

تأثیر نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در خواص مکانیکی پلی کربنات جهت استفاده در صنایع

فرهاد جهان تیغ^{۱*}، مهدی اسکندری^۳ و سید محمد باقر قریشی^۲

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (ص)، تهران، ایران

۲- دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان

۳- دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، بخش فیزیک

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۵/۰۵/۲۴، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۵/۰۷/۲۵، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۵/۰۸/۱۲

چکیده

در دهه‌های گذشته، پلی کربنات به خاطر خواص منحصر بفرد خود مثل خواص فیزیکی، اپتیکی، گرمایی، مکانیکی و بدلیل کاربردهای متعدد در فناوری مدرن مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق فیلم‌های پلی کربنات و نانوکامپوزیت پلی کربنات-دی اکسید تیتانیوم در درصدهای مختلف ساخته شدند. سپس ساختار نمونه‌ها توسط پراش اشعه ایکس مورد مطالعه قرار گرفت. پایداری گرمایی نمونه‌ها توسط آنالیز حرارت وزنی مطالعه شد. فیلم‌های پلی کربنات و نانوکامپوزیت پلی کربنات در اکسید تیتانیوم توسط روش‌های مختلف از جمله میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف‌سنجی مادون قرمز، طیف‌سنجی ماوراء بنفش-مرئی مورد مطالعه قرار گرفت. توسط آنالیز حرارت وزنی مشاهده شد که مقاومت گرمایی نمونه‌های کامپوزیتی در مقابل تخریب حرارتی نسبت به پلی کربنات بیشتر شده است. از خواص مکانیکی نمونه‌ها توسط میکرو سختی ویکرز و تست کشش مطالعه شد. سختی نمونه‌ها با افزایش میزان دی اکسید تیتانیوم درون کامپوزیت از ۱۱/۷ برای پلی کربنات به ۱۳/۶ برای فیلم نانوکامپوزیت ۵ درصد وزنی افزایش یافت. در تست کشش با افزودن نانوذرات به پلی کربنات (۲ درصد وزنی) استحکام نمونه ۱۸ درصد بهبود یافته است.

واژه‌های کلیدی: نانوکامپوزیت، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم، خواص مکانیکی، خواص گرمایی.

۱- مقدمه

صنایع شیمیایی نوین کاربرد دارند. از ویژگی‌های خاص آن می‌توان به مقاومت در برابر فشار و گرما و آتش، شفافیت، سختی، مقاومت در برابر اسیدهای آلی و معدنی، ماندگاری رنگ، قابلیت تولید در مقیاس‌های بزرگ، مقاومت در برابر خش و عدم مقاومت در برابر حلال‌های آلی اشاره کرد.

پلی کربنات‌ها از خانواده پلیمرهای ترموپلاستیک و گروه خاصی از پلیمرهای قابل ارتجاع هستند که در اثر گرمادهی شکل پذیر می‌باشند. این نوع پلاستیک‌ها به گسترده‌گی در

* عهده‌دار مکاتبات: فرهاد جهان تیغ

نشانی: تهران، دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (ص)، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

تلفن: ۰۲۱-۳۳۲۲۸۵۲، دورنگار: ۰۲۱-۳۳۲۲۸۵۰۱، پست الکترونیکی: f.jahantigh@yahoo.com

آلمان و نانوذرات دی اکسید تیتانیم شرکت دگوسای آلمان استفاده گردید.

پودر نانوذره‌ای دی اکسید تیتانیم دگوسای آلمان یکی از بهترین ماده‌های فوتوکالیستی موجود در جهان است و اندازه ذرات آن ۳۰ نانومتر می‌باشد. این پودر ترکیبی از فاز روتایل و آناتاز است که نسبت آناتاز به روتایل ۸۰ به ۲۰ است و مساحت سطح ویژه آن ۵۰ مترمربع بر گرم است.

۲-۲- روش ساخت

یک گرم پلی کربنات درون یک بالن ژوژه کوچک ریخته و به آن ۳۰ میلی‌لیتر از حلال دی کلرومتان اضافه گردید و در دمای اتاق با همزن مغناطیسی خوب هم زده شد تا پلی کربنات به صورت کامل حل شود.

نانوذرات اکسید تیتانیم دگوسا را به میزان ۰/۰۰۲۲، ۰/۰۰۴۴، ۰/۰۰۶۶، ۰/۰۰۸۸، ۰/۰۱۱۰، ۰/۰۲۲۰، ۰/۰۵۰۰، ۰ گرم وزن کرده و در ظرف‌های جداگانه ریخته و به هر کدام از آنها مقدار ۱۰ میلی‌لیتر دی کلرومتان اضافه می‌گردد. به منظور پخش نانوذرات در دی کلرومتان، به مدت ۶۰ دقیقه از دستگاه فراصوت استفاده و سپس با همزن مغناطیسی هم زده می‌شود. در حالیکه نانوذرات شناور شده در دی کلرومتان توسط همزن مغناطیسی هم زده می‌شوند، پلی کربنات حل شده به صورت آهسته به آنها اضافه می‌گردد. این عمل از رسوب نانوذرات جلوگیری کرده و پلی کربنات نیز به طور کامل به فضای بین‌دانه‌ای نفوذ می‌کند. بدین ترتیب سوسپانسیون‌های نانوکامپوزیتی پلی کربنات-اکسید تیتانیم با مقادیر ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۲ و ۵ درصد وزنی پلی کربنات تهیه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- طیف‌سنجی مادون قرمز

نوع برهمکنش میان نانوذرات دی اکسید تیتانیم و پلی کربنات از نوع فیزیکی است. از طیف‌سنجی مادون قرمز مشاهده شد که در اثر ترکیب این دو ماده گروه عاملی

پلی کربنات به طور ذاتی در برابر آتش مقاوم است اما وقتی سوزانده شود دود مات تیره‌ای تولید می‌کند. پلی کربنات جهت جایگزینی با شیشه‌ها و فلزات در طیف گسترده‌ای از کاربردها مانند پنل‌های صفحه نمایش، دیسک‌های فشرده، عدسی‌های عینک‌های سبک، پنجره‌ها، ساخت سپرهای ضد گلوله و ضد مین، شیشه‌های ضد گلوله، ساخت قسمت‌های مختلف هواپیما، موشک و ... استفاده می‌شود [۸-۱].

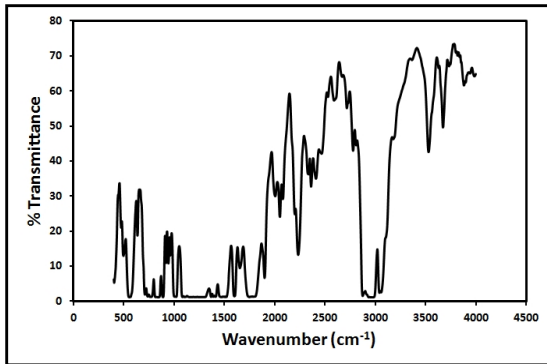
از مهمترین کاربردهای بالقوه پلی کربنات استفاده به عنوان جایگزین شیشه در فروشگاه‌های بزرگ و نمای ساختمان‌های بلند و برج‌ها می‌باشد. از جمله استفاده ورق‌های تخت پلی کربنات استفاده در مکان‌هایی است که نیاز به رعایت مسائل امنیتی می‌باشد زیرا این محصول در ضخامت‌های بالا خاصیت ضد گلوله پیدا می‌کند که بخصوص برای سالن‌های کنفرانس، تلافروشی و موزه‌ها، سپرهای ضد گلوله قابل استفاده می‌باشد [۱۰-۶].

در این تحقیق بدلیل اهمیت و پر کاربرد بودن پلی کربنات در صنعت نظامی و به منظور بهبود خواص مکانیکی، حرارتی و افزایش سختی پلی کربنات از نانوذرات دی اکسید تیتانیم استفاده گردیده که این امر در شکل ظاهری و مورفولوژی سطحی پلی کربنات تغییر قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌کند و باعث بهبود سختی پلی کربنات به میزان قابل توجهی و افزایش مقاومت حرارتی آن می‌گردد. در این تحقیق ساخت نانوکامپوزیت پلی کربنات-دی اکسید تیتانیم برای اولین بار صورت پذیرفت. علاوه بر تقویت سختی پلی کربنات که در تحقیق‌های پیشین مورد مطالعه قرار گرفته بود، خواص مکانیکی دیگر نیز مانند مدول الاستیک پلی کربنات در این تحقیق مطالعه شد [۱۱]. نکته قابل توجه این تحقیق بهبود خواص گرمایی و خواص مکانیکی پلی کربنات بطور همزمان بود که اهمیت این تحقیق را دو چندان می‌کند.

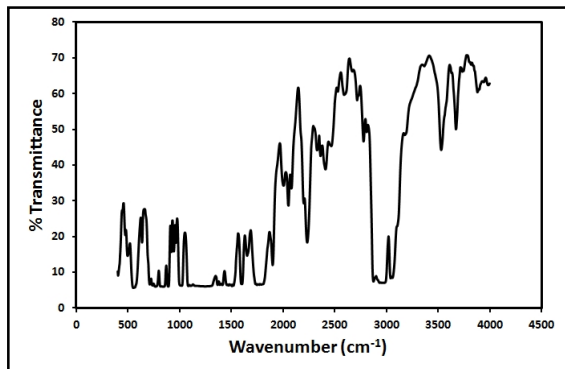
۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه

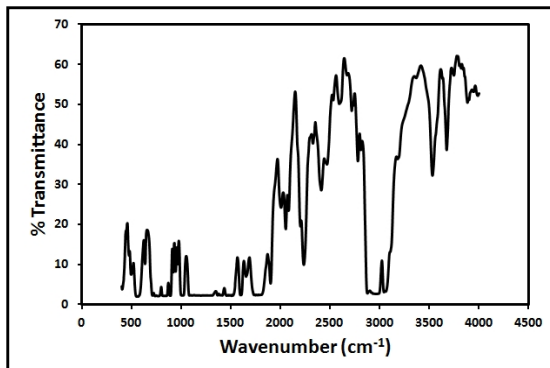
در این تحقیق از پلی کربنات ساخت شرکت جنرال الکتریک



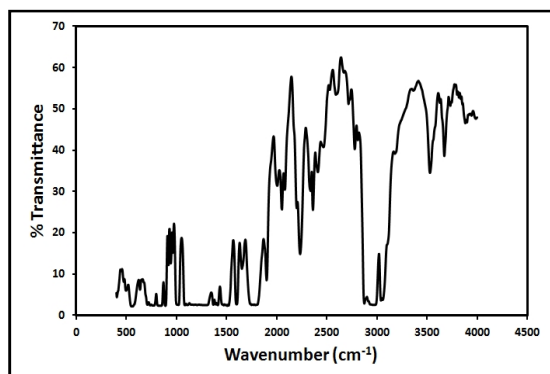
شکل ۲: طیف مادون قرمز نمونه ۰/۶ درصدی.



شکل ۳: طیف مادون قرمز نمونه ۱ درصدی.



شکل ۴: طیف مادون قرمز نمونه ۲ درصدی.



شکل ۵: طیف مادون قرمز نمونه ۵ درصدی.

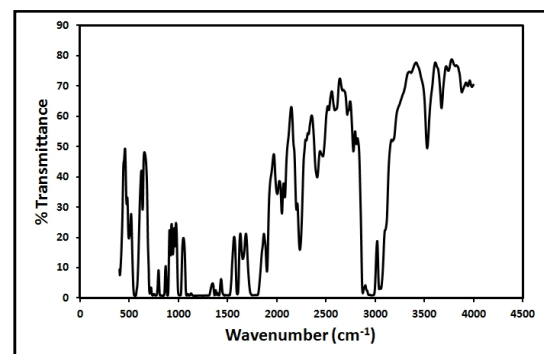
جدیدی به وجود نیامده است. در نمونه‌های نانوکامپوزیتی پیک‌ها مشخصه دی اکسید تیتانیم کاملاً مشهود است. پیک‌های مربوط به نانوذره دی اکسید تیتانیم در ناحیه عدد موجی ۴۳۶ و ۶۵۰ cm^{-1} هستند. با افزایش درصد نانوذرات در فیلم‌ها، اثر جذب دی اکسید تیتانیم مشخص تر می‌شوند به نحوی که در نمونه ۵ درصدی جذب بالای دی اکسید تیتانیم کاملاً مشهود است (شکل‌های ۵-۱) [۱۲].

۳-۲- طیف‌سنجی ماوراء بنفش و مرئی

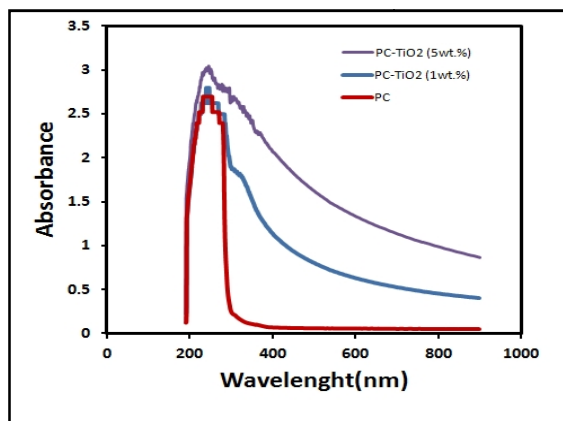
در شکل‌های ۶ و ۷ طیف جذبی پلی کربنات و فیلم نانوکامپوزیتی پلی کربنات-دی اکسید تیتانیم نشان داده شده است. با افزایش درصد دی اکسید تیتانیم، جذب فیلم‌ها در ناحیه ماوراء بنفش افزایش می‌یابد. علت این افزایش، جذب شدید دی اکسید تیتانیم در ناحیه ماوراء بنفش است. این افزایش جذب، منجر به کاهش در گاف انرژی در فیلم‌ها می‌شود بدلیل اینکه غلظت سوسپانسیون‌ها کم است این اختلاف در باند گپ ناچیز است. پلی کربنات در زمان کامپوزیت شدن با دی اکسید تیتانیم به فضای بین ذرات نفوذ کرده و باعث کاهش تراکم آنها می‌شود. در نتیجه این عمل، باند گپ فیلم‌ها بزرگتر از دی اکسید تیتانیم شده است [۱۳].

ضریب جذب در طول موج‌های مختلف با استفاده از رابطه ۱ به دست می‌آید:

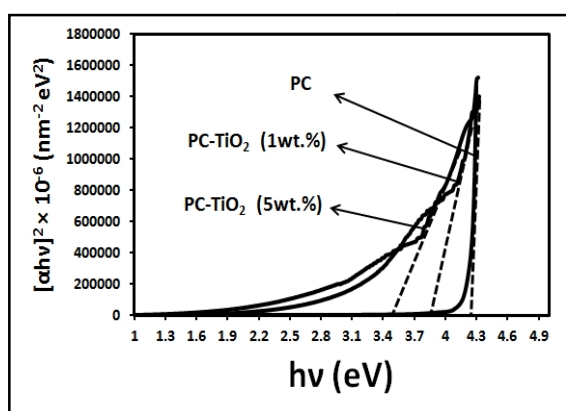
$$\alpha = \frac{2.303}{x} A \quad (1)$$



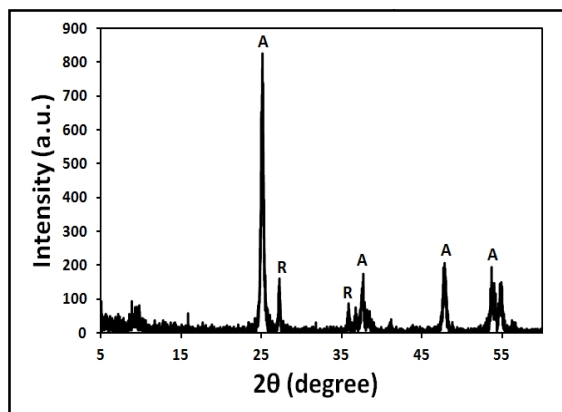
شکل ۱: طیف مادون قرمز پلی کربنات.



شکل ۶: مقایسه طیف جذب فیلم‌های نانو کامپوزیتی.



شکل ۷: گاف انرژی فیلم پلی کربنات و فیلم‌های نانو کامپوزیتی.



شکل ۸: الگوی پراش اشعه X پودر نانوذره دگوسا.

با افزایش میزان نانوذره دی اکسید تیتانیم گنبد آمورف پلی کربنات شروع به تغییر کرده به نحوی که در درصد های وزنی بالا شدت گنبد آمورف به شدت کاهش یافته و سبب تبدیل ساختار آمورفی پلی کربنات به ساختار بلوری می شود (شکل ۱۱-۹) [۱۵].

که x ضخامت لایه و A مقدار جذب است. برای نواحی جذب بالا که $\alpha(\omega) > 10^{-4}$ است بر طبق فرمول بندی موت و دیویس داریم:

$$\alpha(\nu) = \frac{B(h\nu - E_{opt})^n}{h\nu} \quad (2)$$

که n یک شاخص می باشد و بسته به نوع گذار، مقادیر ۲، ۳، ۱/۲ و ۱/۳ به ترتیب برای گذارهای غیرمستقیم مجاز، غیرمستقیم غیرمجاز، مستقیم مجاز و مستقیم غیرمجاز می پذیرد. B یک عدد ثابت و E_{opt} انرژی باند اپتیکی و $h\nu$ انرژی فوتون برخوردی است مقدار E_{opt} را می توان بوسیله امتداد دادن خط مماس بر این ناحیه خطی به طرف محور $h\nu$ به دست آورد. بطوری که محل برخورد این خط با محور در $(\alpha h\nu)^n$ مقدار E_{opt} می باشد [۱۴].

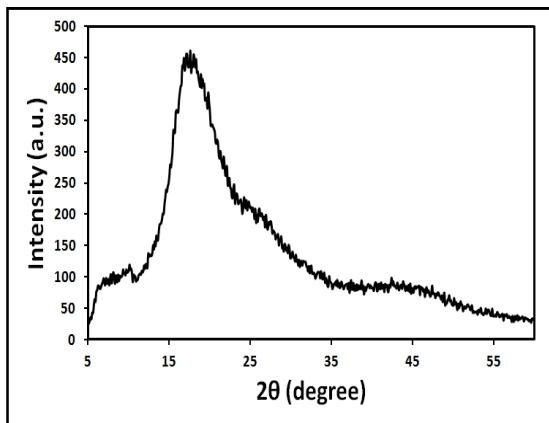
پودر دی اکسید تیتانیم دگوسا یک نیمه رسانا با پهنای گاف انرژی ۳/۲ الکترون ولت است. وجود این گاف انرژی موجب جذب شدید این نانوذرات در ناحیه ماوراء بنفش مرئی می گردد با افزایش درصد نانوذرات در فیلم های نانو کامپوزیتی پلی کربنات - دی اکسید تیتانیم، میزان جذب نور در ناحیه مرئی و ماوراء بنفش افزایش می یابد. علت افزایش جذب در ناحیه ماوراء بنفش مرئی در فیلم های نانو کامپوزیتی، جذب شدید ماوراء بنفش دی اکسید تیتانیم است. با افزایش نانوذرات دی اکسید تیتانیم درون پلی کربنات گاف انرژی کامپوزیت کاهش می یابد. در بررسی گاف انرژی نمونه ها مشاهده شد که با افزایش نانوذرات در کامپوزیت گاف انرژی از ۴/۳ برای پلی کربنات به ۳/۵ برای نمونه ۵ درصد وزنی کاهش می یابد.

۳-۳- پراش اشعه ایکس

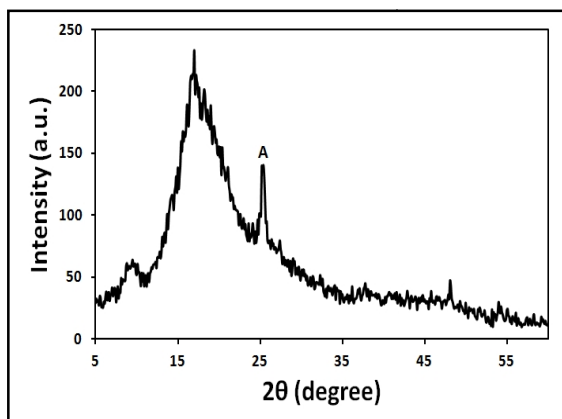
الگوی پراش اشعه ایکس گرفته شده از پودر دی اکسید تیتانیم در شکل ۸ نشان داده شده است و در آن پیک های مشخصه آنتاز و روتایل نشان داده شده است. الگوی پراش اشعه ایکس برای فیلم های نانو کامپوزیتی نشان دهنده تغییر در ساختمان آمورف پلی کربنات می باشد.

جدول ۱: اطلاعات به دست آمده از الگوی پراش اشعه X پودر نانوذره دگوسا.

2θ(deg)	FWHM (deg)	hkl	Particle grain size (nm)	Phase taype
25.144	0.406	101	20	A
27.272	0.253	110	32	R
35.9	0.300	101	27.83	R
37.656	0.468	004	17.9	A
37.667	0.468	112	17.93	A
41.091	0.291	111	29.15	R
44.27		210		R
47.849	0.385	200	22.5	A
53.95	0.738	105	12.09	A
54.906	0.564	211	15.81	A
62.61	0.463	002	20.06	A
68.694	0.650	301	14.80	R
70.034	0.47	220	20.41	A
74.946	0.55	215	18.20	A



شکل ۹: الگوی پراش اشعه X فیلم پلی کربنات خالص.



شکل ۱۰: الگوی پراش اشعه X فیلم نانوکامپوزیتی ۱ درصدی.

را محاسبه کرد که در شکل ۱۴ (الف تاج) نشان داده شده است. شکل الف مربوط به پلی کربنات و شکل ب و ج مربوط به نمونه ۱ درصدی و ۵ درصدی است.

۳-۴- آنالیز حرارتی وزنی

با توجه به نمودار در شکل ۱۲ به دست آمده مشاهده شد که نمونه‌ها در دو مرحله تخریب می‌شوند. مقاومت گرمایی دی اکسید تیتانیم بسیار زیاد است. با افزایش درصد دی اکسید تیتانیم در فیلم‌های نانوکامپوزیتی پلی کربنات-دی اکسید تیتانیم استقامت گرمایی آنها بیشتر می‌شود.

دماهای T_{10} دمای جسم در ۱۰ درصد وزن کاهش یافته و T_{50} دمای جسم در ۵۰ درصد وزن کاهش یافته معمولاً در آنالیز حرارت وزنی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در جدول ۲ داده‌های گرمایی به دست آمده نشان داده شده است.

اثر نانوذرات دی اکسید تیتانیم در پایداری گرمایی پلی کربنات و تعیین انرژی فعال‌سازی ترکیب توسط روش Broido محاسبه گردید [۱۶، ۱۷].

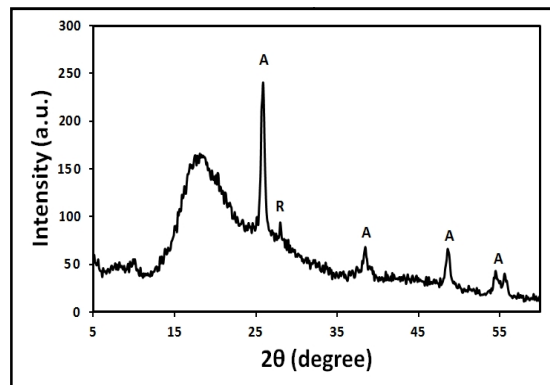
$$\ln[-\ln(1 - \alpha)] = -\frac{E}{RT} + \text{const} \quad (۳)$$

$$\alpha = \frac{W_0 - W(t)}{W_0 - W_\infty} \quad (۴)$$

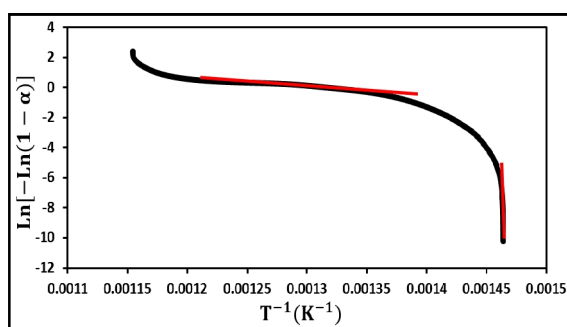
که در آن W_0 ، $W(t)$ و W_∞ وزن نمونه قبل از تخریب، در زمان t و بعد از تخریب است. E انرژی فعال‌سازی، T دما و R ثابت گازهاست. با رسم نمودار $\ln[-\ln(1 - \alpha)]$ بر حسب $1/T$ و تعیین شیب $(-E/R)$ می‌توان انرژی فعال‌سازی

جدول ۲: داده‌های آنالیز وزن سنجی گرمایی برای نمونه پلی کربنات و پلی کربنات- دی اکسید تیتانیوم.

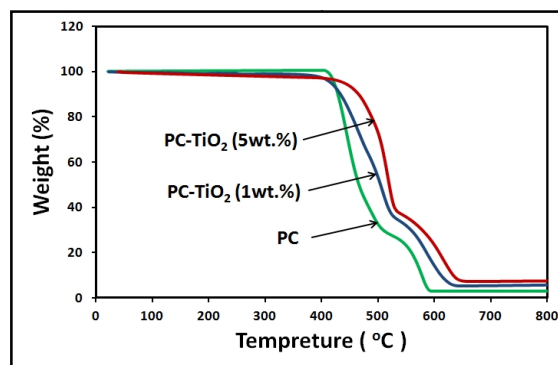
دما در وزن‌های کاهش یافته مختلف		نمونه
T ₅₀	T ₁₀	
۴۶۵	۴۲۹	پلی کربنات
۵۰۳	۴۳۳	پلی کربنات- دی اکسید تیتانیوم ۱ درصد وزنی
۵۲۰	۴۶۶	پلی کربنات- دی اکسید تیتانیوم ۵ درصد وزنی



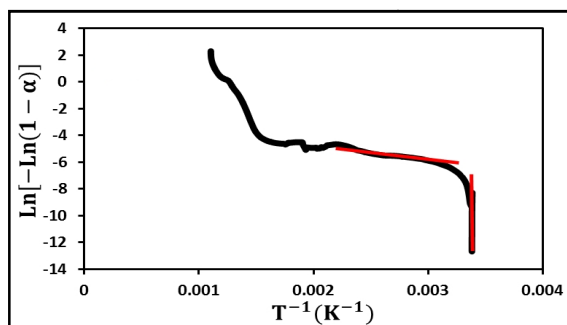
شکل ۱۱: الگوی پراش اشعه X فیلم نانوکامپوزیتی ۵ درصدی.



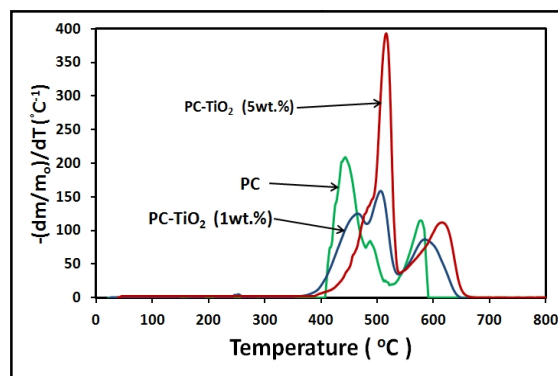
(الف)



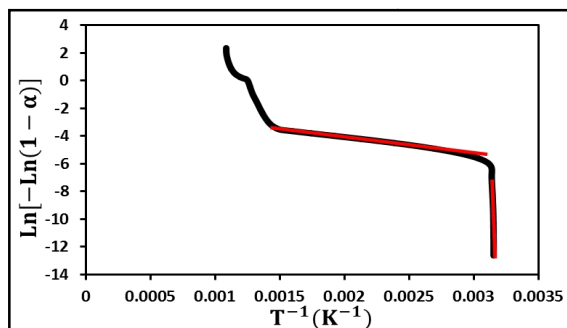
شکل ۱۲: نتیجه وزن سنجی گرمایی نمونه پلی کربنات و نانوکامپوزیت پلی کربنات- دی اکسید تیتانیوم.



(ب)



شکل ۱۳: نتیجه نمودار DTG نمونه پلی کربنات و نانوکامپوزیت پلی کربنات- دی اکسید تیتانیوم.

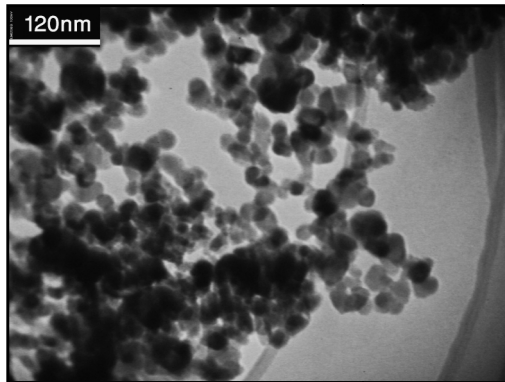


(ج)

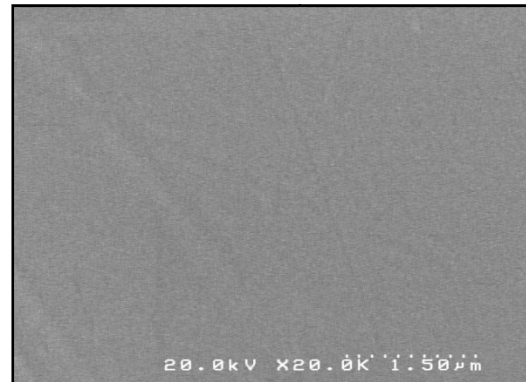
شکل ۱۴: نمودارهای تعیین انرژی فعال‌سازی برای نمونه‌های (الف) پلی کربنات، پلی کربنات- دی اکسید تیتانیوم، (ب) ۱ درصد وزنی و (ج) ۵ درصد وزنی.

۳-۵- میکروسکوپ الکترونی روبشی

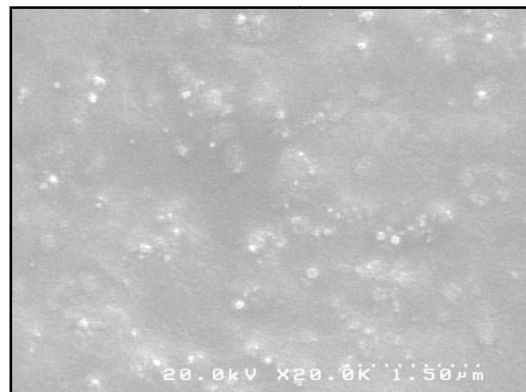
تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ تغییری در مورفولوژی سطحی نمونه‌های نانوکامپوزیت را نشان نمی‌دهد. این امر بیانگر این است که نانوذرات زیر لایه نازکی از پلی کربنات قرار گرفته‌اند. با توجه به تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی



شکل ۱۷: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات دی اکسید تیتانیم.

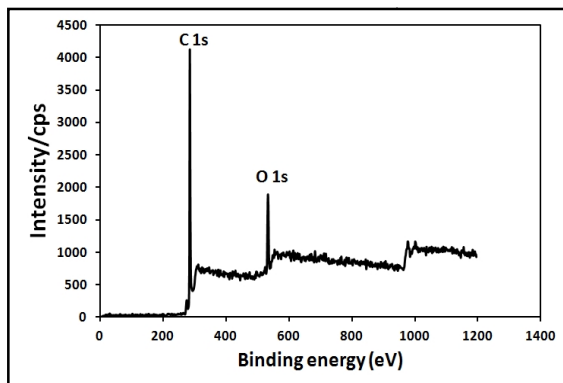


شکل ۱۵: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پلی کربنات.

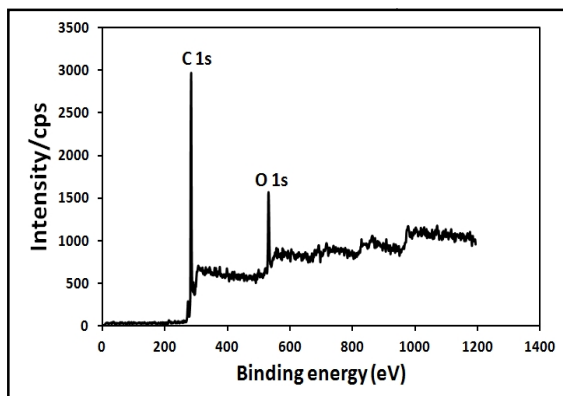


شکل ۱۶: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه ۵ درصدی.

توسط مشخصه‌یابی کربن 1s کالیبره گردید. نسبت اکسیژن به کربن برای هر دو نمونه پلی کربنات و نانوکامپوزیت پلی کربنات-دی اکسید تیتانیم اندازه‌گیری شد. تفاوت قابل ملاحظه‌ای در نسبت اکسیژن به کربن برای هر دو نمونه مشاهده نشد.



شکل ۱۸: طیف فوتوالکترون پرتو X برای پلی کربنات.



شکل ۱۹: طیف فوتوالکترون پرتو X برای پلی کربنات-دی اکسید تیتانیم.

رویشی از نمونه‌ها مشاهده شد که نانوذرات دی اکسید تیتانیم در زیر لایه از پلی کربنات قرار دارند و پلی کربنات به صورت لایه نازکی روی نانوذرات را گرفته است.

۳-۶- میکروسکوپ الکترونی عبوری

شکل ۱۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نانوذرات دی اکسید تیتانیم و توزیع اندازه نانوذرات را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست اندازه متوسط نانوذرات دی اکسید تیتانیم تقریباً ۳۰ نانومتر می‌باشد.

۳-۷- طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو X

در این تحقیق از چشمه Al-K α با انرژی ۱۴۸۶/۶ الکترون ولت و از خلأ حدود 5×10^{-8} میلی‌بار برای سنجش نمونه‌ها استفاده گردید. نمونه پلی کربنات و نانوکامپوزیت ۵ درصدی توسط طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو X مورد بررسی قرار گرفتند (شکل‌های ۱۸ و ۱۹). باندینگ انرژی

جدول ۳: نسبت اکسیژن به کربن برای دو نمونه پلی کربنات و پلی کربنات- دی اکسید تیتانیم.

نمونه‌ها	درصد اتمی اکسیژن 1s	درصد اتمی کربن 1s	نسبت اکسیژن به کربن
پلی کربنات	۳۰/۸۷	۶۹/۱۲	۰/۴۰
پلی کربنات- دی اکسید	۲۶/۸۶	۷۳/۱۳	۰/۳۶

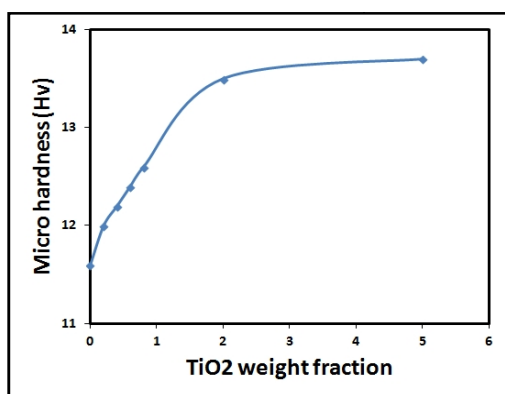
جدول ۴: باندهای مختلف کربن و درصد‌های آنها برای دو نمونه پلی کربنات و پلی کربنات- دی اکسید تیتانیم.

نمونه	C=O (%)	C-C (%)
پلی کربنات	۷/۱	۹۲/۹
پلی کربنات- دی اکسید تیتانیم	۷/۹	۹۲/۱

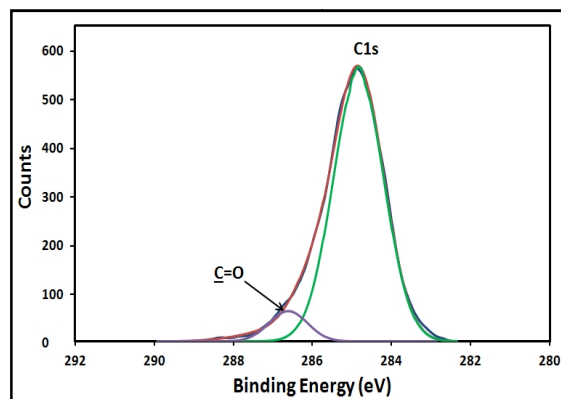
جدول ۵: باندهای مختلف اکسیژن و درصد‌های آنها برای دو نمونه پلی کربنات و پلی کربنات- دی اکسید تیتانیم.

نمونه	O-C (%)	O=C (%)
پلی کربنات	۶۲	۳۸
پلی کربنات- دی اکسید تیتانیم ۵ درصد	۶۱/۱	۳۸/۹

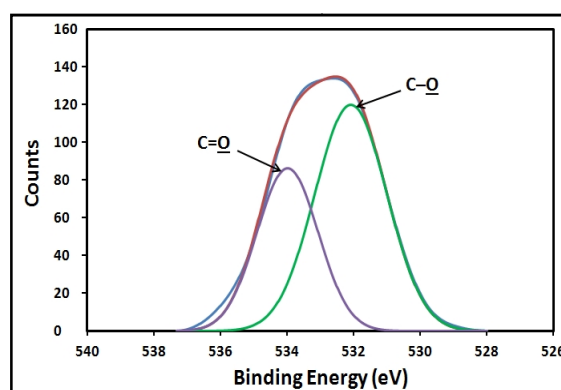
پلی کربنات از ۱۱/۷ با افزایش درصد وزنی نانوذرات در آن به ۱۳/۶ برای فیلم نانو کامپوزیت ۵ درصد وزنی رسید. در شکل ۲۲ میکروسختی فیلم‌های پلی کربنات و نانو کامپوزیت‌ها با درصد‌های وزنی مختلف نشان داده شده است.



شکل ۲۲: نمودار میکروسختی بر حسب درصد وزنی نانوذرات.



شکل ۲۰: مشخصه پیک کربن 1s پلی کربنات.



شکل ۲۱: مشخصه پیک اکسیژن 1s پلی کربنات.

شکل ۲۰ و ۲۱ مشخصه پیک کربن و اکسیژن پلی کربنات شامل پیوندهای C-O و C=O نشان داده شده است. در جدول ۳ نسبت اکسیژن به کربن را برای هر دو نمونه پلی کربنات و پلی کربنات- دی اکسید تیتانیم را نشان داده شده است. با توجه به این جدول تفاوتی در این نسبت برای دو نمونه مشاهده نشد.

۳-۸- بررسی میکروسختی

میکروسختی فیلم‌های پلی کربنات و نانو کامپوزیت پلی کربنات- دی اکسید تیتانیم با درصد‌های وزنی مختلف توسط روش Vickers اندازه‌گیری شد (شکل ۲۲) [۱۸]. در این بررسی از فیلم‌هایی با ضخامت ۱۰۰ میکرومتر استفاده گردید. ابتدا فیلم‌ها روی یک قالب فلزی کاملاً صاف و مسطح چسبانده شدند، سپس فیلم‌ها تحت تاثیر نیروی ۵۰ گرمی برای مدت ۳۰ ثانیه قرار گرفتند و مشاهده شد میکروسختی فیلم

درصد بهبود یافته است. با توجه به نتایج مشاهده شد که با افزایش درصد وزنی نانوذرات به پلی کربنات مدول یانگ افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نمودار جذب حاصل از طیف UV-Vis نمونه‌های پلی کربنات و کامپوزیت پلی کربنات-دی اکسید تیتانیم مشاهده شد که جذب نمونه‌ها با افزایش نانوذرات، افزایش می‌یابد. در بررسی گاف انرژی مشاهده شد که با افزایش نانوذرات در کامپوزیت گاف انرژی از ۴/۳ برای پلی کربنات به ۳/۵ برای نمونه ۵ درصد وزنی کاهش می‌یابد.

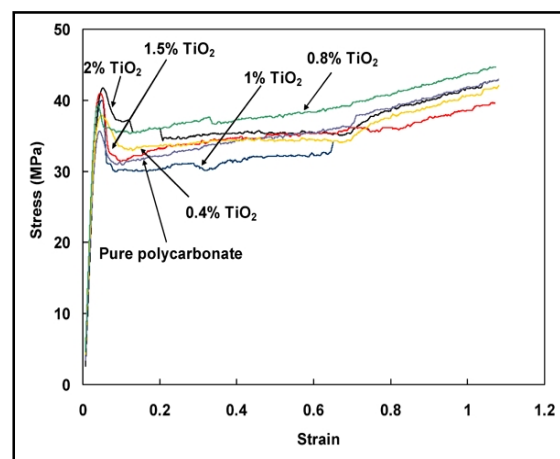
به منظور اندازه‌گیری مقاومت گرمایی فیلم‌های نانوکامپوزیتی از آنالیز وزن سنجی گرمایی استفاده و افزایش استقامت گرمایی با افزایش میزان دی اکسید تیتانیم مشاهده شد. مشاهده شد که نمونه‌ها در دو مرحله تخریب می‌شوند. مقاومت گرمایی دی اکسید تیتانیم بسیار زیاد است. با افزایش درصد دی اکسید تیتانیم در فیلم‌های نانوکامپوزیتی پلی کربنات-دی اکسید تیتانیم استقامت گرمایی آنها بیشتر می‌شود که این امر نشان‌دهنده تأثیر مثبت دی اکسید تیتانیم درون کامپوزیت است. در این آنالیز انرژی فعال‌سازی توسط روش Broido اندازه‌گیری شد و مشاهده شد با افزایش نانوذرات در کامپوزیت انرژی فعال‌سازی افزایش می‌یابد.

با توجه به این امر که طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو X سطح نمونه را مورد بررسی قرار می‌دهد و با توجه به شکل‌های به دست آمده از این طیف‌سنجی مشاهده می‌شود که سطح نمونه‌های کامپوزیتی را فیلم نازکی از پلی کربنات قرار گرفته است. به همین دلیل نانوکامپوزیت ساخته شده دارای مورفولوژی سطحی مشابه با پلی کربنات می‌باشد.

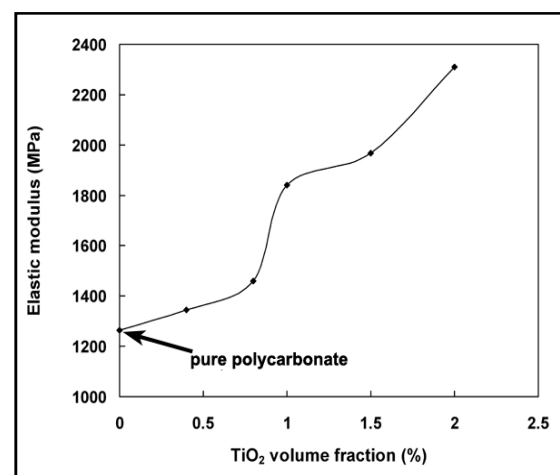
در بررسی خواص فیزیکی نمونه‌ها مشاهده شد که با افزایش نانوذرات دی اکسید تیتانیم به پلی کربنات سختی آن افزایش پیدا کرد و با افزایش درصد وزنی نانوذرات به پلی کربنات مدول یانگ افزایش می‌یابد.

۳-۹- آنالیز کشش

در این تحقیق برای بررسی خواص فیزیکی نمونه‌ها از تست کشش استفاده شد. نتایج توسط نمودارهای تنش-کرنش به دست آمده از نمونه‌های آزمایش شده مورد مطالعه قرار گرفت. در شکل‌های ۲۳ و ۲۴ نمودار تنش-کرنش به دست آمده از نمونه پلی کربنات و پلی کربنات - دی اکسید تیتانیم با درصدهای وزنی مختلف نشان داده شده است. با توجه به نمودار به دست آمده مشاهده گردید که با افزایش درصد وزنی نانوذرات به پلی کربنات استحکام نمونه‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۲۳: نمودار تنش-کرنش حاصل از نمونه‌ها.



شکل ۲۴: مدول یانگ نمونه‌ها با درصد وزنی مختلف.

در بررسی تست کشش نیز مشاهده شد که با افزودن نانوذرات به پلی کربنات (۲ درصد وزنی) استحکام نمونه ۱۸

مراجع

- با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌هایی که بر نمونه‌های ساخته شده به عمل آمد، مشاهده کردیم که با افزایش نانوذرات TiO_2 به پلی کربنات و افزایش درصد آن رفته رفته مقاومت مکانیکی پلی کربنات افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش نانوذرات به پلی کربنات مقاومت گرمایی آن نیز افزایش می‌یابد که جنبه تمایز کار در این تحقیق و پژوهش‌های پیشین نیز در همین امر است. در پژوهش‌های پیشین که توسط سایر محققین در انجام پذیرفته با آنها توانسته‌اند با پردازش پلاسما یا با استفاده از یون‌های سنگین خواص مکانیکی پلی کربنات را افزایش دهند ولی از طرف دیگر این امر سبب کاهش مقاومت گرمایی نمونه می‌شد. ما در این تحقیق با افزایش نانوذرات به پلی کربنات توانستیم علاوه بر بهبود خواص مکانیکی پلی کربنات، خواص گرمایی آن را نیز به مقدار قابل توجهی افزایش دهیم. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان از ماده ذکر شده در بدنه ادوات نظامی که نیاز است سختی و استحکام بالا در حین سبک بودن را داشته باشند استفاده نمود.
- [1] G. Wypych, "Handbook of Polymers", Chem. Tech., 2016.
- [2] A. Samadi-Dooki, L. Malekmoie, G.Z. Voyiadjis, *Polymer*, **82**, 2016, 238.
- [3] S. Krop, H.E.H. Meijer, L.C.A. van Breemen, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, **87**, 2016, 51.
- [4] P. Nagy, L.M. Vas, *Express Polymer Letters*, **1**, 2007, 84.
- [5] F. Carrion, J. Sanes, M. Bermudez, *Wear*, **262**, 2007, 1504.
- [6] J. Feng, L.T. Weng, L. Li, C.M. Chan, *Surface and Interface Analysis*, **29**, 2000, 168.
- [7] C. Liu, *The European Physical Journal D*, **19**, 2002, 45.
- [8] N.L. Singh, A. Qureshi, F. Singh, D.K. Avasthi, *Materials Science and Engineering A*, **457**, 2007, 195.
- [9] A. Qureshi, S. Shah, S. Pelagade, N.L. Singh, S. Mukherjee, A. Tripathi, U.P. Despande, T. Shripathi, *Journal of Physics: Conference Series*, **208**, 2010, 1.
- [10] G. Gedler, M. Antunes, V. Realinho, J.I. Velasco, *Polymer Degradation and Stability*, **97**, 2012, 1297.
- [11] B. Jaleh, P. Parvin, N. Sheikh, M. Hajivaliei, E. Hasani, *Surface & Coatings Technology*, **203**, 2009, 2759.
- [12] M. Sasani Ghamsari, A.R. Bahramian, *Materials Letters*, **62**, 2008, 361.
- [13] Y. Feng, B. Wang, F. Wang, Y. Zhao, C. Liu, J. Chen, C. Shen, *Polymer Degradation and Stability*, **107**, 2014, 129.
- [14] U.O. Akkaya-Arier, F.Z. Tepehan, *Surface & Coatings Technology*, **206**, 2011, 37.
- [15] S. Kitova, M. Minchev, G. Danev, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **7**, 2005, 2607.
- [16] P. Martins, C.M. Costa, M. Benelmekki, G. Botelho, S. Lanceros-Mendez, *J. Mater Sci*, **48**, 2013, 2681.
- [17] S. Gopalakrishnan, T.L. Fernando, *Bull. Mater. Sci.*, **35**, 2012, 243.
- [18] T.S. Chow, *Journal of Material Science*, **15**, 1980, 1873.