

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Widmung	7
Danksagung	7
1 Motivation	15
2 Die Fehlermatrix	21
2.1 Fehlerarten	21
2.2 Bauteilfehler	23
2.2.1 Defektes Bauteil (Gehäuse)	24
2.2.2 Verbogener Bauteilanschluss/Lifted Lead	24
2.2.3 Fehlender Bauteilanschluss	25
2.2.4 Fehlerhafter Bauteilkennwert	26
2.3 Bestückfehler.....	26
2.3.1 Fehlbestücktes Bauteil/falsche Beschriftung	27
2.3.2 Falsch positioniertes Bauteil/Versatz	27
2.3.3 Verpoltes Bauteil	29
2.3.4 Fehlendes Bauteil	29
2.3.5 Zu viel bestücktes Bauteil.....	29
2.4 Lötfehler.....	29
2.4.1 Grabsteineffekt/Tombstone	30
2.4.2 Benetzungsfehler	31
2.4.3 Unzureichende Füllhöhe	32
2.4.4 Lunker	32
2.4.5 Black Pad	33
2.4.6 Kurzschluss	33
2.4.7 Unzureichende Lötverbindung	34
2.5 Abbildung des Anwendungsfalls	35
2.6 Ist der Fehler detektierbar?	37
2.7 Handhabung der Fehlermatrix.....	37
2.8 Bewertung einer Teststrategie.....	39
3 Optische Testverfahren	41

4	Manuelle Optische Inspektion/Sichtkontrolle	43
4.1	Funktionsweise	43
4.1.1	BGA-Inspektion	44
4.1.2	PC-unterstützter Bildvergleich	46
4.2	Was ist machbar? Und wo liegen die Grenzen?	47
4.3	Aufbau in der Praxis/Varianten	48
4.4	Qualität der Fehleraussage	49
4.5	Design-for-Test-Regel(n)	49
4.6	Wohin geht die Entwicklung?	50
4.7	Fehlermatrix	50
4.8	Zusammenfassung (oder Highlights)	52
5	Automatische Optische Inspektion	53
5.1	Entstehungsgeschichte	53
5.2	Funktionsweise	55
5.2.1	Optischer Bildaufnehmer	55
5.2.2	Softwarealgorithmen	67
5.2.3	Reparaturkonzept/Pseudofehler	74
5.2.4	Statistik	75
5.3	Was ist machbar? Und wo liegen die Grenzen?	75
5.4	Aufbau in der Praxis/Varianten	76
5.4.1	Die Integration in den Fertigungsprozess	78
5.5	Qualität der Fehleraussage	81
5.6	Design-for-Test-Regeln	82
5.6.1	Stabiler Produktionsprozess	82
5.6.2	Freiraum bei Schrägblickkameras	82
5.6.3	Lötstopplack	82
5.6.4	Bestückungsdruck	83
5.6.5	Passmarken	83
5.6.6	Padgeometrie	84
5.7	Wohin geht die Entwicklung?	85
5.8	Fehlermatrix	85
5.9	Zusammenfassung (oder Highlights)	87

6	Röntgeninspektion	89
6.1	Entstehungsgeschichte	89
6.2	Funktionsweise	90
6.2.1	Röntgenröhren	94
6.2.2	Detektoren	96
6.2.3	Besonderheiten bei bleifreien Lötstellen	97
6.2.4	Strahlenschutz für Bediener und Bauteile	98
6.3	Was ist machbar? Und wo liegen die Grenzen?	99
6.3.1	Laminographie/Tomosynthese	99
6.3.2	Computertomographie	101
6.3.3	CT-Anwendungen in der Elektronik	103
6.4	Aufbau in der Praxis/Varianten	105
6.4.1	Programmierung von Inspektionsabläufen	106
6.4.2	Halbautomatische Offline-Inspektion	106
6.4.3	Vollautomatische Inline-Inspektion	107
6.4.4	Vollautomatische Offline-Inspektion	107
6.5	Qualität der Fehleraussage	108
6.5.1	Verbesserte Fehlererkennung durch Schrägdurchstrahlung	110
6.6	Design-for-Test-Regeln	112
6.6.1	Referenzmarken	112
6.6.2	BGA Pad-Design	113
6.6.3	Stark absorbierende Bauteile	113
6.7	Fehlermatrix	114
6.8	Zusammenfassung (oder Highlights)	116
7	Elektrische Testverfahren	117
8	Funktionstest	119
8.1	Funktionsweise	120
8.1.1	Die Schaltmatrix	122
8.1.2	Der Prüfadapter	123
8.1.3	Der Kommunikationsbus	124
8.1.4	Die Steuersoftware	125
8.2	Was ist machbar? Und wo liegen die Grenzen?	126
8.3	Aufbau in der Praxis/Varianten	127
8.4	Qualität der Fehleraussage	129
8.5	Design-for-Test-Regeln	130
8.6	Wohin geht die Entwicklung?	130

8.7	Fehlermatrix	130
8.8	Zusammenfassung (oder Highlights)	133
9	In-Circuit-Test	135
9.1	Entstehungsgeschichte	136
9.2	Funktionsweise	136
9.2.1	Elektromechanischer Teil oder Der Nadelbettadapter	136
9.2.2	Elektrischer Teil bzw. die Messtechnik	143
9.3	Was ist machbar? Und wo liegen die Grenzen?	156
9.4	Aufbau in der Praxis/Varianten	157
9.4.1	Starnadeladapter	158
9.4.2	Zweistufiger Adapter	160
9.4.3	Vakuumadapter vs. Niederhalter	160
9.5	Qualität der Fehleraussage	161
9.6	Design-for-Test-Regeln	162
9.6.1	Die wichtige!	162
9.6.2	Größe und Lage der Testpunkte	162
9.6.3	Pins von THT-Bauelementen als Testpunkt	163
9.6.4	Anzahl der Testpunkte	163
9.6.5	Kraftverteilung der Testpunkte	164
9.6.6	Führungsbohrungen	164
9.6.7	Vakuumadapter	164
9.6.8	Sonden für vektorlosen Test	165
9.6.9	Redesign	165
9.6.10	Elektrische Aspekte	165
9.7	Wohin geht die Entwicklung?	166
9.8	Fehlermatrix	167
9.9	Zusammenfassung (oder Highlights)	169
10	Flying-Probe-Test	171
10.1	Entstehungsgeschichte	171
10.2	Funktionsweise	173
10.2.1	Elektromechanischer Teil	173
10.2.2	Elektrischer Teil bzw. die Messtechnik	178
10.3	Was ist machbar? Und wo liegen die Grenzen?	181
10.4	Aufbau in der Praxis/Varianten	182
10.5	Qualität der Fehleraussage	185
10.6	Design-for-Test-Regeln	185

10.6.1	Die wichtige Regel!	186
10.6.2	Größe und Lage der Testpunkte	186
10.6.3	Testpunkte am Rand einer Leiterplatte	186
10.6.4	Die Leiterbahn als Testpunkt	186
10.6.5	Der Bauteilanschluss als Testpunkt	187
10.6.6	Setzen der Referenzmarken	187
10.6.7	Sonden für vektorlosen Test	188
10.7	Wohin geht die Entwicklung?	188
10.8	Fehlermatrix	189
10.9	Zusammenfassung (oder Highlights)	191
11	Boundary-Scan-Test	193
11.1	Entstehungsgeschichte	193
11.2	Funktionsweise	195
11.2.1	Der Boundary Scan Standard IEEE 1149.1	195
11.2.2	Das Testen von Baugruppen mit dem statischen, digitalen Verbindungstest	205
11.3	Was ist machbar? Und wo liegen die Grenzen?	208
11.4	Aufbau in der Praxis/Varianten	209
11.5	Qualität der Fehleraussage	211
11.6	Design-for-Test-Regeln	211
11.6.1	Compliance Pattern	212
11.6.2	Testbusabschluss	212
11.6.3	Flexible Scankette	213
11.6.4	Access = Success	213
11.6.5	Schnelle Flash Programmierung	215
11.7	Wohin geht die Entwicklung?	216
11.7.1	Der Standard IEEE 1149.4	216
11.7.2	Der Standard IEEE 1149.6	216
11.7.3	Emulationstest	217
11.8	Fehlermatrix	217
11.9	Zusammenfassung (oder Highlights)	219
12	Kombination der Testverfahren	221
12.1	Automatische Optische Inspektion + Röntgeninspektion	223
12.2	Optisch + Elektrisch	223
12.2.1	Automatische Optische Inspektion + Funktionstest	224
12.2.2	Röntgeninspektion + Funktionstest	224
12.2.3	Automatische Optische Inspektion + In-Circuit-Test	224
12.2.4	Röntgeninspektion + In-Circuit-Test	225

12.2.5	Automatische Optische Inspektion/Röntgeninspektion + Flying-Probe-Test	225
12.2.6	Automatische Optische Inspektion + Boundary-Scan-Test	226
12.2.7	Röntgeninspektion + Boundary-Scan-Test	227
12.3	Elektrisch + Elektrisch	228
12.3.1	Funktionstest + In-Circuit-Test/Flying-Probe-Test	228
12.3.2	Funktionstest + Boundary-Scan-Test	229
12.3.3	In-Circuit-Test + Boundary-Scan-Test.	230
12.3.4	Flying-Probe-Test + Boundary-Scan-Test.	231
12.4	Ausblick	232
13	Beispielbaugruppe	233
13.1	Schritt 1 – Analyse.	233
13.2	Schritt 2 – Tauglichkeit zu jedem Testverfahren ermitteln	235
13.3	Schritt 3 – Bewertung der Einzelergebnisse	237
13.4	Schritt 4 – Zusammenstellung einer Teststrategie	238
13.5	Schritt 5 – Bewertung der Teststrategien	242
13.6	Resümee.	243
	Literaturverzeichnis	245
	Stichwortverzeichnis	247