

目次

第1編 基礎編

第1章 ポリイミドの合成法……………〈森川敦司／今井淑夫〉…3

1. はじめに……………	3
2. 二段階合成法……………	3
2.1 ポリアミド酸を経由する二段階合成法……………	3
2.1.1 第一段目のポリアミド酸形成反応……………	4
2.1.2 ポリアミド酸溶液の安定性……………	6
2.1.3 第二段目のイミド化反応……………	7
2.2 前駆体(ポリアミド酸誘導体)を経由する合成法……………	10
2.2.1 ポリアミド酸塩……………	10
2.2.2 ポリアミド酸アルキルエステル……………	11
2.2.3 ポリアミド酸アミド……………	11
2.2.4 ビスメチリデンピロメリチドからのポリアミド酸誘導体……………	13
2.2.5 ポリアミド酸シリルエステル……………	14
2.2.6 ポリアミド酸イソイミド……………	16
3. 一段階合成法……………	16
3.1 溶媒を用いる一段階合成法……………	16
3.1.1 高温溶液重合法……………	17
3.1.2 テトラカルボン酸ジチオ無水物を用いる方法……………	19
3.1.3 イソシアナート法を用いる方法……………	19
3.1.4 イオン液体を用いる方法……………	21
3.2 ナイロン塩型モノマーを経由する一段階重合法……………	22
3.2.1 高温溶融合成法……………	22
3.2.2 高温固相合成法……………	23
3.2.3 高圧下での高温固相重合法……………	23
3.2.4 水中での固相合成法……………	24
4. おわりに……………	25

第2章 重縮合系高分子の1次構造精密制御……………〈上田 充〉…29

1. はじめに……………	29
2. 分子量および分子量分布の精密制御……………	29
3. 配列精密制御……………	31

3.1	非対称モノマーからの定序性高分子合成技術の開拓	31
3.2	対称モノマー (YccY) と非対称モノマー (XabX) からの定序性ポリマーの合成	31
3.3	頭-頭または尾-尾の定序性ポリマーの合成	32
3.4	頭-尾型定序性ポリマーの合成	32
3.5	2種の非対称モノマーからの定序性ポリマーの合成	32
3.6	3種の非対称モノマーからの定序性ポリマーの合成	33
4.	位置選択的重縮合 (酸化カップリング重合)	33
4.1	ポリ(<i>p</i> -フェニレン)の合成	33
4.2	ポリ(<i>m</i> -フェニレン)の合成	34
4.3	ポリ(3-アルキルチオフェン)の合成	34
4.4	ポリ(ナフチルエーテル)の合成	35
4.5	ナフトール単位を含むポリ(エーテル)の合成	35
4.6	ポリ(トリフェニルアミン)の合成	36
4.7	ポリ(1,4-フェニレン エーテル)の合成	36
4.8	ポリ(フェニレンスルフィド)の合成	37
5.	分岐構造精密配列制御技術の創生 (デンドリマー (dendrimer)、ハイパーブランチ ポリマー (多分岐ポリマー: hyperbranched polymer) の合成)	37
5.1	デンドリマーの合成	37
5.1.1	一般的な合成法	38
5.1.2	簡便な合成法	39
5.1.3	保護-脱保護操作のない簡便なデンドリマー合成法	40
5.2	ハイパーブランチポリマーの合成	44
5.2.1	分岐度1のハイパーブランチポリマーの合成	46
5.2.2	DBが1のハイパーブランチポリマーの合成	47
5.2.3	AB ₂ モノマーからDBが0の線状ポリマーの合成	48
6.	遷移金属触媒を用いる重縮合系高分子合成	49
6.1	Pd錯体触媒を用いるC-Cカップリング反応	49
6.2	Ni錯体触媒を用いるC-Cカップリング反応	50
6.3	Pd錯体触媒を用いるC-Nカップリング反応	51
6.4	Ni錯体触媒を用いるC-Nカップリング反応	52
7.	おわりに	52

第3章 ポリイミドの構造と物性 〈古知政勝〉 56

1.	はじめに-構造と機能-	56
2.	ポリイミドの1次構造と凝集構造	56
2.1	ポリイミド孤立鎖の特徴	56
2.2	ポリイミド鎖の液晶的特性	57
2.3	ポリイミドの秩序構造	58
3.	ポリイミドの秩序相と結晶相	59
3.1	秩序相の定義	59
3.2	結晶相の分子鎖配列	60
3.3	ポリイミドフィルムのスメクチック相	61

4. ポリイミドフィルムの延伸効果	62
4.1 延伸ポリイミドフィルムの凝集構造	62
4.2 延伸ポリイミドフィルムの分子鎖配向	63
4.3 高強度・高弾性率ポリイミド	64
5. 電荷移動 (CT) 錯体の形成と物性	64
5.1 吸収スペクトル	64
5.2 蛍光スペクトル	66
5.3 光電導と電気伝導	67
5.3.1 光電導	67
5.3.2 電気伝導の分子間 CT 導電模型	70
5.3.3 半芳香族ポリイミドの光電導	71
6. おわりに	72

第4章 ポリイミドのフィルム化条件と膜物性 〈長谷川匡俊〉 76

1. はじめに	76
2. ポリイミド製膜時の諸問題	76
2.1 ポリアミド酸溶液	76
2.1.1 ポリアミド酸溶液の貯蔵安定性	76
2.1.2 ポリアミド酸重合時の分子量制御	79
2.2 ポリアミド酸フィルムの製膜	80
2.2.1 乾燥条件	80
2.2.2 ポリアミド酸フィルム中の残留溶媒の影響	81
2.3 イミド化反応と熱処理	81
2.3.1 熱イミド化過程における分子量変化とその他の問題	82
2.3.2 化学イミド化過程における諸問題	84
2.3.3 熱イミド化および熱処理条件	85
3. 製造条件とポリイミドの構造・物性	86
3.1 膜物性に対する共重合体連鎖の影響	86
3.2 フィルム作製条件と膜韌性	87
3.3 フィルム作製条件と T_g	88
3.4 面内配向および CTE に影響を及ぼす因子	88
3.4.1 面内配向度の評価	88
3.4.2 CTE と面内配向度の関係	90
3.4.3 ポリイミド前駆体の化学的および物理的構造の影響	91
3.4.3.1 ポリアミド酸の分子量の影響	91
3.4.3.2 前駆体の種類 (ポリアミド酸とポリアミド酸エステル) の影響	92
3.4.3.3 ポリアミド酸の秩序構造の影響	93
3.4.4 熱イミド化条件の影響	94
3.4.5 ポリイミドの T_g 近傍で再面内配向	96
3.4.6 負の CTE 値を示すポリイミドフィルムとその発現機構	97
4. おわりに	98

第5章 ポリイミドの光学特性 〈安藤慎治〉 ...102

1. はじめに	102
2. ポリイミドの光透過性	102
2.1 ポリイミドの化学構造と光透過性	102
2.2 PIの電子構造とモノマーの電子的性質	103
2.3 PIの光透過性とモノマーの電子的性質	108
2.4 含フッ素酸無水物から合成されるPIの光透過性	111
2.5 脂環式PIの電子構造と光学的性質	112
2.6 近赤外域での光透過性	112
3. PIの蛍光性	113
3.1 全芳香族PIの蛍光性	113
3.2 半脂環式PIの蛍光性	114
4. PIの屈折率と複屈折	115
4.1 PIの屈折率楕円体	115
4.2 Lorentz-Lorenz式に基づく屈折率と複屈折の定式	115
4.3 量子化学計算による屈折率と複屈折の評価	116
4.4 各種PIの屈折率と複屈折	117
4.5 含フッ素PIの屈折率制御	119
4.6 脂環式PIの屈折率	120
4.7 屈折率の波長依存性	120
4.8 含硫黄・高屈折率ポリイミド	121
4.9 一軸延伸PIの複屈折制御	125
5. おわりに	126

第6章 芳香複素環高分子材料の構造・分子設計 〈北河 享〉 ...129

1. はじめに	129
2. 複素環高分子と分子設計	129
3. 分子設計の実際	130
3.1 アラミド	130
3.1.1 弾性率の計算	130
3.1.2 格子力学	131
3.1.3 分子力学	131
3.1.4 パラアラミドの理論弾性率	132
3.1.5 線膨張係数と弾性率	132
3.1.6 共重合アラミドの分子設計と物性	133
3.1.7 エネルギー計算によるメタアラミドの結晶構造	133
3.2 PBZT	134
3.2.1 PBOとPBZTの結晶弾性率：分子レベルからの理解	134
3.2.2 PBOのエネルギー計算と結晶構造解析	135

3.2.3	分子軌道法を用いた予測	137
3.2.4	分子動力学の応用 - 温度の弾性率依存性	138
3.2.5	力学変形機構	139
3.2.5.1	非調和近似とバンドシフト	139
3.2.5.2	PBO のラマンシフトファクター：実験値と理論値の比較	140
3.2.5.3	力学変形機構	141
3.2.5.4	PBO の繊維構造と分子設計・構造設計との関わり	142
3.2.6	分子間相互作用と圧縮強度	143
3.3	PIPD	143
3.3.1	PIPD の分子鎖	143
3.3.2	物性予測	144
4.	3次元構造と物性／高次構造	144
4.1	3次元 PBO 分子の提案と力学物性の予測	144
4.2	PBZT の圧縮強度改善	145
5.	ポリイミドの分子構造と線膨張係数	146
5.1	分子構造の選択	146
5.2	面配向と線膨張係数	146
5.3	線膨張係数を予測する理論	147
6.	まとめ	147

第7章 ポリイミド・芳香族高分子の結晶構造と物性 〈木村邦生〉 150

1.	はじめに	150
2.	芳香族高分子の結晶構造と力学特性の予測	150
2.1	芳香族高分子の力学特性の予測	150
2.2	結晶構造と力学特性との相関	152
3.	芳香族高分子の結晶材料	154
3.1	材料調整法	154
3.2	芳香族ポリイミド	157
3.3	芳香族ポリエステル	160
3.4	芳香族ポリアミド	163
3.5	その他の芳香族高分子	164
4.	おわりに	165

第8章 ポリイミド・芳香族高分子の耐熱性・熱安定性 〈竹市 力〉 170

1.	はじめに	170
2.	高分子の耐熱性	170
2.1	物理的耐熱性	170
2.2	化学的耐熱性	171
2.3	耐熱性高分子の分子設計	172
3.	ポリイミドの耐熱性	173

3.1	ポリイミドの物理的耐熱性	173
3.2	ポリイミドの化学的耐熱性	175
3.3	芳香族ポリイミドと脂肪族ポリイミド	176
3.4	熱可塑性ポリイミドの耐熱性	176
3.5	可溶性ポリイミドの耐熱性	179
3.6	熱硬化性ポリイミドの耐熱性	180
4.	まとめ	183

第2編 応用編

第1部 高性能化を指向した新構造ポリイミド

第1章 熱可塑性ポリイミド 〈児玉洋一〉 ...187

1.	はじめに	187
2.	熱可塑性ポリイミドの用途	187
3.	エレクトロニクス用途における要求特性	188
4.	低温接着性の付与	189
5.	耐湿熱性の付与	190
6.	おわりに	192

第2章 非対称ポリイミドの構造と性質 〈横田力男〉 ...194

1.	はじめに	194
2.	非対称ビフェニル酸二無水物 (BPDA) ポリイミドの合成と性質	194
3.	ビフェニルポリイミドのガラス転移と β 緩和 〈古知政勝〉 ...197	
3.1	ガラス転移	197
3.2	β 緩和過程	198
3.3	非対称ポリイミドのガラス転移温度の予測	200
4.	非対称構造	201
4.1	非対称酸二無水物によるポリイミド	201
4.2	非対称ジアミンによるポリイミド	203
5.	高温熔融流動性と易成形性	206
6.	おわりに	208

第3章 ハイパーブランチポリマー 〈寺境光俊／柿本雅明〉 ...210

1.	ハイパーブランチポリマーとは	210
2.	ハイパーブランチポリアミド	211
3.	ハイパーブランチポリイミド	216

4. おわりに	219
---------	-----

第4章 熱硬化性ポリイミドと複合材料 〈石田雄一／横田力男〉 222

1. はじめに	222
2. 第1世代熱硬化性ポリイミド	222
2.1 ビスマレイミド樹脂	222
2.2 PMR-15	223
3. 第2世代熱硬化性ポリイミド-末端剤 PEPA の導入	223
3.1 PETI-5	223
4. 第3世代熱硬化性ポリイミド-非対称構造の導入	224
4.1 TriA-PI	224
4.2 TriA-PI 複合材料	225
5. 新世代熱硬化性ポリイミド-溶解性の向上	225
5.1 TriA-SI	225
5.2 フェニル基置換非対称ジアミン <i>p</i> -ODA の導入	226
6. レジントランスファー成形 (RTM) 用熱硬化性ポリイミド樹脂	227
6.1 レジントランスファー成形 (RTM) とは	227
6.2 PETI-330	228
6.3 Skybond 8000	228
6.4 PMDA/ <i>p</i> -ODA/PEPA 系樹脂	228
7. 反応性末端剤	228
8. おわりに	229

第5章 脂環式ポリイミド 〈松本利彦〉 231

1. はじめに	231
2. 脂環式ポリイミド研究の歴史	231
3. 脂環式ポリイミドの合成法	232
4. 脂環式テトラカルボン酸二無水物から合成されるポリイミド	233
5. 脂環式ジアミンからのポリイミド	238
5.1 脂環構造を持つ脂肪族ジアミンとポリイミド	238
5.2 脂環構造を持つ芳香族ジアミンとポリイミド	239
6. 脂環式ポリイミドの性質	240
7. おわりに	242

第6章 ポリイミド・芳香族高分子の分子複合体 〈河内岳大／竹市 力〉 247

1. はじめに	247
1.1 ポリイミド	247
1.2 ポリベンゾオキサジン	247

2. 高分子とのポリマーアロイ	249
2.1 液状ゴムによる高性能化	250
2.2 ポリウレタンによる高性能化	251
2.3 ポリベンゾオキサジンとポリイミドの分子複合体	251
2.4 ビスマレイミドとのポリマーアロイ	254
3. 有機-無機複合化による高性能化	255
3.1 有機化クレイを用いるナノコンポジット	256
3.2 ゴル-ゲル反応を利用するハイブリッド	257
3.3 カーボンナノチューブとの複合材料	259
4. おわりに	260

第7章 ポリイミド 有機-無機ハイブリッド

〈安藤慎治〉...262

1. 有機-無機ハイブリッドの作製法	262
2. 種々のポリイミド (PI) / 無機ハイブリッド	264
2.1 ゴル-ゲル法を用いた PI / シリカハイブリッド	264
2.2 ゴル-ゲル法を用いない PI / シリカハイブリッド	268
2.3 PI / クレイ・ハイブリッド	269
2.4 PI / POSS ハイブリッド	270
2.4.1 PI / 一官能性 POSS ハイブリッド	270
2.4.2 PI / 二官能性 POSS ハイブリッド	271
2.4.3 PI / 多官能性 POSS ハイブリッド	271
2.5 PI / 二酸化チタン (TiO ₂ 、チタニア) ハイブリッド	272
2.6 PI / 金属酸化物ハイブリッド	275
2.6.1 PI / 酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃ 、アルミナ) ハイブリッド	275
2.6.2 PI / 酸化亜鉛 (ZnO) ハイブリッド	276
2.6.3 PI / その他の金属酸化物ハイブリッド	277
2.7 PI / 金属ハイブリッド	277
2.8 PI / 硫化物・窒化物ハイブリッド	280
3. おわりに	281

第2編 応用編

第Ⅱ部 高機能化を指向したポリイミド材料

第1章 低熱膨張・低吸湿膨張性ポリイミド

〈長谷川匡俊〉...287

1. フレキシブル回路基板用ベースフィルム材料としての高寸法安定性ポリイミドの必要性	287
2. 低熱膨張・低吸湿膨張性ポリイミドの分子設計方針	289
2.1 CCL における残留応力	289
2.2 低熱膨張性ポリイミドの構造的特徴	290

2.3 ポリイミドの吸水性制御	293
3. 低熱膨張・低吸湿膨張性耐熱絶縁材料：ポリエステルイミド	295
3.1 TAHQ/APAB系の膜物性と置換基効果	295
3.2 TAHQ/BPTP系の膜物性と置換基効果	298
3.3 ポリエステルイミドの銅箔密着性と難燃性	301
4. おわりに	302

第2章 電子材料としてのポリイミド 305

第1節 シロキサブロックポリイミド 〈古川信之／和田幸裕〉 305

1. はじめに	305
2. シロキサブロックポリイミドの合成方法	305
3. シロキサブロックポリイミドの基本特性	306
3.1 熱分解温度特性	306
3.2 モルホロジーおよび表面特性	307
3.3 応力緩和特性および接着特性	308
4. 応用技術	311
4.1 プリント回路関連材料	311
4.2 半導体および液晶パネル関連材料	312
4.3 分離膜素材、耐熱塗料	312
4.4 宇宙用材料としての応用	313
5. おわりに	313

第2節 ポリイミド工業材料 〈金城永泰／赤堀廉一〉 315

1. はじめに	315
2. 代表的なフレキシブル銅張積層板 (FCCL) の構成	315
3. フレキシブルプリント配線板 (FPC)	315
3.1 FPCとは	315
3.2 FPCの技術動向	316
3.3 三層FPCに用いられるポリイミドフィルム	316
3.4 二層FPCに用いられるポリイミド	316
3.5 ポリイミド接着剤	316
4. TAB、COF用途	317
4.1 TABテープ	317
4.2 COFテープ	317
4.3 技術動向	317
4.4 TABテープ、COFテープで用いられるポリイミドフィルム	318
4.4.1 TAB用ポリイミドフィルム	318
4.4.2 COF用ポリイミドフィルム	318
5. 電線絶縁被覆用途	318
5.1 電線絶縁被覆とは	318
5.2 ポリイミドテープの種類	318

6. おわりに	318
第3節 ポリイミドメモリー	〈上田 充〉 320
1. はじめに	320
2. 高分子メモリーのデバイス構造	320
3. 様々な高分子のメモリー特性	320
4. 高分子メモリーのメカニズム	322
5. 高分子メモリーに求められる特性	324
6. ポリイミドメモリー	324
7. ポリイミドメモリーのスイッチングのメカニズム	327
8. おわりに	328
第3章 感光性ポリイミドおよびPBO材料	〈富川真佐夫〉 330
1. 感光性耐熱性ポリマーの開発経緯	330
2. ネガ型感光性ポリイミド	330
3. ポジ型感光性耐熱性ポリマー	333
4. 感光性ポリイミドの設計	335
4.1 耐熱樹脂構造設計	336
4.2 シリコン基板との接着改良	336
4.3 封止樹脂との接着性	337
4.4 金属との接着	338
4.5 耐薬品性とガラス転移温度 (T_g)	338
5. 新規用途への展開	339
6. 今後の感光性耐熱材料	339
第4章 液晶配向膜としてのポリイミド	344
第1節 ポリイミド液晶配向膜	〈西川通則〉 344
1. はじめに	344
2. LCD の分類と構成成分	344
3. LCD の製造プロセス	345
4. 液晶配向膜への要求特性	345
4.1 塗膜の透明性	345
4.2 塗布方法と膜厚	345
4.3 焼成温度	346
4.4 耐熱性	346
4.5 機械的強度	346
4.6 化学的安定性	346
4.7 液晶配向性	346
4.8 プレチルト角	346

4.9 電圧保持率	346
5. 液晶配向膜材料	347
6. PIの合成方法	347
7. PIの液晶配向膜への応用	348
7.1 有機溶剤可溶性PIの合成	348
7.2 PI構造が液晶配向性に及ぼす効果	349
7.3 液晶配向メカニズム	349
7.4 PI構造がプレチルト角に及ぼす効果	350
7.5 プレチルト角発現メカニズム	350
7.6 PI構造が電圧保持率に及ぼす効果	351
7.7 電圧保持率低下メカニズム	351
8. 液晶配向膜の今後の課題	351
8.1 広視野角モードへの応用	351
8.2 ノンラビングプロセスへの対応	352
8.3 光液晶配向用材料の分類	352
8.4 PIの酸無水物構造が液晶配向感度に及ぼす効果	353
8.5 PIのジアミン構造が液晶配向感度に及ぼす効果	353
8.6 偏光UVによる液晶配向メカニズム	354
9. まとめ	354

第2節 ポリイミドの表面評価技術 〈堀江一之〉 355

1. はじめに	355
2. 放射光を用いる物質・材料の構造評価	355
3. 液晶配向膜のナノ表面の評価	356
4. 放射光によるポリイミドの構造評価の動向	360
5. おわりに	363

第5章 ポリイミド分離膜・透過膜 〈兼橋真二／佐藤修一／永井一清〉 365

1. はじめに	365
2. 分離膜・透過膜の応用分野	366
2.1 水素分離	366
2.2 窒素分離・酸素分離	366
2.3 メタン分離(天然ガス精製)	366
2.4 温室効果ガス分離・酸性ガス分離	367
2.5 蒸気分離	367
2.6 人工肺	367
3. ポリイミドの透過性と分離性	367
3.1 透過と分離の理論と膜材料としての特性	367
3.2 ポリイミドの位置づけ	369
3.3 構造と透過性・分離性	370
3.4 耐久性と長期安定性	372
4. 改質ポリイミドの透過性と分離性	372

4.1	改質の目的と方法	372
4.2	ポリイミド共重合体	373
4.3	架橋ポリイミド	373
4.4	ハイパーブランチポリイミド	374
4.5	フィラー添加ポリイミド	375
4.6	Polymer Intrinsic Porosity (PIM) ポリイミド	375
5.	おわりに	375

第6章 生体適合性ポリイミド 〈川上浩良〉 377

1.	はじめに	377
2.	生体防御機構	377
3.	一般的な高分子材料の生体適合性	378
4.	含フッ素ポリイミドへのタンパク質吸着特性	380
4.1	単成分系での血漿タンパク質の吸着挙動	380
4.2	多成分系での血漿タンパク質の吸着挙動	381
5.	含フッ素ポリイミドの生体適合性	382
6.	含フッ素ポリイミドの人工臓器への応用	384
7.	バイオマテリアルとしての含フッ素ポリイミドの新展開	386
8.	おわりに	391

第7章 ポリイミド・芳香族系燃料電池膜 393

第1節 ポリイミド系燃料電池用電解質膜 〈岡本健一〉 393

1.	はじめに	393
2.	ランダム共重合 SPI の1次構造と膜物性	393
2.1	ジアミンの影響	393
2.2	酸二無水物の影響	396
2.3	架橋の効果	396
3.	SPI 膜の高温耐水性	397
4.	ブロック共重合 SPI 膜のモルホロジーと膜物性	398
4.1	ブロック共重合 SPI (<i>b</i> -SPI)	398
4.2	ポリ(スルホン化フェニレン)-ブロック-ポリイミド共重合体 (PSP- <i>b</i> -PI)	399
5.	SPI 膜の PEFC 発電特性	400
5.1	SPI 膜の発電性能	400
5.2	SMCM/SPI ハイブリッド膜の PEFC 発電性能	402
5.3	SPI 膜とハイブリッド膜の PEFC 耐久性	403
6.	おわりに	404

第2節 芳香族系燃料電池用高分子電解質膜 〈後藤幸平〉 406

1.	はじめに	406
----	------	-----

2. 芳香族系膜とその技術課題	406
3. 電解質膜の設計	408
3.1 伝導度と水との関係	408
3.1.1 フッ素膜と非フッ素膜との挙動の違い	408
3.1.2 電解質膜構造と含水状態	409
3.2 伝導チャンネルの形成	409
3.3 強度的性質	412
3.4 耐久構造	412
3.4.1 主鎖の化学結合エネルギー	412
3.4.2 脱スルホン酸抑制	412
3.4.3 発電耐久評価と加速評価	413
4. まとめ	414

第8章 宇宙材料としてのポリイミド 〈岩田 稔／今川吉郎〉 417

1. 宇宙環境における劣化要因	417
1.1 荷電粒子放射線	417
1.2 紫外線	418
1.3 原子状酸素	419
2. 宇宙開発におけるポリイミド材料の用途展開	419
2.1 熱制御材料	419
2.1.1 無色透明性材料の開発	421
2.1.2 高耐原子状酸素性コーティングおよびフィルム	426
2.2 発泡材（フォーム）	428
2.3 宇宙用電線被覆	429
2.4 太陽電池パドル	430

第9章 ポリイミドフォーム 〈山口裕章〉 434

1. はじめに	434
2. 実用材料としてのポリイミドフォーム成形方法	434
3. テトラカルボン酸ジエステル経由のポリイミドフォームの詳細技術と特性	435
3.1 フォーム材料形成スキーム	435
3.2 ポリイミドフォームの形成過程	437
3.3 ユービレックスフォームの特性	438
4. 硬質発泡体の特性	439
5. 多孔性ポリイミドの利用	440
6. おわりに	440

第10章 ポリイミドの熱分解と高品質グラファイト……………〈村上睦明〉…442

1. はじめに……………	442
2. ポリイミド (PI) の熱分解と炭素化……………	442
2.1 高分子の炭素化・グラファイト化……………	442
2.2 ポリイミド (PI) の熱分解・再結合反応……………	443
2.3 炭素前駆体構造と炭素化反応……………	445
3. ポリイミド (PI) のグラファイト化反応……………	446
3.1 グラファイト化反応に伴う寸法変化……………	446
3.2 グラファイト化と分子配向……………	446
3.3 X線回折による反応の追跡……………	447
3.4 透過電子顕微鏡 (TEM) による観察……………	448
4. 高品質・高配向性グラファイトの作製……………	449
4.1 グラファイトシート (GS) の作製……………	449
4.2 グラファイトブロック (GB) の作製……………	449
5. グラファイトシート (GS) の熱拡散応用……………	449
5.1 電子機器における熱対策……………	449
5.2 各種熱伝導材料とグラファイトの熱伝導……………	450
5.3 熱拡散効果……………	450
5.4 冷却効果……………	452
5.5 ヒートスポット緩和効果……………	452
6. グラファイトブロック (GB) の光学応用……………	453
6.1 X線モノクロメータ……………	453
6.2 中性子線フィルタ……………	453
6.3 X線集光素子……………	453
7. まとめ……………	454

第11章 ポリイミド微粒子……………〈浅尾勝哉〉…456

1. はじめに……………	456
2. ポリイミドの微粒子化について……………	456
3. ポリイミド微粒子の調製－ビルドアップ法－……………	457
3.1 ポリアミド酸溶液の加熱イミド化によるポリイミド微粒子の調製……………	457
3.2 ポリアミド酸微粒子を経由する方法……………	459
3.3 再沈殿法によるポリイミド微粒子の調製……………	462
3.4 イソシアナート法による多孔性ポリイミド微粒子の調製……………	463
4. 機械的粉碎によるポリイミド微粒子の調製－ブレードダウン法－……………	463
5. ポリイミド微粒子の応用技術……………	464
5.1 電着塗料への応用……………	464
5.2 高速気流中衝撃法によるポリイミド粒子と多孔性シリカゲルとの複合化……………	465
6. おわりに……………	465

第2編 応用編

第Ⅲ部 ポリイミド関連材料

第1章 ポリイミド原料……………〈玉置晃弘／竹田元則〉…469

1. はじめに…………… 469
2. 芳香族ジアミン…………… 469
 - 2.1 製造法…………… 469
 - 2.2 有害性…………… 477
 - 2.3 取扱い注意事項…………… 478
3. テトラカルボン酸二無水物…………… 478
 - 3.1 製造法…………… 478
 - 3.2 有害性…………… 478
 - 3.3 取扱い注意事項…………… 478
4. おわりに…………… 481

第2章 高性能繊維 (アラミド繊維、PBO 繊維、PBI 繊維を中心に)

……………〈大田康雄〉…483

1. はじめに…………… 483
2. 高性能繊維について…………… 483
3. 高性能繊維の性能発現のための分子設計…………… 485
4. アラミド繊維…………… 486
 - 4.1 開発の経緯と種類…………… 486
 - 4.2 アラミドポリマーの合成…………… 487
 - 4.3 アラミド繊維の繊維化…………… 487
 - 4.4 *p*-アラミド繊維の特性と用途…………… 488
 - 4.5 *m*-アラミドの用途…………… 489
 - 4.6 共重合系アラミド繊維…………… 489
5. PBO 繊維…………… 489
 - 5.1 開発の経緯…………… 489
 - 5.2 PBO の合成…………… 489
 - 5.3 PBO の繊維化の過程…………… 490
 - 5.4 PBO 繊維の特徴と用途…………… 490
6. PBI 繊維…………… 491
7. その他の剛直鎖ポリマーからの繊維の展開…………… 492

第3編 資料編

略語索引	506
事項索引	517

◆商標・登録商標に関して

※ Kapton は、東レ・デュポン㈱の登録商標です。

※ ユービレックスは、宇部興産㈱の登録商標です。

※ Kevlar, Nomex は、DuPont 社の登録商標です。

※ Twaron は、帝人㈱の登録商標です。

※ Zylon は、東洋紡績㈱の登録商標です。

※ その他記載されている会社名、製品名およびそれに付随するロゴマーク等は各社の登録商標または商標です。

なお、本書に記載されている製品名等には必ずしも商標表示 (®、TM) は付記していません。