بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه الزهراء (س)

دانشکده علوم پایه

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک گرایش ماده چگال

عنوان

ساخت و مشخصه یابی نانوکریستال‌های فریت آلائیده با نانو لوله های کربنی (CNT)

استاد راهنما

آقای دکتر وحید دادمهر

استاد مشاور

خانم دکتر صدیقه دادرس

دانشجو

ستاره نوربخش

بهمن ۱۳۸۹

کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق به

دانشگاه الزهرا(س)است.

سپاسگزاری

اکنون که موفق به گذراندن دوره کارشناسی ارشد شده ام، به جاست که **خداوند منان** را سپاس گویم که هرچه دارم، از اوست؛ متشکرم خدای من که به من توفیق تحصیل علم و فکر کردن و خدمتگزاری عطا فرمودی.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر وحید دادمهر به خاطر حمایت ها، کمک های بی دریغ و راهنمایی های شان سپاسگزارم، هم چنین از استاد مشاورم سرکار خانم دکتر صدیقه دادرس به خاطر همراهی شان تشکر می نمایم.

از **مادر مهربانم** سپاسگزارم که همواره مشوق و پشتیبان من بوده و هستند، از پدر مرحومم که برکت دعای خیرشان را همیشه در زندگی ام لمس کرده ام، ممنونم و از خدای بزرگ برایشان طلب مغفرت می نمایم و از خانواده عزیزم که رهنمودهای بی دریغشان روشن کننده مسیر من در تمام مراحل زندگی می باشد، سپاسگزارم.

از دوستان خوبم خانم ها فائزه آقاخانی و فاطمه گودرزی و تمامی دوستان عزیزم که در آزمایشگاه پژوهشی مغناطیس و ابررسانا که در کنارم بودند، سپاسگزارم، از دوست خوبم خدیجه آلچالانلو که زحمت ویرایش پایان نامه اینجانب را بر عهده گرفتند، قدردانی می نمایم.

از همکاران خوبم در مؤسسه فرهنگی و اطلاع رسانی تبیان به خصوص خانم نسرین صادقی و مریم فروزان کیا و الناز فطیر خورانی و طیبه موسیوند به خاطر حمایت هایشان سپاسگزارم و در پایان برای همه عزیزان آرزوی توفیق دارم.

چکیده:

در این تحقیق، نمونه خالص γ -Fe_2O_3 و کامپوزیت γ -Fe_2O_3 - MWCNTs با درصدهای وزنی ۱۰، ۳۰، ۴۵ و ۵۰ از نانولوله های کربنی به روش سل ژل تهیه گردید، برای جلوگیری از ورقه ورقه شدن درصدهای کم تر از ۵۰درصد انتخاب شد.

نمونه های به دست آمده از نظر ساختاری به وسیله الگوی پراش XRD و تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM مورد شناسایی قرار گرفتند و مشخصات مغناطیسی آن ها به وسیله دستگاه VSM مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیزهای انجام شده نشان می دهد که اندازه تمامی کریستال های فوق در محدوده کم تر از ۲۰ nm قرار دارد و با افزایش مقدار نانولوله های کربنی در کامپوزیت اندازه نانوفریت ها کوچک تر می شوند. نانوفریت ها می توانند داخل و خارج نانولوله های کربنی قرار بگیرند، ساختار نانولوله های کربنی در طی فرایندهای گرمایی تغییر نکرده است. نتیجه آزمون VSM نمونه ها و رسم منحنی پس ماند نمونه خالص و چهار کامپوزیت، تغییر خواص از فرومغناطیس به سوپرپارامغناطیس را نشان می دهد و در کامپوزیت ها با افزایش مقدار نانولوله های کربنی، مقدار مغناطش نمونه ها کاهش یافته است.

این تحقیق به صورت پوستر در دهمین کنفرانس ماده چگال انجمن فیزیک ایران در روزهای ۶ و ۷ در شیراز ارائه شده است.

فهرست

فصل اول

۱-۱- فناوری نانو چیست؟..... ۲

۱-۱-۱-تاریخچه ۲

۱-۱-۲-اهمیت مقیاس نانو..... ۳

۱-۱-۳-طبقه بندی روش های تولید نانو ذرات..... ۴

۱-۲-نانولوله های کربنی..... ۵

۱-۲-۱-کشف نانولوله های کربنی..... ۵

۱-۲-۲-ساختار نانولوله های کربنی ۵

۱-۲-۳-انواع نانولوله های کربنی ۷

۱-۲-۳-۱-نانولوله کربنی تک جداره..... ۷

۱-۲-۳-۲-نانولوله های چند جداره..... ۸

۱-۲-۴-خواص نانولوله ها..... ۸

۱-۲-۴-۱-واکنش پذیری شیمیایی ۹

۱-۲-۴-۲-استحکام..... ۹

۱-۲-۴-۳-خواص حرکتی ۱۰

۱-۲-۴-۴-خواص الکتریکی ۱۰

۱-۲-۴-۵-خواص حرارتی ۱۱

۱-۲-۵-روش های تخلیص نانولوله های کربنی ۱۱

۱-۲-۵-۱-مقدمه ۱۱
۱-۲-۵-۱-اکسیداسیون ۱۱
۱-۲-۵-۳-خالص سازی با اسید ۱۲
۱-۲-۵-۴-پخت یا عملیات حرارتی ۱۳
۱-۲-۵-۵-آلتراسونیک ۱۳
۱-۲-۵-۶-تخلیص مغناطیسی ۱۴
۱-۲-۵-۷-میکروفیلتراسیون ۱۵
۱-۲-۵-۸-برش نانولوله ها ۱۶
۱-۲-۵-۹-فعال سازی ۱۶
۱-۲-۵-۱۰-کروماتوگرافی ۱۷
۱-۲-۵-۱۱-نتیجه گیری ۱۷
۱-۳-خواص مغناطیسی جامدات ۱۸
۱-۳-۱-میدان مغناطیسی در مواد مغناطیسی ۱۸
۱-۳-۲-خواص مغناطیسی جامدات: ۱۹
۱-۳-۲-۱-اجسام دیامغناطیس و پارامغناطیس: ۱۹
۱-۳-۲-۲-اجسام فرومغناطیس: ۲۱
۱-۳-۳-خواص مغناطیسی اتم ها؛ ممان مغناطیسی مداری یک اتم: ۲۶
۱-۳-۳-۱-ممان مغناطیسی اسپین یک اتم: ۲۹
۱-۳-۳-۲-ممان مغناطیسی هسته: ۳۰

۱-۳-۳-۳-ممان مغناطیسی کلی یک اتم: ۳۰
۱-۳-۴-طبقه بندی مواد مغناطیسی: ۳۳
۱-۳-۴-منشأ فرومغناطیس؛ حامل های مقدماتی فرومغناطیس: ۳۴
۱-۳-۴-۱-نقش بر هم کنش تبادل در فرومغناطیس: ۳۷
۱-۳-۴-۲-ساختار منطقه ای اجسام فرومغناطیس: ۴۰
۱-۳-۴-۳-نظم مغناطیسی ۴۲
۱-۳-۴-۳-تحلیلی کیفی از منحنی مغناطیس شدگی: ۴۶
۱-۳-۵-فری مغناطیس؛ فریت ها: ۴۸
۱-۳-۶-پدیده ابرپارامغناطیس در نانو ذرات ۵۱
۱-۳-۷-جمع بندی ۵۳
۲-۱-سل ژل ۵۵
۲-۱-۱-تعریف سل و ژل ۵۵
۲-۱-۲-فرایند سل ژل ۵۵
۲-۱-۲-۱-مسیر الکوکسیدی ۵۶
۲-۱-۲-۲-مسیر کلوئیدی ۵۷
۲-۱-۳-مراحل فرایند سل ژل ۵۸
۲-۱-۳-۱-مخلوط کردن پیش ماده ها ۵۸
۲-۱-۳-۱-شکل دهی ۵۹
۲-۱-۳-۳-ژل شدن ۵۹
۲-۱-۳-۴-کهنه شدن ژل ۶۰
۲-۱-۳-۵-خشک کردن ۶۱
۲-۱-۳-۶-آب زدایی یا تثبیت شیمیایی ۶۱

۲-۱-۳-۷-متراکم کردن ۶۱
۲-۲-تخلیص نانولوله های کربنی ۶۲
۲-۲-۱-روش های تخلیص نانولوله های کربنی ۶۲
۲-۲-۲-اسید شویی نانولوله های کربنی ۶۳
۲-۳-آنالیزهای انجام شده ۶۳
۲-۳-۱-طیف پراش اشعه ایکس (XRD) ۶۳
۲-۳-۲-میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۶۶
۲-۳-۳-آنالیز مغناطیسی (VSM) ۶۹
۲-۳-۳-۱-مغناطیس‌سنجی ۶۹
۲-۳-۳-۲-مغناطیس سنج نمونه مرتعش ۶۹
۲-۳-۳-۳-قسمت های اصلی یک مغناطومترنمونه مرتعش VSM ۷۰
۲-۳-۳-۴-مشخصات فنی دستگاه VSM سری جدید شرکت مغناطیس کویرکاشانa_1 ..... ۷۱
۲-۴-آزمایش ها ۷۲
۲-۴-۱-تهیه نانو پودر فریت ۷۲
۲-۴-۲-تهیه نانو کامپوزیت γ- Fe_2O_3 – MWCNTs ۷۵
۲-۵-جمع بندی ۷۶
۳-۱-مقدمه ۷۸
۳-۲-نانو ذرات اکسید آهن ۷۸
۳-۲-۱-نانو ذرات اکسید آهن فاز گاما ۷۸
۳-۲-۱-۱-آنالیز XRD نانو ذرات γ- Fe_2O_3 ..... ۷۸
۳-۲-۱-۲-آنالیز SEM نانو ذرات γ- Fe_2O_3 ..... ۸۰

۳-۲-۱-۳-آنالیز VSM نانو ذرات γ- Fe_2O_3 ..... ۸۱
۳-۲-۲-نانو ذرات اکسید آهن فاز آلفا α- Fe_2O_3 ..... ۸۳
۳-۲-۲-۱-آنالیز XRD نانو ذرات α- Fe_2O_3 ..... ۸۳
۳-۳-نانوکامپوزیت های MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با درصد های وزنی متفاوت نسبت به کل ماده..... ۸۵
۳-۳-۱-نانو کامپوزیت MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۱۰ درصد وزنی نانولوله ۸۵
۳-۳-۱-۱-آنالیز XRD نانو ذرات MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۱۰ درصد وزنی نانولوله ۸۵
۳-۳-۱-۲-آنالیز SEM نانو ذرات MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۱۰ درصد وزنی نانولوله..... ۸۷
۳-۳-۱-۳-آنالیز VSM نانو ذرات MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۱۰ درصد وزنی نانولوله..... ۸۹
۳-۳-۲-نانو کامپوزیت MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۳۰ درصد وزنی نانولوله ۹۱
۳-۳-۲-۱-آنالیز XRD نانو ذرات MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۳۰ درصد وزنی نانولوله ۹۱
۳-۳-۲-۲-آنالیز VSM نانو ذرات MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۳۰ درصد وزنی نانولوله ۹۲
۳-۳-۳-نانو کامپوزیت MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۴۵ درصد وزنی نانولوله ۹۴
۳-۳-۳-۱-آنالیز XRD نانو ذرات MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۴۵ درصد وزنی نانولوله ۹۴
۳-۳-۳-۲-آنالیز VSM نانو ذرات MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۴۵ درصد وزنی نانولوله ۹۵
۳-۳-۴-نانو کامپوزیت MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۵۰ درصد وزنی نانولوله ۹۷
۳-۳-۴-۱-آنالیز XRD نانو ذرات MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با ۵۰ درصد وزنی نانولوله ۹۷
۳-۳-۴-۲-آنالیز VSM نانو ذرات MWCNTs– Fe_2O_3 -γ با درصد وزنی ۵۰ نانولوله ۹۸
۳-۴-تحلیل کل نمونه ها ۱۰۰
۳-۴-۱-تحلیل نمودار XRD نمونه ها ۱۰۰
۳-۴-۲-تحلیل نمودارهای VSM تمام نمونه ها..... ۱۰۲
۳-۵-جمع بندی ۱۰۵
پیشنهاد ادامه کار..... ۱۰۷

مراجع ١٠٨

فهرست جدول ها و نمودارها

فصل اول

جدول ۱-۱ پذیرفتاری مغناطیسی برخی از مواد

جدول ۱-۲ ذکر مثال هایی از معلومات مربوط به اسپین آرایش لایه 3d

فصل سوم

نمودار ۳-۱. نمودار اندازه دانه ها بر حسب مقدار نانولوله کربنی در نمونه

نمودار ۳-۲. مقدار مغناطش در دمای اتاق برای کامپوزیت های مختلف

جدول ۳-۱. اندازه بلورک ها با استفاده از رابطه شرر

جدول ۳-۲. مقدار ثابت شبکه نانوکامپوزیت ها و نمونه خالص

جدول ۳-۳. مقدار مغناطش برای کامپوزیت های مختلف

فهرست شکل ها

فهرست شکل های فصل اول

شکل۱-۱. انواع نانولوله های کربنی

شکل ۱-۲. دیاگرام شماتیک یک دستگاه تخلیص مغناطیسی

شکل ۱-۳. دیاگرام شماتیک یک ظرف میکروفیلتراسیون

شکل ۱ـ۴ـ مغناطیس شدگی m برحسب شدت H میدان مغناطیسی

شکل ۱ـ۵ـ آهنربایش اجسام فرومغناطیس

شکل ۱-۶ – حلقه هیستریزیس

شکل ۱ـ۸، منحنی تغییرات ماکزیمم مغناطیس شدگی

شکل ۱ـ۹ـ ممان مغناطیسی مداری μ_l و متمم زاویه‌ای مداری P_l یک الکترون

شکل ۱ـ۱۰ـ طرح نمایش ممان های مغناطیسی اتمی در مواد

شکل ۱ـ۱۱ـ تجربیات دربارهٔ نوع فرومغناطیس

شکل ۱ـ۱۲ـ آهنربایی خودبخودی یک جسم فرومغناطیس

شکل ۱ـ۱۳- وابستگی انتگرال تبادل با نسبت پارامتر شبکه بر قطر لایهٔ ناقص 3d، در عناصر انتقالی گروه آهن.

شکل ۱ـ۱۴ـ فرومغناطیس تقسیم شده به مناطق (نواحی آهنربایش خودبخودی)

شکل ۱ـ۱۵ـ ساختار لایه‌های مرزی که دو منطقه را از هم مجزا می‌کند (جداره های بلوخ)

شکل ۱ـ۱۶ـ فرایندهای مربوط به مغناطیس شدن یک بلور

شکل ۱ـ۱۷ـ طرح مغناطیس شدگی یک جسم فرو مغناطیس

فهرست شکل های فصل دوم

شکل ۲-۱ . فرایند سل ژل و محصولات آن

شکل ۲-۲ .مسیر کلوئیدی فرایند سل ژل و محصولات آن

شکل ۲-۳ . مراحل مختلف فرایند سل ژل

شکل ۲-۴ . نمایی ساده از طیف پراش اشعه ایکس

شکل ۲-۵ . دستگاه مغناطیس سنجی

فهرست شکل های فصل سوم

شکل ۳-۱. الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به γ- Fe_2O_3

شکل ۳-۲. الف. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به γ- Fe_2O_3

شکل ۳-۲.ب. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به γ- Fe_2O_3

شکل ۳-۳. منحنی پسماند نمونه خالص γ-Fe_2O_3

شکل ۳-۴. الگوی پراش اشعه ایکس α- Fe_2O_3

شکل ۳-۵. الگوی پراش اشعه ایکس نانو کامپوزیت γ- Fe_2O_3 –MWCNTs

شکل ۳-۶ .الف. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی γ- Fe_2O_3 –MWCNTs با ۱۰ درصد وزنی نانولوله

شکل ۳-۶ .ب. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی γ- Fe_2O_3 –MWCNTs با ۱۰ درصد وزنی نانولوله

شکل ۳-۶ .ج. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی γ- Fe_2O_3 –MWCNTs با ۱۰ درصد وزنی نانولوله

شکل ۳-۷ منحنی پسماند کامپوزیت γ- Fe_2O_3 –MWCNTs با ۱۰ درصد وزنی نانولوله

شکل ۳-۸ . الگوی پراش اشعه ایکس نانو کامپوزیت γ- Fe_2O_3 –MWCNTs با ۳۰ درصد وزنی نانولوله

شکل ۳-۹ منحنی پسماند کامپوزیت γ- Fe_2O_3 –MWCNTs با ۳۰ درصد وزنی نانولوله

شکل ۳-۱۰ . الگوی پراش اشعه ایکس نانو کامپوزیت γ- Fe_2O_3 –MWCNTs با ۴۵ درصد وزنی نانولوله

شکل ۳-۱۱ منحنی پسماند کامپوزیت γ- Fe_2O_3 –MWCNTs با ۴۵ درصد وزنی نانولوله

شکل ۳-۱۲ . الگوی پراش اشعه ایکس نانو کامپوزیت γ- Fe_2O_3 –MWCNTs با ۵۰ درصد وزنی نانولوله

شکل ۳-۱۳ منحنی پسماند کامپوزیت γ- Fe_2O_3 –MWCNTs با ۵۰ درصد وزنی نانولوله

شکل ۳-۱۴ . الگوی پراش اشعه ایکس نانو کامپوزیت های γ- Fe_2O_3 –MWCNTs

شکل ۳-۱۵ . منحنی پسماند نمونه کامپوزیت های γ-Fe_2O_3 – MWCNT

فصل اول

مقدمه

۱-۱-فناوری نانو چیست؟

به طور کلی این فناوری عبارت از کاربرد ذرات در ابعاد نانو است. یک نانومتر، یک میلیاردم متر است. از دو مسیر به این ابعاد می توان دسترسی پیدا کرد. یک مسیر دسترسی از بالا به پایین و دیگری طراحی و ساخت از پایین به بالا است. در نوع اول، ساختارهای نانو با کمک ابزار و تجهیزات دقیق، از خرد کردن ذرات بزرگ تر حاصل می شوند. در طراحی و ساخت از پایین به بالا که عموماً آن را فناوری مولکولی نیز می نامند، تولید ساختارها، اتم به اتم و یا مولکول به مولکول تولید و صورت می گیرند.

۱-۱-۱-تاریخچه

ریچارد فاینمن[1] برنده جایزه نوبل فیزیک در سال ۱۹۵۶ و یکی از مشهورترین فیزیکدان های دهه ۶۰ میلادی که ملقب به پدر علم نانوتکنولوژی است، در سال ۱۹۶۰ در همایش جامعه فیزیک امریکا طی یک سخنرانی پیش بینی انقلابی و جذابی را بیان نمود که "فضای زیادی در پایین وجود دارد." وی در این سخنرانی این نکته را بیان نمود که اصول علم فیزیک، چیزی جز امکان ساختن اتم به اتم اشیاء را بیان نمی کند. در دهه ۵۰ و ۶۰ میلادی فعالیت های زیادی روی ذرات فلزی کوچک در حال انجام بود. در ان زمان این فعالیت ها را نانوتکنولوژی نمی نامیدند. تولید سیلیکان متخلخل در سال ۱۹۵۶ و یا کار روی تولید ذرات نانومتری فلزات قلیایی به وسیله تبخیر فلز سدیم و پتاسیم و چگالش سریع آن ها از جمله این فعالیت ها بود[1].

پیشوند نانو در اصل، یک کلمه یونانی است معادل لاتین این کلمه Dwarf است که به معنی کوتوله است. این پیشوند در علم مقیاس ها به معنی یک میلیاردم متر است، بنابراین یک نانومتر، یک

[1] Richard Feynman

میلیاردم متر است. کوچک ترین اشیای قابل دید توسط چشم غیرمسلح، اندازه ای حدود ۱۰۰۰۰ نانومتر است. فقط حدود ۱۰ اتم هیدروژن کنار هم حدود یک نانومتر را می سازند[۲].

۱-۱-۲-اهمیت مقیاس نانو

با گذر از میکرو ذرات به نانوذرات، با تغییر بر خی از خواص فیزیکی روبه رو می شویم که دو مورد مهم از آن ها عبارتند از: افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم و ورود اندازه ذره به قلمرو اثرات محدودیت کوانتومی[۳].

افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم که به تدریج با کاهش اندازه ذره رخ می دهد، باعث غلبه یافتن رفتار اتم های واقع در سطح ذره به رفتار اتم های درونی می شود. این پدیده بر خصوصیات ذره در حالت انزوا و بر تعاملات آن با دیگر مواد اثر می گذارد. افزایش سطح، واکنش پذیری نانوذرات را به شدت افزایش می دهد؛ زیرا تعداد مولکول ها یا اتم های موجود در سطح در مقایسه با تعداد اتم ها یا مولکول های موجود در توده بسیار زیاد است، به گونه ای که این ذرات به شدت تمایل به کلوخه ای شدن دارند. مساحت سطحی زیاد، عاملی کلیدی در کارکرد کاتالیزوها و ساختارهایی همچون الکترودها است[۱].

علاوه بر این، افزایش سطح ذرات، فشار سطحی را کاهش داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا فاصله بین اتم های ذرات می شود. تغییر در فاصله بین اتم های ذرات و نسبت سطح به حجم بالا در نانوذرات، تأثیر متقابلی در خواص ماده دارد. تغییر در انرژی آزاد سطح، پتانسیل شیمیایی را تغییر می دهد. این امر در خواص ترمودینامیکی ماده (مثل نقطه ذوب) تأثیر گذار است[۴].

به محض آن که ذرات به اندازه کافی کوچک شوند، رفتار مکانیک کوانتومی از خود بروز می دهند. خواص نقاط کوانتومی مثالی از این دست است. نقاط کوانتومی، کریستال هایی در اندازه نانو هستند که از خود نور ساطع می کنند. انتشار نور توسط این نقاط در تشخیص پزشکی کاربرد های

فراوانی دارد. این نقاط گاهی اتم های مصنوعی نامیده می شوند؛ چون الکترون های آزاد آن ها مشابه الکترون های محبوس در اتم ها، حالات گسسته و مجازی از انرژی را اشغال می کنند.

علاوه بر این، کوچک تر بودن ابعاد نانوذرات از طول موج بحرانی نور، آن ها را نامرئی و شفاف می نماید. این خاصیت باعث شده است تا نانوذرات برای مصارفی چون بسته بندی، مواد آرایشی و روکش ها مناسب باشند.

مواد در مقیاس نانو، رفتار کاملاً متفاوت، نامنظم و کنترل نشده ای از خود بروز می دهند. با کوچک تر شدن ذرات خواص نیز تغییر خواهد کرد. مثلاً فلزات، سخت تر و سرامیک نرم تر می شود[۱].

۱-۱-۳-طبقه بندی روش های تولید نانو ذرات

مواد نانو مقیاس را می توان از دو روش سنتز از بالا و سنتز از پایین تهیه کرد. این بدین معناست که می توان یک ساختار نانومقیاس را با جمع کردن و چیدن اتم ها و یا با شکستن وخرد کردن ذرات درشت تر تهیه کرد.

هم چنین روش های تهیه نانو ذرات را می توان به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم کرد.

روش های فیزیکی بر تقسیم مواد هم چون خرد شدن مکانیکی و غیره است، در حالی که روش های شیمیایی مبتنی بر تجزیه مواد اولیه جهت تشکیل اتم هاست.

نوع دیگری از دسته بندی بر اساس محیط فرایند انجام می پذیرد که روش های فاز بخار، محلول و جامد از آن دسته اند.

۱-۲-نانولوله های کربنی[1]

۱-۲-۱-کشف نانولوله های کربنی

در سال ۲۰۰۶ مارک مونتیوکس[2] و ولادیمیر کوزنشف [3]در مقاله ای در ژورنال کربن به بیان مبدأ و منشأ جالب و اغلب تحریف شده نانولوله ها پرداخته اند[۵]. کشف نانولوله های کربنی را به سومیو ایجیما[4] از NEC در سال ۱۹۹۱ نسبت می دهند. اما تاریخ نانولوله های کربن گرافیتی به گذشته ای دور در سال ۱۹۵۲ بر می گردد. در آن سال رادشکویچ[5] و لوکیانویچ[6] تصاویر واضحی از لوله های ۵۰ نانومتری کربنی را در مجله روسی "شیمی فیزیک" به چاپ رساندند.

کشف نانولوله های کربنی توسط ایجیما[7] در ماده حل نشدنی لوله های گرافیتی سوخته شده[۶] در دوده حاصله از تخلیه قوس الکتریکی دو میله کربنی سرچشمه این کشف مهم است. از آن پس محققین زیادی در سرتاسر جهان به مطالعه و بررسی این نانولوله ها مشغولند.

۱-۲-۲-ساختار نانولوله های کربنی

نانولوله های کربنیCNT یک نوع آلوتروپ کربن هستند. این ساختارها به شکل مولکول استوانه ای هستند و خواص شگفت انگیزی دارند که آن ها را برای به کارگیری در بسیاری از کاربردهای نانوفناوری، الکترونیک، اپتیک و حوزه های دیگر علم مواد مناسب می سازد. این ساختارها دارای استحکام خارق العاده ای بوده، خواص الکتریکی منحصر به فردی دارند و هادی مناسبی برای گرما هستند.

[1] Carbon Nano Tubes(CNT)
[2] Marc Monthioux
[3] Vladimir Kuznestosv
[4] Somio Ijima
[5] Radushkevich
[6] Lukyanvovich
[7] Ijima

یک نانولوله عضوی از خانواده فلورین هاست، که باکیبال ها را نیز شامل می شود. فلورین ها خوشه بزرگی از اتم های کربن در قالب یک قفس بسته هستند و از ویژگی های خاصی برخوردارند که پیش از این در هیچ ترکیب دیگری یافت نشده بودند.

ساختار نانولوله های کربنی، ساختار یک بعدی و درون تهی آن هاست. ساختار یک بعدی آن ها بسیار مورد توجه فیزیکدان هاست، زیرا امکان آزمایشات در فیزیک کوانتوم یک بعدی را برای آن ها فراهم می سازد. ساختار درون تهی آن ها هم بسیار مورد توجه شیمیدان هاست، زیرا امکان در برگیری مولکول ها، واکنش در فضای محصور و رهاسازی کنترل شده مولکول ها برای مصارفی هم چون رساندن دارو به بدن را ایجاد می کند.

نانولوله ها در دو دسته اصلی وجود دارند: نانولوله های تک جداره[1] و نانولوله های چند جداره[2]. نانولوله های تک جداره را می توان به صورت ورقه های بلند گرافیت در نظر گرفت که به شکل استوانه پیچیده شده اند. نسبت طول به قطر نانولوله ها در حدود ۱۰۰۰ بوده و می توان آن ها را به عنوان ساختارهای یک بعدی در نظر گرفت. نانولوله ها تماماً مانند گرافیت از پیوند sp^2 تشکیل شده اند. این ساختار پیوند، از پیوند sp^3 که در الماس وجود دارد قوی تر است و استحکام منحصر بفردی به این مولکول ها می دهد. نانولوله ها معمولاً تحت نیروهای وان دروالس[3] به شکل ریسمان به هم می چسبند.

[1] Single-Walled Carbon Nanotubes (SWCNTs)
[2] Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNts)
[3] Van der waals