

Inhaltsverzeichnis

Vorwort IX

1	Einführung	1
2	Nanomaterialien	7
2.1	Nanoteilchen – Nanokomposite	7
2.2	Elementare Konsequenzen der kleinen Teilchengrößen	13
2.2.1	Oberfläche von Nanoteilchen	13
2.2.2	Thermische Phänomene	16
2.2.3	Das Maßstabgesetz der Diffusion	18
2.3	Makroskopische Nanowerkstoffe	22
	Literatur	28
3	Oberflächen von Nanowerkstoffen	29
3.1	Allgemeine Betrachtungen	29
3.2	Oberflächenenergie	31
3.3	Einfluss der Krümmung auf den Dampfdruck – Dampfdruck kleiner Teilchen	39
3.4	Technische Anwendung der Oberflächenenergie – Hypothetische Nanomotoren	44
	Literatur	47
4	Gasphasensynthese von Nanoteilchen und Nanokompositen	49
4.1	Grundlegende Betrachtungen	49
4.1.1	Kinetik der Teilchenbildung	49
4.1.2	Geladene Teilchen in einem oszillierenden elektrischen Feld	61
4.2	Syntheseverfahren ohne zusätzliches elektrisches Feld	65
4.2.1	Inertgas-Kondensationsverfahren	65
4.2.2	Physikalische und chemische Dampfphasensyntheseverfahren	66
4.2.3	Laserablationsverfahren	71
4.3	Plasmaverfahren	74
4.3.1	Plasmaverfahren mit geladenen Teilchen gleichen Vorzeichens	74
4.3.2	Plasmaverfahren mit geladenen Teilchen beider Vorzeichen	81

4.4	Flammensynthesen	85
4.5	Synthese beschichteter Teilchen	90
	Literatur	94
5	Ein- und zweidimensionale Nanoteilchen	97
5.1	Grundsätzliche Betrachtungen	97
5.2	Beispiele ein- und zweidimensionaler Teilchen	101
5.3	Nanostrukturen aufgebaut aus in Schichten kristallisierenden Materialien	106
5.3.1	Nanoteilchen aus Kohlenstoff und Bornitrid	106
5.3.2	Nicht kohlenstoffbasierte ein- und zweidimensionale Nanoteilchen	115
5.3.3	Komposite aus Phyllosilicaten mit einer Polymermatrix	119
5.3.4	Synthese von Nanoröhrchen, Nanostäbchen und Fullerenen	121
	Literatur	128
6	Nanofluide	129
6.1	Grundlagen	129
6.2	Nanofluide zur Verbesserung des Wärmeüberganges	130
6.3	Ferrofluide	132
6.3.1	Eigenschaften der Ferrofluide	132
	Literatur	138
7	Thermodynamik von Nanoteilchen	141
7.1	Thermodynamik kleiner Teilchen	141
7.2	Phasentransformationen bei Nanoteilchen	143
7.3	Wärmekapazität von Nanoteilchen	154
7.4	Thermische Instabilitäten in Verbindung mit Phasentransformationen	159
7.4.1	Experimenteller Hintergrund	159
7.4.2	Thermodynamische Beschreibung der Fluktuationsprozesse	163
	Literatur	170
8	Magnetische Nanomaterialien – Superparamagnetismus	171
8.1	Magnetische Materialien	171
8.2	Physikalische Grundlagen des Superparamagnetismus	179
8.3	Magnetische Anisotropie der Werkstoffe	184
8.4	Superparamagnetische Werkstoffe in der experimentellen Realität	188
8.4.1	Sättigungsmagnetisierung	188
8.4.2	Suszeptibilität	191
8.5	Mößbauer-Spektrum superparamagnetischer Teilchen	193
8.6	Ausgewählte Anwendungen von superparamagnetischen Teilchen	199
8.6.1	Ferrofluide	199

- 8.6.2 Magnetische Kühlung 202
- 8.7 Austauschgekoppelte magnetische Nanowerkstoffe 206
Literatur 216
- 9 Optische Eigenschaften 217**
 - 9.1 Einführende Anmerkungen 217
 - 9.2 Einstellung des Brechungsindex und visuell transparente optische UV-Absorber 217
 - 9.3 Größenabhängige optische Eigenschaften – Quanteneinschlussphänomene 223
 - 9.4 Halbleitende Nanoteilchen – Quanteneinschluss 228
 - 9.5 Lumineszenz wechselwirkender Teilchen 236
 - 9.6 Lumineszierende Nanokomposite 240
 - 9.7 Metallische Nanoteilchen – Plasmonenresonanz 253
 - 9.8 Auswahl eines Luminophors oder Absorbers in Hinblick auf technische Anwendungen 258
 - 9.9 Elektrolumineszenz 261
 - 9.10 Foto- und elektrochrome Materialien 266
 - 9.10.1 Grundlagen 266
 - 9.10.2 Fotochromie 267
 - 9.10.3 Elektrochromie 269
 - 9.11 Magnetooptische Anwendungen 273
Literatur 275
- 10 Elektrische Eigenschaften 277**
 - 10.1 Elektrische Leitfähigkeit nanoskaliger Systeme: Diffusive und ballistische Leitfähigkeit 277
 - 10.2 Experimentelle Befunde zur Leitung des elektrischen Stromes in nanoskaligen Systemen 281
 - 10.3 Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Graphen 284
 - 10.4 Weitere eindimensionale elektrische Leiter 290
 - 10.5 Elektrische Leitfähigkeit von Nanokompositen 292
Literatur 300
- 11 Mechanische Eigenschaften 301**
 - 11.1 Einführende Anmerkungen 301
 - 11.2 Mechanische Eigenschaften nanokristalliner Materialien 304
 - 11.3 Verformungsmechanismen bei nanokristallinen Werkstoffen 310
 - 11.4 Superplastizität 318
 - 11.5 Schwingungen von Nanostäbchen und Nanoröhrchen – Maßstabsgesetze für Schwingungen 321
 - 11.6 Nanokomposite mit Polymer-Matrix 322
 - 11.6.1 Grundsätzliche Betrachtungen 322
 - 11.6.2 Polymer-Matrix-Komposite gefüllt mit nulldimensionalen Teilchen 325

11.6.3	Nanokomposite auf Polymerbasis gefüllt mit Silicat-Plättchen	327
11.6.4	Nanokomposite auf Polymerbasis gefüllt mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Graphen	331
	Literatur	337
12	Charakterisierung von Nanomaterialien	339
12.1	Spezifische Oberfläche	339
12.2	Bestimmung der Kristallstruktur	343
12.3	Elektronenmikroskopie	350
12.3.1	Grundlagen	350
12.3.2	Aufbau eines Elektronenmikroskopes	354
12.3.3	Wechselwirkung der Elektronen mit der Probe	357
12.3.4	Einige Beispiele aus der Transmissionselektronenmikroskopie	363
12.3.5	Hochauflösende Rasterelektronenmikroskopie	366
	Literatur	369
	Stichwortverzeichnis	371