دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال هفتم، شماره‌ی ۲۶
بهار ۱۳۹۵، صفحات ۳۰-۲۵

بهینه‌سازی فرآیند انجماد در نانو کامپوزیت مواد تغییر فاز دهندهTiO_2

علیرضا حقیقی
گروه مهندسی شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران
a.haghighi.04321@gmail.com

عزیز باباپور
گروه مهندسی شیمی، واحد اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
Babapoor2006@yahoo.com

زهرا جوانشیر
گروه شیمی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران
z_chem2005@yahoo.com

چکیده

با توجه به آلودگی‌های زیست محیطی و هم‌چنین تجدیدناپذیر بودن سوخت‌های فسیلی، نیاز به استفاده از روش‌های نوین برای تهیه سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر مثل انرژی خورشیدی، آب، باد، انرژی هسته‌ای و حتی انرژی حرارتی بیش‌تر احساس می‌شود. یکی از انرژی‌های قابل تجدید، انرژی حرارتی است. یکی از مهم‌ترین روش‌های ذخیره‌سازی، انرژی حرارتی یا همان مواد تغییرفازدهنده است که در حین تغییر فاز، انرژی حرارتی را ذخیره نموده و در موارد لزوم آزاد می‌کنند. مواد تغییر فازدهنده با همه مزایایی که دارند یکسری مشکلاتی از جمله نشتی و پایین بودن رسانایی حرارتی دارند. این مشکل می‌تواند با به کارگیری مواد نانوکامپوزیت بهبود پیدا کند. در این مقاله از پارافین به عنوان مواد تغییر فاز دهنده و از نانو ذره TiO_2 به عنوان بهبود دهنده خواص حرارتی در فرآیند انجماد استفاده شده است. به منظور بررسی خواص و رفتار حرارتی نانوکامپوزیت از قبیل دماهای تغییرفاز، گرمای نهان انجماد و هم‌چنین مورفولوژی نانوکامپوزیت‌ها، به ترتیب تست-های DSC، SEM، FT-IR بر روی نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد که با در نظرگرفتن همه شرایط، نانوکامپوزیت TiO_2 در سه درصد وزنی نمونه بهینه می‌باشد. این نتایج می‌تواند در طراحی سیستم‌های مختلف مدیریت حرارتی مورد استفاده بسیار زیادی قرار بگیرد.

کلید واژه: نانوکامپوزیت، مواد تغییرفازدهنده، نانوذره، بهینه‌سازی انرژی، گرمای نهان انجماد.

مقدمه

- انرژی

مهم‌ترین آثار گرمایش زمین عبارتند ازآب شدن صخره‌های یخی، تغییر چرخه آب در کره زمین و طوفان‌های شدید که زندگی تمام موجودات زنده اعم از گیاهان، جانوران و انسان‌ها را در مخاطره قرار داده است. برای جلوگیری از مشکلات مذکور، تصمیم بر کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای گرفته شده است. از طرفی باتوجه به آلودگی‌های زیست محیطی و هم‌چنین تجدیدناپذیر بودن سوخت‌های فسیلی نیاز به استفاده از روش‌های نوین برای تهیه سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر مثل انرژی خورشیدی، آب، باد، انرژی هسته‌ای و حتی انرژی حرارتی بیش‌تر احساس می‌شود. یکی از انرژی‌های قابل تجدید، انرژی حرارتی است [۱].

- مواد تغییر فاز دهنده

یکی از مهم‌ترین روش‌های ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، (PCMs[1]) یا همان مواد تغییر فاز دهنده است، موادی که در مواقع لزوم، تغییر فاز می‌دهند. انرژی را در شکل‌های مختلف در خود ذخیره کرده و در مواقع لزوم آزاد می‌کنند. این مواد با اثراتی مانند افزایش ضریب انتقال حرارت، افزایش ظرفیت گرمایی، پایداری حرارتی و شیمیایی موجب ذخیره‌سازی انرژی حرارتی می‌شوند. فناوری نانو در این بین با قابلیت جذب، ذخیره و آزادسازی بالای انرژی حرارتی، از روش-های نوین این فناوری است [۲]. در حال حاضر یکی از چالش‌های کارشناسان، ذخیره انرژی در شکل‌های مناسب است. این امر منجر به ذخیره انرژی مازاد و اقتصادی‌تر شدن سیستم از طریق کاهش اتلاف انرژی و هزینه سرمایه می‌شود [۳].

امروزه فناوری نانو به‌عنوان یکی از فناوری‌های پیشتاز در عرصه جهانی ظهور کرده و ذخیره‌سازی انرژی با استفاده از این فناوری و با بکارگیری مواد تغییر فاز دهنده مورد تحقیق و پژوهش فراوان قرار گرفته است. مواد تغییر فاز دهنده در منسوجات، ساختمان‌ها، صنایع دفاعی و... به کار گرفته شده و مصرف انرژی را کاهش می‌دهند [۴].

خصوصیات مواد تغییرفازدهنده (PCM)

در اوایل دهه ۱۹۸۰ در برنامه تحقیقاتی ناسا، فناوری جا دادن میکروکپسول‌های مواد تغییر فاز دهنده درون الیاف و منسوجات برای تنظیم دمایی با هدف استفاده از این منسوجات در لباس‌های فضانوردان برای محافظت در برابر تغییرات ناگهانی دمایی در فضا بود، ولی امروزه این تحقیقات گسترش یافته و برای بسیاری از منسوجات مورد بررسی قرار می‌گیرد. مواد تغییر فاز دهنده طی فرآیند ذوب انرژی حرارتی را ذخیره نموده و طی فرآیند انجماد این انرژی حرارتی را آزاد می‌کنند. استفاده از مواد تغییر فازدهنده در صنعت نساجی باعث بهبود خواص گرمایی و سرمایی آن‌ها می‌شود. این مواد برای ذخیره‌سازی انرژی حرارتی باید دارای خواص حرارتی، خواص فیزیکی، خواص سینتیکی، خواص شیمیایی و اقتصادی مناسب و بهینه‌ای باشند [۵-۴].

مواد تغییر فاز دهنده استفاده شده در طراحی سیستم‌های ذخیره حرارتی، باید دارای خصوصیات زیر باشند:

الف. خواص حرارتی: دمای تغییر فاز مناسب، گرمای نهان تغییر فاز بالا، انتقال حرارت خوب

ب. خواص فیزیکی: تعادل فاز مطلوب، چگالی بالا، تغییر حجم کم، فشار بخار پایین، تغییر فاز تجدیدپذیر

ج. خواص سینتیکی: عدم فوق تبرید، نرخ تبلور کافی

د. خواص شیمیایی: پایداری شیمیایی بلند مدت، سازگاری با مواد ساختاری سیستم، عدم سمیت، عدم خطر احتراق

هـ خواص اقتصادی: در دسترس بودن، قیمت مناسب، قابل بازیافت

1- Phase Change Materials (PCMs).

- پارافین‌ها

یکی از مهم‌ترین گروه‌های مواد تغییرفازدهنده‌ی آلی، پارافین است. پارافین‌ها، هیدروکربن‌های خطی آب‌گریز محصول پالایش نفت‌خام بوده که فرمول آن‌ها C_nH_{2n+2} می‌باشد. نقطه‌ی ذوب و گرمای نهان ذوب آن‌ها با افزایش طول زنجیر، افزایش می‌یابد.

این مواد از لحاظ شیمیایی بی‌اثر می‌باشند، در زیر دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد پایدار هستند، تغییر حجم کمی هنگام ذوب دارند و در حالت مایع فشار بخار آن‌ها پایین است. به دلیل وجود این خواص، سیستم‌های دارای پارافین چرخه‌ی انجماد و ذوب بسیار طولانی دارند. این محصولات غیرسمی، قابل اطمینان، ارزان و غیرخورنده می‌باشند و دارای خاصیت هسته‌گذاری خود به خودی هستند. ذوب و انجماد هیدروکربن‌های دارای ۱۳ تا ۱۸ کربن، در محدوده‌ی ۵/۵ تا ۶۱/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

با انتخاب تعداد اتم کربن، تغییر فاز می‌تواند در محدوده‌ی دمایی مطلوبی صورت پذیرد. پارافین‌ها به عنوان مواد ذخیره-ساز گرمای نهان، به خاطر در دسترس بودن در محدوده‌های دمایی زیاد، استفاده می‌شوند [۷-۶].

با در نظر گرفتن هزینه‌ها، فقط پارافین‌های درجه فنی می‌توانند به عنوان ماده‌ی تغییر فازدهنده در سیستم‌های ذخیره‌ی گرمای نهان استفاده شوند. هیدروکربن‌های زنجیره خطی یکی از مهم‌ترین نوع ماده‌ی تغییرفازدهنده در زمینه‌ی ذخیره و بازیابی انرژی گرمایی و منسوجات تنظیم‌کننده‌ی دما می‌باشند [۸]. با وجود برخی مشخصه‌های مطلوب مثل ذوب متجانس و خاصیت هسته‌زایی خوب، پارافین‌ها برخی از خواص نامطلوب را نشان می‌دهند. مانند: هدایت حرارتی کم، ناسازگاری با ظرف‌های پلاستیکی، تا حدی قابلیت اشتعال [۹-۷].

مواد و روش‌ها

پارافین مایع و جامد از مرک آلمان و نانوذره TiO_2 از شرکت مرک آلمان خریداری شد. تمامی مواد بدون هیچ گونه خالص‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند.

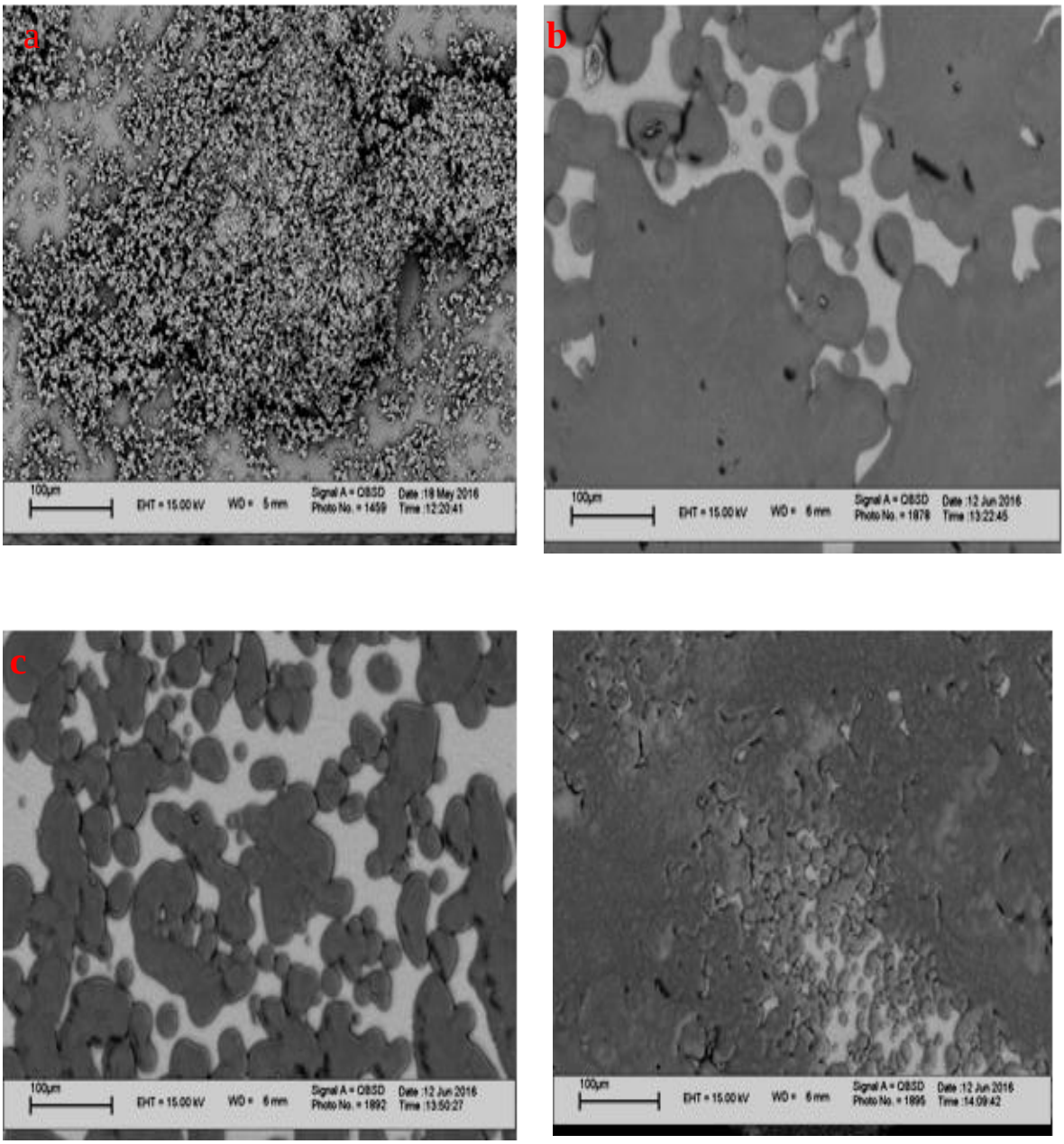
- سنتز نانوکامپوزیت‌ها

برای تهیه نانوکامپوزیت ٪۱ وزنی، ۱۰ گرم از پارافین مبنا را برداشته می‌شود و همراه ۰/۵گرم سدیم سولفات مخلوط کرده و ۰/۱۰۶۱گرم از نانوذره مورد نظر برای تهیه نانوکامپوزیت با هم مخلوط کرده و به مدت ۴-۳ ساعت روی هیتر در دمایی که پارافین بخار نشود توسط مگنت به همزده و نانوکامپوزیت ٪۱ وزنی تهیه می‌شود. سایر درصدهای وزنی نانوکامپوزیت‌ها نیز به روش مشابه سنتز می-شود.

یافته‌ها و بحث

- مورفولوژی سطح

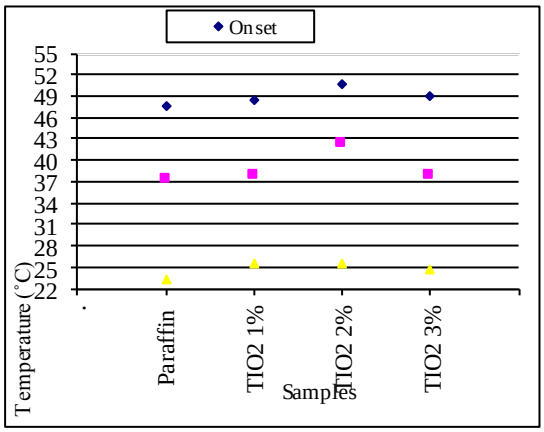
جهت بررسی مورفولوژی نانوذرات و نانوکامپوزیت‌ها از تست SEM استفاده شد. شکل (۱)، تصاویر SEM برخی از نمونه‌ها را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که نانوذرات به صورت یکنواخت در داخل پارافین توزیع شده‌اند.



شکل ۱ : تصاویر SEM (a) نانوذره خالص TiO_2 (b) نانوکامپوزیت ٪ ۱ وزنی TiO_2 (c) نانوکامپوزیت ٪۲ وزنی TiO_2 (d) نانوکامپوزیت ٪۳ وزنی TiO_2

آنالیز حرارتی

جهت آنالیز حرارتی نمونه‌ها، از تست DSC استفاده شد. این دستگاه اطلاعات مختلفی راجع به دماهای تغییرفاز و آنتالپی می‌دهد. شکل (۲) نتایج آنالیز حرارتی را نشان می‌دهد.



شکل ۲: دماهای تغییر فاز پارافین و نانوکامپوزیت‌های TiO_2در فرآیند انجماد

طبق این شکل، مشاهده می‌شود نانوکامپوزیت ٪۲TiO_2 به ترتیب، بیش‌ترین دمای onset را با دمای (۵۰/۸°C) نسبت به نانوکامپوزیت ٪۳ TiO_2 با دمای (۴۹°C) و نانوکامپوزیت ٪۱ TiO_2 با دمای (۴۸/۵°C) دارد. هم‌چنین نانوکامپوزیت ٪۱ TiO_2، بیش‌ترین دمای offset را با دمای (۲۵/۴°C) و نانوکامپوزیت ٪۲ TiO_2 با دمای (۲۵/۴°C) نسبت به نانوکامپوزیت ٪۳ TiO_2 با دمای (۲۴/۸°C) دارند. از طرفی نانوکامپوزیت ٪۲ TiO_2 به ترتیب، بیش‌ترین دمای peak را با دمای (۴۲/۲°C) نسبت به نانوکامپوزیت ٪۱ TiO_2 با دمای (۳۷/۹°C) و نانوکامپوزیت ٪۳ TiO_2 با دمای (۳۷/۹°C) دارد.

آنالیز FT-IR[۱]

در جهت تایید تشکیل کامپوزیت TiO_2، نانو ذرات TiO_2 و پارافین با استفاده از تکنیک FT-IR مورد بررسی قرار گرفتند. شکل (۳) طیف‌های FT-IR این مواد را به صورت مقایسه‌ای نشان می‌دهد. طیف‌های مربوط به پارافین دارای پیک‌هایcm^{-1}۲۸۴۵ و cm^{-1}۲۹۱۵ مربوط به ارتعاش کششی C-H، پیک‌هایcm^{-1}۱۳۷۵ و cm^{-1}۱۴۵۵ مربوط به ارتعاش خمشی CH_2 می‌باشند [۱۰]. در نانو ذرات TiO_2 پیک موجود در cm^{-1}۷۲۵ مربوط را به ارتعاش کششی پیوندهای TiO_2 نسبت داد [۱۱].

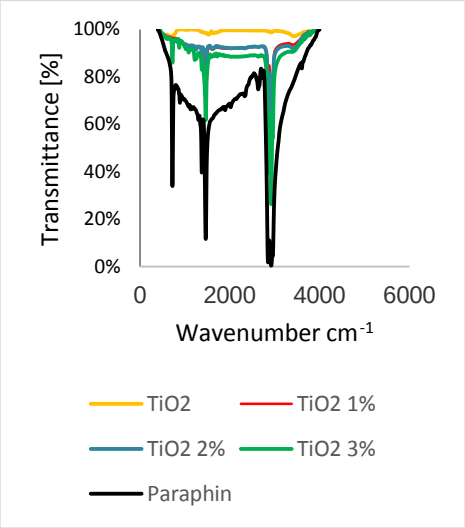
پیک‌های cm^{-1}۲۸۵۱/۷۵ و cm^{-1}۲۹۲۲/۲۶ در نانو کامپوزیت ٪۱TiO_2 مربوط به پارافین و پیک cm^{-1}۷۲/۶۱ مربوط به ارتعاشات کششی Ti-O می‌باشد.

پیک‌های cm^{-1}۲۸۵۲/۱۱ و cm^{-1}۲۹۲۲/۵۱ در نانو کامپوزیت ٪۲ TiO_2 مربوط به پارافین و پیک cm^{-1}۷۲۴/۱۰ مربوط به ارتعاشات کششی Ti-O می‌باشد.

پیک‌های cm^{-1}۲۸۵۰/۷۱ و cm^{-1}۲۹۲۰/۷۱ در نانو کامپوزیت ٪۳ TiO_2 مربوط به پارافین و پیک cm^{-1}۷۲۳/۷۱ مربوط به ارتعاشات کششی Ti-O می‌باشد.

از آن‌جا که طیف‌های حاصل از کامپوزیت به طیف‌های پارافین و نانوذره TiO_2 شباهت دارد، این نشان دهنده تشکیل کامپوزیت می‌باشد.

۱- Fourier Transform Infrared Spectroscopy



شکل ۳: نمودار FTIR نانوذره و کامپوزیت‌های TiO_2و پارافین

نتیجه‌گیری

از ترکیب نانوذرات TiO_2 و پارافین به عنوان مواد تغییر فاز دهنده و سدیم سولفات به عنوان مواد نگهدارنده، فرم جدید و پایداری از نانوکامپوزیت مواد تغییر فازدهنده ساخته شده است. به منظور بررسی خواص و رفتار حرارتی الیاف نانو کامپوزیت و همچنین ساختار مورفولوژی آن‌ها تست‌های DSC، SEM و FT-IR بر روی نمونه‌ها انجام گرفته است. بر اساس نمونه‌های تست SEM، مشاهده می‌شود نانو ذرات به خوبی در PCM توزیع و پخش شده‌اند و داده‌های DSC حاکی از آن است که نانوکامپوزیت‌های سنتز شده دارای محدوده دمایی بهینه هستند. نتایج FTIR نیز نشان داد که کامپوزیت‌ها با موفقیت سنتز شده‌اند. نتایج این پژوهش می‌تواند در مدیریت حرارتی سیستم‌های مختلف مورد استفاده فراوانی قرار گیرد.

منابع

[1] Heyden, H., 2008, Doctorate Thesis, Ludwig-Maximilians-UniversitätMünchen.

[۲] شیخ جابری، ف؛ شریعتی نیاسر، م؛ ۱۳۹۰، استفاده از فناوری نانو در ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، ماهنامه فناوری نانو، سال دهم، شماره ۴.

[3] Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., Buddhi, D., 2009, Review on thermal energy storage withphase hange materials and applications, Renewableand Sustainable Energy Reviews , 13, 200, 318-345.

[۴] سیف پور، م؛ نوری، م؛ مختاری، ج؛ ۱۳۹۰، مواد تغییر فاز دهنده و کاربرد آن‌ها در منسوجات؛ گروه مهندسی نساجی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، ایران.

[5] Velraj, R., et al., 1999, Heat transfer enhancement in a latent heat storage system, s.l. : Solar Energy, 171.

[۶] سیف پور، م؛ نوری، م؛ مختاری، ج؛ ۱۳۹۰، مواد تغییر فاز دهنده و کاربرد آن‌ها در مسنوجات، مجله علوم و فناوری نساجی، سال اول، شماره اول، صفحه ۱۱-۱۹.

[7] Sharma. A , tyagi , C.R .Chen , D. Buddhi.,2009, Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 318-345.

[8] Zhang. X, 2001, smart fibers, fabrics, and clothing, chapter3: Heat storage – and thermo-regulated textiles and clothing, edited by Tao. X, CRS press, Cambridge, England.

[۹] علی‌نژاد، ز؛ خاکزاد اسفهلان، ف؛ رضایی‌شیرین‌آبادی، م؛ قاسمی، م؛ مهدویان، ع؛ ۱۳۹۲، تهیه میکروکپسول‌های ملامین فرمالدهید حاوی هگزادکان به عنوان ماده تغییر فاز: اثر مقدار و نوع مواد سطح فعال، مجله تکنولوژی و علوم پلیمر ، سال بیست و ششم شماره ۱، صفحه ۳۳-۴۴.

[10] Changda, N., Xuan, T., Shuying, W., Shuguang G, and Deqi., P., 2015, RSC Adv., 5, 92812-9281.

[11] Nakamoto, K., 1986, Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds; John Wiley & Sons: New York.