

Polymere

Herausgegeben von
Hanno Schaumburg

Unter Mitwirkung von

G. Albrecht D. Baumann K. Brandenberger
R. Brütsch J. Engel J. Franke H. Fuchs
D. Haarer T. Haug G. Hegemann H.-J. Heller
G. Heywang E. Hubler K. Idel F. Jonas
K.-W. Lienert T. Mecklenburg K. Meier
W. H. Meyer H.-P. Müller H. Münstedt
H. Naarmann G. Pawlowski J. Petermann
K. Reinking J. Runge D. Samoy H. Schaumburg
M. Schink S. Schunck J. Streib H.-L. Weber
G. Wegner R. Wilhelm S. A. Zahir

Mit 569 Bildern, 127 Tabellen und 328 Formeln



B. G. Teubner Stuttgart 1997

Inhalt

Vorwort	V
Inhalt	VII bis XXVI

1 Einführung und Überblick über die Polymerchemie

Von H. Schaumburg, K. Idel und K.-W. Lienert

1.1 Bindung in organischen Molekülen	1
1.2 Kettenstruktur	10
1.3 Polymere in der Elektrotechnik	14

2 Grundlagen und Überblick der Polymerchemie

Von G. Wegner und W. H. Meyer

2-I Struktur der Makromoleküle	33
2-I.1 Lineare Ketten	
2-I.1.1 Eigenschaften linearer Makromoleküle	34
2-I.1.2 Lineare Ketten in Lösung und in der Schmelze	37
2-I.1.3 Dynamik von Kettenmolekülen	38
2-I.2 Chemischer Aufbau	
2-I.2.1 Lineare Copolymere	40
2-I.3 Verzweigte Polymere	43
2-I.4 Polymere Netzwerke	
2-I.4.1 Chemische und physikalische Netzwerke	44
2-I.4.2 Mikrogele	45
2-I.5 Kettenlängenverteilung	46
2-II Analytische Charakterisierung von Polymeren	
2-II.1 Molmasse und Molmassenverteilungen	48

2-II.1.1	Absolutmethoden	
2-II.1.1-1	Osmometrie	49
2-II.1.1-2	Lichtstreuung	50
2-II.1.1-3	Sedimentation (Ultrazentrifuge)	54
2-II.1.2	Relativmethoden	
2-II.1.2-1	Viskosimetrie	56
2-II.1.2-2	Gelpermeationschromatographie	58
2-II.1.3	Anwendungsbeispiele und Problemfälle	
2-II.1.3-1	Engverteiltes Polystyrol	61
2-II.1.3-2	Polyelektrolyte	63
2-II.1.3-3	Verzweigte und kettensteife Polymere	64
2-II.1.3-4	Copolymere	66
2-II.2	Charakterisierung von Netzwerken	
2-II.2.1	Netzwerkbildung und Quellungsverhalten	67
2-II.2.2	Mechanische Eigenschaften	69
2-III	Aggregatzustände und Realstruktur fester Polymere	72
2-III.1	Glaszustand und Glasübergang	72
2-III.1.1	Messung der Glastemperatur	74
2-III.1.2	Zeit-Temperatur-Superpositionsprinzip	77
2-III.1.3	Molekulare Modelle des Glasübergangs	78
2-III.1.3-1	Theorie des freien Volumens	79
2-III.1.3-2	Einfrierverhalten als integrales Konzept	79
2-III.1.3-3	Beeinflussung der Glastemperatur	81
2-III.2	Der kristalline Zustand von Polymeren	
2-III.2.1	Kristallisation	82
2-III.2.2	Kinetik der Kristallisation	86
2-III.2.3	Schmelztemperatur und Molekülstruktur	88
2-III.2.3-1	Molekulargewichtsabhängigkeit der Schmelz- temperatur	89
2-III.2.3-2	Schmelzen von Mikromolekül-Makromolekül- Mischungen	90
2-III.2.3-3	Chemische Struktur und Schmelzpunkt	90
2-III.2.4	Teilkristallinität	
2-III.2.4-1	Morphologischer Aufbau und Schmelzverhalten	91
2-III.2.4-2	Der Kristallisationsgrad von teilkristallinen Polymeren	92
2-III.2.4-3	Schmelzpunkt von Copolymeren	94
2-III.3	Ideale Kristallstruktur von Polymeren	96

2-IV Supramolekulare Strukturen von Polymeren

2-IV.1 Polymereinkristalle und Sphärolithe
 2-IV.1.1 Polymereinkristalle 101
 2-IV.1.2 Sphärolithe 102
 2-IV.2 Fasertexturen 103
 2-IV.3 Analyse von Polymertexturen 105
 2-IV.4 Morphologie und Entmischungsverhalten von Polymeren 108
 2-IV.4.1 Thermodynamische Grundlagen 108
 2-IV.4.2 Segmentierte Block-Copolymere 111
 2-IV.4.3 Polymer-Legierungen 112

2-V Synthese von Polymeren

2-V.1 Aufbaureaktionen
 2-V.1.1 Radikalische Polymerisation 114
 2-V.1.2 Ionische Polymerisation 117
 2-V.1.2-1 Anionische Polymerisation 118
 2-V.1.2-2 Kationische Polymerisation 122
 2-V.1.3 Komplexchemische Polymerisation 122
 2-V.1.4 Polykondensation 124
 2-V.1.5 Polyaddition 127
 2-V.2 Umwandlungsreaktionen 127
 2-V.2.1 Umwandlungsreaktionen an Cellulose 129
 2-V.2.2 Umwandlungsreaktionen an Polyvinylacetat 130
 2-V.3 Spezielle Polymere 131
 2-V.3.1 PMMA 131
 2-V.3.2 PE 133
 2-V.3.2-1 LDPE 133
 2-V.3.2-2 HDPE 134
 2-V.3.3 PS 135
 2-V.3.4 PVC 135
 2-V.3.5 PA-6 und PA-66 136
 2-V.3.6 PET 138
 2-V.3.7 PC 139
 2-V.3.8 PU 140

Formelzeichen 141

Literatur 142

3 Mechanische Eigenschaften von Polymeren

Von J. Petermann

3.1	Einleitung	147
3.2	Molekularer Aufbau und mechanische Eigenschaften	148
3.3	Einteilung der polymeren Werkstoffe nach mechanischen Zuständen	149
3.4	Gefüge (Morphologien) der Polymere	152
3.5	Mikromechanismen der Verformung und Verformungsverhalten	154
3.5.1	Polymere Gläser	154
3.5.2	Teilkristalline Polymere	156
3.5.3	Polymere im Gummizustand	160
3.6	Dynamisch-Mechanische Verformung	162
3.7	Neuere Entwicklungen	163
3.7.1	Thermoplastische Elastomere	164
3.7.2	Polymerlegierungen	165
3.7.3	Uniaxiale Orientierungen und Ultrahochmodulfasern	165
Literatur	167

4 Ultradünne organische Schichten

Von H. Fuchs

4.1	Einführung	169
4.2	Aufbau ultradünner organischer Schichten	
4.2.1	Herstellung	170
4.2.2	Substanzklassen und Eigenschaften	174
4.2.3	Struktur und Morphologie ultradünner Schichten	177
4.3	Anwendungsmöglichkeiten	180
4.3.1	Oberflächenveredelung	181
4.3.2	Trennmembranen	181
4.3.3	Sensorik	181
4.3.4	Nichtlineare Optik	188
4.4	Zusammenfassung	191
4.5	Danksagung	191
Literatur	192

5 Hochtemperaturbeständige Thermoplaste

Von H. Münstedt und J. Streib

5.1	Definition und Bauprinzip	195
5.2	Anwendungstechnische Bedeutung	197
5.3	Eigenschaftsvergleich	197
5.3.1	Thermische Eigenschaften	197
5.3.2	Rheologische Eigenschaften	198
5.3.3	Mechanische Eigenschaften	200
5.3.4	Dielektrische Eigenschaften	201
5.3.5	Andere Eigenschaften	202
5.4	Amorphe Hochtemperaturthermoplaste	202
5.4.1	Polysulfon, Polyethersulfon, Polyphenylsulfon	202
5.4.2	Polyetherimid	205
5.4.3	Copolymere des Polycarbonats	205
5.5	Teilkristalline Hochtemperaturthermoplaste	207
5.5.1	Polyaryletherketone (PAEK)	207
5.5.2	Polyphenylensulfid	208
5.6	Flüssigkristalline Thermoplaste	209
5.7	Die Zukunft der Hochtemperaturthermoplaste	212
5.8	Das Konzept der dreidimensionalen Leiterplatte als Beispiel für das innovative Potential von HT-Thermoplasten	213

6 Thermoplastische Kunststoffe

Von J. Engel

Einleitung	215
Eigenschaften von Thermoplasten	216
6.1 Massenkunststoffe	
6.1.1 Polyolefine	219
6.1.1.1 Polyethylen (PE)	
6.1.1.1-1 Abgrenzungen der Produkte	220
6.1.1.1-2 Produkte für Anwendungen in der Elektrotechnik	221
6.1.1.1-3 Anforderungen an Polymere für Kabel	221

6.1.1.1-4	Eigenschaften von Polyethylen für Kabel	222
6.1.1.1-5	Vernetztes Polyethylen	223
6.1.1.1-6	Die Rolle von Verunreinigungen im Polyethylen	223
6.1.1.2	Polypropylen (PP)	224
6.1.1.2-1	Anwendungen von PP in der Elektrotechnik	224
6.1.2	Polyvinylchlorid (PVC)	
6.1.2.1	Allgemeine Eigenschaften	225
6.1.2.2	Anwendungen in der Elektrotechnik	225
6.2	Technische Thermoplaste	
6.2.1	Amorphe Thermoplaste	226
6.2.1.1	Polystyrol	
6.2.1.1-1	Polystyrol, standard (PS)	227
6.2.1.1-2	Polystyrol, schlagfest (SB, Styrol-Butadien)	228
6.2.1.2	Styrol-Copolymere	
6.2.1.2-1	Styrol-Acrylnitril-Polymere (SAN)	229
6.2.1.2-2	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymere (ABS)	230
6.2.1.2-3	Acrylnitril-Styrol-Acrylester-Polymere (ASA)	231
6.2.1.3	Polymethylmethacrylat (PMMA)	231
6.2.1.4	Polycarbonat (PC)	233
6.2.1.5	"Blends"	234
6.2.1.5-1	PC/ABS-Blend	234
6.2.1.5-2	PC/ASA-Blend	235
6.2.1.5-3	PPE/SB-Blend	236
6.2.2	Teilkristalline Thermoplaste	236
6.2.2.1	Polyamid (PA)	238
6.2.2.1-1	Polyamid 6.6 (PA 6.6) und Polyamid 6 (PA 6)	240
6.2.2.1-2	Polyamid 6.6T (PA 6.6T)	241
6.2.2.2	Thermoplastische Polyester	242
6.2.2.2-1	Polyethylenterephthalat (PET)	243
6.2.2.2-2	Polybutylenterephthalat (PBT)	243
6.2.2.3	Polyoxymethylen (POM)	244
Literatur		246

7 Duroplastische Polymere auf Basis von Polyurethan-Systemen

Von J. Franke und H.-P. Müller

7.1	Einleitung	247
7.2	Polyurethane als Elektroisolierharze	
7.2.1	Allgemeines	248
7.2.2	Chemische Grundlagen	248
7.2.3	Rohstoffe	
7.2.3.1	Polyisocyanate	249
7.2.3.2	Polyole	250
7.2.3.3	Zeolithe	250
7.2.3.4	Beschleuniger	250
7.2.3.5	Füllstoffe	251
7.2.3.6	Weitere Zusatzstoffe	251
7.2.4	Herstellung der Reaktionsharzmassen	252
7.2.5	Verarbeitungstechniken	
7.2.5.1	Gießen bei atmosphärischem Druck	252
7.2.5.2	Vakuumverguß	252
7.2.5.3	Spritzgießen (Druckgelieren)	253
7.2.6	Eigenschaften der PUR-Gießharzformstoffe	
7.2.6.1	Hydrolysebeständigkeit	255
7.2.6.2	Dielektrische Eigenschaften	256
7.2.7	Anwendungen und Neuentwicklungen	
7.2.7.1	PUR-Systeme f. Isolatoren, Schalterteile und Wandler	257
7.2.7.2	PUR-Systeme für den Verguß von Kondensatoren und Zündspulen	262
7.2.7.3	PUR-Systeme für den Kabelverguß	263
7.3	Hochtemperaturbeständige Isocyanat-Epoxid-Hybridssysteme (Blendur®)	
7.3.1	Allgemeines	264
7.3.2	Chemischer Aufbau	264
7.3.3	Rohstoffe	
7.3.3.1	Harzmischungen	264
7.3.3.2	Katalysatoren	265
7.3.4	Herstellung und Verarbeitung der Reaktionsharzmassen	266
7.3.5	Eigenschaften der Blendur I-Formstoffe	266

7.3.6	Anwendungen	269
7.3.6.1	Herstellung von Prepregs für Leiterplatten- Basismaterial	269
7.3.6.2	Umhüllung von Anlassermotoren	271
7.4	Ausblick	271
Literatur	272

8 Epoxidharze in der Elektrotechnik und der Elektronik

Von S.A.Zahir, E.Hubler, D.Baumann, Th.Haug und K.Meier

8.1	Epoxidharze	(S. A. Zahir) 273
8.1.1	Einführung	273
8.1.2	Technische Epoxidharze und Härter	274
8.1.2.1	Epoxidharze auf Basis Bisphenol A	275
8.1.2.2	Epoxidharze auf Basis Phenol- und Kresolnovolak ..	277
8.1.2.3	Epoxidharze aus bromiertem Bisphenol A	278
8.1.2.4	Epoxidharze aus Tetrahydro- und Hexahydroph- thalsäure	278
8.1.2.5	Cycloaliphatische Epoxidharze	279
8.1.2.6	Aromatische Glycidylamine	279
8.1.2.7	Triglycidylisocyanurat	280
8.1.2.8	Reaktive Verdünner	280
8.1.3	Härter für Epoxidharze	281
8.1.3.1	Polyfunktionelle aliphatische Amine	282
8.1.3.2	Aromatische Amine	283
8.1.3.3	Di- und Tetracarbonsäure-anhydriden als Härter für Epoxidharze	284
8.1.3.4	Härtung mit Novolaken	285
8.1.3.5	Katalytische und latente Härter	285
8.1.3.5.1	Latente Härter	285
8.1.3.5.2	Anionische Katalysatoren für die Polymerisation von Epoxidharzen	285
8.1.3.5.3	Kationische Katalysatoren für die Polymerisation von Epoxidharzen	287

8.1.4	Zusatzstoffe	287
8.1.4.1	Reaktive Verdüner	287
8.1.4.2	Füllstoffe	287
8.1.4.3	Flammschutzmittel	288
8.1.5	Chemische und physikalische Eigenschaften beim Härten ...	289
8.2	Anwendung in der Elektrotechnik (E. Hubler)	291
8.2.1	Einführung	291
8.2.2	Die Verarbeitung von Epoxidharz in der Elektrotechnik	293
8.2.2.1	Konventionelles Gießen	293
8.2.2.2	Druck-Gelier-Verfahren	293
8.2.2.3	Vakuumimprägnieren	294
8.2.2.4	Träufelverfahren	294
8.2.3	Ausblick	294
8.3	Anwendung in der Elektronik (D. Baumann)	295
8.3.1	Autoelektronik	297
8.3.1.1	Trockenzündspulen für Zündanlagen für modernen Motoren	297
8.3.1.2	Umhüllung von Kondensatoren, Trafos, Schaltern, Filtern und Drosseln	298
8.3.1.3	Umhüllung von Diodesplittrafos, Kaskaden und TV-Ablenkeinheiten	298
8.3.1.4	Umhüllung von Tantal- und Keramikkondensatoren	298
8.3.2	Umhüllung von aktiven Bauteilen	299
8.4	Epoxidharze als Laminierharze für gedruckte Schaltungen (Th. Haug)	301
8.4.1	Einleitung	301
8.4.2	Klassifizierung	301
8.4.3	Wirtschaftliche Bedeutung	302
8.4.4	Produktion von Basismaterial	302
8.4.4.1	Harze und Härter für FR-4 Laminat	302
8.4.4.2	Glasgewebe	303
8.4.4.3	Kupferfolien	304
8.4.4.4	Prepregherstellung und Prepregeigenschaften	305
8.4.4.5	Pressen	307
8.4.4.6	Eigenschaften von FR-4 Laminaten	308
8.4.4.7	Tendenz bei den Laminateneigenschaften	309
8.4.4.8	Weitere Lamine auf Basis Epoxidharzen	310

8.5 Photostrukturierbare Lötstoplacke auf Epoxidbasis (K. Meier) 311

8.5.1 Anforderungen 312

8.5.2 Chemie eines photostrukturierbaren Epoxid-Lötstopplacks 313

8.5.3 Neue photostrukturierbare Lötstoplacke auf Epoxidbasis 315

Literatur 315

9 Polyimide und Polyamidocarbonsäuren – Chemie, Eigenschaften und Anwendungen in der Elektronik

Von H.-J. Heller und M. Schink

9.1 Einführung 317

9.2 Einsatzgebiete von Polyimiden 318

9.2.1 Allgemeines 318

9.2.2 Polyimide in der Elektronik 318

9.3 Herstellung von Polyimiden 319

9.3.1 Chemie der Polyamidocarbonsäuren und Polyimide 319

9.3.2 Verarbeitung von Polyamidocarbonsäuren 322

9.3.2.1 Applikation 322

9.3.2.2 Trocknung und Härtung 322

9.4 Eigenschaften der Polyimide 323

9.4.1 Thermische Eigenschaften 324

9.4.2 Dielektrische Eigenschaften 324

9.4.3 Chemische Eigenschaften 325

9.5 Polyimide in integrierten Schaltkreisen und Multi-Chip-Modulen 325

9.5.1 Strukturierung von Polyimidschichten 326

9.5.2 Planarisierung 327

9.5.3 Waferstress 328

9.5.4 Haftung 328

9.5.5 Reinheit 329

9.6 Photostrukturierbare Polyimide 329

9.7 Polyimid-Inkjetlack 331

Literatur 333

10 Tränkmittel und Giesharze

Von G. Hegemann

10.1 Einleitung	335
10.2 Tränkmittel	335
10.2.1 Allgemeine Anforderungen	335
10.2.2 Einteilung der Tränkmittel	336
10.2.2.1 Tränklacke	336
10.2.2.1.1 Applikation der Tränklacke	337
10.2.2.1.2 Tränklackbasen	338
10.2.2.2 Tränkhharze	339
10.2.2.2.1 Verfahren zur Applikation der Tränkhharze	339
10.2.2.2.2 Chemische Basen der Tränkhharze	346
10.2.2.2.3 Ökonomische und ökologische Aspekte	355
10.3 Gießharze	360
10.3.1 Allgemeine Anforderungen an Gießharze	360
10.3.2 Anwendung der Gießharze	360
10.3.3 Einteilung der Gießharze	361
10.3.3.1 Epoxidharze	362
10.3.3.2 Polyurethanharze	362
10.3.3.3 Silikonharze	362
10.3.3.4 Ungesättigte Polyester-Gießharze	362
10.3.3.5 Polybutadienharze	362
10.3.4 Spezielle Probleme bei Gießharzen	363
10.4 Schlußbemerkung	363
Literatur	364

11 Polymer-Drahtlacke

Von J. Runge

11.1 Einleitung	365
11.2 Ein Abriß der Drahtlackentwicklung	365

11.3	Eigenschaften verschiedener Drahtlacke	367
11.3.1	Lacke für verzinnbare Drähte	367
11.3.1.1	Polyurethane	368
11.3.1.2	Verzinnbare Polyesterimide	369
11.3.2	Lacke für wärmebeständige Drähte	
11.3.2.1	Polyester	369
11.3.2.2	Polyesterimide	370
11.3.2.3	Polyamidimide	371
11.3.2.4	Polyimide	374
11.3.3	Backlacke	375
11.4	Anwendung von Lackdrähten	
11.4.1	Einsatzgebiete verschiedener Drahtlackbasen	376
11.4.2	Eigenschaften von Lackdraht-Tränkmittel-Kombinationen ...	378
11.4.2.1	Verhalten des Drahtes während der Imprägnierung .	378
11.4.2.2	Mechanische Festigkeit v. Isolierstoffkombinationen .	379
11.4.2.3	Langzeitverhalten von Systemen	382
11.5	Zusammenfassung	383

12 Elektrisch leitfähige organische Materialien

Von H. Naarmann

12.1	Einleitung	385
12.2	Elektrisch leitfähige organische Materialien	
	Definition und Struktur	385
12.2.1	Das Komplexieren (Dotieren)	386
12.2.2	Perkonjugierte Strukturen	388
12.2.3	Dotieren von Halbleitern	388
12.2.4	Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit	389
12.2.5	Transportmechanismen der elektrischen Ladung	391
12.2.6	Ladungstransport in organischen Materialien	393
12.2.6.1	Der mikroskopische Ladungstransport	393
12.2.6.2	Der makroskopische Ladungstransport	394
12.2.6.3	Bändermodell	395
12.2.6.4	Hüpfmodell	396

12.2.6.5 Tunnelmodell	396
12.2.6.6 Modell des "nearest neighbour hopping"	397
12.2.6.7 Modell eines "variable range hopping"	397
12.2.6.8 Delokalisierung und Peierls Verzerrung	399
12.2.6.9 Das Soliton Modell	401
12.3 Herstellung selbstleitender organischer Materialien	402
12.3.1 Die Polykondensation	403
12.3.2 Thermische Polykondensation	406
12.3.3 Die elektrochemische Polymerisation	408
12.3.4 Die Polymerisation	413
12.3.5 Polyaddition, Diels Alder Reaktionen	415
12.3.6 Charge Transfer Komplexe	417
12.3.7 Lichtinduzierte Polymerisationen	418
12.4 Die wichtigsten Gruppen elektrisch leitfähiger organischer Materialien	418
12.4.1 Polyene, Polyacetylene	418
12.4.1.2 Modifizierte Polyacetylene	424
12.4.1.3 Substituierte Polyacetylene	424
12.4.2 Polyaromate	425
12.4.2.2 Polyphenylene	425
12.4.2.3 Polyphenylvinylene	425
12.4.2.4 Polyaromate mit alternierenden ungesättigten Einheiten	426
12.4.2.5 Polyphenylensulfid	427
12.4.3 Polyheterocyclen	428
12.4.3.1 Polypyrrol	428
12.4.3.2 Polythiophen und Derivate	433
12.4.4 Polyaminoaromate – Polyanilin –	434
12.4.5 Makrocyclen	435
12.4.6 Andere elektrisch leitfähige Systeme und low band gap polymers	436
12.5 Die Stabilität	438
12.6 Ausblick	441
12.7 Danksagung	441
Literatur	443

13 Antistatische Folien mit Organischen Leitern

Von G. Heywang, F. Jonas und H. L. Weber

13.1 Antistatische Folien mit Radikalionensalzen	
13.1.1 Radikalionensalze	449
13.1.2 Einarbeitung von Radikalionensalzen in Polymere	449
13.1.3 Anwendungstechnische Aspekte	450
13.2 Antistatische Folien mit intrinsisch leitfähigen Polymeren	451
13.2.1 Polypyrrolbeschichtete Folien	451
13.2.2 Transparente antistatische Beschichtung von Folien mit Poly-3,4-ethylendioxythiophen	453
13.2.3 Vergleich von Polypyrrol- und Polyethylendioxythiophen- beschichteten Folien.....	453
13.2.4 Farblose Folienbeschichtungen	457
Literatur	458

14 Elektrisch leitfähige Thermoplast-Compounds

Von K. Reinking

14.1 Einleitung	459
14.2 Prinzipien der Bildung elektrisch leitfähiger Compounds	460
14.3 Compounds aus Thermoplasten und Leitrüßen	463
14.4 Compounds aus Thermoplasten und Graphit	472
14.5 Compounds aus Thermoplasten und Koks-Pulvern	473
14.6 Compounds aus Thermoplasten und Kohlenstoff-Fasern	474
14.7 Compounds aus Thermoplasten und Aluminium	478
14.8 Compounds aus Thermoplasten und Stahlfasern	479
14.9 Compounds aus Thermoplasten und Kupfer-Fasern	480
14.10 Compounds aus Thermoplasten und intrinsisch leitfähige Polymeren	481
14.11 Anwendungen	485
Literatur	487

15 Photoleitende Polymere

Von D. Haarer

15.1 Einleitung	489
15.2 Technische Anwendung photoleitender Polymere	490
15.3 Mechanismen der Photoleitung in Polymeren	
15.3.1 Licht-induzierte Elektron-Loch-Trennung	493
15.3.2 Der Ladungsträger-Transport	
15.3.2-1 Phänomenologische Beschreibung	496
15.3.2-2 Dispersiver Transport in Polymeren	499
15.4 Material-Entwicklung photoleitender Polymere	504
15.5 Ausblick	507
Literatur	507

16 Verarbeitbare, elektrisch leitfähige Polymere und ihre Anwendung

Von Th. Mecklenburg

16.1 Einleitung	509
16.2 Konzept zur Entwicklung intrinsisch leitfähiger Polymere mit verbesserter Verarbeitbarkeit	510
16.3 Lösliche Poly-(3-alkoxy-thiophene)	510
16.3.1 Elektrochemische Synthese	511
16.3.2 Eigenschaften dotierter Poly-(3-alkoxy-thiophene)	512
16.4 Herstellung und Verarbeitung elektrisch leitfähiger Composites	514
16.5 Anwendungen permanent antistatischer Coatings	516
Literatur	518

17 Photoresiste

Von G. Pawlowski

17.1 Einleitung	519
17.2 Historischer Überblick	523
17.3 Photoresiste für die Elektronik	
17.3.1 Resistmaterialien für die Mikroelektronik	524
17.3.1.1 Optische Lithographie	526
17.3.1.2 Resistmaterialien für die optische Lithographie	
17.3.1.2-1 Negativ arbeitende Photoresiste	529
17.3.1.2-2 Positiv arbeitende Photoresiste	542
17.3.1.3 Elektronen-, Röntgen- und Ionenstrahlithographie .	574
17.3.1.4 Resistmaterialien für die Elektronen-, Röntgen- und	
Ionenstrahlithographie	577
17.3.1.4-1 Positiv arbeitende Resiste	577
17.3.1.4-2 Negativ arbeitende Resiste	580
17.3.1.5 Photoresiste für Mehrlagenanwendungen	582
17.3.2 Resistmaterialien für die Makroelektronik	589
17.3.2.1 Photopolymere Materialien	590
17.4 Ausblick	597
17.5 Abkürzungen und Akronyme	598
Literatur	602

18 Polymere für Glimmer-Isoliersysteme

Von K. Brandenberger und R. Brüttsch

18.1 Glimmer als elektrisches Isoliermaterial	
18.1.1 Struktur, Eigenschaften und Vorkommen des Glimmers	615
18.1.2 Verarbeitung und Anwendung von Glimmer	
in der Elektrotechnik	616
18.2 Resin-Rich-Technologie	618
18.2.1 Das Resin Rich Verfahren	619

18.2.2	Eigenschaften der Isolation	622
18.2.3	Weitere Resin-Rich-Produkte	623
18.2.4	Tendenzen	623
18.3	VPI-Technologie	624
18.3.1	Eigenschaften der VPI-Systemkomponenten	625
18.3.2	VPI-Verfahren	628
18.4	Elektroisolierlaminat e	630
18.4.1	Herstellung	630
18.4.2	Eigenschaften	631
18.5	Die Prüfung von elektrischen Isoliermaterialien	632
18.5.1	Prüfnormen	632
18.5.2	Alterungsverhalten und thermische Beständigkeit	633
18.6	Trends	636
18.7	Neue Anwendungen	
18.7.1	Brandfeste Kabel mit Funktionserhalt	638
18.7.2	Isolation von supraleitenden Kabeln	638
18.7.3	Basismaterial für Leiterplatten	639
18.7.4	Glimmerlaminat für Widerstandsheizungen	639
18.7.5	Glimmer in der Elektronik	640
18.7.6	Nichtelektrische Anwendung	640
Literatur	641

19 Elektronen- und UV-strahlenhärtbare Beschichtung von optischen Glasfasern

Von S. Schunck

19.1	Anwendungsgebiete und Vorteile gegenüber herkömmlichen Kabeltechnologien	643
19.2	Grundlagen optischer Informationsübertragung	
18.2.1	Prinzip optischer Informationsübertragung	645
18.2.2	Fasertypen und Signaldispersion	647
19.3	Herstellung von Glasfasern	647

19.4 Gründe für den Schutz von Glasfasern	649
19.5 Einfluß physikalischer Beschichtungs-Eigenschaften	650
19.6 Beschichtungstechnologien / Single- und Dual-Coatings	651
19.7 Grundsätzliche Chemie	653
19.7.1 Prinzip der UV- und ES-Härtung	653
19.7.2 Polymerisierbare Bindemittel	654
19.7.3 Polymerisierbare Reaktivverdünner, Monomeren	656
19.7.4 Photoinitiatoren und Synergisten	658
19.7.5 Inhibierung	660
19.8 Chemie strahlenhärtbarer Beschichtungen	661
19.9 Ausblick	663
Literatur	664

20 Folienkondensatoren

Von R. Wilhelm und G. Albrecht

20.1 Werkstoffe der Kondensatoren-Technik	
20.1.1 Dielektrika	665
20.1.1.1 Kunststofffolien-Dielektrika	665
20.1.1.2 Metallisiertes Papier	670
20.1.2 Kunststoffumhüllungen	671
20.2 Kondensatoren-Technik	
20.2.1 Grundlagen	671
20.2.1.1 Kapazität eines Kondensators	672
20.2.1.2 Der reale Kondensator	674
20.2.2 Aufbau und spezielle elektrische Eigenschaften	675
20.2.2.1 Kondensatoren mit metallisierten Belägen	675
20.2.2.2 Kondensatoren mit Metallfolienbelägen	678
20.2.2.3 Kondensatoren für hohe Strombelastung	678
20.2.2.4 Langzeitstabilität	680
20.2.2.5 Dielektrische Absorption	681
20.3 Applikationen/Typenauswahl	681

20.3.1 Anwendungsgebiete der Dielektrika	
20.3.1.1 Polyester	682
20.3.1.2 Polycarbonat	682
20.3.1.3 Polypropylen	682
20.3.1.4 PPS – Polyphenylensulfid	683
20.3.2 Spezielle Anwendungen	
20.3.2.1 Stromversorgungen/Vorschaltgeräte	683
20.3.2.2 Funkentstörung	685
20.3.2.3 SMD-Technik	686
20.4 Normung	689
20.5 Perspektiven	689
20.5.1 Miniaturisierung	690
20.5.2 Ausweitung der RM 2,5-Baureihen	690
20.5.3 Neue Folienwerkstoffe	691
20.5.4 SMD-Technik	691
20.5.5 Aussichten	692
Literatur	692

21 Präzision in der Kunststoffherstellung

Von D. Samoy

21.1 Einleitung	693
21.2 Erläuterungen zur Präzision	
21.2.1 Aspekte der Präzision	694
21.2.2 Realisierbare Toleranzen	
21.2.2.1 ISO-Norm	697
21.2.2.2 DIN-Norm	698
21.2.2.3 CHEAPER TOOLING (Philips)	700
21.3 Physikalischer Hintergrund	702
21.3.1 Thermodynamisches Verhalten von amorphen Thermoplasten ..	702
21.3.2 Die Nachdruckphase	705
21.3.3 Alternative Verarbeitungsmethoden für Präzisionsprodukte ..	706

21.3.4 Simulationsprogramme für Entwicklung und CAE	707
21.3.4.1 Füll- und Nachdruckprogramme in der Forschung ..	708
21.3.4.2 CAE	710
21.4 Anmerkungen aus der Praxis (die 4 M's)	712
21.4.1 Matrize	713
21.4.2 Maschine	713
21.4.3 Material	714
21.4.4 Methodik und Messen	714
21.5 Materialbeurteilung in bezug auf Präzision	716
21.5.1 Kriterien	716
21.5.2 Thermoplaste	
21.5.2.1 Schwindungsverhalten	718
21.5.2.2 Linearer Ausdehnungskoeffizient	720
21.5.2.3 Dimensionsstabilität	720
21.5.3 Duomere	722
21.6 Zusammenfassung	725
Literatur	726

Stichwortverzeichnis	727
-----------------------------------	------------