



پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی

گروه فوتونیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فوتونیک

عنوان

بررسی اثرالکترواپتیکی کر در گذار ایزوتروپیک-سمکتیک $(Sm A) A$

و مقایسه آن با گذار ایزوتروپیک-نماتیک در بلورهای مایع

آنتی فروالکتریکی و نماتیکی

اساتید راهنما

دکتر حبیب تجلی

دکتر علی رستمی

استاد مشاور

مهندس عین ا... واحدی

پژوهشگر

حسین نصیرزاده میلانی

تیرماه ۱۳۸۸

نام خانوادگی دانشجو: نصیرزاده میلانی	نام: حسین
عنوان پایان نامه: بررسی اثر الکترواپتیکی کر در گذار ایزوتروپیک- سمکتیک A (SmA) و مقایسه آن با گذار ایزوتروپیک- نماتیک در بلورهای مایع آنتی فروالکتریک و نماتیکی	
اساتید راهنما: دکتر حبیب تجلی و دکتر علی رستمی استاد مشاور: مهندس عین ا.. واحدی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: فیزیک گرایش: فوتونیک دانشگاه: تبریز	
دانشکده: پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی	
تاریخ فارغ التحصیلی: تیرماه ۱۳۸۸	تعداد صفحه: ۱۱۲
کلیدواژه ها: بلورمایع، الکترواپتیک، اثر کر، آنتی فروالکتریک، فروالکتریک، سمکتیک A، نماتیک، زمان پاسخ دهی	
چکیده:	
<p>فناوری فوتونیک در جهان امروز به سرعت در حال پیشرفت بوده و کاربردهای متعدد حاصل از آن، اینک در اختیار همگان قرار گرفته است. این فناوری که بخش مهمی از آن شامل مطالعات الکترواپتیکی مواد است، در مسیر توسعه خود همواره نیازمند دستیابی به مواد اپتیکی جدید و شناسایی خواص فیزیکی آنهاست. در این راستا، بلورهای مایع فروالکتریک و آنتی فروالکتریک، به عنوان مواد جدیدی با خواص الکترواپتیکی بهتر و زمان پاسخ دهی بالا، معرفی شده اند که آینده خوبی را در ساخت دستگاههای الکترواپتیکی سریع، نوید می دهند.</p> <p>در این پایان نامه، مطالعات الکترواپتیکی در دو بخش مطالعات استاتیکی و دینامیکی بر روی دو نوع بلورمایع آنتی فروالکتریک و فروالکتریک جدید، که پیش از این هیچ گزارشی از خواص نوری آنها ارائه نشده، انجام یافته است.</p> <p>در بخش الکترواپتیک استاتیکی، اثر الکترواپتیک مرتبه دوم (اثر کر) در فاز همسانگرد بلورمایع آنتی فروالکتریکی W-۲۳۲ مورد بررسی قرار گرفته و تغییرات دمایی این کمیت نیز در نزدیکی دمای گذار فاز همسانگرد به فاز سمکتیک A اندازه گیری شده است. تطابق نتایج تجربی حاصله با تئوری های موجود در این گذار فازی، مورد بررسی قرار گرفته و همچنین مقایسه ای بین نتایج تجربی بدست آمده با نتایج حاصله از یک نمونه بلورمایع نماتیکی انجام گرفته است.</p> <p>مطالعات الکترواپتیکی دینامیکی نیز بر روی دو نوع بلورمایع آنتی فروالکتریکی W-۲۳۲ و فروالکتریکی W-۲۳۵A با هدف بررسی پاسخ دینامیکی جهت گیری مولکولها در اثر اعمال میدانهای الکتریکی خارجی و مقایسه آن با پاسخ دینامیکی بلورهای مایع نماتیکی، انجام گرفته است. بلورهای مایع نماتیک با وجود کاربرد وسیع شان در صفحات نمایشگر الکترواپتیکی، کلید زنی نوری و غیره از زمان پاسخ دهی کندی (در حدود میلی ثانیه) در میدانهای الکتریکی برخوردارند که این مساله، نقطه ضعفی برای این مواد محسوب می شود. با اندازه گیری پاسخی جهت گیری مجدد و زمان واهلش جهت گیری مولکولهای بلورهای مایع فوق در حدود میکروثانیه، بلورهای مایع فروالکتریکی و آنتی فروالکتریکی، جایگزین مناسبی بجای بلورهای مایع نماتیکی در دستگاههای ساخته شده از این مواد، معرفی شدند.</p>	

مقدمه..... ۱

فصل اول: بررسی منابع (پایه های نظری و پیشینه پژوهش)

۱-۱) تاریخچه..... ۳

۲-۱) معرفی بلورهای مایع..... ۴

۳-۱) طبقه بندی بلورهای مایع..... ۵

۴-۱) بلورهای مایع ترموتروپیک..... ۷

۱-۴-۱) بلورهای مایع کالامیتیک..... ۷

۲-۴-۱) بلورهای مایع دیسکوتیک..... ۸

۵-۱) ساختمان بلورهای مایع..... ۹

۶-۱) فازهای مختلف بلورهای مایع ترموتروپیک..... ۱۱

۱-۶-۱) بلورهای مایع نماتیک..... ۱۱

۲-۶-۱) بلورهای مایع سمکتیک..... ۱۲

۳-۶-۱) بلورهای مایع کلستریک..... ۱۳

۷-۱) پارامتر نظم در فاز نماتیک بلورهای مایع..... ۱۵

۸-۱) نظم مکانی در بلورهای مایع..... ۱۷

۹-۱) نظم دهی و هم خط شدن مولکول های بلور مایع..... ۱۸

۱-۹-۱) نظم دهی موازی..... ۱۸

۲-۹-۱) نظم دهی عمودی..... ۱۹

۱۰-۱) بلورهای مایع فروالکتریکی و آنتی فروالکتریکی..... ۲۰

۲۰	۱-۱۰-۱ خاصیت فروالکتریکی در بلورهای مایع
۲۲	۲-۱۰-۱ تقارن در بلورهای مایع فروالکتریکی
۲۷	۳-۱۰-۱ تاثیر اعمال میدان های الکتریکی خارجی بر بلورهای مایع فروالکتریکی
۳۲	۱۱-۱) خاصیت آنتی فروالکتریکی در بلورهای مایع
۳۵	۱۲-۱) قطبیدگی و قطبش خودبخودی در بلورهای مایع فروالکتریک
۳۷	۱۳-۱) پاسخ زمانی بلورهای مایع فروالکتریک و آنتی فروالکتریک به میدان الکتریکی خارجی
۳۸	۱۴-۱) قطبش پذیری، ناهمسانگردی و دوشکستی در بلورهای مایع
۴۰	۱۵-۱) اپتیک غیر خطی بلورهای مایع
۴۳	۱۶-۱) اثر الکترواپتیکی کر
۴۴	۱۷-۱) کاربردهای بلورهای مایع
۴۴	۱-۱۷-۱ کاربرد بلور مایع در صفحات نمایشی
۴۶	۲-۱۷-۱ کاربردهای ترموگرافیک
۴۶	۳-۱۷-۱ کاربرد بلور مایع در پزشکی
۴۸	فصل دوم - مواد و روش ها
۴۸	مقدمه
۴۸	۱-۲) معرفی بلورهای مایع بکار رفته در این کار تجربی
۵۰	۲-۲) بررسی خواص الکترواپتیکی استاتیکی بلورهای مایع مورد مطالعه
۵۱	۳-۲) رهیافت های تئوری
۵۱	۱-۳-۲ تئوری لاندائو

۵۳	۲-۳-۲ تئوری لاندائو - دوژن برای گذار فاز ایزوتروپیک به نماتیک.....
۵۷	۲-۴) اثر اعمال میدان الکتریکی خارجی بر بلور مایع در نزدیکی گذار فاز همسانگرد به نماتیک.....
۶۱	۲-۵) ساختار فاز سمکتیک A.....
۶۲	۲-۵-۱ ساختار فاز سمکتیک A و پارامتر نظم مکانی.....
۶۴	۲-۶) تئوری لاندائو برای گذار فاز همسانگرد به فاز سمکتیک A.....
۷۱	۲-۶-۱ گذار مستقیم فاز همسانگرد به فاز سمکتیک A.....
۷۴	۲-۷) روش تجربی اندازه گیری ثابت کر بلورهای مایع مورد مطالعه.....
۷۷	۲-۸) بررسی خواص الکترواپتیکی دینامیکی بلورهای مایع مورد مطالعه.....
۷۷	۲-۸-۱ آرایش تجربی مطالعات الکترواپتیک دینامیکی کر.....
۷۸	۲-۸-۲ تجزیه و تحلیل وابستگی زمانی پاسخ نوری بلورهای مایع.....
۸۱	فصل سوم - بحث و نتیجه گیری.....
۸۱	مقدمه.....
۸۱	۳-۱) نتایج تجربی بررسی های الکترواپتیک استاتیکی.....
۹۲	۳-۲) نتایج تجربی مطالعات الکترواپتیک دینامیکی.....
۱۰۵	۳-۳) نتیجه گیری.....
۱۰۷	۳-۴) پیشنهادات.....
۱۰۸	مراجع.....

صفحه	فهرست شکل ها
۵	شکل (۱-۱): مقایسه آرایش و نظم مولکولی در جامد بلوری، بلور مایع و مایع همسانگرد
۶	شکل (۲-۱): نمونه ای از بلور مایع پلیمری
۸	شکل (۳-۱): الگوی ساختار کلی بلورهای مایع دیسکوئیک
۹	شکل (۴-۱): الگوی ساختار عمومی بلورهای مایع میله ای
۱۲	شکل (۵-۱): فاز نماتیک
۱۳	شکل (۶-۱): (الف) فاز سمکتیک C ، (ب) فاز سمکتیک A
۱۴	شکل (۷-۱): ساختار پیچ خورده در بلور مایع کلستریک
۱۶	شکل (۸-۱): جهت گیری محور بلند مولکولی و محور نوری مولکول نماتیک
۱۷	شکل (۹-۱): وابستگی پارامتر نظم به دما
۱۹	شکل (۱۰-۱): نمایش آرایش موازی در بلورهای مایع
۱۹	شکل (۱۱-۱): نمایش آرایش عمودی در بلورهای مایع
۲۱	شکل (۱۲-۱): ساختار مولکولی اولین بلور مایع فروالکتریک ($DOBAMBC$)
۲۲	شکل (۱۳-۱): فاز سمکتیک C کایرال
۲۴	شکل (۱۴-۱): (الف) آرایش لایه ای مولکولهای کایرال بلور مایع در فاز سمکتیک A ، (ب) ساختار لایه ای و آرایش کج شده مولکولهای کایرال در فاز سمکتیک C^*
۲۵	شکل (۱۵-۱): گذار فاز سمکتیک A به سمکتیک C^* با نمایش تقلیل ناپذیر E_1
۲۶	شکل (۱۶-۱): ساختار و تقارن سمکتیک های کج شده قطبی و اکایرال
۲۸	شکل (۱۷-۱): آرایش تجربی برای نشان دادن قطبش الکتریکی در بلور مایع فروالکتریک $DOBAMBC$
۲۹	شکل (۱۸-۱): تغییر شکل ساختار مارپیچی فاز سمکتیک C^* در اثر اعمال میدان الکتریکی و اثر آن بر تصاویر کانوسکوپیک
۳۱	شکل (۱۹-۱): ساختار مارپیچی و نحوه قرارگیری مولکولها در فاز سمکتیک C^*
۳۲	شکل (۲۰-۱): پاسخ ساختار مارپیچی فاز سمکتیک C^* فروالکتریک به میدان الکتریکی خارجی
۳۳	شکل (۲۱-۱): تاثیر اعمال میدان الکتریکی به بلور مایع آنتی فروالکتریک $MHPOBC$
۳۴	شکل (۲۲-۱): ساختار فاز آنتی فروالکتریک

۳۴	شکل (۱-۲۳): تفاوت بین رفتارهای (الف) آنتی کلینیک و (ب) سین کلینیک
۳۶	شکل (۱-۲۴): وابستگی دمایی قطبش خود بخودی بلورهای مایع فروالکتریک <i>DOBAMBC</i> و <i>DOB-1-MPC</i>
۴۵	شکل (۱-۲۵): سیستم نمایشی بلورمایع
۴۹	شکل (۲-۱): بلورهای مایع ترکیب شده در بلور مایع مخلوط فروالکتریک <i>W-۲۳۵A</i>
۵۰	شکل (۲-۲): بلورهای مایع ترکیب شده در بلور مایع مخلوط آنتی فروالکتریک <i>W-۲۳۲</i>
۵۱	شکل (۲-۳): سلول استاتیکی کر
۶۳	شکل (۲-۴): ساختار لایه ای فاز سمکتیک <i>A</i> و تغییرات تناوبی چگالی مراکز جرم
۶۸	شکل (۲-۵): S و ψ_0 بصورت تابعی از دما
۷۰	شکل (۲-۶): انرژی آزاد F بصورت تابعی از پارامتر نظم S برای مقادیر مختلف ثابت تزویج δ
۷۲	شکل (۲-۷): انرژی آزاد F بصورت تابعی از پارامتر نظم S برای دمای فراگرمایش T_{AI}^{**} ، دمای گذار T_{AI}^* و دمای T_{AI}^*
۷۵	شکل (۲-۸): طرحواره ای از آرایش تجربی بکار گرفته شده برای اندازه گیری ضریب کر
۷۸	شکل (۲-۹): آرایش تجربی استفاده شده برای اندازه گیری زمانهای خیز و واهلش بلورمایع آنتی فروالکتریک
۷۹	شکل (۲-۱۰): پاسخ نوری بلورمایع به علت تغییر دوشکستی ناشی از اعمال میدان الکتریکی
۸۳	شکل (۳-۱): تصویر دستگاه کنترلر دمایی ساخته و بکار گرفته شده در این پایان نامه به منظور کنترل دماهای بالای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و اندازه گیری ضرایب کر و دوشکستی
۸۳	شکل (۳-۲): تصویر دستگاه موتور پله ای دقیق ساخته و بکار گرفته شده در این پایان نامه جهت تعیین میزان دقیق چرخش آنالیزور
۸۴	شکل (۳-۳): دیاگرام های فازی بلورمایع آنتی فروالکتریک <i>W-۲۳۲</i>
۸۶	شکل (۳-۴): نمودار تغییرات ثابت کر بلورمایع آنتی فروالکتریک <i>W-۲۳۲</i> بر حسب دما در فاز همسانگرد نمونه
۸۷	شکل (۳-۵): نمودار تغییرات عکس ثابت کر بر حسب دما برای بلورمایع آنتی فروالکتریک <i>W-۲۳۲</i> در فاز همسانگرد
۸۹	شکل (۳-۶): نمودار تغییرات ثابت کر بر حسب دما برای بلورمایع نماتیک <i>5CB</i>

۹۰	شکل (۷-۳): نمودار تغییرات عکس ثابت کر بر حسب دما برای بلورمایع نماتیك 5CB
۹۲	شکل (۸-۳): نمودار تعیین دمای ذوب و دمای گذار بلورمایع فروالکتریک W-۲۳۵A توسط دستگاه DSC
۹۴	شکل (۹-۳): تصویری از بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲ در سلولی با جهت دهی موازی و با ضخامت ۱/۶ میکرومتر
۹۴	شکل (۱۰-۳): تصویری از بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲ در سلولی با جهت دهی موازی و با ضخامت ۷/۴ میکرومتر
۹۵	شکل (۱۱-۳): تصویری از بلورمایع فروالکتریک W-۲۳۵A در سلولی با جهت دهی موازی و با ضخامت ۱/۶ میکرومتر
۹۵	شکل (۱۲-۳): تصویری از بلورمایع فروالکتریک W-۲۳۵A در سلولی با جهت دهی موازی و با ضخامت ۷/۴ میکرومتر
۹۸	شکل (۱۳-۳): میدان الکتریکی اعمالی به سلول حاوی بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲ و پاسخ دینامیکی دریافت شده توسط آن
۹۸	شکل (۱۴-۳): ترسیم گرافیکی داده های عددی مربوط به میدان الکتریکی اعمالی به بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲ و پاسخ دینامیکی نوری دریافت شده از آن
۹۹	شکل (۱۵-۳): اعمال میدان الکتریکی ($F=400Hz$) به بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲ و پاسخ دینامیکی دریافت شده از آن در دمای $84/8^{\circ}C$
۹۹	شکل (۱۶-۳): اعمال میدان الکتریکی ($F=400Hz$) به بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲
۱۰۰	شکل (۱۷-۳): اعمال میدان الکتریکی ($F=100Hz$) به بلورمایع فروالکتریک W-۲۳۵A و پاسخ دینامیکی دریافت شده از آن در دمای $26/2^{\circ}C$
۱۰۰	شکل (۱۸-۳): اعمال میدان الکتریکی ($F=200Hz$) به بلورمایع فروالکتریک W-۲۳۵A و پاسخ دینامیکی دریافت شده از آن در دمای $26/2^{\circ}C$
۱۰۳	شکل (۱۹-۳): نمودار تحلیلی واهلش دوشکستی برای بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲ در فرکانس میدان اعمالی و در دمای $26/2^{\circ}C$

صفحه	فهرست جدول ها
۲۶	جدول (۱-۱): اثر چرخش 180° بر بردار قطبش در فازهای سمکتیک کج شده کایرال و اکایرال
۲۷	جدول (۲-۱): اثر انعکاس از صفحه xz .
۳۶	جدول (۳-۱): ممانهای دو قطبی مولکولها ، پیوندها و گروهها در یکای <i>Deby</i>
۸۵	جدول (۱-۳): دماهای گذار و برخی خواص الکترواپتیکی (در دمای $35^\circ C$) بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲
۸۸	جدول (۲-۳): نتایج تجربی بدست آمده در مطالعات الکترواپتیک استاتیکی برای بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲
۹۱	جدول (۳-۳): نتایج تجربی بدست آمده در مطالعات الکترواپتیک استاتیکی 5CB برای بلورمایع نماتیکی
۱۰۲	جدول (۴-۳): نتایج حاصل از اندازه گیری های الکترواپتیک دینامیکی (زمان واهلش) برای بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲ در فاز آنتی فروالکتریک
۱۰۳	جدول (۵-۳): نتایج حاصل از اندازه گیری های الکترواپتیک دینامیکی (زمان خیز) برای بلورمایع آنتی فروالکتریک W-۲۳۲ در فاز آنتی فروالکتریک
۱۰۴	جدول (۶-۳): نتایج حاصل از اندازه گیری های الکترواپتیک دینامیکی (زمان واهلش) برای بلورمایع فروالکتریک W-۲۳۵A

امروزه فناوری فوتونیک با رشد سریع و روزافزون خود، باعث ایجاد زمینه های گسترده پژوهشی در حوزه های مختلف این علم شده که کاربردهای متعدد حاصل از آن، اینک در اختیار همگان قرار گرفته است. بخش مهمی از این پژوهشها شامل مطالعات الکترواپتیکی مواد بوده که در این راستا، دستیابی به مواد اپتیکی جدید و شناسایی خواص نوری آنها، لازم و ضروری به نظر می رسد.

بلورهای مایع بیش از سایر مواد، بعلت دارا بودن خواص نوری خطی و غیرخطی ویژه، در کانون توجه پژوهشها در این زمینه می باشد. در این میان، شناخت و بررسی خواص الکترواپتیکی این مواد به لحاظ جنبه های کاربردی بلورهای مایع، از اهمیت اساسی برخوردار است.

هدف این پایان نامه، بررسی اثر الکترواپتیکی کر استاتیکی و دینامیکی در برخی بلورهای مایع جدید، است. مطالعه پدیده الکترواپتیک کر که بصورت تغییر ضریب شکست القا شده در ماده، بواسطه اعمال میدان الکتریکی خارجی، تعریف می شود اولین بار در سال ۱۸۷۵ میلادی توسط آقای کر^۱ در مایعات و شیشه، معرفی شده و بنام اثر الکترواپتیک مرتبه دوم (اثر کر) شناخته می شود.

بلورهای مایع، یک خطیت بزرگ نور - القایی را از خود نشان می دهند. این بخاطر ناهمسانگردی بزرگ دی الکتریکی در آنهاست که با جهت گیری مجدد^۲ دسته جمعی مولکولها، جفت شده است. علاوه بر این، خواص اپتیکی آنها، با استفاده از یک میدان الکتریکی یا مغناطیسی با قدرت کم، براحتی قابل کنترل است. این مشخصات، بلورهای مایع را بعنوان موادی مناسب برای کاربردهای متعدد، از جمله نمایشگرهای بلورهای مایع، کلیدزنی نوری، مدولاتورهای الکترواپتیکی و ... امکانپذیر ساخته است. یکی از کاربردهای جدید بلورهای مایع، استفاده در بلورهای فوتونی برای کنترل باند ممنوعه فوتونی در

^۱ John Kerr

^۲ Reorientation

آنها، با تغییر دما یا اعمال میدان می باشد. این اثر می تواند در فیبرهای بلور فوتونی نیز مورد استفاده قرار گیرد که بعنوان فیبرهای $PLCF$ ^۱، شناخته می شود.

با توسعه پژوهشها و مطالعات در حوزه این مواد، بلورهای مایع فروالکتريک و آنتی فروالکتريک به عنوان مواد جدیدی با ضرایب الکترواپتیکی بهتر و خواص نوری بالا، معرفی شده اند. بلورهای مایع نماتیکی، با وجود کاربردهای وسیع شان از زمان پاسخدهی کندی در میدانهای الکتريکی برخوردارند که این مساله، نقطه ضعفی برای اینگونه مواد، محسوب می شود. اخیراً بلورهای مایع فرو الکتريکی و آنتی فرو الکتريکی که زمان پاسخدهی بالایی را از خود نشان داده اند، مورد توجه قرار گرفته و آینده خوبی را در ساخت دستگاههای الکترواپتیکی سریع، نوید می دهند. بنابراین نیاز مبرمی برای شناخت، بررسی و اندازه گیری ضرایب غیر خطی و الکترواپتیکی این مواد، احساس می شود.

کارهای انجام یافته در این پایان نامه در راستای همین بررسی ها و مطالعات، در دو بخش عمده، بررسی تجربی خواص الکترواپتیکی استاتیکی و دینامیکی بلورهای مایع نماتیکی و آنتی فرو الکتريکی، و در سه فصل به شرح زیر تنظیم شده است:

در فصل اول، مقدمه ای بر تاریخچه، معرفی انواع بلورهای مایع خصوصاً بلورهای مایع فروالکتريک و آنتی فروالکتريک و مشخصات و ویژگیهای این مواد، ارائه شده است.

در فصل دوم، مواد، ابزارها، آرایشهای تجربی و همچنین خلاصه ای از اصول نظری خواص الکترواپتیکی استاتیکی و دینامیکی بلورهای مایع بکاررفته در این پایان نامه، آورده شده است.

در نهایت، نتایج تجربی حاصله در فصل سوم ارائه و به همراه تحلیل، مورد بحث قرار گرفته است.

^۱Photonic liquid crystal fibers

فصل اول

بررسی منابع

فصل اول :

آشنایی با مبانی بلورهای مایع

۱-۱) تاریخچه

بلور مایع برای نخستین بار در سال ۱۸۸۸ میلادی، بوسیله یک گیاه شناس اتریشی بنام «فردریک راینیتزر»^۱، مشاهده و کشف گردید. او که در حال مطالعه وزن مولکولی مربوط به مولکولهای کلسترویل بود، مشاهده کرد که برخی از ترکیبات این مواد، دارای دو نقطه ذوب متفاوت می باشند. او دریافت که یکی از این ترکیبات، نخست در دمای معینی از حالت جامد بلوری، ذوب شده و یک مایع کدر بوجود می آید که با ازدیاد دما و در دمای بالاتری، حالت کدری مایع از بین رفته و ناگهان به رنگ آبی مایل به بنفش شفاف تبدیل می گردد. در اثر سرد کردن نیز حالت کدر دوباره پدیدار گشته و سپس بلورهای سفید، متبلور می گردید.

راینیتزر برای پی بردن به این اثر عجیب، نمونه را برای همکارش «اوتو لهن»^۲ فرستاد. لهن نیز ضمن مطالعه آن پدیده و پدیده های وابسته به آن، دریافت که مایع کدر دارای نوعی نظم خاص بوده در حالیکه مایع شفاف در دمای بالاتر، همانند مایعات از بی نظمی کامل برخوردار است. به همین دلیل او اعلام کرد که مایع کدر، حالت جدیدی از ماده بوده و برای نخستین بار آنرا «بلور مایع»^۳ نامید. تا سال ۱۸۹۰ میلادی، تمامی بلورهای مایع یافته شده، بطور طبیعی وجود داشتند. اما در آن سال، نخستین

^۱ Fredrich Reinitzer^۲ Otto Lehmann^۳ Liquid Crystal

بلور مایع سنتزی (پارا - آزوکسی آنیزول)، توسط «گاترمن»^۱ و «رتیزکه»^۲ تولید شد و بعد از آن بلورهای مایع جدیدی سنتز گردید.

در طی سالهای بعد از جنگ جهانی دوم، نظریه میکروسکوپی بسیار مهمی برای بلورهای مایع بوسیله «مایر و ساپ»^۳ ارائه شد و بعد از آن نظریه های جدیدی برای سیستم های دینامیکی و استاتیکی بلور مایع، بوسیله «فرانک»^۴ و «لسلی و اریکسون»^۵، ابداع شد. در سال ۱۹۶۸ میلادی، نخستین صفحه نمایش بلور مایع، بوسیله محققان ساخته شد و در سالهای اخیر بسیاری از بررسی ها جهت رسیدن به صفحات نمایش بلور مایع با قابلیت های بالا، در حال انجام است.

۱-۲) معرفی بلورهای مایع

بلور مایع حالتی از ماده است که مانند مایع، روان ولی همچون جسم متبلور از نظم برخوردار است. همانگونه که می دانیم در مواد جامد، بخصوص حالت بلوری، مولکولها دارای «نظم مکانی» و «نظم جهتی» هستند. یعنی هر مولکول در محل خاصی قرار می گیرد و با مولکولهای دیگر، جهت گیری خاصی دارد. ولی مولکولهای مایعات، نه نظم مکانی دارند و نه نظم جهتی، اما حالت حد واسط نیز وجود دارد که این حالت واسطه، همان بلورهای مایع می باشد. در بلورهای مایع، مولکولها با وجود آنکه نظم مکانی ندارند، ولی دارای نظم جهتی خاصی، می باشند و بارزترین وجه تمایز بلورهای مایع از جامدات و مایعات، از سیستم نظم مکانی و جهتی وجود می آید.

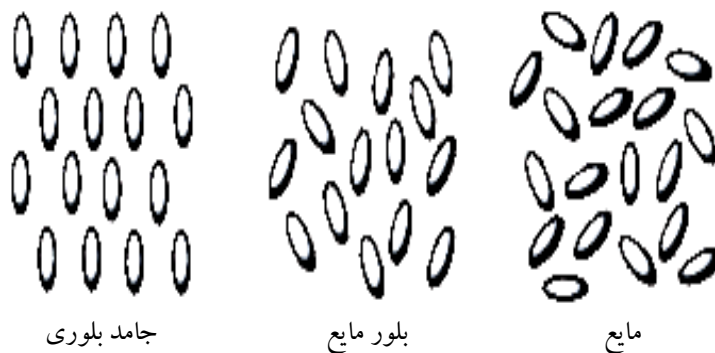
^۱ Gatterman

^۲ Ritschke

^۳ Maier and Saupe

^۴ Frank

^۵ Leslie and Erickson



شکل (۱-۱): مقایسه آرایش و نظم مولکولی در جامد بلوری، بلور مایع و مایع همسانگرد

بلورهای مایع دارای خواص حد واسط جامدات و مایعات می باشند. برخی از مواد بر اثر گرما، مستقیماً ذوب نمی شوند، بلکه نخست از حالت جامد بلورین به حالت بلور مایع، در آمده و با ازدیاد دما، مایع حقیقی بدست می آید.

بلورهای مایع، (مزوفازها)^۱، یک گروه بزرگ از ترکیباتی هستند که از لحاظ مکانیکی، رفتاری شبیه مایعات معمولی دارند. آنها می توانند به آزادی جریان یابند و به شکل ظرف خود در آیند ولی از نظر فیزیکی، رفتاری مانند بلورها را از خود نشان می دهند.

۱-۳) طبقه بندی بلورهای مایع

بطور کلی بلورهای مایع به سه دسته عمده ترموتروپیک^۲، لیوتروپیک^۳ و بلورهای مایع پلیمری، طبقه بندی می شوند. بلورهای مایع ترموتروپیک با تغییرات دما، شکل می گیرند. بعبارت دیگر، تغییر درجه حرارت باعث رسیدن به این حالت می گردد و دما مهمترین پارامتر گذر به این فاز است. بلورهای مایع ترموتروپیک، معمولاً از مولکولهای آلی (کربن دار) تشکیل می شوند. این مولکولها یا خطی هستند که قسمت مرکزی آنها، سخت بوده و دنباله های انعطاف پذیر در یک سر و یا دو سرشان دارند یا

^۱ Mesophases

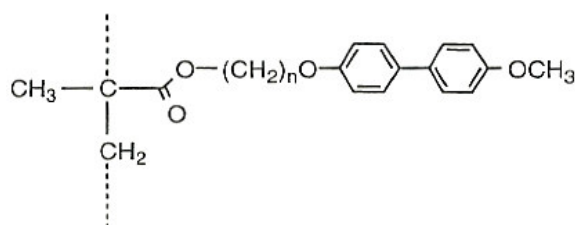
^۲ Thermotropic

^۳ Lyotropic

دایره ای هستند و قسمت مرکزی شان، قرصی و سخت است و ۴ تا ۸ دنباله انعطاف پذیر، بطور شعاعی از آن خارج می شوند.

بلورهای مایع لیوتروپیک، ترکیباتی هستند که در اثر حل شدن در یک حلال همسانگرد در غلظت خاصی، ظاهر می شوند. اغلب بلورهای مایع لیوتروپیک، بصورت مخلوط اند. این نوع بلورهای مایع، نقش مهمی را در سیستمهای بیولوژیکی، ایفا می کنند و در ساخت صابونها و شوینده ها نیز بکار می روند ولی تاکنون هیچ کاربرد تکنیکی در مورد آنها، گزارش نشده است.

اگر مولکولهای بلور مایع، وارد زنجیره پلیمری شوند، بلورهای مایع پلیمری، شکل خواهد گرفت. در این نوع از بلورهای مایع، واحدهای پلیمری سخت، یک زنجیره را تشکیل می دهند. مثلاً مولکولهای بلور مایع کالامیتیک^۱ (میله ای)، بوسیله زنجیره انعطاف پذیر هیدروکربن از هم جدا می شوند. بعضاً مولکولهای بلور مایع از یک جهت خاصی به دنبال هم در زنجیره پلیمری قرار می گیرند و یا اینکه این مولکولها در کنار هم از یک طرف با زنجیره پلیمری اتصال برقرار می کنند.



شکل (۱-۲): نمونه ای از بلور مایع پلیمری

آنچه در مورد همه بلورهای مایع مشترک است ناهمسانگردی آنهاست. بطوریکه در خصوص بلورهای مایع ترموتروپیک، شکل مولکولها، بگونه ای است که خواص فیزیکی در امتداد یک محور مولکولی بسیار متفاوت از دو محور دیگر مولکول می باشد. یا در خصوص بلورهای مایع لیوتروپیک، بخشهای مختلف مولکول، خواص حلالیت بسیار متفاوتی نسبت بهم دارند. این نوع ناهمسانگردیها

^۱ Calamitic

بواسطه نیروهای بین مولکولی و اندرکنش بین مولکولها، سبب ایجاد نوعی نظم جهتی یا حتی مکانی در انواع بلورهای مایع می شود و این کاملاً با آنچه در مورد مایعات معمولی می شناسیم، متفاوت است.

۱-۴) بلورهای مایع ترموتروپیک

بلورهای مایع ترموتروپیک، دسته مهمی از بلورهای مایع اند که در یک بازه دمایی خاصی از خود رفتار بلور مایع، نشان می دهند. دمایی که در آن دما، بلور مایع به مایع همسانگرد تبدیل می شود، دمای گذار نامیده می شود. خود بلورهای مایع ترموتروپیک از لحاظ شکل مولکولی به دو دسته عمده کالامیتیک یا میله ای و دیسکوتیک^۱ یا صفحه ای شکل، طبقه بندی می شوند.

۱-۴-۱) بلورهای مایع کالامیتیک

در مولکول های بلور مایع دسته کالامیتیک، یکی از محورهای مولکول از دو محور دیگر آن خیلی بلندتر است. این دسته از بلورهای مایع از سه قسمت عمده، هسته مرکزی سخت، یک سر قطبی و دم انعطاف پذیر تشکیل یافته اند. هسته مرکزی سخت از دو یا چند حلقه آروماتیکی، بصورت فنیل یا بای فنیل^۲، تشکیل می یابد که بصورت مستقیم یا توسط گروههای اتصال دهنده سخت یا پیوندهای دوگانه یا سه گانه به هم متصل می شوند. سر قطبی این مولکول ها، باعث افزایش نیروهای بین مولکولی و در نتیجه، باعث افزایش تمایل مولکول به قرار داشتن در حالت جامد در دمای اتاق می شود. زنجیره های هیدروکربنی، دم انعطاف پذیر این مولکولها را تشکیل می دهند. حرکت فضایی این زنجیره، باعث ایجاد یک فضای خالی در اطراف مولکول می شود. این اثر، باعث ایجاد فاصله بین مولکولها شده و در نتیجه

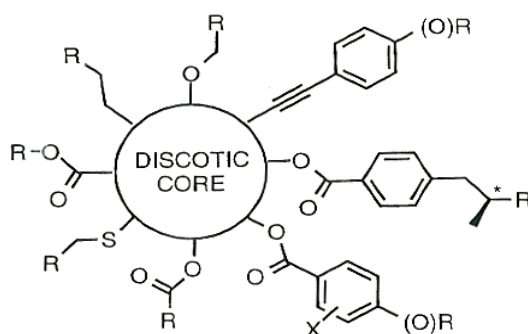
^۱ Discotic

^۲ Biphenyl

کاهش اثر نیروهای بین مولکولی را سبب خواهد شد. در مولکول های بلور مایع، این دنباله نمی تواند خیلی کوتاه باشد، با این حال طویل تر بودن آن، منجر به افزایش نیروهای بین مولکولی، بخاطر بالا بردن قطبش پذیری کل مولکول می شود. زیرا هر چقدر الکترونها بتوانند در اثر میدان های الکتریکی القایی، راحت تر و در طول بیشتری از مولکول جابجا شوند، قطبش پذیری آنها بالاتر خواهند برد.

۱-۴-۲) بلورهای مایع دیسکوتیک

بر خلاف بلورهای مایع کالامیتیک، در این دسته از بلورهای مایع، یکی از محورهای مولکول از دو محور دیگر آن کوتاهتر است. برای این دسته از مولکول ها، سختی قسمت هسته مولکول، ضروری می باشد. هسته یک مولکول دیسکوتیک، معمولاً از بنزن^۱، تری فنیلین^۲ یا تروکسن^۳ با شش یا هشت زنجیره کناری، ساخته می شود که هر زنجیره کناری، شبیه یک مولکول بلور مایع کالامیتیک، می باشد.



شکل (۱-۳): الگوی ساختار کلی بلورهای مایع دیسکوتیک

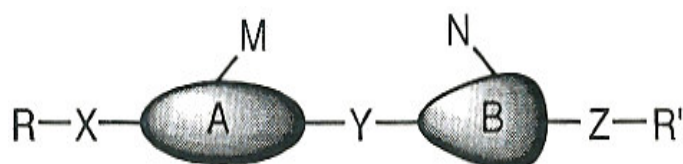
^۱ Benzen

^۲ Triphenylen

^۳ Truxine

۵-۱) ساختمان بلورهای مایع

شکل ساختمانی اکثر مولکولهای بلورهای مایع ترموتروپیکی، میله ای است. در این حالت، یک محور مولکولی، بسیار طویل تر از دو محور دیگر آن است. اگر چه ساختمان مولکولی بلورهای مایع، متنوع است، با این حال می توان مشابهت هایی را در بخش هایی از انواع این ساختارها، مشاهده کرد. در هر حال ساختمان مولکولی این مواد، نقش بسیار مهمی در تعیین نوع فاز، دمای گذار و سایر خواص فیزیکی بلورهای مایع دارد. شکل (۴-۱)، الگوی ساختار عمومی مولکول های بلورهای مایع میله ای را نشان می دهد که شامل فاز نماتیک و یا فازهای سمکتیک باشد.



شکل (۴-۱): الگوی ساختار عمومی بلورهای مایع میله ای [۵].

در این شکل، A و B هسته مولکول، Y گروه اتصالی^۱، M و N استخلاف های جانبی^۲ و R و R' نشانگر زنجیره های انتهایی^۳ که به وسیله گروههای X و Z به هسته متصل شده اند، می باشد.

بیشتر ترکیبات بلورهای مایع، دارای یک یا چند حلقه آروماتیک A یا B بوده که هسته مولکول را تشکیل می دهند. این حلقه های آروماتیک، می تواند یک سیکلو هگزان کاملاً اشباع شده، سیکلو سیکلو هگزان، یک فنیل غیر اشباع شده، بای فنیل، تری فنیل و یا ترکیبی از این دو تا باشد. صلب بودن هسته، شرط لازم برای ایجاد ناهمسانگردی در ساختمان مولکولی بلور مایع بوده که نیاز اساسی تشکیل فاز بلور مایع، می باشد. صلب بودن هسته از طریق اتصال حلقه های آروماتیکی به طور مستقیم و یا توسط

^۱ Linking group

^۲ Lateral substituent

^۳ Terminal chains

گروههای اتصالی، حاصل می شود. معمولاً ترکیباتی که دارای حلقه های طولانی هستند، دارای نقطه ذوب بالایی می باشند [۵].

زنجیره های انتهایی R و R' معمولاً گروههای کوچک و یا اغلب زنجیره های کوتاه هستند. زنجیره های انتهایی، می تواند زنجیره های هیدروکربنی مانند C_nH_{m+1} ، گروههای آلكوكسى نظیر $C_nH_{m+1}O$ و گروههای قطبی نظیر سیانو ($-CN$)، ایزوسیانو ($-NCS$) و یا هالیدهایی مانند CF_3 ، Cl و F باشند. گروههای انتهایی سهم مهمی در خواص فیزیکی بلورهای مایع دارند. این گروهها، نقش مهمی در مقدار ناهمسانگردی دی الکتریک بلورهای مایع، ایفا کرده و خواصی نظیر دو شکستی محیط را متاثر می سازند. جایگزینی یک گروه قطبی بجای گروه آلكیلی، می تواند باعث افزایش ناهمسانگردی دی الکتریک شود که این امر به نوبه خود باعث پایین تر بودن ولتاژ آستانه بعضی از ابزارهای کلیدزنی که بر پایه بلورهای مایع طراحی شده اند، می شود [۵].

گروههای اتصالی Y ، نقش مهمی در دمای گذار فاز و همچنین در خواص فیزیکی بلورهای مایع، ایفا می کنند. معروفترین گروههای Y که حلقه های فنیل را بهم پیوند می دهند، می تواند گروههای اشباع شده، استرها و گروههای غیر اشباع شده، شامل یک پیوند دو گانه یا شامل پیوند سه گانه، باشند.

استخلاف های جانبی نیز به منظور تغییر خواص فیزیکی بلور مایع و کنترل آن، متناسب با نوع کاربرد، مورد استفاده قرار می گیرند. این استخلاف ها، معمولاً جانبی بوده و خارج از محور مولکول، بصورت اتصال به هسته یا گروههای اتصالی یا انتهایی، قرار می گیرند. از جمله گروههای استخلافی، می توان به سیانو $-CN$ ، فلئور $-F$ یا کلر $-Cl$ ، اشاره کرد. هر یک از این گروهها، می توانند خواص الکتروپتیکی بلور مایع را شدیداً تحت تاثیر قرار دهند [۵].