

機能性ガラスの開発と応用

シーエムシー

機能性ガラスの開発と応用

江苏工业学院图书馆
藏书章

シーエムシー

機能性ガラスの開発と応用

1990年2月28日 第1刷発行 定価54,590円

発行者 境 鶴雄 (TR 142)

発行所 株式会社 シーエムシー
東京都千代田区内神田1-5-4
(ミヤコビル) 電話03(293)2065

発売元 株式会社 ジ ス ク
東京都千代田区内神田1-5-4
(ミヤコビル) 電話03(293)2061
大阪府中央区谷町2-7-4
(谷町スリースリースビル) 電話06(945)4325

〔印刷 桂印刷株式会社〕 © CMC Co. Ltd., 1990
落丁・乱丁本はお取替えいたします。

執筆者一覧（執筆順）

作 花 濟 夫	京都大学 化学研究所
栖 原 敏 明	大阪大学 工学部
高 橋 志 郎	日本電信電話(株) 光エレクトロニクス研究所
守 屋 喜 郎	大阪工業技術試験所 無機機能材料部
西 沢 紘 一	日本板硝子(株) 研究開発室
虎 溪 久 良	HOYA(株) 材料研究所
若 狭 功	コーニングジャパン(株) メモリープロダクツ開発課
中 川 賢 司	HOYA(株) 技術企画部
和 田 正 道	日本電気硝子(株) 技術本部
矢 島 喜代志	藤倉電線(株) 研究開発本部
飯 田 英 世	太陽誘電(株) 開発本部
土 谷 敏 雄	東京理科大学 基礎工学部
山 本 治	三重大学 工学部
猪 俣 浩一郎	(株)東芝 総合研究所
重 田 政 雄	TDK(株) フェライト事業部
柴 田 和 彦	TDK(株) フェライト事業部
鈴 木 由 郎	旭硝子(株) 開発本部
大 本 修	芝浦工業大学 電子工学科
大 泉 維 宏	セントラル硝子(株) 建材商品開発部
牧 島 亮 男	東京大学 工学部
寺 井 良 平	山村硝子(株) ニューガラス研究所
江 口 清 久	大阪工業技術試験所
小久保 正	京都大学 化学研究所
大 槻 主 税	京都大学 化学研究所
青 木 幸 生	京都大学 化学研究所
神 谷 寛 一	三重大学 工学部
南 努	大阪府立大学 工学部
峠 登	大阪府立大学 工学部
早 川 惇 二	大阪工業技術試験所 ガラス・セラミック材料部
芥 川 光 一	通商産業省 生活産業局

はじめに

機能性を特徴としたニューガラスが、ファインセラミックス、ニューメタル、高機能高分子、複合材料などと並んで新素材として登場した。今日の進んだ物質科学のもとでの技術展開である。

機能性ガラスの今日の主なものには、光通信用ファイバやフォトマスクなどの光学的機能のもの、遅延線ガラスや透明導電膜ガラスなどの電子的機能のもの、非晶質金属磁芯などの磁氣的機能のもの、石英ガラスなどの熱的機能のものが挙げられよう、将来的には、機械的機能のもの、化学的機能のもの、生体機能のものなどにも広がって多種多様なものが期待されている。また、1985年、通産省主導で産官学の交流の場であるニューガラスフォーラムが設立された。

こうした背景のもとで、本書は発行されたが、まさに時機を得た刊行と言えるだろう。産学それぞれ第一線の研究者を網羅した執筆である。なお、本書の機能性ガラスは、ニューガラスと呼ばれている範囲以外のものでも非晶質であるものは広く含められている。同種の物質科学のなかで捉えられるからであろう。また、本書の各項の題名は、機能性ガラスの材料名で並べられているが、それら各項では、機能性を追求した使用原料の精製、ゾルゲル法、超急冷法、CVD法、蒸着法、分相、結晶化、イオン交換法、雰囲気熔融法、などのなかに科学に裏付けられた新しい技術が登場している。

機能性ガラスを研究開発することに直接関係する科学者、技術者だけでなく、利用する技術者や取り扱うセールスマンなどにも本書が広く活用できることが期待されよう。

1990年2月

山本博孝

目 次

第1章 総 論 作花済夫

1 はじめに.....	1	4 機能性ガラス作製のための新しい方	
2 機能性ガラスの始まりと発展.....	2	法.....	7
3 機能性ガラスの種類と応用.....	4	4.1 気相法.....	7
3.1 光機能性ガラス.....	4	4.2 ゼルーゲル法.....	7
3.2 電磁気機能ガラス.....	6	4.3 超急冷法.....	8
3.3 熱および機械機能ガラス.....	6	4.4 機能性ガラスをつくるための加	
3.4 化学機能ガラス.....	6	工法.....	8
3.5 生体機能ガラス.....	6	5 おわりに.....	8

第2章 光学的機能ガラスの応用

1 光集積回路とニューガラス		1.4.1 多重光通信波長分波器.....	19
..... 栖原敏明.....	10	1.4.2 高周波信号処理デバイス.....	21
1.1 はじめに.....	10	1.4.3 光ディスクピックアップ.....	21
1.2 各種ガラス導波路.....	10	1.5 おわりに.....	22
1.2.1 イオン交換導波路.....	10	2 光ファイバー..... 高橋志郎.....	24
1.2.2 スパッタガラス薄膜導波路.....	11	2.1 はじめに.....	24
1.2.3 CVDガラス薄膜導波路.....	13	2.2 光ファイバーの構造と材料.....	24
1.2.4 その他のガラス導波路.....	13	2.3 光ファイバーの開発と応用.....	26
1.3 導波型光素子.....	14	2.4 おわりに.....	29
1.3.1 受動素子.....	14	3 フォトクロミックガラス..... 守屋喜郎.....	31
1.3.2 光制御素子.....	16	3.1 はじめに.....	31
1.3.3 非線形光学素子.....	17	3.2 AgX結晶を含むフォトクロミッ	
1.3.4 レーザ素子.....	18	クガラス.....	31
1.4 光集積回路の例.....	19	3.2.1 母体ガラスの組成および作	

製方法……………	31	5.2 ファイバーレーザー……………	50
3.2.2 フォトクロミズムの機構, 特徴, 着色中心……………	33	5.3 半導体レーザー励起ガラスレー ザー……………	53
3.2.3 フォトクロミック特性に影 響を与える因子……………	36	5.4 アップコンバージョンガラス……………	55
3.2.4 熱暗化フォトクロミックガ ラス……………	37	5.5 ホールバーニング……………	57
3.2.5 特殊な作製方法……………	38	6 光ディスク用ガラス基板…若狭 功…	60
3.3 応用例……………	38	6.1 光ディスクの分類……………	60
3.4 おわりに……………	38	6.2 光ディスク用基板材料……………	62
4 分布屈折率レンズ(セルフフォーレ ンズ)……………西沢紘一…	40	6.3 光ディスク用ガラス基板の製造…	64
4.1 はじめに……………	40	6.3.1 ガラスの種類……………	64
4.2 分布屈折率レンズの光学……………	40	6.3.2 製造方法……………	64
4.3 分布屈折率の実現……………	42	6.4 光ディスク用ガラス基板の特性…	66
4.4 分布屈折率レンズの応用……………	45	6.4.1 強度特性……………	66
4.4.1 光源結合系……………	45	6.4.2 光ディスク基板の機械特性…	68
4.4.2 平行ビーム変換系……………	45	6.4.3 その他の諸特性……………	69
4.4.3 リレーレンズ系……………	46	6.5 グループ付きガラス基板の開発…	69
4.4.4 異軸結合系……………	46	7 ICフォトマスク……………中川賢司…	73
4.4.5 アレイレンズ……………	46	7.1 フォトマスクの種類……………	73
4.5 平板マイクロレンズ……………	47	7.2 フォトマスク用ガラス……………	76
4.6 おわりに……………	48	7.3 フォトマスク用ガラスに対する 必要特性と今後の開発動向……………	78
5 レーザーガラス……………虎溪久良…	50	7.3.1 金属クロム膜との付着性……………	78
5.1 はじめに……………	50	7.3.2 寸法安定性……………	79
		7.3.3 低熱膨張性……………	80
		7.3.4 紫外線透過性……………	81

第3章 電気・電子的機能ガラスの応用

1 電気用ガラス……………和田正道…	84	1.2.2 カラー液晶・イメージセン サ用……………	85
1.1 はじめに……………	84	1.2.3 イメージセンサ・カバーガ ラス……………	86
1.2 薄板ガラス……………	85		
1.2.1 液晶ディスプレイ用……………	85		

1.2.4	ICメモリー (EPROM)		
	用窓ガラス	88	
1.3	ファイバガラス	88	
1.4	マイクロガラス	88	
1.4.1	マイクロボール	88	
1.4.2	マイクロキャピラリ	88	
1.5	粉末ガラス	89	
2	ホーロー回路基板	矢島喜代志	92
2.1	はじめに	92	
2.2	ホーロー回路基板とは	92	
2.3	ホーロー回路基板用ガラス	92	
2.4	ホーロー回路基板の製造方法	93	
2.5	ホーロー回路基板の特徴	93	
2.6	ホーロー回路基板の仕様と特性	95	
2.7	ホーロー回路基板の応用	96	
2.8	今後の展開	97	
3	a-Si系太陽電池	飯田英世	99
3.1	はじめに	99	
3.2	a-Si系太陽電池の特徴	99	
3.3	a-Si系太陽電池の高効率化の方法	100	
3.4	a-Si系太陽電池の基本的構造	100	
3.4.1	ガラス基板	100	
3.4.2	透明電極	102	
3.4.3	a-Si系半導体層	102	
3.4.4	背面電極	103	
3.5	a-Si系太陽電池の特性	104	
3.6	おわりに	104	
4	エレクトロクロミックガラス		
	土谷敏雄	107	
4.1	エレクトロクロミズム	107	
4.2	エレクトロクロミズム測定用セ		
	ル	108	
4.3	エレクトロクロミズム特性	109	
4.4	測定用セルを構成する各種膜	110	
4.4.1	エレクトロクロミズムを示す膜の作製	110	
4.4.2	透明導電性ITO膜の作製	113	
4.5	今後の問題点と可能性	115	
5	固体電解質材料	山本 治	117
5.1	はじめに	117	
5.2	高イオン導電性ガラス	118	
5.3	イオン導電性ガラスの導電機構	123	
5.4	おわりに	124	
6	トランス磁心材料	猪俣浩一郎	125
6.1	はじめに	125	
6.2	電力用トランス磁心材料	125	
6.2.1	アモルファス磁性合金の組成と応用	125	
6.2.2	トランス磁心材料への期待	126	
6.2.3	トランス用アモルファス合金の特性	126	
6.2.4	アモルファス磁心トランスの特性	127	
6.2.5	アモルファス磁心の信頼性	129	
6.2.6	アモルファス磁心トランスの実用化	130	
6.2.7	ケイ素鋼の性能向上	130	
6.3	スイッチングレギュレータ用磁心材料	131	
6.4	おわりに	133	
7	電子機器用アモルファス合金		
	重田政雄, 柴田和彦	134	
7.1	はじめに	134	

7.2 電子機器への応用	135	スへの応用	大本 修	152
7.2.1 応用の現状	135	9.1 はじめに		152
7.2.2 技術課題	136	9.2 作成方法		152
7.2.3 普及している応用例	137	9.2.1 スプレー法		152
7.2.4 パルスパワーへの応用	140	9.2.2 化学蒸着(Chemical Vapor Deposition, CVD)		153
7.3 新たな展開	143	9.2.3 真空蒸着法		154
7.4 おわりに	143	9.2.4 スパッタリング		154
8 遅延線材料	鈴木由郎	145	9.3 電気的性質および光学的性質	155
8.1 はじめに	145	9.3.1 電気的性質		155
8.2 原理	145	9.3.2 光学的性質		159
8.3 ガラス特性	148	9.4 透明導電性薄膜の応用		165
8.3.1 減衰	148	9.4.1 ヒートミラー		165
8.3.2 遅延時間の温度係数	150	9.4.2 シリコンに対する反射防止 膜		166
8.3.3 音速	150	9.4.3 太陽電池		167
8.3.4 遅延時間の経時変化	150	9.5 おわりに		169
8.3.5 均質性	151			
9 透明導電性薄膜の作成と電子デバイ				

第4章 熱的・機械的機能ガラスの応用

1 繊維強化ガラス・ガラスセラミックス	鈴木由郎	173	ス複合体	179
1.1 はじめに	173	2 強化ガラス	大泉維宏	180
1.2 製法	174	2.1 はじめに	180	
1.2.1 プロセス	174	2.2 強化ガラスのメカニズムと製法	180	
1.3 特性	174	2.3 物理強化ガラス(風冷強化ガラス)	181	
1.3.1 材料	174	2.4 風冷強化ガラスの用途	182	
1.3.2 製造条件と特性	175	2.4.1 自動車用安全ガラス	182	
1.3.3 ウィスカー補強複合体	176	2.4.2 車両用窓ガラス	182	
1.3.4 結晶化ガラスをマトリックスとする場合	176	2.4.3 船用窓ガラス	182	
1.3.5 ウィスカー補強結晶化ガラス		2.4.4 建築用強化ガラス	183	
		2.4.5 その他の用途	184	

2.5 化学強化ガラス.....	188	2.8 積層強化ガラス.....	190
2.5.1 高温型イオン交換法.....	188	3 マシナブル結晶化ガラス	
2.5.2 低温型イオン交換法.....	188	牧島亮男...	192
2.6 イオン交換強化ガラスの特徴.....	189	3.1 はじめに.....	192
2.7 化学強化ガラスの用途.....	189	3.2 マシナブルセラミックス.....	192
2.7.1 ディスク用基板.....	189	3.3 新しい CaO 、 $\text{-Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 -SiO_2 系	
2.7.2 腕時計および計器メーター		マシナブル結晶化ガラス.....	193
用カバーガラス.....	190	3.4 シラス, イットリアコンセント	
2.7.3 複写機の原稿保持板.....	190	レート, CaO 、 ZnO 含有マシナブ	
2.7.4 その他の利用法.....	190	ル結晶化ガラス.....	195

第5章 化学的・生体機能ガラスの応用

1 廃棄物処理用ガラス.....寺井良平...	198	2.1 はじめに.....	208
1.1 ニューガラスと廃棄処理用ガラ		2.2 母材ガラス組成と多孔質ガラス	
ス.....	198	の特徴.....	208
1.2 高レベル放射性廃液発生とガラ		2.3 細孔構造の制御.....	209
ス固化.....	198	2.4 性能改善.....	210
1.3 メタリックメルター.....	199	2.4.1 形状, 細孔径分布の改善.....	210
1.4 セラミックメルター.....	200	2.4.2 細孔表面の改質.....	210
1.5 固化技術開発上の問題点.....	202	2.4.3 化学耐久性の改善.....	210
1.6 ガラス固化体の処分.....	203	2.5 各種の用途.....	210
1.7 ガラス固化体の安全評価.....	204	2.5.1 ガス分離膜.....	210
1.7.1 熱的安定性.....	204	2.5.2 液体分離膜.....	211
1.7.2 浸出性.....	204	2.5.3 反応分離膜.....	212
1.7.3 ナチュラルアナログ研究.....	206	2.5.4 クロマトグラフィ用充填剤,	
1.8 廃棄物処理用ガラスに関するそ		酵素および触媒担体.....	212
他の話題.....	206	2.5.5 イオン選択性電極.....	214
1.9 ニューガラスとしての廃棄物処		2.6 複層化.....	214
理ガラス.....	207	2.6.1 分相法.....	214
1.10 おわりに.....	207	2.6.2 ゼル・ゲル法.....	214
2 多孔質ガラス.....江口清久...	208	2.7 表面細孔の孔径縮小.....	215

2.8	金属・多孔質ガラス複合膜	216	3.2	骨修復用材料	218
2.9	おわりに	216	3.3	歯修復用材料	223
3	ガラスと生体材料		3.4	自己修復能支援材料	224
	…小久保 正, 大槻主税, 青木幸生…	218	3.5	おわりに	225
3.1	はじめに	218			

第6章 用途展開中のガラス

1	ゾル・ゲル法で作られるガラス		2.3	光ディスクメモリー	240
	………神谷寛一……	227	2.3.1	追記型	241
1.1	ゾル・ゲル法の概要	227	2.3.2	書換え型	242
1.2	ゾル・ゲル法で作られるバルク ガラス	228	2.4	赤外光ファイバー	243
1.3	コーティング膜	230	3	光機能性ガラス	早川惇二… 246
1.4	ガラス繊維	231	3.1	全体の概要	246
1.5	多孔質ガラス, ガラスをベース とする複合体	233	3.2	光ファイバー	246
2	カルコゲナイドガラス		3.2.1	石英ガラス系光ファイバー	248
	………南 努, 峠 登…	237	3.2.2	多成分系ガラスファイバー	248
2.1	はじめに	237	3.2.3	赤外透過ファイバー	248
2.2	価電子制御とp-n接合の形成	237	3.2.4	紫外透過ガラスおよびファ イバー	248
2.2.1	価電子制御	237	3.3	レーザーガラス	249
2.2.2	p-n接合の形成	238	3.4	屈折率分布レンズ	249
			3.5	光メモリ用ガラス	250

第7章 ニューガラスの今後 芥川光一

1	はじめに — ニューガラス産業を取 り巻く環境 —	252	3.2	短ライフサイクル性	254
2	既存ガラス産業とニューガラス産業 の相違	252	3.3	需要領域の広範性	254
3	ニューガラス産業のイメージ	254	3.4	異業種融合	254
3.1	多品種少量生産	254	3.5	川下展開の必然性	255
			3.6	意欲ある中小企業の参入可能性	255
			4	市場規模の展望	256

4. 1	光学的機能.....	256	4. 5	機械的機能.....	258
4. 2	磁氣的機能.....	257	4. 6	化学・生体適合機能.....	259
4. 3	電気・電子の機能.....	257	5	おわりに — 研究開発の促進 —	259
4. 4	熱的機能.....	258			

第1章 総 論

作花済夫*

1 はじめに

人類社会において人々が平和で快適な生活を送るためには、情報化による文化の推進、エネルギーの確保、食糧の確保、医療の発展が具体的な目標であるが、これを科学技術の面から支えるために、エレクトロニクス、オプトエレクトロニクス、フォトニクス、通信技術、メカトロニクス、エネルギー技術、バイオテクノロジー、ライフサイエンスの各分野で高度技術の発展が要求されている。このためには優れたシステムとそれを支えるデバイスの高性能化が必要であるが、その基本になるのは優れた機能を有する素材、すなわち、先端材料である。

科学技術の面から先端材料の有すべき機能を分類すると、光、電磁気、熱、機械、化学、生体の各機能分野が考えられるが、機能性ガラスにはこのいずれの機能分野にも優れた材料があり、また今後なくてはならない材料となると思われるものがある。

本章は、機能性ガラスの開発と応用について総論的に記すことを目的としているが、まず、とりあげる機能性ガラスの定義と材料範囲を明らかにしておく。

機能性ガラスは各分野の高度技術の素材として役立つ高機能高性能のガラスと定義できる。技術を意識して考えるのでガラス状態^{1), 2)}のみでなく、表1.1.1に示すように、アモルファス状

表1.1.1 機能性ガラスの範囲

物質の状態の範囲	・ ガラス ・ アモルファス物質 ・ ガラスまたはアモルファス物質の結晶化物
化学組成の範囲	・ 酸化物 ・ ハロゲン化物 ・ カルコゲン化物
材料の形状	・ バルク（板，ロッド） ・ ファイバー ・ 膜 ・ コーティング膜 ・ 多孔体 ・ 粉末

* Sumio Sakka 京都大学 化学研究所

態の物質も含めるのが適当である。さらに、ガラスまたはアモルファス状態を経て結晶化によってつくられる機能性結晶化ガラスも含めることにする。しかし、このような物質のうちアモルファス半導体、金属ガラス、アモルファスカーボン、有機高分子物質などは、それぞれが大きい材料分野として扱われているので本書では触れないことになる。したがって化学組成の上では酸化物、ハロゲン化物、カルコゲン化物に限られることになる。材料の形状としては、表 1.1.1 に示すように、バルク、ファイバー、膜、多孔体、粉末のいずれもが含まれる。機能性ガラスの多くは無孔体であるが、多孔体の機能性ガラスにも重要なものがある。この意味で本書で扱われる機能性ガラスの範囲はニューガラス³⁾の範囲とほぼ同様である。

2 機能性ガラスの始まりと発展

ガラスは数千年前から近代に至るまでその美しさと耐久性の故に宝石に匹敵する貴重品として、また美術品あるいは美術品を兼ねた日用品として賞でられてきた。その美しさは、ガラスが本質的に透明であり、また、極めて平滑な表面をつくることができることに由来している⁴⁾。表面が平滑になることは、たとえば超薄板ガラスとして、あるいは精密なレーザーディスクや磁気光学ディスクの基板としての機能を発揮することに通じるので、現在の先端技術にとって重要である。

しかし、数十年前までは、ガラスは実用材料としては、容器や空間の仕切りや単なる光の通路として用いられ、電気絶縁性でアクティブな材料とは考えられなかった。したがって1954年に Dentonら⁵⁾が数十%の V_2O_5 や Fe_2O_3 などの遷移元素を含む酸化物ガラスが半導性を示すとの報告を発表したときにガラス研究者は驚いてガラスというものを見直したものである。従来のガラスからは全く想像できないできごとだったからである。おそらくこの発見が機能性ガラスの概念の始まりであるといえよう。

感光ガラスの感光性、フォトクロミックガラス⁶⁾の感光-退色特性、レーザーガラスのレーザー発振特性は従来のガラスにない機能であるには違いないが、これらの機能特性は、図 1.2.1 に示すように、ガラスにたいする微量成分の添加によって生じた金、銀、銅やハロゲン化銀の微粒子によるもので、全体としての組成や概念は従来のガラス（伝統ガラス）とほとんど変わらない。ただし、これも機能性ガラス開発の一方法に違いないことは記憶すべきである。なお、レーザーガラスはガラスに機能性があることを印象づけるのに大きい役割を果たした。

酸化物半導体ガラスは、遷移金属イオンの微量添加（1%以下）によってつくられていた着色ガラスの場合とは比べものにならないくらいの多量の遷移金属酸化物を含有させ、言わば、新しい組成の酸化物ガラスを、従来の酸化物ガラスを構成する金属イオンを別の金属イオンで置きかえてつくったものである。この場合ガラス形成酸化物として SiO_2 の代わりに P_2O_5 や B_2O_3 を使用す

2 機能性ガラスの始まりと発展

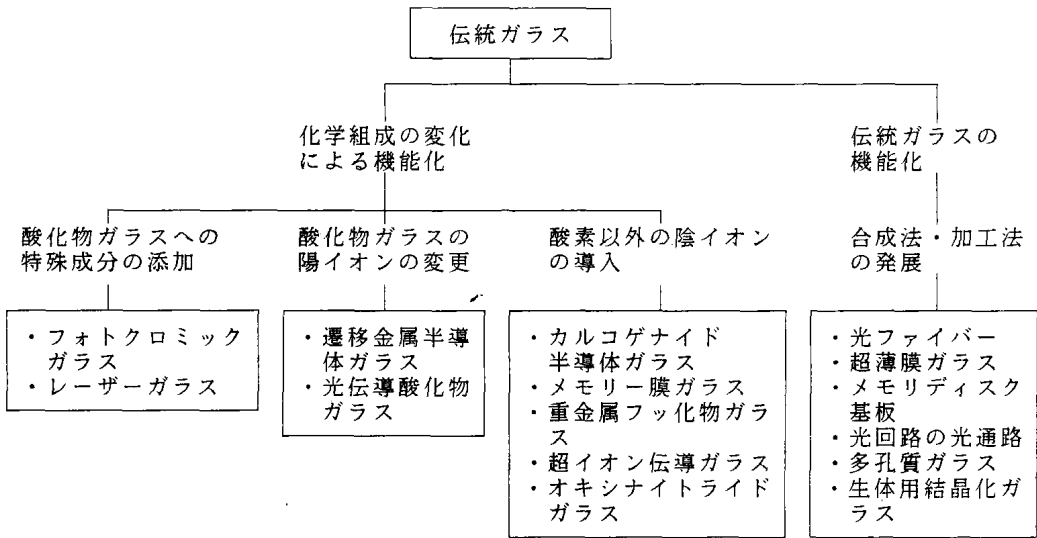


図1.2.1 機能性ガラスの展開の系譜

ることになったが、まだ酸化物の範囲に止まっていた。

これにたいし、化学組成の面での大きい機能性ガラスへの飛躍は酸化物ガラスの酸素を酸素以外の陰性元素で置換することから始まったといえる。1960年代に、Oの代わりにS, Se, Teを用いるカルコゲンガラスが電子伝導および顕著な光伝導を示すことが明らかにされた⁷⁾。これは新しい機能性がガラスに発現することを世に示すとともにガラス研究者に新しいガラスが陰イオンの組成設計によってつくられることを認識させたもので、ガラスの分野を大きく広げるのに著しい寄与をした。これはその後の重金属フッ化物ガラスの発見⁸⁾ (1974年)、超イオン伝導ガラスの創造⁹⁾ (1980年代)、オキシナイトライドガラスの発展¹⁰⁾ (1980年代) によって明確になった。

一方、機能性ガラスの展開は、新組成の設計だけでなく、新しいガラスの合成法（製造法）と加工法の適用によって大きく進歩した。図1.2.1の右側に示したように、このことは伝統ガラスの機能化と呼ぶことができるが、この場合ガラスの優れた素質が利用されている。優れた素質の一つはガラスの透明性とガラスの面の平滑さである。ガラスはセラミックスと呼ばれる多結晶体と違って非晶質で、結晶粒子やそれに伴う粒子境界が無いのでセラミックスや金属に比べて極めて平滑な面をつくり出すことができる。したがって、超薄膜ガラスやメモリーディスク基板となるが、厚さ50 μm 以下の超薄膜ガラスをつくり、極めて平滑な面を出すことができるのは加工法が進歩したからである。

ガラスはもともと透明である素質を有しているが、透明度を極端に高めるためには光を吸収する遷移金属元素や水分をとり除く必要がある。これは気相法という新しい製造法¹¹⁾ が用いられ

ではじめて容易に実現できるようになった。この方法でつくられる低損失シリカ系光ファイバーは、基本組成は従来からあるシリカであるが、極端に光をよく通すという機能を有し、機能性ガラスの代表とみなされている。CVDやスパッタリングなどの気相合成法は、このほかに、光メモリー膜となるカルコゲナイド系機能性ガラス膜をつくるのにも役立っている。さらに、新しい製造法として今後はゾルーゲル法¹²⁾と呼ばれる低温液相合成法も適用されると考えられる。

ガラスは熱力学的に不安定な状態なので再加熱すると結晶に変わる。この性質を利用して、ガラスを熱加工により結晶化ガラスに変えると、機械的強度が優れたものとなる。また、この加工法を利用して優れた生体機能性ガラス、すなわち、生体用結晶化ガラス¹³⁾がつけられている。イオン交換処理は光回路のための光の導波路や分岐のある導波路を表面層にもつ機能性ガラスの作製に応用されている¹⁴⁾。

このように、ガラスには化学組成をさまざまに変化させることができ、また、熱処理やイオン交換のような加工によって新しくつくり出すことができるという素質があるために多種多様の機能性ガラスがつけられるようになった。しかし、1970年頃から、先端技術を進歩させるためにはそれを支える新素材が重要であるとの考え方が生まれ、機能をもつ新素材への要求が高まったことがガラスの優れた素質と結びついたために多くの機能性ガラスが誕生したことを忘れてはならない。今後、エレクトロニクスからオプトエレクトロニクス、さらにフォトリソヘト時代が移ると考えられ、そのために、たとえば非線形光学特性の大きい材料が要求されている¹⁵⁾が、このような高度技術の要求に応えるべき新しい機能性ガラスを開発することが重要である。

3 機能性ガラスの種類と応用

現在知られている機能性ガラスとその応用^{3), 16)}を表1.3.1に示す。表では機能性ガラスを6種の機能分野にわけて分類してある。

表1.3.1から、光学機能分野に多数のニューガラスがあることがわかるが、これはガラスがもと紫外、可視、赤外領域の大部分あるいは一部で透明で光を通す素質があるためである。

3.1 光機能性ガラス

ガラスの透明性を極端に高めたものが通信用光ファイバーである。光ファイバーにはこのほかに赤外光によってイメージやエネルギーを伝え、レーザーメスおよびレーザー加工用のレーザー光の導波路となるものもある。レーザーガラスはNdを含むガラスで、レーザー核融合に利用される。光メモリーはTe-Oあるいはセレン化物のガラスでレーザー光の照射によって反射率が変わることを利用して光メモリーに用いられる。フォトリソ、音響光学効果、ファラデー回転

表 1.3.1 機能性ガラスの分類と応用

機能分野	機 能	例 と 応 用
光	光伝達 レーザー発振 光メモリー フォトクロミズム 音響光学効果 ファラデー回転 非線形光学 集光, レンズ作用 光選択透過反射 超平滑基板	光ファイバー (光通信, エネルギー伝達) レーザー核融合 レーザーディスク光メモリー膜 フォトクロミックガラス (調光) 光スイッチ, 偏光 光の偏向 光スイッチ, 位相を維持する偏向 屈折率分布レンズ 熱線遮断ガラス, 反射鏡, 反射防止ガラス 光ディスク基板
電磁気	光伝導 イオン伝導 音波遅延 フォトクロミズム	テレビ撮像素子 固体電池 遅延線ガラス ディスプレイ
熱	耐熱 低膨張 低融封着	耐熱材料 フォトマスク基板 封着, 接着
機 械	高弾性率 高靱性 機械加工	強化用繊維 (オキシナイトライドガラス) 機械構造材料, エンジン部品 機械加工可能絶縁材料
化 学	化学分離 触媒担持 溶解固化 耐アルカリ	高温分離精製 (多孔質ガラス) 酵素固定 (多孔質ガラス) 放射性廃棄物の固化 コンクリートの繊維強化
生 体	生体適合・生体接着 人工歯	人工骨, 人工歯根 歯冠

などの機能を有する機能性ガラスは光スイッチ, 光の変調および偏向に利用されるので今後エレクトロニクスからオプトエレクトロニクスやフォトンクスに技術が移るにつれてその重要性がさらに高まると思われる。

高速光スイッチや位相を保持した光の偏向に利用される非線形光学機能は現在非常に注目されている新しい機能であるが, ガラスには大きい非線形光学機能を有するものがあり¹⁵⁾, この分野でもガラスが注目されている。

光選択透過および反射ガラスはガラスの上によく制御した厚さの薄膜を施したもので太陽光の遮断, 色フィルターなどに利用される。

光ディスクの記憶容量を大きくしてディスクの寸法を小さく保つためには, 素子を小さくする必要がある。このための基板は極端に平滑なものでなければならない。表示用基板にも同様の要求が課せられる。ガラスの表面は平滑となる素質があるから超平滑の基板としての機能性ガラスが可能である。