

Autorenverzeichnis

Kapitel	Autoren
1 Vom Schaltplan bis zum PCB-Layout – Überlegungen zum Design	<i>Dipl.-Ing. (FH) D. Stohlmann und G. Stohmann,</i> STOCAD print-layout GmbH & Co. KG, 32278 Kirchlengern
2 Starre Basismaterialien	<i>Dr. rer. nat. Manfred Cygon,</i> 52353 Düren
3 Flexibles Basismaterial	<i>Roland Münzberg,</i> 35274 Kirchhain
4 Kupferfolie	<i>Dipl.-Ing. B. Gensleben,</i> Circuit Foil Luxembourg Sàrl, L-9559 Wiltz, Luxembourg
5 Der Einfluss des Basismaterials auf die Hochfrequenz-Eigenschaften	<i>Dr. Klaus Ritz,</i> 35083 Wetter
6 Multilayer mit definierter Impedanz	<i>P. R. Waldner,</i> Multiline International Europa GmbH, 61352 Bad Homburg
8 Die Leiterbildstrukturierung	<i>Dr. M. Suppa,</i> Lackwerke Peters GmbH & Co KG, 47906 Kempen
9 Direktbelichtung LDI (Laser Direct Imaging)	<i>Sven Nehrdich und Jens Ohlwein,</i> Jenaer Leiterplatten GmbH, 07745 Jena
10.1 Bohren von Leiterplatten	<i>T. Byron und M.Sc. C. Mies,</i> Schmoll Maschinen GmbH, 63322 Rödermark
10.2 Fräsen von Leiterplatten	<i>H. Bender und M.Sc. C. Mies,</i> Schmoll Maschinen GmbH, 63322 Rödermark

Kapitel	Autoren
10.3	Kombinierte Bohr- und Fräsmaschinen <i>Dipl.-Ing. (FH) J. Berkmann und M.Sc. C. Mies,</i> Schmoll Maschinen GmbH, 63322 Rödermark
11	Werkzeuge zur mechanischen Bearbeitung von Leiterplatten <i>Johann Schmidt,</i> GCT GmbH, 88250 Weingarten
12	Ritzen zur Konturgebung als Alternative zum Fräsen <i>El. Ing. HTL Beat Imbach,</i> Imbach Engineering, CH-5507 Mellingen
13	Röntgen-Messungen von Multilayern <i>Richard Rook,</i> CADiLAC Laser GmbH, 91161 Hilpoltstein
14	Laserbohren von Sacklöchern in Leiterplatten <i>Dr. Klaus Ritz,</i> 35083 Wetter
15	Plasma als Bearbeitungsmedium in der Leiterplattentechnik <i>Dr. Klaus Ritz,</i> 35083 Wetter
16	Chemische Prozesse <i>Dr. Wolfgang Hansal und Rudolf Mann,</i> Hirtenberger Engineered Surfaces GmbH, CH-2552 Hirtenberg
17	Drahtbondfähige Leiterplattenoberflächen <i>Prof. Dr.-Ing. M. Schneider-Ramelow,</i> TU Berlin, 13355 Berlin <i>Dipl.-Ing. R. Schmidt,</i> Fraunhofer IZM Berlin, 13355 Berlin
18	Leiterplatten-Prototypen mit Fräs- und Lasertechnologie <i>Malte Borges,</i> LPKF Laser & Electronics AG, 30827 Garbsen
19	IMS-Leiterplatten <i>Eberhard Heiser,</i> FELA GmbH, 78054 Villingen-Schwenningen
20	Räumliche mechatronisch integrierte Baugruppen 3D-MID <i>Thomas Kuhn und Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke,</i> Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 90429 Nürnberg
21	Gedruckte Elektronik <i>Dr.-Ing. G. C. Schmidt,</i> TU Chemnitz, Institut für Print- und Medientechnik, 09126 Chemnitz

Kapitel	Autoren
22 Wärmeableitung durch integrierte Kupfer-Coins	<i>Dipl.-Ing. (FH) M. Wille,</i> Schoeller Electronics Systems GmbH, 35083 Wetter
23 Elektro-optische Leiterplatten	<i>Dr.-Ing. Krzysztof Nieweglowski,</i> IAVT, TU Dresden, 01062 Dresden <i>Dr. Henning Schröder,</i> Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM), 13355 Berlin
24 Dickschichttechnologie	<i>Univ.-Prof. Jens Müller,</i> TU Ilmenau, 98693 Ilmenau <i>Univ.-Prof. em. Heiko Thust,</i> 98714 Stützerbach
25 Grundlagen und Anwendungen der Dünnschichttechnologie	<i>Dr.-Ing. Alexander Kaiser,</i> Cicor Reinhardt Microtech GmbH, 89077 Ulm
26 DCB (Direct Copper Bonding) Substrattechnologie	<i>Andreas Meyer,</i> Rogers Germany GmbH, 92676 Eschenbach <i>Dr. Juergen Schulz-Harder,</i> JSH-Consult, 91207 Lauf
27 Embedded Components	<i>Prof. Dipl.-Ing. Dr. Johann Nicolics und</i> <i>Prof. Dipl.-Ing. Dr. Thomas F.E. Walla,</i> Technische Universität Wien, A-1040 Wien
28 Elektrischer Test	<i>Dipl.-Ing. (FH) A.M. Keiner,</i> nemotronic, 76863 Herxheim
29 Steckverbinder für elektrische Schaltungsträger	<i>Dipl.-Ing. (FH) Christian Wegener,</i> Siemens AG, Corporate Technology, 13629 Berlin
30 Standards – Normen und Richtlinien für die Leiterplattenfertigung	<i>Dr.-Ing. H. Poschmann,</i> Tech. Trends, 12247 Berlin

Inhaltsverzeichnis von Teil I und Teil II (verkürzt)

Vorwort	5
Autorenverzeichnis.....	6
Einleitung.....	27
1 Vom Schaltplan bis zum PCB-Layout – Überlegungen zum Design	31
1.1 Designer und CAD-System.....	31
1.2 Schaltpläne im CAD-System generieren oder übernehmen.....	31
1.3 Aufbau der CAD-Bibliotheken	32
1.4 Erstellung der Leiterplattenkontur (PCB-Outline) und Design-Rules	33
1.5 Anordnung der Bauteile auf der Leiterplatte.....	33
1.6 Platzierungsplan oder späterer Bestückungsplan	34
1.7 Entflechten (Routing).....	34
1.8 Fertigungsgerechte Optimierung des Layouts.....	34
1.9 Kontrolldaten erstellen, prüfen und freigeben.....	35
1.10 Fertigungsunterlagen.....	35
1.11 Checkliste und Datensicherung.....	36
1.12 Leiterplattenmaterial und –aufbau	36
1.12.1 Mechanische Bearbeitung.....	36
1.12.2 Löttemperatur und Lötvorgang.....	36
1.12.3 Temperaturexpansionskoeffizient TCE.....	37
1.12.4 Impedanz und Toleranz	37
1.12.5 Erstellen des Bestückungs- und Fertigungsnutzen	37
1.12.6 Platzierung und Montageprozesse.....	38
1.12.7 THT (Through Hole Technology, Durchkontaktierung).....	38
1.12.8 SMT (Surface Mounted Technology, Oberflächenmontage)	39
1.12.9 Durchkontaktierungen (Lagenverbindungen/Vias)	39
1.12.10 Nicht durchkontaktierte Bohrungen (NDKs) und Ausbrüche	40
1.12.11 Layout und Fertigungstechnologie.....	40
1.12.12 Anforderungen an die SMD-Pads.....	40
1.12.13 Herstellungskosten senken	41
1.12.14 Lötstoppmasken.....	41
1.12.15 Optionale Drucke.....	42
1.13 Diverse Testverfahren.....	42
1.13.1 Incircuit-Test (ICT).....	42
1.13.2 Automatische Optische Inspektion (AOI)	42
1.13.3 Besonderheiten bei Area Array Packages (AAP)	43

1.13.4	Leiterplattenspezifikation	43
1.14	Designnormen und -richtlinien	43
2	Starre Basismaterialien.....	45
2.1	Normen und Spezifikationen.....	46
2.2	Hauptbestandteile von Basismaterialien	49
2.2.1	Kupferfolien.....	49
2.2.1.1	Spezielle Kupferfolien.....	50
2.2.2	Verstärkungsmaterialien	51
2.2.2.1	Glasgewebe	51
2.2.2.2	Papier.....	57
2.2.2.3	Diverse Verstärkungsmaterialien.....	57
2.2.3	Harzsysteme	58
2.2.3.1	Epoxidharze.....	58
2.2.3.2	Phenolharze.....	62
2.2.3.3	Polyimidharze.....	64
2.2.3.4	Cyanatesterharze	64
2.2.3.5	Polytetrafluorethylen (PTFE)	64
2.2.3.6	Sonstige Harze	65
2.2.3.7	Flammschutzmittel.....	67
2.3	Herstellverfahren.....	68
2.3.1	Herstellung von Prepregs.....	68
2.3.2	Herstellung von Laminaten.....	71
2.4	Wichtige Eigenschaften von Basismaterialien	76
2.4.1	Laminat	76
2.4.1.1	Thermische Eigenschaften	76
2.4.1.1.1	Glasübergangstemperatur T_G	76
2.4.1.1.2	Zersetzungstemperatur T_D	80
2.4.1.1.3	Time to Delamination T_{260}/T_{288}	81
2.4.1.1.4	Thermische Ausdehnung CTE	82
2.4.1.1.5	Temperaturindex TI.....	85
2.4.1.1.6	Maximale Operation Temperatur MOT.....	86
2.4.1.1.7	Solder Temperature Impact Index STII.....	86
2.4.1.1.8	Spezifische Wärmeleitfähigkeit λ	86
2.4.1.1.9	Zyklusfestigkeit	88
2.4.1.2	Elektrische Eigenschaften	90
2.4.1.2.1	Kriechstromfestigkeit oder Comparative Tracking Index CTI	90
2.4.1.2.2	Durchgangswiderstand oder Volume Resistivity.....	91
2.4.1.2.3	Oberflächenwiderstand oder Surface Resistivity	91
2.4.1.2.4	Durchschlagsfestigkeit oder Dielectric Breakdown.....	92
2.4.1.2.5	Elektrische Festigkeit oder Electric Strength.....	92
2.4.1.3	Dielektrische Eigenschaften.....	92
2.4.1.3.1	Dielektrizitätskonstante ϵ_r oder relative Permittivität	95
2.4.1.3.2	Dielektrischer Verlustfaktor $\tan\delta$	96
2.4.1.4	Mechanische Eigenschaften	97
2.4.1.5	Sonstige Eigenschaften	98
2.4.1.5.1	Wasseraufnahme	98
2.4.1.5.2	Brennbarkeit.....	98
2.4.1.5.3	Kupferhaftung.....	101

	2.4.1.5.4	CAF-Beständigkeit	102
	2.4.1.5.5	Spezifisches Gewicht D	103
2.4.2		Prepregeneigenschaften.....	103
	2.4.2.1	Harzgehalt	104
	2.4.2.2	Gelzeit	105
	2.4.2.3	Viskosität.....	105
	2.4.2.4	Harzfluss.....	107
2.5		Umweltaspekte	108
	2.5.1	Inhaltsstoffe von Basismaterialien.....	108
	2.5.2	Recycling	109
2.6		Auswahlkriterien für Basismaterialien.....	109
2.7		FAQ	111
2.8		Abkürzungen und Symbole.....	114
3		Flexibles Basismaterial.....	118
3.1		FPC & RFPC.....	118
	3.1.1	Herstellung von flexiblem Basismaterial: 1-lagige Kupferfolie, kleberlos.....	118
	3.1.2	Herstellung von flexiblem Basismaterial: 1-lagige Kupferfolie, mit Kleber zwischen Polyimidfolie und Kupferfolie	119
3.2		Basismaterialien aus denen in der Leiterplatten-Produktion FPC oder RFPC als Endprodukt entstehen.....	120
	3.2.1	Unterschiede der beiden wichtigsten Kupferfolien für die FPC- und RFPC- Produktion	121
	3.2.2	Lagenaufbauten	121
3.3		Polyflex Schaltungen Sculptured Circuits – flexibel und verstärkt	124
	3.3.1	Polyflex und Filmerzeugung	124
	3.3.2	Anwendungsbeispiele.....	126
4		Kupferfolie.....	130
4.1		Vorbemerkung	130
4.2		Herstellung von Kupferfolie.....	130
	4.2.1	Der Plating-Prozess	131
	4.2.2	Der Treatment-Prozess.....	133
	4.2.3	Passivierung und Anlaufschutz.....	134
	4.2.4	Konfektionierung der Kupferfolie	134
	4.2.5	Kleberbeschichtung von Kupferfolien.....	135
4.3		Kennwerte der Kupferfolie.....	135
	4.3.1	Foliendicke und Flächenmasse	135
	4.3.2	Zugfestigkeit/Dehnung/Flexibilität	136
	4.3.3	Oberflächenrauheit	137
	4.3.4	Elektrische Leitfähigkeit/Reinheit.....	138
	4.3.5	Lötbarkeit	138
	4.3.6	Haftung.....	138
	4.3.7	Lagerfähigkeit/Anlaufschutz	139
	4.3.8	Ätzbarkeit	139
4.4		Auswahlkriterien für den Einsatz der Kupferfolie für Leiterplatten	140
	4.4.1	Oberflächenrauheit	140
	4.4.2	Mechanische Eigenschaften – Kupferfoliengrade	140
		4.4.2.1 Grade 1: Standardkupferfolie.....	141
		4.4.2.2 Grade 2: HD-Kupferfolie	141

	4.4.2.3	Grade 3: HTE-Kupferfolie	142
	4.4.2.4	Grade 10: LTA-Kupferfolie.....	142
4.5		Treatmenttypen.....	142
	4.5.1	Kupfertreatments	142
	4.5.2	Treatment mit Barrierschicht.....	143
	4.5.3	Einseitige Treatments.....	143
	4.5.4	Doppelseitige Treatments	144
	4.5.5	Folien ohne Treatment	144
4.6		Kupferfolien für spezielle Anwendungen.....	144
	4.6.1	Ultradünne Kupferfolie (< 10 μm) mit Kupferträger	144
	4.6.2	Kupferfolien mit anderen Trägermaterialien	147
	4.6.3	Kupferfolien für Batterie- und Akkumulatoranwendungen.....	147
	4.6.4	Kupferfolien für Smartcard- und TAB-Anwendungen	148
4.7		Die Zukunft der Kupferfolie.....	148
5		Der Einfluss des Basismaterials auf die Hochfrequenz-Eigenschaften.....	149
	5.1	Einfluss der Cu-Folie.....	149
	5.2	Einfluss des Dielektrikums - Basismaterial - Gewebe.....	152
	5.3	Einfluss des Dielektrikums - Basismaterial - Harz.....	154
	5.4	Der Einfluss der Signalgeschwindigkeit bzw. Frequenz auf die Leiterplatte	154
6		Multilayer mit definierter Impedanz	157
	6.1	Warum braucht man Leiterplatten mit definierter Impedanz?	157
	6.1.1	System-Anforderungen	157
	6.2	Impedanz – Was ist das?.....	159
	6.2.1	Wassermodell	159
	6.2.1.1	Gleichstrom und Widerstand	159
	6.2.1.2	Impulsstrom und Impedanz.....	160
	6.2.1.3	Stromversorgungsleitungen	160
	6.2.2	Impedanz elektrischer Leitungen.....	161
	6.3	Impedanz der Stromversorgung	163
	6.4	Impedanz von Signalleitungen	165
	6.4.1	HF-Rückstromweg: Signalleitungen über Masseflächen.....	166
	6.4.2	Impedanzarten	167
	6.4.3	Single Ended Impedanz (Microstrip und Stripline).....	168
	6.4.3.1	Surface Microstrip.....	169
	6.4.3.2	Coated Microstrip.....	170
	6.4.3.3	Single Stripline.....	171
	6.4.3.4	Dual-Stripline.....	172
	6.4.4	Differentielle Impedanz.....	172
	6.5	Impedanzbeeinflussende Leiterplatten-Parameter	175
	6.5.1	Impedanz-Einfluss des Basismaterials.....	176
	6.5.1.1	Bestimmung des effektiven Epsilon-R (ϵ_{reff}) bei der Coated Microstrip.....	179
	6.5.1.2	Ermittlung von ϵ_{reff} aus der Signallaufzeitangabe eines Fieldsolver-Programmes	180
	6.5.2	Einfluss der Kupferfolie auf die Impedanz	181
	6.5.3	Einfluss der konstruktiven Parameter auf die Impedanz.....	182
	6.6	Fertigungsbedingte Toleranzen und Einflussanalyse.....	183
	6.6.1	Einfluss der Prozessparameter – Coated Microstrip	183
	6.6.2	Einfluss der Prozessparameter – Stripline	184

6.7	Multilayer mit definierter Impedanz - Konzeptionierung.....	185
6.7.1	4-Lagen Multilayer als Coated Microstrip.....	185
6.7.2	Impedanzkontrollierte 4-Lagen-Multilayeraufbauten im Vergleich	188
6.7.3	6-Lagen-Multilayer.....	190
6.7.4	8-Lagen-Multilayer (Coated Microstrip und Stripline)	191
6.8	Multilayer mit definierter Impedanz in HDI-Technik (Microvia-Aufbau).....	196
6.8.1	Microstrip-Konstruktion.....	196
6.8.2	Stripline-Konstruktion.....	197
6.8.3	Dual Stripline-Konstruktion	198
6.8.4	Eignung der Microviatechnik für impedanzkontrollierte Leitungen	200
6.9	Impedanz realer Leiterbahnstrukturen	201
6.9.1	Einfluss von Durchsteigern/Vias und Bauteilen	201
6.9.2	Auswirkung von Durchsteiger-/Viaketten	204
6.10	Entwurfsrichtlinien und Fertigungsmaßnahmen-Katalog	205
6.10.1	Planungs-Maßnahmen/Entwurfs-Richtlinien	205
6.10.2	Fertigungs-Maßnahmen für konstante LP-Impedanz	206
6.10.3	Impedanz-Testcoupon.....	206
6.11	Welche Leitungsformen für die Signale?	207
6.11.1	Toleranzbetrachtung	207
7	Das Registrieren von Mehrlagen-Schaltungen (Multilayer).....	219
7.1	Einleitung	219
7.2	Prozesse zur Registrierung von Multilayern	222
7.2.1	Überprüfung der Kundendaten mit Daten für die Herstellbarkeit	222
7.2.2	Überprüfung der Paneldaten zum Fertigungsfilm.....	222
7.2.3	Film zu Film – Registrierung für die Innenlagen-Herstellung.....	223
7.2.4	Innenlage zur Film-Registrierung.....	225
7.2.5	Innenlage zur AOI-Daten-Registrierung	226
7.2.6	Innenlage zur Innenlage-Registrierung	226
7.2.6.1	Verstiftungs-Systeme (Pin-Lam).....	227
7.2.6.2	Innenlagen-Stanzen: Anzahl der Zielpunkte	228
7.2.6.3	Innenlagen: Seite-zu-Seite-Registrierungssteuerung	229
7.2.6.4	Mass-Lam als Alternative zur Pin-Laminierung	229
7.2.6.5	Mass-Lam unter Verwendung von Nieten oder Ösen.....	231
7.2.6.6	Thermische Bonding-Systeme	231
7.2.6.7	Cyanacrylat Klebstoff zum Kleben von Innenlagen	232
7.2.6.8	Induktives Bonding-System	232
7.2.6.9	CCD-Kameraausrichtung kombiniert mit Induktivem Bonding	233
7.2.7	Welches System der Innen-Lagen-Registrierung ist das Beste?.....	233
7.2.8	Registrierung von Bohrlöchern zu Innenlagen	235
7.2.8.1	Sequentielle Prozesse zur Herstellung von Multilayern.....	236
7.2.9	Registrierung Außenlagen-Film zu Multilayer Bohrungen	237
7.2.10	Registrierung Außenlagen-Bild zum Lötstoppsmasken-Bild.....	237
7.2.11	Registrierung Außenlagen zur Legende (Beschriftung, Bestückungsdruck).....	238
7.3	Materialien, Prozesse und Umgebungskontrolle.....	238
7.3.1	Materialvermessung und Prozesskontrolle	240
7.3.2	Kenntnis der Grenzen der verwendeten Materialien.....	240
7.3.3	Können die Grenzen der Materialbewegung durch Kontrolle von Umgebungseinflüssen verbessert werden?	241
7.3.4	Verwenden von Zielpunkten um Daten zu sammeln	241

7.3.5	Wo werden die Zielpunkte (Targets) platziert?	241
7.3.6	Was können mir die Zielpunkte sagen?	244
8	Die Leiterbildstrukturierung	246
8.1	Photodruck	247
8.1.1	Flüssigresist	247
8.1.1.1	Vorbehandlung	247
8.1.1.1.1	Chemische Vorbehandlung.....	247
8.1.1.1.2	Mechanische Vorbehandlung	248
8.1.1.2	Auftragsverfahren	248
8.1.1.3	Trocknung	248
8.1.1.4	Belichtung	249
8.1.1.5	Entwicklung	249
8.1.1.6	Strippen	249
8.1.2	Photodruck mit Festresist	249
8.1.2.1	Vorbehandlung	249
8.1.2.1.1	Ziel der Vorbehandlung	249
8.1.2.1.2	Methoden der Vorbehandlung	251
8.1.2.1.3	Entfetten	251
8.1.2.1.4	Chemische Vorbehandlung.....	251
8.1.2.1.5	Mechanische Vorbehandlung	253
8.1.2.1.6	Spülen	254
8.1.2.1.7	Trocknung	254
8.1.2.2	Produktbeschreibung des Photoresist.....	255
8.1.2.2.1	Zweck des Photoresist	255
8.1.2.2.2	Resistarten.....	255
8.1.2.2.3	Flüssig- und Trockenfilm-Resists im Vergleich	256
8.1.2.2.4	Ökologische und ökonomische Gesichtspunkte bei Flüssig- und Trockenfilm-Resists.....	258
8.1.2.3	Beschichten mit Trockenfilmresist	259
8.1.2.3.1	Trockenfilmresist (Festresist).....	259
8.1.2.3.2	Aufbau von Laminatoren	262
8.1.2.3.3	Laminierparameter.....	264
8.1.2.3.4	Was beim Laminieren generell zu berücksichtigen ist.....	266
8.1.2.4	Beschichten mit Flüssigresist.....	268
8.1.2.4.1	Allgemeines	268
8.1.2.4.2	Verarbeiten von Flüssigresist	268
8.1.2.4.3	Positiv und negativ arbeitende Flüssigresists	270
8.1.2.4.4	Elektrophoretisch abgeschiedene Photoresists	271
8.1.2.4.5	Siebdruckbare Photoresists	272
8.1.2.5	Belichten	273
8.1.2.5.1	Ablauf des Belichtungsvorgangs.....	273
8.1.2.5.2	Optik	274
8.1.2.5.3	Abbildungsfehler	277
8.1.2.5.4	Belichtungsgeräte.....	279
8.1.2.5.5	Brenner.....	282
8.1.2.5.6	Registrieren beim Belichten.....	285
8.1.2.5.7	Überprüfen von Belichtungszeiten und Belichtungsgeräten.....	285
8.1.2.6	Entwickeln.....	287
8.1.2.6.1	Entwicklungsverfahren	288

	8.1.2.6.2	Entwicklungsmedium	289	
	8.1.2.6.3	Beurteilung der Entwicklungsqualität	290	
8.1.2.7	Strippen	290		
	8.1.2.7.1	Strippverfahren	290	
	8.1.2.7.2	Strippmedium.....	290	
	8.1.2.7.3	Filmerzeugung	292	
8.2	Siebdruck	293		
8.2.1	Einleitung zum Siebdruck	293		
8.2.2	Prinzip des Siebdruckverfahrens	294		
8.2.3	Rahmen	294		
	8.2.3.1	Material	295	
	8.2.3.2	Rahmenvorspannung.....	295	
8.2.4	Gewebe	296		
	8.2.4.1	Gewebekennzeichnung.....	296	
	8.2.4.2	Gewebespannung	297	
	8.2.4.3	Kleben	298	
8.2.5	Schablone (Druckform).....	298		
	8.2.5.1	Schablonenmaterial.....	299	
	8.2.5.2	Schablonenmethoden	299	
	8.2.5.3	Eigenschaften	299	
	8.2.5.4	Belichtung	300	
8.2.6	Druck	301		
	8.2.6.1	Absprung	301	
	8.2.6.2	Druckrakel.....	301	
	8.2.6.3	Druck mit Leersieb (ohne Schablone).....	302	
8.2.7	Doppelseitiger Siebdruck	302		
	8.2.7.1	Horizontaldruck	302	
	8.2.7.2	Vertikaldruck.....	303	
8.2.8	Leiterbilderstellung im Siebdruck	304		
	8.2.8.1	Ätzresist	304	
		8.2.8.1.1	Ätzresist, konventionell trocknend.....	304
		8.2.8.1.2	Ätzresist, UV-härtend.....	305
8.2.9	Leiterbilddruck (negativ) Galvanotechnik.....	306		
	8.2.9.1	Galvanoresist für Siebdruck	306	
		8.2.9.1.1	Lösemittel-strippbare Galvanoresists.....	307
		8.2.9.1.2	Alkalisch strippbare Galvanoresists	308
		8.2.9.1.3	UV-härtende Galvanoresists.....	308
		8.2.9.1.4	2-Komponenten-Galvanoresists	308
		8.2.9.1.5	Abziehbare Galvanoresists.....	309
8.3	Schaltungsdrucklacke.....	310		
8.3.1	Lötstoppmasken.....	310		
	8.3.1.1	Einleitung.....	310	
	8.3.1.2	Anforderungen an die Lötstopmmaske	311	
	8.3.1.3	Eigenschaften der Lötstopmmaske	313	
		8.3.1.3.1	Viskosität	314
		8.3.1.3.2	Auslaufzeit	318
		8.3.1.3.3	Thixotropie.....	319
		8.3.1.3.4	Temperaturabhängigkeit der Viskosität.....	320
		8.3.1.3.5	Topfzeit	321
		8.3.1.3.6	Halbarkeit und Lagerstabilität	322

8.3.1.3.7	Festkörpergehalt.....	322
8.3.1.3.8	Schichtdicke.....	323
8.3.1.3.9	Kantenabdeckung.....	324
8.3.1.3.10	Farbe und Transparenz.....	326
8.3.1.3.11	Glanz.....	326
8.3.1.3.12	Remission.....	327
8.3.1.3.13	Farbmessung.....	328
8.3.1.3.14	Haftung.....	330
8.3.1.3.15	Härte.....	332
8.3.1.3.16	Flexibilität.....	333
8.3.1.3.17	Maschinelle Bearbeitbarkeit.....	334
8.3.1.3.18	Young Modul – Elastizitätsmodul.....	335
8.3.1.3.19	Oberflächenspannung.....	335
8.3.1.3.20	Wasser-/Feuchtigkeitsaufnahme.....	336
8.3.1.3.21	Wasserdampfdurchlässigkeit.....	337
8.3.1.3.22	Vernetzungsgrad.....	337
8.3.1.3.23	Lösemittel-/ Chemikalienbeständigkeit.....	338
8.3.1.3.24	Ausgasen – Outgassing.....	338
8.3.1.3.25	Fungusbeständigkeit.....	339
8.3.1.3.26	Hydrolytische Stabilität.....	339
8.3.1.3.27	Hot Pressure Cooker Test.....	340
8.3.1.3.28	Der Thermische Ausdehnungskoeffizient (CTE).....	341
8.3.1.3.29	Glasübergangstemperatur (T_g).....	342
8.3.1.3.30	Feuchtigkeitsbeständigkeit und Isolationswiderstand.....	342
8.3.1.3.31	Elektrochemische Migration.....	343
8.3.1.3.32	Creep Corrosion.....	345
8.3.1.3.33	Durchschlagsfestigkeit.....	346
8.3.1.3.34	Kriechstromfestigkeit (CTI).....	348
8.3.1.3.35	Oberflächenwiderstand.....	348
8.3.1.3.36	Durchgangswiderstand.....	349
8.3.1.3.37	Dielektrischer Verlustfaktor.....	349
8.3.1.3.38	Permittivität.....	350
8.3.1.3.39	Ionische Kontamination.....	351
8.3.1.3.40	Thermische Schockbeständigkeit.....	352
8.3.1.3.41	Thermische Zersetzungstemperatur.....	353
8.3.1.3.42	Maximale Betriebstemperatur (MOT).....	354
8.3.1.3.43	Wärmeleitfähigkeit.....	356
8.3.1.3.44	Nichtbrennbarkeit (UL 94).....	356
8.3.1.3.45	Lötbadbeständigkeit (IPC).....	358
8.3.1.4	Arten von Lötstoppmasken.....	358
8.3.1.5	Thermisch härtende 2-Komponenten-Lötstopplacke.....	360
8.3.1.6	UV-härtende 1-Komponenten-Lötstopplacke.....	363
8.3.1.7	Photostrukturierbare Lötstopplacke.....	366
8.3.1.7.1	Zusammensetzung.....	367
8.3.1.7.2	Prozessablauf für photostrukturierbare Lötstopplacke.....	369
8.3.1.7.3	Lackvorbereitung.....	369
8.3.1.7.4	Vorreinigung.....	372
8.3.1.7.5	Trocknung nach Vorreinigung.....	376
8.3.1.7.6	Beschichtung.....	377
8.3.1.8	Laser Direct Imaging Lötstopplacke (LDI Solder Mask).....	412

	8.3.1.8.1	Direct Imaging Lötstopplacke (DI Solder Mask).....	413
	8.3.1.8.2	Ink Jet Lötstopplacke.....	414
	8.3.1.8.3	Trockenfilm-Lötstopplacke (Coverlay).....	414
	8.3.1.8.4	Weißer Lötstopplacke.....	416
	8.3.1.8.5	Hochtemperatur-Lötstopplacke.....	422
	8.3.1.8.6	Flexible Lötstopplacke.....	425
	8.3.1.8.7	Photostrukturierbare Durchsteigerfüller.....	429
	8.3.1.8.8	Akzeptanzkriterien.....	429
	8.3.1.8.9	Lötstopplacke und Folgeprozesse.....	430
8.4		Kennzeichnungsdruck.....	434
	8.4.1	Einleitung.....	434
	8.4.2	Anforderungen.....	436
	8.4.3	Arten von Kennzeichnungsdruckfarben.....	438
	8.4.4	Inkjet-Kennzeichnungslacke.....	439
	8.4.5	Lasermarkierung.....	443
	8.4.6	Akzeptanzkriterien.....	444
8.5		Lötdecklacke (abziehbare Lötstopplacke).....	445
	8.5.1	Anwendung.....	445
	8.5.2	Arten von Lötdecklacken.....	445
	8.5.3	Applikation von Lötdecklacken.....	446
	8.5.4	Anforderungen.....	447
	8.5.5	Verarbeitung von siebdruckfähigen Lötdecklacken.....	448
	8.5.5.1	Lackschichtdicke.....	448
	8.5.5.2	Siebe.....	448
	8.5.5.3	Siebbeschichtung.....	448
	8.5.5.4	Rakel.....	449
	8.5.5.5	Druckmaschinen.....	449
	8.5.5.6	Verarbeitungshinweise zur Härtung.....	450
	8.5.5.7	Hinweise zur Lagerung von Leiterplatten mit Lötdecklack.....	450
8.6		Wärmeleitpasten.....	455
	8.6.1	Allgemeines zum Wärmemanagement.....	455
	8.6.2	Allgemeine theoretische Grundlagen zur Wärmeleitung.....	455
	8.6.3	Der Wärmekoppler.....	460
	8.6.4	Die Wärmeableitung über das Heatsink.....	462
	8.6.5	Das gedruckte Heatsink.....	463
	8.6.6	Das Thermal Interface Material (TIM).....	467
	8.6.7	Die druckfähige Thermal Interface Paste (TIP).....	475
	8.6.8	Thermische Ankoppelung durch Verguss.....	477
	8.6.9	Wärmespeicherung.....	478
8.7		Carbon-Leitlacke.....	480
	8.7.1	Einleitung.....	480
	8.7.2	Theoretische Grundlagen.....	481
	8.7.3	Elektrische Charakterisierung.....	484
	8.7.4	Mechanische Charakterisierung.....	488
	8.7.5	Einsatz von Carbon-Leitlacken.....	489
	8.7.6	Verarbeitung.....	499
8.8		Dielektrikumsdruck.....	506
	8.8.1	Dickschichtfüller.....	506
	8.8.2	Siebdruckfähige Dielektrika.....	510
	8.8.3	Fluxstopplacke.....	510

8.9	Durchsteigerfüller und Pluggingpasten.....	510
8.9.1	Allgemeines.....	510
8.9.2	Arten von Durchkontaktierungen.....	512
8.9.3	Arten von Abdeckungen und Füllungen von Vias.....	514
8.9.4	Arten von Füllpasten.....	520
8.10	Hilfsprodukte für den Schaltdruck.....	538
8.10.1	Verdünnung.....	538
8.10.2	Verzögerer.....	539
8.10.3	Siebreiniger und Reinigungsmittel.....	540
8.10.4	Antistatikum.....	540
8.10.5	Sieböffner.....	541
8.10.6	Stripper.....	541
8.10.7	Entschäumer.....	542
9	Direktbelichtung LDI (Laser Direct Imaging).....	543
9.1	Einzellaser mit Strahlteilung.....	544
9.2	Mehrere Laser-Dioden.....	545
9.3	LED.....	545
10	Mechanisches Bohren und Fräsen.....	548
10.1	Bohren von Leiterplatten.....	548
10.1.1	Das Konzept der mechanischen Highspeed-Bohrmaschinen.....	548
10.1.2	Mikrobohrer.....	551
10.1.3	Niederhalter.....	553
10.1.4	Kontaktbohren.....	553
10.1.5	Bohrgenauigkeit.....	554
10.1.6	Vorteile mechanischer Highspeed-Bohrmaschinen für Mikrovias.....	554
10.2	Fräsen von Leiterplatten.....	556
10.2.1	Die Funktionsmodule der Fräsmaschinen.....	556
10.2.2	Hochleistungsfräser.....	559
10.2.3	Schnittdaten.....	559
10.2.4	Werkzeugstandzeiten.....	560
10.2.5	Fräsrichtung.....	560
10.2.6	Stufenfräsen.....	560
10.3	Kombinierte Bohr -und Fräsmaschinen.....	561
10.3.1	Applikationen.....	562
10.3.2	Slotbohren (Nibbeln).....	562
10.3.3	Couponbohren.....	562
10.3.4	Optische Innenlagen Registrierung.....	563
10.3.5	Grafikunterstützte Segmentbearbeitung.....	564
11	Werkzeuge zur mechanischen Bearbeitung von Leiterplatten.....	565
11.1	Einführung.....	565
11.2	Werkzeuge Grundlagen.....	565
11.3	Bohrwerkzeuge.....	567
11.4	Fräswerkzeuge.....	569
11.5	Anwendungen verschiedener Geometrien.....	570
11.6	Wichtigste Prozessparameter.....	571
11.7	Zusammenfassung und Checkliste zur mechanischen Bearbeitung von Leiterplatten.....	571
11.7.1	Werkzeuge.....	571
11.7.2	Maschine.....	572

12	Ritzen zur Konturgebung als Alternative zum Fräsen	574
12.1	Ritzen	574
12.1.1	Allgemein	574
12.1.2	Maschinenaufbau, Anordnung der Achsen	574
12.1.2.1	Anfänge des Ritzens	574
12.1.2.2	Automaten und handbetriebene Maschinen	574
12.1.2.3	Kreuztisch X/Y-Achse mit Anpressrollen	575
12.1.2.4	Getrennte X/Y-Achsen mit Klemmbalken	575
12.1.2.5	Ritzen im Fräsmodus	576
12.1.2.6	Aufnahmebohrungen, Messmarken	577
12.1.3	Vergleich Ritzen zu Fräsen	577
12.1.3.1	Ritzen im Fräsmodus	577
12.1.4	Programmierung	578
12.1.5	Technologie	579
12.1.5.1	Testen der Ritzprogramme, Erstlauf	579
12.1.5.2	Sprungritzen	580
12.1.5.3	Einfacher Qualitätstest der Maschine mit Sprungritzen	582
12.1.5.4	Asymmetrisches und einseitiges Ritzen	582
12.1.5.5	Fräser – Vorschübe – Drehzahlen	582
12.1.5.6	Zwei Schnitte pro Ritzlinie	583
12.1.5.7	Skalierung (Schrumpfen/Dehnen)	583
12.1.5.7.1	Skalierung auf der Maschine	583
12.1.5.7.2	Skalierung über GUI	584
12.1.5.8	Anfasen	585
12.1.5.9	Grenzen der Technologie	585
12.1.6	Laden der Ritzprogramme	585
13	Röntgen-Messungen von Multilayern	586
13.1	Skalierung des Bohrprogramms	586
13.2	Skalier-Verfahren	586
13.2.1	Kompensation durch nominales Bohren	587
13.2.2	Bohren der Aufnahme-Positionen	587
13.2.3	Skalieren der Programme	589
13.2.4	Auswerten der Datenbank der RAB-Maschinen mit Excel	589
13.2.5	Software zum Auswerten der Datenbank der RAB-Maschinen	593
13.2.6	Nummerierung der Platinen	594
13.2.7	Namensgebung für die skalierten Jobs, Kennzeichnung der Platinen	594
13.2.7.1	Textbohren im Rahmen mit 5x7 Matrix	594
13.2.7.2	Textbohren im Rahmen mit 3x5 Matrix	594
13.2.7.3	DMC-Bohren	595
13.2.8	Skalieren beim Fräsen	595
13.2.9	Wie weit kann das Röntgenbohren/Bohren automatisiert werden	595
13.2.9.1	Automatisches Laden der Teileprogramme/Daten für die Folgeprozesse	597
14	Laserbohren von Sacklöchern in Leiterplatten	598
14.1	Einführung	598
14.2	Lasergebohrte Microvias	598
14.2.1	Laserbohren mit UV-Laser	598
14.2.2	Laserbohren mit CO ₂ -Laser	600
14.2.3	Laserbohren mit Hybrid-Lasersystem (UV/CO ₂)	600

14.3	Der Laserbohrvorgang.....	601
14.3.1	Vorbereitende Maßnahmen.....	601
14.3.2	Der Bohrvorgang	601
14.4	Die eingesetzten Materialien.....	603
14.4.1	Harzbeschichtete Kupferfolien RCC (Resin Coated Copper Foil)	603
14.4.2	Epoxidharz-Glasgewebe-Verbundwerkstoff FR4	603
14.4.3	Polyimidfolien	604
14.4.4	PTFE / Keramik Substrate	604
14.5	Qualitätseinflüsse	604
14.6	Dimensionierung von lasergebohrten Microvias	605
14.6.1	Aspektverhältnis	605
14.6.2	Zielpadgröße.....	606
14.7	Ursachen für häufig auftretende Qualitätsprobleme.....	606
14.7.1	Dickentoleranz des Dielektrikums.....	606
14.7.2	Passermarken	606
14.7.3	Falsch angepasste Laserparameter.....	607
14.7.3.1	Dielektrikum wurde nicht vollständig entfernt	607
14.7.3.2	Entstehung von Hinterschneidungen.....	608
14.7.4	Harzrückstände auf dem Zielpadkupfer.....	608
14.7.5	Ungünstiges Aspektverhältnis	609
14.8	Möglichkeiten der Qualitätskontrolle.....	609
14.9	Kosteneinflüsse.....	610
14.9.1	Bohrdurchmesser	610
14.9.2	Sacklochzahl und -dichte	610
14.9.3	Kupferdicke	612
14.10	Wirtschaftlichkeitsfaktoren und Designregeln für das Laserbohren von Microvias	612
14.11	Benötigte Informationen für das Laserbohren von Microvias.....	612
14.11.1	Daten.....	612
14.11.2	Positionierung anhand von Passermarken	613
14.12	Erweiterte Möglichkeiten.....	614
14.12.1	Laserdesmear.....	614
14.12.2	Gestufte Microvias (stacked Microvias).....	614
14.13	Schlussbetrachtung.....	615
15	Plasma als Bearbeitungsmedium in der Leiterplattentechnik.....	616
15.1	Was ist ein Plasma?.....	616
15.2	Anwendung von Plasmen in der Leiterplattenindustrie	616
15.3	Erzeugung von Plasmen	616
15.4	Anwendungen.....	617
16	Chemische Prozesse.....	623
16.1	Bohrlochreinigung – Desmear-Prozess	623
16.1.1	Alkalischer Permanganat Prozess.....	625
16.1.1.1	Quellen	625
16.1.1.2	Ätzen	626
16.1.1.3	Reduzieren	628
16.1.2	Prozess- und Verfahrenstechnik.....	628
16.1.2.1	Vertikaltechnik	629
16.1.2.2	Horizontaltechnik.....	630
16.1.2.3	Elektrochemische MnO_4^- - Regenerierung	632

16.1.3	Analytik	634
16.1.4	Plasma-Bohrlochreinigung	634
16.1.5	Schwefel- und Chromsäure- Bohrlochreinigung	635
16.1.6	Qualitätskontrolle	636
16.1.6.1	Rasterelektronenmikroskopie.....	636
16.1.6.2	Gewichtsverlust.....	637
16.1.6.3	Silbertest.....	637
16.1.7	Fehlerbilder und Einflussmöglichkeiten	638
16.1.7.1	Harzrückstände auf Cu-Oberflächen	638
16.1.7.2	Pullaway	639
16.1.7.3	Harzrückziehung	642
16.1.7.4	Bohrgrat	642
16.1.7.5	Spaltbildung	642
16.1.7.6	Allgemeine Abhängigkeiten.....	642
16.1.8	Moderne Anwendungen.....	642
16.1.8.1	Semi-Additiv-Prozess	642
16.1.8.2	Hoch T_g -Materialien – BT-Harze	643
16.2	Direktmetallisierung.....	644
16.2.1	Klassifizierung.....	644
16.2.2	Carbonverfahren	646
16.2.3	Palladium-Verfahren.....	647
16.2.3.1	Crimson-Prozess	647
16.2.3.2	Conductron-Prozess	648
16.2.3.3	Neopact-Prozess.....	649
16.2.4	Leitfähige Polymere.....	650
16.2.5	Typische Fehlerbilder und Einflussmöglichkeiten	653
16.2.5.1	Wedge Voids.....	653
16.2.5.2	Fehlstellen an Innenlagen.....	654
16.3	Chemische Kupferabscheidung.....	655
16.3.1	Vorbehandlung.....	655
16.3.1.1	Reinigung und Konditionierung.....	656
16.3.1.2	Ätzreinigung.....	657
16.3.2	Aktivierung.....	658
16.3.2.1	Kolloidaler Pd-Aktivator	658
16.3.2.2	Alkalischer Pd-Aktivator.....	661
16.3.3	Chemische Cu-Bäder.....	663
16.3.3.1	Chemische Grundlagen.....	663
16.3.3.2	Analytik.....	668
16.3.3.3	Qualitätskontrolle.....	669
16.3.3.3.1	Durchlichttest.....	669
16.3.3.3.2	Metallisierung einer Glasmatte.....	670
16.3.3.3.3	Abscheidungsgeschwindigkeit.....	671
16.3.3.3.4	Streuung.....	671
16.3.4	Fehlerbilder und Einflussmöglichkeiten	672
16.3.4.1	Innenlagenabrisse.....	672
16.3.4.2	Fehlstellen – Voids.....	674
16.3.4.3	Lochwandabhebungen.....	678
16.3.4.4	Blasen.....	678
16.3.5	Verfahrenstechnik	679

	16.3.5.1	Horizontaltechnik.....	679
	16.3.5.2	Vertikaltechnik.....	681
16.3.6		Moderne Anwendungen.....	681
	16.3.6.1	Semi-Additiv-Prozess.....	681
	16.3.6.2	Formalinfreie Elektrolyte.....	683
16.4		Galvanische Kupferabscheidung.....	684
	16.4.1	Allgemeines Prinzip.....	684
	16.4.2	Zusammensetzung eines galvanischen Cu Bades.....	684
	16.4.3	Funktion der organischen Zusätze.....	685
	16.4.3.1	Glanzbildner.....	685
	16.4.3.2	Einebner.....	686
	16.4.4	Analytik und Badkontrolle.....	686
	16.4.4.1	CVS und CPVS.....	687
		16.4.4.1.1 Analyse des Einebners.....	688
		16.4.4.1.2 Glanzbildneranalyse.....	690
		16.4.4.1.3 CPVS.....	691
	16.4.4.2	Hull-Zelle.....	692
	16.4.5	Verfahrenstechnik.....	695
	16.4.5.1	Anoden.....	695
		16.4.5.1.1 Lösliche Cu-Anoden – Vertikal.....	695
		16.4.5.1.2 Anodenreaktionen.....	697
		16.4.5.1.3 Lösliche Cu-Anoden – Horizontal.....	698
	16.4.5.2	Unlösliche Anoden.....	699
		16.4.5.2.1 Anodenmaterial.....	699
		16.4.5.2.2 Anodenreaktionen.....	700
	16.4.5.3	Gleichstrom (DC) und Pulse Plating (PP).....	702
		16.4.5.3.1 Massentransport.....	704
		16.4.5.3.2 Stromverteilung.....	706
		16.4.5.3.3 Kristallisation und Morphologie.....	706
		16.4.5.3.4 Gleichrichtertechnik.....	707
	16.4.5.4	Horizontal- und Vertikaltechnik.....	708
	16.4.6	Qualitätskontrolle.....	710
	16.4.6.1	Bohrlochstreuung.....	710
	16.4.6.2	Oberflächenverteilung.....	711
		16.4.6.2.1 Vollaufbau.....	711
		16.4.6.2.2 Leiterbahnaufbau.....	712
	16.4.6.3	Duktilität und Zerießfestigkeit.....	713
	16.4.6.4	Lötschocktest.....	714
	16.4.7	Fehlerbilder und Einflussmöglichkeiten.....	715
	16.4.7.1	Risse in der Cu-Hülse.....	715
	16.4.7.2	Einschnürungen und dünne Cu-Schichten.....	716
	16.4.7.3	Niedrige Bohrlochstreuung.....	716
	16.4.7.4	Fehlerhafte Innenlagenanbindung.....	716
	16.4.7.5	Side-to-Side-Unterschiede.....	716
	16.4.7.6	Fehlstellen.....	718
	16.4.7.7	Kantenabflachung.....	718
	16.4.8	Moderne Anwendungen – Gefüllte Microvias.....	719
16.5		Varianten im Verfahrensablauf.....	721
	16.5.1	Tenting-Technologie.....	721
	16.5.2	Metall-Ätzresist.....	722

16.5.2.1	Zinn-Blei-Legierungsabscheidung.....	722
16.5.2.2	Zinn-Abscheidung.....	723
16.5.2.2.1	Aufbau und Reaktionen eines Zinnelektrolyten.....	723
16.5.2.2.2	Analytik und Badkontrolle.....	725
16.5.2.2.3	Vorbehandlung.....	725
16.5.2.2.4	Verunreinigungen des Elektrolyten.....	725
16.5.3	Moderne Anwendungen.....	727
16.5.3.1	Zinn-Pulse Plating.....	727
16.5.3.2	Zinn-Tenting.....	729

Das Stichwortverzeichnis befindet sich am Ende von Teil II.

Inhaltsverzeichnis von Teil II (verkürzt)

17	Drahtbondfähige Leiterplattenoberflächen	747
17.1	Drahtbondfähige Leiterplattenendanschlussflächen für die Aufbau- und Verbindungstechnik in der Baugruppenfertigung	747
18	Leiterplatten-Prototypen mit Fräs- und Lasertechnologie.....	759
18.1	Rapid PCB-Prototyping-Prozesse im Entwicklungslabor.....	760
18.2	Datenübernahme aus CAD-Programmen.....	761
18.3	Leiterplattenstrukturierung mit Fräsbohrplottern	761
18.4	Leiterplattenstrukturierung mit Lasersystemen	766
18.5	Leiterplattenmaterialien bohren und schneiden	767
18.6	Durchkontaktierung im Labor.....	769
18.7	Lötstopplack und Bestückungsdruck	771
18.8	Herstellung von Multilayern	772
18.9	Weitere Prototyping-Prozesse	773
18.10	Spezialanwendungen.....	777
18.11	Fazit	777
19	IMS-Leiterplatten	779
19.1	Begriffsdefinition	779
19.2	Physikalische Grundlagen und Thermodynamik	781
19.3	Material	787
19.4	Historische Fertigungsmethoden.....	790
19.5	Moderne Fertigungsverfahren.....	792
19.6	Grundlegende und weiterführende mechanische Bearbeitung.....	793
19.7	Aufbau und Varianten von IMS-Leiterplatten.....	796
19.8	Wärmemanagement von IMS-Leiterplatten.....	798
19.9	Praxisbeispiel: IMS und Wärmemanagement für LEDs	803
19.10	Hybridtechniken und Alternativen	807
20	Räumliche mechatronisch integrierte Baugruppen 3D-MID.....	813
20.1	Grundlagen und Potenziale	813
20.2	Herstellungsverfahren	816
20.3	Einsatzbereiche und Anwendungsbeispiele.....	827
21	Gedruckte Elektronik	835
21.1	Einleitung	835
21.2	Druckverfahren für die Gedruckte Elektronik	836
21.3	Materialien für die Gedruckte Elektronik	843
21.4	Entwicklungsschritte gedruckter organischer Feldeffekttransistoren (OFET).....	848

21.5	Anwendungen.....	857
21.6	Ausblick	860
22	Wärmeableitung durch integrierte Kupfer-Coins.....	863
22.1	Einleitung	863
22.2	Lokale Wärmeableitung durch integrierte Kupfer-Coins (Cu-Coins).....	865
22.3	Kupfer-Coins mit Kavitäten	869
22.4	Chip-on-Coin	870
22.5	Vergleich von Thermal Vias zu Kupfer-Coins.....	871
22.6	Überschlagsrechnung	871
22.7	Zuverlässigkeit	873
23	Elektrooptische Leiterplatten.....	876
23.1	Einführung	876
23.2	Prozesse und Materialien	887
23.3	Charakterisierung optischer Wellenleiter	893
24.	Dickschichttechnologie	899
24.1	Einleitung	899
24.2	Materialien der Dickschichttechnologie.....	908
24.3	Konventionelle Dickschichttechnik.....	928
24.4	Spezialpasten und deren Anwendungen in der Dickschichttechnik	976
24.5	Herstellung von Keramikfolien	1002
24.6	Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC)	1007
24.7	Tape on Substrate (TOS)	1078
24.8	Hochtemperaturkeramik.....	1079
24.9	Technologien und Materialien für die High Density Integration (HDI).....	1081
24.10	Test und Inspektion	1095
24.11	Aufbau- und Verbindungstechnik/Packaging keramischer Schaltungen.....	1105
24.12	Anschlusskonfigurationen von keramischen Packages	1117
25	Grundlagen und Anwendungen der Dünnschichttechnologie.....	1138
25.1	Einsatzgebiete für Substrate in Dünnschichttechnologie	1138
25.2	Basissubstrat Materialien	1140
25.3	Herstellungsverfahren	1141
25.4	Strukturierung	1144
25.5	Substrate in Dünnschichttechnologie.....	1147
26	DCB (Direct Copper Bonding) Substrattechnologie	1157
26.1	Einleitung	1157
26.2	Prinzipien des eutektischen Bondens	1158
26.3	Eutektisches Kupferlöten mit Sauerstoff (DCB-Verfahren).....	1161
26.4	DCB-Verfahren für Aluminiumnitridkeramik.....	1163
26.5	Verfügbare Materialkombinationen für DCB-Substrate	1164
26.6	Weiterverarbeitung nach dem Kupfer-Keramik-Füge-Prozess	1164
26.7	Eigenschaften von DCB-Substraten.....	1169
26.8	Anwendungen von DCB-Substraten	1174
26.9	Vergleich der DCB-Technologie mit alternativen Verfahren.....	1175
27	Embedded Components.....	1179
27.1	Einleitung	1179

27.2	Arten von einbettbaren Komponenten	1182
27.3	Technologische Verfahren	1224
27.4	Physikalische Aspekte	1246
27.5	Abkürzungsverzeichnis	1262
28	Elektrischer Test	1270
28.1	Optischer Test	1270
28.2	Nadelbett-Tester	1271
28.3	Incircuit-Test	1274
28.4	Flying-Probe-Test	1277
28.5	Funktionstest	1279
28.6	Boundary-Scan	1280
28.7	Validierung von Leiterplatten	1282
28.8	Fazit	1284
29	Steckverbinder für elektrische Schaltungsträger	1285
29.1	Allgemeines	1286
29.2	Elektrische Anschluss- und Verbindungstechnologien	1293
29.3	Ausführungsformen von Steckverbindern	1303
29.4	Anforderungsspektrum und Steckverbinder-Prüfungen	1313
29.5	Trends in der Steckverbindertechnologie	1319
30	Standards – Normen und Richtlinien für die Leiterplattenfertigung	1327
30.1	Allgemeines	1327
30.2	Grundanmerkungen zum IPC	1332
30.3	Grundstruktur des IPC-Standardsystems	1334
30.4	IPC-Standards für die Leiterplattenfertigung im Überblick	1338
30.5	IPC-Standards für das Unternehmensmanagement	1343
30.6	Die besondere Rolle von IPC-A-600	1344
30.7	Standards für Printed Electronics	1346
	Stichwortverzeichnis	1348
	Inserentenverzeichnis	1368