbeiten dem effektiven Boundary Scan. Die Aufgaben für den Flying Probe reduzieren sich somit auf ein Minimum, wodurch dessen langsame Arbeitsweise nicht wesentlich ins Gewicht fällt.

Als äußerst vorteilhaft bzgl. der Fehlerabdeckung von BScan erweist sich die Tatsache, dass die Nadeln des Flying Probers als virtuelle Boundary Scan Zellen fungieren können. Somit können dann auch Leiterbahnen getestet werden, die vorher über Boundary Scan nicht erreichbar waren.

Im Gegensatz zur Kombination ICT + BScan ist diese Kombination äußerst flexibel, da man ohne produktspezifischen Adapter auskommt.

- Vorteile
- schnelles Gesamtsystem
 - sehr hohe Fehlerabdeckung auch bei hochkompakten Flachbaugruppen
 - hohe Flexibilität, da kein prüflingsspezifischer Adapter benötigt wird
 - einfache Testprogrammerstellung, da jedes Testverfahren technologie-spezifisch angewandt wird

- Nachteile
- doppelter Aufwand für Testprogrammerstellung

- Resümee
- Es gibt gute Gründe für ein Zusammenspiel zwischen Flying Probe und Boundary Scan. Zu erwähnen ist die hohe Flexibilität des Gesamtsystems und das Erreichen einer maximalen Fehlerabdeckung.

Es lassen sich also durchaus gute Gründe für eine Kombination verschiedener elektrischer Testverfahren finden. Für welche man sich letztendlich entscheidet hängt im Wesentlichen vom Produktportfolio und der Komplexität der Baugruppen ab. Anregungen zu den Möglichkeiten und den damit zu erzielenden Vorteilen wurden in diesem Kapitel ausreichend beschrieben.

6 Zusammenfassung

Für eine kontinuierliche Optimierung des Fertigungsprozesses ist das Testen auf einem qualitativ hohen Niveau unumgänglich. Ein einzelnes Testverfahren kann diesen Ansprüchen nur bedingt gerecht werden.

Hier setzt die Idee der Kombination verschiedener Testverfahren an. Dabei hat sich herauskristallisiert, dass sich mit einem Mix aus optischen und elektrischen Testverfahren das beste Ergebnis erzielen lässt. Wollte man sich nun konkret auf eine Kombination festlegen, so sticht bei den drei optischen Verfahren die Automatische Optische Inspektion besonders hervor, da dieses Testverfahren keinerlei nennenswerte Nachteile besitzt.

Im Bereich der elektrischen Verfahren ist die Auswahl schon größer. Jedes Testverfahren hat seinen speziellen bevorzugten Einsatzbereich. Nichtsdestotrotz sticht gerade bei der Kombination mit der Automatischen Optischen Inspektion ein Verfahren besonders hervor: Boundary Scan. Das Zusammenspiel von AOI und BScan bietet einige Vorzüge, bei denen die anderen Technologien nicht mithalten können. Nicht zuletzt im Bezug auf die Kosten, ist dieses Team einfach unschlagbar.

Unter Kostenaspekten ist auch eine genauere Betrachtung möglicher Kombinationen verschiedener elektrischer Testverfahren untereinander unbedingt ratsam. So lassen sich aus der Verbindung des In-Circuit Test mit Boundary Scan wie auch des Flying Probe Tests mit



Abb. 11
BGA Gehäuse mit 1.517 balls

Boundary Scan erhebliche Verbesserungen ableiten. Mit Blick auf die immer kompakter werdenden Baugruppen und Bauteile (siehe Abbildung 11) und den sich daraus ergebenden Problemen bei einer rein mechanischen Kontaktierung der Leiterzüge ist ein Umdenken bei den elektrischen Testverfahren notwendig.

Nicht vernachlässigen darf man den Zusatznutzen, den die elektrischen Testverfahren im Gegensatz zu den rein optischen Verfahren zu bieten haben. Zu nennen wären da die Möglichkeit der In-Circuit Programmierung oder, speziell bei Boundary Scan, die Unterstützung während des kompletten Produktlebenszyklus.

Es gibt also eine Vielzahl von Faktoren die für eine Kombination der verschiedenen Testverfahren sprechen. Nicht zuletzt aus Kostengründen, denn eins steht fest:

Eine sinnvolle Kombination von Testverfahren kostet kein Geld, sondern spart Geld!