

# Spis treści

<b>Wprowadzenie</b> .....	13
<i>Krzysztof J. Kurzydłowski, Małgorzata Lewandowska</i>	
<b>1. Różne sposoby postrzegania nanotechnologii</b> .....	17
<i>Witold Łojkowski, Anna Świdorska-Środa, Joanna Sobczyk</i>	
1.1. Wprowadzenie .....	17
1.2. Czym jest nanotechnologia .....	18
1.3. Jaka jest dzisiejsza nanotechnologia .....	19
1.4. Nanotechnologia w oczach środowiska akademickiego .....	21
1.5. Nanotechnologia z punktu widzenia przemysłu .....	24
1.6. Nanotechnologia w oczach rządów i instytucji finansujących naukę .....	26
1.7. Nanotechnologia w świecie przepisów, praw i standardów .....	27
1.8. Nanotechnologia w odbiorze społeczeństwa .....	28
1.9. Wpływ polityki edukacyjnej na rozwój nanotechnologii .....	29
1.10. Podsumowanie .....	30
Literatura .....	33
<b>2. Technologie otrzymywania nanocząstek</b> .....	35
<i>Urszula Narkiewicz</i>	
2.1. Metody wytwarzania nanocząstek w fazie ciekłej .....	38
2.1.1. Strącanie .....	39
2.1.2. Metoda zol-żel .....	43
2.1.3. Metody koloidalne .....	44
2.1.4. Metody solwotermalne .....	44
2.2. Metody otrzymywania nanocząstek w fazie gazowej .....	45
2.3. Metody otrzymywania nanocząstek w fazie stałej .....	47
2.4. Inne metody otrzymywania nanocząstek .....	48
2.4.1. Metoda samoorganizacji .....	48
2.4.2. Metoda wyładowania łukowego .....	48
2.4.3. Rozdrabnianie wybuchowe i elektroeksplozja .....	49
2.4.4. Techniki mikrofalowe .....	49
2.4.5. Techniki ultradźwiękowe .....	50
2.4.6. Metoda próżniowego odparowania przepływającego płynu .....	50
2.4.7. Metoda elektroosadzania .....	50

2.4.8.	Powlekanie obrotowe .....	51
2.4.9.	Strącanie w płynach w stanie nadkrytycznym .....	51
2.4.10.	Kontrolowana krystalizacja z amorficznych prekursorów .....	51
2.4.11.	Metody z udziałem mikroorganizmów .....	52
Literatura .....		52
<b>3.</b>	<b>Nanomateriały węglowe</b> .....	<b>55</b>
<i>Urszula Narkiewicz</i>		
3.1.	Zerowymiarowe nanomateriały węglowe .....	55
3.2.	Jednowymiarowe nanomateriały węglowe .....	57
Literatura .....		60
<b>4.</b>	<b>Nanocząstki tlenków o szerokiej przerwie energetycznej jako luminofory i znaczniki biologiczne</b> .....	<b>62</b>
<i>Marek Godlewski, Michał Marek Godlewski</i>		
4.1.	Wstęp .....	62
4.2.	Procesy rekombinacji promienistej .....	62
4.3.	Luminofory w lampach fluorescencyjnych .....	64
4.4.	Ziemie rzadkie jako aktywatory świecenia luminoforów .....	70
4.5.	Czy nanorozmiary są potrzebne .....	74
4.6.	Znaczniki fluorescencyjne do zastosowań w biologii i medycynie .....	77
4.7.	Znaczniki fluorescencyjne nowej generacji .....	79
4.8.	Zastosowanie luminoforów domieszkowanych jonami metali ziem rzadkich w badaniach biomedycznych .....	81
Literatura .....		84
<b>5.</b>	<b>Nanocząstki a kataliza heterogeniczna</b> .....	<b>86</b>
<i>Marcin Pisarek</i>		
5.1.	Wprowadzenie .....	86
5.2.	Kataliza heterogeniczna (kataliza kontaktowa) .....	88
5.2.1.	Wymagania stawiane katalizatorom .....	90
5.2.2.	Etapy reakcji chemicznych w katalizie heterogenicznej .....	90
5.3.	Otrzymywanie nanocząstek stosowanych w katalizie .....	92
5.4.	Metody charakteryzowania nanocząstek stosowanych w katalizie .....	93
5.5.	Przykłady zastosowania nanocząstek w reakcjach katalitycznych. Wpływ czynników morfologicznych, strukturalnych, chemicznych oraz geometrycznych .....	97
5.6.	Podsumowanie .....	103
Literatura .....		104
<b>6.</b>	<b>Nanocząstki zwiększające przewodność elektryczną</b> .....	<b>106</b>
<i>Ewelina Ciecierska</i>		
6.1.	Nanorurki węglowe .....	106
6.2.	Grafen .....	108
Literatura .....		111

<b>7. Nanocząstki w zastosowaniach biomedycznych</b> .....	112
<i>Agata Roguska</i>	
7.1. Wprowadzenie .....	112
7.2. Nanocząstki metali szlachetnych .....	113
7.3. Nanocząstki hydroksyapatytowe .....	117
7.4. Nanocząstki magnetyczne .....	119
7.5. Kropki kwantowe .....	122
7.6. Nośniki leków .....	124
7.7. Biosensory .....	127
7.8. Podsumowanie .....	128
Literatura .....	129
<b>8. Metody i procedury charakteryzowania morfologii nanocząstek</b> ....	131
<i>Anna Świdorska-Środa</i>	
8.1. Parametry opisu budowy nanocząstek i techniki ich pomiaru .....	132
8.1.1. Fundamentalne elementy charakterystyki nanoobjektów .....	132
8.1.2. Techniki badawcze, stosowane w miernictwie nanoobjektów .....	133
8.2. Znaczenie procedur w analizie morfologicznej nanocząstek .....	138
8.2.1. Procedura badań nanomateriałów stosowana w Laboratorium Nanostruktur .....	139
8.3. Nanometrologia w dokumentach UE .....	141
8.4. Podsumowanie .....	142
Literatura .....	142
<b>9. Obrazowanie nanocząstek metodami mikroskopii sił atomowych</b> .....	144
<i>Michał Woźniak</i>	
9.1. Sonda skanująca .....	146
9.2. Rozdzielczość pikselowa .....	146
9.3. Warunki środowiskowe .....	147
Literatura .....	154
<b>10. Obrazowanie nanocząstek metodami mikroskopii elektronowej</b> ....	156
<i>Tomasz Płociński</i>	
10.1. Oddziaływanie wiązki elektronów z materią .....	160
10.2. Detektory .....	162
10.3. Mikroskopy wysokorozdzielcze HR STEM/TEM, wyposażone w korektor aberracji sferycznej i/lub chromatycznej .....	164
10.4. Uchwyty .....	167
10.5. Mikroanaliza składu chemicznego nanocząstek .....	167
10.6. Przygotowanie nanocząstek do obserwacji w mikroskopie elektronowym .....	170
Literatura .....	172

<b>11. Metody opisu kształtu i pomiary wielkości nanocząstek</b> . . . . .	173
<i>Krzysztof Roźniatowski, Tomasz Wejrzanowski</i>	
11.1. Wstęp . . . . .	173
11.2. Parametry lokalne i globalne . . . . .	173
11.3. Ograniczenia pomiarowe . . . . .	174
11.4. Obrazowanie nanocząstek . . . . .	175
11.5. Parametry opisujące wielkość i kształt . . . . .	176
11.6. Analiza obrazu i wyznaczanie wielkości parametrów . . . . .	179
11.7. Podsumowanie . . . . .	182
Literatura . . . . .	182
<b>12. Pomiar rozkładu wielkości nanocząstek metodą rozpraszania światła laserowego</b> . . . . .	184
<i>Agnieszka Opalińska</i>	
Literatura . . . . .	194
<b>13. Pomiar stabilności koloidów i zawiesin nanocząstek</b> . . . . .	195
<i>Jacek Wojnarowicz, Agnieszka Opalińska</i>	
13.1. Układy dyspersyjne . . . . .	195
13.1.1. Stabilność koloidów i zawiesin . . . . .	196
13.1.2. Siły i oddziaływania między cząsteczkami . . . . .	197
13.1.3. Niestabilność Ostwalda . . . . .	200
13.1.4. Ruchy Browna . . . . .	201
13.1.5. Teoria DLVO (podwójna warstwa elektryczna) . . . . .	202
13.1.6. Zmienność układów dyspersyjnych . . . . .	203
13.1.7. Termodynamiczny aspekt stabilności układu dyspersyjnego . . . . .	204
13.1.8. Efekt steryczny . . . . .	206
13.1.9. Podsumowanie . . . . .	207
13.2. Proces destabilizacji zawiesin i koloidów . . . . .	207
13.3. Zasada pomiaru stabilności metodą MLS . . . . .	209
13.3.1. Stabilność . . . . .	211
13.3.2. Zmiana wielkości cząstek . . . . .	212
13.3.3. Migracja cząstek . . . . .	213
13.3.4. Połączenie niestabilności . . . . .	214
13.3.5. Podsumowanie . . . . .	215
13.4. Stabilność elektrostatyczna – potencjał zeta . . . . .	215
13.4.1. Pomiary potencjału zeta metodą elektroforetyczną . . . . .	217
13.4.2. Pomiary potencjału zeta metodą elektroakustyczną . . . . .	218
13.4.3. Pomiary potencjału zeta metodą potencjału strumieniowego . . . . .	219
13.4.4. Podsumowanie . . . . .	219
13.5. Podsumowanie rozdziału . . . . .	220
Literatura . . . . .	220

<b>14. Pomiar rozmiaru nanokryształów metodą dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego</b> .....	223
<i>Stanisław Gierlotka</i>	
14.1. Wstęp .....	223
14.2. Dyfrakcja promieniowania na kryształach .....	224
14.2.1. Analogie do dyfrakcji światła .....	224
14.2.2. Specyficzne cechy dyfrakcji na kryształach .....	225
14.2.3. Dyfrakcja na polikryształach .....	227
14.2.4. Jak rozmiar krystalitu uwidacznia się na dyfraktogramach .....	229
14.3. Określanie średniego rozmiaru krystalitów – metoda Scherrera .....	232
14.4. Małe krystality z naprężeniami – metoda Williamsona–Halla .....	239
14.5. Badanie rozkładu wielkości krystalitów przez analizę kształtu piku dyfrakcyjnego .....	242
14.5.1. Ograniczenie metody analizy kształtu piku .....	247
14.6. Podsumowanie, czyli jak postępować w praktyce .....	248
Literatura .....	249
<b>15. Badanie rozkładu wielkości nanokrystalitów metodą dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego</b> .....	250
<i>Roman Pielaszek</i>	
15.1. Zasada działania .....	250
15.2. Proszki monodispersyjne – metoda Scherrera .....	252
15.3. Proszki polidispersyjne .....	254
15.3.1. Metoda <i>Integral Breadth</i> (uogólniona) .....	256
15.3.2. Metoda Scherrera uogólniona, $FW_{\frac{1}{5}}^{\frac{1}{4}}M$ .....	258
15.3.3. Nanokryształy dużych cząsteczek .....	259
15.3.4. Metody bezpośredniego dopasowania .....	261
15.3.5. Narzędzia internetowe .....	262
15.4. Oszacowanie i redukcja błędów pomiarowych .....	264
15.4.1. Błąd oznaczenia stałej sieci nanokryształów .....	264
15.4.2. Błąd oznaczenia rozmiaru ziarna nanokryształów .....	265
15.4.3. Określanie poziomu tła piku .....	265
15.5. Ograniczenia metod rentgenowskich .....	266
15.6. Podstawy fizyczne (dla dociekliwych) .....	267
15.6.1. Równanie Debye’a .....	267
15.6.2. Równanie Debye’a dla kryształów, warunek Bragga .....	267
15.6.3. Profil linii i stała Scherrera dla kryształów prostopadłościennych .....	271
15.6.4. Profil linii i stała Scherrera dla kryształów kulistych .....	273
15.6.5. Profil linii dla proszków polidispersyjnych (wielościiany) .....	274
15.6.6. Profil linii dyfrakcyjnej dla proszków polidispersyjnych (ziarna kuliste) .....	278
15.6.7. $FW_{\frac{1}{5}}^{\frac{1}{4}}M$ – metoda Scherrera dla proszków polidispersyjnych .....	280

15.6.8. Metoda <i>Integral Breadth</i> (uogólniona) . . . . .	283
15.6.9. Oszacowanie błędów pomiarowych stałej sieci . . . . .	284
15.6.10. Oszacowanie błędów pomiaru rozmiaru ziarna . . . . .	286
Literatura . . . . .	286
<b>16. Znaczenie morfologii w kształtowaniu właściwości nanocząstek</b> . . . . .	287
<i>Anna Świdowska-Środa</i>	
Literatura . . . . .	290
<b>17. Toksyczność nanocząstek i sposoby jej wyznaczania</b> . . . . .	291
<i>Agnieszka Gajewicz, Tomasz Puzyn, Przemysław Oberbek, Michał Woźniak</i>	
17.1. Czy nanocząstki są toksyczne . . . . .	291
17.2. Potencjalne mechanizmy toksyczności nanocząstek . . . . .	293
17.3. Ocena ryzyka stwarzanego przez nanocząstki . . . . .	295
17.4. Metody eksperymentalne . . . . .	297
17.4.1. Metody <i>in vitro</i> . . . . .	298
17.4.2. Metody mikroskopowe . . . . .	301
17.4.3. Metody <i>in vivo</i> . . . . .	305
17.4.4. Podstawowe badania toksykometryczne . . . . .	306
17.5. Metody komputerowe ( <i>in silico</i> ) . . . . .	309
17.5.1. Zbieranie danych eksperymentalnych . . . . .	310
17.5.2. Podział związków na zbiór uczący i testowy . . . . .	310
17.5.3. Obliczenie deskryptorów . . . . .	311
17.5.4. Kalibracja i walidacja modelu . . . . .	313
17.6. Przykłady zastosowania metod QSAR do nanocząstek . . . . .	317
17.7. Podsumowanie . . . . .	323
Literatura . . . . .	324
<b>18. Bezpieczeństwo i higiena pracy z nanocząstkami</b> . . . . .	330
<i>Anna Świdowska-Środa</i>	
18.1. Ochrona zdrowia pracowników . . . . .	331
18.1.1. Rekomendowane limity stężeń nanocząstek w środowisku pracy . . . . .	331
18.1.2. Rekomendowane środki ochrony pracowników . . . . .	333
18.2. Ryzyko pożaru i eksplozji w środowisku pracy . . . . .	338
18.2.1. Środki ochrony przeciwpożarowej . . . . .	338
18.3. Przekazywanie informacji w łańcuchu dostaw . . . . .	339
18.3.1. Karty charakterystyki materiału . . . . .	339
18.3.2. Etykiety znamionowe na pojemnikach . . . . .	341
18.4. Podsumowanie . . . . .	341
Literatura . . . . .	342
<b>19. Nanomateriały w świetle przepisów Unii Europejskiej</b> . . . . .	345
<i>Anna Świdowska-Środa, Agnieszka Baran</i>	
19.1. Definicje i normy . . . . .	345

19.1.1. Definicja nanomateriału .....	345
19.1.2. Działania normalizacyjne w nanotechnologii .....	349
19.2. Kluczowe regulacje Unii Europejskiej dotyczące substancji chemicznych, w tym nanomateriałów .....	351
19.2.1. System kontroli substancji chemicznych w Unii Europejskiej .....	351
19.3. Przepisy sektorowe zawierające odniesienia do nanomateriałów .....	357
19.3.1. Produkty kosmetyczne .....	357
19.3.2. Produkty biobójcze .....	358
19.3.3. Produkty spożywcze .....	358
19.4. Przepisy na poziomie krajowym odnoszące się do nanomateriałów .....	360
19.5. Podsumowanie .....	362
Literatura .....	362

<b>20. Polityka i działania Unii Europejskiej w odniesieniu do nanomateriałów .....</b>	<b>366</b>
<i>Anna Świdowska-Środa</i>	

Literatura .....	369
------------------	-----

<b>21. Rynek nanocząstek tlenków metali .....</b>	<b>371</b>
<i>Elżbieta Krawczyk-Dembicka</i>	

21.1. Nanotechnologia na świecie .....	371
21.2. Nanotechnologia w Polsce .....	375
21.3. Rynek nanocząstek tlenków metali .....	378
21.3.1. Nanocząstki tlenku glinu ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) .....	380
21.3.2. Nanocząstki tlenku antymonu cyny (ATO) .....	383
21.3.3. Nanocząstki tlenku bizmutu ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) .....	384
21.3.4. Nanocząstki ditlenku ceru ( $\text{CeO}_2$ ) .....	384
21.3.5. Nanocząstki tlenku kobaltu ( $\text{CoO}$ ) .....	385
21.3.6. Nanocząstki tlenku miedzi ( $\text{CuO}$ ) .....	386
21.3.7. Nanocząstki tlenku żelaza ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ oraz $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) .....	386
21.3.8. Nanocząstki tlenku indu ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) .....	387
21.3.9. Nanocząstki tlenku magnezu ( $\text{MgO}$ ) .....	387
21.3.10. Nanocząstki tlenku manganu ( $\text{MnO}$ oraz $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) .....	388
21.3.11. Nanocząstki tlenku niklu ( $\text{NiO}$ ) .....	389
21.3.12. Nanocząstki ditlenku krzemu ( $\text{SiO}_2$ ) .....	389
21.3.13. Nanocząstki ditlenku tytanu ( $\text{TiO}_2$ ) .....	390
21.3.14. Nanocząstki tlenku itru ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) .....	390
21.3.15. Nanocząstki tlenku cynku ( $\text{ZnO}$ ) .....	391
21.3.16. Nanocząstki ditlenku cyrkonu ( $\text{ZrO}_2$ ) .....	392
Literatura .....	404

<b>Ważniejsze skróty i akronimy .....</b>	<b>405</b>
---	------------

<b>Skorowidz .....</b>	<b>413</b>
------------------------	------------