

# 目次

## 第1講 カーボンナノチューブの構造と物性

田中 一義 京都大学大学院工学研究科分子工学専攻教授

1. CNTの構造と作製法	3
1.1 炭素の同素体	3
1.2 CNTの特徴と種類	4
2. CNTの作製法	6
2.1 アーク放電法	7
2.2 触媒気相成長法	10
2.3 SWCNTの作製法	15
2.4 レーザーアブレーション法	18
2.5 MWCNTとSWCNTの比較	18
3. CNTの構造表示	19
3.1 グラフェンシートの利用	19
4. 理論的解析に基づく電気・電子物性	23
4.1 ヒュッケル法によるCNTの電子物性予測	25
4.2 金属-絶縁体転移の考慮	25
4.3 Hartree-Fock法による $\sigma$ 電子含めたCNTの電子物性予測	26
4.4 CNTの電気伝導度測定	28
5. 電子材料としてのCNTの利用可能性	29
5.1 CNTと半導体との結線の試み	30
5.2 電界放射(フィールドエミッション)素子	32
5.3 金属的状态と量子効果	34
6. 今後のCNT開発(大局的)	35

## 第2講 走査型プローブ顕微鏡探針の開発

中山 喜萬 大阪府立大学大学院工学研究科電子物理工学分野教授

1. はじめに	41
1.1 CNTの特徴	41
1.2 研究の展開	42
2. CNTの合成	43
2.1 冷却効果	43
2.2 高温効果	44
2.3 生成されたCNT	44
3. CNTのハンドリング	45
3.1 高周波における純化と配向	46
3.2 カートリッジ作成	46
3.3 電子顕微鏡マニピュレータの開発	47
4. CNT探針	48
4.1 探針の長短	48
4.2 機械的特性	49
5. CNTの機械的特性の直接計測	50
5.1 曲げの実験	50
5.2 挫屈法による実験	51
5.3 バックリング・フォースによる解析	52
6. CNT探針の適用	53
6.1 CNT探針の特徴	53
6.2 DNA螺旋の観察	54
6.3 非接触原子間力顕微鏡	55
6.4 タンパク質PCNAの観察	55
6.5 タンパク質RFCの観察	56
6.6 シリコン探針との比較	57
6.7 調整方法	58
6.8 CNTの表面電位の計測	59
6.9 凹凸像	60
6.10 電位像	61
6.11 リソグラフィ	63
6.12 ナノインデンテーション	65

6.13 磁気力顕微鏡	66
7. CNTナノピンセット	69
7.1 デモンストレーション1-ナノファクトリー上のナノチューブ操作	71
7.2 デモンストレーション2-ピンセット操作	71
8. おわりに	72

## 第3講 リチウム電池・キャパシタへの応用

矢田 静邦 ㈱関西新技術研究所理事・エネルギー変換研究部長

1. はじめに	77
2. 炭素材料の構造	78
2.1 黒鉛	80
2.2 ハードカーボン	81
2.3 ポリアセン系物質	81
2.4 まとめ	84
3. 技術的特徴と潜在マーケット	85
4. MWCNTへのリチウムドーピング	86
5. SWCNTへのリチウムドーピング	91
6. MWCNTとグラファイト	93
7. 球形と円筒形の最密充填	94
8. MWCNTのリチウム電池用負極の応用	95
9. 高出力型電池の比較	96
9.1 リチウムイオン電池の広がる用途	96
9.2 キャパシタ	97
9.3 MWCNTキャパシタ	99

## 第4講 FEDの開発とCVD合成技術

村上 裕彦 ㈱アルバック筑波超材料研究所ナノスケール材料研究部部长

1. はじめに	105
2. FEDとCNT-CVDの合成技術	105

2.1	CNT の特性	105
2.2	FED の特性	107
2.3	マイクロ波プラズマ CVD 法	111
2.4	電子放出特性	115
2.5	CNT の特性	117
2.6	マイクロ波プラズマ CVD の問題点	122
3.	FED と GNF-CVD 合成技術	123
3.1	GNF 合成技術	123
3.2	電界電子放出特性	125
3.3	GNF の選択成長	126
3.4	ディスプレイの応用例	127
4.	FED とカーボンナノ材料の今後	132
4.1	FED と CVD 合成技術	132
4.2	ディスプレイの消費電力	136
4.3	おわりに	138

## 第5講 カーボンナノチューブの分子素子への応用

谷垣 勝己 大阪市立大学大学院理学研究科物質科学科教授

1.	はじめに	143
2.	ナノテクノロジー・材料分野の最近の動向	143
3.	研究の初期と現状	146
4.	CNT の機能	148
4.1	CNT の物性	148
4.2	チューブ構造による電子物性	151
4.3	一次元性	152
4.4	ラマン計測	153
5.	分子素子、ナノデバイスから何が引き出せるか	154
5.1	材料の特徴	154
5.2	弾性散乱と非弾性散乱	155
5.3	バリスチック領域	156
6.	微細加工	157
6.1	微細加工のプロセス	157

6.2	ナノクラスパターン形成装置	161
6.3	人工原子	161
6.4	MBE	164
6.5	LB 膜作成装置	166
7.	CNT	169
8.	クーロンブロッケイド	175
9.	おわりに	182

## 第6講 カーボンナノストラクチャーによる水素貯蔵

曾根田 靖 独立行政法人産業技術総合研究所エネルギー利用研究部門エネルギー貯蔵材料研究グループ主任研究員

1.	水素利用技術と水素吸蔵材料	189
1.1	水素エネルギーの総合的利用	189
1.2	水素貯蔵技術	190
1.3	水素吸蔵合金と炭素材料	191
2.	カーボンナノストラクチャーの構造と分類	192
3.	CNT による水素吸蔵	194
3.1	SWCNT による最初の水素吸蔵報告例	194
3.2	低温での水素吸着(高純度 SWCNT での追試)	197
3.3	室温での水素吸着	198
3.4	SWCNT の超音波処理による水素吸蔵量増大	198
3.5	電気化学反応による水素吸蔵	201
3.6	SWCNT についてのまとめ	202
3.7	MWCNT による水素吸蔵報告例	203
4.	グラファイトナノファイバーによる水素吸蔵	207
5.	その他の炭素材料による水素吸蔵	213
5.1	黒鉛層間化合物	213
5.2	黒鉛の粉碎に伴う水素固定	217
5.3	SWCNT などでの水素吸蔵シミュレーション	217
6.	おわりに	220

## 第7講 気相熱分解法によるカーボン ナノチューブ、ナノファイバーの生成機構と 超高性能複合材料の開発

遠藤 守信 信州大学工学部電気電子工学科教授

1. はじめに	225
2. 熱分解法によるカーボンナノファイバーとナノチューブの生成	227
3. 高結晶性ナノファイバーと低結晶性ナノファイバーの比較	228
4. 産業応用	233
4.1 CFRPの電気伝導性	233
4.2 リチウム電池電極の添加剤	234

## 第8講 水熱条件下における各種ナノカーボンの 生成

吉村 昌弘 東京工業大学応用セラミックス研究所・教授/構造デザイン研究センター長

1. 要旨	241
2. はじめに	241
3. 実験	242
4. 結果	243
4.1 カーボンナノパイプ	243
4.2 多層ナノチューブ(MWCNT)	246
4.3 竹状カーボンフィラメント	247
4.4 カーボンセル	247
4.5 その他の構造をもつカーボン	248
5. 考察	250
6. 結論	251
7. 謝辞	252

## 第9講 大量合成を目指したアーク放電法

滝川 浩史 豊橋技術科学大学電気・電子工学系助教授

1. はじめに	257
2. 従来法のまとめ	257
2.1 従来の合成法	257
2.2 従来の低圧アーク放電法(陽極蒸発法)	258
2.3 低圧アーク装置の具体例	259
2.4 低圧アーク法の問題点	260
3. アーク放電法	261
3.1 高圧・低圧アーク放電現象と真空陰極アーク放電現象	261
3.2 アーク放電法におけるキーワード	263
3.3 ヘテロ電極低圧アーク実験	263
3.4 黒鉛陰極真空アーク実験	265
3.5 真空アーク法の可能性	266
4. 触媒の影響	268
4.1 触媒ヘテロ電極低圧アーク	268
4.2 低圧アーク、真空アークのまとめ	269
5. 大気中トーチアーク法	270
5.1 MWCNT合成装置の概要	270
5.2 直流、交流放電	271
5.3 黒鉛内の金属の役割	274
5.4 SWCNT、CNHの合成	275
5.5 トーチアーク法のまとめ	276
6. おわりに	277

## 第10講 単層カーボンナノチューブとナノホーンの 生成機構と生成法

湯田坂雅子 科学技術振興事業団国際共同研究事業ナノチューブ状物質プロジェクト研究員

1. SWCNTとは	283
2. SWCNTの大量生成	284

3. SWCNTの生成機構	286
4. SWCNHについて	289

## 第11講 炭化水素熱分解法によるMWCNTの大量合成

大嶋 哲 独立行政法人産業技術総合研究所新炭素系材料開発センター一次元ナノ構造チーム主任研究員

1. 産業技術総合研究所におけるCNT研究の経緯	295
1.1 CNTの発見	295
1.2 アーク法から炭化水素熱分解法へ	295
1.3 アーク法の開発経緯	295
1.4 黒鉛アーク放電法	297
1.5 回転陰極CNT製造装置	298
1.6 実験条件と目的生成物	301
1.7 分離操作方法	303
2. アーク法から炭化水素熱分解法へ	305
2.1 CNTを用いた電子源の実用化	305
2.2 化学法	306
2.3 原料供給系改良後	308
3. 炭化水素熱分解法による大量合成	308
3.1 装置と合成例	308
3.2 大きさの制御とガスの影響	309
4. 逆ミセル法による触媒の調製	313
4.1 コバルトナノ粒子の合成法	313
5. 基礎研究の大型装置への適用	315
6. まとめ	316

## 第12講 フラーレン・ナノチューブの商業化展望

片桐 進 フラーレンインターナショナルコーポレーションCEO&PRESIDENT

1. はじめに	321
2. ビジネスアライアンス	321
3. 製造技術	322
4. 注目される用途	322
5. おわりに	322