

مروری بر الاستومرهای بلورمایع: ساختار، انواع و کاربردها

An Overview of Liquid Crystal Elastomers: Structure, Types and Applications

چکیده:

در سال‌های اخیر، الاستومرهای بلورمایع کاربردهای گسترده‌ای را در صنایع گوناگون پیدا کرده‌اند. شناخت این دسته از پلیمرها به‌منظور انتخاب آن‌ها در کاربردهای ویژه لازم و ضروری‌ست. در این مقاله، سعی شده است که شرح مقدمه‌هایی درباره‌ی این نوع الاستومرها ارائه شود و مروری بر جنبه‌های گوناگون آن انجام شود. از این رو، پس از معرفی عمومی انواع رفتارهای بلورمایع که ناشی از نحوه‌ی قرارگیری و جهت‌گیری گروه‌های سخت تشکیل‌دهنده‌ی زنجیر است، ساختار شیمیایی ویژه‌ی الاستومرهای بلورمایع و ویژگی‌های فیزیکی مهم که بر ریخت‌شناسی آن‌ها مؤثر است، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در پایان نیز کاربرد این دسته‌ی مهم از پلیمرها در صنایع معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الاستومر بلورمایع، رفتار بلورمایع، دمای شفاف شدن، پارامتر نظم.

<p>در مقابل، مایعها تقریباً آزادانه حرکت می‌کنند و در مقیاس میکروسکوپی بسیار نامنظم هستند. از آنجاکه نظم مکانی دوربرد در مایعها وجود ندارد، مایعها در برابر تغییر شکل برشی، مقاومتی از خود نشان نمی‌دهند و تحت تأثیر وزن یا هر نیروی دیگری، به راحتی جریان پیدا می‌کنند. تک مولکول‌هایی که شامل یک بلورمایع هستند، معمولاً به عنوان مزوژن^(۱) نامیده می‌شوند و نحوه‌ی آرایش آن‌ها، پایه و اساس شکل‌گیری انواع ساختارهای پلیمرهای بلورمایع است.</p>	<p>مقدمه: معرفی پلیمرهای بلورمایع پلیمرهای بلورمایع، موادی هستند که ویژگی‌های ساختاری و مکانیکی آن‌ها بین مایعها و جامدهای بلوری‌ست؛ به این معنی که هم حالت جاری شدن مایع و هم نظم یک بلور جامد را دارند. فاز بلورمایع را گاهی فروفاز به معنی فاز بینابینی نیز می‌نامند. در بلورها، اتمها یا مولکولها در شبکه‌های منظم آرایش می‌یابند؛ بدین ترتیب در مقیاس میکروسکوپی، بلورها نظم بسیاری دارند.</p>	<p>نوع مقاله: مروری سمیه محمدیان گزاز[*] و محمد برغمندی دانشگاه پیام نور، بخش فنی مهندسی، مهندسی شیمی، گروه پلیمر، تهران * عهده دار مکاتبات: s.mohammadian@pnu.ac.ir تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۲۲ تاریخ بازنگری: ۹۶/۸/۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۹</p>
--	--	--

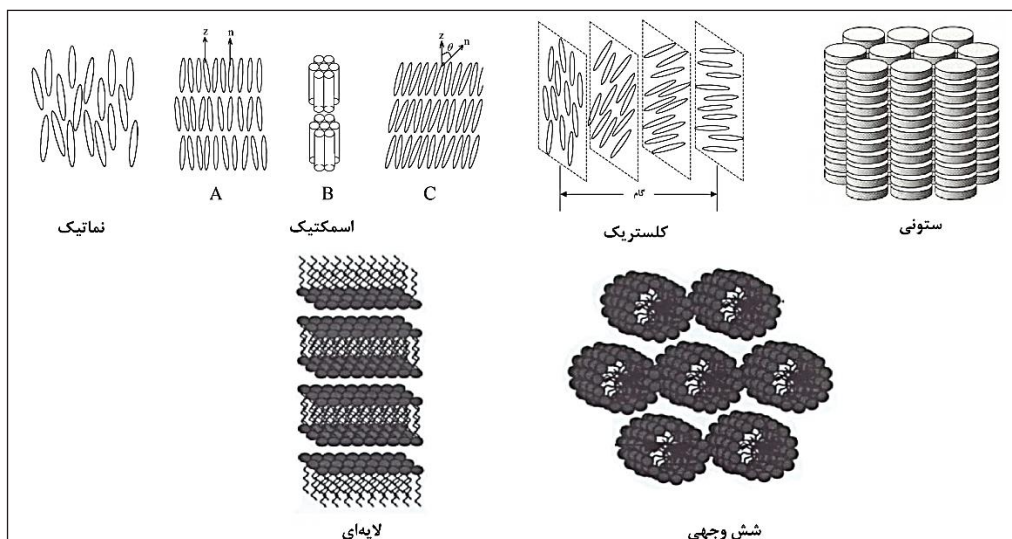
1. Mesogen

و برخلاف نوع نماتیک، زنجیره‌ها آزادی حرکت ندارند و پلیمر به‌دست‌آمده، در یک بُعد حالت بلوری داشته و در دو بُعد دیگر نامنظم است، ستونی^(۱۱) (می‌توان آن‌ها را به دیسک‌هایی تشبیه کرد که روی یکدیگر قرار می‌گیرند. مولکول‌هایی که بلورهای مایع ستونی را به وجود می‌آورند، معمولاً از یک هسته با ساختار حلقوی تشکیل می‌شوند که سفت و مسطح بوده و شکل دیسک مانند دارد.)

- و پلیمرهای بلورماید لیوتروپیک شامل لایه‌ای^(۱۲) و شش‌وجهی^(۱۳). در شکل (۱)، شماتیک انواع ساختارهای بلورماید دیده می‌شود. این شکل از ماده در حالت مذاب یا محلول قابل دست‌یاب است. این مواد در پاسخ به حرارت، نور و یا حلال، تغییر شکل برگشت‌پذیر نشان می‌دهند [۲]. به بلورهای مایعی که محرک آن‌ها حرارت است، بلورهای مایع های ترموتروپیک می‌گویند. حرارت دادن این بلورماید ها، سبب ذوب بلورها در دمای ذوب $(T_m)^{(۱۴)}$ می‌شود که در نتیجه آن، مایعی غیرشفاف به‌دست می‌آید که با انامهی حرارت‌دهی، در دمایی معین، تبدیل به مایع شفاف می‌شود. به این دمای ویژه، دمای شفاف شدن^(۱۴) یا دمای ناهم‌گونی $(T_i)^{(۱۵)}$ می‌گویند [۱].

به‌طورکلی پلیمرهای بلورماید به دو نوع ترموتروپیک^(۱) و لیوتروپیک^(۲) تقسیم می‌شوند. پلیمر بلورماید نوع ترموتروپیک، در غیاب حلال بوده، دارای مولکول‌های آلی سخت است و تغییر ساختار آن وابسته به دماست؛ درحالی‌که نوع لیوتروپیک در حضور حلال و عامل‌های سطحی فعال^(۳) است و تغییر ساختار آن علاوه بر دما، به غلظت محلول، نمک و الکترولیت موجود در آن وابسته است. ساختارهای پلیمرهای بلورماید عبارتند از:

- پلیمرهای بلورماید ترموتروپیک شامل نماتیک^(۴) (دارای نظم کوتاه‌برد بوده و تنها تفاوت آن با مایع‌های بی‌نظم این است که مولکول‌ها در یک محور تقریباً هم‌سو هستند)،
- کلستریک^(۵) (مولکول‌های چندلایه‌ای هستند که در هر لایه یک ساختار نیماتیک وجود دارد و چرخش جهت مولکول‌ها در هر لایه ساختار مارپیچی پدید می‌آورد که از ویژگی‌های کایرال^(۶) مولکول‌های آن ناشی می‌شود. این ساختار از راه وارپکرن عنصرهای کایرال در ساختار پلیمر یا اختلاط ترکیب‌های کایرال کوچک مولکول با یک پلیمر نماتیک به‌دست می‌آید)،
- اسمکتیک^(۷) (از سرمایش پلیمرهای نماتیک ایجاد شده و دارای نظم جهت‌گیری^(۸) و نظم موضعی^(۹) دوربرد است



شکل ۱- شماتیک ساختارهای انواع پلیمرهای بلورماید

1. Thermotropic	2. Lyotropic	3. Surfactants	4. Nematic	5. Cholesteric	6. Chiral
7. Smectic	8. Orientational Order	9. Positional Order	10. Columnar	11. Lamellar	
12. Hexagonal	13. Melting Temperature	14. Clearing Temperature	15. Isotropic Temperature		

الاستومرهای بلورماید

الاستومرهای بلورماید (LCEs)^(۱) از یک پلیمر خطی بلورماید تشکیل شده‌اند که دارای چگالی پیوندهای عرضی کم است و به دلیل وجود همین پیوندهای عرضی، LCE دارای ویژگی‌های منحصر به فرد است. این الاستومرها، دارای نظم جهت‌گیری شده، به همراه ویژگی‌های کشسان^(۲) هستند؛ بنابراین ترکیبی از جهت‌گیری بلورهای مایع و رفتار برگشت‌پذیری الاستومر را دارند. در LCE، دو موضوع سفتی زنجیره و رفتار آنتروپی در رقابت با یکدیگر قرار دارند که بسته به کاربرد مورد نظر، بزرگی سهم هر یک، تعیین‌کننده است [۲]. به طور کلی سه نکته‌ای که درباره‌ی این ماده‌ها صادق است، نظم جهت‌گیری در مواد انعطاف‌پذیر بی‌نظم^(۳)، شکل مولکولی حساس به محرک‌ها و محدودیت‌های توپولوژیکی است. این الاستومرها دارای رابطه‌ای بین نظم ناهمسان‌گرد^(۴) جزو بلورماید و حالت کشسانی شبکه پلیمری است که ویژگی‌های منحصر به فرد را در واکنش به محرک‌ها، مانند تغییرهای برگشت‌پذیر بُعدهای بیش از ۴۰۰ درصد نشان می‌دهد. انقباض سریع جسم، در طول چند میلی‌ثانیه تصویری از این تغییر بُعد است. روش‌های مهندسی مولکولی گوناگونی برای تطابق رفتار فازی با پاسخ الاستومرهای بلورماید به محرک‌ها نیز انجام شده است [۷]. مثال‌هایی از پاسخ به محرک‌ها عبارت‌اند از: پاسخ به حرارت، پاسخ به نور و پاسخ به حلال [۶ و ۴]. داشتن نظم جهت‌گیری مزوژن‌های بلورماید همراه با وجود شبکه‌ی پلیمری، باعث می‌شود ساختار الاستومرهای بلورماید تا دمای انتقال ناهمگونی پایدار باشند. در این دما که بلورماید به فاز ایزوتروپ تبدیل می‌شود، شبکه‌ی بلورماید همانند یک لاستیک معمولی رفتار می‌کند و نیروی وارده سبب تغییر شکل در بُعدهای کل شبکه می‌شود. الاستومرهای بلورماید آرایش‌یافته به صورت تک‌جهته، از توانایی تغییر شکل در پاسخ به حرارت برخوردارند. اگرچه امکان دارد

این جهت‌گیری به دلیل ممانعت فضایی گروه‌های موجود در زنجیره‌ی اصلی پلیمر دچار محدودیت باشد [۴]. یکی از موردهایی که موجب برتری این پلیمرها نسبت به سایر پلیمرها شده است، نظم دوربرد زنجیره‌های آن‌هاست [۵]. درباره‌ی الاستومرهای بلورمایدی که از محلول پلیمری تشکیل می‌شوند، بر اساس نظریه‌ی شبکه، فلوری پیشنهاد کرد که در غلظت‌های بیشتر از یک مقدار بحرانی، پلیمرهای میله‌ای سخت یک‌فاز بلورماید ناهمگون از خود نشان می‌دهند که این رفتار به نسبت طول به قطر (نسبت منظر)^(۵) مولکول‌های میله‌ای سخت بستگی دارد. این غلظت بحرانی برای تشکیل فاز بلورماید، به نام غلظت لیوتروپیک شناخته می‌شود.

حالت بلورماید، ساختارهای فیزیکی ترکیب‌ها را تشکیل می‌دهد. سازمان‌یافتگی‌های بسیاری بین ساختار آمورف و بلور سه‌بعدی کاملاً منظم قابل‌وقوع است. یک پلیمر ترموتروپیک در دمای بالا و حالت مذاب کاملاً شفاف بوده و به عنوان یک ماده‌ی همگون شناخته می‌شود و مولکول‌های آن هیچ جهت‌گیری دوربرد یا نظم موضعی ندارند و الگوی اشعه‌ی ایکس به دست آمده از آن، به صورت پراکنده^(۶) دیده می‌شود. با سرمایش این پلیمر، در دمای معینی به حالت ابری^(۷) درآمده که حاکی از تشکیل فاز بلورماید است. احتمال‌ترین فاز بلورماید تشکیل شونده از مایع همگون، فاز نماتیک است که بانظم جهت‌یابی دوربرد و بی‌نظمی موضعی مشخص می‌شود. پارامتر نظم (S)، وضعیت جهت‌گیری میله‌های سخت زنجیر اصلی یا گروه‌های مزوژن آویزان یک نمونه بلورماید را بیان می‌کند و به زاویه‌ی بین زنجیر میله‌ای سخت (گروه مزوژن) و بردار جهت^(۸) وابسته است. در صورتی که این پارامتر برابر یک باشد، همه زنجیره‌ها موازی بردار جهت و اگر صفر باشد، جهت‌یابی کاملاً اتفاقی است. عددی بودن کمیت یادشده نشان می‌دهد که مولکول‌ها تقارن داشته و

1. Liquid Crystal Elastomers

2. Elastic

3. Amorphous

4. Anisotropic Order

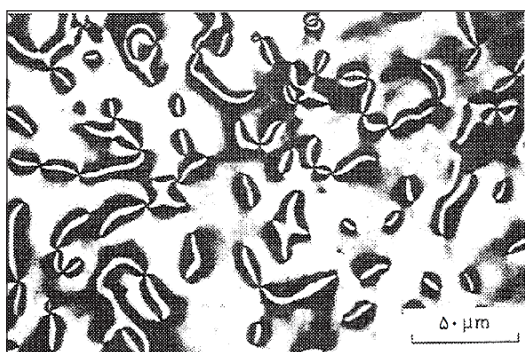
5. Aspect Ratio

6. Diffuse

7. Cloudy

8. Director

در بررسی ریخت‌شناسی الاستومرهای بلورماید دیده شده است که در مایع‌های نماتیک، میدان دایرکتور (جهت قرارگیری مزوژن‌ها) یکنواخت نیست مگر آن‌که یک میدان الکتریکی، مغناطیسی یا مکانیکی بر آن اعمال شود. دایرکتور حول نقطه‌هایی که نقص^(۱) نامیده می‌شوند، به آرامی و به‌طور پیوسته چرخش می‌کند. از ویژگی‌های ساختار نماتیک، بافت شلیرن^(۲) است که توسط میکروسکوپ نور قطبیده شده^(۳) به‌سادگی قابل‌دیدن است. در این بافت، نوارهای تاریک در نقطه‌های نقص با یکدیگر برخورد می‌کنند که در شکل (۳) آورده شده است. نقص‌ها متناسب با حجم، آنتالپی و آنتروپی پلیمر هستند. دو نقص با علامت مخالف، اثر هم را خنثی کرده و در آن ناحیه، میدان دایرکتور یکنواخت به‌دست می‌آید. این فرایند در بلورماید کوچک‌مولکول به‌سرعت رخ می‌دهد، درحالی‌که در پلیمرها آهسته است. نحوه‌ی این نوع حرکت در پلیمرهای بلورماید باعث کاهش تعداد نقص‌ها و درشت شدن بافت شلیرن می‌شود.

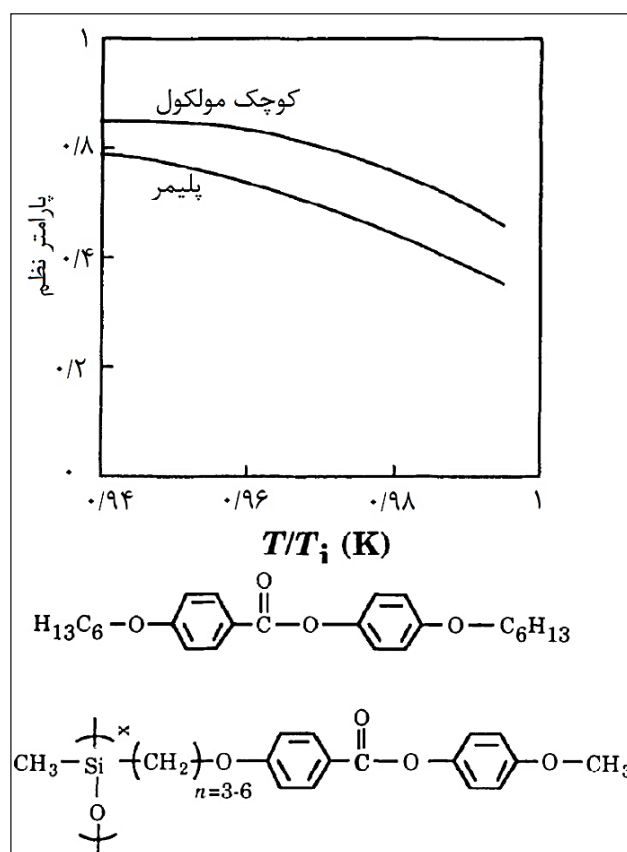


شکل ۳- بافت شلیرن از ویژگی‌های فاز نماتیک.

نمونه‌هایی از الاستومرهای بلورماید

همان‌طور که گفته شد الاستومرهای بلورماید شامل سه ساختار نماتیک، کلاستریک و اسمکتیک هستند. گروه‌های مزوژن معمولاً شامل دست‌کم دو حلقه‌ی آروماتیک یا آلیفاتیک متصل در موقعیت پارا هستند. گروه‌های مزوژن لزوماً

جهت‌یابی تک‌محوری‌ست. فینکلن و رهاگ [۶] در مورد بلورهای مایع نماتیک نشان دادند که جهت میانگین مزوژن‌ها که جهت مرجع در نظر گرفته می‌شود، مقدارهای بین ۰٫۳ تا ۰٫۸ دارد. با افزایش دما، پارامتر نظم کاهش پیدا کرده و درنهایت در دمای همگونی^(۱) به صفر می‌رسد. همان‌طور که در شکل (۲) دیده می‌شود، در کوچک‌مولکول‌ها پارامتر نظم دارای مقدارهای بیشتری نسبت به پلیمری‌ست که گروه‌های جانبی نیز در جهت‌گیری مزوژن‌ها تداخل می‌کنند و گروه‌های جانبی متصل به مزوژن، عرض آن‌ها را افزایش داده و موجب کاهش نسبت منظر می‌شود که درنهایت سبب کاهش پارامتر نظم می‌شود.



شکل ۲- مقایسه‌ی پارامتر نظم بین کوچک‌مولکول‌ها و پلیمرها

1. Isotropization Temperature

2. Disclination

3. Schlieren

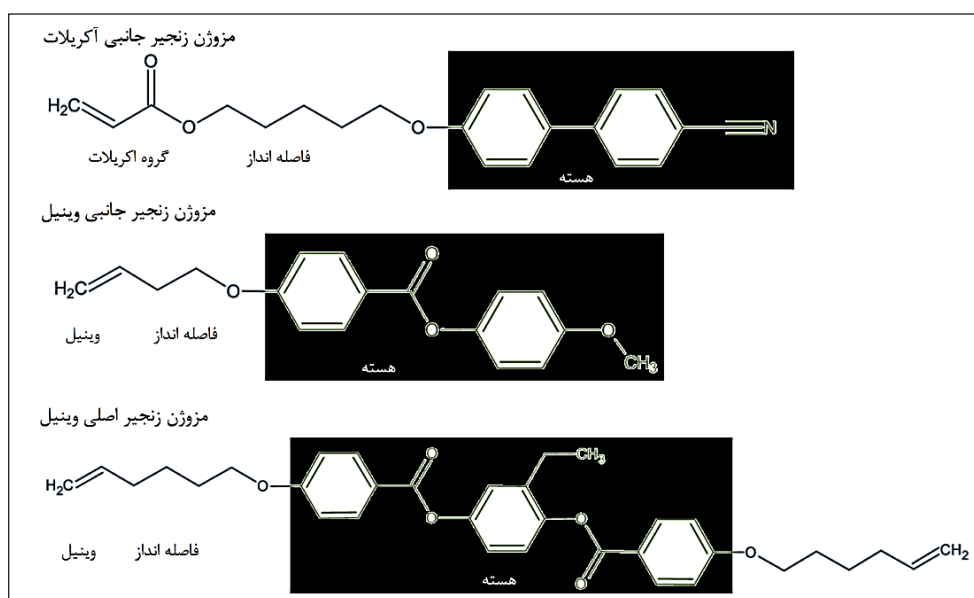
4. Polarizing Microscope

در شکل (۴) گروه‌های عاملی گوناگون مزوژن شامل گروه پلیمریزاسیون (سفیدرنگ) و هسته‌ی بلورماید (سیاه‌رنگ) به‌صورت شماتیک نشان داده‌شده است که بین آن‌ها گروه‌های فاصله‌انداز قرار دارند.

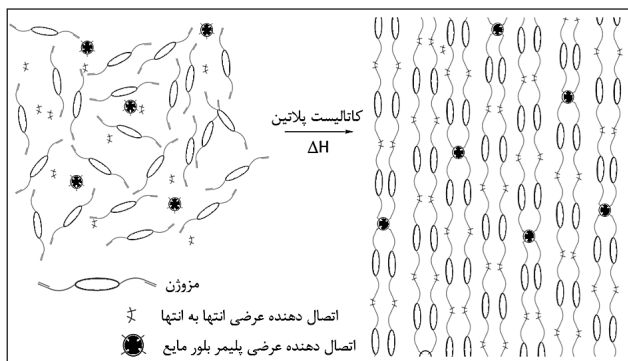
همان‌طور که اشاره شد، ساختار الاستومر بلورماید دست‌کم از سه جزء تشکیل‌شده که شامل پلیمر، مزوژن بلورماید و پیوندهای عرضی است. تهیه‌ی LCE مستلزم پیوند کووالانسی این سه جزء است. روش‌های ترکیب‌های برای پیوند سه جزء بالا وجود دارد که دو مورد از مهم‌ترین آن‌ها، واکنش هیدروسیلیلاسیون^(۱) و پلیمریزاسیون اکریلات^(۲) است. در هر دو مورد، مولکول‌های مزوژن و پیونددهنده‌ی عرضی عامل‌دار می‌شوند و گروه وینیل برای واکنش هیدروسیلیلاسیون و گروه اکریلات برای پلیمریزاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرند. پلیمرهای به‌دست آمده، تصادفی بوده و به‌صورت آماری شکل می‌گیرند. به این معنی که هیچ جهت‌گیری از پیش تعیین‌شده و مشخصی برای مزوژن و پیونددهنده‌ی عرضی وجود ندارد. با استفاده از هر روش واکنش، LCE نماتیک، اسمکتیک و

به‌طورکامل سخت نبوده و می‌توانند شامل گروه‌های منعطف باشند. مثال‌هایی از گروه‌های سخت، ۱،۴-فنیلین و ۲،۶-نفتالین و ترانس ۱،۶-سیکلوهگزین است و در مقابل، گروه‌هایی مانند الیگو متیلین، الیگوسیلوکسان، الیگو اتیلین اکساید و حلقه‌های آروماتیک با ۴ تا ۶ استخلاف متقارن آلوکوسی یا الیگواستر جزو واحدهای منعطف هستند. این مولکول‌ها تمایل به ساختارهای میله‌ای مانند یا ناهمسان‌گرد دارند که یک بُعد آن به‌طور چشم‌گیری طولانی‌تر از بُعدهای دیگر است. با این حال، فاز بلورماید با استفاده از مزوژن‌هایی با شکل‌های گوناگون، شامل ساختارهای حلقوی، موزی شکل، چوب‌هاکی و مولکول T شکل تهیه‌شده است. مزوژن مورد استفاده برای تهیه‌ی LCE دارای سه بخش متمایز است:

- ۱- یک گروه واکنشی که در واکنش پلیمریزاسیون شرکت می‌کند.
- ۲- یک واحد فاصله‌انداز که هسته‌ی مزوژن را از پلیمر جدا می‌کند.
- ۳- هسته‌ی مزوژن که به‌طور معمول از ساختارهای حلقوی مانند بنزن، سیکلوهگزین یا حلقه‌های هتروسیکلیک تشکیل شده است.



شکل ۴- سه نمونه ساختار مزوژن با گروه‌های فاصله‌انداز انعطاف‌پذیر سفید و هسته سیاه



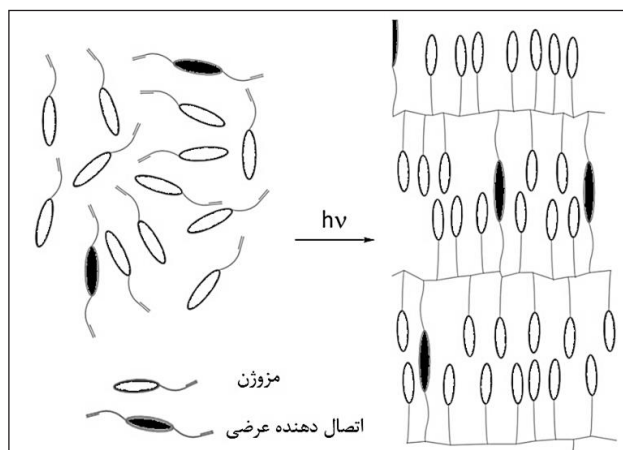
شکل ۷- تهیهی LCE زنجیر اصلی از راه واکنش

هیدروسیلیلاسیون بین مولکول‌های پیوندهندهی سیلوکسان خطی با دو محل واکنش، مزوژن (سفید) و پیوندهندهی عرضی با چهار محل واکنش (سیاه).

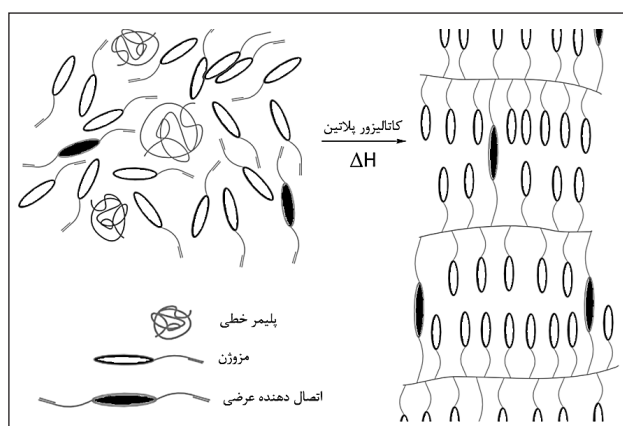
کاربرد الاستومرهای بلورمایع

ویژگی‌های الاستومرهای بلورمایع، همانند ویژگی‌های مکانیکی (استحکام و مدول)، آسانی فرایندپذیری، مقاومت گرمایی عالی، جذب آب کم و عبورپذیری پایین در برابر گازها، آن‌ها را برای محدوده‌ی گسترده‌ای از کاربردها موردتوجه قرار داده است که می‌تواند شامل موردهایی همچون فراورده‌های اکستروزی (الیاف، میله و ورق) مورد استفاده در صنعت شیمی و مواد و قطعه‌های قالب‌گیری شده (پیوندهای و مبدل‌ها) در صنایع الکترونیکی باشد [۸]. به‌طور کلی الاستومرهای بلورمایع می‌توانند در ابزاری مانند ساعت‌های دیجیتال، تلویزیون‌های جیبی، میکروپمپ‌های گاز، پارکومترها، ارتباط‌های مخابراتی، تلفن همراه و گیرنده‌ها، نمایش‌گرهای دیجیتال، بازی‌های الکترونیکی، دستیارهای شخصی دیجیتال، کتاب‌های الکترونیکی، ماشین‌حساب، دوربین عکاسی و فیلم‌برداری دیجیتال و ترمومترها مورد استفاده قرار بگیرند که تصاویر برخی از این کاربردها در شکل (۸) آورده شده است.

کلاستریک می‌تواند تهیه شود. شماتیک ساختار سه نوع LCE زنجیر جانبی اکریلات، LCE زنجیره‌ی جانبی سیلوکسان و LCE زنجیره‌ی اصلی سیلوکسان در شکل‌های (۵) تا (۷) آمده است. نوع LCE زنجیر جانبی اکریلات طی پلیمریزاسیون نوری مزوژن‌های اکریلات تهیه می‌شود. مواد موجود از این نوع شامل LCE حساس به نور یا بخار هستند. در مقابل، LCE زنجیره جانبی و زنجیره اصلی سیلوکسان، از راه واکنش هیدروسیلیلاسیون مزوژن و وینیل با پلیمر متیل هیدروسیلوکسان تهیه می‌شود.



شکل ۵- تهیهی LCE از طریق پلیمریزاسیون با استفاده از مزوژن‌های اکریلات (سفید) و مولکول‌های پیوندهندهی عرضی (سیاه).



شکل ۶- تهیهی LCE زنجیر جانبی از راه واکنش هیدروسیلیلاسیون بین یک پلیمر سیلوکسان خطی، مزوژن (سفید) و پیوندهندهی عرضی (سیاه).

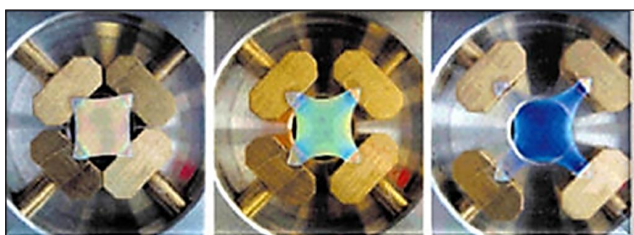


شکل ۸- برخی از کاربردهای الاستومرهای بلورمایی

به‌عنوان فیلتری برای نور مرئی قابل‌کاربرد است. ترکیب‌های کلاستریک به‌طورمعمول با رنگ روشن و براق دیده می‌شوند و چون میزان براق بودن آن‌ها به دما بستگی دارد، از تغییر رنگ وابسته به دمای این بلورهای مایع در بعضی از دماسنج‌ها استفاده می‌شود. در این مواد تحریک‌پذیری بار در جهت ستون‌ها افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه، این مواد در جهت همراستای ستون‌ها، رسانا و در جهت عمود بر ستون‌ها، نارسانا هستند. از طرف دیگر این ماده‌ها دارای ویژگی خودسامان‌دهی نیز هستند. این دو ویژگی باعث توجه به این ماده‌ها، برای کاربرد در سلول‌های خورشیدی و نیز در دیوهای نوری شده که با استفاده از ماده‌های آلی

پلیمرهای بلورمایی که در الکترونیک و اپترونیک به‌کار می‌روند، به‌طورعمده پلیمرهای دارای شاخه‌ی جانبی با مزوژن‌های آویزان هستند. به‌دلیل شکل میله‌ای مولکول‌های تشکیل‌دهنده، بلورهای مایع نماتیک و اسمکتیک در برابر نور و میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی پاسخی ناهمسان‌گرد دارند. بدین ترتیب، می‌توان از میدان الکتریکی برای کنترل مولکول‌های بلورمایی نیماتیک استفاده کرد و این امر به‌نوبه‌ی خود میزان نور بازتابیده یا گذرنده را تغییر می‌دهد. استفاده از این اثر در صفحه‌های نمایش‌گر بلورمایی در ماشین‌حساب و ساعت دیجیتالی رایج است. ساختار مارپیچی مشخصه‌ی بلورهای مایع کلاستریک

است. به این ترتیب که، در هنگام کشیده شدن این فیلم‌ها، فاصله‌ی بین مزوژن‌های کلاستریک افزایش یافته و بر اساس شکل (۹) منجر به تغییر رنگ می‌شود [۱۲].



شکل ۹- تغییر رنگ با کشیده شدن فیلم کلاستریک به علت افزایش فاصله‌ی بین مولکول‌ها

نتیجه‌گیری

در این مقاله، پس از معرفی پلیمرهای بلورمایی، مطالبی برای آشنایی اولیه با الاستومرهای بلورمایی ارائه شد. سپس ساختار مولکولی این دسته از الاستومرها با توجه به نحوه‌ی آرایش و جهت‌گیری مزوژن‌ها و تأثیرگذاری این ساختارها بر ویژگی‌های فیزیکی و ریخت‌شناسی محصول نهایی به همراه معرفی نمونه‌هایی از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در پایان نیز با توجه به رشد روزافزون استفاده از این الاستومرها، شرح کوتاهی از کاربرد آن‌ها در صنایع گوناگون بیان شد *IRM*

ساخته می‌شوند. الاستومرهای بلورمایی به سبب دارا بودن نظم و درعین حال تحرک در سطح مولکولی، محیطی مناسب برای سنتز و خودآرایی نانو ساختارهای دارای اندازه و شکل یکنواخت به شمار می‌آیند و به این ترتیب منجر به تولید نانو ساختارهای سازمان‌یافته بزرگتر می‌شوند. بلورهای مایع ترموتروپیک نیز کاربرد گسترده‌ای در نمایش‌گرهای نوری-الکتریکی دارند [۹ و ۱۰]. مواد LCE ممکن است به عنوان فیلم یا الیاف نازک تهیه شوند. بسته به ساختار مواد و روش آماده‌سازی، LCE می‌تواند در خم شدن، منقبض شدن یا پیچاندن قرار گرفته و تغییر در بُعدها ممکن است بسیار بزرگ باشد. برای نمونه انقباض ۴۰۰ تا ۵۰۰ درصدی در یک میلی‌ثانیه را می‌توان دیده کرد. یکی دیگر از کاربردهای این نوع ماده‌ها عضله‌های مصنوعی با انبساط و انقباض بازگشت‌پذیر است [۱۱]. به طور کلی، توانایی انواع گوناگون LCE برای پاسخ به انواع گوناگون محرک‌ها، این امکان را فراهم می‌کند که به عنوان حس‌گرها، سیستم‌های دارورسانی، آبندها و بسته‌های جدید، فیلم‌ها و ژل‌های حساس به نور یا مواد هوشمند با اثرهای حافظه شکلی برگشت‌پذیر مورد استفاده قرار گیرد. کاربرد LCE کلاستریک در تهیه‌ی مواد نوری مورد استفاده برای کاربردهای بازتاب بدون آینه

مراجع

1. Chung, T. S.; "Thermotropic Liquid Crystal Polymers: Thin- film Poly Chara Blends", CRC Press, Singapore, 2001.
2. Warner, M., Terentjev, E. M.; "Liquid crystal elastomers", OUP Oxford, England, 2003.
3. Ware, T. H., McConney, M. E., Wie, J. J., Tondiglia, V. P., White, T. J.; Science, 347, 982- 984, 2015.
4. Wermter, H., Finkelmann, H.; E-Polymers, 1, 111-123, 2001.
5. Lagerwall, J. P., Scalia, G.; Current Applied Physics, 12, 1387- 1412, 2012.
6. Finkelmann, H., Rehage, G.; "Liquid Crystal Polymers", Advances in Polymer Science book series, (Vol. 60), Springer, Germany, 99-172, 1984.
7. Zhu, B., Barnes, M. G., Kim, H., Yuan, M., Ardebili, H., Verduzco, R.; Sensors and Actuators B: Chemical, 244, 433- 440, 2017.
8. Cheremisinoff, N. P.; "Handbook of Polymer Science and Technology (Vol. 2)", Marcel Dekker Inc., 625- 675, Marcel Dekker, Inc., USA, 1989.
9. Stegemeyer, H.; "Liquid crystals. Topics in physical chemistry (Vol. 3)", Steinkopff, Germany, 1994.
10. Gray, G. W., Vill, V., Spiess, H. W., Demus, D., Goodby, J. W.; "Physical properties of liquid crystals", John Wiley & Sons, Germany, 2009.
11. Bar-Cohen, Y.; "Electroactive polymers as artificial muscles, reality and challenges", Jet Propulsion Laboratory, National Aeronautics and Space Administration, USA, 2001.
12. Finkelmann, H., Kim, S. T., Munoz, A., Palffy- Muhoray, P., Taheri, B.; Advanced Materials, 13, 1069- 1072, 2001.

An Overview of Liquid Crystal Elastomers: Structure, Types and Applications

S. Mohammadian-Gezaz* and M. Barghamadi

Department of Chemical Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

*Corresponding author Email: s.mohammadian@pnu.ac.ir

Received: October 2017, Revised: November 2017, Accepted: December 2017

Abstract: In recent years, Liquid Crystal Elastomers (LCEs) have been widely used in the various industrial applications. Study on LCE is important in order to know how select them in a special application. In this paper, it has been attempted to provide introductory explanations for these types of elastomers and a review of its various aspects. After the general introduction of various liquid crystalline behaviors, the orientation and position of the hard- forming groups of the chains, have been described the specific chemical structure of the liquid crystal elastomers and the important physical properties. Finally, have been noticed some important applications of LCEs.

Keywords: Liquid Crystal Elastomer, Liquid Crystal Behavior, Clearing Temperature, Order Parameter.