



## Inhaltsverzeichnis

### Räumliche elektronische Baugruppen (3D-MID)

Werkstoffe, Herstellung, Montage und Anwendungen für spritzgegossene  
Schaltungsträger

Herausgegeben von Jörg Franke

ISBN (Buch): 978-3-446-43441-7

ISBN (E-Book): 978-3-446-43778-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-43441-7>

sowie im Buchhandel.

# Inhalt

Vorwort.....	V
<b>1 Mechatronische Integrationspotenziale durch MID.....</b>	<b>1</b>
1.1 Technologische Grundlagen.....	1
1.1.1 Definition und Grundprinzip.....	1
1.1.2 Geometrische Klassifizierung.....	2
1.1.3 Potenziale der 3D-MID-Technologie.....	3
1.1.4 MID-Referenzprozess.....	5
1.1.5 Einflussfaktoren auf die Technologieauswahl.....	6
1.1.6 Abgrenzung zu verwandten Technologiefeldern.....	7
1.2 Relevante Branchen und Anwendungsfelder.....	9
1.2.1 MID-relevante Branchen.....	10
1.2.2 Anwendungsfelder.....	11
1.3 MID-Markt im globalen Vergleich.....	13
1.3.1 Historische Entwicklung.....	13
1.3.2 MID-Schwerpunkte der einzelnen Regionen.....	15
1.4 Schwerpunkte der MID-Forschung.....	17
1.5 Schlüsselfaktoren für erfolgreiche Projekte.....	20
1.6 Netzwerkorientierte Zusammenarbeit in der Forschungsvereinigung 3-D MID.....	21
<b>2 Werkstoffe für räumliche Schaltungsträger.....</b>	<b>23</b>
2.1 Einführung in die MID-Werkstoffklassen.....	25
2.2 Werkstoffeigenschaften und Kennwertermittlung für MID.....	27
2.2.1 Mechanische Kennwerte von Kunststoffen.....	29
2.2.2 Thermische Kennwerte.....	33
2.2.2.1 Kurzzeitige Temperatureinwirkung.....	34
2.2.2.2 Langzeitige Temperatureinwirkung.....	35
2.2.2.3 Relevante thermische Kennwerte für MID.....	36
2.2.3 Elektrische Kennwerte.....	38

2.3	Werkstoffe für die MID-Technologie.....	40
2.3.1	Thermoplastische Kunststoffe für MID.....	40
2.3.1.1	Standard-Thermoplaste .....	42
2.3.1.2	Technische Thermoplaste .....	42
2.3.1.3	Hochleistungsthermoplaste .....	45
2.3.2	Modifizierte Thermoplaste für MID.....	46
2.3.2.1	Strahlenvernetzte Thermoplaste.....	47
2.3.2.2	Hochgefüllte Thermoplaste.....	51
2.3.2.3	Thermoplaste für ausgewählte Technologien der MID-Metallisierung.....	55
2.3.3	Duroplastische Kunststoffe für MID.....	61
<b>3</b>	<b>Strukturierung und Metallisierung .....</b>	<b>65</b>
3.1	Strukturierungsverfahren .....	65
3.1.1	Einkomponentenspritzgießen .....	66
3.1.1.1	Laserstrukturieren .....	66
3.1.1.1.1	LPKF-LDS <sup>®</sup> -Verfahren .....	67
3.1.1.1.2	ADDIMID-Technologie .....	72
3.1.1.1.3	Alternative Laserstrukturierungsverfahren .....	73
3.1.1.2	Drucktechniken .....	77
3.1.1.2.1	Aerosol-Jet <sup>®</sup> -Druck .....	78
3.1.1.2.2	Inkjet-Druck .....	81
3.1.1.2.3	Heißprägen .....	84
3.1.2	Zweikomponentenspritzgießen.....	89
3.1.3	Insert-Molding .....	90
3.1.3.1	Folienhinterspritzen.....	90
3.1.3.1.1	Thermoplastschaumguss .....	90
3.1.3.1.2	Spritzprägen .....	91
3.1.3.1.3	Hinterpressen.....	92
3.1.3.1.4	Weitere Varianten des Folienhinterspritzens .....	93
3.1.4	Alternative Strukturierungsverfahren .....	94
3.1.4.1	Primertechnologie.....	94
3.1.4.2	Tampondruck .....	96
3.1.4.3	Plasmatechnologien .....	96
3.1.4.3.1	Flamecon <sup>®</sup> .....	97
3.1.4.3.2	Plasmadust <sup>®</sup> .....	98
3.2	Metallisierung .....	102
3.2.1	Reinigung der Substratoberfläche .....	102
3.2.2	Metallisierung .....	104
3.2.3	Schichtdicken und Rauigkeiten.....	109
3.2.4	Strombelastbarkeit .....	113

<b>4</b>	<b>Montagetechnik für 3D-MID</b>	<b>121</b>
4.1	Prozesskette	121
4.2	Herausforderungen bei der Montage	122
4.2.1	Einfluss der Struktur	122
4.2.2	Montage auf dreidimensionalen Körpern	123
4.3	Automatisierte Montage	126
4.3.1	Anforderungen	126
4.3.2	Auftrag des Verbindungsmediums	127
4.3.3	Bestückung der Bauelemente	132
4.3.4	Reflowlöten	143
4.3.5	Optische Prüfung	144
<b>5</b>	<b>Verbindungstechnik</b>	<b>147</b>
5.1	Besonderheiten und Herausforderungen	147
5.2	Verbindungsmedien	151
5.2.1	Lotpaste	151
5.2.2	Leitende und nichtleitende Klebstoffe	153
5.2.2.1	Isotrope Leitkleber	154
5.2.2.2	Anisotrope Leitkleber	155
5.2.2.3	Nichtleitende Klebstoffe	156
5.2.3	Einpresstifte	156
5.3	Verbindungsverfahren	158
5.3.1	Reflowlötverfahren	160
5.3.1.1	Infrarotlöten	160
5.3.1.2	Konvektionslöten	160
5.3.1.3	Kondensationslöten	161
5.3.2	Selektive Lötverfahren	164
5.3.3	Kleben	166
5.3.4	Einpresstechnik	169
5.3.5	Chipmontage	172
5.3.5.1	Drahtbonden	174
5.3.5.2	Flip-Chip-Technologie	177
5.3.5.3	Glob-Top	179
5.4	Anbindung zu der Peripherie	180
5.5	Schutz der Verbindungstechnik vor Umgebungseinflüssen	181
<b>6</b>	<b>Qualität und Zuverlässigkeit</b>	<b>183</b>
6.1	Herausforderungen der Qualitätssicherung	183
6.2	Simulationsgestützte Qualitätsabsicherung	185
6.3	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	187
6.3.1	Optische Prüfverfahren	187

6.3.2	Automatisierte optische Inspektion.....	188
6.3.3	Röntgenanalyse .....	190
6.3.4	Computertomographie.....	191
6.3.5	Röntgenfluoreszenzverfahren .....	191
6.4	Zerstörende Prüfverfahren .....	192
6.4.1	Haftfestigkeit .....	193
6.4.1.1	Schältest.....	193
6.4.1.2	Stirnabzugtest .....	194
6.4.1.3	Zugschertest .....	195
6.4.1.4	Meißeltest .....	195
6.4.1.5	Gitterschnitt-Test (Tape-Test).....	196
6.4.2	Scherkraftmessung und Pull-Test.....	197
6.4.3	Analyse anhand von Schliffbildern .....	198
6.5	Elektrische Charakterisierung .....	200
6.5.1	Widerstand .....	201
6.5.2	Stromerwärmung .....	202
6.5.3	Isolationseigenschaften .....	203
6.6	Zuverlässigkeitsanalyse.....	203
6.6.1	MID-spezifische Herausforderungen.....	204
6.6.2	Beschleunigte Alterung .....	206
6.6.3	Anwendungsbeispiel I: Hochtemperaturbeständige MID ...	207
6.6.4	Anwendungsbeispiel II: Einpressverbindungen.....	210
<b>7</b>	<b>MID-Prototyping.....</b>	<b>213</b>
7.1	Klassifizierung von Mustern und Prototypen.....	213
7.1.1	Anschauungsmuster.....	214
7.1.2	Konzeptmodell .....	214
7.1.3	Funktionsmuster.....	216
7.1.4	Prototyp .....	216
7.2	Verfahren zur Anfertigung von Kunststoffgrundkörpern.....	217
7.2.1	Stereolithografie .....	217
7.2.2	Selektives Lasersintern .....	218
7.2.3	Fused Deposition Modeling .....	220
7.2.4	Vakuumgießen in Silikonformen .....	221
7.2.5	Fräsen thermoplastischer Halbzeuge .....	221
7.2.6	Spritzgießen .....	222
7.3	Muster und Prototypen in LPKF-LDS <sup>®</sup> -Technik .....	223
7.3.1	ProtoPaint LDS-Verfahren.....	223
7.3.2	LDS-Prozess mit FDM-Kunststoffbauteilen .....	225
7.3.3	LDS-Prozess mit Vakuumgießteilen.....	225
7.3.4	LDS-Prozess mit gefrästen Halbzeugen .....	225

7.3.5	LDS-Prozess mit Spritzgießteilen aus Rapid Tooling Spritzgießwerkzeugen .....	226
7.3.6	LDS-Prozess mit Spritzgießteilen aus Stahlwerkzeugen mit nicht gehärteten Formeinsätzen .....	226
7.4	Muster und Prototypen in Heißprägetechnik .....	227
7.5	Muster und Prototypen in 2K-MID-Technik .....	227
7.6	Aerosol-Jet-Druck auf STL-Bauteilen .....	228
7.7	Übersicht der verschiedenen Kombinationen zum MID-Prototyping..	228
<b>8</b>	<b>Integrative Entwicklung von MID-Bauteilen .....</b>	<b>229</b>
8.1	Systematiken zur Entwicklung von MID-Bauteilen .....	230
8.1.1	VDI-Richtlinie 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme .....	230
8.1.2	Methodik zur Produktoptimierung mechanisch elektronischer Baugruppen nach Peitz .....	232
8.1.3	Systematik zur Entwicklung mechatronischer Systeme nach Kaiser .....	234
8.2	Anforderungen .....	237
8.3	Produktkonzipierung .....	239
8.4	Fertigungsprozesskonzipierung .....	242
8.5	Elektronikentwurf .....	247
8.6	Ausarbeitung des Fertigungsprozesses .....	253
8.7	Ausarbeitung der Aufbau- und Verbindungstechnik .....	255
8.8	Arbeitsplanung .....	257
8.9	MID-Spezifische Entwicklungsinstrumente .....	259
8.9.1	MID-Konstruktionskataloge .....	259
8.9.2	Eigenschaftskarten von MID-Verfahren .....	261
8.9.3	MID-Leitfäden .....	263
8.9.4	MID-Features .....	266
8.10	Rechnerunterstützung .....	268
8.10.1	MID-spezifische Anforderungen an Entwicklungswerkzeuge .....	269
8.10.2	Softwarewerkzeuge für Konstruktion und Layout .....	276
8.10.3	Softwarewerkzeuge für die Simulation .....	280
8.10.4	CAD/CAM-Ketten .....	286
<b>9</b>	<b>Fallstudien .....</b>	<b>293</b>
9.1	OLED .....	294
9.2	Strömungssensor .....	295
9.3	Mehrbandantenne für Smartphones .....	297
9.4	ACC Positionssensor .....	298

9.5 Drucksensor .....	300
9.6 MULTI LED .....	301
9.7 Insulin-Pumpe .....	303
9.8 Passive UHF-RFID-Transponder .....	304
9.9 LED-Kameramodul .....	306
9.10 3D-Schaltmodul .....	308
9.11 Sicherheitskappen.....	310
9.12 Sonnensensor.....	311
9.13 Mikrofonträger für Hörgeräte .....	313
9.14 Sitzverstellungsschalter .....	314
9.15 LED-Leuchte .....	315
<b>10 Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>319</b>
<b>11 Literatur .....</b>	<b>325</b>
<b>12 Verfasser .....</b>	<b>343</b>
12.1 Herausgeber .....	343
12.2 Autoren.....	343
12.3 Fachliche Lektoren .....	348
<b>13 Adressen .....</b>	<b>349</b>
13.1 Forschungsvereinigung 3-D MID e. V.....	349
13.2 Mitglieder der Forschungsvereinigung 3-D MID e. V. ....	349
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>369</b>