

進化する薄膜の最新技術と エレクトロニクスにおける応用

— 太陽電池、燃料電池から有機ELにも —

2009年9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 はじめに	1
----------------	---

第 I 部 [薄膜技術の最新動向]

第2章 薄膜作製技術の最新動向	2
-----------------------	---

2.1 乾式法(物理的薄膜作製技術、化学的気相薄膜作製技術)	2
--------------------------------------	---

2.1.1 スパッタリング	2
---------------------	---

1 ボックス回転型多元対向スパッタ	2
-------------------------	---

2 傾斜回転ECRスパッタ	3
---------------------	---

3 コンビナトリアルスパッタ	3
----------------------	---

4 高周波重畳直流スパッタ	4
---------------------	---

5 誘導結合プラズマ支援型アンバランスマグネロン・スパッタ	4
-------------------------------------	---

6 非平衡スパッタ	5
-----------------	---

7 樹脂をターゲットとしたスパッタリング	5
----------------------------	---

8 後処理として的高速酸化法	6
----------------------	---

2.1.2 プラズマ応用成膜法(CVD、PVD)	6
--------------------------------	---

1 クラスタ制御プラズマCVD	6
-----------------------	---

2 異方性プラズマCVD	7
--------------------	---

3 プラズマ重合	8
----------------	---

4 大気圧プラズマCVDによる微結晶Si薄膜の成膜	10
---------------------------------	----

5 トライボマイクロプラズマによるコーティング法	11
--------------------------------	----

2.1.3 アーク蒸着	12
-------------------	----

1 T字状フィルタードアーク蒸着法	12
-------------------------	----

2 シャンティングアーク	13
--------------------	----

2.1.4 イオンビーム利用成膜	13
------------------------	----

1 ガスクラスタイオンビーム装置(GCIB)	13
------------------------------	----

2 磁界励起型イオンプレーティング(MEP-IP法)	14
----------------------------------	----

3 中性ビーム銃	14
----------------	----

4 シリコンナノブロック薄膜生成システム	15
----------------------------	----

2.1.5 レーザー利用成膜、パルスレーザー堆積法(Pulse Laser Deposition: PLD法)	15
---	----

1 PLD装置の改良と成膜	16
---------------------	----

2 フェムト秒レーザーCVD	16
----------------------	----

3 レーザー・イオンビーム複合成膜装置	16
---------------------------	----

4 PLD法の応用	16
-----------------	----

5 UVレーザーアブレーションによる機械的効果の有限要素モデル	18
---------------------------------------	----

2.1.6 分子線エピタキシー(MBE)	18
----------------------------	----

1 アンモニアMBEによるAlGaInN薄膜の形成	18
---------------------------------	----

2 InGaN量子ドットの形成	18
-----------------------	----

3	酸化亜鉛系半導体材料薄膜の形成	19
4	Fe ₃ Si/Ge薄膜の形成	19
5	ZnO薄膜の形成	20
2.1.7	真空蒸着	20
1	Alq ₃ の真空蒸着薄膜	20
2	有機分子の蒸着	20
3	蒸着重合	21
4	複合成膜装置	23
2.1.8	原子層堆積法(Atomic Layer Deposition:ALD法)	23
1	ALD成膜装置の構造改良	24
2	ALD成膜時の前処理時間の最適化	25
3	液晶装置の製造	25
4	光学用多層薄膜の形成方法	26
5	MOS構造縦型量子ドットのAl ₂ O ₃ 絶縁膜形成方法	26
6	分子層堆積法(Molecular Layer Deposition:MLD法)	26
2.1.9	触媒化学気相成長法(Cat-CVD法)	26
1	高速堆積技術、バッファー層形成技術	27
2	成膜温度の低温化対策	27
2.1.10	ガスデポジション法(GD法)	28
1	GD装置	28
2	高分子フィルム基材への金属薄膜形成	28
3	2重ノズル型粒子噴射法	29
2.1.11	ミストCVD法(Mist-CVD法)	30
2.1.12	エレクトロスプレーデポジション法(ESD法)	30
2.2	湿式法	32
2.2.1	コーティング	32
1	ディップコート	32
2	加水分解を伴う溶液プロセス	33
3	コート液のロングライフ化	33
4	生分解性高分子のスピコート	34
5	ディッピング装置	34
2.2.2	印刷法	35
1	インクジェット法	35
2	インクジェット法の改良	36
3	パターン化単分子膜上への高分子薄膜の位置選択的形成	37
4	インクジェット法による酸化物超伝導膜の形成	38
5	印刷システムへの応用	38
6	マイクログラビア法	39
7	マイクロコンタクトプリント法	40

2.2.3	ラングミュア・プロジェクト法(Langmuir Blodgett:LB法)	41
1	2種類材料の混合と逐次成膜の比較	41
2	高分子界面活性剤を利用したLB膜の安定性	42
3	LB膜成膜後の自己再構築(インターカレーション)	42
2.2.4	交互積層法(Layer by Layer法:LbL法)	42
1	LbL法の装置の開発とその応用	42
2	スピコート支援交互積層法	43
3	コアシェル粒子膜の作製	43
4	疎水性多層超薄膜、ハイブリッド中空粒子の作製	44
5	インシュリンを含む薄膜の調製およびそのpH応答性分解	45
6	多孔性薄膜の作製とその評価	46
7	キトサンとアルギン酸の交互積層膜の作製	46
8	イオン液体を含む複合膜の作製	46
9	BioLbL法	47
2.2.5	ゾルーゲル法	48
1	酸化インジウム薄膜成膜時の熱処理温度の影響	48
2	バインダーを使用しない機能紙の作製	48
3	シリカー酸化チタン系薄膜の作製	49
4	ポリイミド(PI)/Al ₂ O ₃ のin situ重合混合割合と特性との関係	50
5	流動界面ゾルーゲル法	50
6	ゲルーゾル法による微粒子合成法(参考)	51
2.2.6	液相析出法(LPD法)	52
1	液相析出法による薄膜作製例	52
2	金属酸化物3次元構造体の作製	52
3	超撥水性TiO ₂ 薄膜の作製	53
4	低温成膜としての酸化亜鉛薄膜の作製	53
2.2.7	重合技術(電解重合、グラフト重合、ポリマーブラシなど)	54
1	電解重合	54
2	グラフト重合、ポリマーブラシ	57
2.3	大量生産への対応	60
2.3.1	大型スパッタリング装置	60
2.3.2	プラズマCVD(PCVD)の大面積化	62
1	誘導結合型(ICP)	62
2	マルチ内部アンテナ方式大面積誘導結合型プラズマ	62
3	マイクロ波励起超低電子温度高密度プラズマ装置	62
4	反応性プラズマ蒸着法	63
2.3.3	ロールツーロール触媒気相成長法(Cat-CVD)装置	63
2.3.4	大型ALD成膜装置	63
2.3.5	大面積フィルム基板へのマイクログラビア法による成膜	64

第3章 薄膜材料技術の最新動向	65
3.1 金属薄膜	65
3.1.1 金薄膜	65
1 金ナノ粒子薄膜	65
2 半球状金属薄膜	66
3 チオール単分子膜で保護された金クラスター	66
4 貴金属ナノシート	67
3.1.2 鉄薄膜	68
3.1.3 Ni薄膜	69
3.1.4 Co、Cu薄膜	69
3.1.5 Ni、Cu薄膜	70
3.1.6 Ti-Ni-Cu三元系形状記憶合金薄膜	70
3.2 金属化合物、無機化合物の薄膜	71
3.2.1 酸化物ナノシート	71
1 ナノ超薄膜誘電体	71
2 ナノシートシード層	72
3 強酸特性のナノシート	73
4 配向積層薄膜	74
5 発光ナノシート	74
6 酸化物ナノシートから電子材料の創製	76
7 モンモリロナイト系	76
8 BaTiO ₃ のナノシート	77
3.2.2 各種金属化合物、無機化合物	77
1 Mn、Mg化合物	77
2 SiO ₂	79
3 TiO ₂	81
4 ZnO	83
5 In ₂ O ₃	88
6 酸化タングステン	92
7 酸化タンタル、酸化ニオブ	93
3.2.3 多成分薄膜	94
1 C12A7薄膜	94
2 BaBiO ₃ 薄膜	95
3 BaZrO ₃ 薄膜	95
4 Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ 薄膜	95
5 FeGaO ₃ 薄膜	96
6 Eu含有HfO ₂ 薄膜	97
7 酸化チタン-ジルコニア複合膜	98
8 BaO-TiO ₂ -GeO ₂ 薄膜	98
9 BiTiFeO薄膜	98

3.3 炭素系薄膜	99
3.3.1 ダイヤモンドライクカーボン薄膜(Diamond Like Carbon:DLC薄膜)	99
1 ペットボトル内面コーティングDLC膜	99
2 大型部材用DLCコーティング	99
3 大型、複雑形状DLCコーティング	100
4 高密度、高硬度DLC薄膜(スーパーDLC)	100
5 導電性DLC	101
6 フッ素添加DLC	102
7 低温化成膜と基板との密着性改良	103
3.3.2 ダイヤモンド系薄膜	103
1 超伝導気相成長ダイヤモンド薄膜	103
2 ナノクリスタルダイヤモンド薄膜	104
3 金属微粒子修飾ダイヤモンド材料	106
4 ダイヤモンド薄膜を用いたバイオチップ	107
3.3.3 カーボンナノチューブ(CNT)系薄膜	107
1 乾式製法によるCNT薄膜	107
2 湿式製法によるCNT薄膜	108
3 低コストCNT薄膜	108
4 導電性の大きい単層カーボンナノチューブ(SWCNT)とその薄膜	108
5 金属性単層CNT薄膜	109
6 配向制御CNT薄膜	109
7 金属内包CNT	110
3.3.4 複合系炭素薄膜	111
1 Pt-C薄膜	111
2 CNT分散ポリイミド薄膜	111
3 単層CNT分散TiO ₂ 薄膜	112
4 グラフェン-CNT薄膜	112
5 窒化炭素薄膜	113
6 炭化ケイ素薄膜	114
7 炭化鉄	115
3.4 有機薄膜	116
3.4.1 低分子、オリゴマー	116
1 ルブレン	116
2 シアニン色素、アゾ色素	117
3 ジアリールエテン(DAE)	118
4 チオフェン、チオール系	122
5 ペンタセン系	125
6 フタロシアニン、ポルフィリン	126
7 オリゴマー、 dendリマー	128

3.4.2	ポリマー	129
1	ポリオレフィン系	129
2	ポリスチレン系	130
3	ポリアミド系	131
4	熱硬化系	132
5	フッ素系	134
6	アクリル系	134
7	ポリウレタン系	136
8	ポリマー各種	136
9	生分解性、天然高分子系	138
3.4.3	ブロックコポリマー	141
1	ブロックコポリマーのモルフォロジー	141
2	ブロックコポリマーの配向技術	147
3	ブロックコポリマーの応用	152
3.5	複合薄膜	157
3.5.1	有機－無機	157
1	有機－シリカ薄膜	157
2	その他の有機－無機系薄膜	162
3.5.2	有機－金属	166
1	有機－貴金属	166
2	有機－卑金属	169
3.5.3	炭素系複合薄膜	170
1	炭素系－有機	170
2	炭素系－無機	173
3	炭素系－金属	174
3.5.4	無機－金属	176
1	Ti-TiO ₂ 薄膜	176
2	アルミナ表面層にパラジウム	176
3.5.5	有機－有機(高分子ブレンド系)	177
1	ポリ-L-乳酸(PLLA)－ポリ酢酸ビニル(PVAc)	177
2	ポリマーブレンド薄膜の表面	178
3	パルプ－ポリオキサレート	179
4	高分子ブレンド薄膜の相分離と脱濡れ(dewetting、はじき)	179
5	Polyethylene oxide(PEO)－Polystyrene(PS)のブレンド	179
第4章	薄膜の性能、加工技術の最新動向	181
4.1	薄膜の性能	181
4.1.1	力学特性、密着性	181
1	ポリスチレン薄膜の動的粘弾性	181
2	ポリカーボネート基板上のZnO膜の物性評価	182

3	ポリエステルフィルム基板上の金属薄膜の物性、密着性	182
4	微小材料試験によるポリイミド薄膜の力学特性	182
5	ポリイミドフィルム基板上のa-C膜の密着性	182
4.1.2	ガスバリア性	183
1	無機系	183
2	炭素系	188
3	有機系	189
4.1.3	濡れ性 脱濡れ性	190
1	親水性	190
2	撥水性	191
3	脱濡れ性	195
4.1.4	摩擦、摩耗特性	197
1	潤滑油中における窒化炭素膜の超低摩擦現象	197
2	水性媒体での吸着ポリエチレンオキシド層のせん断挙動	197
3	機械的耐久性増強のためのナノ粒子薄膜の水熱処理	197
4	荷電高分子ブラシ間の摩擦と垂直相互作用力	198
5	高摩擦表面の相手面の粗さと変形の影響	198
6	耐摩耗性イオン性液体超薄膜	199
4.1.5	エレクトロクロミズム、フォトクロミズム	199
1	フォトクロミズム	199
2	エレクトロクロミズム	203
4.1.6	磁性	206
1	シリコーン樹脂中のAu/Ni-P中空マイクロロッド	206
2	(Zn, Cr)Te膜	206
3	GaMnAs膜	206
4	Fe ₃ O ₄ -Geナノ複合膜	207
5	ポリエチレンナフタレート基板にニッケル薄膜	207
6	dendリマータイプのポリアミドアミン固定化磁気高分子複合体ミクロスフェア	208
7	Ge量子ドットの磁氣的性質	208
8	窒化鉄	209
4.1.7	超伝導性	209
1	鉄系	209
2	イットリウム系(YBCO)	210
3	ボロンドープダイヤモンド	210
4	MgB ₂ 系	211
5	チタン酸ストロンチウム単結晶	211
4.2	薄膜の加工	212
4.2.1	薄膜へのドーピング	212
1	無機系薄膜	212
2	炭素系薄膜	215

3 有機系薄膜	217
4.2.2 薄膜成膜後の後処理	219
1 熱処理、焼成、溶媒処理	219
2 エッチング	221
4.2.3 薄膜のナノ加工、パターン加工	224
1 レーザーによる加工	224
2 電子ビーム、イオンビームによる薄膜の加工	228
3 AFMによるナノ加工	232
4 ナノインプリント	233
4.2.4 鋳型法	236
1 ブロック共重合体を鋳型にしたCo/Pd磁性体記録膜	236
2 ブロック共重合体薄膜からのアスペクト比可変メソ細孔性シリカナノロッドアレイ	237
3 ブロック共重合体薄膜からの高秩序シリカ細孔およびストライプの作製	238
4 PS-b-PAAの自己会合による高規則性微多孔薄膜の形成とその制御可能表面特性の研究	239
5 ブロック共重合体薄膜からの無機ナノポーラス膜	240
6 ブロック共重合体の協同自己集合によるTiO ₂ ナノ粒子ストリング2次元アレイ	240
7 蛍光性CdSeナノ粒子の2次元アレイ	241

第Ⅱ部 [薄膜のエレクトロニクス分野への応用最新動向]

第5章 絶縁膜	243
5.1 低誘電率膜 ($k < 3$)	243
5.1.1 実用化が進む層間絶縁膜	243
半導体MIRAIプロジェクト、日本電気、東芝、ソニー、富士通、三菱電機、 日立製作所、アルバック、旭硝子、旭化成、富士フイルム	
5.1.2 開発中の層間絶縁膜、低誘電率材料	250
太陽日酸、物材研、Selete、東京大、東北大、九州大、大阪大、 京都大国際融合創造センター、東工大、首都大学東京、日鉱工業、 日東電工、日本ゼオン、出光興産、住友ベークライト	
5.2 中程度の誘電率膜 ($3 < k < 6$)	257
5.2.1 シリカ薄膜	257
5.2.2 窒化シリコン膜	259
5.2.3 ポリイミド	262
5.2.4 液晶配向膜	264
5.3 高誘電率膜 ($k = 6 \sim$ 数百)	268
5.3.1 ゲート絶縁膜	268
5.3.2 容量素子	272

第6章 導電膜	276
6.1 透明導電膜	276
6.1.1 ITO膜	276
1 研究と商用化の実例	276
2 転写方式	277
3 インクジェット方式	278
4 コーティング	280
5 ドライ方式	280
6 スプレーCVD法	283
7 ITOナノ粒子の製造技術	284
6.1.2 ZnO膜	286
1 Ga添加ZnO(GZO)系	286
2 Al添加ZnO(AZO)系	289
3 ZnO系	291
6.1.3 ITO、ZnO膜のバリエーション	292
1 In-Zn-O系	292
2 ITO-ZnO積層	293
3 Zn-Mg-Al系	293
4 金ナノ粒子固定化ITO	294
6.1.4 ITO、ZnO以外の透明導電膜	294
1 TiO ₂	294
2 C12A7(12CaO・7Al ₂ O ₃)	295
3 Mg(OH) ₂ -C _x	295
4 鋳型法	296
5 In ₂ O ₃	297
6 CNTによる透明導電膜	297
6.1.5 導電性ポリマーによる透明導電膜	298
ポリチオフェン系 (PEDOT/PSS)、ポリアニリン系 など	
6.2 一般配線、ナノ配線用導電膜	303
6.2.1 一般配線	303
1 LSI向け多層配線用Cu配線	303
2 銅配線の銅表面酸化膜の除去	303
6.2.2 インクジェットによる配線	304
1 多層配線基板	304
2 LTCC上の微細配線	304
3 Ag配線	305
4 超微細インクジェット	305
6.2.3 CNTによる配線	305
1 カーボンナノチューブ・ウェハ	305
2 多層CNT配線	306

3 CNTビアプロセス	307
4 エラストマー-CNT-イオン液体系	308
6.2.4 金属薄膜による配線	308
1 金ナノ粒子薄膜のパターン化	308
2 金ナノ粒子を種々の担体に担持する方法	309
3 ポリマー基板上への銅薄膜パターンの作製	309
6.2.5 ナノインプリントによる配線	309
6.2.6 DNAによる配線	311
1 光ピンセットによるDNA配線	311
2 DNA由来の透明電極	311
6.2.7 ナノワイヤーによる配線技術	312
6.2.8 自己組織化による配線	313
第7章 無機半導体薄膜	314
7.1 シリコン(Si)系半導体膜	315
7.1.1 非晶質シリコン(a-Si)の結晶化処理	315
1 パルス変調レーザー照射	315
2 軟X線照射処理	316
3 熱プラズマジェットによる結晶化	317
4 熱プラズマジェット結晶化技術の改良	317
5 高周波VHF熱マイクロプラズマジェット	318
6 低温プラズマによる結晶化	318
7 ジュール熱加熱による結晶化	318
8 フラッシュランプ照射による結晶化	319
7.1.2 多結晶Siの動向	319
1 多結晶Siの低温での大粒径化と結晶欠陥低減技術	319
2 Al誘起結晶化法(AIC)法による多結晶シリコン薄膜形成	320
3 ラジカル制御プラズマCVDによる結晶シリコンの形成	320
7.1.3 液相法	320
7.1.4 Si薄膜に関する情報	321
1 極低温でのa-Si合成	321
2 薄膜素子のLEDとしての評価	322
7.1.5 炭化ケイ素(SiC)半導体薄膜	323
1 高速のエピタキシャル成長技術	323
2 SiCの結晶成長技術、デバイス化技術	324
3 SiCダイオード	324
4 SiCを適用したインバータ	324
7.2 ゲルマニウム(Ge)系半導体膜	325
7.2.1 非晶質Geの低温固相成長	325
7.2.2 多結晶Ge薄膜の低温形成	325

7.2.3	Ge半導体デバイス製造方法	326
7.2.4	マイクロ波帯無線通信用SiGe HBT	327
7.3	ガリウム(Ga)系半導体膜	327
7.3.1	LED	327
1	ハイブリッドPPD法	327
2	多結晶AlN基板上的InGaN結晶	328
3	窒化アルミニウムガリウム(AlGaN)系深紫外高輝度LED	328
7.3.2	HEMT(High Electron Mobility Transistor)	329
1	低消費電力型高周波デバイスGaN-HEMT	330
2	GaN高耐圧デバイス	330
3	電子デバイス用GaN結晶の製法とHEMT作製	330
4	GaN HEMT増幅器	331
5	縦型構造のGaNパワーデバイス	331
7.4	強磁性酸化物半導体膜	332
7.4.1	磁気ランダムアクセスメモリー(MRAM)	332
7.4.2	スピンドバイス	334
1	スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト	334
2	文部科学省 高機能・超低消費電力スピンドバイス・ストレージ基盤技術の開発	334
3	イルメナイト・ヘマタイト系薄膜	335
4	IV族強磁性半導体の創製とそのスピンドバイスへの応用	336
7.4.3	鉄シリサイド系磁性材料	337
7.4.4	希薄磁性半導体材料(ZnMnSn)As ₂	337
7.4.5	希薄磁性半導体材料GaMnAs	338
7.4.6	熱アシストスピン注入技術	338
7.4.7	マイクロ波アシスト磁化反転	339
7.5	酸化物半導体膜	339
7.5.1	アモルファス酸化物半導体(TAOS)	339
1	TAOSトランジスタ	339
2	透明アモルファス半導体TFT	340
3	a-IGZOによる電子ペーパー	341
7.5.2	ZnO	342
1	ZnO薄膜トランジスタ	343
2	ZnO半導体の改良	344
3	紫外線発光ダイオード	345
7.5.3	抵抗変化メモリー(ReRAM、RRAM)	346
7.6	炭素(C)系半導体膜	347
7.6.1	CNT半導体	347
1	塗布プロセスによるCNTトランジスタ	347
2	高純度CNTによるトランジスタ	348
3	CNT分散ポリマーを用いた電界効果トランジスタ	348
4	単層カーボンナノチューブのFET	349

7.6.2	グラフェン半導体	349
1	グラフェン薄膜の作製	349
2	グラフェンによるトランジスタ	349
3	グラフェンFET	350
7.7	タンパク質の自己組織化を利用した量子ドット半導体	350
第8章	有機半導体薄膜	352
8.1	有機薄膜半導体と有機薄膜トランジスタ	352
8.1.1	有機薄膜トランジスタの構造	352
8.1.2	移動度の変遷、最新性能	353
1	移動度の変遷	353
2	高移動度の有機トランジスタ	354
3	有機薄膜トランジスタ用材料	354
8.1.3	特許出願の動向	354
8.2	有機半導体材料の最新動向	355
8.2.1	ペンタセンなど炭素縮合四・五環系	355
1	移動度と要因の整理	355
2	単結晶化	356
3	単結晶トランジスタ	356
4	塗布法によるトランジスタ	357
5	インクジェット法によるトランジスタ	357
6	サブミクロンチャンネル長の有機薄膜トランジスタ	357
7	ペンタセン誘導体の分子ワイヤによるトランジスタ	358
8	ペンタセンとCuとの界面	358
9	置換ペンタセンの合成	358
10	ペンタセン誘導体の合成と評価-1	359
11	ペンタセン誘導体の合成と評価-2	360
12	ジブチルペンタセン	360
13	新規縮合多環芳香族化合物の合成と応用	361
8.2.2	チオフェン、ポリフェニレンビニレン化合物	361
1	ケイ素架橋チオフェン	361
2	チオフェン/フェニレンコオリゴマー(TPCO)-1	362
3	チオフェン/フェニレンコオリゴマー(TPCO)-2	362
4	ターチオフェン、クォータチオフェン	363
5	末端にシアノ基を有するチオフェンオリゴマー(CH4T)	364
6	テトラチアペンタレン骨格(TTP)を有する化合物	364
7	カラムナー液晶材料	365
8	ポリ(3-ヘキシルチオフェン)(P3HT)	365
9	全印刷法によるプラスチック基板上のトランジスタアレイ	366
10	メチル置換オリゴチオフェン	366

8.2.3	電荷移動錯体、金属錯体系	367
1	TTF-TCNQとDBTTF-TCNQの組み合わせトランジスタ	367
2	DM-DCNQIの金属錯体	368
3	アンバイポーラ型FET	368
4	ホウ素錯体	369
8.2.4	ポルフィリン、フタロシアニン	370
1	ポルフィリン化合物	370
2	縮環ポルフィリン銅錯体	370
3	テトラベンゾポルフィリン(TBP)	371
4	塗布成膜の可能なフタロシアニン系材料	371
5	アルキルチオフェン縮環ポルフィラジン	372
6	フタロシアニン薄膜トランジスタの電場変調分光	372
7	鉛フタロシアニンFET	373
8	フタロシアニンによる透明なトランジスタ	373
9	フタロシアニンの配向制御と電気特性	373
8.2.5	液晶性半導体	374
1	新規液晶性有機半導体材料	374
2	不純物の影響	375
3	液晶性有機FET	376
8.2.6	フラーレン系	376
1	フラーレン	376
2	フラーレンとペンタセン	376
3	フラーレンと高分子材料の混合	377
8.2.7	有機強誘電体メモリー	377
1	フッ化ビニリデン/3フッ化エチレン共重合体	377
2	Pb(Zr _{0.52} Ti _{0.48})O ₃ 、PZT	378
3	ポリイミド基板とVDFオリゴマー	378
4	ペリレンジイミド3量体	379
8.2.8	有機光電変換	379
1	CMOSイメージセンサー	379
2	光駆動型有機トランジスタ	380
3	光情報入出力記録素子	380
8.2.9	新規有機半導体	381
1	ヘキサベンゾコロネン(HBC)置換体	381
2	ペリレンテトラカルボキシルジイミド(PTCDI)	382
3	n型有機半導体用の化合物の開発	382
8.3	有機半導体の製法、構造、物性物理、制御	383
8.3.1	製法	383
1	マイクロコンタクトプリント法	383
2	基板の裏から露光するプラスチック基板有機TFTの製法	384

3 コロイダルリソグラフィ法	384
4 有機発光型トランジスタ	385
5 フレキシブル電子ペーパー	386
6 薄膜単結晶からのFET-1	387
7 薄膜単結晶からのFET-2	387
8 Evaporative Spray Deposition from Ultradilute Solution (ESDUS)法	387
8.3.2 構造	388
1 半導体デバイス	388
2 有機半導体の絶縁膜、保護膜	392
3 有機半導体の電極	397
8.3.3 有機半導体素子の接触、界面	399
1 有機半導体素子の界面制御	399
2 電極の形成方法の比較	400
3 シランカップリング剤の構造・界面制御	401
8.3.4 有機半導体素子の配向	402
1 グラフォエピタキシー法	402
2 液晶性両親媒性分子の配列による電子輸送性の向上	402
3 薄膜の分子配向と電気特性	402
4 光配向性ポリマーによる配向	403
8.3.5 有機半導体素子の評価	404
1 電気特性	404
2 分子情報、構造の評価	406
第9章 有機EL	410
9.1 有機EL照明	411
9.1.1 NEDO「照明用高効率有機EL技術の研究開発」プロジェクト	411
9.1.2 有機EL照明の実用化	411
Lumiotec(ルミオテック) (三菱重工業、ローム、凸版印刷、三井物産)、 日本電気、コニカミノルタ、出光興産、パナソニック電工、 オスラム オプトセミコンダクターズ、新日鐵化学、日本ゼオン	
9.1.3 照明素子としての実用化に向けた課題	414
9.2 有機ELディスプレイ最新動向	414
9.2.1 大型有機ELディスプレイ	414
NEDO、大日本スクリーン製造、エプソン、東芝松下ディスプレイテクノロジー、ソニー	
9.2.2 中・小型有機ELディスプレイ	416
ソニー、KDDI、NHK技研、京セラ、富山大、ブラザー工業、 大日本印刷、有機エレクトロニクス研究所	
9.2.3 フレキシブル有機ELディスプレイ	419
NEDO「高効率有機デバイスの開発」プロジェクト、ソニー、大阪大、東京工芸大、 NHK技研、富山大、ブラザー工業、KAST、千葉大、パイオニア	

9.2.4 透明性を利用した有機ELディスプレイ	422
フルカラー透明有機EL素子、両面発光有機ELパネル	
9.3 有機ELの薄膜材料	425
9.3.1 低分子系発光材料	425
1 蛍光低分子	425
2 青色発光材料	426
3 緑色りん光材料	426
4 有機EL青色素子	426
5 蛍光発光材料複素環化合物	427
6 蛍光材料を用いた赤色発光材料	427
7 リン光による高発光効率化と塗布プロセスによる低コスト化	428
8 色純度が高い赤色りん光材料	428
9.3.2 高分子系発光材料	428
1 住友化学の取り組み	428
2 非共役型高分子りん光発光材料	429
3 蒸着重合法による共役系高分子発光材料	430
4 積層型発光素子	432
9.3.3 輸送層、注入層材料	433
1 オリゴマー系	433
2 SAMによる有機EL素子の正孔輸送層の膜安定性の改善	434
3 混合LB法による混合系	434
4 代表的な正孔注入層の比較	436
5 有機半導体を結合したグラフトポリマー	436
6 低駆動電圧化	437
7 電子輸送材料の検討	438
8 デンドリマーを用いた正孔輸送材料	439
9.4 成膜方法、装置、評価	439
9.4.1 成膜方法	439
1 山形大学の取り組み	439
2 プラズマ重合膜と無機膜の積層保護膜	440
3 プラズマ重合によるホール輸送層	441
4 透明有機EL素子	441
5 MoO ₃ による劣化改善	441
6 作製時の真空度と劣化	442
9.4.2 成膜装置	442
三菱重工業、トッキ、春日電機、アインテスラ、日立造船、ヒラノテクシード	
9.4.3 有機EL素子の評価	443
1 Backside SIMSによる有機EL素子界面の不純物拡散評価	443
2 層構造の傾斜断面分析	444

第10章 太陽電池	445
10.1 太陽電池の一般情勢	445
10.2 シリコン系太陽電池の薄膜技術	446
10.2.1 高速化、大型化	446
1 大型化の量産例	446
2 局在プラズマCVDによる高速成膜	447
3 Cat-CVD法	448
4 エピタキシャルリフトオフ法 (ELO法) と急速蒸着法 (RVD法)	448
5 マイクロ波プラズマによる微結晶シリコン膜の大面積成膜	449
6 RF帯のプラズマCVD	450
10.2.2 高効率化	450
1 NEDO「太陽光発電システム未来技術研究開発」太陽電池開発の成果	451
2 ハイブリッド化－1	452
3 ハイブリッド化－2	452
4 ハイブリッド化－3	453
5 多結晶太陽電池 (参考)	454
6 薄膜シリコン系3接合太陽電池	454
7 波長変換薄膜フィルタ	454
8 BaSi ₂ 系半導体の太陽電池	455
9 フルスペクトル関連	456
10.2.3 安定化	457
1 アモルファスシリコン薄膜の安定化方法	457
2 a-Si:H薄膜中のSi微粒子(クラスター)対策	458
10.2.4 フィルム基板	459
富士電機、TDK、フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム	
10.3 化合物型太陽電池	462
10.3.1 化合物型太陽電池のトピックス	462
1 窒化ホウ素	462
2 InGaP/InGaAs/Ge 3接合太陽電池の開発	463
10.3.2 化合物型太陽電池の実用化動向	463
昭和シェル石油、本田技研工業	
10.3.3 化合物太陽電池の研究動向	464
1 省資源化と変換効率の向上	464
2 レーザーアシスト成膜法の最適化、結晶性向上	465
3 スクリーン印刷/焼結法	467
4 InGaN 系タンデム太陽電池の基盤技術	467
5 半導体量子ドット(quantum dot: QD)による太陽電池	468
6 フレキシブル型	469
7 電着法	470
8 AgGaSe ₂	471

10.4 有機薄膜系太陽電池	471
10.4.1 低分子系	471
1 フラーレン系	471
2 フタロシアニン系	475
3 ポルフィリン系	476
10.4.2 高分子系	478
1 トピックス	478
2 P3HT/PCBMブレンド系	479
3 光電変換層の製造時溶媒の影響	479
4 TiO ₂ ホールブロック層	480
5 光捕集層の効果	480
6 ポリマー分子量の影響	481
7 自己組織化によるバッファ層形成	481
8 P3HT-フルラーレン ラミネート法	481
9 ナノインプリント法	481
10 SWNT-P3HT系	481
10.5 色素増感型太陽電池	482
10.5.1 色素増感型太陽電池の実用化状況	483
ペクセルテクノロジーズ、ソニー、シャープ、TDK、太陽誘電、グンゼ、大日本印刷	
10.5.2 色素増感太陽電池の研究開発	484
1 タンデム型太陽電池	484
2 表面処理	485
3 ZnO電極	485
4 対極	485
5 新規色素、新規サブモジュール	486
6 電解液の漏出対策	486
7 電池特性向上対策	486
8 フィルム型でカラフルな色素増感太陽電池	487
第11章 燃料電池、二次電池	488
11.1 燃料電池	488
11.1.1 燃料電池を取り巻く環境	488
研究機関、研究プロジェクト、規格、メーカー	
11.1.2 燃料電池用薄膜材料	489
1 多孔性配位高分子と無機材料のナノハイブリッド薄膜	489
2 ナノ薄膜電解質	490
3 フレキシブルマイクロ燃料電池	491
4 携帯電話用マイクロ燃料電池	491
5 マイクロ燃料電池(参考)	491
11.2 薄膜を用いる燃料電池の最新動向	492

11.2.1	直接メタノール型燃料電池(DMFC)	492
	シャープ、パナソニック、旭化成、トクヤマ、群馬大、日立製作所、東レ、 長岡技術大、東芝、九州工大、ダイハツ工業、AIST	
11.2.2	固体高分子型燃料電池(PEFC)	497
1	PEFCの電解質膜	497
2	PEFCの電極	500
3	PEFCの部材	503
11.2.3	固体酸化物型燃料電池(SOFC)	504
1	薄膜SOFC	504
2	PLDによる薄膜-1	505
3	PLDによる薄膜-2	505
4	中温型SOFC用の電解質	505
5	CVI法によるイットリア安定化ジルコニア薄膜	505
11.2.4	微生物型燃料電池(MFC)	506
1	カセット微生物FCシステム	506
2	電子伝達メディエータ修飾酵素電極	506
3	複合カチオン交換膜	508
11.3	二次電池の最新動向	509
11.3.1	リチウムイオン二次電池の開発	509
	アルバック、岩手大、日本電気硝子、京都大、住友電工	
11.3.2	リチウムイオン電池セパレーター	511
	三菱樹脂、旭化成、日立グループ	
11.3.3	リチウムイオン電池電極材料	514
	東芝、東工大、AIST、ムラタ製作所、エナックス、大研化学工業、 本庄ケミカル、JFEミネラル、富士重工業	
11.3.4	リチウムイオン電池の電解質	516
	電力中央研究所、出光興産	
11.3.5	リチウム-空気電池	517
11.3.6	ニッケル水素電池	518
	三洋電機、パナソニック、川崎重工業	
11.3.7	有機ラジカル電池	518
11.3.8	分子クラスター電池	519
第12章	センサー	520
12.1	物理センサー	520
	フィルタレスUVセンサー、ZnO UVセンサー、ダイヤモンド紫外線センサー、 カーボンナノチューブIRセンサー、SEIRA効果利用IRセンサー、 熱型赤外線イメージセンサー、薄膜熱電対、スルホン化ポリイミド湿度センサー、 歪み検出酸化クロム薄膜、触覚センサー、複合窒化物薄膜圧力センサー、 金属ガラス合金薄膜圧力センサー、加速度センサー、磁気センサー	

12.2 化学センサー	526
マイクロ熱電式水素ガスセンサー、酸化タングステン水素ガスセンサー、 CNT分散高分子薄膜水素ガスセンサー、マクロポーラスPdO薄膜水素ガスセンサー NO _x センサー、大気汚染ガスセンサー、酸素センサー、炎センサー	
あ と が き	531
略 語 表	532
参 考 文 献	536