

Les nanomatériaux et leurs applications pour l'énergie électrique

Didier Noël, coordonnateur

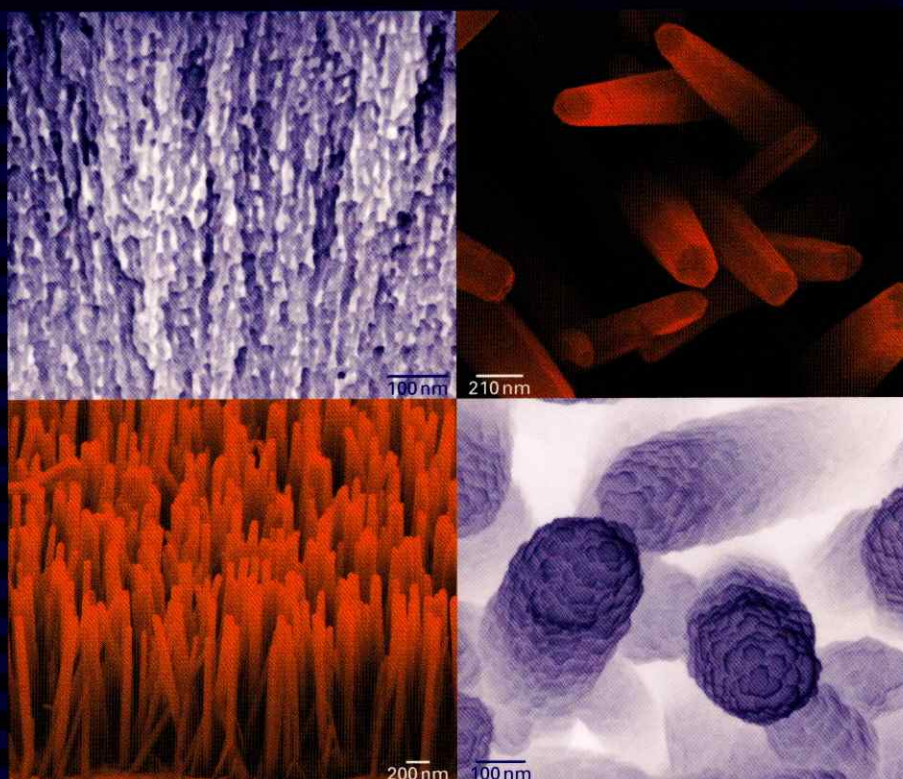


Table des matières

Liste des auteurs et co-auteurs	V
Préface	IX
Avant-propos	XIII

Chapitre 1

Introduction et perspectives	1
1. Les principaux phénomènes physiques	2
1.1. Prédominance des surfaces et interfaces	2
1.2. Effets quantiques	6
1.3. Auto-assemblage et contrôle de morphologie à l'échelle nanométrique ..	8
1.4. Nanotubes de carbone	10
2. Des phénomènes physiques aux applications pour l'industrie électrique. . .	11
2.1. Matériaux de structure pour la production d'électricité.	12
2.2. Stockage d'énergie	13
2.3. Nanomatériaux pour la conversion photovoltaïque	15
2.4. Matériaux thermoélectriques	17
2.5. Applications pour l'environnement	18
3. Conclusion	20

Chapitre 2

Les nanotubes de carbone et leurs applications	23
1. Découverte et caractéristiques des nanotubes de carbone	24
2. Nanotubes de carbone : structures, synthèses et propriétés	25
2.1. Structure	25
2.2. Structure électronique	27
2.3. Synthèse et production	28
2.4. Propriétés thermiques	31
2.5. Propriétés mécaniques	32

3. Applications	33
3.1. Électronique du futur	33
3.2. Conduction électrique des NTC	36
3.3. Émission de champ et écran plat	38
3.4. Électrodes transparentes	39
3.5. Sources de rayon X à base de NTC	40
3.6. Supercondensateurs	40
3.7. Batterie lithium-ions	41
3.8. Composites	41
3.9. Fibres de NTC	43
3.10. Contacts électromécaniques	46
3.11. Application des nanotubes aux cellules solaires	46
4. Conclusion et perspectives	50

Chapitre 3

Applications pour matériaux de structure des grands moyens de production d'électricité	55
1. Matériaux <i>oxide dispersion strengthened</i>	57
1.1. Élaboration des ODS nanométriques	59
1.2. Microstructures des aciers ODS	62
1.3. Propriétés mécaniques des alliages ODS	65
1.4. Assemblage des alliages ODS	69
1.5. Comportement des ODS sous irradiation	76
1.6. Conclusions sur les aciers ODS	79
2. Matériaux céramiques et composites à matrice céramique	80
2.1. Céramiques nanostructurées de type carbure	81
2.2. Composites à matrices céramiques	91
3. Revêtements nanostructurés	95
3.1. Nanostructuration par empilement de nitrures d'éléments de transition obtenus par évaporation par arc cathodique pour applications mécaniques sous fortes sollicitations	96
3.2. Barrière à l'oxydation ; nanostructuration par précipitation d'un nitrure d'élément de transition ; dépôts obtenus par évaporation par arc cathodique	100
3.3. Nanostructuration de matériaux à base de carbone et de silicium obtenus par voie chimique en phase vapeur avec assistance plasma	102
4. Conclusion	104

Chapitre 4

Applications pour piles à combustible, accumulateurs, supercondensateurs	111
1. Piles à combustibles	116
1.1. Piles basse température (0-200 °C)	117
1.2. Piles haute température (400-900 °C)	131

2. Supercondensateurs à double couche électrochimique	141
2.1. Caractéristiques générales des supercondensateurs	142
2.2. Applications des supercondensateurs	143
2.3. Carbones utilisés dans les électrodes de supercondensateurs	145
2.4. Matériaux pseudo-capacitifs	153
2.5. Conclusion	160
3. Accumulateurs	161
3.1. Principe et caractéristiques des accumulateurs	161
3.2. Utilisation de nanomatériaux pour accumulateurs à ion Li	165
3.3. Autres systèmes électrochimiques de stockage de l'énergie	179
4. Conclusion et perspectives	181

Chapitre 5

Nanomatériaux pour la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire	193
1. État de l'art	194
1.1. Différentes filières photovoltaïques	194
1.2. Principe de fonctionnement des cellules solaires classiques	195
2. Champ d'application des nanostructures dans le photovoltaïque	201
2.1. Ingénierie énergétique : effets de taille quantique	201
2.2. Ingénierie électrique : effets de confinement géométrique	211
2.3. Ingénierie optique à base de nanostructures	224
3. Nanostructures et nouveaux concepts pour la conversion photovoltaïque à très haut rendement	242
3.1. Multijonctions	243
3.2. Conversion de photons par <i>up/down conversion</i>	244
3.3. Cellules solaires à multigénération de charges	250
3.4. Cellules à porteurs chauds : vers un couplage photovoltaïque-phononique	252
4. Conclusion	255

Chapitre 6

Nanomatériaux thermoélectriques	261
1. Matériaux thermoélectriques	262
1.1. Rappels sur les matériaux massifs	262
1.2. Du massif au nano	268
2. Effets de la nanostructuration sur les propriétés thermiques	273
2.1. Mécanismes physiques des transferts thermiques dans les nanostructures	274
2.2. Thermique des nanostructures	277
2.3. Conclusion	283
3. Structure électronique et coefficients du transport	283
3.1. Thermodynamique hors équilibre en régime linéaire	283
3.2. Expression microscopique des Coefficients d'Onsager	285
3.3. Effets de la structure de bandes sur les coefficients du transport : application aux fils quantiques	287

3.4. Autres modèles de la structure électronique (états localisés, hybridation)	291
4. Systèmes 1D : synthèse électrochimique et propriétés	296
4.1. Élaboration de nanofils	297
4.2. Électrodéposition de nanofils dans des matrices poreuses	298
4.3. Caractérisation	303
4.4. Vers le dispositif	306
5. Matériaux nanostructurés à 2 dimensions : couches minces, multicouches et super-réseaux	308
5.1. Introduction	308
5.2. Intérêt de la nano-structuration 2D en thermoélectricité	311
5.3. Des prédictions théoriques à l'expérience	312
5.4. Optimisation des couches minces simples thermoélectriques	315
5.5. Conclusion	319
6. Matériaux massifs nanostructurés	323
6.1. Matériaux nanostructurés : du concept aux propriétés de transport	324
6.2. État de l'art des matériaux nanostructurés	329
6.3. Conclusion	334
7. Mesures des propriétés de transport de nanomatériaux thermoélectriques	335
7.1. Conductivité thermique	335
7.2. Coefficient Seebeck	340
7.3. Résistivité et effet Hall	342
7.4. Conclusion	344
8. Mise en forme 3D des nanomatériaux et nanocomposites TE	344
8.1. Introduction	344
8.2. Techniques	346
9. Applications des nanomatériaux	354
9.1. Matériaux 3D	354
9.2. Matériaux 2D	355
9.3. Perspectives	361
10. Conclusions, perspectives	362

Chapitre 7

Applications pour l'environnement	387
1. Les membranes et les applications en séparation et/ou réaction	387
1.1. Intérêt des membranes pour l'intensification des procédés	387
1.2. Rappels sur les procédés membranaires et leurs principaux domaines d'application	389
1.3. Nouveaux matériaux membranaires et nouvelles architectures – Propriétés liées à la structuration au niveau nanométrique	393
1.4. Exemples d'applications	404
1.5. Conclusions	414
2. Les surfaces ultrahydrophobes : synthèse, caractérisation et applications	415
2.1. Mouillage	415

Table des matières

2.2. Construction de surfaces ultrahydrophobes 424
2.3. Applications des surfaces ultrahydrophobes 431
2.4. Conclusion..... 434

Abréviations et sigles..... 444

Index..... 449

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Didier Noël est chercheur sénior à EDF R&D. Il s'est entouré d'une cinquantaine de spécialistes, pour la plupart externes à EDF, pour la rédaction de cet ouvrage.

Les nanomatériaux et leurs applications pour l'énergie électrique

Les nanotechnologies apportent un fort potentiel d'innovation et de rupture dans de nombreux domaines. Leurs applications pour l'énergie en est un champ important, car la synthèse et la structuration des nanomatériaux y ouvrent des voies de progrès notables.

Si divers ouvrages décrivent les innovations promises par les nanotechnologies sur des thématiques scientifiques générales ou spécialisées, très peu abordent le chemin qui va des nouvelles propriétés aux applications pour l'énergie électrique et ses usages.

Cet ouvrage présente, sur des bases scientifiques solides, les apports des nanotechnologies et plus particulièrement des nanomatériaux aux enjeux de la production d'électricité et de ses usages. Après un panorama des effets physiques qui peuvent être exploités à ces échelles pour améliorer les propriétés des matériaux ou leur fonctionnalité, leur application à la production d'électricité, à son stockage, à ses usages ainsi qu'au traitement de questions environnementales est abordée. Elle conduit à explorer les domaines de l'électrochimie, du photovoltaïque, de la thermoélectricité, des propriétés mécaniques et thermiques des matériaux ou encore des membranes et des surfaces ultrahydrophobes.

Chaque chapitre constitue une monographie exhaustive enrichie d'une abondante iconographie et d'une bibliographie très complète. Les meilleurs experts de chaque domaine ont été réunis, faisant de cet ouvrage **une référence incontournable**.

Au confluent de plusieurs disciplines et en prise directe sur un vaste champ d'applications, ce livre s'adresse à un large public : ingénieurs et chercheurs, étudiants des écoles d'ingénieurs ou des universités aux niveaux licence et master.

www.editions.lavoisier.fr



978-2-7430-1504-6

