

躍進するポリイミドの最新動向 V

2013年01月発行

定価104,500円（消費税込み）

住ベリサーチの調査研究レポート

住ベリサーチ株式会社

技術調査部

〒140-0002 品川区東品川2-5-8

天王洲パークサイドビル16F

TEL 03-5462-7036

FAX 03-5462-7040

目 次

第1章 緒 言	1
第2章 ポリイミドの種類とその特徴	2
2.1 非熱可塑性ポリイミド	2
2.1.1 非熱可塑性ポリイミドの構造	2
2.1.2 非熱可塑性ポリイミドの特徴	3
1 ポリイミドの一次構造	3
2 ポリイミドの凝集構造	3
2.1.3 非熱可塑性ポリイミドの用途	4
2.2 熱可塑性ポリイミド	4
2.2.1 熱可塑性ポリイミドの種類	4
1 熱可塑性ポリイミドの分類	4
2 熱可塑性ポリイミドの開発方法	5
2.2.2 熱可塑性ポリイミドの開発	6
1 熱可塑性ポリイミド「AURUM」の開発	6
2 熱可塑性ポリイミド「Super AURUM」の開発	7
2.2.3 熱可塑性ポリイミドの特性改良	8
1 高耐湿熱性の改良	8
2 低温接着性の改良	9
2.2.4 熱可塑性ポリイミドの用途展開	10
1 フレキシブル回路基板用銅張積層板	10
2 次世代超音速航空機用炭素繊維プリプレグ	10
2.3 熱硬化性ポリイミド	10
2.3.1 熱硬化性ポリイミドの開発	10
1 従来の開発品	10
2 BMI	11
3 PMR-15	11
2.3.2 高靱性熱硬化性ポリイミドの開発	12
1 PETI-5	12
2 TriA-PI	13
3 TriA-SI	14
4 PMDA/p-ODA ; BAFL/PEPA	14
2.4 可溶性ポリイミド	15
2.4.1 可溶性ポリイミドの開発	15
1 可溶性ハイパーブランチポリイミド	15
2 ハイパーブランチポリイミドの合成	15
3 光機能性ハイパーブランチポリイミド	17
2.4.2 可溶性ポリイミドの不溶化方法	20
1 エポキシ樹脂を添加し不溶化する方法	20
2 アクリル樹脂を添加し不溶化する方法	23
3 末端をフェニルエチニルフタルイミド基で修飾する方法	23

2.5	脂環式ポリイミド	24
2.5.1	脂環式ポリイミドの必要性	24
2.5.2	脂環式ポリイミドの開発	25
1	代表的な脂環式ポリイミド	25
2	脂環式ポリイミドの合成方法	27
2.5.3	脂環式ポリイミドの特性	28
2.6	非対称ポリイミド	29
2.6.1	非対称ポリイミドの特徴	29
2.6.2	各種の非対称ポリイミド	30
1	非対称ビフェニル酸二無水物(BPDA)／ジアミンからなるポリイミド	30
2	その他の非対称酸二無水物からなるポリイミド	30
3	その他の非対称ジアミンからなるポリイミド	31
2.7	変性ポリイミド	31
2.7.1	シリコーン変性ポリイミド(SPI)	31
1	シリコーン変性ポリイミドの合成	32
2	シリコーン変性ポリイミドの特徴	32
3	シリコーン変性ポリイミドの用途	33
2.7.2	フッ素変性ポリイミド	33
1	フッ素変性ポリイミドの合成	33
2	フッ素変性ポリイミドの特徴	35
3	フッ素変性ポリイミドの用途	35
2.7.3	その他変性ポリイミド	35
1	トリアジン変性ポリイミド	35
2	フェノール変性ポリイミド	36
3	ウレタン変性ポリイミド	37
2.8	その他ポリイミド	37
2.8.1	ポリアミドイミド	37
1	ポリアミドイミドの合成	37
2	ポリアミドイミドの特徴	38
3	ポリアミドイミドの用途	38
2.8.2	ポリエーテルイミド	39
1	ポリエーテルイミドの合成	39
2	ポリエーテルイミドの特徴	39
3	ポリエーテルイミドの用途	40
2.8.3	その他のポリイミド	41
第3章	ポリイミドの合成方法	42
3.1	基本的な合成方法	42
3.1.1	ポリイミドの2段階合成法	42
1	1段目のポリアミド酸形成反応の技術ポイント	43
2	2段目のイミド化反応の技術ポイント	43
	加熱イミド化法、化学的イミド化法	
3.1.2	ポリイミドの1段階合成法	44
1	溶媒を用いる1段階合成法	44
2	溶媒を用いない1段階合成法	45

3.1.3	ポリイミド合成技術上の重要ポイント	46
1	原料の選択	46
2	合成時の条件	46
3	原料の添加(仕込)順序	47
4	ポリアミド酸の保存条件	48
5	ポリアミド酸のイミド化時の注意	48
3.1.4	新しい環化方法の開発	49
1	カルボニルジイミダゾール化合物による低温環化	49
2	金属化合物からなる脱水閉環触媒による低温環化	49
3	マイクロ波照射による低温環化	50
3.2	高精密ポリイミドの合成	50
3.2.1	(プレ)ポリマーの精密な設計と合成	50
3.2.2	新規な硬化概念とその硬化反応	52
3.2.3	硬化反応の精密な制御方法	53
1	分子配向の制御方法	53
2	架橋反応の制御方法	53
3.3	ポリマーアロイ化によるポリイミドの合成	54
3.3.1	ポリイミド同士の分子複合材料の開発	54
1	ポリアミド酸の物理的ブレンド系	54
2	交換反応が起こらない物理的ブレンド系	55
3.3.2	他ポリマーとのポリマーアロイの開発	55
1	ポリベンゾオキサジンとのポリマーアロイ	55
2	ポリエーテルエーテルケトンとのポリマーアロイ	57
3	ポリベンズイミダゾールとのポリマーアロイ	58
4	ポリベンズビスチアゾールとのポリマーアロイ	58
5	「アラミド」とのポリマーアロイ	58
6	エポキシ樹脂とのポリマーアロイ	59
7	フェノール樹脂とのポリマーアロイ	59
3.4	有機・無機ハイブリッドポリイミドの合成	59
3.4.1	有機・無機ハイブリッドポリイミドの合成方法	59
3.4.2	各種無機物とのハイブリッド材料の開発	60
1	シリカハイブリッド	60
2	クレイハイブリッド	63
3	二酸化チタン(TiO_2 、チタニア)ハイブリッド	63
4	酸化アルミニウム(Al_2O_3 、アルミナ)ハイブリッド	63
5	酸化亜鉛(ZnO)ハイブリッド	64
3.4.3	ポリイミドーシリカハイブリッド材料の応用	64
1	ポリイミドーシリカハイブリッドフィルム	64
2	メソ多孔性ベンゼンシリカハイブリッド膜	68
3	絶縁被膜用ナノコンポジットワニス	69

3.5	蒸着による薄膜ポリイミドの合成	70
3.5.1	蒸着重合法による薄膜ポリイミドの開発	71
3.5.2	ペリレンを骨格に持つポリイミド蒸着重合膜の開発	73
1	ペリレンを骨格に持つポリイミド蒸着重合膜	73
2	ペリレンを骨格に持つ配向制御された蒸着重合膜	73
3.5.3	高周波スパッタリング法によるポリイミド薄膜の開発	74
3.5.4	プラズマ支援蒸着重合法によるポリイミド薄膜の開発	75
第4章	ポリイミドの樹脂形状	77
4.1	ポリイミドフィルム	77
4.1.1	ポリイミドフィルムの種類	77
1	標準厚のポリイミドフィルム	77
2	極薄のポリイミドフィルム	80
3	超極薄のポリイミドフィルム	80
4.1.2	ポリイミドフィルムの製造装置	82
4.1.3	ポリイミドフィルムの製造条件	82
1	ポリアミド酸溶液の技術ポイント	82
	貯蔵安定性の向上、分子量の制御	
2	ポリアミド酸フィルムの技術ポイント	83
	乾燥条件の決定、残留溶媒の影響	
3	イミド化反応の技術ポイント	83
	熱イミド化過程での問題点、化学イミド化過程での問題点	
4	ポリイミドフィルムの製造条件と物性の関係	84
	膜韌性、ガラス転移温度、面内配向、熱膨張係数	
4.2	ポリイミドワニス	86
4.2.1	代表的なポリイミドワニス	86
1	耐熱ワニスの必要性	86
2	耐熱ワニスの種類	87
4.2.2	新しいポリイミドワニスの開発	88
1	シラン変性ポリイミドワニスの開発	88
2	インクジェット印刷機用ポリイミドインクの開発	89
4.3	ポリイミド成形材料	89
4.3.1	非熱可塑性ポリイミド成形材料	89
1	デュポンの「ベスペル」	89
2	宇部興産の「ユピモール」	91
4.3.2	熱可塑性ポリイミド成形材料	92
4.3.3	熱硬化性ポリイミド成形材料	93
1	ビスマレイミド樹脂	93
2	マレイミド系樹脂	95
3	マレイミド樹脂の応用	95

4.4	ポーラスポリイミド	96
4.4.1	ポーラスポリイミドの開発	96
1	ポーラスポリイミドの作製技術	96
2	新しいポーラスポリイミドの作製方法	97
4.4.2	ポーラスポリイミドの実用化	98
1	超臨界流体による半導体用ナノポーラスポリイミドの開発	98
2	プリンタブルエレクトロニクス用多孔質フィルムの開発	99
3	貫通孔を有するセパレータ用ポリイミド膜の開発	100
4	断熱用ポリイミドフォームの開発	100
4.5	ポリイミドファイバー	101
4.5.1	ポリイミド繊維の開発	101
1	ポリイミド繊維「P84」	101
2	ポリアミドイミド繊維「Kemel」	102
3	ポリエーテルイミド繊維「PEI」	102
4.5.2	ポリイミドナノファイバーの開発	102
1	エレクトロスピンニング法によるナノファイバーの創製	102
2	機能性ナノファイバーの開発	103
3	ナノファイバー不織布の工業化研究	104
4.6	ポリイミド微粒子	105
4.6.1	沈殿重合法によるポリイミド微粒子の開発	105
1	サブミクロンサイズのポリイミド微粒子の調整	106
2	ミクロンサイズのポリイミド微粒子の調整	106
3	ポリイミド微粒子の表面修飾	107
4	ポリイミド微粒子の特徴と応用性	108
4.6.2	再沈法によるポリイミド微粒子の開発	108
1	再沈法によるPIナノ粒子の作製	108
2	PIナノ粒子の多孔質化	108
3	PIナノ粒子の光機能化	109
4.6.3	ポリイミドとシリカゲルとの複合粒子の開発	109
4.7	ポリイミドゲル	110
4.7.1	高分子ゲルの構造とその特性	110
1	ゲルの複雑構造	110
2	各種の高分子ゲル	110
4.7.2	ジャングルジム型ポリイミドゲルの開発	111
1	末端架橋ゲルの合成	111
2	網目構造の高密度化	112
第5章	ポリイミドの特性とその改良	113
5.1	ポリイミドの構造と特性の関係	113
5.1.1	ポリイミドの一次構造	113
1	一次構造の特徴	113
2	不均一二相構造の特徴	113
5.1.2	ポリイミドの秩序相	114
1	ポリイミドの凝集構造	114
2	ポリイミドの分子鎖配列	114

5.1.3	ポリイミドのCT錯体	114
1	分子内か分子間か	114
2	ポリイミドの光電導	115
5.1.4	ポリイミドの高次構造	115
1	分子鎖配向度の向上	115
2	重合相変化による高次構造化	116
5.2	耐熱性の改良	117
5.2.1	ポリイミドの耐熱性	117
1	ポリイミドの物理的耐熱性	117
2	ポリイミドの化学的耐熱性	118
5.2.2	耐熱性の改良	119
1	芳香族ポリイミド	119
2	脂肪族ポリイミド	119
3	熱可塑性ポリイミド	119
4	可溶性ポリイミド	120
5	熱硬化性ポリイミド	121
5.3	接着性の改良	123
5.3.1	接着性の良いポリイミドの開発	123
1	接着性の良いポリイミド系接着剤	123
2	金属接着性の良いポリアミド酸ワニス組成物	123
3	銅箔接着力が優れる銅箔積層ポリイミドフィルム	123
4	銅箔接着力が優れるポリイミド樹脂複合銅箔	124
5	メッキ銅との密着性に優れるポリイミド	124
6	熱伝導性が優れるポリイミド系接着剤	124
5.3.2	接着性の良いポリイミド用接着剤の開発	126
1	超薄膜分子接着剤トリアジン化合物	126
2	グリシジル基含有ポリシルセスキオキサン	127
5.3.3	ポリイミドフィルムの表面改質	129
1	湿式法による表面改質	129
	アルカリ水溶液、グラフト重合、超臨界CO ₂ 、フッ酸処理	
2	乾式法による表面改質	133
	イオン照射、電子線照射、レーザー照射、紫外線照射	
3	プラズマによる表面改質	134
	マイクロ波、高周波、誘導結合、ECR、放電プラズマ	
5.3.4	ポリイミド被着体金属の表面改質	137
1	熱処理による金属表面の劣化	137
2	金属用カップリング剤による改良	138
3	NiCr膜による銅配線接着力の向上	139
5.4	感光性の改良	141
5.4.1	ネガ型感光性ポリイミドの開発	141
1	感光性樹脂組成物配合用の感光性イミドアクリレートモノマー	142
2	ベンゾフェノン骨格を主鎖に有する組成物	142
3	光酸発生剤と架橋剤を組み合わせた化学増幅型組成物	142
4	光塩基発生剤を配合した低温硬化組成物	143
5	感光性ハイパーブランチポリイミド樹脂組成物	143

5.4.2	ネガ型感光性ポリベンゾオキサゾールの開発	143
1	光酸発生剤と架橋剤を組み合わせた化学増幅型組成物	143
5.4.3	ポジ型感光性ポリイミドの開発	144
1	o-ニトロベンジルエステル型	144
2	化学増幅系	144
3	ポリ(ヒドロキシイミド)(PHI)系	145
4	アセタール系	145
5.4.4	ポジ型感光性ポリベンゾオキサゾールの開発	145
1	酸誘導体を添加した高感度組成物	145
2	酸誘導体と増感剤を添加した高感度組成物	146
3	光脱離性基含有酸誘導体を添加した高感度組成物	146
4	光脱離性基含有酸誘導体と光酸発生剤を添加した高感度組成物	146
5	非含フッ素全芳香族型PHAからなる低コスト組成物	147
6	酸発生剤を添加した低温環化組成物	147
5.4.5	各社の研究開発状況	148
1	富士フィルムの研究開発	148
2	住友ベークライトの研究開発	149
3	東洋紡の研究開発	149
4	HDマイクロシステムズの研究開発	150
5	大日本印刷の研究開発	150
6	カネカの研究開発	151
7	旭化成の研究開発	151
8	東レの研究開発	151
9	信越化学工業の研究開発	151
10	三井化学の研究開発	151
11	東亜合成の研究開発	152
5.5	誘電率の改良	152
5.5.1	ナノポーラス化による低誘電率化	152
1	ナノポーラス化の方法	152
2	超臨界二酸化炭素の応用	153
3	イオン結合発泡体の応用	154
4	特殊発泡剤の応用	155
5	中間層がポーラスなフィルムの応用	155
6	三次元架橋の応用	156
7	イオン結合発泡体の応用	157
8	感光性樹脂の応用	157
9	シリカハイブリットの応用	158
5.5.2	フッ素変性による低誘電率化	159
1	架橋による改良	159
2	共重合による改良	160
3	ブレンドによる改良	160
4	等方性の改良	160
5	高透明性の改良	161
6	耐熱性の改良	161
7	その他の改良	163

5.5.3	脂環式構造による低誘電率化	163
1	シクロ環を有するジアミンと酸による改良	164
2	シクロヘキサンジアミンによる改良	164
3	シクロブタンテトラカルボン酸による改良	165
4	ビスクロヘプタンジアミンによる改良	166
5	シクロヘキサントテトラカルボン酸による改良	167
6	シクロアルカンジカルボン酸による改良	167
7	シクロアルカンジアミノジヒドロ化合物による改良	167
5.5.4	嵩高い構造の導入による低誘電率化	168
1	アダマンタン基による改良	168
2	ノルボルネン骨格による改良	168
3	ジエチルビニルエーテル架橋による改良	169
4	ジメチルインダン骨格による改良	169
5	キサンテン骨格による改良	169
6	フルオレン骨格による改良	170
7	メタ構造による改良	170
5.5.5	その他の方法による低誘電率化	170
1	低極性化による低誘電率化	170
	アルキル基導入、共重合、無極性化による改良	
2	シリコーンの導入による低誘電率化	172
3	シアネート基の導入による低誘電率化	173
4	低誘電率材料の混合による低誘電率化	174
5	蒸着重合による改良	175
6	中空ナノ粒子による改良	176
5.6	硬化性(低温環化)の改良	177
5.6.1	閉環型ポリイミドによる改良	177
1	低温硬化型ポジ型感光性樹脂	177
2	低温硬化型ネガ型感光性樹脂	178
3	エポキシ化合物配合低温硬化性樹脂	178
5.6.2	塩基発生剤による改良	179
1	閉環型樹脂に光塩基発生剤を添加	179
2	前駆体に熱塩基発生剤を添加	180
3	前駆体に光塩基発生剤を添加	181
5.6.3	その他による改良	182
1	高透明樹脂構造	182
2	マイクロ波照射	183
3	硬化促進剤添加	184
4	可塑剤添加	185
5	シロキサン導入	185
6	その他	186
5.7	熱膨張係数の改良	187
5.7.1	樹脂構造による改良	187
1	低熱膨張ポリイミドの構造	187
	ポリイミドの分子構造、ポリイミドの面配向	
2	エステル構造の導入	188
3	ベンゾオキサゾール構造の導入	190

5.7.2	添加物による改良	191
1	クレイ	191
2	シリカ	193
3	マンガン窒化物	193
5.8	透明性の改良	194
5.8.1	紫外・可視域の光透過性の改良	194
1	電荷移動(CT)相互作用の低減	194
2	高光透過性モノマーの選択	195
3	高透明性ポリイミドの開発	196
5.8.2	近赤外域の光透過性の改良	197
5.8.3	無色透明ポリイミドの分子設計	198
1	分子軌道計算による検討	198
2	高透明な脂環式ポリイミドの合成	199
5.8.4	各社の開発状況	200
1	出光興産の研究開発	200
2	富士写真フイルムの研究開発	201
3	デュポン社の研究開発	202
4	三菱ガス化学の研究開発	202
5.9	光機能性の改良	203
5.9.1	ポリイミドの蛍光発光性の改良	203
1	蛍光発光の原理	203
2	各種ポリイミドの蛍光発光	205
5.9.2	ポリイミドの屈折率の改良	206
1	屈折率の原理	206
2	各種ポリイミドの屈折率	208
5.10	その他の特性の改良	210
5.10.1	吸湿性の改良	210
1	ジアミノジベンゾピラノンによる改良	211
2	オキシベンジジンによる改良	211
3	シクロヘキサンテトラカルボン酸による改良	212
4	ベンゾオキサジンによる改良	213
5	酸化ジルコニウムによる改良	213
5.10.2	エッチング性の改良	214
1	溶液によるエッチング	214
2	プラズマによるエッチング	215
3	イオンビームによるエッチング	216
4	レーザーによるエッチング	216
5.10.3	熱伝導性の改良	217
5.10.4	摺動性の改良	218
1	炭素系材料による改良	218
2	固体潤滑剤による改良	219
3	高周波スパッターによる改良	221

第6章 ポリイミドの応用とその展開	222
6.1 半導体チップコーティング用ポリイミド材料の開発	222
6.1.1 半導体チップ表面コーティング材料	222
1 半導体チップ表面コーティング技術	222
2 半導体チップ表面コーティング用ネガ型感光性樹脂	224
代表的なネガ型感光性樹脂、ネガ型感光性樹脂の改良	
3 半導体チップ表面コーティング用ポジ型感光性樹脂	227
特徴、ポジ型ポリイミド、ポジ型ポリベンゾオキサゾール	
6.1.2 半導体用層間絶縁膜材料	235
1 低誘電率層間絶縁膜材料の必要性	235
2 低誘電率層間絶縁膜材料用樹脂の開発状況	235
低誘電率ポリイミド、低誘電率ポリベンゾオキサゾール	
6.1.3 半導体用再配置配線材料	242
1 半導体用再配置配線材料の必要性	242
2 半導体用再配置配線材料用樹脂の開発状況	243
開発方法、ポジ型感光性ポリベンゾオキサゾール	
6.2 その他半導体関連用ポリイミド材料の開発	247
6.2.1 半導体封止用材料	247
1 樹脂封止材料	247
樹脂封止材料の必要特性、樹脂封止材料の改良	
2 アンダーフィル用液状樹脂	252
アンダーフィルの必要特性、アンダーフィルの改良	
3 封止シート(接着フィルム)	254
封止シートの必要特性、封止シートの改良	
6.2.2 光半導体封止用透明材料	256
1 光半導体用透明封止材料の必要特性	256
2 光半導体封止用樹脂の改良	257
ポリイミド系、エポキシ系、エポキシ・シリコンハイブリッド系	
6.2.3 チップマウンティング用材料	259
1 チップマウンティング用ペースト	260
2 チップマウンティング用フィルム	261
6.2.4 接着テープ	263
1 リード固定用テープ	263
2 ダイシング用テープ	264
6.3 電子回路用フレキシブル材料の開発	264
6.3.1 フレキシブル基板用フィルム材料	264
1 極薄ポリイミドフィルム	265
2 低熱膨張ポリイミドフィルム	265
3 その他ポリイミドフィルム	266
6.3.2 2層フレキシブル銅張板の製造方法	267
1 キャスティング法	267
2 ラミネート法	268
3 メタライジング法	270

6.3.3	2層フレキシブル回路基板の作製方法	271
1	電子写真を利用した直接配線形成技術	271
2	紫外光照射を利用した微細回路形成技術	272
3	レーザーを利用した銅配線形成技術	272
4	インクジェット技術を利用した配線形成技術	273
5	導電性インクによる微細配線の形成 銀ナノパーティクル、銅ナノパーティクル、金ナノパーティクル	274
6	2層フレキシブル回路基板によるCOF用フレキ	280
6.3.4	その他のフレキシブル基板	282
1	3層フレキシブル基板	282
2	多層フレキシブル基板	283
3	その他のフレキシブルプリント配線板 リジッドフレキ、透明フレキ、立体フレキ、長尺フレキ、厚銅フレキ	287
6.3.5	フレキシブル基板の特性の改良	290
1	高密着化	290
2	高精細化	294
3	高耐折化	295
4	耐マイグレーション化	296
5	難燃化	296
6	高速伝送化	297
7	高熱伝導化	298
8	易走行性(易滑性)	298
9	ノイズ耐性	298
10	耐放電性	300
6.3.6	フレキシブル基板用カバーレイ	301
1	カバーレイ用フィルム	301
2	カバーレイ用ワニス	305
6.3.7	フレキシブル基板用接着材料	311
1	接着剤	311
2	その他の接着用材料	317
6.3.8	フレキシブル基板の用途	318
1	液晶ディスプレイ TABテープ、COFテープ	318
2	太陽電池	320
3	ハードディスクドライブ用サスペンション	320
4	宇宙ヨットのソーラーセイル	321
5	自動車	321
6.4	その他電子回路用基板材料の開発	322
6.4.1	電子回路用基板の種類	323
1	リジッド基板	323
2	高熱伝導・高放熱基板	323
3	高周波通信用基板	323
4	光・電気コンポジット基板	324
5	モジュール基板	324

6.4.2	リジッド基板用材料	324
1	ポリイミド系リジッド基板の特徴	324
2	ポリイミド系リジッド基板の特性の改良	325
3	ポリイミド系ビルドアップ多層電子基板の開発 感光性樹脂材料、樹脂付き銅箔、樹脂フィルム(樹脂シート)	327
6.4.3	高放熱基板材料	331
1	光半導体実装用回路基板材料 メタルベース基板、リジッド基板、フレキシブル基板、バインダー	331
2	車載用回路基板材料	338
6.4.4	高周波通信用基板材料	340
1	低誘電率材料 開発目標値、期待されるポリマー	340
2	ポリイミドの低誘電化	343
6.4.5	光・電気コンポジット基板材料	344
1	光・電気コンポジット基板の必要性 光・電気コンポジット基板の構造、作製方法	344
2	光・電気コンポジット基板の材料 光導波路用材料、光・電気コンポジット基板材料	346
3	光・電気コンポジット基板の実装 実装製品、改良・開発、関連製品	351
6.4.6	モジュール基板材料	356
1	半導体パッケージ基板(インターポーザー) 半導体パッケージの動向、基板材料の開発、基板製品の開発	356
2	部品内蔵基板 基板メーカーの開発動向、基板用部品の開発動向	364
6.5	ディスプレイ用ポリイミド材料の開発	367
6.5.1	液晶ディスプレイ用ポリイミド材料	367
1	液晶配向膜の進化	367
2	液晶配向膜の改良 プレチルト角、視野角、応答速度、残像現象、双安定型LCDの開発	369
3	光配向膜の開発	373
4	ブラックマトリックスの開発	376
6.5.2	有機ELディスプレイ用ポリイミド材料	377
1	樹脂の開発	377
2	薄膜の開発	379
6.5.3	電気泳動ディスプレイ用ポリイミド材料	380
1	全印刷有機TFTバックプレーンを用いたディスプレイ	380
2	メンブレンスイッチを背面板としたディスプレイ	381
6.5.4	その他	382
1	ディスプレイ用各種フィルムの開発	382
2	ディスプレイ用透明導電膜の開発	383
3	ディスプレイ用配向膜の作製方法の開発	385

6.6	光学用ポリイミド材料の開発	386
6.6.1	光回路	386
1	光回路の特徴	386
2	光回路の用途	388
3	光電気複合FPC	390
6.6.2	レーザー	391
1	パルスファイバーレーザー	391
2	導波路レーザー	392
3	面発光レーザー	393
6.6.3	光学素子	394
1	有機・無機ナノハイブリッド材料	394
2	高屈折率光学素子	396
3	異方性光学素子	398
4	有機薄膜発光素子	399
6.6.4	その他の用途	400
1	光学分割用カラム	400
2	非線形光学材料	401
3	X線CCD	402
6.7	分離膜用ポリイミド材料の開発	403
6.7.1	ポリイミド分離膜の基礎	403
1	ポリイミドの一次構造と分離膜特性の関係	403
2	ポリイミドの透過性と分離性	403
3	ポリイミド分離膜開発上の基礎知識	404
6.7.2	ポリイミド分離膜の改良	405
1	改良方法	405
2	変性カルドポリイミド	407
3	ポリイミドカーボン膜	408
4	有機・無機ハイブリッド膜	410
6.7.3	ポリイミド分離膜の応用	413
1	オフガス分離	413
2	窒素分離・酸素分離(空気)	413
3	メタン分離	414
4	水分分離	415
5	温室効果ガス分離・酸性ガス分離(燃料ガス)	415
6.8	電池用ポリイミド材料の開発	416
6.8.1	燃料電池用ポリイミド材料	416
1	フッ素系電解質膜	416
2	非フッ素・芳香族系電解質膜	416
	スルホン化、ナフタレン系、イオン液体、ナノファイバー、細孔	
3	無機・有機ハイブリッド電解質膜	427
4	触媒用バインダー材料	429
5	セパレータ用材料	430

6.8.2	太陽電池用ポリイミド材料	432
1	SCAF方式太陽電池	432
2	テクスチャ構造太陽電池	433
3	転写方式太陽電池	434
4	有機薄膜太陽電池	435
5	多接合太陽電池	435
6	太陽電池用バックシート	436
7	その他の研究開発	436
6.8.3	二次電池用ポリイミド材料	438
1	全有機二次電池	438
2	コンポジット電極材料	439
3	リチウムイオン電池用セパレータ	439
4	フレキシブル薄膜リチウムイオン二次電池	440
5	リチウムイオン二次電池負極用粘着材	440
6.9	自動車用ポリイミド材料の開発	441
6.9.1	電動モーター用ポリイミド材料	441
1	高耐熱マグネットワイヤ	441
2	電磁コイル用巻線	443
3	モーター用平角電線被覆フィルム	445
6.9.2	パワー半導体用封止材料	446
6.9.3	燃料電池用電解質膜	447
6.9.4	その他材料	448
1	自動車エンジンベアリング用潤滑剤	448
2	ブレーキ用摩擦材料	450
3	パワーデバイス用放熱材料	451
4	高耐熱摺動材料	451
5	構造用硬質発泡材料	451
6	金属代替材料	452
7	FPCの電磁スポット溶接	452
6.10	宇宙・航空用ポリイミド材料の開発	453
6.10.1	宇宙・航空用に使用されるポリマー	453
6.10.2	宇宙・航空用のポリイミド系複合材料	454
1	NASA(アメリカ国立航空宇宙局)によって開発されたポリイミド	454
2	JAXA(宇宙航空研究開発機構)により開発されたポリイミド	455
3	複合材料用ポリイミドの特性比較	457
4	先進複合材料	457
6.10.3	宇宙・航空用のポリイミド系フィルム	459
1	太陽光吸収率が小さな熱制御フィルム	459
2	原子状酸素に耐える熱制御フィルム	461
3	その他宇宙・航空用ポリイミドフィルム	463
6.10.4	宇宙・航空用のポリイミド系接着剤	464
6.10.5	その他宇宙・航空用のポリイミド系材料	465
1	宇宙・航空用発泡材	465
2	宇宙・航空用電線被覆材	465

6.11	医療用ポリイミド材料の開発	466
6.11.1	ポリイミドの生体適合性	466
1	生体適合性	466
2	含フッ素ポリイミドの生体適合性	466
6.11.2	ポリイミドの応用例	467
1	人工筋肉	467
2	人工肺	468
3	人工網膜	468
4	神経内視鏡	469
5	血流センサー	470
6	神経電極	472
6.12	先進複合材料用ポリイミドの開発	473
6.12.1	ナノ粒子分散ポリイミド	473
1	金属系ナノ粒子分散ハイブリッド薄膜	473
2	クレイ系ナノコンポジット	477
3	その他のナノ粒子	479
6.12.2	カーボン繊維補強ポリイミド	481
1	宇宙・航空分野への応用	481
2	超臨界水反応装置への応用	485
3	産業用金属代替CFRP用樹脂	485
6.12.3	その他の先進複合材料	485
1	カーボンブラック分散ポリイミド複合材料	485
2	磁性金属粒子／ポリイミド複合材料	486
6.13	炭素・黒鉛材料用ポリイミドの開発	487
6.13.1	ポリイミドの炭素化・黒鉛化	487
1	黒鉛化反応に影響を及ぼす因子	487
2	黒鉛化反応の機構	488
3	結晶性グラファイト	488
6.13.2	グラファイトの特徴	490
1	グラファイトの構造	490
2	グラファイトシートの物性	490
3	炭素化ポリイミドフィルムの電気特性	491
6.13.3	グラファイトの用途	492
1	X線用器材	492
2	熱放散シート	493
3	導電性フィルム	494
4	耐摩擦摩耗粒子	496
6.14	放熱・断熱用ポリイミド材料の開発	497
6.14.1	放熱性ポリイミド材料	497
1	LED用高熱伝導性フレキシブルフィルム	497
2	自動車用熱可塑性ポリイミド放熱材料	498
3	高放熱性電気絶縁性電着塗料	498
6.14.2	断熱性ポリイミド材料	499
1	高温真空断熱パネル用可溶性ポリイミド	499
2	飛行機エンジン周辺用断熱発泡ポリイミド	500

6.15	有機トランジスター用ポリイミド材料の開発	501
6.15.1	有機トランジスターの特徴	501
1	有機トランジスターのデバイス構造	501
2	有機トランジスターの新しいデバイス構造	503
6.15.2	有機トランジスター用の材料	504
1	ポリイミド絶縁膜	504
2	半導体材料	508
3	チャネル材料	510
6.15.3	有機トランジスターの用途	511
1	ディスプレイ	511
2	タッチパネル	513
3	カテーテル	514
6.16	その他分野用ポリイミド材料の開発	515
6.16.1	センサー	515
1	透湿度計測センサー	515
2	水分センサー	515
3	ガスセンサー	516
4	微圧センサー	516
5	磁気センサー	517
6	多点硬化度センサー	517
6.16.2	マイクロデバイス	518
1	化学反应用マイクロ流体デバイス	518
2	液冷システム用マイクロポンプ	519
3	フレキシブルなマイクロポンプ	520
4	磁界駆動型マイクロロボット	521
5	マイクロマシン用金型	522
6.16.3	その他	523
1	プリンターの定着チューブ	523
2	RFIDのアンテナ	525
3	電波吸収体	526
4	水素吸蔵薄膜	527

第7章	ポリイミドの生産状況とポリイミドメーカーの開発状況	529
7.1	ポリイミドの生産状況	529
7.2	ポリイミドメーカーの開発状況	530
	IST、荒川化学工業、宇部興産、宇部日東化成、宇宙航空研究開発機構(JAXA)、エア・ブ ラウン、NEC、NOK、NTT、エポニック デグサ ジャパン、SKCコーロンPI、大阪府立 産業技術総合研究所、カネカ、京セラケミカル、京都工芸繊維大学、京都大学、九州工業 大学、クラボウ、グンゼ、甲南大学、SABIC Innovative Plastics、産業技術総合研究所、サ ンワ化学工業、JNC、JSR、信越化学工業、新日鐵化学、新日本理化、シミズ、スーパーレ ジン工業、ストラタシス、双日、ソニーCID、ソマル、ダイセル・エポニック、チッソ、 DIC、帝人、デュポン、電気化学工業、東京大学、東京工業大学、東北大学、東京化成工 業、東亜合成、東洋紡、東レ、東レ・デュポン、名古屋大学、日本化薬、日本メクトロン、 ネクザムケミカル、日立化成工業、フジクラ、富士フイルム、富士通研究所、物質・材料 研究機構、丸善石油化学、三井化学、三菱ガス化学、明治大学、ユニチカ、横浜国立大学、 リンテック	
第8章	結 語	541
8.1	エネルギー問題に揺れた2012年の世界	541
8.2	ポリイミドの応用展開（まとめ）	541
8.2.1	自動車用ポリイミドの開発	542
1	電動モーター用高耐熱マグネットワイヤー	542
2	パワー半導体用封止材料	542
3	燃料電池用電解質膜	542
8.2.2	電池用ポリイミドの開発	543
1	太陽電池用ポリイミド材料	543
2	二次電池用ポリイミド材料	544
8.2.3	ディスプレイ用ポリイミドの開発	544
1	液晶ディスプレイ用光配向膜	544
2	有機ELディスプレイ用ポリイミド材料	545
3	電気泳動ディスプレイ用ポリイミド材料	545
8.2.4	宇宙・航空用ポリイミドの開発	545
1	宇宙・航空用のポリイミド系複合材料	546
2	宇宙・航空用のポリイミド系フィルム	546
8.2.5	分離膜用ポリイミドの開発	547
1	オフガスからの水素分離膜	547
2	オフガスからの炭酸ガス分離膜	547
3	バイオマスからのメタン分離膜	547
8.2.6	医療用ポリイミドの開発	547
8.3	躍進するポリイミドへの期待	548
	略 語 表	549
	参考文献	553