

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم پایه
گروه آموزشی فیزیک

عنوان:

تهیه نانوکامپوزیت‌های اکسید روی-پلیمر و
بررسی خواص ترشوندگی آنها

اساتید راهنما:

دکتر قادر نجارباشی

دکتر یاشار عزیزیان کلاندرق

پژوهشگر:

عاطفه لونی

دانشگاه محقق اردبیلی

پاییز ۱۳۹۱

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگار بهترین پشتیبان است.

به پاس قلب بزرگوارشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهمان به شجاعت می‌گراید. و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

این مجموعه را به

پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم.

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش پروردگار عالم را سزااست که خرد دانشمندان همیشه در صنعش متحیر است. اما بعد، مایلم مراتب سپاس عمیق خود را نسبت به استاد بزرگوام جناب آقای دکتر یاشار عزیزیان ابراز کنم، که به من این فرصت را داد که پایان نامه کارشناسی ارشد خود را به راهنمایی علمی ایشان انجام دهم. از این نظر خودم را بسیار خوشبخت می‌دانم که تحت راهنمایی این مرد بزرگ برای تحقیق تعلیم یافته‌ام، و بر این باورم که افتخار شاگردی خدمت ایشان نقطه‌ی عطفی در حیات علمی و کاری‌ام بوده است.

همچنین نقش جناب آقای دکتر قادر نجارباشی به‌عنوان استاد راهنمای بنده در حمایت‌های مورد نیاز بسیار حیاتی بوده است. از این جهت باعث خرسندی من است که مراتب سپاس و قدردانی خود را نسبت به ایشان ابراز کنم.

سپاس ویژه من تقدیم به جناب آقای دکتر احمد رزاقی، که بدون راهنمایی‌های ایشان انجام تحقیقات و تألیف این پایان نامه امکان‌پذیر نبود.

بر خود واجب می‌دانم از جناب آقای دکتر غلامحسین ایمان‌زاده که طی انجام این پروژه از هیچ کمک و راهنمایی دریغ نوزیدند صمیمانه تشکر کنم؛ و امیدوارم روزی جبران زحمات این بزرگوام را به‌جا آورم.

فرصت را غنیمت می‌شمارم تا از کلیه مسئولین محترم آزمایشگاه‌های دانشکده علوم دانشگاه محقق اردبیلی، سرکار خانم فرحروز زهری و جناب آقای علی خدایاری، آقای نعیم سعادت و آقای غلامحسین نظمی به‌خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان تشکر نمایم.

و در پایان از تمامی دوستان عزیزم به‌ویژه خانم‌ها نیلوفر علیزاده، سنبل احمدنژاد، هاجر فرخی، رقیه میرزائزاد و آقای کریم سلیمی که حضور آن‌ها دلگرمی من در انجام این پروژه بود؛ کمال تشکر و سپاس را دارم.

و با تشکر بسیار از خانواده عزیز و صبورم که همواره عشق و دلگرمی‌هایشان بدرقه راهم بوده است.

از خداوند منان آرزوی توفیق روز افزون برای تمامی این عزیزان را دارم.

عاطفه لونی

مهر ماه ۹۱

نام خانوادگی دانشجو: لونی	نام: عاطفه
عنوان پایان نامه: تهیه نانوکامپوزیت‌های اکسید روی-پلیمر و بررسی خواص ترشوندگی آن‌ها	
استاد راهنمای اول: دکتر قادر نجاریاشی	
استاد راهنمای دوم: دکتر یاشار عزیزیان کلاندرق	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: فیزیک گرایش: بنیادی	
دانشگاه: محقق اردبیلی دانشکده: علوم پایه تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۹۱/۰۷/۲۲ تعداد صفحه: ۹۲	
کلید واژه‌ها: ترشوندگی، نانوساختارها، فیزیک سطح، اکسید روی.	
<p>چکیده:</p> <p>در این پایان‌نامه، مواد کامپوزیت و نانوکامپوزیت اکسید روی-پلیمر به کمک امواج فراصوت و روش شیمیایی مرطوب ساخته شده و سپس اثر بازپخت حرارتی بر روی خواص ترشوندگی نمونه‌های تهیه شده، گزارش شده است.</p> <p>آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (<i>SEM</i>) و طیف‌نگاری تبدیل فوریه مادون قرمز (<i>FTIR</i>) برای آنالیز سطح و آنالیز ترکیب نمونه‌های تهیه شده به کار گرفته شده‌اند. نتایج (<i>SEM</i>)، تغییرات در سطح و نسبت پلیمر و اکسید روی را در قطع لایه‌هایی که در دماهای مختلف بازپخت شده‌اند را نشان می‌دهد. یک مطالعه مقایسه‌ای نشان می‌دهد که با افزایش دمای بازپخت از دمای اتاق تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد آب‌گریز شدن سطح بیشتر می‌شود و بعد از آن با افزایش دما تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد زاویه تماس کاهش پیدا می‌کند یعنی سطح شروع به آب‌دوست شدن می‌کند. در مرحله بعد در دمای ثابت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد با تغییر زمان بازپخت نمونه‌ها را آنالیز کردیم، نتایج نشان می‌دهد که زاویه تماس از دمای اتاق تا زمان ۴۸ ساعت حرارت به تدریج افزایش می‌یابد تا این که در زمان ۹۶ ساعت زاویه تماس دوباره کاهش می‌یابد. طیف‌های <i>FTIR</i> نتایج به دست آمده از تصاویر <i>SEM</i> و اندازه‌گیری زاویه تماس را تأیید می‌کنند.</p>	

پیشگفتار

در صنعت، آب‌گریزی و آب‌دوستی مواد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طور مثال ظرفی که برای ریختن مایعات تولید شده در یک کارخانه مورد استفاده قرار می‌گیرد، اگر نسبت به آن مایع ترناکننده باشد مایع داخل آن در اثر مویبندی به بیرون سرازیر نشده و سطح بیرونی ظرف را تر نمی‌کند. مثال دیگر ظرف‌های روغن مایع است که بعد از باز شدن در آن‌ها، روغن به بیرون سرازیر شده و سطح خارجی ظرف را چرب می‌کند. این اتفاق در اصل به خاطر همین موضوع است که روغن نسبت به سطح ظرف خود ترناکننده است و سطح بیرونی ظرف را چرب می‌کند. در مورد شیشه‌ها در صورتی که آب‌گریز باشند، دیرتر کثیف می‌شوند. آب به‌خاطر پیوندهای هیدروژنی که می‌تواند برقرار کند اکثر مواد را در خود حل می‌کند، بنابراین خیلی سریع گرد و غبار هوا را جذب کرده و کثیف می‌شود؛ وقتی که سطح شیشه آب‌دوست باشد، آب بر روی آن پخش شده و سطح شیشه را از طریق جذب گرد و غبار به خود، کثیف می‌کند.

اهمیت ترکیب‌های پلیمر-نیمه‌رسانا امروزه در صنعت اپتوالکترونیک و همچنین فیزیک ماده چگال نرم و زیست فناوری بیشتر مشاهده می‌شود، بنابراین در این پایان‌نامه ابتدا یک مطالعه مروری برای فهم دقیق بحث ترشوندگی انجام شده و در ادامه بخش تجربی که شامل نحوه‌ی تهیه و کنترل پارامترهای ترشوندگی کامپوزیت‌ها و نانوکامپوزیت‌های پلیمر-نیمه‌رسانا می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته شده است. این نتایج می‌تواند یک شروع مناسب برای تحقیقات مرتبط با این موضوع باشد. فصل اول این پایان‌نامه شامل معرفی پدیده ترشوندگی، انواع ترشوندگی، کاربردهای ترشوندگی و همچنین شامل معرفی مدل‌های نظری مربوط به پدیده ترشوندگی است. فصل دوم، شامل معرفی نانو کامپوزیت‌ها، معرفی و نحوه‌ی عملکرد دستگاه‌های مورد استفاده در این پایان‌نامه، معرفی روش‌های تهیه مواد و نانو ساختارها، بیان ویژگی‌ها و اهمیت ماده اکسید روی و پلیمر استفاده شده در این پایان‌نامه است. در نهایت در فصل سوم به تفصیل، بخش‌های تجربی کار یعنی نحوه‌ی تهیه نانوکامپوزیت‌های اکسید روی-پلیمر به کمک امواج فراصوت و همچنین نحوه‌ی تهیه فیلم‌های حجیم $ZnO-PVA$ به روش شیمیایی مرطوب گزارش شده و سپس در بخش نهایی فصل سوم خواص ترشوندگی ساختارهای به‌دست آمده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای کنترل ترشوندگی از پارامتر دمای بازپخت استفاده شده است. به منظور فهم دقیق نتایج به‌دست آمده، از روش‌های تجربی مختلفی برای آنالیز نمونه‌ها از قبیل: میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) جهت نمایان ساختن تغییرات ریخت‌شناسی سطح و از طیف‌نگاری ($FTIR$) جهت مشخص نمودن ترکیب‌های ایجاد شده، استفاده شده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	۵
پیشگفتار	۹
فصل اول: پدیده ترشوندگی	۱
۱-۱ ترشوندگی	۲
۲-۱ انواع ترشوندگی	۲
۳-۱ کشش سطحی	۳
۴-۱ پارامتر پخش	۵
۵-۱ قانون یانگ	۶
۶-۱ معیارهای ترشوندگی	۸
۱-۶-۱ قانون زیسمان	۸
۱-۱-۶-۱ دو سطح جامد-جامد	۹
۲-۱-۶-۱ دو سطح مایع-جامد	۹
۳-۱-۶-۱ دو سطح مایع-مایع	۱۰
۷-۱ پسماند زاویه	۱۱
۸-۱ سطوح ابرآبگریز	۱۲
۹-۱ اثر ناهمواری سطح روی زاویه	۱۴
۱-۹-۱ آزمایش جانسون و دتره	۱۴
۲-۹-۱ مدل ونزل	۱۵
۳-۹-۱ مدل کسی-بکستر	۱۷
۴-۹-۱ ترکیب معادلات ونزل و کسی-بکستر	۱۸
۵-۹-۱ معادله کسی-بکستر برای سطوح با دو ناهمواری میکرومتری و نانومتری	۲۰

۶-۹-۱	مدل پیشنهادی: معادله کسی-بکستر برای سطوح با ناهمواری‌های چند سایزی	۲۱
فصل دوم: مواد و روش‌ها		
۱-۲	نانوذرات	۲۳
۱-۱-۲	تاریخچه	۲۴
۲-۱-۲	خواص نانو ذرات	۲۴
۳-۱-۲	کاربرد نانوذرات	۲۵
۲-۲	نانوکامپوزیت	۲۶
۱-۲-۲	انواع نانوکامپوزیت‌ها	۲۷
۲-۲-۲	دسته‌بندی نانوکامپوزیت‌ها	۲۷
۳-۲-۲	خصوصیات نانوکامپوزیت‌ها	۲۸
۳-۲	روش‌های تهیه نانو ساختارها	۲۹
۱-۳-۲	روش‌های شیمیایی	۲۹
۴-۲	امواج فراصوت	۳۱
۱-۴-۲	ویژگی‌های کلی امواج فراصوت	۳۲
۵-۲	روش فراصوت برای تهیه نانو ساختارهای نیمه‌رسانا	۳۳
۶-۲	دستکاری مواد به کمک امواج فراصوت	۳۳
۱-۶-۲	اثر فراصوت بر روی پلیمرها	۳۳
۲-۶-۲	اثر فراصوت بر روی مواد غیرآلی (معدنی)	۳۴
۷-۲	روش‌های آنالیز ذرات نانومتری	۳۴
۱-۷-۲	میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)	۳۵
۱-۱-۷-۲	تاریخچه	۳۵
۲-۱-۷-۲	کاربرد SEM	۳۶
۳-۱-۷-۲	عملکرد SEM	۳۶

۳۷	طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR).....
۳۸	تئوری ۱-۲-۷-۲.....
۳۹	تجزیه کیفی ۲-۲-۷-۲.....
۴۰	کاربردها ۳-۲-۷-۲.....
۴۰	مواد مورد استفاده ۸-۲.....
۴۰	اکسید روی ۱-۸-۲.....
۴۱	خواص فیزیکی اکسید روی ۱-۱-۸-۲.....
۴۱	خواص شیمیایی اکسید روی ۲-۱-۸-۲.....
۴۲	ساختار بلور اکسید روی ۳-۱-۸-۲.....
۴۳	کاربردهای اکسید روی ۴-۱-۸-۲.....
۴۳	پلی وینیل الکل PVA ۲-۸-۲.....
۴۴	خواص فیزیکی پلی وینیل الکل ۱-۲-۸-۲.....
۴۶	فصل سوم: نتایج و داده‌های آزمایشگاهی.....
۴۷	تهیه نانوکامپوزیت‌های اکسید روی-پلیمر به روش شیمیایی مرطوب.....
۴۸	تهیه ۱-۱-۳-۳ محلول ۵ درصد پلی وینیل الکل PVA.....
۴۸	تهیه ۲-۱-۳-۳ محلول شامل اکسید روی-پلیمر ZnO-PVA.....
۴۹	آماده‌سازی زیرلایه‌ها ۳-۱-۳-۳.....
۴۹	آماده‌سازی نمونه‌ها ۴-۱-۳-۳.....
۴۹	اندازه‌گیری زاویه تماس ۲-۳-۳.....
۵۲	تهیه فیلم‌های اکسید روی ZnO به روش شیمیایی مرطوب.....
۵۲	تهیه فیلم‌های پلی وینیل الکل PVA به روش شیمیایی مرطوب.....
۵۲	بررسی خواص ترشوندگی ۵-۳-۳.....
۵۴	نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM.....

۵۵	۷-۳ نتایج حاصل از طیف‌سنجی تبدیل فوری مادون قرمز (<i>FTIR</i>)
۶۰	۸-۳ تغییر دمای بازپخت
۶۳	۱-۸-۳ تغییرات سطح و نتایج حاصل از <i>SEM</i>
۶۴	۲-۸-۳ نتایج حاصل از آنالیز <i>FTIR</i> نمونه‌های بازپخت شده
۷۳	۹-۳ تغییر زمان بازپخت
۷۴	۱-۹-۳ نتایج حاصل از آنالیزهای <i>FTIR</i> و <i>SEM</i>
۸۰	۱۰-۳ تهیه محلول شامل اکسید روی-پلی وینیل الکل <i>ZnO-PVA</i> به کمک امواج فراصوت
۸۰	۱-۱۰-۳ نتایج حاصل از ترشوندگی و میکروسکوپ الکترونی روبشی
۸۳	نتیجه‌گیری
۸۵	پیشنهادات
۸۶	ضمیمه
۸۷	مراجع

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ موقعیت مولکولها در کشش سطحی	۴
شکل ۲-۱ نحوه‌ی قرار گرفتن قطره‌ای از یک مایع بر روی دو سطح در حالتی که دو رژیم ترکندگی کامل و ترکندگی جزئی داریم	۶
شکل ۳-۱ طرحواره‌ی اندازه‌گیری زاویه تماس به کمک برآیند نیروها	۷
شکل ۴-۱ اندازه‌گیری زاویه تماس به کمک کار انجام شده	۷
شکل ۵-۱ به هم رسیدن دو سطح جامد	۹
شکل ۶-۱ به هم رسیدن دو سطح جامد و مایع	۱۰
شکل ۷-۱ به هم رسیدن دو سطح مایع	۱۰
شکل ۸-۱ (۱) زاویه پیشینه، (۲) زاویه کمینه	۱۲
شکل ۹-۱ تصاویر SEM با بزرگنمایی‌های مختلف از برگ نیلوفر آبی	۱۳
شکل ۱۰-۱ قطره آب روی یک سطح ابرآبگریز (برگ نیلوفر آبی)	۱۴
شکل ۱۱-۱ نمودار مربوط به آزمایش جانسون و دتره	۱۵
شکل ۱۲-۱ سطح و نزل	۱۵
شکل ۱۳-۱ نمودار زاویه‌ی تماس ظاهری بر حسب زاویه‌ی یانگ (معادله‌ی و نزل)	۱۶
شکل ۱۴-۱ کنترل ترشوندگی زیرلایه به واسطه‌ی ایجاد ناهمواری	۱۷
شکل ۱۵-۱ سطح کسی - بکستر	۱۷
شکل ۱۶-۱ نمودار زاویه تماس ظاهری بر حسب زاویه‌ی یانگ (معادله کسی - بکستر)	۱۹
شکل ۱۷-۱ همزیستی دو حالت و نزل و کسی - بکستر	۲۰
شکل ۱۸-۱ سطح با دو ناهمواری در مقیاس متفاوت	۲۰
شکل ۱۹-۱ سطح با بیش از دو ناهمواری مختلف	۲۱
شکل ۱-۲ دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شده در تحقیق حاضر	۳۵
شکل ۲-۲ طرحواره میکروسکوپ الکترونی روبشی	۳۷

- شکل ۲-۳ دستگاه طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز استفاده شده در تحقیق حاضر ۳۸
- شکل ۲-۴ ارتعاش‌های کششی متقارن و نامتقارن در یک مولکول ۳۹
- شکل ۲-۵ نمودار ساده یک طیف نورسنج مادون قرمز ۳۹
- شکل ۲-۶ اکسید روی ۴۱
- شکل ۲-۷ ساختار مولکولی پلی وینیل الکل ۴۴
- شکل ۳-۱ ارتباط ترشوندگی با زاویه تماس ۵۰
- شکل ۳-۲ چیدمان عکسبرداری از قطره روی سطح ۵۱
- شکل ۳-۳ تعیین سه نقطه بر روی سطح قطره آب و پیدا کردن مرکز دایره و خط مماس بر دایره ۵۱
- شکل ۳-۴ مقایسه زاویه تماس فیلم‌های تهیه شده ۵۳
- شکل ۳-۵ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۶
- شکل ۳-۶ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۶
- شکل ۳-۷ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۷
- شکل ۳-۸ طیف *FTIR* به دست آمده مربوط به پلی وینیل الکل که قله متفاوت آن با حالت استاندارد نشان داده شده است. ۵۸
- شکل ۳-۹ طیف *FTIR* گرفته شده از پایگاه *SDBS* مربوط به پلی وینیل الکل ۵۸
- شکل ۳-۱۰ طیف *FTIR* به دست آمده مربوط به اکسید روی ۵۹
- شکل ۳-۱۱ طیف *FTIR* گرفته شده از پایگاه *SDBS* مربوط به اکسید روی ۵۹
- شکل ۳-۱۲ طیف *FTIR* به دست آمده مربوط به نانوکامپوزیت‌های *ZnO-PVA* با نمایش قله متفاوت آن ۶۰

- شکل ۳-۱۳ تغییر رنگ فیلم‌های نانوکامپوزیت اکسید روی-پلی وینیل الکل در اثر حرارت در دمای مختلف ۶۱
- شکل ۳-۱۴ نمودار زاویه تماس قطره آب با سطح فیلم‌های نانوکامپوزیت اکسید روی-پلی وینیل الکل تهیه شده به روش شیمیایی مرطوب در دمای مختلف بازپخت و زمان ثابت ۱ ساعت ۶۲
- شکل ۳-۱۵ بخشی از تصاویر SEM بریده شده در دماهای (۱) ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (۲) ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد (۳) ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و به کار رفته در برنامه MATLAB ۶۵
- شکل ۳-۱۶ نمودار حاصل از پردازش تصاویر سطح مقطع لایه‌های اکسید روی-پلیمر در دماهای مختلف بر حسب میزان نفوذ پلیمر در اکسید روی (f) ۶۵
- شکل ۳-۱۷ تصویر پایین: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر بالا: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه برش عرضی در دمای بازپخت ۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ثابت ۱ ساعت ۶۶
- شکل ۳-۱۸ تصویر پایین: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر بالا: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه برش عرضی در دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ثابت ۱ ساعت ۶۷
- شکل ۳-۱۹ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر برش عرضی لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی در دمای بازپخت ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ثابت ۱ ساعت ۶۸
- شکل ۳-۲۰ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی در دمای بازپخت ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ثابت ۱ ساعت ۶۸
- شکل ۳-۲۱ تصویر پایین: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر بالا: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه برش عرضی در دمای بازپخت ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ثابت ۱ ساعت ۶۹

شکل ۳-۲۲ تصویر پایین: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر بالا: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی با دو بزرگنمایی مختلف در دمای بازپخت ۴۰۰ درجه سانتی-گراد و زمان ثابت ۱ ساعت ۷۰

شکل ۳-۲۳ تصویر پایین: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر بالا: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه برش عرضی در دمای بازپخت ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ثابت ۱ ساعت ۷۱

شکل ۳-۲۴ طیف‌های FTIR از نمونه‌های نانوکامپوزیت ZnO-PVA بازپخت شده (۱) دمای اتاق، (۲) ۵۰ درجه سانتی‌گراد، (۳) ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، (۴) ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، (۵) ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، (۶) ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، (۷) ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، (۸) ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد. ۷۲

شکل ۳-۲۵ تغییر رنگ فیلم‌های نانوکامپوزیت ZnO-PVA در اثر حرارت در دمای ثابت ۱۰۰°C و زمان‌های مختلف ۷۳

شکل ۳-۲۶ نمودار زاویه تماس قطره آب با سطح فیلم‌های نانوکامپوزیت اکسید روی-پلی وینیل الکل تهیه شده به روش شیمیایی مرطوب در زمان‌های مختلف و دمای ثابت بازپخت ۱۰۰°C ۷۴

شکل ۳-۲۷ طیف‌های FTIR از نمونه‌های نانوکامپوزیت ZnO-PVA بازپخت شده در زمان‌های مختلف و دمای ثابت 100°C (۱) ۳۰ دقیقه، (۲) ۱/۵ ساعت، (۳) ۵/۵ ساعت، (۴) یک روز، (۵) دو روز، (۶) سه روز، (۷) چهار روز. ۷۵

شکل ۳-۲۸ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۳۰ دقیقه ۷۶

شکل ۳-۲۹ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱/۵ ساعت ۷۶

شکل ۳-۳۰ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی

- وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲/۵ ساعت ۷۷
- شکل ۳-۳۱ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۵/۵ ساعت ۷۷
- شکل ۳-۳۲ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲۴ ساعت (یک روز) ۷۸
- شکل ۳-۳۳ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۴۸ ساعت (دو روز) ۷۸
- شکل ۳-۳۴ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۷۲ ساعت (سه روز) ۷۹
- شکل ۳-۳۵ تصویر سمت راست: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر سمت چپ: تصویر سطح لایه تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی در دمای بازپخت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۹۶ ساعت (چهار روز) ۷۹
- شکل ۳-۳۶ چیدمان روش تهیه نانوکامپوزیت‌های اکسید روی-پلیمر به کمک امواج فراصوت ۸۰
- شکل ۳-۳۷ تصویر پایین: تصویر زاویه تماس قطره آب با سطح لایه‌ی تهیه شده اکسید روی-پلی وینیل الکل به کمک دوربین دیجیتال، تصویر بالا: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبش از نانوکامپوزیت‌های اکسید روی-پلیمر تهیه شده کمک امواج فراصوت به همراه برش عرضی ۸۲

فصل اول

پدیده ترشوندگی

۱-۱ ترشوندگی

ترشوندگی شاخه‌ای از علم ماده چگال نرم است که به مطالعه‌ی چگونگی پخش شدن مایع روی یک زیرلایه‌ی جامد یا مایع مربوط می‌شود [۱،۲]. فهم فیزیک این پدیده در شاخه‌های مختلف علوم و تکنولوژی می‌تواند مفید واقع شود؛ به‌عنوان مثال، در نحوه‌ی شکل گرفتن یک نقاشی، صنعت چاپ، فناوری نساجی، در پزشکی، علم اقلیم شناسی، خاک شناسی، زیست شناسی و ... دانستن اطلاعات مربوط به نحوه‌ی برهم‌کنش سطح با مایع و بررسی فیزیک سطح از لحاظ انرژی سطحی در برخی موارد بسیار مهم و ضروری تلقی می‌شود [۱۶-۳]. مطالعه‌ی ترشوندگی ارتباط مستقیمی با نیروهای سطحی دارد که این نیروهای سطحی به مایع و سطح بستگی دارد، در واقع با تغییر نیروهای سطحی و مایع حالت‌های مختلفی می‌توانند وجود داشته باشند. افت‌وخیزهای گرمایی از جمله اثرهای مهم هستند که می‌توانند به‌طور قوی بر روی ترشوندگی مؤثر باشند. جذب سطحی نیز عاملی است که ارتباط مستقیمی با ترشوندگی دارد و بسته به محیط، نوع مواد، نحوه‌ی شکل‌گیری و قرارگیری آن‌ها میزان آن تغییر می‌کند. معمولاً جذب سطحی در یک محیط کلئیدی بیشتر از یک محیط جامد است [۱۷]. ترشوندگی سطوح ناهموار در دهه‌ی گذشته توجه زیادی را به خود جلب کرده است. بیشتر سطوح ناهموار جامد مصنوعی و طبیعی تا حدی ناهموار هستند و این مسئله مستلزم دید نظری و تجربی بیشتری است [۱۸]. این شاخه از علم امروزه هم از لحاظ نظری و هم از لحاظ تجربی از طرف فیزیکدانان و فناوران علم مواد مورد توجه زیادی قرار گرفته است.

۲-۱ انواع ترشوندگی

پخش شدن مایع روی سطح به برهم‌کنش ذرات تشکیل‌دهنده مایع و سطح در مقیاس میکروسکوپی بستگی دارد. پس دو نوع ترشوندگی خواهیم داشت:

- ترشوندگی کامل

هنگامی که مایع وابستگی قوی با سطح دارد، یعنی انرژی برهم‌کنش بین مولکول‌های مایع و سطح بیشتر از انرژی برهم‌کنش بین مولکول‌های مایع است، در این صورت به‌طور کامل روی سطح پخش شده و سطح را تر می‌کند.

- ترشوندگی جزئی

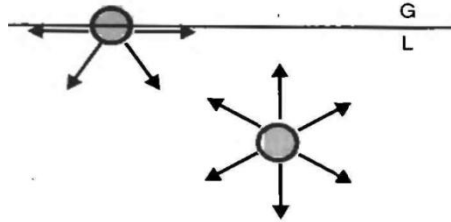
هنگامی که مایع وابستگی قوی با سطح ندارد، یعنی انرژی برهم‌کنش بین مولکول‌های مایع و سطح کمتر از انرژی برهم‌کنش بین مولکول‌های مایع است، در چنین وضعیتی مولکول‌های مایع جمع شده و انرژی سطحی خود را کمینه می‌کنند و مایع به‌صورت بخشی از کره در می‌آید [۲].

۱-۳ کشش سطحی

در فصل مشترک یک مایع و گاز و یا بین دو مایع اختلاط‌ناپذیر، نیروهای ایجاد شده در سطح مایع باعث می‌شوند که این سطح همانند «پوسته» یا «غشایی» عمل می‌کند که بر روی جرم شاره کشیده شده است. هر چند چنین پوسته‌ای واقعاً وجود ندارد، اما این مقایسه‌ی مفهومی امکان توجیه این گونه پدیده‌های متداول را به‌دست می‌دهد. برای مثال، اگر سوزن فولادی به آرامی بر روی سطح مایع قرار گیرد شناور می‌ماند، زیرا کشش ایجاد شده در سطح فرضی از فرو رفتن سوزن جلوگیری می‌کند. هنگامی که قطرات کوچک جیوه بر روی سطح صافی قرار می‌گیرند به شکل کره در می‌آیند، زیرا نیروهای چسبناک موجود در سطح، تمام مولکول‌ها را به شکل فشرده‌ای در کنار هم قرار می‌دهند. همین‌گونه، قطرات آب موجود بر روی سطح براق تمیز به‌طور گسسته ظاهر می‌شوند [۱۹].

در واقع می‌توان کشش سطحی را این‌گونه بیان کرد: هر مولکول در درون مایع با مولکول‌های دیگر برهم‌کنشی از نوع جاذبه دارد، و همین برهم‌کنش جاذبه است که مولکول‌های مایع را در کنار یکدیگر نگاه می‌دارد. مولکول به واسطه‌ی این برهم‌کنش دارای انرژی منفی است، به‌طوری که آن را مقید می‌کند در داخل مایع می‌ماند. در واقع به این مولکول باید انرژی داده شود تا به سطح بیاید. وقتی مولکول‌های مایع به سطح می‌آیند، نیمی از همسایه‌های خود را از دست می‌دهند (شکل ۱-۱)؛ بنابراین نسبت به حالتی که به‌طور کامل در داخل مایع قرار دارند، انرژی آن‌ها به نصف کاهش می‌یابد. اگر انرژی چسبندگی هر مولکول درون مایع

را U در نظر بگیریم ($U < 0$)، مولکول سطحی انرژی $\frac{U}{2}$ خواهد داشت. در نتیجه کشش سطحی اندازه-گیری مستقیمی از این کمبود انرژی است.



(شکل ۱-۱) موقعیت مولکول‌ها در کشش سطحی [برگرفته از ۲]

اگر a اندازه‌ی مولکول و a^2 متوسط مساحت اشغال شده توسط مولکول باشد، می‌توان کشش سطحی را به صورت زیر نوشت:

$$\gamma \cong \frac{U}{2a^2} \quad (1-1)$$

سرچشمه‌ی کشش سطحی به وسیله‌ی سطح مولکول‌ها توضیح داده می‌شود، بنابراین کشش سطحی یک کمیت ماکروسکوپی است که به وسیله‌ی کمیت‌های میکروسکوپی تعریف می‌شود. اگر ما بخواهیم مساحت سطح مایعی را به اندازه‌ی dA افزایش دهیم، باید کاری به اندازه‌ی dW انجام دهیم. این کار متناسب است با تعداد مولکول‌هایی که باید به روی سطح آورده شوند و در نتیجه با dA متناسب است. پس می‌توان کشش سطحی را انرژی لازم برای افزایش مساحت سطح یک مایع به اندازه‌ی یک واحد تعریف کرد و به صورت زیر نشان داد:

$$dW = \gamma dA \quad (2-1)$$

واحد کشش سطحی $\frac{J}{m^2}$ است که معادل $\frac{N}{m}$ است [۲].

مقدار کشش سطحی در اغلب ترکیبات آلی در دمای اتاق تقریباً یکسان است، گستره معمولی آن 25 mN/m تا 40 mN/m است. کشش سطحی برای آب دمای 20°C برابر با 73 mN/m ، برای فلزات مایع بین 300 و 600 mN/m ، و برای جیوه در دمای 20°C تقریباً 480 mN/m است [۲۰].

۴-۱ پارامتر پخش

در تعریف کمیتی که بتوان ترشوندگی سطح را با آن بیان کرد باید انرژی برهم کنش سطوح را با یکدیگر در نظر گرفت. بر همین اساس پارامتر پخش تفاوت انرژی سطح در یک ناحیه وقتی که سطح کاملاً تر شده نسبت به حالتی که کاملاً خشک است تعریف می‌شود. در واقع پارامتری است که دو حالت ترشوندگی کامل و جزئی را از همدیگر متمایز می‌کند. به بیان ریاضی می‌توانیم بنویسیم:

$$S = [E_{Substrate}]_{dry} - [E_{Substrate}]_{wet} \quad (۳-۱)$$

در این رابطه $[E_{Substrate}]_{dry}$ انرژی سطح خشک و $[E_{Substrate}]_{wet}$ انرژی سطح تر است و S نیز پارامتر پخش است.

با توجه به این که کمیت γ (کشش سطحی) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\gamma = \frac{E}{A} \quad (۴-۱)$$

با در نظر گرفتن این که E انرژی برهم کنش سطحی یک مولکول در مجاورت مولکول‌های دیگر هوا یا مایع و A واحد سطح مولکولی است، رابطه‌ی پارامتر پخش تبدیل به رابطه‌ی زیر می‌شود:

$$S = \gamma_{SO} - (\gamma_{SL} + \gamma) \quad (۵-۱)$$

γ_{SO} کشش سطحی بین مولکول‌های جامد و هوا، γ_{SL} کشش سطحی بین مولکول‌های جامد و مایع و γ_{LO} که به اختصار با γ نشان داده می‌شود، کشش سطحی بین مولکول‌های مایع و هوا است [۲]. با توجه به تعریف پارامتر پخش و همان‌طور که در (شکل ۱-۲) نشان داده شده است، می‌توان نتیجه گرفت هنگامی که $S < 0$ است، ترشوندگی جزئی رخ می‌دهد. در این نوع ترشوندگی قطره روی سطح پخش نمی‌شود و با آن زاویه‌ای می‌سازد که زاویه تماس (θ_E) نامیده می‌شود.

به‌طور خلاصه:

$$\left. \begin{array}{l} \text{ترشوندگی جزئی:} \\ \left. \begin{array}{l} \text{وقتی که } \theta_E < \frac{\pi}{2} \text{ مایع تقریباً ترکنده} \\ \text{وقتی که } \theta_E > \frac{\pi}{2} \text{ مایع غیر ترکنده} \end{array} \right\} \end{array} \right\}$$