



دانشکده مهندسی

پایان نامه ی کارشناسی ارشد در رشته ی مهندسی مواد(گرایش نانومواد)

بررسی رفتار نانوسیال حاوی نانولوله
کربنی اصلاح شده

به وسیله ی
فاطمه احمدپور

اساتید راهنما
دکتر سید مجتبی زبرجد
دکتر کمال جانقربان

اردیبهشت 1391

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

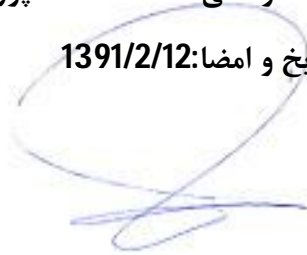
به نام خدا

اظہار نامہ

اینجانب فاطمہ احمد پور (880892) دانشجوی رشته‌ی مهندسی مواد گرایش نانومواد دانشکده‌ی مهندسی اظہار می‌کنم که این پایان نامه حاصل تلاش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظہار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: فاطمہ احمد پور

تاریخ و امضا: 1391/2/12



به نام خدا

بررسی رفتار نانو سیال حاوی نانولوله کربنی اصلاح شده

به وسیله:

فاطمه احمدپور

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی مواد - گرایش نانو مواد

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

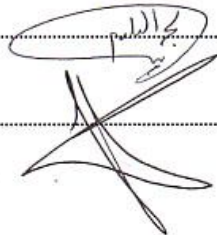
ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی



دکتر سید مجتبی زبرجد، دانشیار بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته)



دکتر کمال جانقربان، استاد بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته)



دکتر محمد ابراهیم بحر العلوم، استاد بخش مهندسی مواد

دکتر حبیب دانش منش، دانشیار بخش مهندسی مواد

اردیبهشت ۱۳۹۱

تقدیرم به تو ای مادر

ای زیباترین واژه زندگی

تقدیرم به تو ای پدر

ای در روز و روزگار

و

تقدیرم به تو ای هر کلمه در بانای زیارت

و نام نیکویش به یادماندگار است

سپاسگزاری

خدایا نه شناخت تو را توان و نه ثنای تو را زبان و نه دریای جلال و کبریایی تو را کران، پس تو را مدح و ثنا چون توان

سپاس و فروتنی به پیشگاه تمام اساتیدی که در طول تحصیل چراغ راهم بودند، به ویژه اساتید راهنمایم جناب آقای دکتر سید مجتبی زبرجد و دکتر کمال جانقربان و اساتید مشاور جناب آقای دکتر محمد ابراهیم بحرالعلوم و دکتر حبیب دانش منش که در انجام این تحقیق مرا یاری نمودند. برخورد لازم می‌دانم از پدر و مادر مهربانم، خواهر و برادران عزیزم که همواره حامی و پشتیبان من بوده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

از دوست عزیزم سرکار خانم مهندس سمانه صاحبیان که از راهنمایی‌ها و دلسوزی‌های ایشان درس‌ها آموختم سپاسگزاری می‌نمایم. همچنین از مسئولین محترم آزمایشگاه‌های مواد پیشرفته و تحقیقاتی شیمی دانشگاه فردوسی مشهد کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

بررسی رفتار نانوسیال حاوی نانولوله کربنی اصلاح شده

به کوشش

فاطمه احمدپور

نانولوله‌های کربنی با دارا بودن خصوصیات ویژه‌ای چون هدایت حرارتی بسیار بالا، چگالی کم، پایداری شیمیایی بالا و سطح ویژه زیاد به عنوان یک ماده بسیار مناسب در ساخت نانوسیالات برای افزایش هدایت حرارتی سیالات معمول به کار می‌روند. پایداری به عنوان مهمترین عامل در تولید نانوسیالات بشمار می‌رود، زیرا ناپایداری نانولوله‌های کربنی در سیال سبب کاهش هدایت حرارتی می‌شود. برای پایداری نانولوله‌های کربنی در حلال‌های قطبی، لازم است تا سطح آبریز آن‌ها توسط عوامل اصلاح کننده، به سطحی آبدوست تبدیل شود. در میان روش‌های موجود برای عامل‌دار نمودن سطح نانولوله‌ها، ایجاد گروه‌های حاوی اکسیژن از طریق اکسایش با اسید روشی مناسب برای بهبود پراکندگی در سیالات قطبی مانند آب است. در این تحقیق در ابتدا فرایند اسید شویی جهت باز نمودن دو سر انتهایی نانولوله کربنی و تشکیل گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل بر روی سطح نانولوله‌های کربنی بکار گرفته شد. نتایج طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) نشان داد با استفاده از این روش گروه‌های عاملی بر روی سطح نانولوله‌های کربنی قرار گرفته‌اند. همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) باز شدن سرهای نانولوله کربنی را نشان داد. در ادامه از نانولوله‌های کربنی به عنوان قالبی برای قرارگیری نانوذرات نقره استفاده شد. همچنین نانوذرات نقره (به علت هدایت حرارتی بالای آن) با دو روش تجزیه حرارتی و احیای شیمیایی بر روی سطح خارجی نانولوله کربنی آرایش یافتند. تصاویر TEM حاکی از پر شدن و آرایش نانولوله‌های کربنی اسید شویی توسط نانوذرات نقره می‌باشد. سپس پایداری نانولوله‌های کربنی خام، اسید شویی و آرایش یافته با نقره در آب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی چشمی و طیف سنجی ماورابنفش - نور مرئی نشان داد که با انجام فرایند اسید شویی پایداری نانولوله کربنی نسبت به نانولوله کربنی خام افزایش یافته است. نتایج پتانسیل زتا نیز نشان داد که با آرایش نانولوله کربنی توسط روش احیای شیمیایی تعدادی از گروه‌های عاملی بر روی سطح نانولوله کربنی توسط نانوذرات نقره مصرف شده و در نتیجه میزان بار سطحی نسبت به نانولوله اسید شویی کمتر می‌باشد.

کلمات کلیدی: اصلاح نانولوله کربنی، نانوذرات نقره، بررسی پایداری

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه

2	1-1-1- مقدمه
2	1-1-1-1- الماس
3	2-1-1-1- گرافیت
4	3-1-1-1- فولرین
5	4-1-1-1- نانولوله‌های کربنی
6	2-1-2-1- نانولوله کربنی
6	1-2-1-1- ساختار اتمی و مورفولوژی نانولوله‌ها
8	2-2-1-1- روش‌های تولید نانولوله‌های کربنی
11	3-2-1-1- خواص نانولوله‌های کربنی
15	4-2-1-1- عیوب نانولوله‌های کربنی
17	5-2-1-1- کاربردهای نانولوله‌های کربنی

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های انجام شده

21	1-2-1- مقدمه
23	2-2-1-2- شیمی نانولوله کربنی
24	1-2-2-1- عامل‌دار نمودن کوالانت
27	2-2-2-2- عامل‌دار نمودن غیر کووالانت
30	3-2-1-3- فرایند اسید شویی
32	1-3-2-1- تاثیر زمان اسید شویی بر طول نانولوله‌های کربنی
35	2-3-2-2- تاثیر زمان اسید شویی بر میزان تخریب نانولوله‌های کربنی
37	3-3-2-3- تاثیر زمان اسید شویی بر پایداری حرارتی نانولوله
39	4-3-2-4- تاثیر زمان اسید شویی بر درجه بلورینگی
40	4-2-1-4- پر کردن حفره نانولوله‌های کربنی
41	1-4-2-1- پر کردن در حین سنتز و رشد نانولوله کربنی
42	2-4-2-2- پر کردن نانو لوله‌های آماده
48	5-2-1-5- تزئین نانولوله کربنی

49	.....1-5-2- احیای حرارتی و نوری
51	.....2-5-2- احیای شیمیایی
54	.....6-2- کاربرد نانولوله تزئین شده با نقره
55	.....1-6-2- نانوسیال
56	.....1-1-6-2- روش‌های ساخت نانوسیال
57	.....2-1-6-2- پایداری نانوسیال

فصل سوم: روش پژوهش

62	.....1-3- مقدمه
62	.....2-3- مواد اولیه
65	.....3-3- تجهیزات
66	.....4-3- آزمون‌ها
69	.....5-3- روش تحقیق
69	.....1-5-3- فرایند اسیدشویی
69	.....2-5-3- پر کردن نانولوله کربنی با نقره
69	.....3-5-3- تزئین نانولوله کربنی با نانوذرات نقره

فصل چهارم: نتایج و بحث

72	.....1-4- مقدمه
74	.....2-4- نانولوله کربنی خام
75	.....3-4- فرایند اسید شویی
76	.....1-3-4- تاثیر زمان اسید شویی بر مورفولوژی نانولوله کربنی
78	.....2-3-4- تاثیر زمان فرایند اسید شویی بر تشکیل گروه‌های عاملی
81	.....3-3-4- تاثیر زمان اسید شویی بر خواص حرارتی نانولوله کربنی
84	.....4-3-4- تاثیر زمان فرایند اسید شویی بر میزان نواقص در ساختار نانولوله کربنی

88	5-3-4- تاثیر زمان اسید شویی بر ساختار کریستالی نانولوله کربنی
90	4-4- فرایند پر کردن نانولوله کربنی با نقره
90	1-4-4- انتخاب نوع حلال
91	2-4-4- بررسی فرایند پر کردن نانولوله کربنی با نقره
93	3-4-4- تاثیر غلظت نیترات نقره بر روی فرایند پر کردن
96	4-4-4- بررسی تجزیه نیترات نقره بر فرایند پر کردن نانولوله کربنی
99	5-4- فرایند تزئین نانولوله کربنی با نانوذرات نقره با استفاده از تجزیه حرارتی
100	1-5-4- تاثیر غلظت نیترات نقره بر تزئین نانولوله کربنی با نقره
102	6-4- تزئین نانوذرات نقره بر روی سطح نانولوله کربنی با استفاده از احیای شیمیایی
103	1-6-4- اثر امواج فراصوت بر اندازه و توزیع نانوذرات نقره روی سطح نانولوله کربنی
106	7-4- بررسی پایداری نانوسیال
107	1-7-4- بررسی پایداری با استفاده از طیف سنجی ماورابنفش - نور مرئی
109	2-7-4- بررسی پایداری با استفاده از پتانسیل زتا
112	3-7-4- بررسی پایداری با استفاده از مقایسه چشمی

فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات

118	1-5- مقدمه
118	2-5- نتیجه گیری
120	3-5- پیشنهادات
122	منابع و مراجع

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
8	جدول 1-1: دسته بندی نانولوله‌های کربنی بر اساس جهت لوله شدن صفحه گرافیت
13	جدول 2-1: خواص مکانیکی نانولوله در مقایسه با برخی مواد
56	جدول 1-2: هدایت حرارتی مواد مختلف در دمای 300 K
62	جدول 1-3: مشخصات مواد اولیه
75	جدول 1-4: گروه‌های عاملی و دمای تجزیه مرتبط با آن
78	جدول 2-4: گروه‌های عاملی و فرکانس ارتعاشی مرتبط با آن
	جدول 3-4: مقایسه دمای T_O, T_E, T_M در نانولوله کربنی خام و اسید شویی شده
84	با 2 و 4 ساعت حمام آلتراسون
	جدول 4-4: مقایسه شدت باند D و G در نانولوله کربنی خام و اسید شویی شده با
84	2 و 4 ساعت حمام آلتراسون
86	جدول 5-4: مقایسه فاصله بین صفحات (d_{002}) در نانولوله کربنی خام و اسید شویی
91	جدول 6-4: ویژگی‌های حلال‌های مختلف
	جدول 7-4: نمونه‌های آماده شده از نانولوله کربنی پر شده با نیترات نقره در این
94	تحقیق
	جدول 8-4: مقایسه طول نانوذرات نقره تشکیل شده درون نانولوله کربنی توسط
96	محققین مختلف
99	جدول 9-4: مقایسه دمای تجزیه حرارتی نیترات نقره توسط محققین مختلف
102	جدول 10-4: نمونه‌های نانولوله کربنی تزئین شده با نانوذرات نقره
112	جدول 11-4: مقایسه پتانسیل زتا نانولوله خام، اسیدشویی و تزئین شده با نقره

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل 1-1: انواع ساختارهای کربن.....	2
شکل 2-1: ساختار شش ضلعی گرافیت.....	3
شکل 3-1: نمایش پیوندهای π و σ در گرافیت.....	4
شکل 4-1: تشکیل نانولوله کربنی از صفحه گرافیت.....	5
شکل 5-1: ساختارهای نانولوله کربنی (a) چند دیواره (b) تک دیواره.....	6
شکل 6-1: نمایش بردار کایرال (C_h) و زاویه کایرال (θ) در صفحه گرافیت دو بعدی.....	7
شکل 7-1: شماتیکی از روش قوس الکتریکی.....	9
شکل 8-1: شماتیکی از دستگاه فرسایش لیزری.....	10
شکل 9-1: وابستگی شکاف انرژی نانولوله نیمه هادی نوع کایرال به قطر نانولوله.....	12
شکل 10-1: تغییرات ضریب هدایت حرارتی بر حسب تغییرات دمایی نانولوله کربنی (10، 10).....	14
شکل 11-1: مغناطش پذیری آلوتروپ‌های کربنی به عنوان تابعی از دما.....	15
شکل 12-1: نانولوله خمیده به علت عیوب ساختاری.....	16
شکل 13-1: الف) آرایش عیب 5-7-7-5 (استون-ولز) ب) دوپ شدن نانولوله کربنی با نیتروژن و بور.....	17
شکل 1-2: روش‌های عامل‌دار نمودن نانولوله‌های کربنی.....	23
شکل 2-2: زاویه هرمی شدن در هیبریداسیون sp^2 و sp^3	25
شکل 3-2: شماتیک فرایند اکسایش نانولوله کربنی با اسید و گاز اکسید کننده.....	26
شکل 4-2: ارائه شماتیکی از جذب سورفکتنت بر روی سطح نانولوله کربنی.....	29
شکل 5-2: مدل‌های پیچیده شدن PVP در اطراف نانولوله کربنی (8، 8).....	30
شکل 6-2: مراحل باز شدن سرهای نانولوله‌های کربنی با استفاده از اسید نیتریک جوشان.....	31
شکل 7-2: تصاویر TEM از نانولوله‌های کربنی (a) نانولوله خام، (b) نانولوله کربنی پس از 0/5 c، 1، d، 2، e، 4 و f) روز ماندگاری در اسید.....	33
شکل 8-2: تاثیر زمان اسید شویی بر روی طول میانگین نانولوله کربنی.....	34

- شکل 2-9: تصاویر SEM الف) نانولوله کربنی خام ب) نانولوله کربنی پس از 3 ساعت اسید شویی در دمای 60°C 34
- شکل 2-10: تاثیر نوع اسید و مدت زمان فرایند اسیدشویی بر نسبت I_D/I_G 36
- شکل 2-11: تغییرات طیف رامان نانولوله کربنی اسید شویی شده بر حسب زمان..... 36
- شکل 2-12: نمودار (a) TGA (b) DTA نانولوله خام و اسید شویی شده با اسید نیتریک 30% در هوا..... 37
- شکل 2-13: نمودار (a) TGA، (b) DTG نانولوله خام و اسید شویی شده با اسید نیتریک 60% در هوا..... 38
- شکل 2-14: شماتیکی از مکانیزم اکسایش نانولوله کربنی در مخلوط..... 39
- شکل 2-15: تاثیر زمان اسید شویی بر الگوی XRD (a) نانولوله خام (b) نانولوله کربنی پس از 5/1 (c) 1 (d) 2 (e) 4 (f) 7 روز ماندگاری در اسید $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$ 40
- شکل 2-16: نانولوله کربنی چند دیواره پر شده با $\alpha\text{-Fe}$ با روش رسوب شیمیایی بخار..... 42
- شکل 2-17: نانولوله پر شده با ذرات نقره حاصل از تجزیه الکترونی نیترات نقره مذاب..... 44
- شکل 2-18: شماتیکی از زاویه ترشوندگی بر حسب تعادل کشش سطحی سه فاز جامد، مایع و گاز..... 44
- شکل 2-19: تصویر TEM نانولوله کربنی پر شده با نانوکریستال نقره به روش شیمی تر..... 46
- شکل 2-20: تصویر TEM نانوسیم نقره در داخل نانولوله کربنی..... 47
- شکل 2-21: تصویر FETEM نانوذرات نقره در داخل نانولوله کربنی..... 48
- شکل 2-22: تصویر TEM، نانوذرات نقره بر روی نانولوله کربنی در دمای 500°C 50
- شکل 2-23: شماتیکی از فرایند سنتز نانولوله کربنی با نانوذرات نقره در حضور کننده اصلاح سطحی TX-100..... 50
- شکل 2-24: تصویر TEM نانولوله کربنی چند دیواره تزئین شده با نقره با عامل احیائی هیدروکسید سدیم..... 51
- شکل 2-25: تصویر TEM نانولوله‌های کربنی چند دیواره آرایش یافته با نانوذرات نقره با عامل احیائی فرمالدهید..... 52
- شکل 2-26: تصویر TEM نانوذرات نقره بر روی سطح نانولوله کربنی با عامل احیائی بوروهیدرات سدیم..... 53
- شکل 2-27: الف) شماتیکی از نانولوله عامل‌دار شده و برهمکنش آن با کاتیون نقره ب) نانولوله کربنی تزئین شده با نقره در حضور عامل احیائی..... 54

- شکل 2-28: مقالات سالانه منتشر شده در زمینه نانوسیالات 56
- شکل 2-29: تاثیر pH بر میزان پراکندگی نانولوله‌های کربنی اسید شویی شده در آب 59
- شکل 2-30: جذب UV-vis نانولوله‌های عامل‌دار شده با فرایند اسید شویی در حضور CTAB در زمان‌های آلتراسونیک مختلف 60
- شکل 3-1: فلوجارت آماده سازی نانولوله کربنی اصلاح شده با نقره و بررسی پایداری نانوسیال 64
- شکل 3-2: دستگاه طیف سنجی مادون قرمز فوریه مورد استفاده 67
- شکل 3-3: دستگاه طیف سنجی رامان 67
- شکل 3-4: دستگاه اندازه گیری پتانسیل زتا 68
- شکل 4-1: فلوجارت مراحل نتایج آزمایشات انجام شده 73
- شکل 4-2: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نانولوله‌های کربنی چند دیواره 74
- شکل 4-3: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) از نانولوله‌های چند دیواره 74
- شکل 4-4: تصاویر TEM نانولوله کربنی اسید شویی شده با 2 ساعت حمام آلتراسون 77
- شکل 4-5: تصاویر TEM نانولوله کربنی اسید شویی شده با 4 ساعت حمام آلتراسون 77
- شکل 4-6: تفاوت سر و دیواره نانولوله کربنی از لحاظ ساختاری 77
- شکل 4-7: شماتیکی از گروه‌های عاملی بر روی سطح نانولوله کربنی 79
- شکل 4-8: طیف FTIR مربوط به نانولوله کربنی خام 80
- شکل 4-9: طیف FTIR مربوط به نانولوله کربنی اسید شویی شده با 2 ساعت آلتراسون 80
- شکل 4-10: طیف FTIR نانولوله کربنی اسید شویی شده با 4 ساعت آلتراسون 80
- شکل 4-11: نمودار TGA نانولوله کربنی خام با سرعت گرمایش $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 82
- شکل 4-12: نمودار TGA نانولوله کربنی اسید شویی شده در 2 ساعت حمام آلتراسون با سرعت $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 83
- شکل 4-13: نمودار TGA نانولوله کربنی اسید شویی شده در 4 ساعت حمام آلتراسون با سرعت $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 83
- شکل 4-14: مدهای نوسانی نانولوله کربنی الف) A_{1g} ب) E_{2g} 85
- شکل 4-15: طیف رامان نانولوله کربنی خام 86
- شکل 4-16: طیف رامان نانولوله اسید شویی شده با 2 ساعت آلتراسون 86

- شکل 4-17: طیف رامان نانولوله اسید شویی با 4 ساعت آلتراسون 87
- شکل 4-18: طیف XRD نانولوله کربنی خام 89
- شکل 4-19: طیف XRD نانولوله کربنی اسید شویی در 2 ساعت آلتراسون 89
- شکل 4-20: الف) مقایسه طیف XRD نانولوله خام و اسید شویی، ب) مقایسه پیک
 XRD نانولوله اسید شویی با پیک‌های گرافیت در کارت (JCPDS (0640-061) 90
- شکل 4-21: شماتیکی از پر کردن نانولوله کربنی با نیترات نقره 92
- شکل 4-22: تشکیل نانومیله نقره در داخل نانولوله کربنی (نمونه f-1) 95
- شکل 4-23: نانو میله نقره در داخل نانولوله کربنی (نمونه f-2) 96
- شکل 4-24: طیف XRD نانولوله کربنی پر شده با نانو ذرات نقره با شستشوی کم 97
- شکل 4-25: مقایسه طیف XRD نانولوله پر شده با نقره، با پیک‌های نقره و نیترات
 نقره در کارت JCPDS 97
- شکل 4-26: طیف XRD نانولوله کربنی پر شده با نقره پس از شستشو و تجزیه
 حرارتی 98
- شکل 4-27: مقایسه طیف‌های XRD نانولوله کربنی پر شده با نقره، با پیک‌های
 نانولوله کربنی و نقره در کارت JSPCD 98
- شکل 4-28: آرایش نانولوله کربنی با نانوذرات نقره (نمونه d-1) 100
- شکل 4-29: پر شدن و تزئین نانولوله کربنی با نانوذرات نقره (نمونه d-2)،
 (خط مقیاس الف) 100 nm، ب) 50 nm) 101
- شکل 4-30: فرایند تشکیل نانوذرات نقره بر روی نانولوله کربنی با استفاده از احیای
 شیمیایی 102
- شکل 4-31: آرایش نانوذرات نقره بر روی نانولوله کربنی با احیای شیمیایی، (خط
 مقیاس الف) 50 nm) 103
- شکل 4-32: نانولوله کربنی آرایش یافته با نانوذرات نقره با روش احیای شیمیایی و
 استفاده از آلتراسون (خط مقیاس الف) 100 nm ب و ج) 50 nm) 105
- شکل 4-33: طیف XRD نانولوله کربنی آرایش یافته با نقره با احیای شیمیایی 106
- شکل 4-34: تبادلات الکترونی در طیف سنجی ماورابنفش - مرئی 107
- شکل 4-35: طیف UV-vis نانولوله کربنی خام پس از نیم ساعت و 20 روز از
 آلتراسون 108
- شکل 4-36: طیف UV-vis نانولوله کربنی اسید شویی پس از نیم ساعت و 20
 روز از آلتراسون 108
- شکل 4-37: شماتیکی از اختلاف پتانسیل به صورت تابعی از بار سطح ذره 110

- شکل 4-38: تصویر الف) نانولوله کربنی خام، ب) اسید شویی، ج) تزئین شده با نانوذرات
 113..... نقره، پس از یک ساعت
- شکل 4-39: تصویر الف) نانولوله کربنی خام، ب) اسید شویی، ج) تزئین شده با نانوذرات
 113..... نقره، پس از یک هفته
- شکل 4-40: تصویر نانولوله کربنی اسید شویی الف) در استون، ب) در آب پس از
 114..... برداشتن از حمام آلتراسون
- شکل 4-41: تصویر نانولوله کربنی اسید شویی الف) در استون، ب) در آب پس از
 115..... یک هفته
- شکل 4-42: تصویر نانولوله کربنی در آب در pH الف) 2، ب) 7، ج) 11 و د) 13.
 116..... بلافاصله پس از آلتراسون نمودن
- شکل 4-43: تصویر نانولوله کربنی در آب در pH الف) 2، ب) 7، ج) 11 و د) 13، پس از
 116..... سپری شدن یک هفته از آلتراسون نمودن
- شکل 4-44: شماتیکی از یونیزه شدن گروه کربوکسیلیک در آب
 116.....

فصل اول

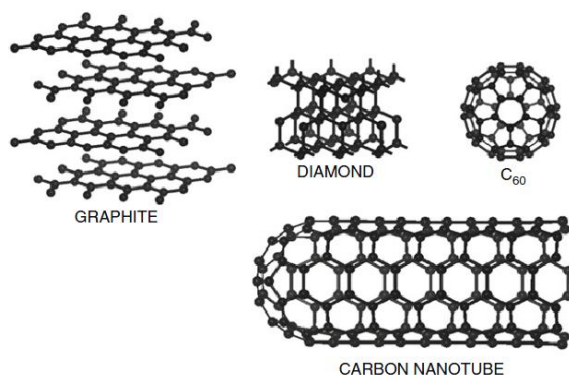
مقدمه

1-1-1- مقدمه

کربن یکی از عناصر شگفت انگیز جدول تناوبی است و کاربردهای متعدد آن در زندگی بشر، به خوبی این نکته را تایید می‌کند. این عنصر به علت قابلیت هیبریداسیون مختلف می‌تواند به صورت آلوتروپ‌هایی با ابعاد سه تا صفر بعدی وجود داشته باشد. تمامی این آلوتروپ‌ها حالت جامد دارند و در ساختار آنها اتم‌های کربن به صورت کاملاً منظم در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. این ساختارها عبارتند از:

- الماس (سه بعدی)
- گرافیت (دو بعدی)
- نانولوله کربنی (یک بعدی)
- فولرین (صفر بعدی).

ساختارهای ذکر شده در شکل (1-1) ترسیم شده است.



شکل 1-1-1- انواع ساختارهای کربن [1].

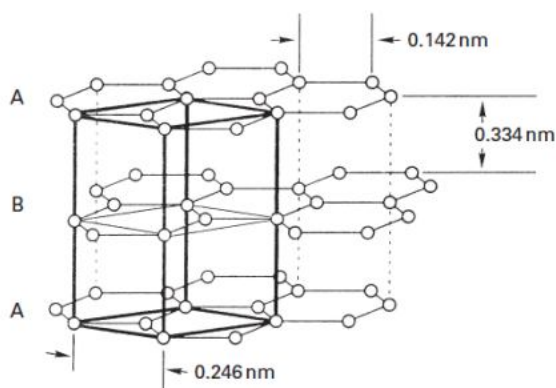
1-1-1- الماس

الماس جامدی است بی‌رنگ، شفاف و یکی از شکل‌های بلورین کربن با دانسیته $3/5 \text{ g/cm}^3$ است. الماس ماده‌ای سخت و دیرگداز، با نقطه ذوب 3550°C است. در الماس هر اتم کربن با

اوربیتال هیبریدی sp^3 به چهار اتم دیگر متصل است. در الماس تمام الکترون‌های لایه ظرفیت در پیوند شرکت کرده‌اند و تراز ظرفیت هر اتم کربن دارای هشت الکترون است، به همین دلیل سخت و دیر ذوب است. شکاف انرژی¹ آن در حدود $5/5 \text{ eV}$ است که نشان دهنده عایق بودن الماس است.

2-1-1- گرافیت

گرافیت جامدی سیاه و نرم است. بلور گرافیت از لایه‌های موازی تشکیل شده است، و در هر لایه، حلقه‌های شش گوشه‌ای از اتم کربن در کنار هم آرایش یافته‌اند. این لایه‌ها با نیروهای ضعیف و اندروالس به هم متصل شده‌اند. فاصله بین اتم‌های کربن در یک لایه از گرافیت یا به عبارت دیگر طول پیوند کووالانت کربن-کربن حدود $0/142 \text{ nm}$ و فاصله بین اتم‌های کربن در یک لایه با لایه بعدی حدود $0/334 \text{ nm}$ است. شکل (2-1) ساختار گرافیت را نشان می‌دهد.



شکل 2-1- ساختار شش ضلعی گرافیت [1].

در گرافیت پیوندهای کووالانت از همپوشانی اوربیتال‌های هیبریدی sp^2 حاصل شده است. پیوند π ناشی از پیوند بین اوربیتال‌های P_z که عمود بر پیوند سیگما است، به وجود می‌آید. الکترون غیر مستقر موجود در اوربیتال P_z موجب بالا رفتن هدایت الکتریکی و حرارتی گرافیت در صفحات $x-y$ می‌شود. شکل (3-1) شماتیکی از پیوندهای σ و π در گرافیت را نشان می‌-

¹ -band gap