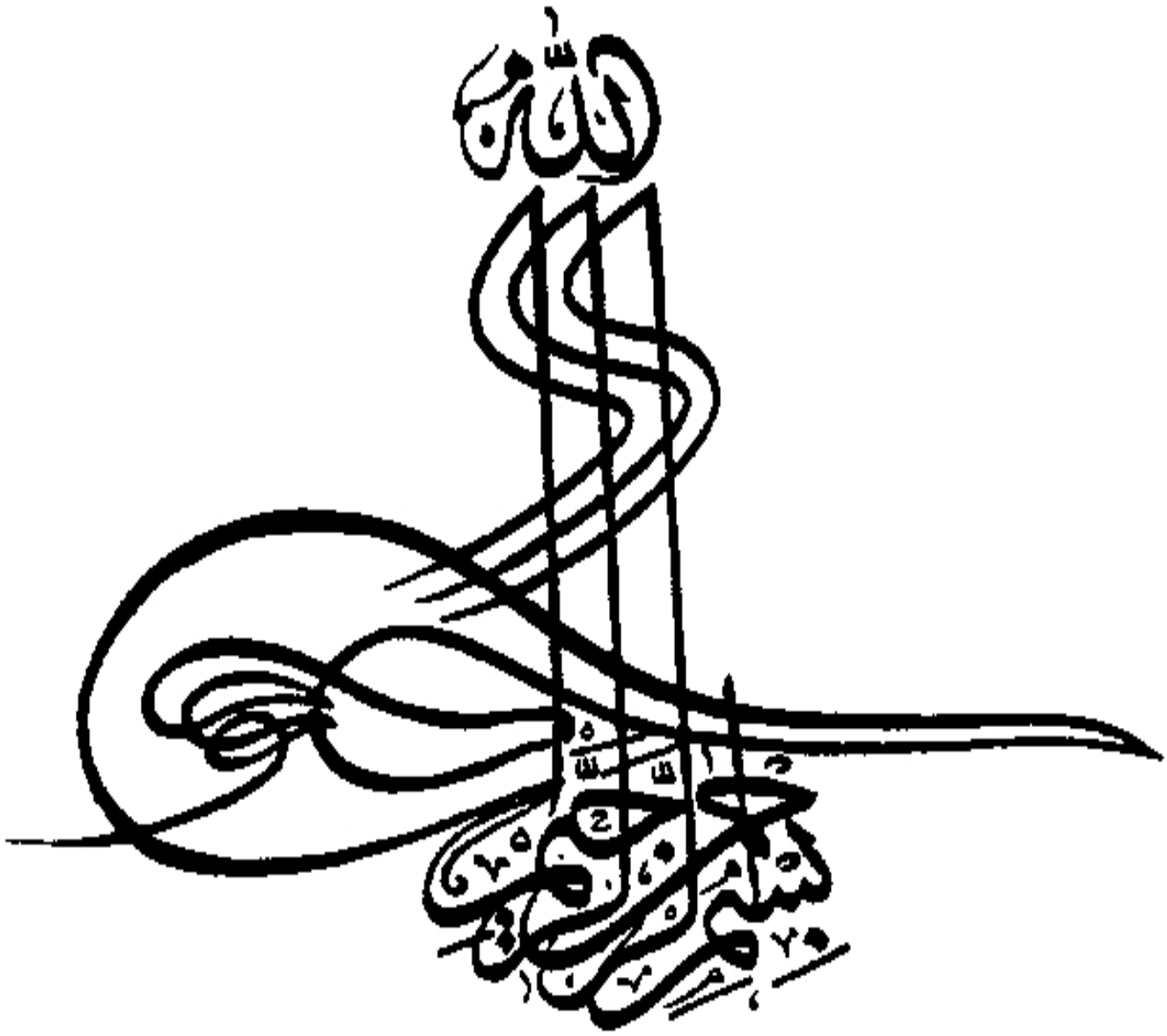

دانشگاه کاشان

دانشکده شیمی

گروه شیمی معدنی

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته شیمی معدنی

عنوان:

تهیه و شناسایی نانوساختارهای تنگستات‌های نقره و منگنز و سرب به روش سونوشیمیایی

استاد راهنما :

دکتر مسعود صلواتی نیاسری

بوسیله:

زینب بهفرد

شهریور ماه 1390

چکیده:

تنگستات‌های فلزی پتانسیل بالا و کاربردهای وسیعی در فوتولومینسانس، لیزرها، فیبرهای نوری، مواد جرقه‌زننده، رطوبت‌سنج‌ها و کاتالیست‌ها دارند. در پروژه‌ی حاضر نانوساختارهای تنگستات‌های سرب و نقره و منگنز به روش سونوشیمیایی تهیه شدند. اثر بعضی از پارامترها مثل زمان واکنش، غلظت واکنشگرها و انواع سورفکتانت‌ها روی اندازه و مورفولوژی نانوساختارها بررسی شد. خواص فیزیکی-شیمیایی آن‌ها با استفاده از روش‌های مختلفی مانند XRD، SEM، FT-IR، PL، EDX و DRS مورد بررسی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: نانوساختارها، نقره(I)تنگستات، منگنز(II)تنگستات، سرب(II)تنگستات، سونوشیمیایی

فهرست

فصل اول: مقدمه

1-1- مقدمه کلی 2

1-2- مقدمه ای بر نانوفناوری 2

1-2-1- تعریف نانوفناوری 2

1-2-2 تاریخچه ی نانوفناوری 3

1-3- خواص نانومواد 4

1-4- حوزه های کاربردی نانوفناوری 7

1-5- روش‌های ساخت نانومواد 8

1-6- هیدروترمال – سولوترمال 9

1-7- سونوشیمیایی 11

1-7-1- فراصوت 11

1-7-2- تولید امواج فراصوت 12

1-7-2-1- سیرن 12

1-7-2-2- سوتگ گالتن 12

1-7-2-3- نوسانگر مغناطیسی 13

1-7-2-4- نوسانگر پیزوالکتریک 14

1-7-3- تاریخچه سونوشیمی 15

1-7-4- کاربردهای سونوشیمی 16

1-7-5- منشاء اثرات سونوشیمی 16

1-7-6- مناطق درگیر طی فرایندهای حباب‌سازی 17

1-7-7- اساس واکنش‌های سونوشیمی 19
1-7-8- عوامل موثر بر فرایند سونوشیمی 20
1-7-9- دستگاه فراصوت 23
1-7-10- مزایا و معایب فرایند سونوشیمی 24
1-8- نانو ساختارهای $PbWO_4$ 24
1-8-1- سرب‌تنگستات و کاربردهای آن 24
1-8-2- مروری بر تهیه نانوساختارهای سرب‌تنگستات 25
1-9- نانو ساختارهای$MnWO_4$ 28
1-9-1- منگنزتنگستات و کاربردهای آن 28
1-9-2- مروری بر تهیه نانوساختارهای منگنزتنگستات 29

فصل دوم: بخش تجربی

2-1- وسایل، مواد و دستگاه‌های مورد استفاده 33
2-1-1- وسایل آزمایشگاهی 33
2-1-2- مواد شیمیایی 33
2-1-3- دستگاه‌های مورد استفاده 33
2-2- روش انجام آزمایش 36
2-2-1- تهیه نانوساختارهای $PbWO_4$ 36
2-2-2- تهیه نانوساختارهای Ag_2WO_4 41
2-2-3- تهیه نانوساختارهای $MnWO_4$ 46
2-3- آماده سازی نمونه برای گرفتن تصویر SEM 51
2-4- آماده سازی نمونه برای بررسی خواص نوری 51

فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری

3-1- معرفی 53

3-2- نانوساختارهای $PbWO_4$ 54

3-2-1- بررسی اثر زمان 54

3-2-2- بررسی اثر غلظت 59

3-2-3- بررسی اثر سورفکتانت 63

3-2-4- بررسی مکانیسم واکنش 68

3-2-5- نتایج XRD 69

3-2-6- نتایج FT-IR 71

3-2-7- نتایج PL 72

3-2-8- نتایج DRS 73

3-2-9- نتایج EDX 74

3-2-10- نتیجه‌گیری 75

3-3- نانوساختارهای Ag_2WO_4 76

3-3-1- بررسی اثر زمان 76

3-3-2- بررسی اثر غلظت 81

3-3-3- بررسی اثر سورفکتانت 86

3-3-4- بررسی مکانیسم واکنش 90

3-3-5- نتایج XRD 91

3-3-6- نتایج FT-IR 92

3-3-7- نتایج PL 93

3-3-8- نتایج DRS 94
3-3-9- نتایج EDX 95
3-3-10- نتیجه‌گیری 96
3-4- نانوساختارهای $MnWO_4$ 97
3-4-1- بررسی اثر زمان 97
3-4-2- بررسی اثر غلظت 97
3-4-3- بررسی اثر سورفکتانت 98
3-4-4- بررسی مکانیسم واکنش 109
3-4-5- نتایج XRD 109
3-2-6- نتایج FT-IR 111
3-2-7- نتایج PL 112
3-2-8- نتایج DRS 113
3-2-9- نتایج EDX 114
3-2-10- نتیجه‌گیری 115
مراجع 116

فهرست شکل‌ها

شکل 1-1- مبدل‌های تولید امواج فراصوت.....14

شکل 1-2- پیشرفت و متلاشی شدن ناگهانی حباب‌های حفره‌سازی 17

شکل 1-3- واکنش حلال آب درون حباب.....18

شکل 1-4- یک نمونه دستگاه سونوشیمی میله‌ای آزمایشگاهی 23

شکل 1-5- تصویر SEM سرب تنگستات سنتز شده در دمای $^{\circ}C$ 15 و 20 min 26

شکل 1-6- تصویر SEM سرب تنگستات سنتز شده در دمای $^{\circ}C$ 600 و 3 h.....27

شکل 1-7- تصویر SEM سرب تنگستات سنتز شده در $0.5=g.l^{-1}$ از dextran 27

شکل 1-8- تصویر SEM سرب تنگستات سنتز شده در PH=3 و 1 h.....28

شکل 1-9- تصویر TEM منگنز تنگستات سنتز شده در دمای $^{\circ}C$ 180 و 8 h.....29

شکل 1-10- تصویر SEM منگنز تنگستات سنتز شده در دمای $^{\circ}C$ 180 و 3 h.....30

شکل 1-11- تصویر SEM منگنز تنگستات سنتز شده در دمای $^{\circ}C$ 400 و 1 h 31

شکل 1-12- تصویر SEM منگنز تنگستات سنتز شده در نسبت مولی W/Mn) a 10/1) b
2/1.....31

شکل 2-1- تصاویر SEM نمونه‌های (a, S1 (b, S2 (c, S3 (d, S4.....37

شکل 2-2- تصاویر SEM نمونه‌های (a, S5 (b, S6 (c, S7 38

شکل 2-3- تصاویر SEM نمونه‌های (a, S8 (b, S9 (c, S10 (d, S11.....39

شکل 2-4- تصاویر SEM نمونه‌های (a, S12 (b, S13 (c, S14 (d, S15 42

شکل 2-5- تصاویر SEM نمونه‌های (a, S16 (b, S17 (c, S18 (d, S19.....43

شکل 2-6- تصاویر SEM نمونه‌های (a, S20 (b, S21 (c, S22 (d, S23.....44

شکل 2-7- تصاویر SEM نمونه‌های (a, S24 (b, S25 (c, S26 (d, S27.....52

شکل 2-8- تصاویر SEM نمونه‌های (a S28, (b ,S29 (c ,S30 53
شکل 2-9- تصاویر SEM نمونه‌های (a S31, (b ,S32 (c ,S33 54
شکل 3-1- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده به مدت 5 دقیقه S1 55
شکل 3-2- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده به مدت 15 دقیقه S2 56
شکل 3-3- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده به مدت 30 دقیقه S3 57
شکل 3-4- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده به مدت 50 دقیقه S4 58
شکل 3-5- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده در غلظت 0/05 مولار S5 60
شکل 3-6- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده در غلظت 0/1 مولار S6 61
شکل 3-7- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده در غلظت 0/2 مولار S7 62
شکل 3-8- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده در حضور SDS نمونه‌ی S8 64
شکل 3-9- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده در حضور SDBS نمونه‌ی S9 65
شکل 3-10- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده در حضور HMTA نمونه‌ی S10 66
شکل 3-11- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ تهیه شده در حضور PEG نمونه‌ی S11 67
شکل 3-12- الگوی XRD محصول $PbWO_4$ نمونه ی S6 70
شکل 3-13- طیف FT-IR محصول $PbWO_4$ نمونه ی S6 71
شکل 3-14- طیف PL محصول $PbWO_4$ نمونه ی S6 72
شکل 3-15- طیف DRS محصول $PbWO_4$ نمونه ی S6 73
شکل 3-16- طیف EDX محصول $PbWO_4$ نمونه ی S6 74
شکل 3-17- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ نمونه‌ی S6 75
شکل 3-18- تصویر SEM محصول $PbWO_4$ نمونه‌ی S11 75
شکل 3-19- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده به مدت 5 دقیقه S12 77

شکل 3-20- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده به مدت 15 دقیقه S13. 78
شکل 3-21- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده به مدت 30 دقیقه S14. 79
شکل 3-22- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده به مدت 50 دقیقه S15. 80
شکل 3-23- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده در غلظت 0/05مولار S16 82
شکل 3-24- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده در غلظت 0/1 مولار S17. 83
شکل 3-25- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده در غلظت 0/2 مولار S18 84
شکل 3-26- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده در غلظت 0/5 مولار S19 85
شکل 3-27- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده در حضور HMTA نمونه‌ی S23 86
شکل 3-28- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده در حضور PEG نمونه‌ی S22 87
شکل 3-29- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده در حضور SDS نمونه‌یS21 88
شکل 3-30- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 تهیه شده در حضور SDBS نمونه‌ی S20 89
شکل 3-31- الگوی XRD محصول Ag_2WO_4 نمونه ی S14 91
شکل 3-32-طیف FT-IR محصول Ag_2WO_4 نمونه ی S14 92
شکل 3-33- طیف PL محصول Ag_2WO_4 نمونه ی S14 93
شکل 3-34- طیف DRS محصول Ag_2WO_4 نمونه ی S14 94
شکل 3-35- طیف EDX محصول Ag_2WO_4 نمونه ی S14 95
شکل 3-36- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 نمونه‌ی S14 96
شکل 3-37- تصویر SEM محصول Ag_2WO_4 نمونه‌ی S20 96
شکل 3-38- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ تهیه شده به مدت 5 دقیقه S24. 99
شکل 3-39- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ تهیه شده به مدت 15 دقیقه S25. 100
شکل 3-40- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ تهیه شده به مدت 30 دقیقه S26. 101

شکل 3-41- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ تهیه شده به مدت 50 دقیقه S27. 102
شکل 3-42- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ تهیه شده در غلظت 0/03مولار S28 103
شکل 3-43- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ تهیه شده در غلظت 0/05 مولار S29. 104
شکل 3-44- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ تهیه شده در غلظت 0/1 مولار S30..... 105
شکل 3-45- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ تهیه شده در حضور SDBS نمونه‌ی S31 106
شکل 3-46- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ تهیه شده در حضورHMTA نمونه‌ی S32 . .. 107
شکل 3-47- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ تهیه شده در حضور PEG نمونه‌ی S33 108
شکل 3-48- الگوی XRD محصول $MnWO_4$ نمونه ی S30..... 110
شکل 3-49- الگوی XRD محصول $MnWO_4$ در دمای400^0C در مدت 4h..... 110
شکل 3-50-طیف FT-IR محصول $MnWO_4$ نمونه ی S26 111
شکل 3-51- طیف PL محصول $MnWO_4$ نمونه ی S26 112
شکل 3-52- طیف DRS محصول $MnWO_4$ نمونه ی S26 113
شکل 3-53- طیف EDX محصول $MnWO_4$ نمونه ی S26 114
شکل 3-54- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ نمونه‌ی S26..... 115
شکل 3-55- تصویر SEM محصول $MnWO_4$ نمونه‌ی S33..... 115

فهرست جدول‌ها

جدول 2-1- انواع مواد شیمیایی مورد استفاده.....35

جدول 2-2- شرایط مختلف آزمایش در تهیه ی نانوساختارهای $PbWO_4$.....40

جدول 2-3- شرایط مختلف آزمایش در تهیه ی نانوساختارهای Ag_2WO_4.....45

جدول 2-4- شرایط مختلف آزمایش در تهیه ی نانوساختارهای $MnWO_4$.....50

فهرست اعلائم اختصاری

SEM	Scanning Electron Microscope
FT-IR	Fourier Transform Infra-Red
DRS	Diffise Reflectance Spectroscopy
JCPDS	Joint Committee on Powder Diffraction Standards
nm	nanometer
PL	Photoluminescence
EDX	Energy Dispersive X-ray
XRD	X-ray diffraction pattern
HMTA	Hexamethylentetramine
SDS	Sodium dodecyl sulfate
PEG	polyethylene glycol
SDBS	Sodium dodecyl benzene sulfanate
EtOH	Ethanol
rpm	Revolutions Per Minute
LMCT	Ligand to metal charge-transfer

فصل اول:

مقدمـــه

1 - 1 - مقدمه

در سال‌های اخیر فناوری نانو به عنوان علمی پیشرو در رشته‌های مختلف فیزیک، شیمی، مهندسی و بیولوژی مطرح شده است. فناوری نانو به مواد و سیستم‌هایی مربوط می‌شود که ساختار و اجزای آنها به دلیل ابعاد نانومتری رفتار جدیدی از خود نشان می‌دهند. علت این امر این است که ذرات در ابعاد کمتر از طول مشخصه در یک سیستم (یک تا 100 نانومتر)، اغلب شیمی و فیزیک جدیدی دارند که منجر به رفتارهای جدید وابسته به اندازه‌ی سیستم می‌شود. به عنوان مثال دمای ذوب، رفتار مغناطیسی، ساختار الکترونی، رسانندگی و . . .

1 - 2 - مقدمه‌ای بر نانوفناوری

1 - 2 - 1 - تعریف نانوفناوری

نانوفناوری تحقیق و توسعه‌ی هدفمند برای ساخت اشیاء اتم به اتم و مولکول به مولکول توسط ابزار و روش‌های کنترل شده در مقیاس نانومتریک است. تحلیل‌گران براین باورند که فناوری نانو "موتور رشد قرن 21" محسوب می‌شود. این فناوری باعث ارتقاء سریع و گسترده‌ی فناوری‌های موجود شده و در بخش‌های مختلف کاربرد دارد.

البته تعاریف متعددی برای نانوفناوری وجود دارد، مثلا" NNI[1]تعریفی را برای فناوری نانو ارائه می‌دهد که شامل سه تعریف زیر می‌باشد:

1. توسعه‌ی تحقیقات در سطوح اتمی، مولکولی و یا ماکرومولکولی در مقیاس اندازه‌ی یک تا 100 نانومتر

2. خلق و استفاده از ساختارها، ابزار و سیستم‌هایی که بخاطر اندازه‌ی کوچک یا حد میانه‌ی آنها، خواص و عملکرد نوینی دارند.

3. توانایی کنترل و یا دستکاری در سطوح اتمی.

1 - 2 - 2 - تاریخچه نانوفناوری

اولین سنتز مستند نانوذرات فلزی در فاز محلول توسط فارادی در سال 1850 انجام شد. در این آزمایش فارادی کلوئید طلا را از احیاء کلرید طلا با فسفر در آب تهیه کرد. اما تحولات اساسی در زمینه‌ی نانوفناوری پس از سخنرانی فاینمن در سال 1959 باعنوان «تعدادزیادی اتاق در کف وجود دارد» آغاز شد. او در این سخنرانی در مورد احتمال وجود پتانسیل‌ها و امکانات خاص در مواد نانومتری مواردی را مطرح کرد. فاینمن به حضار گفت که او قانون علمی سراغ ندارد که پیشنهاد دهد تا رفتار اتم به اتم را بیان نماید. او در طی این سخنرانی به دانشمندان پیشنهاد داد که در اندازه نانو جهت جابجایی و کنترل نمودن اتم‌های خاص تحقیقاتی را آغاز نمایند[3-1]. ماروین مینسکی[2] یابنده‌ی هوش‌های مصنوعی، در دهه‌ی 1960-1970 جهان را در تفکراتی که مربوط به آینده می‌شد، رهبری کرد[4]. اریک درکسلر[3] دانشجوی مینسکی در اوایل دهه‌ی 80، درجه‌ی استادی خود را در رشته‌ی علوم دریافت کرده

[1]National Nanotechnology Initiation
[2] Marvin Minsky
[3] Eric Drexler

و با تشکیل یک انجمن دانشجویی، فعالیت‌هایی را تحت عنوان نانوفناوری انجام داد. درکسلر نخستین مقاله‌ی علمی خود را در مورد نانوفناوری مولکولی (MNT) [1] در سال 1981 ارائه داد. وی همچنین در سال 1986 کتابی را در زمینه‌ی نانوفناوری منتشر کرد. درکسلر برای نخستین بار درجه‌ی دکتری خود را در نانوفناوری در سال 1991 از دانشگاه MIT دریافت کرد. او یک پیشرو در فعالیت‌های انجام شده در نانوفناوری است[5].

1 - 3 - خواص نانومواد

یکی از خصوصیات مشخص کننده‌ی نانومواد این است که رفتاری متفاوت با رفتار مواد درشت‌ساختاری و یا میکروسکوپی از خود نشان می‌دهند. با گذر از مقیاس میکرو به نانو، با تغییر برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی روبه رو می‌شویم که دو مورد مهم از آن‌ها عبارتند از:

1. افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات کوانتومی
2. افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم که به تدریج با کاهش اندازه‌ی ذره رخ می‌دهد

افزایش سطح میزان واکنش‌پذیری را به شدت افزایش می‌دهد زیرا تعداد مولکول‌ها یا اتم‌های موجود در سطح در مقایسه با اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در توده‌ی نمونه بسیار زیاد است، به گونه‌ای که این ذرات به شدت تمایل به کلوخه‌ای شدن دارند. در بعضی مواقع برای حفظ خواص مطلوب نانومواد، جهت پیشگیری از واکنش بیشتر، یک پایدارکننده را بایستی به آنها اضافه کرد که آنها را قادر می‌سازد تا در برابر سایش، فرسودگی و خوردگی مقاوم باشند. البته این خاصیت مزایایی هم دربردارد. مساحت سطحی زیاد، عاملی کلیدی در کارکرد کاتالیزورها و ساختارهایی همچون الکترودها می‌باشد. بعنوان مثال با استفاده از این خاصیت

[1]. molecular nanotechnology mnt nano technology

می‌توان کارایی کاتالیزورهای شیمیایی را به نحو مؤثری بهبود بخشید و یا در تولید نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از این مواد، پیوندهای شیمیایی مستحکم‌تری بین ماده زمینه و ذرات برقرار شده و استحکام آن به شدت افزایش می‌یابد. علاوه براین، افزایش سطح ذرات، فشار سطحی را کاهش داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا اتم‌های ذرات می‌شود. تغییر در فاصله‌ی بین اتم‌های ذرات و نسبت سطح به حجم بالا در نانوذرات، تاثیر متقابلی در خواص ماده دارد. تغییر در انرژی آزاد سطح، پتانسیل شیمیایی را تغییر می‌دهد. این امر در خواص ترمودینامیکی ماده تاثیرگذار است. به‌محض آنکه ذرات به اندازه کافی کوچک شوند، شروع به رفتار مکانیک کوانتومی می‌کنند. خواص نقاط کوانتومی مثالی از این دست است. نقاط کوانتومی بلورهایی در اندازه‌ی نانو می‌باشند که از خود نور ساطع می‌کنند. انتشار نور توسط این نقاط در تشخیص پزشکی کاربردهای فراوانی دارد. این نقاط گاهی اتم‌های مصنوعی نامیده می‌شوند؛ چون الکترون‌های آزاد آنها مشابه الکترون‌های محبوس در اتم‌ها، حالات گسسته و مجازی از انرژی را اشغال می‌کنند. زمانیکه اندازه ذرات به مقدار کافی کوچک شود تغییر می-کند. بنابراین این امکان وجود دارد که با کنترل ابعاد، تغییرات دلخواهی را در خصوصیات مواد ایجاد کرد. در ادامه خواص مواد نانو را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

1 - 3 - 1 - خواص مکانیکی

اولین بار خواص مکانیکی نانومواد زمانی مورد توجه قرارگرفت که نانومواد با استفاه از روش چگالش گاز تولید شدند. خواص این نانومواد عبارت بود از:

1. دارا بودن ضریب الاستیسیته‌ی بین 30 تا 50 درصد پایین‌تر از مواد معمول
2. سختی و استحکام بسیار بالای نانومواد (با اندازه‌ی 10 نانومتر) نسبت به مواد درشت‌تر (با

اندازه‌ی بیش از یک میکرون) به میزان دو تا هفت برابر

3. در محدوده‌ی مواد نانومتری، با کاهش اندازه‌ی مواد سختی نیز کاهش می‌یابد

4. انعطاف‌پذیری بیشتر نسبت به مواد مشابه[8-6]

1 - 3 - 2 - خواص حرارتی

نقطه‌ی ذوب و رسانش گرمایی نانومواد نسبت به مواد مشابه با اندازه‌ی درشت‌تر بسیار کاهش یافته است. برای مثال دمای‌ذوب ذرات نانومتری طلا در حدود 27 درجه سانتیگراد کمتر از نقطه‌ی ذوب طلای معمولی است.

1 - 3 - 3 - خواص شیمیایی

محدوده‌ی انجام واکنش‌های شیمیایی برای مواد نانو بسیار بیشتر از مواد معمول است. به علت اینکه در مواد نانو درصد بالایی از اتم‌ها در سطح ماده قرارگرفته‌اند احتمال برخورد اتم‌ها افزایش یافته و بنابراین واکنش‌پذیری ماده نیز بالا می‌رود. چون در ساختار نانو میزان فضاهای خالی نسبت به حالت معمول زیاد است می‌توان از مواد نانو به عنوان کاتالیزگر در دماهای پایین استفاده نمود. که این خود باعث می‌شود واکنش‌پذیری این کاتالیزگرها کاهش یافته و در نتیجه عمر بالاتری نسبت به نوع مشابه معمولی داشته باشند. نوع دیگر از مواد واکنش‌دهنده، مواد متخلخل با ساختار نانومتری است. مواد متخلخل معمولی دارای محدودیت کاربرد می-باشند زیرا اندازه‌ی حفرات این مواد محدود است (در حدود 5 انگسترم) اما با استفاده از نانوتکنولوژی این اندازه بین 20 تا 100 آنگسترم افزایش یافته است. با این عمل می‌توان از این

مواد به عنوان کاتالیزگرهای آنزیمی و جداکننده‌ها و حسگرهای بیولوژیکی استفاده نمود[9].

1 - 3 - 3 - خواص نوری

امروزه ارتباطات نوری روزبه‌روز در حال گسترش است که در نتیجه نیاز به فیبرهای نوری و نیز تعیین محدوده‌ی نور قابل کاربرد در آن‌ها نقش اساسی را دارد. در اینجا نانوکامپوزیت‌ها نقش مهمی را دارند. اندازه‌ی ذرات پخش شده در یک نانوکامپوزیت می‌تواند طول موج نوری که به وسیله‌ی این ذرات جذب می‌شود را تعیین نماید. تغییر اندازه‌ی ذرات می‌تواند طول موج نوری را که جذب می‌شود تغییر دهد. برای مثال کادمیوم سلنید، ماده‌ای است که تحقیقات گسترده‌ای بر روی آن در حال انجام است. بلورهای به اندازه‌ی 1/5 نانومتر این ماده زردرنگ، بلورهای به اندازه‌ی 4 نانومتر آن قرمزرنگ و بلورهای بزرگتر آن به رنگ سیاه است. همچنین با استفاده از این تکنولوژی امروزه شیشه‌هایی تهیه شده است که متناسب با میزان نور آفتاب تغییر رنگ می‌دهد و همیشه مقدار مشخصی نور از آن عبور می‌کند[10].

1 - 4 - حوزه‌های کاربردی نانوفناوری

نانوساختارها به‌دلیل داشتن نسبت سطح به حجم بالا در مقایسه با میکرو ساختارها و یا حتی توده‌ی محلول کاربردهای شگفت‌انگیزی در کاتالیزورها، نیمه‌هادی‌ها، ابررساناها، باتری-های قابل شارژ و پیل‌های خورشیدی و غیره دارند. حوزه‌ی کاربردی نانوفناوری را می‌توان بطور کلی به شش طبقه دسته‌بندی نمود: