



تأثیر دما و فرکانس بر خواص الکتریکی نانو کامپوزیت فتالوسیانین کلروایندیوم - پلی پیرویل

محمد اسمعیل عظیم عراقی | سمانه محمودی*

گروه فیزیک حالت جامد، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، تهران

چکیده: در این پژوهش خواص الکتریکی و ساختاری نانو کامپوزیت فتالوسیانین کلروایندیوم و پلی پیرویل (ClInPc + Ppy) بررسی شده است. در ابتدا نانو کامپوزیت در درصدهای ۰.۵٪ و ۱.۵٪ و ۲.۵٪ سنتز شد و سپس قطعات ساندویچی با استفاده از دستگاه لایه نشانی تبخیر باریکه الکترونی تحت خلا 10^{-5} میلی بار آماده شد. ظرفیت و عامل اتلاف این قطعات در بازه‌ی فرکانسی 10^0-10^5 هرتز و بازه‌ی دمایی ۳۰۸-۳۸۳ کلوین اندازه گیری شده است که نشان می‌دهد ظرفیت و عامل اتلاف با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد. وابستگی رسانندگی الکتریکی به فرکانس با رابطه $\sigma_{ac}(\omega) = A\omega^s$ توضیح داده می‌شود که با توجه به این رابطه مکانیزم‌های رسانش حامل‌ها مشخص می‌شود. غالب بودن هر مکانیزم رسانش وابسته به شرایط آزمایش و بازه‌ی دمایی و فرکانسی است، که در این تحقیق مکانیزم هوپینگ غالب است. انرژی فعال سازی برای انتقال الکترون‌ها برای سه درصد متفاوت کامپوزیت محاسبه شده که نشان می‌دهد انرژی فعال سازی با افزودن درصد پلیمر رسانا کاهش یافته است. وضعیت مورفولوژی سطح توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی FESEM مورد بررسی قرار گرفته است.

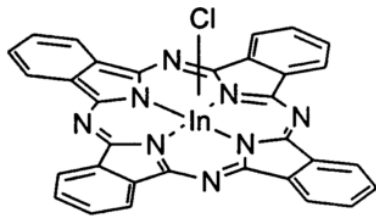
واژگان کلیدی: خواص الکتریکی AC، فتالوسیانین، پلی پیرویل، مکانیزم رسانش

std_samaneh.mahmoudi@khu.ac.ir

در برگزیده فازهای دیگر می‌باشد، زمینه نانو کامپوزیت نامیده می‌شود و جزء دیگر به عنوان تقویت کننده به منظور اهداف خاص از قبیل استحکام، مقاومت، هدایت الکتریکی، خواص مغناطیسی و... در درون زمینه توزیع می‌شود [۱]. در این کار تحقیقاتی فتالوسیانین کلروایندیوم با پلیمر رسانا برای تقویت خواص الکتریکی به منظور استفاده در حسگر گازی کامپوزیت شده است. ساختار فتالوسیانین‌ها شامل یک سیستم حلقوی متشکل از چهار واحد ایزوایندول است که توسط اتم‌های نیتروژن به هم متصل هستند. فتالوسیانین‌ها با علامت اختصاری Pc نمایش داده می‌شوند و دارای ترکیب شیمیایی $(C_{32}H_{18}N_8)$ می‌باشند و معمولاً به صورت نیمه رسانای P و دارای پایداری شیمیایی و حرارتی بالایی هستند [۲] و

۱- مقدمه

از دیرباز انسان مواد مختلفی را با هم ترکیب کرده است تا ماده‌ای جدید با خواص بهتر به دست آورد. کامپوزیت‌ها رده‌ای از مواد پیشرفته هستند که در آنها از ترکیب مواد ساده به منظور ایجاد مواد جدید با خواص مکانیکی و فیزیکی برتر استفاده شده است. این مخلوط در مجموع و با توجه به برخی معیارها، خواص بهتری از هر یک از اجزای تشکیل دهنده خود دارد. نانو کامپوزیت عبارت است از کامپوزیتی که حداقل یکی از اجزای تشکیل دهنده‌ی آن در ابعاد نانومتر باشد. جز اصلی تشکیل دهنده نانو کامپوزیت‌ها که



شکل ۱: ساختار فتالوسیانین کلروایندیوم

۲- روش تجربی

نانو کامپوزیت کلروایندیوم فتالوسیانین و پلی پیرول به روش شیمیایی سنتز شده است. ابتدا به ۳۰ میلی لیتر از ایزوپروپانول، مقدار ۰/۳۸ گرم فتالوسیانین کلروایندیوم و بعد از پنج دقیقه مقدار ۰/۰۲ میلی لیتر پیرول و ۰/۰۳ گرم پتاسیم پر سولفات به عنوان اکسنده اضافه شد. به مدت ۵ ساعت این مواد روی همزن هیترومگنت در دمای اتاق هم زده شدند و سپس ماده در داخل سانتریفیوژ به مدت یک دقیقه قرار داده شد تا رسوب آن از حلال جدا شود. ماده بدست آمده در داخل آن به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰۰°C خشک شد و در نهایت پودر نانو کامپوزیت ۵٪ بدست آمد. مراحل سنتز به ترتیب بالا برای درصدهای ۱۵٪ و ۲۵٪ نیز تکرار شد. برای ساخت قطعه از دستگاه لایه نشانی الکترون بیم گان مدل "HIND HIVAC-PC-3K" استفاده شده است. لایه آلومینیوم به ضخامت 5 ± 80 نانومتر به عنوان الکتروود اول روی بستر شیشه‌ای لایه نشانی شد و یک قطعه سیم مسی به وسیله چسب نقره بر روی آن چسبانده شد و بعد از آن درصدهای مختلف نانو کامپوزیت نیز با استفاده از دستگاه الکترون بیم گان با ضخامت‌های بین ۵۰۰-۴۵۰ نانومتر به عنوان لایه میانی و لایه آلومینیوم دیگر به ضخامت 5 ± 80 نانومتر به عنوان الکتروود دوم لایه نشانی شد و سپس سیم مسی دیگر روی الکتروود دوم چسبانده می شود. تمام مراحل لایه نشانی تحت خلا 10^{-5} میلی بار الکترون بیم گان انجام شده است. ظرفیت و عامل اتلاف در بازه دمایی ۳۰۸-۳۸۳ کلوین و در بازه فرکانسی $10^5 - 10^2$ هرترتز با استفاده از LCR متر مدل MT4080 اندازه گیری شده است.

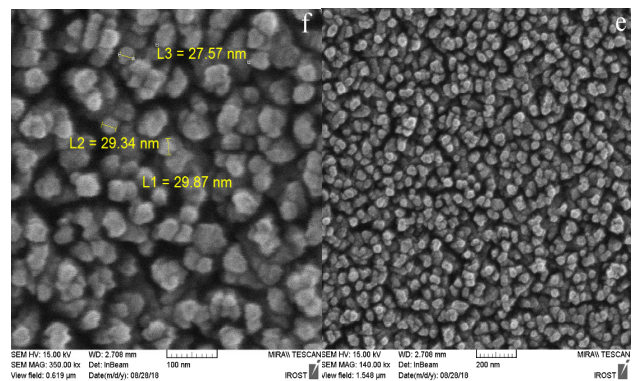
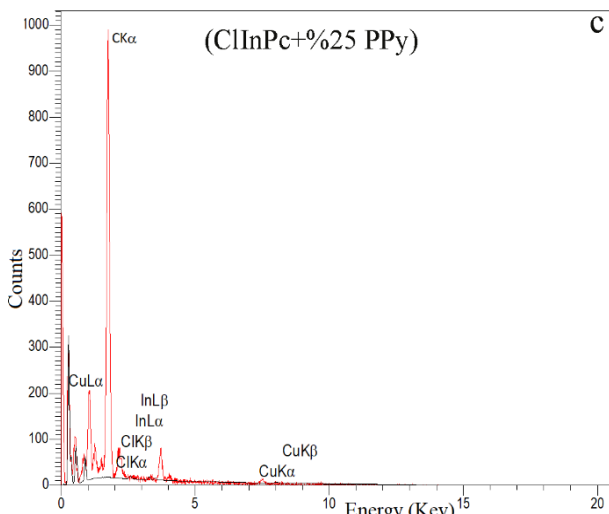
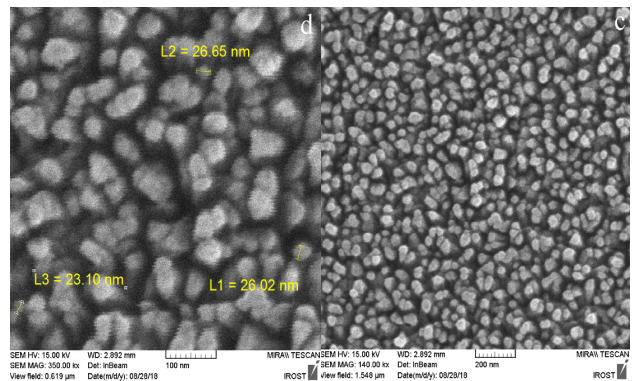
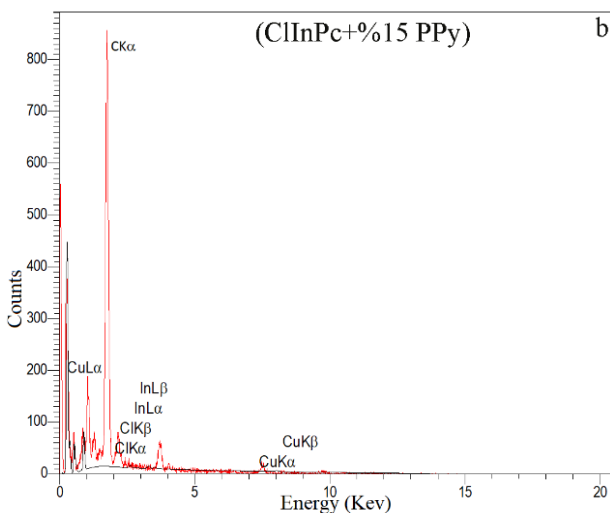
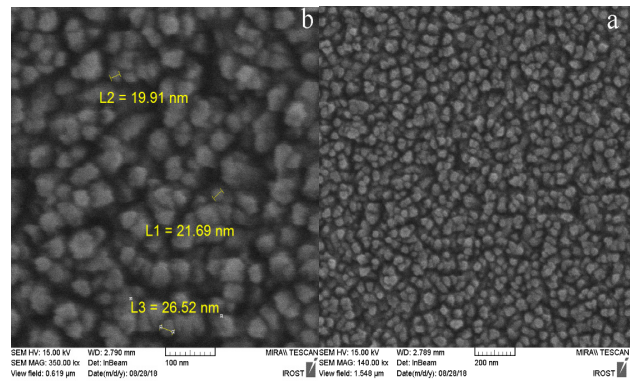
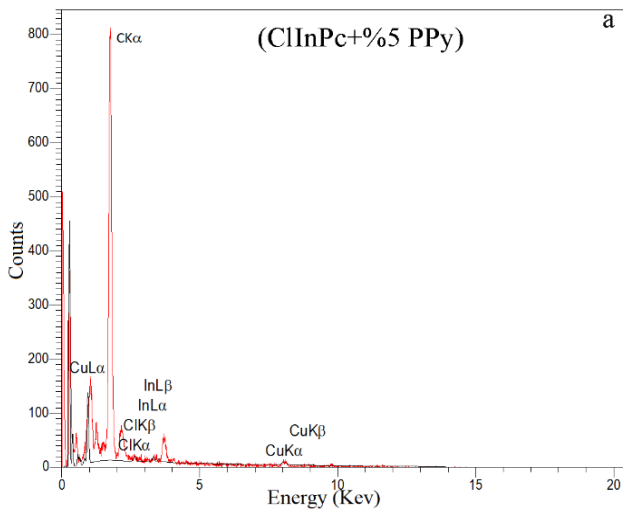
۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی ساختاری

[۳] و در دو فرم کریستالی آلفا و بتا یافت می شوند که در شکل کریستالی α مولکول‌های یک توده به صورت موازی با مولکول‌های توده‌های مجاور قرار می گیرند، ولی در فرم β مولکول‌ها در جهت مخالف با مولکول‌های توده‌های مجاور قرار گرفته‌اند و فرم β پایدارتر است در حالی که فرم α متخلخل‌تر است [۵ و ۶]. فتالوسیانین‌ها با خصوصیتی مانند تقارن بالا، صفحه‌ای بودن مشخص می شوند و با توجه به اتمی که در میان حلقه‌های بنزنی قرار گرفته است کلاسه بندی می‌شوند [۴] که فتالوسیانین کلروایندیوم با توجه به اتم هالوژنه در حلقه بنزنی جزو فتالوسیانین‌های هالوژنه است و تصویر ۱ ساختار آن را نشان می‌دهد. فتالوسیانین‌ها به عنوان یک رنگدانه شفاف در سلول‌های خورشیدی [۷ و ۸] و ترانزیستورها کاربرد دارند [۹] و همچنین نامزد خوبی برای طراحی سنسورهای گازی هستند [۱۰ و ۱۱] و ترکیب یک عنصر دوم با این ماده برای تقویت خواص حسگری روشی جدید و کارآمد است. در بعضی موارد جز دوم کامپوزیت نقش مهمی در فرآیند سنجش گاز دارد و ممکن است خواص حسگری لایه نازک را بهبود ببخشد و به انتقال بارها کمک کند. محدوده‌ی گسترده‌ای از مواد را می توان به عنوان جز دوم کامپوزیت استفاده کرد که در این پژوهش از پلیمر رسانا به عنوان تقویت کننده در خواص الکتریکی از جمله هدایت الکتریکی و تغییر در انرژی فعال سازی استفاده شده است. پلیمرهای رسانا، پلیمرهایی با الکترون π مزدوج هستند به طوریکه در ساختارشان، اتم‌های کربن از طریق پیوند یگانه و دوگانه یک در میان به هم متصل شده اند و این پیوندها دائما با هم عوض می شوند. الکترون‌های π تنها در طول زنجیره پلیمر نامستقر هستند و از این رو از نظر الکترونی شبه تک بعدی هستند [۱۲]. در بین پلیمرهای رسانا متعدد، پلی پیرول (Ppy) به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳] زیرا مونومر پیرول دارای خواصی نظیر دسترسی تجاری، هدایت عالی و عملکرد بالا در فرآیند اکسایش و کاهش به خصوص در حسگرها است [۱۴ و ۱۵]. باتوجه به اینکه غلظت و مقدار عنصر دوم در خواص کامپوزیت تاثیر گذار است در این تحقیق نانو کامپوزیت‌ها در درصدهای مختلف سنتز شد و سپس قطعات ساندویچی از نانو کامپوزیت‌های (ClInPc + Ppy) آماده شد و خواص الکتریکی و مورفولوژی در سه درصد متفاوت بررسی شد.

تایید کننده وجود عناصر مورد انتظار است. بالاترین درصد مربوط به کربن است که نقش عمده را در ترکیبات آلی دارد.

سطح نانو کامپوزیت‌های لایه نشانی شده روی شیشه توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مشخصه یابی شده است. شکل ۲ تصاویر (FESEM) نانو کامپوزیت‌ها را در بزرگنمایی مختلف نشان می‌دهد. سطح لایه نازک به صورت دانه‌های کروی یکنواخت است و اندازه ذرات بین ۱۹-۳۰ نانومتر است.

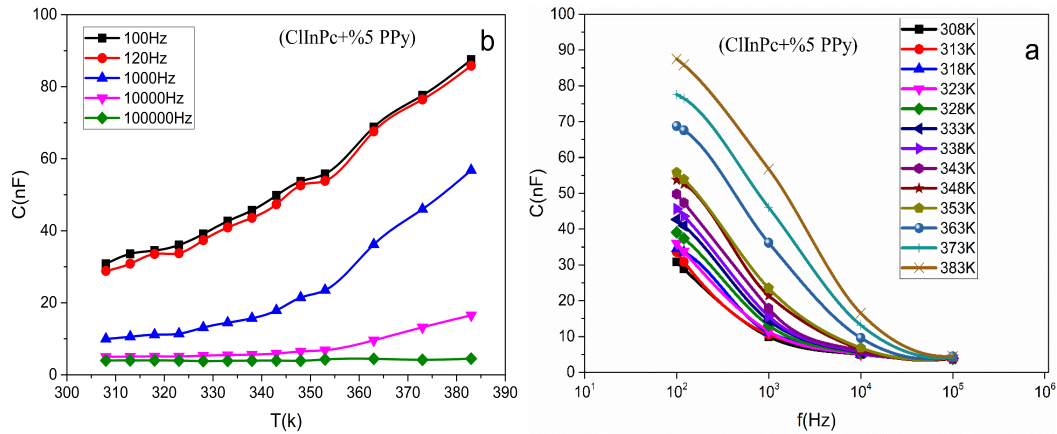


شکل ۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی (a, b) نانو کامپوزیت ۵٪ (c, d) نانو کامپوزیت ۱۵٪ (e, f) نانو کامپوزیت ۲۵٪ در بزرگنمایی‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ نانومتر

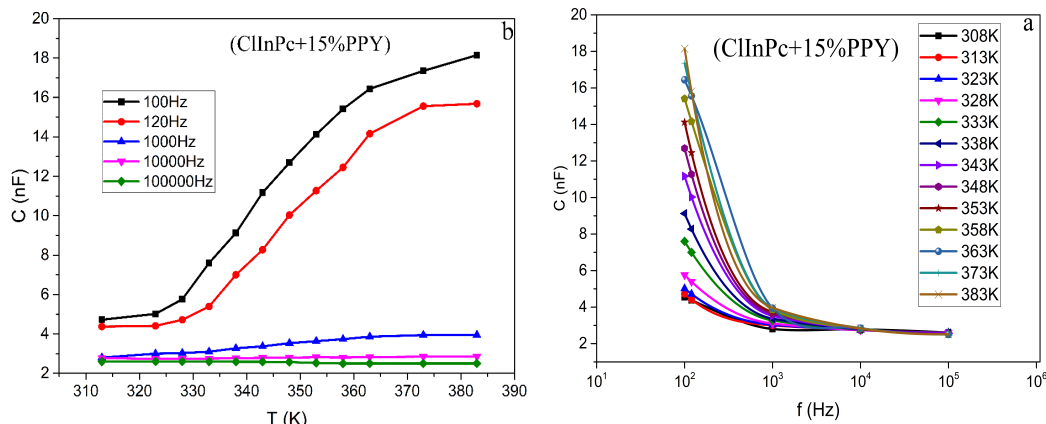
شکل ۳: طیف EDS گرفته شده از نانو کامپوزیت فتالوسیانین کلرو ایندنیوم-پیرول

(a) ۵٪ (b) ۱۵٪ (c) ۲۵٪

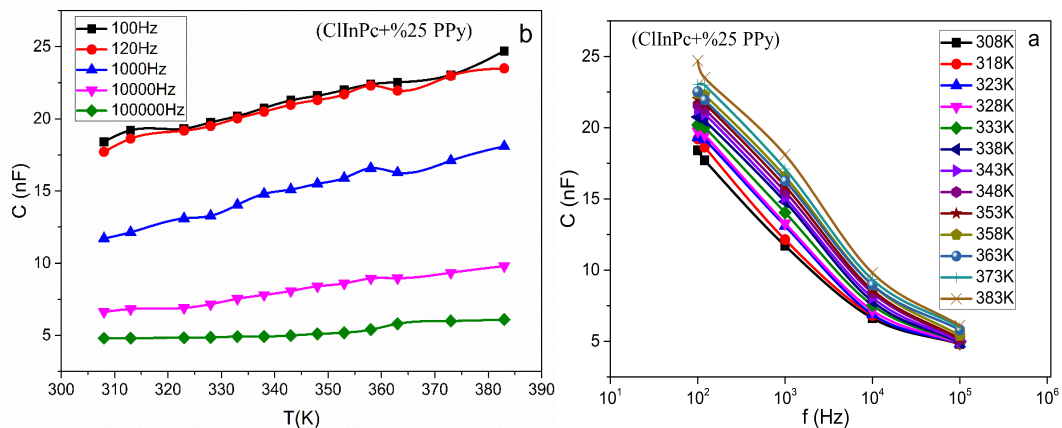
آنالیز عنصری EDS (طیف سنجی تفرق انرژی پرتو X) بر روی یک منطقه سطحی از نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی انتخاب و انجام شده است. شکل ۳a، ۳b و ۳c به ترتیب آنالیز عنصری نانو کامپوزیت‌های ۵٪ و ۱۵٪ و ۲۵٪ را نشان می‌دهد و



شکل ۴: تغییرات ظرفیت برحسب (a) فرکانس (b) دما برای نانو کامپوزیت (CIInPc+5%PPY)



شکل ۵: تغییرات ظرفیت برحسب (a) فرکانس (b) دما برای نانو کامپوزیت (CIInPc+15%PPY)

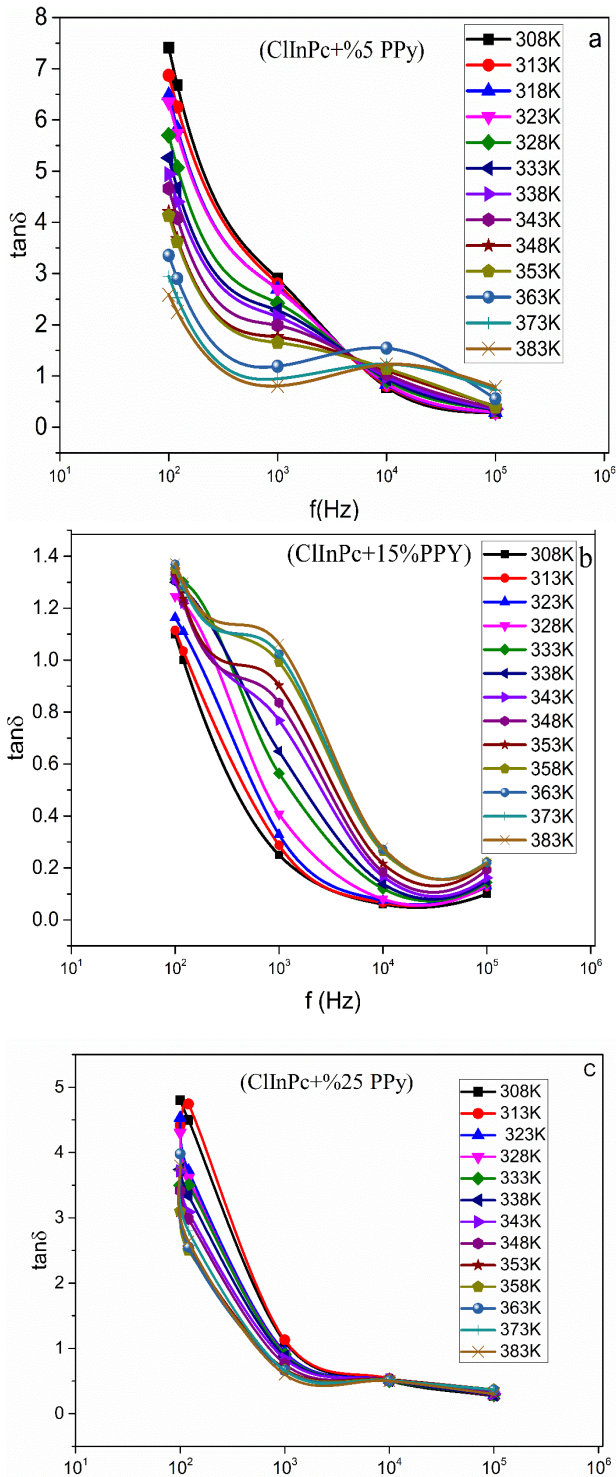


شکل ۶: تغییرات ظرفیت برحسب (a) فرکانس (b) دما برای نانو کامپوزیت (CIInPc+25%PPY)

شده است. طبق نمودار شکل ۴a، ۵a و ۶a برای سه درصد مختلف نانو کامپوزیت‌ها ظرفیت با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد و با افزایش دما افزایش پیدا می‌کند. در توجیه کاهش ظرفیت با افزایش فرکانس می‌توان بیان کرد که اگر فرکانس میدان الکتریکی

۳-۲- بررسی خواص الکتریکی AC

مقادیر ظرفیت در بازه فرکانسی ۱۰۰ تا ۱۰^۵ هرتز و در بازه دمایی ۳۰۸-۳۸۳ کلون برای نمونه‌های ۵٪ و ۱۵٪ و ۲۵٪ اندازه‌گیری



شکل ۷: تغییرات عامل اتلاف بر حسب فرکانس برای نانو کامپوزیت
 (a) ۵٪ (b) ۱۵٪ (c) ۲۵٪

فرکانس های بالا جمله‌ی دوم (ωRC) مطرح است که باعث افزایش عامل اتلاف است. در بین این دو جمله‌ی رابطه ۳ یک کمینه وجود دارد که مقدار آن به صورت زیر است:

$$\omega_{min} = \left(\frac{1}{rRC^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

پایین باشد به طوری که زمان بین دو جابه‌جایی قطب مثبت و منفی میدان بیشتر از زمان لازم برای چرخش مولکول‌های دوقطبی باشد، دوقطبی‌ها به طور کامل چرخیده و در جهت جدید قرار می‌گیرند ولی اگر فرکانس افزایش یابد به طوری که مولکول‌های دوقطبی زمان کافی برای چرخش نداشته باشد چرخش مولکول محدود می‌شود و ظرفیت کاهش می‌یابد. این رفتار همچنین مطابق با رفتار ظرفیت در مدل گاسومی-گاسومی است [۱۶]. براساس این مدل تغییرات ظرفیت نسبت به فرکانس در مدار سری، مطابق رابطه ۱ است [۱۷].

$$C_S = \frac{1 + \omega^2 C^2 R^2}{\omega^2 C^2 R^2} = C + \frac{1}{\omega^2 C^2 R^2} \quad (1)$$

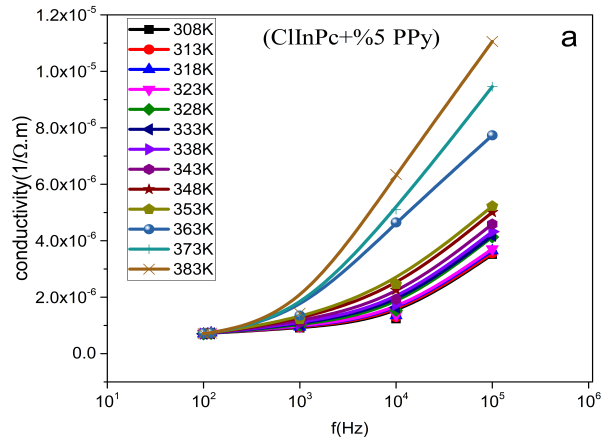
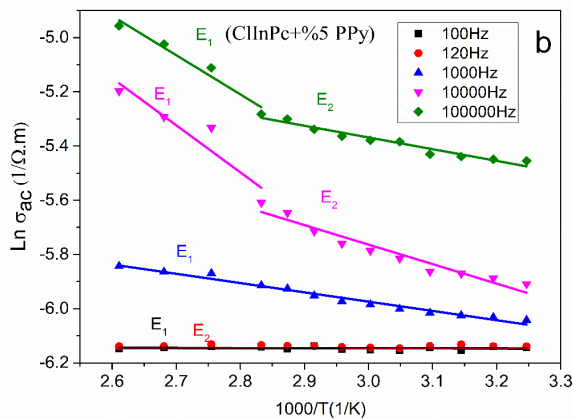
که C_s و R به ترتیب مقاومت و ظرفیت مدار سری هستند. طبق معادله (۱) با افزایش فرکانس مقدار ظرفیت کاهش می‌یابد و در فرکانس بالا به مقدار ثابت C میل می‌کند. در این مدل ظرفیت C ، که مستقل از دما و فرکانس است با مقاومت درونی مواد R ، موازی است و هر دو با مقاومت r به صورت سری هستند [۱۸]. با توجه به تصاویر ۴b، ۵b و ۶b ظرفیت در فرکانس های بالا ($f < 10^3$) با افزایش دما تغییری زیادی ندارد، در حالی که در فرکانس های پایین ($f > 10^3$) که جهت‌گیری مولکول‌های دوقطبی آسان‌تر است، افزایش دما موجب افزایش تعداد حامل‌ها و افزایش ظرفیت می‌شود. طبق رابطه ۲ با افزایش دما، R کاهش می‌یابد و چون C_s به R نیز وابسته است با کاهش R ، C_s نیز افزایش می‌یابد.

$$R = R_0 \exp(\Delta E / KT) \quad (2)$$

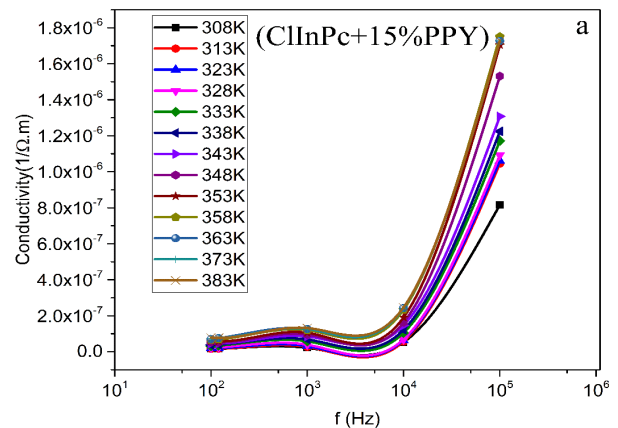
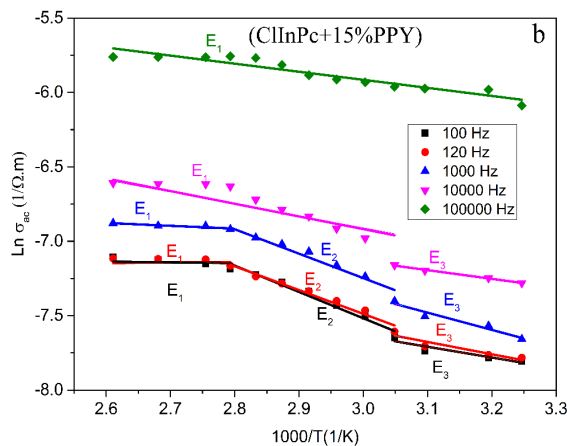
تصاویر ۷a، ۷b و ۷c به ترتیب در بازه فرکانس ۱۰۰ تا ۱۰^۵ هرتز و دمای ۳۰۸-۳۸۳ کلوین برای کامپوزیت های ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪ نشان می‌دهد که مقادیر عامل اتلاف با افزایش فرکانس کاهش پیدا می‌کند. مطابق تئوری گاسومی-گاسومی [۱۷] عامل اتلاف طبق رابطه ۳ نوشته می‌شود.

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega RC} + \omega rC \quad (3)$$

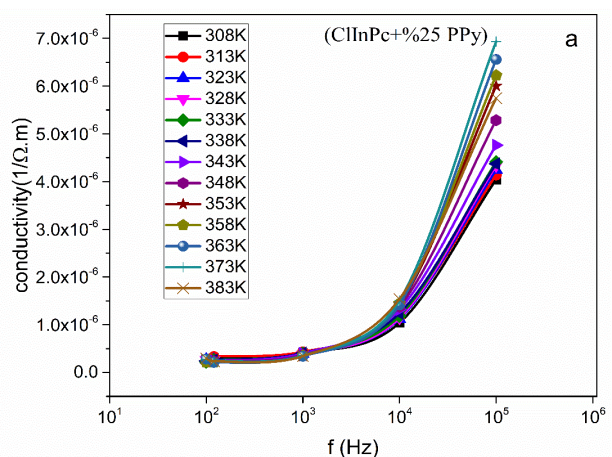
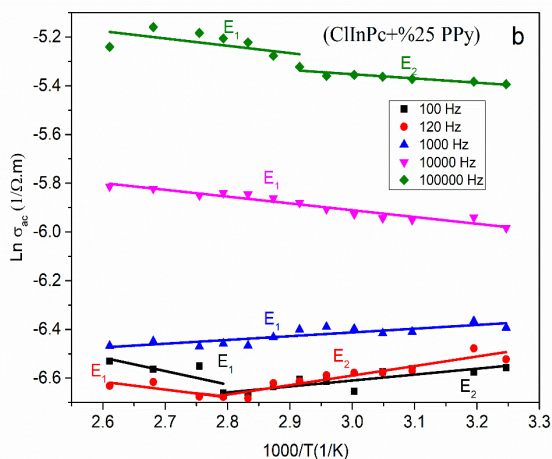
در فرکانس پایین و دمای بالا جمله اول ($\frac{1}{\omega RC}$) مطرح است که با افزایش فرکانس عامل اتلاف کاهش پیدا می‌کند. از طرفی در



شکل ۸: تغییرات رسانندگی برحسب (a) فرکانس و (b) دمای $1000/T$ برای نانو کامپوزیت ۵٪



شکل ۹: تغییرات رسانندگی برحسب (a) فرکانس و (b) دمای $1000/T$ برای نانو کامپوزیت ۱۵٪



شکل ۱۰: تغییرات رسانندگی برحسب (a) فرکانس و (b) دمای $1000/T$ برای نانو کامپوزیت ۲۵٪

شده است [۱۹ و ۲۰]. رسانندگی برحسب فرکانس در دماهای مختلف از رابطه ۵ بدست می‌آید.

$$\sigma_{ac}(\omega) = \omega C \tan \delta \frac{d}{A} \quad (5)$$

که در آن d ضخامت لایه نازک و A مساحت سطح نمونه

نمودار نانو کامپوزیت ۵٪ شکل ۷a نشان می‌دهد که در سه دمای ۳۶۳، ۳۷۳ و ۳۸۳ کلون این مینیمم دیده شده است ولی به علت محدودیت فرکانس مقدار کمینه برای دیگر قسمت‌ها مشهود نیست و مشابه این رفتار در چندین تحقیق هم مشاهده

سطحی گاز شکل می‌گیرد (هدایت الکتریکی) افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق قطعه‌های ساندویچی (CIInPc+5% PPy) و (CIInPc+15% PPy) و (CIInPc+25% PPy) برای بررسی خواص الکتریکی AC در بازه‌ی فرکانسی 10^5-10^3 هرتز و بازه‌ی دمایی $308-383$ کلوین ساخته شده است. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که در تمام نمونه‌ها ظرفیت با افزایش فرکانس کاهش و با افزایش دما، افزایش می‌یابد. عامل اتلاف نمونه‌ها با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد که این رفتارها مطابق با مدل گاسوامی-گاسوامی است. در تمام نمونه‌ها رسانندگی با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد و از رابطه $\sigma_{ac}(\omega) = A\omega^s$ پیروی می‌کند که این رفتار در بسیاری از ساختارهای لایه نازک دیده می‌شود و به انتقال حامل‌ها با مکانیزم هوبینگ مرتبط است. انرژی فعال‌سازی برای نمونه‌ها محاسبه شد و نتایج نشان داد که با افزودن پلیمر رسانا انرژی فعال‌سازی در فرکانس‌های 10^3 ، 10^4 و 10^5 هرتز کاهش می‌یابد. تصاویر FESEM نشان داد که ذرات به صورت کروی هستند و سایز ذرات کمتر از 30 نانومتر است. آنالیز EDS درصد عناصر مورد انتظار را تایید می‌کند. این اطلاعات می‌تواند در ساخت قطعه برای حسگرهای گازی مهم و مفید باشد. با توجه به اینکه با افزایش درصد پلی پیرول انرژی فعال‌سازی کاهش یافته است، استفاده از این مواد به عنوان یک حسگر بهتر به دلیل انتقال مناسب حامل‌ها توصیه پذیر می‌باشد.

می‌باشد. شکل a ، $9a$ و $10a$ نشان می‌دهد که رسانندگی با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد. به طور کلی رسانندگی AC به فرکانس وابسته است و از قانون توانی پیروی می‌کند:

$$\sigma_{ac}(\omega) = A\omega^s \quad (6)$$

که در آن A ثابت، $\omega=2\pi f$ فرکانس زاویه ای و s توان فرکانسی ($0 < s < 1$) است. رسانندگی در فرکانس‌های بالاتر از 10^3 هرتز برای نانو کامپوزیت 5% و در فرکانس‌های بالاتر از 10^4 هرتز برای نانو کامپوزیت 15% و 25% افزایش می‌یابد که می‌توان بیان کرد مکانیزم هوبینگ در این بازه‌های فرکانسی غالب است. انرژی فعال سازی از رابطه γ بدست می‌آید که کافی است شیب منحنی $\ln\sigma$ را برحسب $1000/T$ رسم نمود.

$$\sigma = \sigma_0 \exp(Ea/KT) \quad (7)$$

در رابطه γ ، Ea انرژی فعال‌سازی و K ثابت بولتزمن است.

گاف انرژی نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Ea = (Eg/2) \quad (8)$$

با توجه به شیب نمودار در تصاویر a ، $9b$ و $10b$ انرژی فعال‌سازی برای سه درصد متفاوت کامپوزیت در جدول ۲، محاسبه شده است. انرژی فعال‌سازی به طور محسوس در فرکانس‌های 10^3 ، 10^4 و 10^5 هرتز با افزودن پلیمر رسانا کاهش یافته است. می‌توان نتیجه گرفت امکان دارد که حساسیت این مواد با افزودن پلیمر رسانا زیاد شود و در توجیه این مورد بیان کرد که در فرآیند سنجش گاز، انتقال باری که بین حلقه‌های فتالوسیانین و پلیمر رسانا به عنوان پذیرنده (یا دهنده) با گاز به عنوان مولکول دهنده (یا پذیرنده) در جذب

جدول ۱: انرژی فعال‌سازی نانو کامپوزیت‌ها

فرکانس (Hz)	انرژی فعال‌سازی (CIInPc+5%PPY) (eV)		انرژی فعال‌سازی (CIInPc+15%PPY) (eV)			انرژی فعال‌سازی (CIInPc+25%PPY) (eV)	
	(E1)	(E2)	(E1)	(E2)	(E3)	(E1)	(E2)
100	0/003	-	0/041	1/768	0/723	0/007	0/243
120	0/003	-	0/048	1/598	0/827	0/321	0/390
1000	0/342	-	0/19	1/641	1/158	0/154	-
10000	1/736	0/720	0/852	-	0/580	0/279	-
100000	1/44	0/432	0/357	-	-	0/328	0/174

- [11] S. Pourteimoor, H. Haratizadeh, "Performance of a fabricated nanocomposite-based capacitive gas sensor at room temperature," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, 24, 18529–18534, 2017.
- [12] H. Liu, X. B. Hu, J. Y. Wang, R. I. Boughton, "Structure, conductivity, and thermopower of crystalline polyaniline synthesized by the ultrasonic irradiation polymerization method," *Macromolecules*, 25, 9414–9419, 2002.
- [13] J. Tabačiarová, M. Mičušík, P. Fedorko, M. Omastová, "Study of polypyrrole aging by XPS, FTIR and conductivity measurements," *Polym. Degrad. Stab.*, 20, 392–401, 2015.
- [14] S. Pirsā, N. Alizadeh, "Design and fabrication of gas sensor based on nanostructure conductive polypyrrole for determination of volatile organic solvents," *Sensors Actuators, B Chem.*, 2, 461–466, 2010.
- [15] I. Sapurina et al., "Polypyrrole nanotubes: The tuning of morphology and conductivity," *Polym. (United Kingdom)*, 113, 247–258, 2017.
- [16] A. Goswami and R. R. Varma, "157 Dielectric Behaviour of Dysprosium Oxide Films," 98, 157–165, 1975.
- [17] A. Goswami and A. P. Goswami, "Dielectric and optical properties of ZnS films," *Thin Solid Film.*, 2, 175–185, 1973.
- [18] M. E. Azim-Araghi, F. Pirifard, "Morphology, optical and AC electrical properties of nanostructure thin film of bromo indium phthalocyanine," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 6, 1466–1471, 2013.
- [19] M. Singh, A. Mahajan, N. Gupta, R. K. Bedi, "Study of junction charge transport properties of boron subphthalocyanine chloride thin film," *Electron. Mater. Lett.*, 1, 118–126, 2015.
- [20] M. Singh, A. Mahajan, R. K. Bedi, D. K. Aswal, "Dielectric Spectroscopic Studies of Boron Subphthalocyanine Chloride Thin Films," *Electron. Mater. Lett.*, 1, 101–106, 2013.
- [1] S. Varghese, "Natural rubber-based nanocomposites by latex compounding with layered silicates," 44, 4921–4927, 2003.
- [2] Ü. Demirbaş, M. Pişkin, H. T. Akçay, B. Barut, M. Durmuş, H. Kantekin, "Synthesis, characterisation, photophysical and photochemical properties of free-base tetra-(5-chloro-2-(2,4-dichlorophenoxy)phenoxy)phthalocyanine and respective zinc(II) and lead(II) complexes," *Synth. Met.*, 223, 166–171, 2017.
- [3] J. R. Miles, M. R. Willis, R. P. O. Jones, "Photoconduction properties of some monomeric phthalocyanines and dibromoanthrone," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, 15, 61–72, 2012.
- [4] E. Kim, "Phthalocyanine Nanostructures", *Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*, 15, 629-689, 2004.
- [5] H. S. Nalwa, *Handbook of advanced electronic and photonic materials and devices.* Academic Press, 2000.
- [6] J. H. Chou, M. E. Kosal, H. S. Nalwal, N. A. Rakow, K. S. Suslick, *The Porphyrin Handbook*, 2000.
- [7] M. G. Walter, A. B. Rudine, C. C. Wamser, "Porphyrins and phthalocyanines in solar photovoltaic cells," *J. Porphyrins Phthalocyanines.*, 9, 759–792, 2010.
- [8] M. Mozaffari, A. Behjat, N. Torabi, "Application of copper phthalocyanin for surface modification of perovskite solar cells," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, 21, 18187–18192, 2018.
- [9] J. D. Holbrey, "Industrial applications of phthalocyanines," *J. Porphyr. Phthalocyanines*, 437, June, 35–37, 2004.
- [10] M. J. Jafari, M. E. Azim-Araghi, S. Barhemat, "Effect of chemical environments on palladium phthalocyanine thin film sensors for humidity analysis," *J. Mater. Sci.*, 4, 1992–1999, 2012.



Influence of Temperature and Frequency on Electrical Properties Nanocomposite Chloroindium Phthalocyanine-Polypyrrole

M. E. Azim Araghi, S. Mahmoudi*

Faculty of physics, Kharazmi University, Tehran

Abstract: In this research work, the AC electrical properties of nanocomposite chloroindium phthalocyanine-polypyrrole were studied. Nanocomposites (ClInPc+%5 PPy) & (ClInPc+%15 PPy) & (ClInPc+%25 PPy) were synthesized and Subsequently sandwich devices (Al/ClInPc+PPy/Al) were prepared on pre-cleaned glass substrates, which were deposited in a high vacuum device of the electron-beam gun in the pressure of 10^{-5} mbar. Capacitance and Dissipation factor were measured in the range of 10^2 - 10^5 Hz frequency and 307-383 K temperatures. the capacitance and loss factor reduced by increasing the frequency and enhanced by increasing the temperatures. The AC electrical properties thin films of our materials are in good agreement with Goswami and Goswami model. The dependence of the electrical conductivity on the frequency is analyzed by the equation $\sigma(\omega) = A\omega^S$ which is typical for charge transport. The dominance of each mechanism depends on the experimental conditions and the temperature and frequency intervals. In this present research, the conduction mechanism is specified with hopping models. furthermore, the activation energies of the device are achieved as a function of frequency. The surface morphology of the nanocomposite thin film was investigated by field emission scanning electron microscope (FESEM) images.

Keywords: AC conductivity, Phthalocyanine, Polypyrrole, The conduction mechanism.