

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه الزهرا (س)

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک - گرایش ماده چگال

عنوان:

بررسی تغییرات ضریب دی الکتریک در بلور مایع های خالص و آمیخته شده
با نانو ذرات مغناطیسی

اساتید راهنما:

دکتر سعیده شعاری نژاد

دکتر محمدصادق ذاکر حمیدی

دانشجو:

سکینه محمدپور

اسفند ماه سال ۱۳۹۱

کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق به

دانشگاه الزهراء (س) است.

سپاس خداوندی را که لطف بیکرانیش در تک تک روزهای زندگی‌م، امید راهم بوده است و در سایه الطافش به این مهم دست یافتم.

تقدیم به وجود پر مهر پدر و مادر و خانواده عزیزم که پشتوانه زندگی من هستند و موفقیت خود را مرهون زحمات و گذشت های بی دریغشان می‌باشم.

با سپاس فراوان از اساتید بزرگواریم دکتر محمدصادق ذاکرحمیدی و دکتر سعیده شعاری نژاد که وجودشان در تمامی مراحل این پژوهش مایه آرامش من بوده و در همه شرایط مرا از راهنمایی‌های بی دریغشان بهره‌مند ساخته‌اند.

چکیده

هدف از این کار تجربی، ارائه و بررسی نتایج حاصل از اندازه گیری مؤلفه های موازی و عمودی ثابت دی الکتریک در بلور های مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات مغناطیسی با درصدهای متفاوت، بدون میدان مغناطیسی و با اعمال میدان است. به این منظور مؤلفه های موازی و عمودی ثابت دی الکتریک را برای یک بلور مایع خاص (E7)، در حالت خالص و آمیخته با نانو ذرات مغناطیسی، اندازه گیری می کنیم. برای این کار مؤلفه های موازی و عمودی هر یک از نمونه ها برای سلول هایی با جهت دهی به ترتیب عمودی و موازی در بازه ی دمایی فاز همسانگرد- نماتیک و با استفاده از روش LCR متری اندازه گیری شدند.

برای جهت دهی موازی سلول ها، محلول PVA و برای جهت دهی عمودی، محلول لیسیتین به کار برده شد. تغییرات دمایی ثابت دی الکتریک اندازه گیری شده بدون اعمال میدان مغناطیسی و نیز تحت اعمال میدان در دمای ثابت اتاق با اعمال فرکانس ۱۰۰ کیلو هرتز بدست آمد.

نتایج تجربی بدست آمده مربوط به مقادیر ثابت دی الکتریک در حالت خالص و آمیخته به نانو ذرات نشان می دهند که اضافه کردن نانو ذرات به بلور مایع باعث افزایش ثابت دی الکتریک می گردد. تغییرات ثابت دی الکتریک در هر یک از درصدهای نانو ذرات اضافه شده، رفتار متفاوتی را نشان می دهند. تغییرات ثابت دی الکتریک در حضور میدان مغناطیسی نیز رفتار متفاوتی در هر یک از نمونه ها دارد. این امر بستگی به پارامتر های مختلف از جمله: خاصیت ناهمسانگردی مثبت بلور مایع، خاصیت مغناطیسی نانو ذرات، میدان مغناطیسی، جهت دهی اولیه و نظم مولکول های بلور مایع و نانو ذرات در هر یک از نمونه ها دارد.

در حالت کلی افزایش نانو ذرات هم در حضور میدان و هم بدون اعمال میدان مغناطیسی، باعث افزایش ثابت دی الکتریک نسبت به حالت خالص می گردد. روند افزایش ثابت دی الکتریک نمونه‌ها بدون میدان مغناطیسی و با اعمال میدان ، با توجه به تأثیر پارامترهای ذکر شده در بالا برای درصدهای مختلف نانو ذرات در بلور مایع متفاوت بودند که در این کار پژوهشی، روند تغییرات آنها را به طور دقیق مورد بررسی قرار خواهیم داد.

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه و بررسی منابع

۲.....	مقدمه.....
۳.....	۱ - ۱) بلور مایع.....
۴.....	۲-۱) طبقه بندی بلور مایع.....
۵.....	۳-۱) بلور مایع ترموتروپیک.....
۵.....	۱-۳-۱) نماتیک.....
۶.....	۲-۳-۱) سمکتیک.....
۸.....	۳-۳-۱) کلستریک.....
۹.....	۴-۱) بلور مایع لیو تروپیک.....
۱۰.....	۵-۱) بلور مایع پلیمری.....
۱۱.....	۶-۱) خواص بلور مایع.....
۱۲.....	۷-۱) گذار فاز در بلور مایع.....
۱۲.....	۱-۷-۱) گذار فازی نوع اول.....
۱۲.....	۲-۷-۱) گذار مرتبه دوم.....
۱۳.....	۸-۱) جهت دهی بلور مایع.....
۱۳.....	۱-۸-۱) جهت دهی بلور مایع نماتیک.....
۱۵.....	۹-۱) پارامتر نظم در بلور های مایع.....
۱۵.....	۱-۹-۱) پارامتر نظم میکروسکوپی.....
۱۷.....	۲-۹-۱) پارامتر نظم ماکروسکوپی.....

- ۱۸-۱) نا همسانگردی نوری (دو شکستی)..... ۱۸
- ۱۱-۱) نا همسانگردی دی الکتریک ۲۱
- ۱-۱۱-۱) نظریه مولکولی نا همسانگردی..... ۲۳
- ۱۲-۱) قطبش الکتریکی ۲۵
- ۱-۱۳) مکانیزم های قطبش..... ۲۶
- ۱-۱۳-۱) قطبش الکترونی ۲۶
- ۱-۱۳-۲) قطبش اتمی یا یونی..... ۲۶
- ۱-۱۳-۳) قطبش سمتی..... ۲۷
- ۱-۱۳-۴) قطبش بار فضایی یا سطوح مشترک ۲۷
- ۱-۱۴) نانو ذرات..... ۲۷
- ۱-۱۴-۱) خواص نانو ذرات..... ۲۸
- ۱-۱۴-۲) تعیین مشخصات..... ۲۸
- ۱-۱۴-۳) روش های ساخت..... ۲۹
- ۱-۱۴-۵) کاربردهایی از نانو ذرات..... ۳۰

فصل دوم : مواد و روش ها

- ۱-۲) معرفی مواد..... ۳۲
- ۲-۲) اندازه گیری ثابت دی الکتریک..... ۳۵
- ۳-۲) دستگاه LCR متر..... ۳۷
- ۴-۲) ساخت سلول ها ۳۸
- ۵-۲) جهت گیری مولکول ای بلور مایع درون سل ۳۹

- ۳۹..... (۱-۵-۲) جهت گیری موازی یا هموزن (همگن).....
- ۴۰..... (۱-۱-۵-۲) ایجاد شیارهای دائمی
- ۴۱..... (۲-۱-۵-۲) قرار دادن فیلم نازکی از مواد آلی.....
- ۴۳..... (۶-۲) تهیه محلول های لازم برای جهت دهی موازی و عمودی.....
- ۴۳..... (۱-۶-۲) محلول پلی وینیل الکل (PVA).....
- ۴۴..... (۲-۶-۲) محلول لیسیتین.....
- ۴۵..... (۷-۲) شناور سازی نانو ذرات و نشانیدن سورفاکتنت بر روی نانو ذرات.....
- ۴۶..... (۸-۲) دستگاه سانتریفیوژ.....
- ۴۷..... (۹-۲) پر کردن سلول ها.....
- ۴۸..... (۱۰-۲) کنترل دمایی.....
- ۴۹..... (۱۱-۲) آلتراسونیک (Ultrasonic).....
- ۴۹..... (۱۲-۲) دستگاه حرارتی اوون (Oven).....
- ۵۰..... (۱۳-۲) ترازوی Sartorius و AND GF-400.....
- ۵۱..... (۱۴-۲) میکروسکوپ پلاریزان.....
- ۵۲..... (۱۵-۲) میدان مغناطیسی.....

فصل سوم : بررسی نتایج

- ۵۷..... (۱-۳) نتایج حاصل از اندازه گیری ثابت دی الکتریک.....
- ۶۸..... (۲-۳) اثر دما در تغییرات ثابت دی الکتریک
- ۶۹..... (۳-۳) تغییرات ثابت دی الکتریک بلور مایع آلانئیده با نانو ذرات در حضور میدان مغناطیسی.....

فهرست اشکال

فصل اول : مقدمه و بررسی منابع

- شکل (۱-۱) نمای کلی از مولکول های جامد، بلور مایع و مایعات ۴
- شکل (۲-۱) نحوه آرایش مولکول های بلور مایع نماتیک ۶
- شکل (۳-۱) نحوه آرایش مولکول ها در فاز سمکتیک A و فاز سمکتیک C ۸
- شکل (۴-۱) نحوه آرایش مولکول ها در فاز کلستریک ۹
- شکل (۵-۱) بلورهای مایع پلیمریک (الف) زنجیره اصلی (ب) زنجیره جانبی ۱۱

فصل دوم : مواد و روش ها

- شکل (۱-۲) جهت گیری مولکول های بلور مایع و نانو ذرات با یکدیگر (a موازی b عمود) ۳۴
- شکل (۲-۲) نحوه جمع کردن نانو ذرات با آهنربا ۳۵
- شکل (۳-۲) تصویر دستگاه LCR متر مدل Instek LCR-819 ۳۷
- شکل (۴-۲) نحوه قرار گرفتن دو سطح سلول بلور مایع ۳۹
- شکل (۵-۲) جهت گیری موازی یا هموزن مولکولهای بلور مایع جهت گیری تحت میدان سطح ۴۰
- شکل (۶-۲) تهیه سلول بلور مایع با شیار های دائمی ۴۱
- شکل (۷-۲) تهیه سلول بلور مایع با جهت گیری موازی ۴۲
- شکل (۸-۲) نحوه تائید جهت گیری در سلول بلور مایع آماده شده ۴۳
- شکل (۹-۲) محلول لیسیتین برای جهت دهی عمودی بر روی سطح سلول ۴۴
- شکل (۱۰-۲) (الف) نانو ذرات شسته شده با آب و شناور در داخل آب (ب) نانو ذرات ته نشین در داخل آب بعد از گذشت زمان (ج) نانو ذرات شناور شده در داخل محلول دی کلرو متان ۴۶

- شکل (۱۱-۲) دستگاه سانتریفیوژ..... ۴۷
- شکل (۱۲-۲) دستگاه LRC متر با دستگاه کنترل دمایی..... ۴۸
- شکل (۱۳-۲) دستگاه آلتراسونیک..... ۴۹
- شکل (۱۴-۲) دستگاه حرارتی اوون (Oven)..... ۵۰
- شکل (۱۵-۲) (الف) ترازوی Sartorius با دقت ۰٫۰۰۱ (ب) ترازوی AND GF-400 با دقت ۰٫۰۰۱..... ۵۰
- شکل (۱۶-۲) میکروسکوپ پلاریزان..... ۵۲
- شکل (۱۷-۲) نحوه‌ی جهت گیری مولکول های بلور مایع و نانو ذرات تحت اعمال میدان مغناطیسی والکتریکی..... ۵۳
- شکل (۱۸-۲) دستگاه میدان مغناطیسی با تسلامتر..... ۵۴
- شکل (۱۹-۲) نحوه قرار گرفتن سلول بین دو آهنربای میدان مغناطیسی..... ۵۴

فصل سوم : بررسی نتایج

- شکل (۱-۳) تغییرات ثابت دی الکتریک مولفه های موازی و عمودی بلور مایع خالص E7 در دماهای متفاوت..... ۵۸
- شکل (۲-۳) تغییرات ثابت دی الکتریک مولفه‌ی موازی در بلور مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات (۱)..... ۶۰
- شکل (۳-۳) تغییرات ثابت دی الکتریک مولفه‌ی موازی در بلور مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات (۵)..... ۶۰
- شکل (۴-۳) تغییرات ثابت دی الکتریک مولفه‌ی موازی در بلور مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات (۱۰)..... ۶۱
- شکل (۵-۳) تغییرات ثابت دی الکتریک مولفه‌ی موازی در بلور مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات با درصد های متفاوت..... ۶۱

- شکل (۳-۶) نحوه‌ی آرایش مولکول‌های بلور مایع و نانو ذرات داخل سلول با جهت گیری عمودی.....۶۳
- شکل (۳-۷) تغییرات ثابت دی الکتریک مولفه‌ی عمودی در بلور مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات (۱/.۷).....۶۴
- شکل (۳-۸) تغییرات ثابت دی الکتریک مولفه‌ی عمودی در بلور مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات (۵/.۸).....۶۵
- شکل (۳-۹) تغییرات ثابت دی الکتریک مولفه‌ی عمودی در بلور مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات (۱۰/.۹).....۶۵
- شکل (۳-۱۰) تغییرات ثابت دی الکتریک مولفه‌ی عمودی در بلور مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات با درصد‌های متفاوت۶۶
- شکل (۳-۱۱) نحوه‌ی آرایش مولکول‌های بلور مایع و نانو ذرات داخل سلول با جهت گیری موازی.....۶۷
- شکل (۳-۱۲) تغییرات ثابت دی الکتریک اندازه گیری شده، مولفه عمودی با اعمال میدان مغناطیسی۶۹
- شکل (۳-۱۳) تغییرات ایجاد شده درون سلول با مولکول‌های بلور مایع و نانو ذرات مغناطیسی بعد از اعمال میدان مغناطیسی.....۷۱

فهرست جدول ها

فصل دوم : مواد و روش ها

جدول (۱-۲) ساختار شیمیایی و دمای گذار از فاز همسانگرد به فاز نماتیک بلور مایع استفاده شده در این پروژه..... ۳۲

جدول (۲-۲) نانو ذرات مغناطیسی Fe_3O_4 ۳۲

جدول (۳-۲) ساختار شیمیایی سورفاکتانت مورد استفاده (DTAB)..... ۳۵

فصل سوم : بررسی نتایج

جدول (۱-۳) مقادیر ثابت دی الکتریک اندازه گیری شده در فاز نماتیک-همسانگرد در بلور مایع خالص در دماهای مختلف..... ۵۸

جدول (۲-۳) مقادیر ثابت دی الکتریک اندازه گیری شده مولفه موازی در فاز نماتیک- همسانگرد در بلور مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات مغناطیسی در دماهای متفاوت..... ۵۹

جدول (۳-۳) مقادیر ثابت دی الکتریک اندازه گیری شده مولفه عمودی در فاز نماتیک- همسانگرد در بلور مایع خالص و آمیخته با نانو ذرات مغناطیسی در دماهای متفاوت و درصدهای متفاوت..... ۶۳

جدول (۴-۳) تغییرات ثابت دی الکتریک اندازه گیری شده مولفه عمودی با اعمال میدان مغناطیسی در دمای اتاق..... ۶۹

فصل اول

مقدمه و بررسی منابع

مقدمه

خصوصیات یک ماده، نقش مهمی در کاربرد های خاص آن در زمینه های الکترونیکی و الکتریکی دارد. مواد با توجه به خصوصیتی که دارند می توانند کاربرد های متفاوتی در زمینه های مختلف داشته باشند و شناخت ساختار و قابلیت های کاربردی مواد در زمینه های علمی، یک امر ضروری است.

بلورهای مایع به دلیل داشتن خصوصیات فیزیکی منحصر به فرد، دارای کاربردهایی متنوعی هستند. شناخت ساختار این مواد، خصوصیات آن ها و ارتباط آن ها با یکدیگر، می تواند زمینه را برای کاربردهای جدیدتری فراهم کند. در بلورهای مایع به علت وجود نظم جهتی با برد بلند که ناشی از ساختار مولکولی معین این مواد است، برخی از کمیات فیزیکی از جمله ضریب شکست، نفوذپذیری مغناطیسی و الکتریکی و... ناهمسانگرد هستند [۱].

دو شکستی و ناهمسانگردی دی الکتریک بالای این مواد باعث شده است که کاربرد این مواد در زمینه های مخابراتی و نمایشگرها اهمیت ویژه ای داشته باشد. تحقیقات زیادی در زمینه های مختلف به منظور ایجاد یا ساختار های مولکولی ترکیبات مختلف جهت دستیابی به مشخصه های فیزیکی مورد نیاز از بلورهای مایع صورت می گیرد [۲،۳].

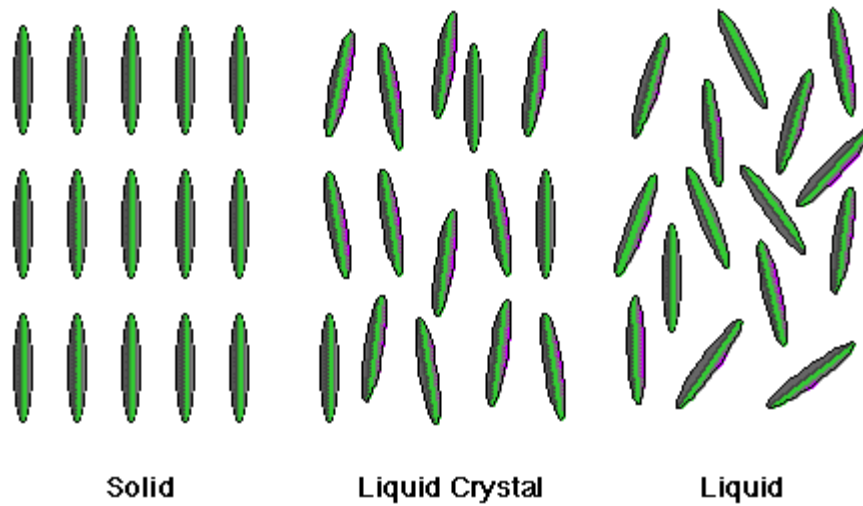
بلور های مایع دارای دو فاز مجزا هستند: فاز منظم و فاز نامنظم. برای توصیف خصوصیات فیزیکی فاز منظم، نظریه مربوط به جامدات می تواند مورد استفاده قرار گیرد. ولی فاز نامنظم بلور مایع (حالت میانی) دارای بسیاری از خصوصیات مایعات نیز می باشد. در واقع بلور های مایع دارای حد واسطه خواص مایعات و جامدات است [۴].

در فصل اول ضمن ارائه یک تعریف کلی از بلور مایع، برخی خصوصیات و ساختار مولکولی آن‌ها بطور مختصر شرح داده می‌شود. هم چنین در ادامه توضیح مختصری در مورد ناهمسانگردی دی الکتریک در این مواد که موضوع این پروژه نیز است، ارائه می‌گردد. و در فصل‌های ۲ و ۳ بطور مفصل به بررسی تغییرات دمایی ضریب دی الکتریک در بلور مایع خالص و آمیخته به نانو ذرات مغناطیسی پرداخته می‌شود.

۱-۱) بلور مایع

بلور مایع، حالتی از ماده است که مثل مایعات روان ولی مانند بلورها از نظم برخوردار است. مولکول‌های بلور مایع ناهمسانگرد هستند و نظم جهتی از خود نشان می‌دهند. بلورهای مایع سیالات ناهمسانگرد و تا حدی منظم هستند که به لحاظ ترمودینامیکی بین حالت جامد بلوری با نظم ۳ بعدی و مایع همسانگرد قرار می‌گیرند. ناهمسانگردی بلورهای مایع ناشی از نظم جهتی و ناهمسانگرد بودن مولکول‌های تشکیل دهنده هستند.

خواص مکانیکی این مواد مانند مایعات (جاری شدن و شکل ظرف را به خود گرفتن) و خواص فیزیکی آن‌ها مانند بلورهاست. مثلاً می‌توان به اثر ناهمسانگردی بلورهای مایع در خواص فیزیکی مانند ضریب شکست، ثابت دی الکتریک، رسانندگی، قابلیت مغناطیسی و... اشاره کرد.



شکل (۱-۱) نمای کلی از مولکول‌های جامد، بلور مایع و مایعات

۲-۱) طبقه بندی بلورهای مایع

در بلور مایع، گذار بین دو فاز می‌تواند از طریق تغییر یک یا چند پارامتر ترمودینامیکی بدست آید. حالت میانی تحت فشار ثابت و حجم ثابت می‌تواند در اثر تغییر دما، تغییر غلظت و یا هردو پارامتر بدست آید. با چنین توصیفی بلورهای مایع به سه دسته لیوتروپیک^۱، ترموتروپیک^۲ و پلیمری^۳ تقسیم می‌شوند.

در بلورهای مایع ترموتروپیک حالت میانی در اثر تغییر دما و در بلورهای مایع لیوتروپیک حالت میانی در اثر تغییر دما و تغییر غلظت بدست می‌آید. دسته سوم از بلورهای مایع، بلورهای مایع پلیمریک هستند که از دو دسته‌ی فوق مجزا هستند و نظم موجود در حالت میانی این مواد به ساختار پلیمری آن‌ها مربوط می‌شود [۵۱].

¹ - Lyotropic liquid crystal
² - Thermotropic liquid crystal
³ - Polymeric liquid crystal

۳-۱) بلورهای مایع ترموتروپیک

ترموتروپیک ها می توانند فازهای مختلف بلور مایع را با تغییر دما نشان دهند این مواد خواص نوری خطی و غیر خطی مناسبی دارند و خواص فیزیکی این مواد (ضریب شکست، ثابت دی الکتریک ، ثابت های الاستیک ، ویسکوزیته و...) تابعی از دما است.

حالت میانی بلور مایع ترموتروپیک در بازه های دمایی معینی وجود دارد. در طی افزایش دما و در بین گذار دمایی از جامد به مایع یک سری گذار های فازی رخ می دهد، ماده از حالت جامد به حالت بلور مایع و در نهایت به مایع می رسد. لازم به ذکر است که هر یک از این فازها خصوصیات فیزیکی و رفتاری متفاوتی دارند [۶].

مولکول ها در این نوع بلور مایع، اکثراً میله ای شکل هستند و از برهمکنش های مختلف مولکول ها با یکدیگر ساختار های منظم متنوعی ایجاد می شود.

بطور کلی ترموتروپیک ها به سه دسته تقسیم می شوند: نماتیک، سمکتیک، کلستریک

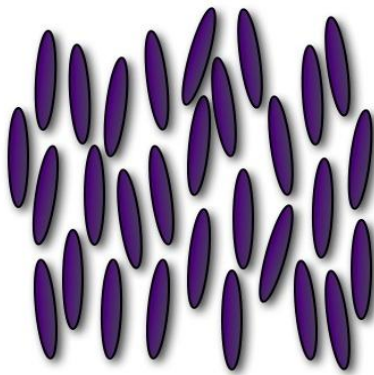
۱-۳-۱) نماتیک^۱

کلمه نماتیک از یک کلمه یونانی به اسم ریسمان گرفته شده که ساختار ریسمان گونه نماتیک ها در زیر میکروسکوپ دلیل این نام گذاری بوده است.

فاز نماتیک نسبت به فازهای دیگر دارای نظم و ویسکوزیته پایین تر و تقارن مولکولی بالاتر است. توزیع مراکز جرم مولکول ها در این فاز، نظم مکانی ندارند ولی دارای نظم جهتی هستند و این نظم جهتی نسبت به یک راستای مولکولی (محور طولی مولکول های میله ای شکل) می باشد.

^۱-Nematic liquid crystal

راستای جهت گیری مولکول‌ها با بردار راهنما^۱ (\hat{n}) مشخص می‌شود. بردار راهنمای \hat{n} ، متوسط زمانی و فضایی محور طولی مولکولی است و برای بلورهای مایع تک محور، تقریباً هم راستا با محور نوری است. نماتیک‌ها تک محور بوده و در راستای n دارای بیشترین ضریب شکست می‌باشند. از آنجا که خصوصیات فیزیکی نماتیک‌ها نسبت به هر دو جهت n و $-n$ معادل است لذا موقعیت این دو غیر قابل تشخیص است [۱، ۷].



Nematic

شکل (۱-۲) نحوه آرایش مولکول‌های بلور مایع نماتیک

۱-۳-۲ سمکتیک^۲

در بعضی از بلورهای مایع، با کاهش دما بعد از فاز نماتیک، فاز سمکتیک حاصل می‌شود. نام سمکتیک از کلمه صابون گرفته شده، و شباهت ساختاری آن به ساختار لایه ای صابون‌هاست. مولکول‌های سمکتیک از دیدگاه ساختاری به نماتیک‌ها شباهت زیادی دارند با این تفاوت که اندکی بلندترند، و این امر به علت بلندتر بودن هسته سخت یا گروه‌های انتهایی مولکول‌هاست. در این فاز علاوه بر نظم جهتی، نظم لایه ای نیز داریم. یعنی توده ماده از لایه‌هایی تشکیل شده است که مراکز جرم آن‌ها در صفحاتی با فاصله‌های برابر آرایش یافته‌اند.

^۱-Director

^۲ - Smectic liquid crystal

در این فاز مولکول‌ها در لایه‌ها مانند مایع دو بعدی آزاد عمل می‌کنند ، ولی جابجایی مولکول‌ها در بین لایه‌ها امکان پذیر نیست. و در هر لایه، مولکول‌ها در راستای بردار \vec{n} (بردار راهنما) منظم شده‌اند. با توجه به جهت گیری n سه نوع سمکتیک داریم : سمکتیک A ، سمکتیک C و سمکتیک C^* [۸،۹،۱۰].

در سمکتیک A بردار n عمود بر لایه‌ها بوده و $\vec{N} \parallel \vec{n}$ (بردار N بردار نرمال لایه‌ها می‌باشد) سمکتیک C مثل نوع A بوده فقط تفاوت در این است که در این فاز بردار \vec{n} با بردار \vec{N} زاویه دار می‌سازد و در سمکتیک C^* از اضافه کردن یک ترکیب کایرال (ترکیباتی که تصویر آینه ای شان با خودشان برابر نیست) به بلور مایع سمکتیک C بدست می‌آید که خصوصیات ماکروسکوپی این فاز با غیر کایرال یکسان نیست. وجود این ترکیبات باعث به وجود آمدن یک ساختار مارپیچی می‌شود یعنی در حرکت از لایه ای به لایه دیگر شاهد تغییر جهت بردار \vec{n} می‌شویم. این فاز به دلیل کایرال بودن و نوع مولکول‌ها می‌تواند خاصیت فرو الکتریکی داشته باشد [۱۱،۱۲].