حذف آلاینده‌های گوگرددار با استفاده از نانو ذرات اکسیدهای نیمه رسانا

منا سوادکوهی

نانو ذرات اکسید مس به روش رسوب دهی مستقیم و نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و دی اکسید تیتانیوم دوپ شده با نقره با روش سل-ژل سنتز شدند. ساختار نانو ذرات سنتز شده توسط تکنیک پراش پرتو ایکس (XRD) و اندازه و مورفولوژی ذرات توسط میکروسکوپ الکترونی تراگسیل (TEM) مورد بررسی قرار گرفت. دی‌اکسید تیتانیوم و دی‌اکسید تیتانیوم دوپ شده با نقره در فاز آناتاز کریستاله شدند و الگوی پراش پرتو X ساختار کریستالی نانو ذرات سنتزی را تایید کرد. نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی تراگسیل (TEM) نشان دادند که سایز نمونه دوپه نشده دی‌اکسید تیتانیوم 10 نانو متر است و با افزایش نقره سایز ذره کمتر می‌شود. سایز ذره دی‌اکسید تیتانیوم دوپ شده با نقره 8 نانو متر است. همچنین تصویر TEM نشان داد که ذرات اکسید مس سنتز شده دارای طول 35 و عرض 7 نانو متر می‌باشد.

فعالیت فوتوکاتالیزوری CuO، TiO_2 و TiO_2-Ag در تخریب برخی از آلاینده‌های گوگردی مثل متیل فنیل سولفید و 2-مرکاپتوبنزایمیدازول در محلول های آبی تحت تابش لامپ 400 وات جیوه مورد آزمایش قرار گرفت. تاثیر برخی عوامل مانند مقدار فوتوکاتالیزور، غلظت اولیه محلول آلاینده، تاثیر هوادهی، pH و زمان در تخریب این آلاینده ها بررسی و تفسیر شد تا بهترین شرایط برای تخریب فوتوکاتالیزوری مشخص گردد. نتایج بدست آمده نشان داد که نمونه دی‌اکسید تیتانیوم دوپه شده با نقره نسبت به نمونه دوپه نشده آن بازده بهتری در تخریب فوتوکاتالیزوری دارد. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که تخریب فوتوکاتالیزوری توسط اکسید مس و دی‌اکسید تیتانیوم دوپ شده با نقره در محیط بازی و تحت شرایط هوادهی بهترین بازده را دارد.

کلید واژه: نانو ذرات، اکسیدهای نیمه رسانا، اکسید مس، دی‌اکسید تیتانیوم، دی‌اکسید تیتانیوم دوپ شده با نقره، آلاینده‌های گوگردی، متیل فنیل سولفید، 2-مرکاپتو بنزایمیدازول

دانشکده علوم پایه

گروه شیمی-شیمی معدنی

حذف آلاینده‌های گوگرد دار با استفاده از نانو اکسیدهای نیمه رسانا

از:

منا سوادکوهی سید زین العابدینی

استاد راهنما:

دکتر عبدالله فلاح شجاعی

اسفند 1390

عنوان.....صفحه
چکیده فارسی.....ر
چکیده انگلیسی.....ز
فصل اول: مقدمه وتئوری.....1
مقدمه.....2
1-1 تاریخچه نانو ذرات.....2
2-1 فناوری نانو یا نانو تکنولوژی.....3
3-1 روش های ساخت نانو ذرات.....4
1-3-1 سنتز شیمیایی.....4
2-3-1 چگالش از یک بخار.....4
3-3-1 فرآیندهای حالت جامد.....4
4-1 تعیین مشخصات.....4
5-1 طبقه‌بندی نانو ذرات بر اساس ابعاد.....5
1-5-1 نانو ذره.....5
2-5-1 نانو لوله.....5
3-5-1 نانو لایه.....5
6-1 متداولترین نانو ذرات.....5
1-6-1 نانو ذرات نیمه رسانا.....5
2-6-1 نانو ذرات سرامیکی.....7
3-6-1 نانو کامپوزیتهای نانو ذره ای سرامیکی.....8
4-6-1 نانو ذرات فلزی.....8
5-6-1 نانو کامپوزیت های نانو ذره ای فلزی.....8
7-1 فرآیند فوتوشیمی.....9
8-1 برانگیختگی الکترونی نیمه رسانا.....11
9-1 فرآیندهای فوتوکاتالیزوری.....12
10-1 فوتوکاتالیست ایده‌آل.....13
11-1 فوتوکاتالیست‌های اکسیدهای فلزی نیمه‌رسانا.....13
12-1 تاثیر پارامترهای عملیاتی.....14
1-12-1 شدت نور.....14
2-12-1 ماهیت و غلظت آلاینده.....14

1-12-3 ماهیت فوتوکاتالیزور.....14
1-12-4 غلظت فوتوکاتالیزور.....15
1-12-5 میزان اسیدیته pH 15
1-12-6 دمای واکنش.....15
1-13 اصلاح انرژی باند گپ فوتوکاتالیست های اکسید های فلزی نیمه رسانا.....15
1-13-1 اصلاح باند گپ نیمه رسانا به وسیله رنگینه ها.....15
1-13-2 اصلاح باند گپ نیمه رسانا به وسیله جفت شدن با نیمه رسانای دیگر.....16
1-13-3 اصلاح باند گپ نیمه رسانا به وسیله دوپ کردن فلزات واسطه.....17
1-14حذف ناخالصی به روش تخریب فوتوکاتالیزوری.....18
1-15 آلاینده‌های گوگردی.....19
1-16خواص دی‌اکسید تیتانیوم.....20
1-16-1 خاصیت آبدوستی دی‌اکسید تیتانیوم.....23
1-16-2 خاصیت فوتوکاتالیستی دی‌اکسید تیتانیوم.....25
1-16-3 اکسیژن حل شده در محلول.....26
1-16-4 تیتانیوم دی‌اکسید دوپه شده.....26
1-16-5 روش‌های افزایش خاصیت فوتوکاتالیزوری.....27
1-17 اکسید مس.....28
فصل دوم: بخش تجربی.....29
2-1 مواد شیمیایی مصرفی.....30
2-2 دستگاه های مورد استفاده.....31
2-2-1 پراش پرتو X (XRD).....31
2-2-2 میکروسکوپ الکترونی تراگسیل (TEM).....32
2-2-3 طیف سنجی فرابنفش-مرئی.....32
2-2-4 راکتور فوتوشیمیایی.....33
2-2-5 سانتریفیوژ.....34
2-2-6 pH متر.....35
2-2-7 ترازوی دیجیتال.....35
2-3 سنتز و شناسایی نانو ذرات اکسید مس و دی‌اکسید تیتانیوم دوپ شده با نقره.....36
2-3-1 روش سنتز نانو ذرات اکسید مس.....36
2-3-2 روش سنتز نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم.....36
2-3-3 روش سنتز نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم دوپ شده با نقره.....37

2-4 طیف جذبی برای آلاینده های مورد استفاده.....38
2-5 آزمایش های مربوط به تخریب فوتوکاتالیزوری آلاینده ها و بررسی شرایط مختلف.....38
2-5-1 تخریب فوتوکاتالیزوری متیل فنیل سولفید توسط فوتوکاتالیزورهای CuO، TiO_2 و TiO_2-Ag.....38
2-5-1-1 بررسی اثر فوتوکاتالیزوری و تابش UV.....38
2-5-1-2 بررسی اثر مقدار فوتوکاتالیزور.....39
2-5-1-3 بررسی اثر زمان.....39
2-5-1-4 بررسی اثر هوادهی.....39
2-5-1-5 بررسی اثر غلظت آلاینده.....40
2-5-1-6 بررسی اثر pH محیط.....40
2-5-2 تخریب فوتوکاتالیزوری 2-مرکاپتو بنزایمیدازول توسط فوتوکاتالیزورهای CuO و TiO_2 و TiO_2-Ag 41
2-5-2-1 بررسی اثر فوتوکاتالیزوری و تابش UV.....41
2-5-2-2 بررسی اثر مقدار فوتوکاتالیزور.....41
2-5-2-3 بررسی اثر زمان.....41
2-5-2-4 بررسی اثر هوادهی.....42
2-5-2-5 بررسی اثر غلظت آلاینده.....42
2-5-2-6 بررسی اثر pH محیط.....43
فصل سوم: بحث و نتیجه گیری.....44
نگاهی کلی به این پروژه.....45
3-1 ستز نانو ذرات اکسید مس.....46
3-1-1 بررسی ساختار نانو ذرات اکسید مس توسط کریستالوگرافی XRD.....46
3-1-2 نتایج بررسی ساختار نانو ذرات اکسید مس توسط میکروسکوپ الکترونی تراگسیلی(TEM).....48
3-2 ستز نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم.....49
3-2-1 بررسی ساختار نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم توسط کریستالوگرافی XRD.....49
3-2-2 نتایج بررسی ساختار نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم توسط میکروسکوپ الکترونی تراگسیلی(TEM).....51
3-3 ستز نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم دوپ شده با نقره.....51
3-3-1 بررسی ساختار نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم دوپ شده با نقره توسط کریستالوگرافی XRD.....52
3-3-2 نتایج بررسی ساختار نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم دوپ شده با نقره توسط میکروسکوپ الکترونی تراگسیلی.....54
3-4 نتایج بررسی آزمایشات تخریب فوتوکاتالیزوری آلاینده‌ها.....55
3-4-1 نتایج بررسی آزمایشات تخریب فوتوکاتالیزوری آلاینده‌ها توسط اکسید مس.....56
3-4-1-1 نتایج بررسی آزمایشات تخریب متیل فنیل سولفید.....56

3-4-1-1-2 نتایج بررسی اثر مقدار فوتوکاتالیزور در تخریب متیل فنیل سولفید.....57
3-4-1-1-3 نتایج بررسی تخریب متیل فنیل سولفید در طول زمان.....58
3-4-1-1-4 نتایج بررسی اثر هوادهی در تخریب متیل فنیل سولفید.....58
3-4-1-1-5 نتایج بررسی اثر غلظت آلاینده در تخریب متیل فنیل سولفید.....59
3-4-1-1-6 نتیجه گیری و مقایسه با پروژه های کار شده مشابه درتخریب فوتوکاتالیستی.....60
3-4-1-2 نتایج بررسی آزمایشات تخریب 2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....61
3-4-1-2-1 نتایج بررسی اثر فوتوکاتالیزور و تابش UV 61
3-4-1-2-2 نتایج بررسی اثر مقدار فوتوکاتالیزور در تخریب 2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....62
3-4-1-2-3 نتایج بررسی تخریب 2-مرکاپتو بنزایمیدازول در طول زمان.....63
3-4-1-2-4 نتایج بررسی اثر هوادهی در تخریب 2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....63
3-4-1-2-5 نتایج بررسی اثر غلظت آلاینده در تخریب 2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....64
3-4-1-2-6 نتیجه گیری و مقایسه با پروژه های کار شده مشابه درتخریب فوتوکاتالیستی 2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....65
3-4-2 نتایج بررسی آزمایشات تخریب فوتوکاتالیزوری آلاینده‌ها توسط TiO_2 و TiO_2-Ag 66
3-4-2-1 نتایج بررسی آزمایشات تخریب متیل فنیل سولفید.....66
3-4-2-1-1 نتایج بررسی اثر فوتوکاتالیزور و تابش UV 66
3-4-2-1-2 نتایج بررسی اثر مقدار فوتوکاتالیزور در تخریب متیل فنیل سولفید.....67
3-4-2-1-3 بررسی اثر pH در تخریب متیل فنیل سولفید.....68
3-4-2-1-4 نتایج بررسی تخریب متیل فنیل سولفید در طول زمان.....68
3-4-2-1-5 نتایج بررسی اثر هوادهی در تخریب متیل فنیل سولفید.....69
3-4-2-1-6 نتایج بررسی اثر غلظت آلاینده در تخریب متیل فنیل سولفید.....70
3-4-2-1-7 نتیجه‌گیری و مقایسه با پروژه‌های کار شده مشابه در تخریب فوتوکاتالیستی2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....71
3-4-2-2 نتایج بررسی آزمایشات تخریب 2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....72
3-4-2-2-1 نتایج بررسی اثر فوتوکاتالیزور و تابش UV 72
3-4-2-2-2 نتایج بررسی اثر مقدار فوتوکاتالیزور در تخریب 2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....73
3-4-2-2-3 نتایج بررسی اثر pH در تخریب 2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....74
3-4-2-2-4 نتایج بررسی تخریب 2-مرکاپتوبنزایمیدازول در طول زمان.....74
3-4-2-2-5 نتایج بررسی اثر هوادهی در تخریب 2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....75
3-4-2-2-6 نتایج بررسی اثر غلظت آلاینده در تخریب 2-مرکاپتوبنزایمیدازول.....75
3-4-2-2-7 نتیجه‌گیری و مقایسه با پروژه‌های کار شده مشابه در تخریب فوتوکاتالیستی.....76
3-5 نتیجه گیری.....77
3-6 پیشنهاد کار برای آینده.....78

جدول 2-1 مواد شیمیایی بکار رفته..... 30
جدول 2-2 مشخصات دستگاه پراش پرتو X 31
جدول 3-1 اطلاعات استخراج شده الگوی XRD نانو ذرات اکسید مس..... 47
جدول 3-2 اطلاعات استخراج شده الگوی XRD نانو ذرات TiO_2 50
جدول 3-3 اطلاعات استخراج شده الگوی XRD نانو ذرات TiO_2-Ag 53
جدول 3-4 میزان کاهش فوتوکاتالیزوری سولفید در شرایط مختلف pH 68
جدول 3-5 میزان کاهش فوتوکاتالیزوری مرکاپتان در شرایط مختلف pH 74

عنوان.....صفحه
شکل 1-1 نمودار جابلونسکی.....9
شکل 1-2 مکانیسم پیشنهادی برای تولید جفت الکترون-حفره در اکسید تیتانیوم.....11
شکل 1-3 فعال سازی باند گپ پهن یک نیمه رسانا با نور مرئی به کمک اصلاح سطح به وسیله رنگینه.....16
شکل 1-4 فعال سازی فوتوکاتالیست در نور مرئی به وسیله جفت شدن نیمه رسانایی با باند گپ باریک تر.....17
شکل 1-5 مکانیسم استفاده نیمه رسانا در فرایندهای اکسایش و کاهش فوتوکاتالیزوری.....18
شکل 1-6 تصویر نمونه‌ای از آلاینده‌های گوگردی.....20
شکل 1-7 سیستم بلوری فاز روتیل TiO_2 21
شکل 1-8 سیستم بلوری فاز آناتاز TiO_2 22
شکل 1-9 سیستم بلوری فاز بروکیت TiO_2 23
شکل 1-10 تبادل اکسیژن جو در سطح TiO_2 25
شکل 1-11 شکل سلول واحد اکسید مس.....28
شکل 1-12 قسمتی از ساختار کریستالی اکسید مس.....28
شکل 2-1 شمای راکتور فوتوشیمیایی.....33
شکل 3-1 الگوی XRD نمونه سنتز شده اکسید مس.....46
شکل 3-2 تصویر میکروسکوپ الکترونی (TEM) از نمونه سنتز شده اکسید مس.....48
شکل 3-3 الگوی XRD نمونه سنتز شده TiO_2 49
شکل 3-4 تصویر میکروسکوپ الکترونی (TEM) از نمونه سنتز شده TiO_2 51
شکل 3-5 الگوی XRD نمونه سنتز شده TiO_2-Ag 52
شکل 3-6 تصویر میکروسکوپ الکترونی (TEM) از نمونه سنتز شده TiO_2-Ag 54
شکل 3-7 طیف جذبی متیل فنیل سولفید در آب.....55
شکل 3-8 طیف جذبی 2-مرکاپتوبنزایمیدازول در آب.....55
شکل 3-9 نمودار تغییرات درصد کاهش فوتوکاتالیستی محلول متیل فنیل سولفید با گذشت زمان در شرایط مختلف.....56
شکل 3-10 نمودار تغییرات درصد کاهش فوتوکاتالیستی MPS با گذشت زمان به ازای مقادیر مختلف فوتوکاتالیزورCuO.....57
شکل 3-11 نمودار تغییرات جذب MPS بر حسب طول موج در طول زمان تابش با فوتوکاتالیزور CuO.....58
شکل 3-12 نمودار تغییرات جذب MPS بر حسب طول موج در طول زمان تابش با فوتوکاتالیزور CuO.....59
شکل 3-13 نمودار میزان حذف MPS با زمان تابش به ازای غلظت های مختلف MPS با فوتوکاتالیزورCuO 60
شکل 3-14 نمودار تغییرات درصد کاهش فوتوکاتالیستی محلول MBI با گذشت زمان در شرایط مختلف.....61
شکل 3-15 نمودار تغییرات درصد کاهش فوتوکاتالیستی MBI با گذشت زمان به ازای مقادیر مختلف فوتوکاتالیزورCuO.....62
شکل 3-16 نمودار تغییرات جذب MBI بر حسب طول موج در طول زمان تابش با فوتوکاتالیزور CuO 63
شکل 3-17 نمودار میزان حذف MBI با زمان تابش به ازای غلظت های مختلف MBI با فوتوکاتالیزور CuO 64

شکل 3-18 نمودار تغییرات در صد کاهش فوتوکاتالیستی محلول MPS با گذشت زمان در شرایط مختلف.....66

شکل 3-19 نمودار تغییرات درصد کاهش فوتوکاتالیستی MPS با گذشت زمان به ازای مقادیر مختلف فوتوکاتالیزور TiO_2 و TiO_2-Ag.....۶۷

شکل 3-20 نمودار تغییرات جذب MPS بر حسب طول موج در طول زمان تابش با فوتوکاتالیزور TiO_2 و TiO_2-Ag.....۶۸

شکل 3-21 نمودار مقایسه تخریب MPS در طول زمان تابش توسط TiO_2 و TiO_2-Ag 69

شکل 3-22 نمودار تغییرات جذب MPS بر حسب طول موج در طول زمان تابش در شرایط مختلف.....70

شکل 3-23 نمودار میزان حذف مرکاپتان با زمان تابش به ازای غلظت‌های مختلف MPS 71

شکل 3-24 نمودار تغییرات در صد کاهش فوتوکاتالیستی MBI با گذشت زمان در شرایط مختلف.....72

شکل 3-25 نمودار تغییرات در صد کاهش فوتوکاتالیستی MBI با گذشت زمان به ازای مقادیر مختلف فوتوکاتالیزور.....73

شکل3-26 نمودار تغییرات جذب MBI بر حسب طول موج در طول زمان تابش در شرایط مختلف.....74

شکل 3-27 نمودار مقایسه‌ای تخریب MBI در طول زمان تابش توسط TiO_2 و TiO_2-Ag 75

شکل 3-28 نمودار میزان حذف مرکاپتان با زمان تابش به ازای غلظت‌های مختلف MBI 76

انرژی باند گپ..... Band Gap Energy (E_{bg})

میکروسکوپ الکترونی روبشی..... Scanning Electron Microscope(SEM)

میکروسکوپ الکترونی تراگسیل..... Transmission Electron Microscope(TEM)

پراش پرتو ایکس..... X-Ray Diffraction(XRD)

پایین ترین اوربیتال مولکولی اشغال نشده ..... Lowest unoccupied molecular orbital (LUMO)

اکسیژن محلول..... Dissolved Oxygen (DO)

تترا ایزوپروپیل اورتوتیتانات..... Tetra Isopropyl Ortotitanat (TIP)

متیل فنیل سولفید ..... Methyl Phenyl Sulfide (MPS)

2-مرکاپتو بنزایمیدازول..... 2-Mercapto Benz Imidazol (MBI)

فصل اول

"مقدمه و تئوری"

مقدمه

نانوفناوری در تعریف بسیار ساده، یعنی تکنولوژی‌هایی که در ابعاد نانومتر عمل می‌کنند. نانومتر واحد اندازه‌گیری است و برابر با 10^{-9} متر یا یک میلیاردم متر است. اندازه اتم‌ها و مولکول‌ها در این محدوده قرار دارد. بنابراین با ورود به این فضای کوچک بشر می‌تواند در نحوه آرایش و چینش اتم‌ها و مولکول‌ها دخالت کند و به ساخت مواد جدید و ساختارهایی متفاوت که تاکنون وجود داشته است، بپردازد. نانوفناوری که از دو کلمه «نانو» و «فناوری» تشکیل شده است به معنای توسعه، ساخت، طراحی و استفاده از محصولاتی است که اندازه آنها در حد یک تا صد نانومتر قرار دارند. در حقیقت نانو فناوری یک فناوری جدید نیست، بلکه یک مقیاس جدید در فناوری‌ها و رویکردی تازه درتمام رشته‌ها است، و این توانایی را به بشر می‌دهد، که بتواند دخالت خود را در ساختار مواد گسترش دهد و در ابعاد بسیار ریز به ساخت و طراحی اقدام کند. این توانایی می‌تواند در تمام فناوری‌هایی که بشر تاکنون به آن دست یافته است، اثر گذار باشد.

1-1 تاریخچه نانوذرات

اولین جرقه فناوری نانو در سال 1959 یعنی در حدود 50 سال پیش زده شد. در این سال ریچارد فاینمن[1]، متخصص کوانتوم نظری و دارنده جایزه نوبل، طی یک سخنرانی با عنوان «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» ایده فناوری نانو را مطرح ساخت. او فرض را بر این قرار داد که اگر دانشمندان فرا گرفته‌اند چگونه ترانزیستورها و دیگر سازه‌ها را با مقیاس های کوچک بسازند، پس ما حتما خواهیم توانست که آنها را کوچک و کوچکتر کنیم. وی این نظریه را ارائه داد که در آینده‌ای نزدیک می‌توانیم مولکول‌ها و اتم‌ها را به صورت مستقیم دستکاری کنیم.

واژه فناوری نانو اولین بار توسط نوریوتانیگوچی[2] استاد دانشگاه علوم توکیو در سال 1974 بر زبان‌ها جاری شد. او این واژه را برای توصیف ساخت مواد و وسایل دقیقی که ابعاد آنها در حد نانومتر می‌باشد، به کار برد. در سال 1986 این واژه توسط اریک کسلر[3] در کتابی تحت عنوان: «موتور آفرینش: آغاز دوران فناوری نانو» بازآفرینی و تعریف مجدد کرد. وی این واژه را به شکل عمیق تری در رساله‌ی دکترای خود مورد بررسی قرار داد و بعدها آنرا در کتابی تحت عنوان «نانو سیستم‌ها ماشین‌های مولکولی چگونگی ساخت و محاسبات آنها» منتشر کرد[1].

1. Richard Fieman
2. Norio Taniguchi
3. Eric Kessler

2-1 فناوری نانو یا نانو تکنولوژی

اگرچه هنوز نانوفناوری در آغاز حیات خود قرار دارد، ولی در همین چند سال اخیر امیدهای زیادی را بین دانشمندان برای دستیابی به مواد با قابلیت‌های بالا و ساخت محصولات با عمر و کیفیت مناسب ایجاد کرده است. به عنوان مثال نانوتیوپ‌های کربنی ماده‌ای در اختیار بشر قرار داد که رساناتر از مس، مقاومتر از فولاد و سبکتر از آلومینیوم است. همچنین با استفاده از نانوذرات که رایج ترین عناصر در علم و فناوری نانو بوده می‌توان سطوح خود تمیز شونده یا همیشه تمیز ساخت و رباپش مغناطیسی را چندین برابر نمود. اگر بپذیریم که نانو فناوری، توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید با در دست گرفتن کنترل در سطوح مولکولی، اتمی و یا استفاده از خواص آن سطوح باشد، آنگاه درمی‌یابیم که کاربردهای این فناوری، در حوزه‌های مختلف اعم از غذا، دارو، تشخیص پزشکی، فناوری زیستی، الکترونیک، کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، انرژی، محیط زیست، مواد، هوافضا و غیره خواهد بود[2].

سنتز شیمیایی و فرآیندهای حالت جامد نظیر آسیاب کردن و چگالش بخار روش‌های معمول برای ساخت نانو ذرات هستند . کنترل فرآیند تولید برای رسیدن به نانو ذرات با خواص مناسب امری بدیهی است، در همین راستا مشخصات نانو ذرات با روشهای آنالیز میکروسکوپی، ساختاری و تعیین اندازه و سطح و ...بررسی می‌شود.

نانوذرات علاوه.بر نوع فلزی، عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها، نانوذرات ترکیبی نظیر ساختارهای هسته‌لایه را نیز در بر می‌گیرند. همچنین نانوکره‌ها[1]، نانومیله‌ها[2] و نانوفنجان‌ها[3] تنها اشکالی از نانوذرات در نظر گرفته می‌شوند. نانو خوشه‌ها[4]، نانو بلورها و نقاط کوانتومی[5] نیمه‌هادی نیز زیر مجموعه نانوذرات هستند. چنین نانو ذراتی در کاربردهای بیودارویی[6] به عنوان حامل دارو و عوامل تصویربرداری استفاده می‌شوند. گوناگونی مواد نانو ذره‌ای به اندازه تنوع کاربردهای آنها است، زمینه‌هایی که نانو ذرات کاربرد دارند، عبارتند از: افزودنی‌های سوخت و مواد منفجره، روان کننده‌ها، کاتالیزورها، محافظت کننده‌ها، لوازم آرایشی، مواد کامپوزیت، ساینده‌ها، صنایع بسته‌بندی، روکش‌ها، دارورسانی، پزشکی و دارو سازی و تشخیص پزشکی، آنالیز زیستی و کاربرد نانوذرات در باتری‌ها و پیل‌های سوختی[3].

1. Nanosphere
2. Nanorode
3. Nanocup
4. Nanocluster
5. Quantum points
6. Biomedical

1-3 روشهای ساخت نانو ذرات

برای تولید نانوذرات روش‌های بسیار متنوعی وجود دارد. این روش‌ها اساسا به سه گروه تقسیم می‌شوند:

1-3-1 سنتز شیمیایی

در روش سنتز شیمیایی، نانو ذرات در یک محیط مایع که حاوی انواع واکنشگرها است رشد می‌کنند. روش سل-ژل[1] نمونه چنین روشی است، در روش‌های شیمیایی اندازه نهایی ذره را می‌توان با توقف فرآیند هنگامی که اندازه مطلوب به دست آمد یا با انتخاب مواد شیمیایی تشکیل دهنده ذرات پایدار و توقف رشد در یک اندازه خاص کنترل نمود. این روشها معمولا کم هزینه و پر حجم هستند، اما آلودگی حاصل از مواد شیمیایی می‌تواند یکی از مشکلات این روش باشد.

1-3-2 چگالش از یک بخار

روش چگالش از یک بخار شامل تبخیر یک فاز جامد و سپس چگالش سریع آن برای تشکیل خوشه‌های نانومتری است که به صورت پودر ته نشین می‌شوند. مهمترین مزیت این روش کم بودن مقدار آلودگی آن است. در نهایت اندازه ذره با تغییر پارامترهایی نظیر دما و محیط گاز و سرعت تبخیر کنترل می‌شود. روش تبخیر در خلاء بر روی مایعات روان و روش سیم انفجاری جزء روش-های چگالش از یک بخار محسوب می‌شوند.

1-3-3 فرآیندهای حالت جامد

خواص نانو ذرات حاصل از روش فرآیندهای جامد نظیر آسیاب یا پودر کردن، تحت تاثیر نوع ماده آسیاب کننده، زمان آسیاب و محیط اتمسفری آن قرار می‌گیرد [4].

1-4 تعیین مشخصات

تعیین مشخصات نانوذرات برای کنترل سنتز و کاربرد آنها ضروری است. خواص این ترکیبات با استفاده از روش‌های گوناگونی نظیر میکروسکوپ‌های الکترونی، میکروسکوپ نیروی اتمی[2] AFM، طیف سنجی فوتوالکترون، پراش پرتو X (XRD)[3] و طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه[4] (FT-IR) و همچنین روش‌های تعیین اندازه و سطح ویژه ذرات سنجیده می‌شود [5].

1. Sol-gel
2. Atomic Force Microscope
3. X-Ray Diffraction
4. Fourier Transform Infra red Spectroscopy

1-5 طبقه‌بندی نانوذرات بر اساس ابعاد

ذرات در مقیاس نانو بر اساس ابعادشان به سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند[7-6].

1-5-1 نانوذره

نانو ذره همان گونه که از نام آن مشخص است ذراتی با ابعاد نانومتری در هر بعد می‌باشند و خواص فیزیکی و شیمیایی آنها از مواد در ابعاد درشت متفاوت است. نانوذرات می‌توانند از مواد مختلفی تشکیل شوند، مانند نانوذرات فلزی، سرامیکی و غیره.

2-5-1 نانولوله‌ها

ذراتی که دو بعد آنها در مقیاس نانو قرار دارد و بعد سوم بزرگتر بوده و تشکیل ساختار طویلی را می‌دهند. این ترکیبات به عنوان نانولوله، نانوالیاف و نانومیله نیز نامیده می‌شوند.

3-5-1 نانو لایه‌ها

ذراتی که یک بعد آنها در مقیاس نانو است که تحت عنوان نانولایه یا نانوورق شناخته می‌شوند. این مواد به صورت ورق در اندازه یک تا چند نانومتر در ضخامت، و دارای صد تا هزار نانومتر درازا می‌باشند. سیلیکات‌های لایه‌ای و هیدروکسیدهای دو لایه‌ای از این دسته هستند.

1-6 متداولترین نانوذرات

1-6-1 نانوذرات نیمه رسانا[1]

نقطه کوانتومی، یک ناحیه از بلور نیمه‌رسانا است که الکترون‌ها، حفره‌ها یا هر دو آنها را در سه بعد در بر می‌گیرد. این ناحیه از چند نانومتر تا چند صد نانومتر را شامل می‌شود. در نقاط کوانتومی الکترون‌ها درست مثل وضعیت یک اتم موقعیت‌های گسسته‌ای از انرژی را اشغال می‌کنند. به همین علت به آنها لفظ اتم‌های مصنوعی[2] نیز اطلاق می‌شود.

1. Semiconductors
2. Artificial atoms

در مقایسه با سیم کوانتومی که در دو بعد و لایه‌های کوانتومی که در یک بعد نانو هستند، نقاط کوانتومی نانوساختارهای سه بعدی به شمار می‌روند. همچنین این ترکیبات به دلیل بازده کوانتومی بالا در مصارف اپتیکی کاربرد زیادی دارند. نقاط کوانتومی نیمه‌هادی با تحریک الکتریکی یا توسط گستره وسیعی از طول موج‌ها در فرکانسهای کاملا مشخصی به فلورسانس می‌پردازند، به این شکل که فرکانسی از نور را جذب کرده و در فرکانسی مشخص که تابع اندازه آن‌هاست، به نشر[1] نور می‌پردازند. این ذرات همچنین می‌توانند بر حسب ولتاژ اعمال شده، به انعکاس[2]، انکسار[3] یا جذب نور[4] بپردازند. این ویژگی کاربردهایی در مواد فتوکرومیک و الکتروکرومیک (موادی که به ترتیب بر اثر اعمال نور یا الکتریسیته تغییر رنگ می‌دهند) و پیل‌های خورشیدی خواهد داشت. از کاربردهای بالقوه که برای نقاط کوانتومی می‌توان نام برد عبارتند از لیزرهای دارای طول موج‌های بسیار دقیق، نشانگر-های زیستی و کامپیوترهای کوانتومی [8].

1. Emission
2. Reflection
3. Diffraction
4. Light absorbance

2-6-1 نانوذرات سرامیکی

معمول‌ترین نانوذرات، نانوذرات سرامیکی هستند که به سرامیک‌های اکسید فلزی، نظیر اکسیدهای تیتانیوم، روی، آلومینیوم و آهن که عموما به شکل ذرات نانو هستند تقسیم می‌شوند. طبق تعریف حداقل باید یکی از ابعاد نانوذرات کمتر از 100 نانومتر باشد. نانوذرات سرامیکی فلزی یا اکسید فلزی تمایل به داشتن اندازه یکسانی در هر سه بعد، از دو تا 100 نانومتر می‌باشند که به وسیله نیروهای الکترواستاتیک به یکدیگر چسبیده و به شکل پودر بسیار ریزی رسوب می‌کنند.

نانوذرات سیلیکاتی ذراتی با ضخامت تقریبا 1 نانومتر و پهنای 100 تا 1000 نانومتر هستند. معمول‌ترین نانوذرات سیلیکاتی از نوع خاک رس، مونت‌موریلونیت یا آلومینوسیلیکات لایه‌ای است[9].

وقتی اندازه نانوذرات کاهش می‌یابد، نسبت سطح مؤثر به حجم ذرات افزایش یافته، اثرات سطحی قوی‌تر شده و خواص کاتالیستی افزایش می‌یابد. به همین دلیل نانوذرات به عنوان کاتالیزور در زمینه‌هایی نظیر باتری‌ها پیل‌های سوختی[1] و انواع فرآیند-های صنعتی قابل استفاده هستند. بیشتر بودن سهم اتم‌ها در سطح نانوذرات نیز خواص فیزیکی آنها را تغییر می‌دهد مثلا سرامیک-هایی که به طور عادی شکننده‌اند، نرم‌تر می‌شوند. باید توجه داشت که افزایش سطح مؤثر، حلالیت را افزایش می‌دهد. اصلاح شیمیایی سطوح نانوذرات تاثیر زیادی در کارایی و کاربرد آنها دارد. ایجاد خواص آبدوستی[2] و آبگریزی[3] جزء روش‌های اصلاح شیمیایی نانوذرات محسوب می‌شوند. برای نمونه، نانوذرات سیلیکاتی برای بدست آوردن خاصیت آب‌گریزی بیشتر، باید به صورت شیمیایی اصلاح شوند، مثلا می‌توان با استفاده از یون‌های آمونیوم یا مولکول‌های بزرگتری نظیر الیگومرهای[4] چند وجهی، که هم برای روکش‌دهی نانوذرات سیلیکات و هم به عنوان پر کننده مناسب هستند، این اصلاح شیمیایی را انجام داد[9].

1. Fuel cell
2. Hydrophilic
3. Hydrophobic
4. Oligomer