

目 次

第1部 序論	1
第1章 ナノの背景	3
1.1 ナノと自然	3
1.2 我々のもつ技術と我々の住む世界	6
1.3 ナノの事始め	10
第2部 実験手法	15
第2章 ナノスケールでの材料研究と材料操作	17
2.1 序	17
2.2 電子顕微鏡法	23
2.2.1 走査型電子顕微鏡法	23
2.2.2 透過型電子顕微鏡法	38
2.2.3 STEM	42
2.2.4 電子顕微鏡像の保存	43
2.2.5 環境制御型透過電子顕微鏡法	45
2.2.6 ナノスケールでの電子エネルギー損失分光法	46
2.2.7 その場ナノ測定	47
2.3 走査型プローブ顕微鏡法	49
2.3.1 走査型トンネル顕微鏡法	49
2.3.2 走査型トンネル顕微鏡による原子操作	52
2.3.3 原子間力顕微鏡法	54
2.3.4 走査プローブリソグラフィ	57
2.4 ナノサイエンスとナノテクノロジーでの光学顕微鏡法	60
2.4.1 共焦点顕微鏡法	61

2.4.2	走査型近接場光学顕微鏡法	63
2.5	他の顕微鏡法	66
2.5.1	2次イオン質量分析法	66
2.5.2	ナノサイエンスに関連する他の質量分析法	68
2.5.3	集束イオンビーム	69
2.5.4	光電子分光法	70
2.5.5	各種振動分光法	82
2.5.6	動的光散乱	84
2.6	X線回折法	86
2.6.1	X線回折強度	90
2.6.2	粒子サイズ効果	91
2.7	関連技術	93

第3部 ナノシステムの多様性 101

第3章	フラーレン	103
3.1	序	103
3.2	フラーレンの発見と初期の研究	105
3.3	フラーレンの合成と精製	109
3.4	質量分析とイオン・分子との反応	111
3.5	凝縮相におけるフラーレンの化学	112
3.6	内包フラーレンの化学	115
3.7	配向秩序化	117
3.8	圧力効果	119
3.9	ドープ型フラーレンの電気伝導性・超伝導現象	119
3.10	C ₆₀ ・TDAEの強磁性	121
3.11	光学特性	121
3.12	その他の特性	122

第4章 カーボンナノチューブ 133

4.1	序	133
4.2	合成と精製	136
4.3	ナノチューブの充填	139
4.4	成長機構	140

4.5	電子構造	140
4.6	輸送現象	142
4.7	機械的性質	143
4.8	物理的性質	144
4.9	応用	144
4.10	カーボン以外の物質でできたナノチューブ	146
第5章 自己組織化単分子膜		150
5.1	序	150
5.2	金表面上の単分子膜	153
5.2.1	作製法	153
5.2.2	構造	154
5.3	成長過程	162
5.3.1	液相からの成長過程	162
5.3.2	気相からの成長過程	163
5.3.3	安定性および表面ダイナミクス	164
5.4	相転移	165
5.5	単分子膜のパターン形成	166
5.5.1	分解	166
5.5.2	組立て	167
5.6	混合単分子膜	168
5.7	自己組織化単分子膜の応用	168
5.7.1	センサー	168
5.7.2	アフィニティーバイオセンサー	170
5.7.3	化学センサー	172
5.7.4	pH センサー, イオンセンサー	173
5.7.5	腐食防止	174
5.7.6	その他の応用	174
5.7.7	濡れ制御	175
5.7.8	分子エレクトロニクス	175
5.7.9	テンプレート	176
第6章 気相クラスター		182
6.1	序	182

xvi 目 次

6.2	クラスター科学の歴史	184
6.3	クラスター形成	185
6.3.1	レーザー蒸発源	185
6.3.2	パルスアーククラスターイオン源	186
6.3.3	超音速（自由噴流）ノズル源	186
6.3.4	ガス凝集源/煙源	187
6.3.5	クヌーセンセル	187
6.3.6	液体金属イオン源	187
6.4	クラスターの成長	189
6.5	気相クラスターの検出と分析	189
6.5.1	ウェーンフィルター	190
6.5.2	四重極質量フィルター	190
6.5.3	飛行時間質量フィルター	191
6.5.4	イオンサイクロトロン共鳴	193
6.6	クラスターの種類	194
6.6.1	金属クラスター	194
6.6.2	半導体クラスター	195
6.6.3	メトカ	197
6.6.4	希ガスクラスターと魔法数	198
6.6.5	イオンクラスター	199
6.7	クラスターの性質	200
6.7.1	水銀クラスター	201
6.7.2	光学的性質	202
6.7.3	イオン化ポテンシャル	202
6.8	クラスターの化学結合	203
第7章	半導体量子ドット	209
7.1	序	209
7.2	量子ドットの合成	212
7.2.1	一般的な合成方法	213
7.2.2	閉じ込められた微小空間での合成	214
7.2.3	分子前駆体	215
7.2.4	クラスターを用いた化学合成	215
7.2.5	ナノ結晶表面の修飾	216

7.2.6	InP ナノ粒子	217
7.3	ナノ結晶の電子構造	218
7.4	量子ドットの研究方法	221
7.4.1	吸収分光法および発光分光法	222
7.4.2	励起状態の寿命と動力学	223
7.4.3	X 線回折法	224
7.4.4	透過型電子顕微鏡法	224
7.4.5	補助的技術	225
7.5	量子ドットのサイズと性質の相関	226
7.6	用例	227
7.6.1	化学的性質	228
7.6.2	単電子デバイス	229
第8章	単分子膜保護金属ナノ粒子	232
8.1	序	232
8.2	作製法	233
8.3	評価法	234
8.4	機能性金属ナノ粒子	238
8.5	応用	240
8.6	超格子	242
第9章	コアシェル型ナノ粒子	249
9.1	序	249
9.2	コアシェル型ナノ粒子のタイプ	251
9.2.1	金属-金属酸化物構造のコアシェル型ナノ粒子	251
9.2.2	2 元金属構造のコアシェル型ナノ粒子	255
9.2.3	半導体コアシェル型ナノ粒子	256
9.2.4	高分子被覆コアシェル型ナノ粒子	257
9.3	評価	259
9.3.1	X 線回折法による評価	259
9.3.2	分光法による評価	260
9.3.3	ゼータ電位による評価	261
9.4	性質	262
9.4.1	電気化学的特性	262

9.4.2	光学特性	263
9.4.3	光学的非線形性	267
9.5	応用	270
9.5.1	生物学的応用	270
9.5.2	コアシェル型ナノ粒子の磁性	271
9.5.3	触媒機能	272
9.5.4	センシング機能	273
9.5.5	化学反応性	275
9.5.6	光リミッティング	277
第 10 章 ナノシェル		283
10.1	序	283
10.2	ナノシェルの種類	285
10.2.1	酸化物ナノシェル	286
10.2.2	金属ナノシェル	289
10.2.3	リポソームからのシリカナノシェルの合成	292
10.3	特性	293
10.3.1	シリカナノシェルの内側での反応	293
10.3.2	ナノシェル内部への分子の取り込み	294
10.3.3	免疫測定法のためのシリカシェルの改質	295
10.4	評価法	296
10.5	応用	298
第 4 部 発展するナノの境界		303
第 11 章 ナノ生物学		305
11.1	序	305
11.2	生体分子とナノ粒子表面との相互作用	306
11.2.1	ナノ粒子とタンパク質の結合にみられる静電相互作用 の影響	307
11.2.2	生体分子-ナノ粒子相互作用の電子的效果	308
11.3	バイオ-ナノハイブリッドの合成に使用される各種の無機材料	312
11.3.1	貴金属材料	312
11.3.2	半導体ナノ結晶（量子ドット）	313

11.3.3 磁性体ナノ粒子	313
11.4 生物学におけるナノの応用	314
11.4.1 半導体ナノ結晶を用いた生体内イメージング	316
11.4.2 免疫蛍光性バイオマーカーによるイメージング	316
11.4.3 イムノゴールドによる標識化	318
11.4.4 免疫標的ナノ粒子の診断への応用	320
11.4.5 ナノ粒子を用いた標的ドラッグデリバリー	320
11.5 ナノプローブの分析的応用-臨床診断とバイオテクノロジーの新しい方法論	322
11.6 ナノバイオテクノロジーの現状	326
11.7 ナノ生物学の将来像	327
第 12 章 ナノセンサー	331
12.1 序	331
12.2 センサーとは何か？	332
12.3 どのような性質を利用するか？	333
12.4 カオスから秩序へ—ナノスケールの組織化	333
12.4.1 自己集合	334
12.4.2 テンプレート法	334
12.4.3 生物学的集合	336
12.4.4 リソグラフィ技術	337
12.5 評価法	338
12.6 光学的性質に基づくナノセンサー	338
12.7 電気的性質に基づくナノセンサー	340
12.8 電気化学ナノセンサー	341
12.9 物理的性質に基づくナノセンサー	343
12.10 ナノバイオセンサー—実時間イメージングと生物学的イベントの理解に向けて	346
12.11 スマートダスト—センサーの将来	348
第 13 章 ナノ医療	352
13.1 序	352
13.2 ナノ医療を発展させているアプローチ	354
13.3 ドラッグデリバリー担体としての種々のナノシステム	355

xx 目 次

13.3.1 ナノシェル	355
13.3.2 ナノポア	356
13.3.3 テクトデンドリマー	357
13.4 ナノ薬剤投与のプロトコル	357
13.4.1 経口投与のナノ粒子-薬剤システム	357
13.4.2 経鼻投与のナノ粒子-薬剤システム	359
13.4.3 点眼投与のナノ粒子-薬剤システム	359
13.5 診断応用におけるナノテクノロジー	359
13.6 診断と治療に用いられる物質	363
13.6.1 金ナノ粒子	363
13.6.2 量子ドット	363
13.6.3 磁性体ナノ粒子	364
13.7 将来の指針	365
第 14 章 分子ナノマシン	370
14.1 序	370
14.2 共有結合利用と非共有結合利用	371
14.3 分子モーターと分子ナノマシン	373
14.4 分子素子	374
14.5 単一分子素子	375
14.5.1 分子スイッチ	375
14.5.2 分子ラチエット	377
14.5.3 分子シャトル	378
14.6 分子素子にかかわる問題点	382
第 15 章 ナノトライボロジー	385
15.1 序	385
15.2 ナノスケールでのトライボロジーの研究	386
15.2.1 ナノ摩擦計	386
15.2.2 表面力装置	387
15.2.3 水晶振動子マイクロバランス法	388
15.2.4 原子間力顕微鏡法	389
15.2.5 摩擦力顕微鏡法	391
15.3 ナノトライボロジーの応用	392

15.3.1 超潤滑	392
15.3.2 ディスク容量	393
15.3.3 ナノ潤滑	394
15.3.4 微小電気機械素子	395
15.4 未解決の問題	396

第5部 社会とナノ **399****第16章 ナノサイエンスとナノテクノロジーの社会的意義** **401**

16.1 序	402
16.2 第1次産業革命からナノ革命へ	403
16.2.1 歴史的回顧	403
16.2.2 ナノテクノロジーの航跡における画期的な出来事	404
16.2.3 ナノサイエンス, ナノ工学, ナノテクノロジーの特性	405
16.3 ナノサイエンス・ナノテクノロジーと社会との関係	406
16.3.1 科学と技術が社会を変える	406
16.3.2 社会と科学技術革新プロセス	407
16.3.3 ナノ未来の予測	408
16.4 問題点と展望	409
16.4.1 人工進化-グリーンナノテクノロジーはどれくらいグリーンなのか	409
16.4.2 自然科学と人文科学の境界の融解	410
16.4.3 ナノサイエンスとナノテクノロジーの教育と訓練	411
16.4.4 ナノ経済	411
16.4.5 ナノビジネスと金融	412
16.4.6 ナノ研究とナノ開発への公的投資・私的投资	413
16.4.7 信頼性, 安全性, リスク：アセスメントとマネージメント	414
16.5 ナノ政策と制度	415
16.5.1 ナノ規定と法規	416
16.5.2 ナノ倫理-ナノコミュニティーにおける義務規約	416
16.6 ナノテクと戦争-ナノ兵器開発競争	417
16.7 大衆の意識とナノとのかかわり	418
16.7.1 ナノテクとメディア	418

xxii　目 次

16.7.2 ナノテクノロジーに対する大衆の眼差し	420
16.8 経済・社会発展へのナノテク利用	420
16.8.1 ナノテクノロジーと開発途上国	420
16.8.2 持続可能な開発とナノテク利用	421
16.8.3 南での未開発の生物多様性-バイオナノテクノロジー への機会	427
16.9 結語	428
付録 ナノサイエンスとナノテクノロジーの歴史	433
用語解説	481
索 引	497