الفصل الثالث

التطبيقات التكنولوجية لمواد البلورات السائلة

٣ - ١) مقدمة

استعرضنا فى الفصل الثانى قصة اكتشاف البلورات السائلة التى تعود إلى منتصف القرن التاسع عشر، خاصة بعد مشاهدة العالم رينتيزير الخواص البصرية لمادة بنزوات الكوليستريل وهى فى حالتها البلورية السائلة. واستمرت جهود العلماء من أجل تسخير مواد البلورات السائلة فى التطبيقات التكنولوجيا الدقيقة التى تعتمد اساسًا على تصنيع الأجزاء الإلكترونية الدقيقة التى تعتمد أساسًا على تصنيع الأجزاء الإلكترونية بها من أشباه الموصلات وهى فى حالتها الصلبة، وقد استغرق ما يقرب من ثمانين عامًا، حتى بدء عصر بزوغ شاشات العرض المرئية المصنوعة من مواد البلورات السائلة.

ففى عام ١٩٦٠ نجح العلماء وخبراء التكنولوجيا فى الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا فى استعمال مواد البلورات السائلة فى بعض الأبحاث الصناعية القليلة. إلا أنهم كانوا يعتقدون أن هذه المواد ومركباتها العضوية تعتبر دخيلة على التطبيقات التكنولوجية خاصة النجاح فى مجال صناعة الإلكترونيات الدقيقة وخصائصها الكهروبصرية. وفى ذلك الوقت بذلت محاولات عديدة لفهم الخصائص الفريدة التى تتميز بها مواد البلورات السائلة وخاصة فى مجال التطبيقات الكهروبصرية، حيث إن هذه المواد تستخدم فى صياغة مفاتيح التحكم (shutter) لفتح وغلق الدوائر الكهربائية بطريقة بصرية.

وفى عام ١٩٦٨ تمكن العالم هلمير ومعاونوه من الاستفادة من التأثير التشتيتى الديناميكى التى تتميز به مواد البلورات السائلة وصنعوا جهازاً كهروبصرياً من هذه المواد. فمن المعروف لدينا الآن، أن التشتت الضوئى الديناميكى يحدث فى الطبقات الرقيقة للعوازل (التى يكون ثابت العزل بها سالبًا) من البلورات السائلة عبر مرور تيار كهربائى أيونى خلال طبقاتها، وهذه هى القاعدة الأساسية التى تعتمد عليها أجهزة البلورات السائلة. إلا أن التطبيقات التكنولوجية المرتبطة بنجاح ظاهرة التشتت الضوئى خاصة فى مجال عرض الشاشات المرئية كانت غير عملية فى ذلك الوقت، حيث لم يتوافر وجود البلورات السائلة فى طورها النيماتى عند درجة حرارة الغرفة.

وفى عام ١٩٦٩ تمكن العلماء من تصنيع مادة من البلورات السائلة تسمى (٤ ميثوكسيبتر يليدين – ٤ن – بيوتيلانين) 4. methoxy benzylidene -4-n- bu- tylanine التى تتميز بثابت عزل سالب فى الطور اللامتناح (anisotropic) « متباين الخواص فى النواحى أو الاتجاهات المختلفة ». وقد أمكن تطوير خلطات من هذه

المركبات فى تصنيع أجهزة من البلورات السائلة تعتمد فى تشغيلها على ظاهرة التشتت الضوئى عند مدى حرارى واقعى.

وبجانب أجهزة البلورات السائلة ذات التشتيت الديناميكى أمكن اكتشاف ظاهرتين كهروبصريتين جديدتين للبلورات السائلة أمكن توظيفهما فى التطبيقات التكنولوجية وهما:

١- تأثير المضيف النيماتى Anematic guest-host effect.

٢- تأثير التغيير الطورى النيماتى بواسطة الحث المجالى وكلا التأثيرين يعتمدان على المجال الكهربائى المطبق، حيث إن توليد إشارات ضوئية لا يتطلب إمرار تيار كهربائى أومى (Ohmic current) ولكن المجال الكهربائى فقط يعمل على إعادة ترتيب طبقات البلورات السائلة التى تتميز بثابت عزل موجب. وهذا يجعل تحديد تشكل الحالة المغلقة لتصبح حالات فتح مرتبة ومتعددة.

وفى حالة التأثير المضيف الأول، تستخدم جزيئات الصبغة العضوية ثنائية اللون "dichroic dye molecules" «كمضيف» لتوليد الإشارات الضوئية. ويتم ذلك من خلال تحلل هذه الصبغة وتحولها إلى مضيف نيماتى (فى الحالة المغلقة) متوازى التصفيف. وعند تطبيق المجال الكهربائى، فإن تصفيف جزيئات كل من الضيف والمضيف يكون مداريًا متجانسًا "homotropic alignment". وفى هذه الحالة نجد أن الامتصاصية المنتخبة تقل لطبقات الضيف والمضيف معًا.

أما تأثير التغيير الطورى النيماتى الثانى فيعتمد على تغيير التشتيت الضوئى للطبقات الكوليسترية منخفضة السمك (فى الحالة المغلقة) إلى الحالة المفتوحة وحيدة المحور البصرى الشفافة. ويتم ذلك بالتأثير على المادة بجهد فولطى كبير يكفى لإحداث هذا التغيير.

والجدير بالذكر أن هذه الاكتشافات أعطت دفعة كبيرة للاهتمام بمواد البلورات السائلة على نطاق تكنولوجى واسع للاستفادة من مميزاتها الفريدة. هذا بالإضافة إلى المنافسة المتسارعة مع الأجهزة الإلكترونية التى تستخدم المواد فى حالتها الصلبة، مثل الباعث الثنائى Diode، أو الثنائى باعث للضوء Light Emitted Diode (LED).

وفى الحقيقة، هناك نقاط ضعف أساسية لتأثير التشتت الضوئى الديناميكى وأيضًا التغيير الطورى من أهمها أنها تحتاج لقدرة فولطية عالية وأيضًا استظهارها ضعيف عند استعمالها فى شاشات العرض وبطيئًا. وفى حالة المواد ذات التأثير الطورى المتغير فإنها تعانى من ضعف التمايز ونقص التلاؤم المتعدد مما يمنع التوسع فى استعمالها.

وحاليًا يتم بحماس متزايد التعاون بين علماء الفيزياء والكيمياء العضوية وخبراء التكنولوجيا من أجل ابتكار وتصنيع مواد البلورات السائلة، خاصة بعد نجاح العلماء تشارت وهيلفريك وفيرجاسون من تسجيل براءة اختراعاتهم عام ١٩٧١م، على تأثير المجال الكهروبصرى للمواد البلورية السائلة. هذا التأثير يسمى التأثير النيماتى المجدلى "Twisted Nematic" فعندما يمر ضوء غير مستقطب عبر مرشح استقطاب (مستقطب ضوئى) ينقل الضوء خلاله فى مستوى واحد فقط. أما إذا استخدم

مرشحان للاستقطاب الضوئى معًا، فإن انتقال الضوء عبرهما يعتمد على اتجاهاتهما البصرية بالنسبة لبعضهما. على سبيل المثال عندما يترتب المستقطبان، بحيث تكون مستويات الاستقطاب الضوئى عمودية على بعضها فإن الضوء فى هذه الحالة يحبس. وعندما يوضع المرشح الثانى (المحلل) موازيًا على (المستقطب) الأول، نلاحظ أن كل الضوء الذى عبر المستقطب الأول ينتقل ويعبر خلال المحلل الثانى.

٣-٢) التأثير النيماتى المجدلى

قبل تطوير وتصنيع مواد البلورات السائلة وخصائصها الفريدة التى نشاهدها اليوم والتى تستعمل على نطاق واسع فى شاشات العرض المرئية. كان لازمًا إيجاد مواد البلورات السائلة المناسبة ذات التأثيرات الكهروبصرية. وأساسيات التشغيل للتأثير الكهروبصرى يجعل العرض البصرى للشاشات معتمدًا على التأثير العكسى للمتغيرات عند تطبيق الفولطية الخارجية والتمايز بين حالات الفتح والإغلاق يجب أن يكون كبيرًا، وكذلك يجب أن يكون مدى الرؤية كبيرًا أيضًا. وبالطبع يجعل ذلك نجاح تصنيع شاشات العرض فى منافسة نظيرتها الوميضية التى تعتمد على أنابيب الشعاع الكاثودى. ولذلك يجب أن يكون التأثير ذا امتيازات تكنولوجية كإنتاج نوعية راقية من الألوان، واستخدام قدرة كهربية منخفضة ومرونة التصميم واستجابة سريعة وإمكانة استعمالها فى شاشات العرض ذات المعلوماتية العالية مثل شاشات العرض التلفزيونية وأجهزة الكمبيوتر، بحيث تكون امتيازاتها أرجح من العيوب المصاحبة لها. وفى الوقت الحالى، فإن التأثير النيماتى المجدلى هو الأكثر شيوعًا فى استعمال مواد البلورات السائلة، وقد ثبت أنه مناسب وأكثر واقعية للمتطلبات السابقة. ونظرًا لأن هذا التأثير لا يحتاج إلى إمرار تيار كهربائى أيونى فإنه يوفر القدرة الكهربية المستهلكة بمعدل عدة ميكرو واطات لكل سم٢ ($microwatts/cm^2$). والجدير بالذكر، أنه فى العقود الماضية لم تكن تتوافر مواد بلورية سائلة ذات خصائص فيزيائية مناسبة يمكن تشعيلها عند درجة حرارة الغرفة، بالإضافة إلى أنها تحتاج إلى مستقطبين ضوئيين بواسطتهما يكن تقليل إضاءة حالة الإغلاق بمقدار ٥٠٪. كما أن التصفيف السطحى يتطلب أن تكون جزيئات البلورات السائلة عند حدود شاشات العرض. ولذلك، نرى أن مبدأ التأثير النيماتى المجدلى أكثر تعقيدًا بالمقارنة بالبلورات السائلة، وذو تأثير التشتت الضوئى الديناميكى

Dynamic Scattering liquid Crystal displays (DS-LCD's)

وأيضًا، فإن التصفيف الحدودى غير محدد ولا يمكن أن يستمر أمام اختبارات مدى العمر الشاملة. وأخيرًا، هناك شكوك حول استخدام المواد العضوية فى الأجهزة الإلكترونية. إلا أن نجاح التكنولوجيا اليابانية فى تسخير مواد البلورات السائلة فى صناعة الساعات الرقمية والساعات الإلكترونية الأخرى، جعلت العلماء وخبراء التكنولوجيا فى العالم يقبلون التحدى والمخاطر لبدء عهد جديد من تكنولوجيا جديدة تعتمد على تطوير وإنتاج

Twisted Nematic - Liquid Crystal Displays TN-LCD's شاشات عرض من البلورات السائلة النيماتية المجدولة.

والجدير بالذكر ، أنه منذ عام ١٩٨٧ تم إنتاج ٩٠٠ مليون شاشة عرض "TN-LCD'S منتشرة حاليًا فى أرجاء العالم.

واعتماداً على التطبيقات المختلفة لشاشات العرض TN-LCD'S، تعمل البلورات السائلة بمسارات بصرية مختلفة، الفرق بينها يعرف بالعلاقة Δn.d، حيث d تمثل اتساع فجوة الخلية، و $\Delta n = n_e - n_o$ يمثل الفرق بين معامل الانكسار الضوئى الاعتيادى (n_o) وغير الاعتيادى (n_e). وهذا يتطلب مواد بلورية سائلة مختلفة وحجرات الخلية مختلفة. وعلى ذلك يكون أقصى تمايز ينتج من الخلية عندما يتحقق الشرط

$$\frac{\Delta n.d}{\lambda} = 0.5, 1, 1.5, ...$$

حيث λ تمثل الطول الموجى للضوء الساقط.

وتحت شروط أقصى تمايز، لا يستقطب الضوء فى مساره الحلزونى، إذ يكون تفريق الضوء مقداره صغيرا فى صيغة التوجيه الضوئى. ونتيجة لذلك فإن تصميم شاشات TN - LCD'S كما ينبغى أدى إلى زيادة نسبة التمايز والتى تتحدد فقط بواسطة المستقطبات الضوئية. هذا بالإضافة إلى أن الشاشات TN-LCD'S تظهر اللونين الأبيض والأسود بمستويات رمادية عند تطبيق فولطية متحركة متوسطة. وظهور اللونين الأبيض والأسود يسمح بتركيب مختلف الألوان باستخدام مرشحات ضوئية للألوان (التى تخفض المدى الطيفى للضوء المرئى) والتى يمكن تكوينها بخلط الألوان الأساسية: الأصفر والأحمر والأزرق.

٣-٣) خلايا البلورات السائلة النيماتية المجدلية

فيما يلى نوضح بطريقة مبسطة كيفية عمل الخلية النيماتية المجدلية، والتى نعتبر أساس تصنيع شاشات العرض "TN-LCD'S".

هذه الخلية تتكون مما يلى:

١- لوحين (عادة من شريحتين من الزجاج) متلاصقين كل منهما مصقل بمادة موصلة للكهرباء وشفافة مثل مادة أكسيدتن الأنديوم. ويستخدم اللوحان كقطبين كهربيين.

٢- جهاز تحكم فى المسافة الفاصلة بين اللوحين بدقة.

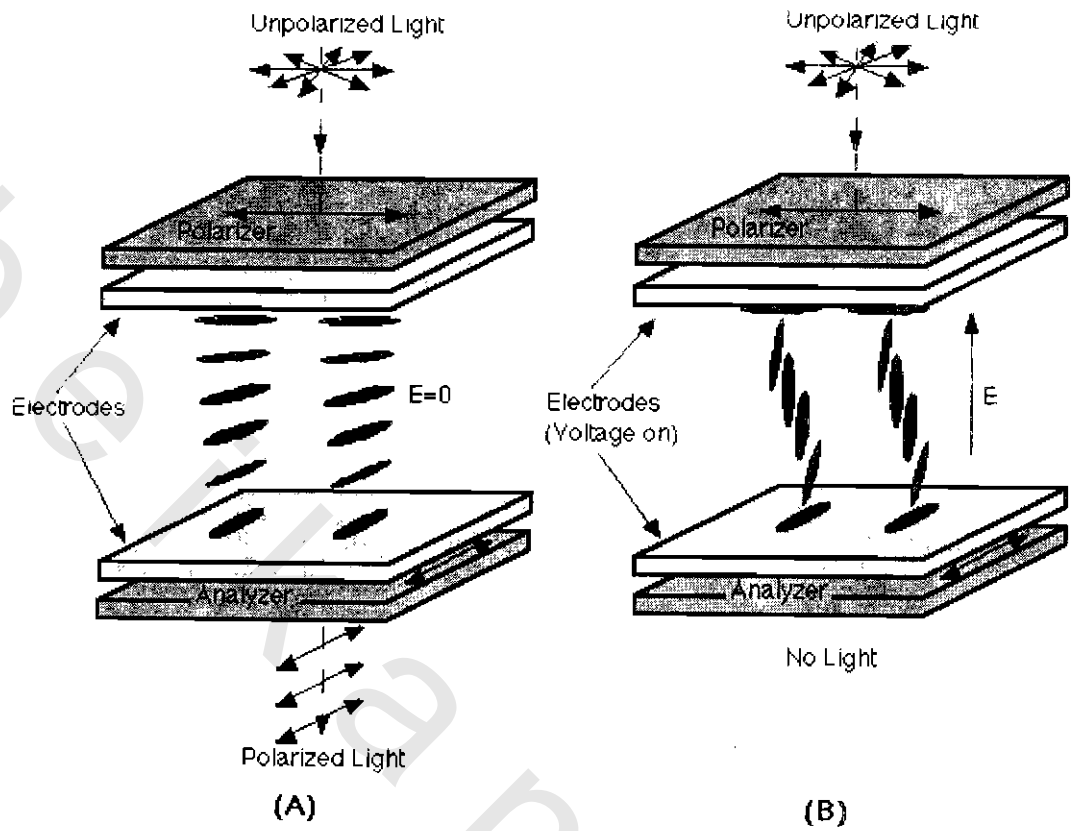
٣- مرشحين للاستقطاب الضوئى (مستقطب ومحلل ضوئيين).

٤- مادة البلورات السائلة فى أطوارها النيماتية.

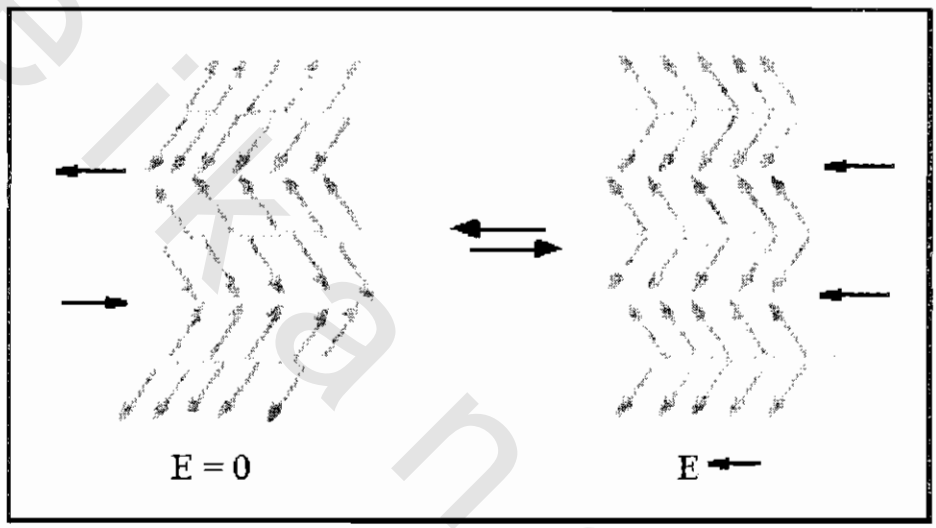
وتكون سطوح القطبين الكهربائيين الشفافين المتصلة مع البلورات السائلة مصقلة بطبقة رقيقة من «البُلمر» التى تحك وتفرش فى اتجاه واحد. فى هذه الحالة تميل جزيئات البلورات السائلة النيماتية إلى التوجه على طول المحور الموازى للموجه. والألواح الزجاجية تجهز، بحيث تكون الجزيئات الملاصقة للقطب الكهربى العلوى متجهة بزاوية عمودية على اتجاه الجزيئات الملاصقة للقطب الكهربى السفلى. وكل مستقطب يتجه بمحوره الموازى على اتجاه حك القطب الملاصق، بحيث يكون المحلل والمستقطب الضوئيين متقاطعين. انظر شكل (٣٦).

وفى غياب المجال الكهربى، نرى أن الموجه النيماتى يتعرض لحالة لف سلس بزاوية ٩٠°

شكل ٣٦: مرشحات استقطابية فى وسط انتهائى.



شكل ٣٧ : شكل هندسى للخلية النيماتية المجدلية
يبين كيفية عملها استقطابها الضوئى.



شكل ٣٨ : تأثير المجال الكهربائى على توجيه
الجزيئات فى البلورات السائلة .

obeikandl.com

خلال الخلية (من هنا جاء اسم البلورات السائلة النيماتية المجدلية) والضوء غير المستقطب إلى المستقطب الضوئى الأول ويخرج منه مستقطباً فى المستوى نفسه الذى تتجه فيه جزئيات البلورات السائلة.

وهذا الترتيب المجدلى لجزيئات البلورات السائلة خلال الخلية يعمل كمرشد وموجه موجى وبصرى «Wave guide» ويدور مستوى الاستقطاب بواسطة الدوران ربع دورة (٩٠°) لدرجة أن الضوء الذى يصل إلى المستقطب الثانى يمكن العبور خلاله. فى هذه الحالة تكون خلية البلورات السائلة شفافة.

وعندما نطبق مجالاً كهربائيًا على القطبين فإن جزيئات البلورات السائلة تميل إلى الترصيص مع محصلة المجال الكهربائى (E). (انظر شكلى ٣٧، ٣٨) وتفقد الخلية بالتالى خاصية الإرشاد الموجى البصرى. وبذلك تصبح الخلية مظلمة. كما لو أنها لاتحتوى بلورات سائلة. ولكن عندما يتوقف تطبيق المجال الكهربائى فإن الجزيئات تسترخى عائدة إلى وضعها المجدلى، وتصبح الخلية شفافة ثانية.

وعلى الرغم من أن هذه الطريقة بسيطة، إلا أن تطبيقاتها كثيرة فتستخدم فى الساعات الرقمية والحاسبات. فى هذه الحالات توضع مرآة أسفل المستقطب الضوئى الأسفل. ودون فولطية مطبقة، يعبر الضوء المحيط خلال الخلية وينعكس ثانية بواسطة المرآة ويعبر فى اتجاه عكسى، ويعيد خروجه من قمة الخلية. وبذلك يظهر الضوء بلونه الفضى، وعندما يطبق المجال الكهربائى، فإن تصفيف جزيئات البلورات السائلة لايؤثر فى الاستقطاب الضوئى. فالمحلل الضوئى يمنع الضوء الساقط من الوصول إلى المرآة ولاينعكس الضوء منها ويجعل بذلك الخلية مظلمة. وعندما تشكل الأقطاب من عدة أجزاء تأخذ شكل الحروف الكتابية والأرقام، فيتم بواسطة التحكم فى فتح وغلق المجال الكهربائى من استعراض الأرقام والحروف.

والجدير بالذكر، أن مواد البلورات السائلة النيماتية المجدلية تستعمل حاليا فى صناعة الترنزستورات من أغشية رقيقة والتى تستعمل فى الشاشات التليفزيونية والكمبيوترية التى تحتاج إلى رسوم جرافيتية ومعلوماتية عالية تحتوى على أكثر من مليون عنصر للتصوير، والتى توضع فى الطائرات.

٣ - ٤) قواعد المخاطبة فى شاشات البلورات السائلة:

أ - التعدد الزمنى

فى الوقت الحالى، تتوفر شاشات البلورات السائلة بمصفوفة نقطية تشمل ١٠٠٠٠٠ (مائة ألف) من مواد NT - LCD´s تعمل كعناصر تصوير، وتخاطب كل عنصر من هذه العناصر فى هذا الوسط المعقد من العرض خلال الاتصالات المنفردة. مما قد يجعل هذه التكنولوجيا مستحيلة. ولذلك، فالتعدد الزمنى لازمًا لتطوير تقنية التخاطب الذى يجعل من استعمال المميزات الكهروضوئية لشاشات عرض من البلورات السائلة ممكنًا. ويتم ذلك بتخفيض درامى لعدد الوصلات فى المصفوفة التى تتكون من عدد N X M إلى N + M ، (حيث M تمثل عدد الأعمدة و N تمثل عدد الصفوف) فهذا التعدد الزمنى يتطلب تشغيلاً بعديًا محدداً بدقة، وكذلك الاستعانة بخاصية الإرسال الفولطية فى التأثير الكهروضوئى.

وطبقًا لعلاقة «آلت وبليشكو» فإن أقصى عدد N للخطوط التعددية يعرف بالعلاقة:

$$N = \frac{[(1 + P)^2 + 1]^2}{[(1 + p)^2 - 1]} \quad , \quad P = \frac{(V_{50} - V_{10})}{V_{10}}$$

حيث P تمثل معامل الميل وهو معرف عند تمايز 1 : 5.

V_{50} يمثل القولطية المناظرة إلى 50% إرسال فى شاشات البلورات السائلة LCD.

V_{10} يمثل القولطية المناظرة إلى 10% إرسال فى شاشات البلورات السائلة LCD.

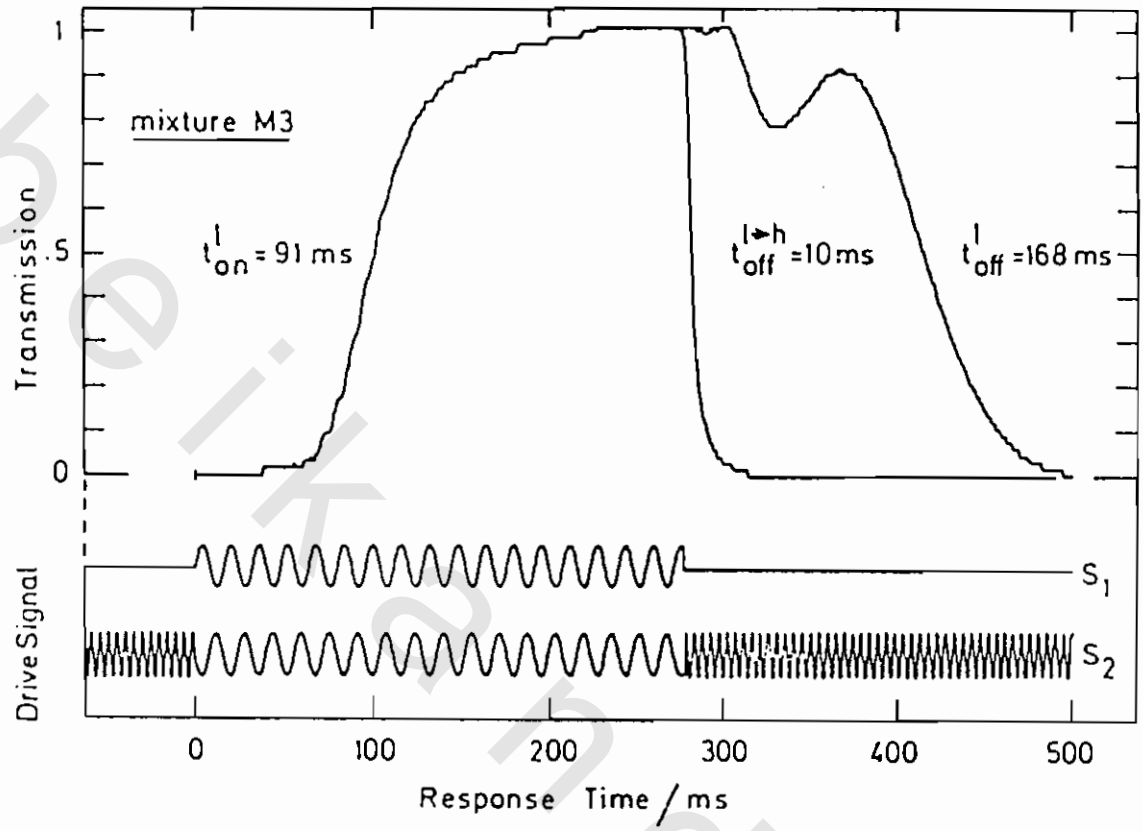
ومن الملاحظ أن التمايز يقل تحت النسبة 1 :5 إذا ازدادت قيمة N تحت قيمة صغرى للميل P_{min}. وقيمة P_{min} يمكن تعيينها بواسطة دراسة درجة الانغماس فى التأثير الكهروضوئى المستعمل فى شاشات البلورات السائلة، وأيضا بواسطة المتغيرات الأخرى المؤثرة على هذه المواد. بالإضافة إلى أن بزيادة العدد N، فإن الاستجابة الزمنية للخاصية الكهروبصرية فى هذه الشاشات تزداد، وبالتالى فإن مدى الرؤية ينقص، وبذلك تقل درجة التمايز.

ب – أزمنة الاستجابة

لتحسين زمن الإغلاق لشاشات البلورات السائلة خاصة فى تطبيقات المصراع البصرية التى تتطلب ألا يتعدى زمن الاستجابة ١ ميللى ثانية. يستخدم فى ذلك نظام محاكاة التردد الثنائى. هذا النظام يعتمد على عكس إشارة ثابت العزل فى الوسط المتناح للبلورات السائلة ذات ثابت عزل E موجب عند الترددات العالية. ويرجع ذلك إلى دوران مئات من محاور الجزيئات الطويلة.

وعند درجة حرارة الغرفة، يكون تفريق ثابت العزل النيماتى العادى بقيمة أعلى من 100 KHz (مائة كيلو هرتز)، ويتطلب ذلك تصميم خلطات من المواد البلورية السائلة لخفض قيمة ثابت العزل ليكون التردد [$\epsilon_{\perp}$ f_c)] = $\epsilon_{\parallel}$ f_c [. [عندئذٍ، يكون التغيير فى ثابت العزل $\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} = \Delta\epsilon$ مساوى صفرا] خلال مدى ترددى 10 KHz (عشرة كيلو هرتز).

ويلاحظ أن تسخين العوازل، لا يحدث عند الترددات المنخفضة. أى زيادة فى سعة الحمل. ويبين الشكل [٣٩] كيفية تقصير زمن الإغلاق للتواصل الترددى الثنائى للمواد TN - LCD. ومازال حتى الآن تعتبر وجهة النظر هذه، ما هى إلا طريق وحيد بالإضافة إلى استعمال مفتاح Π السريع فى الخلية الذى يؤدى إلى زمن استجابة قدره واحد ميللى ثانية من درجة حرارة الغرفة، باستخدام شاشات البلورات السائلة عند قيمة قولطية منخفضة ومتواضعة.



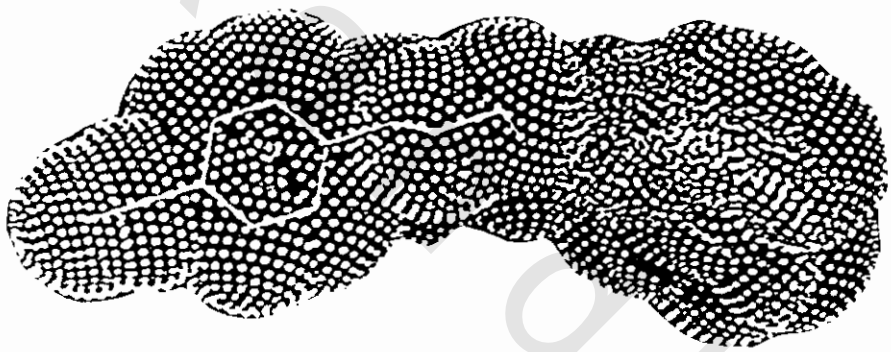
شكل (٣٩) : يبين العلاقة بين زمن الاستجابة الترددى للمواد النيماتية المجدلية.

والجدير بالذكر، أنه حاليًا أمكن بلوغ زمن استجابة قدره واحد ميكرو ثانية باستعمال مواد البلورات السائلة الفيروكهربية مستقرة الأسطح التى اكتشفها العالم ماير ومعاونوه عام ١٩٧٥م، وطورها فى الوقت الحالى العالمان الأمريكى نويل كلارك والسويدى لاجيرڤال.

وعلى ذلك، وعلى الرغم من وجود بعض المشاكل التكنولوجية، إلا أن البلورات السائلة الفيروكهربية جعلت زمن الاستجابة أسرع بعدة عشرات من القيمة المناظرة للبلورات السائلة النيماتية. بالإضافة إلى أن هذه البلورات السائلة الفيروكهربية من الاتحاد الحرارى القوى للترددات الثنائية كما يحدث فى حالة البلورات السائلة النيماتية.

٣ - ٥) معاملات مواد البلورات السائلة

تعتبر الخصائص البصرية والكهربائية والمغناطيسية والميكانيكية لمواد البلورات السائلة أساسية للتطبيقات التكنولوجية لهذه المواد. هذه الخصائص هى نتيجة للتفاعل الطويل والقصير المدى بين جزيئات المادة الداخلية. ومن أهم المعاملات التى تتميز بها مواد البلورات السائلة هى معامل الانحدار (Splay)، ومعامل الثنى (Bend). هذه المعاملات ترتبط بثوابت المرونة للمادة. وهناك معاملات أخرى مثل معامل اللف (البرم) وثابت العزل الاستاتيكى ($\varepsilon_{\perp}$) والديناميكى ($\varepsilon_{/\!/}$)، وأيضاً معامل التوصيلية $\sigma_{\perp}$ و $\sigma_{/\!/}$ من خلال طبقات البلورات السائلة ذات الممانعة (impedance) التى تعتمد على التردد. وكذلك من أهم هذه المعاملات قياس اللزوجة η. كل هذه المعاملات تؤثر بشدة عند استعمال مواد البلورات السائلة فى التطبيقات التكنولوجية. ٠انظر شكل ٤٠).



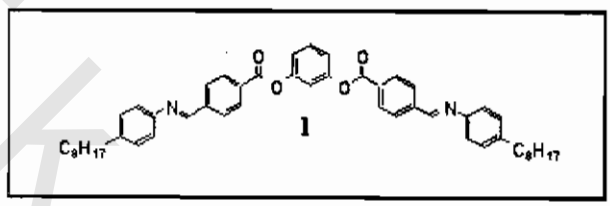
شكل (٤٠): جانب من سلسلة الكنيل توضح ثلاث أشكال ممكنة النقاط تبين أنصاف أقطار ڤان درڤال.

٣ - ٦) اكتشافات حديثة للبلورات السائلة السميكتية القطبية

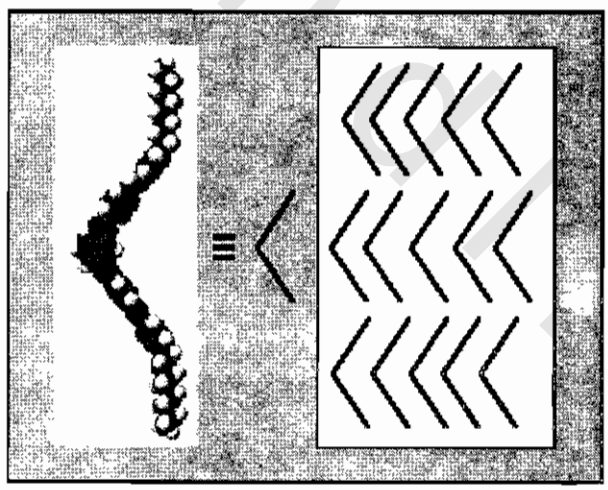
فى عام ١٩٩٦م، نجح العالمان اليابانيان «تاكزو ووتانابى» من نشر اكتشافاتهما الحديثة التى تفرض وجود طور سميكتى قطبى فى مواد البلورات السائلة التى تتكون من جزيئات لا انطباقية مستقطبة فى اتجاه موازٍ للطبقات. والتركيب البينى لهذه الجزيئات موضح بالشكلين (٤١ أ، ب)، ويشمل توزيعاً غير عادى للحلقات شبه

الأروماتية (عطرية) فى مركز القلب. وطبقًا لما نشر فى هذا الموضوع فقد وجد أن بعض تشكيلات البنية الجزيئية الأساسية تظهر على شكل ثمرة الموز (banana - Shaped).

ويبذل العلماء حاليًا الجهود المضنية من أجل معرفة الخصائص الكهربائية والاستقطابية لهذه المواد البلورية السائلة الجديدة. ومقارنتها بالأطوار السميكتية C* اللاانطباقية الفيروكهربية . ومن أهم هذه الدراسات التشكل التلقائى لمناطقها الحلزونية فى الطور القطبى اللا انطباقى. والشكل (٤٢) يبين أحد هذه الأطوار فى الجزيئات التى تمتلك محاور مزدوجة مكانية غير قبوية.

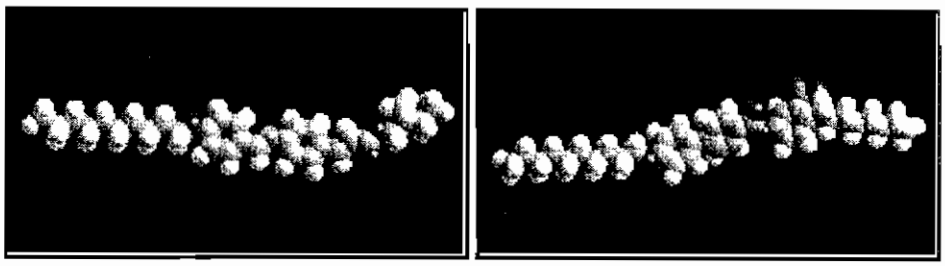


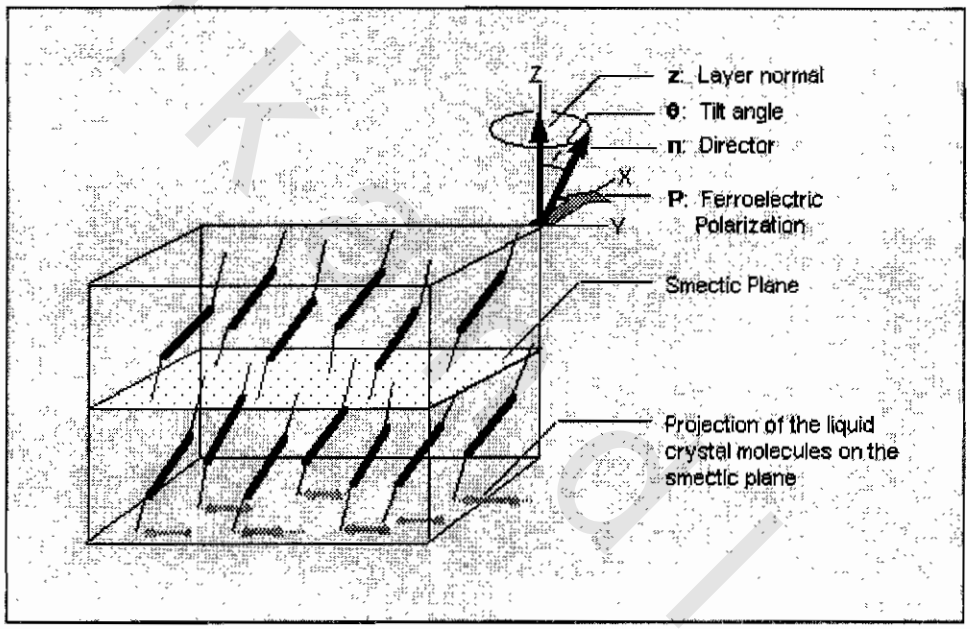
(أ)



(ب)

شكل (٤١) : التركيب الجزيئى للموروثات البينية على شكل موزى.





شكل (٤٢) : يبين التوزيع الجزيئى فى مستوى سميكتى للمواد الفيروكهربية.

والجدير بالذكر، أنه بفرض صحة نظرية التشكل التلقائى الموزى للجزيئات، فإن هذا الفرض يطور طريقة ترصيص الجزيئات، حيث أن الترصيص للأقطاب الثنائية المجسمة (Steric dipoles) هو أحد العوامل التى تؤدى إلى الترتيب القطبى الذى يعتبر المفتاح الحقيقى لتغيير الأطوار البينية للبلورات السائلة.

وتعتبر المواد البلورية السائلة الجديدة ذات تطبيقات تكنولوجية مهمة خاصة تلك التى تعتمد على الخصائص الكهروبصرية والبصريات غير الخطية والمضمنات الضوئية... إلى آخره.

٣ - ٧) تطبيقات البلورات السائلة

وفيما يلى سوف نستعرض بعضاً من تطبيقات البلورات السائلة.

كما ذكرنا سلفا فى بداية هذا الفصل، أن تكنولوجيا البلورات السائلة تستخدم بتوسع فى مجال إنتاج صناعة شاشات العرض المرئية، وفى الوقت الحالى رصدت استثمارات ضخمة تقدر بعدة مليارات من الدولارات الأمريكية لتطوير هذه الصناعات.

أ - ثرمومترات البلورات السائلة

تعتمد صناعة الثرمومترات حاليًا على الخصائص الفيزيائية للبلورات السائلة النيماتية الكوليسترية. ومن أهم هذه الخصائص القدرة على عكس الضوء الساقط عليها بأطوال موجية مساوية لارتفاع السنون (الطبقات الجزيئية) "Pitch". ونظراً لأن هذه السنون تعتمد على درجة الحرارة، وبالتالى فإن الانعكاس اللونى يعتمد أيضاً على درجة الحرارة. وتستعمل مواد البلورات السائلة كبوابة للتحكم فى درجات الحرارة عن طريق تغيير الأطوال الموجية التى تميز الثرمومتر. وبخلط مركبات مختلفة من البلورات السائلة يمكن صنع ثرمومترات ذات مدى حرارى مختلف. وتعتبر ثرمومترات البلورات السائلة سهلة الاستعمال، وتستخدم فى المجالات الطبية والإلكترونية، حيث إن البلورات السائلة ترتبط بالجلد الملاصق لها، ويمكنها من رسم خريطة حرارية لأعضاء الجسم المختلفة. وبالطبع هذه الخرائط الحرارية على درجة كبيرة من الأهمية خاصة فى مجال علاج الأورام التى يكون لها درجات حرارة مختلفة عن الوسط المحيط بها.

والجدير بالذكر أن ثرمومترات البلورات السائلة تستخدم فى مجال الصناعات الإلكترونية، وذلك بالكشف عن التوصيلات الكهربائية السيئة فى الدوائر الكهربية. ويتم ذلك عن طريق التمييز الحرارى فائق الدقة.

ب - التصوير البصرى

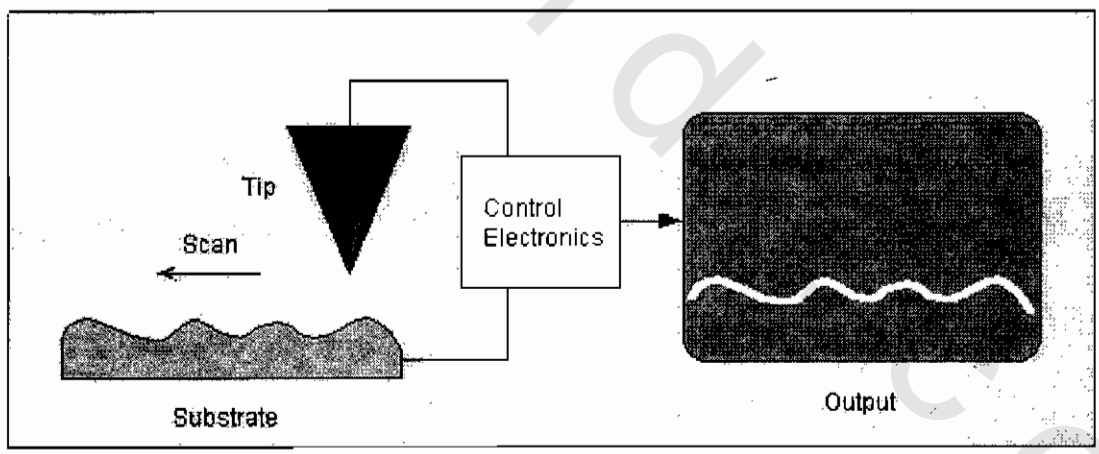
ومن أهم تطبيقات البلورات السائلة التكنولوجية هى التصوير البصرى. فى هذه التكنولوجيا، توضع خلية البلورات السائلة بين طبقتين من الموصلات البصرية. والضوء الساقط على الموصل يزيد من معامل توصيلية المادة للكهرباء. وهذا يسبب تطور المجال الكهربائى فى البلورات السائلة، والتى تعتمد بشدة على الكثافة الضوئية الساقطة. والنموذج الكهربائى المتولد يمكن نقله بواسطة الأقطاب الكهربية فى الخلية، والذى يسمح بتسجيل الصورة. وهذه التكنولوجيا مهمة فى مجال التطبيقات العسكرية، والتى تتطلب مزيداً من البحث والتطوير.

جـ - التطبيقات الأخرى

تستخدم البلورات السائلة فى عديد من التطبيقات مثل عمل الاختبارات الميكانيكية للمواد التى تقع تحت تأثير إجهاد. وفى أجهزة التحكم فى أجهزة الإرشاد الموجى والموجات الراديوية فى الأجهزة الطبية مثل قياس الضغط الانتقالى أثناء السير على الأرض. أما البلورات قليلة الكثافة Low Molar Mass (LMM) فتستعمل لإنتاج الأقراص البصرية والشرائح الفيلمية الإلكترونية، وتستعمل أيضًا كمضمنات للضوء، وفى التصوير الملون. والخصائص الجديدة لأنواع البلورات السائلة (تحت البحث والتطوير) تزيد فى المستقبل القريب من التطبيقات الصناعية والعلمية لهذه المواد التكنولوجية الهامة.

د - المسبار الماسح الميكروسكوبى "Scanning probe microscopy"

هذا الجهاز يعتمد على المسح النفقى الميكروسكوبى والقوة الذرية الميكروسكوبية. ويستعمل فى تصوير الأسطح للمركبات العضوية وغير العضوية مع (أو بالقرب) من التحليل الذرى. وعناصر هذا الجهاز موضحة بالشكل (٤٣). ويستخدم فى عملية المسح النفقى الميكروسكوبى أزميل دقيق حاد يوضع فوق شريحة موصلة، ويطبق عليهما فرق جهد كهربائى صغير. والفجوة بين الأزميل والشريحة يجب أن تكون كبيرة بدرجة كافية، بحيث لايحدث توصيل كهربائى كلاسيكى، ولكنها يجب أن تكون صغيرة بدرجة كافية تسمح للإلكترونات بالخروج النفقى بين الأزميل والسطح. وعمليا وجد أن اتساع هذه الفجوة بين 0.5 - 1.0 n m (1n m= 10^{-9} m). ويمسح هذا الأزميل (Tip) السطح كله، وخلال عملية المسح يكون ارتفاعه ثابتاً لكى يحافظ على سريان التيار



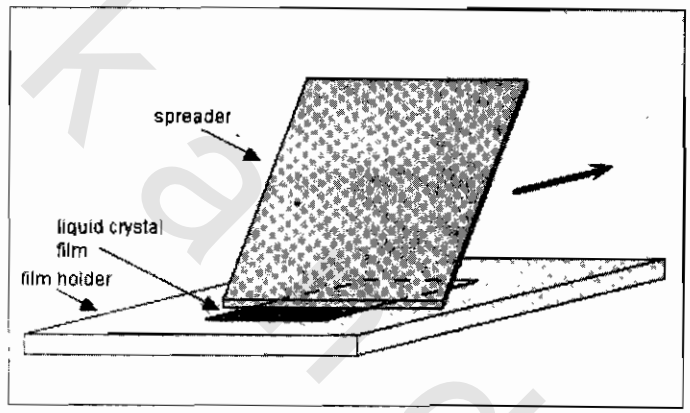
شكل ٤٣ : المسبار الماسح الميكروسكوبى.

الكهربائى الثابت. وبتسجيل الارتفاع عند كل نقطة مكانية من السطح، يمكن عمل خريطة كاملة للسطح المعين، ونظراً لأن دالة الانضمحلال النفقى تكون دالة أسية فى المسافة، فإن الذرات القريبة من الأزميل هى التى تساهم فى إمرار التيار (الحالة المثالية). ولذلك فإن الصورة الناتجة توضح الذرات المنفردة على السطح.

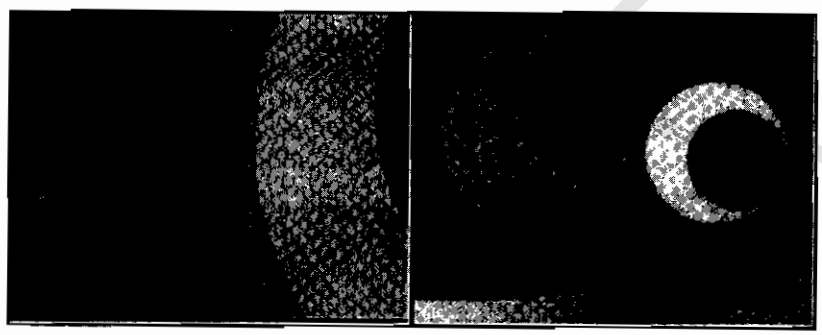
أما فى حالة تكنيك القوة الذرية الميكروسكوبية، فيستخدم فى عمل خرائط السطح الطوبوغرافى. ويتم ذلك بقياس القوة الميكانيكية المؤثرة على الأزميل (بدلاً من قياس التيار الكهربائى المسار خلاله). وعلى ذلك تستعمل هذه الطريقة فى تصوير الشرائح الموصلة وغير الموصلة.

هـ - الأغشية المعلقة للبلورات السائلة

نظراً إلى أن جزيئات البلورات السائلة تتشكل من تراكيب رقيقة مختلفة عن أغشية الصابون. فيمكن عمل أغشية حرة معلقة من مواد البلورات السائلة فى طورها السميكتى الفيروكهربى. ويتم ذلك كما هو موضح بالشكل [٤٤]، عن طريق إبلل حافة ثقب فى ماسك الأغشية الرقيق. هذا الماسك به مادة البلورات السائلة. بعض



(أ)



(ب)

شكل ٤٤ : (أ) ماسك وموزع الأغشية المعلقة.

(ب) صورة توضح جانباً من هذه الأغشية بعد سحبها مباشرة.

من هذه المادة يمكن سحبه بدقة عبر الثقب بواسطة موزع متجانس. وعموماً تكون الأغشية المسحوبة فى طورها السميكتى A أو C (وكلاهما يكون مائعى التكوين فى تركيب مستوى).

وتتشكل الطبقات السميكتية فى اتجاه مستوى الغشاء الحر، ويكون سمك الطبقة منتظم فى المدى من ١ : مئات من الطبقات التى سحبت من خلال فتحة مساحتها $1cm^2$. وهذه الأغشية تكون مستقرة عدة شهور. وهذه الأغشية الفيلمية تكون مثالية فى دراسة التفاعلات السطحية وتاثير التقليل الحجمى على الأطوار الكثيفة الرخوة.

والصورة الموضحة بالشكل [٤٤] تبين أجزاء غير منتظمة من الطور السميكتى المعلق. هذا الغشاء مصور بواسطة الانعكاس الضوئى بمعامل تكبير منخفض سريعاً بعد سحبه من الثقب مباشرة وسمك الغشاء لايتعدى عدداً صحيحاً من سمك الطبقات السميكتية، وعادة سمك طبقة واحدة حوالى $(30x10^{-10}m)$ 30^oA. والمناطق ذات سمك مختلف تبين تداخل الألوان. والصورة الثانية توضح الجزر المتكونة على هيئة مناطق دائرية سميكة طافية على غشاء رقيق.

والجدير بالذكر أنه مازالت هناك أبحاث عديدة تهدف إلى دراسة كيفية الاستفادة من هذه التكنولوجيا فى مجال التطبيقات غير الخطية للبلورات السائلة.

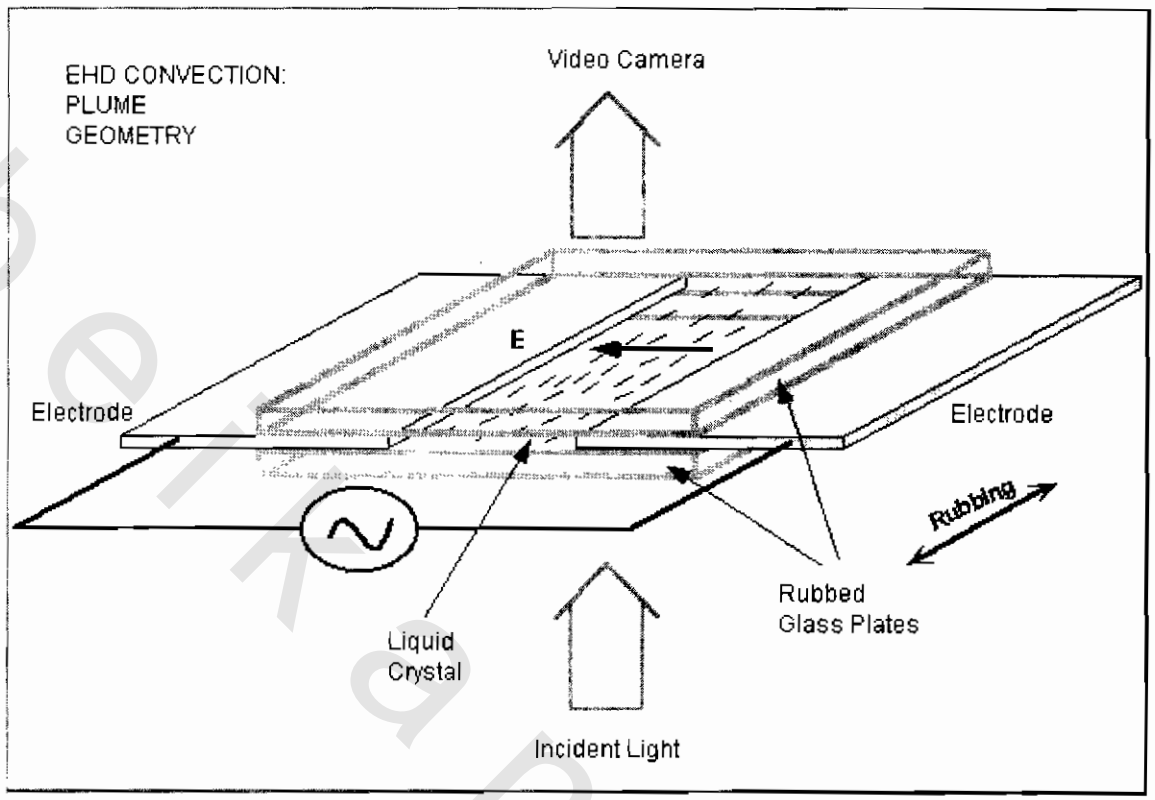
و – التطبيقات الهيدروديناميكية الكهربية للبلورات السائلة:

تتميز البلورات السائلة النيماتية بتأثيراتها الهيدروديناميكية الكهربية.

هذه الخاصية تجعل انسياب البلورات السائلة محتشاً بواسطة تطبيق المجال الكهربائى الخارجى. هذا الانسياب مرتبط بإعادة توجيه الجزيئات فى العينة وإمرار التيار الكهربائى.

ومن أكثر تشكيلات المناطق بالعينة غير المستقرة هى المناطق المعروفة باسم مناطق ويليام "William - domains": وهى معرفة عند قيمة محددة للمجال الكهربائى (القيمة الحرجة) وتكون هذه المناطق دورية فى الزمن، وعند شدة مجال كهربائى مرتفع.

وبزيادة شدة المجال الكهربائى تصبح هذه المناطق شبه دورية فى الزمن، بعد ذلك تتطور انسيابية دوامية (توربينية) لها سرعة مجال مكانية تتغير مع الطول والزمن وتقل بزيادة شدة المجال الكهربى.

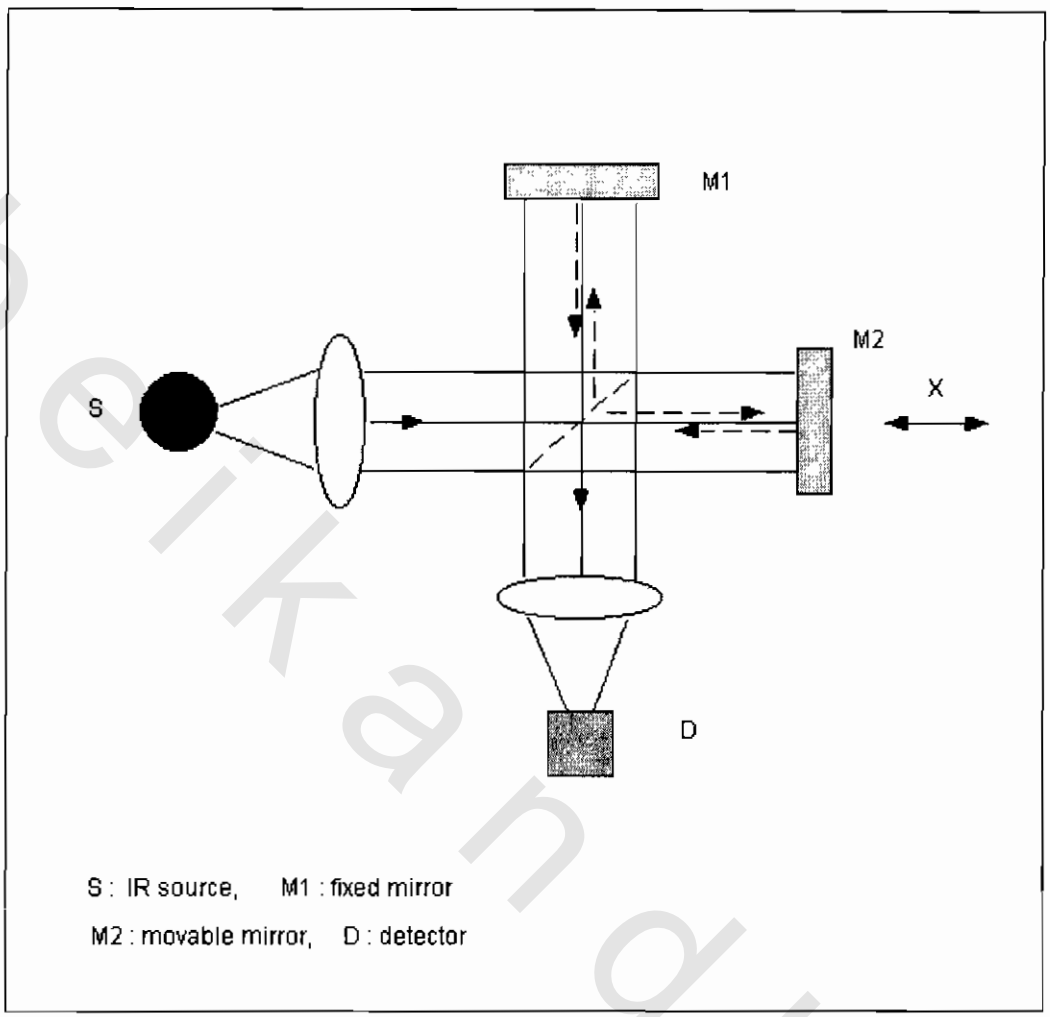


شكل ٤٥ : الشكل الهندسى للحركة الهيدروديناميكية الكهربية.

والجدير بالذكر أن نظم البلورات السائلة الهيدروديناميكية الكهربية تعطى عدداً من المميزات لدراسة النماذج التشكيلية، ليس فقط بمقياس الطول والزمن، ولكن أيضا برصد النماذج المشاهدة بصرياً، حيث إن التشوهات فى اتجاه الموجه ينتج عنها مضمنات فى معامل الانكسار. وتستعمل عادة هذه الطريقة فى دراسة التشوه فى القطرات المعلقة من البلورات السائلة النيماتية، وكذلك التغيرات الطورية فى المادة كدالة فى المجال الكهربائى المطبق. وهذا يساعد على تسهيل انتقال الغازات خلال الأغشية وبناء تيارات الحمل الكهربائية. وأيضا دراسة التراكيب الريشية (plume) فى المناطق الدوامية للحركة الهيدروديناميكية الكهربية. والشكل [٤٥] يوضح الرسم الهندسى لهذه التجربة.

ز) أطياف تحولات فوريير للبلورات السائلة فى مدى الأشعة تحت الحمراء:

من المعروف لدينا، أن مطياف تحولات فوريير فى مدى الأشعة تحت الحمراء "Fourier Transformation Infrared (FTIR)" تعتمد أساساً على تكتيك التداخل الضوئى « لميكلسون » كما هو موضح بالشكل [٤٦]: فالشعاع الضوئى من المصدر (S) تجمع فى البؤرة عند قاسم للأشعة الذى يسمح بعبور نصف الحزمة الضوئية على



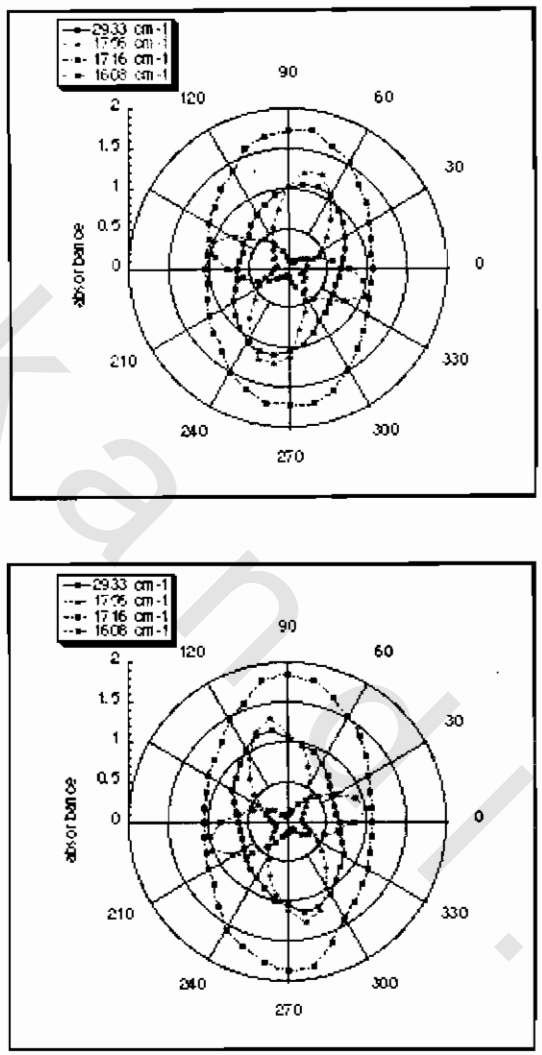
شكل ٤٦ : التداخل الضوئى لميكلسون

امتداد الأشعة الساقطة وتنعكس هذه الأشعة من المرآة الثابتة M_1. والنصف الآخر من الأشعة ينعكس فى اتجاه عمودى على مسار الأشعة الساقطة، ويسقط على المرآة المتحركة M_2، ثم ينعكس مرة ثانية على مساره. ويتجمع الشعاعان المنعكسان عند الكاشف D.

وبتغيير شدة الأشعة تحت الحمراء الساقطة مع فرق فى المسار البصرى تنتج تحولات فوريير للأشعة الساقطة. والامتصاص الطيفى للأشعة تحت الحمراء يمكن قياسه بواسطة مقياس التداخل الضوئى باستعمال العينة أو بدونها. وبالمقارنة بين هذين الحالتين يمكن الحصول على الأطياف المطلوبة.

obeikandl.com

وتعتبر هذه الطريقة سريعة جداً وذات كفاءة عالية وتتغلب على مساوئ القياسات البصرية لقياس الأطوال الموجية بواسطة جهاز المونوكرومتر. وهذا التكنيك يعتبر أداة قوية لفحص التشكيلات الجزيئية للبلورات السائلة وتجمعاتها الدورانية



شكل ٤٧ : تحولات فوربير للبلورات السائلة فى المدى الطيفى للأشعة تحت الحمراء.

obeikandl.com

على طول أطوارها اللاانطباقية السميكتية. كما تعطى التراكيب الاتجاهية للمجاميع الكيميائية المشتركة فى تكوين المادة مثل مئات التراكيب الكربونية ومجموعاتها اللاانطباقية والتى تجعل الاستقطابية معتمدة على شدة المجال الكهربائى المطبق. (انظر الشكل ٤٧).

obeikandl.com

الخـــلاصـــة

مما سبق يتضح لنا أن البلورات السائلة هى مواد تشاهد فى حالتها البلورية (الصلبة)، والسائلة المتناحية "isotropic"، وتتحدد أنواع البلورات السائلة بتوزيع النظام الجزيئى بها.

فكما ذكرنا سلفًا نرى أن البلورات السائلة النيماتية تتميز بأن جزيئاتها غير منتظمة فى المكان ولكنها تميل أن تأخذ الاتجاه نفسه على مسار الموجه. وتعتمد الخواص الفيزيائية لتلك المواد على تغيير الترصيص الجزيئى بالنسبة للموجه. فإذا كان الترصيص كبيراً تكون المادة لامتناحية "anisotropic"، أما إذا كان الرص صغيراً تكون المادة متناحية "isotropic" عادة وهناك أنواع خاصة من البلورات السائلة تسمى البلورات السائلة النيماتية اللا انطباقية. وتتميز هذه المواد بانعكاس الضوء المستقطب دائريًا. ويستعمل التعبير اللا انطباقى لتغيير الشكل الجزيئى بالمقارنة بالطور الكوليستيرى.

وتتواجد أحيانًا البلورات السائلة فى الطور السميكتيكى، وكلمة سميكتيك "Smectic" المشتقة من اللغة اليونانية القديمة تعنى محلول الصابون. وهذا يشرح حقيقة تواجد المادة فى حالة سميكة انزلاقية. وتتميز هذه المواد بأن جزيئاتها ترتب فى نظام انتقالى غير متواجد فى الطور النيماتى، حيث تحتفظ الجزيئات بجانب تماثلها للدوران إلى الترصيص فى طبقات أو مستويات وبالتالى تتقيد حركتها.

والبلورات السائلة قسمان: أحدهما ذو انتحاء حرارى "Thermotropic" والآخر ذو انتحاء غروى "Lyotropic" فالبلورات السائلة ذات الانتحاء الحرارى تعرف بأنها تلك المواد التى تتكون فى حالة التبلور السائلى بواسطة الحث الحرارى.

ويتم ذلك إما برفع درجة حرارة المادة الصلبة أو بخفض درجة حرارة السائل. وهذا النوع ينقسم بدوره إلى:

١ – بلورات سائلة ثنائية الصورة البلورية "enantiotropy" فى هذه الحالة تتغير المادة إلى الحالة البلورية السائلة برفع درجة حرارة المادة الصلبة أو خفض درجة حرارة السائل.

٢ – بلورات سائلة وحيدة الصورة البلورية "monotropy" فى هذه الحالة تتغير المادة إلى الحالة البلورية السائلة إما بزيادة درجة حرارة المادة الصلبة أو فقط بخفض درجة حرارة السائل.

وبصفة عامة، تحدث الأطوار البينية للانتحاء الحرارى بسبب قوة التفريق الجزيئى فى حالة التباين فى النواحى المكانية أو الاتجاهية. وكذلك التفاعل بين طبقات الترصيص الجزيئى. أما البلورات السائلة ذات الانتحاء الغروى فتحدث نتيجة تأثير المذيبات وليس نتيجة تغيير درجات الحرارة.

obeikandl.com

فالأطوار البينية للانتحاء الغروى تحدث نتيجة لحث المذيب لتراكم المكونات البينية للمادة على شكل تراكيب لجزيئات غروية فى وجود المذيب. وبالتالى تنتهى المواد الغروية غير المتآلفة فى المحلول إلى مواد غروية متآلفة به. وبزيادة تركيز المحلول وتبريدة، يزداد حجم الجزيئات الغروية وتلاحمها. وبفصل هذه المكونات يمكن الحصول على أشكال جديدة متنوعة من البلورات السائلة.

وفى الوقت الحالى يزداد اهتمام العلماء فى جميع أنحاء العالم بنوع آخر من هذه المواد تسمى البلورات السائلة الفيروكهربية. فهذه المواد تغطى مساحة كبيرة من فهم الخواص الفيزيائية للمواد الكثيفة والربط بينها وبين الخصائص الماكروسكوبية للمواد العضوية. فهذه المواد بجانب سلوكها غير العادى الطورى والإنشائى تكون لها تأثيرات ضوئية غيرعادية، ولذلك، يتوقع الخبراء والعلماء أن تفتح هذه المواد آفاقا تكنولوجية جديدة ذات تطبيقات استراتيجية هامة للمجالات المدنية والعسكرية. على سبيل المثال تستعمل هذه المواد فى المجالات الآتية:

١ – أجهزة التحكم الضوئية الحديثة.

٢ – مضمنات ضوئية.

٣ – شاشات رقيقة للعرض ذات أبعاد كبيرة ولا تحتاج إلى طاقة تشغيل عالية.

٤ – حافظة معلومات (ذاكرة) كهروضوئية.

٥ – فى التطبيقات البصرية التى تعتمد على الخصائص الضوئية غير الخطية.

والجدير بالذكر أن عديداً من الدول تهتم فى الوقت الحالى بتصنيع هذه المواد الاستراتيجية بغرض الاستفادة من مميزاتها التكنولوجية مما ينعكس على القدرات الخاصة فى تحديث المعدات التكنولوجية الحالية.

ونظراً لاهمية هذا الموضوع، فقد أصبح من الضرورى إنشاء مركز قومى لتكنولوجيا المواد البلورية السائلة فى مصر يكون من أهدافه ما يلى:

١ – تنمية برامج البحوث الفيزيائية والكيميائية وتطوير تكنولوجيا المواد البلورية السائلة.

٢ – تصنيع المواد البلورية السائلة بأنواعها المختلفة.

٣ – تدريب الكوادر العلمية والفنية للتعامل مع هذه التكنولوجيا واكتساب المهارات والخبرات.

٤ – بناء قاعدة بيانات وجمع كافة المعلومات العلمية والتكنولوجية للوقوف على التقدم المتسارع فى هذا المجال بما يخدم الأهداف القومية.

٥ – إرساء التعاون العلمى مع المراكز العلمية الدولية المتخصصة فى هذا المجال.

٦ – تطوير خطة البعثات الخارجية بغرض اكتساب المهارات اللازمة طبقا لأولويات مدروسة.

Glossary

(a) :

Activation energy	طاقة تنشيط
Aggregation	تراكم
Agitation	تأثر
Alloy	سبيكة
Amorphous	لا بلورى
Analogy	مماثل
Anelasticity	لا مرونة
Anisotropy	لا متناحى - متباين الخواص في النواحى أو الاتجاهات

(b) :

Base - centered	متمركز القاعدة
Binding energy	طاقة الترابط
Birefringence	انكسار ثنائى (مزدوج)
Body - centered	متمركز الجسم
Boundary condition	شرط حدى
Bulk's modulus	معامل المرونة الحجمى

(C) :

Capillary	الخاصية الشعرية
Charge carrier	حامل الشحنة
Chirality	لا انطباقية – مرآوية
Classical theory	النظرية الكلاسيكية
Coercive force	قوة قهرية
Colloidal	شبه غروى – غروانى
Compressibility	انضغاطية
Concentration	تركيز
Conservation law	قانون البقاء

obeikandl.com

Contact angle	زاوية التلامس
Coordination number	عدد التناسق
Coulomb force	قوة كولومية
Coupling	ربط بينى
Crystal	بلورة
Crystalline	بلورى
Crystal growth	إنماء بلورى
Crystal system	نظم بلورية
Covalent crystal	بلورة تساهمية
Cubic	تكعيبى
(d) :	
Degree of freedom	درجات حرية
Degeneracy	تحلل
Density of packing	كثافة الرص
Deviation	حيود
Diamagnetic	ديامغناطيسية
Dielectric	عازل
Dielectric constant	ثابت العزل
Diffusion	انتشار
Discrete levels	مستويات منفصلة
Dislocation	انخلاع (تشوه)
Disorder	فوضى
Dispersion relation	علاقة التفريق
Dipole	ثنائى القطب
Domain	منطقة
Drift velocity	السرعة المنجرفة

obeikandl.com

(e):

Electron	إلكترون (مكهرب)
Electric dipole	ثنائى القطب الكهربائى
Electronic polarizability	استقطاب الكترونى
Electrostriction	الانضغاط الكهربائى
Emission	انبعاث
Enantiotropy	ثنائية الصورة البلورية
Enerty density	كثافة الطاقة
Epilipsy	صرع
Eventual	مقبول
Extrinsic	دخيل – خارجى

(f):

Face - centered	متمركز الوجه
Ferroelectric	فيروكهربائية
Ferromagnetic	فيرومغناطيسية
Flexible	مطاطة

(g):

Gas	غاز

(h):

Habit	عادة
Harmonic	إيقاعى – متناغم
Hexagnoal	سداسى
Hierachy	هرمية
Hydrometer	هيدرومتر
Hysteresis	تخلفية

(i) :

Impurities	شوائب
Inherent	ملازم – جوهرى

obeikandl.com

Intrinsic	ذاتى
Inversion	عكسى
Invariant	ثابت – غير متغير
Ionic crystal	بلورة أيونية
Ionic polarization	استقطاب أيونى
Isotropic	متناحى
(I) :	
Lattice	شبكية
Lattice defect	عيوب الشبيكة
Lattice parameter	البعد الشبيكى
Lattice point	نقطة شبيكة
Liquidus	خط السائل
Local	مكانى أو محلي
Locally	محليًا أو مكانيًا
Local field	مجال محلى
Lyophilic	غروانى متآلف
Lyophobic	محلول غروانى لا يألف وسط انتشاره
Lyotropic	انتحاء غروى
(m):	
Macroscopic	ماكروبية
Magnetic moment	عزم مغناطيسى
Magnetic susceptibility	قابلية مغناطيسية
Mean free path	متوسط المسار الحر
Mechanism	ميكانيكية
Metal	فلز
Metallic crystal	بلورة فلزية
Miller indices	معاملات ميلر
Molecular crystal	بلورة جزيئية

obeikandl.com

Moment	عزم
Monochromatic	أحادى اللون
Monoclinic	احادية الميل
Monotropic	وحيد الصورة البلورية
(n) :	
Nematic	خطى متوازي التوجه
Nucleus	نواة
(o) :	
Orbit	مدار
Orientation	اتجاهية
Orientation polarizability	استقطاب اتجاهى
Order-disorder transformation	تحول من منظم إلى غير منظم
Orthorhombic	نظام معين – نظام التبلور المعينى
(p):	
Packing	الرص
Paradox	تناقض ظاهري
Paraelectric	متساحت كهربائيا
Permittivity	سماحية
Phase	الطور
Phase space	الفراغ الطوري
Phase transformation	التحول الطوري
Photon	الفوتون
Piezoelectric	الظاهرة الكهروضغطية
Polarization	استقطاب
Polarization catastrophy	كارثة استقطابية
Polycrystalline	متعدد البلورية
Pressure	ضغط
Pyroelectric	الظاهرة الكهروحرارية

obeikandl.com

(q):	
Quantum	كم
Quantization	تكمية
Quadrupolar	رباعى الأقطاب
(r):	
Remenant	متبقية
Remenant magnetism	مغناطيسية متبقية
Relaxation	إرخاء
Reveals	يكشف
(s):	
Scattering	استطارة
Seed crystal	بذرة البلورة
Shearing force	قوة قاصة
Smectic	سطحى توازى التوجه – كلمة مشتقة من اللغة اليونانية يعنى « محلول الصابون »
Solid solution	محلول صلب
Solidus	خط الجوامد
Spherical	كرية
Spiral net	شبكة حلزونية
Strain	انفعال
Stress	إجهاد
Surface tension	التوتر السطحى
Sublattice	شبيكة فرعية
(t):	
Tetragonal	رباعى الزوايا والاضلاع
Tensial	توترى
Thermotropic	انتحاء حرارى

obeikandl.com

Transport Phenomena	ظواهر الانتقال
transition	الانتقال
Triclinic	ثلاثى الميل
Trigonal	ثلاثى الوجه
Twined	متشابك
(u):	
Ubiquity	كلية – الوجود
Uncertainty principle	مبدأ عدم اليقين
(v):	
Valence	التكافؤ
Van der Waal forces	قوى ڤان درڤال
Violation	انتهاك
Viscosity	اللزوجة
(w):	
Wind up	نهاية

obeikandl.com

المـراجـع :

1. GENERATION OF ACOUSTIC SIGNALS IN LIQUIDS BY RUBY LASER-INDUCED THERMAL STRESS TRANSIENTS," E.F. Carome, N.A. Clark and C.E. Moeller, Applied Physics Letters **4**, 95-97 (1964).
2. "HYPERSONIC VELOCITY MEASUREMENTS IN LIQUID DICHL OROMETHANE, " N.A. Clark, C.E. Moeller, J.A. Bucaro and E.F. Carome , Journal of Chemical Physics **44**, 2528-2529 (1966).
3. "INTENSE RUBY LASER-INDUCED ACOUSTIC IMPULSES IN LIQUIDS," E.F. Carome, C.E. Moeller and N.A. Clark, Journal of the Acoustical Society of America **40**, 1462-1466 (1966).
4. "OBSERVATION OF THE NATURAL LINE WIDTH OF THE BRILLOUIN COMPONENTS OF LIGHT SCATTERED BY A SOLID, "J.H. Lunacek, N.A. Clark, P.D. Lazay and G.B. Benedek, Bulletin of the American Physical Society **13**, 183 (1968).
5. "THE RAYLEIGH-BRILLOUIN SPECTRA OF AMMONIUM CHL ORIDE," P.D. Lazay, J.H. Lunacek, N.A. Clark and G.B.Benedek, in *Light Scattering Spectra of Solids*, G.B. Wright, Ed., Springer-Verlag, New York, 593-602 (1969) .
6. "A STUDY OF BROWNIAN MOTION USING LIGHT SCATTERING," N.A. Clark and J.H. Lunacek, American Journal of Physics **37**, 853-854 (1969).
7. "A STUDY OF BROWNIAN MOTION USING LIGHT SCATTERING," N.A. Clark, J.H. Lunacek and G.B. Benedek, American Journal of Physics **38**, 575-585 (1970).
8. "MEASUREMENT OF THE ROTATIONAL DIFFUSION COEFFICIENT OF LYSOZYME BY DEPOLARIZED LIGHT SCATTERING: CONFIGURATION OF LYSOZYME IN SOLUTION," S.B. Dubin, N.A, Clark and G.B. Benedek, Journal of Chemical Physics **54**, 5158-1564 (1971).
9. "STATIC AND DYNAMIC BEHAVIOR NEAR THE ORDER-DISORDER TRANSITION OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS," T.W. Stinson, J.D. Litster and N.A. Clark, Journal de Physique **33**-C1, 69-75 (1972).
10. OBSERVATION OF A FREQUENCY-DEPENDENT THERMAL CONDUCTIVITY IN A THERMALLY RELAXING POL-

YATOMIC GAS," N.A. Clark, G.R. Mellman and T.J. Greytak, Physical Review Letters **29**, 150-154 (1972).

11. PREPARATION OF ORIENTED MULTILAMELLAR ARRAYS OF NATURAL AND ARTIFICIAL BIOLOGICAL MEMBRANES," N.A. Clark and K.J. Rothschild, in *Methods in Enzymology* 87, L. Packer, Ed., Academic Press, New York (1982) 32,-333.

12. "STROBOSCOPIC MICROSCOPY OF FAST ELECTRO-OPTIC SWITCHING IN A FERRO-ELECTRIC SMECTIC C LIQUID CRYSTAL," M.A. Handschy and N.A. Clark, Applied Physics Letters **41**, 39-41 (1982).

13 "X-RAY DIFFRACTION AND ELECTRON MICROSCOPE STUDY OF PHASE SEPARATION IN ROD OUTER SEGMENT PHOTORECEPTOR MEMBRANE MULTILAYERS", S.M. Gruner, K.J. Rothschild, and N.A. Clark, Biophysical Journal **39**, 241-251 (1982).

14 "LATTICE DYNAMICS OF COLLOIDAL CRYSTALS," A.J. Hurd, N.A. Clark, R.C. Mockler and W.J. O'Sullivan, Physical Review A **26**, 2869-2881 (1982).

15. "CHIRAL SMECTIC C OR H LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTICAL DEVICE," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # **4**, 367-924 (1983).

16. "MULTIDETECTOR SCATTERING AS A PROBE OF LOCAL STRUCTURE IN DISORDERED PHASES," N.A Clark, B.J. Ackerson and A.J. Hurd, Physical Review Letters **50**, 1459-1461 (1983).

17. SHEARED COLLOIDAL SUSPENSIONS," B.J. Ackerson and N.A. Clark, Physica **118 A**, 221-249 (1983).

18. FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTICS IN THE SURFACE STABILIZED STRUCTURE," N.A. CLARK, M.A. Handschy and S.T. Lagerwall, Molecular Crystals and Liquid Crystals **94**, 213-233 (1983).

19. "FIELD INDUCED FIRST ORDER ORIENTATION TRANSITIONS IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," M.A. Handschy, N.A. Clark and S.T. Lagerwall, Physical Review

obeikandl.com

Letters **51**, 471-474 (1983).

20. "LIQUID STRUCTURE UNDER SHEAR: COMPARISON BETWEEN COMPUTER SIMULATIONS AND COLLOIDAL SUSPENSIONS," H.J. Hanley, J.C.Rainwater, N.A. Clark and B.J.Ackerson, Journal of Chemical Physics **79**, 4448-4458 (1983).
21. "CROSS-CORRELATION INTENSITY FLUCTUATION SPECTROSCOPY APPLIED TO COLLOIDAL SUSPENSIONS," "B.J. Ackerson and N.A. Clark, in Concentrated Colloidal Dispersions, Faraday Discussions of the Chemical Society of London **76**, 219-228 (1983).
22. "A HEAT CAPACITY STUDY OF PHASE TRANSITIONS IN THE FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL (R-) HEXYLOXY-BENZYLIDENE p'-AMINO-2-CHOLORPROPYL CINNAMATE (HOBACPC), "S.C,. Lien, J.M. Viner, C.C. Huang and N.A. Clark, Molecular Crystals and Liquid Crystals **100**, 145-151 (1983).
23. "ELASTIC RESONANCE OF A LIQUID CRYSTAL BLUE PHASE", N.A. Clark, S.T. Vohra and M.A. Handschy, Physical Review Letters 52, 57-60 (1984).
24. "DYNAMIC RESPONSE OF MOLECULAR ORIENTATION IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," P.G. Amaya, M.A. Handschy and N.A. Clark, Optical Engineering 23, 261-264 (1984).
25. *Physics of Complex and Supermolecular Fluids,* Proceedings of the International Symposium on Complex and Supermolecular Fluids, Annandale, NJ, 1985, S.A. Safran and N.A. Clark, Eds. John Wiley & Sons, New York (1987).
26. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, Volumes **141, 144, 146**, Proceedings of the Eleventh International Liquid Crystals Conference, M.M. Labes J.D. Litster, N.A. Clark, M.Lee, P. Collings and N. Amer, Eds. (1987).
27. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL SPATIAL LIGHT MODULATORS," D. Armitage, J.I. Thackara, N.A. Clark and M.A. Handschy, Optical Computing Technical Digest **11**, 221-223 (1987).
28. *Incommensurate Crystals, Liquid Crystals, Liquid Crystals and Quasi-Crystals,* J.F. Scott and N.A. Clark, Eds., NATO ASI Series B: Physics 166, Plenum Press, New York (1987).

Obeikandl.com

29. "MODEL FOR THE MOLECULAR ORIGINS OF THE POLARIZATION IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," D.M. Walba and N.A. Clark, Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers 825, 81-87 (1987).

30. "X-RAY STUDY OF FREELY SUSPENDED FILMS OF A MULTILAMELLAR LIPID SYSTEM," G.S. Smith, C.R. Safinya, D.Roux and N.A. Clark, Molecular Crystals and Liquid Crystals 144, 235-255 (1987).

31. "ELEKTRO-OPTISK INNRETNING AV TYPEN FLYTENDE KRYSTALL, "S.Y.T. Lagerwall and N.A. Clark, Norwegian Patent # **156**, 846 (1987).

32. "THE SMECTIC C 'CHEVRON, A PLANAR LIQUID CRYSTAL DEFECT: IMPLICATIONS FOR THE SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL (SSFLC) GEOMETRY," N.A. Clark and T.P. Rieker, Physical Review A: Rapid Communications **37**, 1053-1056 (1988).

33. "STRUCTURE OF THE L°PHASE IN A HYDRATED PHOSPHATIDYLCHOLINE MULTIMEMBRANE," G.S. Smith, E.B. Sirota, C.R. Safinya and N.A. Clark, Physical Review Letters **60**, 813-816 (1988).

34. NANOMETER MOLECULAR LITHOGRAPHY," K. Douglas, N.A. Clark and K.J. Rothschild, *Molecular Electronic Devices* **3**, F. Carter, ed., (1988) 29-38.

35. "DIRECT MEASUREMENT OF ORIENTATION CORRELATIONS IN A TWO-DIMENSIONAL LIQUID CRYSTAL SYSTEM,"D.H. Van Winkle and N.A. Clark, Physical Review A **38**, 1573-1589 (1988).

36. "COLLOIDAL CRYSTALS," N.A. Clark, in *Physical Chemistry Source Book,* SibyIp. Parker, Ed., McGraw-Hill, New York, (1988) 211-213.

37. "SELF-ASSEMBLED NANOMETRE LITHOGRAPHIC MASKS AND TEMPLATES AND METHOD FOR PARALLEL FABRICATION OF NANOMETER SCALE MULTI-DEVICE STRUCTURES," N.A. Clark, , K.Douglas and K.J.Rothschild, U.S. Patent # **4**, 728,591 (1988).

Openkanal.com

38. X-RAY STUDIES OF ALIGNED STACKED SURFACTANT MEMBRANES," E.B. Sirota, G.S. Smith, C.R.Safinya, R. Plano and N.A. Clark, Science **242**, 1406-1409 (1988).

39. " SURFACE ORIENTATION TRANSITIONS IN SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL STRUCTURES", J.-Z. Xue, N.A. Clark and M.R. PURPLE MEMBRANE FRAGMENTS," N.A. Clark, K.J. Rothschild, B.A. Simon and D.A. Luippold, Biophysical Journal **31**, 65-96 (1980).

40. "A MICROSECOND SPEED, BISTABLE, THRESHOLD-SENSITIVE LIQUID CRYSTAL DEVICE," N.A. Clark and S.T.Lagerwall, in *Liquid Crystals of One and Two Dimensional Order*, W.Helfrich, Ed., Springer, New York (1980) 222-226.

41. "HYDRODYNAMIC PROPERTIES OF TWO DIMENSIONALLY ORDERED LIQUID CRYSTALS," J. Prost and N.A, Clark, in *Liquid Crystals* S. Chandrasekhar, Ed., Heyden, London (1980) 53-58.

42. " MECHANICAL BLEACHING OF PURPLE MEMBRANE," N.A. Clark, K.J. Rothschild and D.E. Bass, Federation Proceedings **39**, 1846 (1980).

43. "PROCESS FOR PRODUCING A MOLECULARLY ORIENTED FILM, "K.G. Rothschild and N.A. Clark, U.S. Patent # **4**, 241, 500 (1980).

44. "SHEAR INDUCED MELTING, "B.J. Ackerson and N.A. Clark, Physical Review Letters **46**, 123-126 (1981).

45. "MEAN FIELD THEORY OF LIQUID CRYSTALLINE PHASES OF DISC-SHAPED MOLECULES," G.E. Feldkamp, M.A. Handschy and N.A. Clark, Physics Letters **85A**, 359-362 (1981).

46. "CHIRALLY ASYMMETRIC REVERSIBLE PHOTOBLEACHING IN PURPLE MEMBRANE FILMS," N.A. Clark and K.J. Rothschild, Biophysical Journal **33**, 217 a (1981).

47. "PHYSICS OF FERROELECTRIC FLUIDS: THE DISCOVERY OF A HIGH-SPEED ELECTRO-OPTIC SWITCHING PROCESS IN LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark and S.T.Lagerwall, in *Recent Developments in Condensed Matter Physics* **5**, J.T. Devreese, Ed., Plenum Press, New York (1981) 309-319.

48. "MICROSCOPIC STRUCTURE OF SHEARED COLLOIDS," B.J.

Ackerson and N.A. Clark, in *Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Scattering Techniques Applied to Molecular and Nonequilibrium Systems*, S.H. Chen, B. Chu and R.Nossal, Eds., Plenum, New York (1981) 781-786.

49. "ELASTIC LIGHT SCATTERING BY SMECTIC A FOCAL CONIC DEFECTS," N.A. Clark and A.J. Hurd, Journal de Physique **43**, 1159-1165 (1982).

50. "FREELY SUSPENDED STRANDS OF TILTED COLUMNAR LIQUID CRYSTAL PHASES: ONE DIMENSIONAL NEMATICS WITH ORIENTATIONAL JUMPS," D.H. Van Winkle and N.A. Clark Physical Review Letters **48**, 1407-1410 (1982).

51. "INFRARED ABSORPTION OF PHOTORECEPTOR AND PURPLE MEMBRANES," K.J. Rothchild, R. Sanches and N.A. Clark, in *Methods in Enzymology* 88, L. Packer, Ed., Academic Press, New York (1982) 696-714.

52. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTICS: NEW MULTISTATE STRUCTURES AND DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, Ferroelectrics **59**, 25-67 (1984).

53. "STRUCTURES AND RESPONSES OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS IN THE SURFACE-STABILIZED GEOMETRY, "M.A. Handschy and N.A. Clark, Ferroelectrics **59**, 69-116 (1984).

54. "SYNCHROTRON X-RAY STUDY OF THE ORIENTATIONAL ORDERING D2-D1 STRUCTURAL PHASE TRANSITION OF FREELY SUSPENDED DISCOTIC STRANDS IN HAT11, "C.R. Safinya, K.S. Liang, W.A. Varady, N.A. Clark and G.Anderson, Physical Review Letters **53**, 1172-1175 (1984).

55. "SHEAR INDUCED PARTIAL TRANSLATIONAL ORDERING OF A COLLOIDAL SOLID, "B.J. Ackerson and N.A. Clark, Physical Review A **30**, 906-918 (1984).

56. "DIRECT MEASUREMENT OF ORIENTATION CORRELATIONS: OBSERVATION OF THE LANDAU-PEIERLS DIVERGENCE IN A FREELY SUSPENDED TILTED SMECTIC FILM," D.H. Van Winkle and N.A. Clark, Physical Review Letters **53**, 1157-1160 (1984).

obeikandl.com

57. "FAST AND BISTABLE ELECTRO-OPTICS USING FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark, S.T. Lagerwall and J. Wahl, *Proceedings of the Fourth Display Research Conference (Eurodisplay 1984) of the Society for Information Display,* (1984) 73-76.

58. *Ferroelectrics*, Volumes **58** and **59**, Special Issue on Ferroelectric Liquid Crystals, R. Blinc, N.A. Clark, J. Goodby, A. Pikin and K. Yoshino, Eds. (1984).

59. "CHIRAL SMECTIC C OR H LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTICAL DEVICS AND PROCESS OF MAKING THE SAME," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, European Patent # **32**, .362 (1984).

60. "CRITICAL BEHAVIOR NEAR A VANISHING MISCIBILITY GAP," R.G. Johnston, N.A. Clark, P. Wiltzius and D.S. Cannell, Physical Review Letters **54**, 49-52 (1985).

61. "CO-EXISTING LYOTROPIC LIQUID CRYSTALS: COMMENSURATE, FACETED AND CO-PLANAR SINGLE HEXAGONAL (HII) DOMAINS IN LAMELLAR PHOTORECEPTOR MEMBRANES," S.M. Gruner, K.J. Rothschild, W.J. DeGrip and N.A. Clark, Journal de Physique **46**, 193-201 (1985).

62. "CHARACTERIZATION OF THE LOCAL STRUCTURE OF FLUIDS BY APERTURED CROSS-CORRELATION FUNCTIONS", B.J. Ackerson, T.W. Taylor and N.A. Clark, Physical Review A **31**, 3183-3193 (1985).

63. "LASER INDUCED BUCKLING OF A THIN FREE-STANDING CRYSTAL FILM," N.A. Clark, P.W. Young and J.F. Scott, Applied Optics **24**, 3685-3686 (1985).

64. FRICTION FACTORS FOR A LATTICE OF BROWNIAN PARTICLES," A.J. Hurd, N.A. Clark, R.C. Mockler and W.J. O'Sullivan, Journal of Fluid Mechanics 153, 401-416 (1985).

65. "POLYMER MICRODISCS," N.A. Clark, Journal de Physique Lettres **46**, L277-L281 (1985).

66. "SURFACE MEMORY EFFECTS IN LIQUID CRYSTALS: INFLUENCE OF SURFACE COMPOSITION," N.A. Clark, Physical Review Letters **55**, 292-295 (1985).

67. FLUCTUATIONS IN A FREELY SUSPENDED FERROELEC-

TRIC LIQUID CRYSTAL FILM," C.Y. Young, R.Pindak, N.A. Clark and R.B. Meyer, Physical Review Letters **40**, 773-776 (1978).

68. "OBSERVATION OF EXTENDED BOUNDARY LAYERS IN THE PERMEATIVE FLOW OF A SMECTIC A LIQUID CRYSTAL AROUND AN OBSTACLE," N.A. Clark, Physical Review Letters **40**, 1663-1666 (1978).

69. "ELECTRIC FIELD INDUCED BEND-UNDULATION INSTABILITY IN A FERROELECTRIC SMECTIC C," N.A. Clark, Applied Physics Letters **35**, 688-690 (1979).

70. "FREELY SUSPENDED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL FILMS: ABSOLUTE MEASUREMENTS OF POLARIZATION, ELASTIC CONSTANTS, AND VISCOSITIES," C.Rosenblatt, R. Pindak, N.A. Clark and R.B. Meyer, Physical Review Letters **42**, 220-223 (1979).

71. "ANOMOLOUS AMIDE I INFRARED ABSORPTION OF PURPLE MEMBRANE," K.J. Rothschild and N.A. Clark, Science **204**, 311-312 (1979).

72. "THERMODYNAMICS OF RE-ENTRANT NEMATIC-BILAYER SMECTIC A PHASE TRANSITION," N.A. Clark, Journal de Physique (Supplement C3) **40-C3**, 345-349 (1979).

73. "POLARIZED INFRARED SPECTROSCOPY OF ORIENTED PURPLE MEMBRANE," K.J. Rothschild and N.A. Clark, Biophysical Journal **25**, 473-487 (1979).

74. "SINGLE COLLOIDAL CRYSTALS," N.A. Clark, A.J. Hurd and B.J. Ackerson, Nature **281**, 57-60 (1979).

75. "OBSERVATION OF THE COUPLING OF CONCENTRATION FLUCTUATIONS TO STEADY STATE SHEAR FLOW," N.A. Clark and B.J. Ackerson, Physical Review Letters **44**, 1005-1008 (1980).

76. "TEMPERATURE BEHAVIOR OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL THIN FILMS.A CLASSICAL XY SYSTEM," C.Rosenblatt, R.B. Meyer, R.Pindak and N.A. Clark, Physical Review A **21**, 140-146 (1980).

77. "SUBMICROSECOND BISTABLE ELECTRO-OPTIC SWITCHING IN LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark and S.T. Lagerwall,

obeikandl.com

Applied Physics Letters **36**, 899-901 (1980).

78. "MACROSCOPIC ORIENTATION PATTERNS IN SMECTIC C FILMS," R.Pindak, C.Y. Young, R.B. Meyer and N.A. Clark, Physical Review Letters **45**, 1193-1196 (1980).
79. "SPECTROSCOPIC STUDY OF PHOTORECEPTOR MEMBRANE INCORPORATED INTO A MULTILAMELLAR FILM, K.J. Rothschild, N.A. Clark, K.M. Rosen, R.Sanches and T.L. A MULTILAMELLAR FILM," K.J. Rothschild, K.M. Rosen, R.Sanches and T.L. Hsiao, Biophysical and Biochemical Research Communications **92**, 1266-1272 (1980).
80. "INCORPORATION OF PHOTORECEPTOR MEMBRANE INTO A MULTILAMELLAR FILM," K.J. Rothschild, K.M. Rosen and N.A. Clark, Biophysical Journal **31**, 45-52 (1980).
81. "A SPECTROSCOPIC STUDY OF RHODOPSIN ALPHA-HELIX ORIENTATION," K.J. Rothschild, R. Sanches, T.L. Hsiao and N.A. Clark, Biophysical Journal **31**, 53-64 (1980).
82. "SURFACE-INDUCED LAMELLAR ORIENTATION OF MULTILAYER MEMBRANE ARRAYS: THEORETICAL ANALYSIS OF A NEW METHOD WITH APPLICATION TO AND CHOLESTERIC LIQUID CRYSTALS, "N.A. Clark and P.S. Pershan, Physical Review Letters **30**, 3-6 (1973).
83. "BRILLOUIN SCATTERING FROM SMECTIC LIQUID CRYSTALS," Y.Liao, N.A. Clark and P.S. Pershan, Physical Review Letters **30**, 639-641 (1973).
84. "STRAIN INDUCED INSTABILITY OF MONODOMAIN SMECTIC A AND CHOLESTERIC LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark and R.B. Meyer, Applied Physics Letters **22**, 493-494 (1973).
85. "CONTINUITY OF FLOW ALIGNMENT PARAMETERS ACROSS THE NEMATIC ISOTROPIC PHASE TRANSITION," N.A. Clark, Physics Letters **46A**, 171-172 (1973).
86. "RAMAN SCATTERING FROM A NEMATIC LIQUID CRYSTAL: ORIENTATION STATISTICS," S.Jen, N.A. Clark, P.S. Pershan and E.B. Priestly, Physical Review Letters **31**, 1552-1556 (1973).
87. "INELASTIC LIGHT SCATTERING FROM DENSITY FLUC-

Obeikandl.com

TUATIONS IN DILUTE GASES I: THE KINETIC-HYDRODYNAMIC TRANSITION IN A MONATOMIC GAS," N.A. CIark, Physical Review A **12**, 232-244 (1975).

88. "INELASTIC LIGHT SCATTERING FROM DENSITY FLUCTUATIONS IN DLLUTE GASES II: NONHYDRODYNAMIC BEHAVIOR OF A BINARY GAS MIXTURE," N.A. CLark, Physical Review A **12**, 2092-2105 (1975).
89. "PREPARATION OF LARGE MONODOMAIN PHOSPHOLIPID BILAYER SMECTIC LIQUID CRYSTALS," L.Powers and N.A. Clark, Proceedings of the National Academy of Science (USA) **72**, (1975) 840-843.
90. "INELASTIC LIGHT SCATTERING FROM ISOTROPIC MBBA," N.A. CLARK AND Y. Liao, Journal of Chemical Physics **63**, 4133-4138 (1975).
91. "COMBINED INTEGRATING THERMAL-PROPORTIONAL SERVICES FOR LONG TERM LASER FREQUENCY STABILIZATION," N.A. Clark, Applied Optics **15**, 1375 (I976).
92. "PRETRANSITIONAL MECHANICAL EFFECTS IN A SMECTIC LIQUID CRYSTAL," N.A. Clark, Physical Review A **14**, 1551-1554 (1976).
93. "FLUORESCENCE DEPOLARIZATION STUDIES OF CHLOROPHYLL IN ORIENTED LIPID MULTILAYERS," R.Bansil, L. Powers and N.A. Clark, Biophysical Journal **16**, 158 a (1976).
94. "POLARIZED RAMAN SCATIERING STUDIES OF ORIENTATIONAL ORDER IN UNIAXIAL LIQUID CRYSTALLINE PHASES," S.Jen, N.A. Clark, P.S. Pershan and E.B. Priestly, Journal of Chemical Physics **66**, 4635-4661 (1977).
95. "PARABOLIC FOCAL CONIC DEFECTS IN THE SMECTIC A PHASE,"C.S. Rosenblatt, R.Pindak, N.A. Clark and R.B.Meyer, Journal de Physique **38**, 1105-1115 (1977).
96. "PRETRANSITION BEHAVIOR NEAR THE RAYLEIGH-BENARD INSTABILITY," N.A. Clark, Bulletin of the American Physical Society 22, 70 (1977).
97. "MODULATORS, LINEAR ARRAYS, AND MATRIX ARRAYS USING FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS, "N.A. Clark, S.T.

Obeikandl.com

Lagerwall and J.Waht Proceedings of the Society for Information Display **26**, 133-140 (1985).

98. "STUDIES OF LOCAL ORDER IN FLUID STATES BY CROSS CORRELATION INTENSTIY FLUCTUATION SPECTROSCOPY," N.A. Clark, B.J. Ackerson and T.W Taylor, Journal de Physique (Supplement C3) 46-C3, 137-147 (1985).
99. "HIGHLY ORIENTED FIBRES OF DISCOTIC LIQUID CRYSTALS, "L.Y. Chiang, C.R. Safinya, N.A. Clark, K.S. Liang and A.N. Bloch, Journal of the Chemical Society, Chemical Communications No. **1744**, 695-696 (1985).
100. "PERSONAL-COMPUTER-BASED PROGRAMMABLE TEMPERATURE CONTROLLER FOR GENERAL LABORATORY APPLICATIONS," J.E. Maclennan, M.R. Meadows, M.A. Handschy and N.A. Clark, Review of Scientific Instruments **56**, 775 (1985).
101. "LASER-INDUCED FREEZJNG", A. Chowdhury, B.J. Ackerson and N.A. Clark, Physical Review Letters **55**, 833-836 (1985).
102. "SYNCHROTRON X-RAY SCATTERING STUDY OF FREELY SUSPENDED DISCOTIC STRANDS," C.R. Safinya, N.A. Clark, K.S. Liang, W.A. Varady and L.Y. Chiang, Molecular Crystals and Liquid Crystals **123**, 205-216 (1985).
103. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS FOR DISPLAYS," S.T. Lagerwall, J.Wahl and N.A. Clark, *Proceedings of the International Display Research Conference of the Institute of Electrical and Eletronic Engineers Group on Electron Devices*, (1985) 213-221.
104. "DISPOSITIF ELECTRO-OPTIQUE A CRISTAUX LIQUIDES CHIRAUX SMECTIQUES C OU H, N.A. Clark and S.T. Lagerwall, Swiss Patent # 647, 337 (1985).
105. NUCLEATION AND GROWTH OF COLLOIDAL CRYSTALS," D.J.W. Aastuen, N.A. Clark, and B.J. Ackerson, Physical Review Letters **57**, 1733 (1986)/
106. "SOLITARY WAVES IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS, "J.E. Maclennan, M.A. Handschy and N.A. Clark, Physical Review A **34**, 3554-3557 (1986).
107. "NANOMETER MOLECULAR LITHOGRAPHY," K. Douglas, N.A. Clark and K.J. Rothschild , Applied Physics Letters **48**, 676-678

(1986).

108. "DESIGN AND SYNTHESIS OF A NEW FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL FAMILY. LIQUID CRYSTALS CONTAINING A NONRACEMIC 2-ALKOXY-1-PROPOXY UNIT," D.M. Walba, S.C. Slater, W.N. Thurmes, N.A. Clark, M.A. Handschy and F.Supon, Journal of the American Chemical Society **108**, 5210-5221 (1986).

109 "DESIGN AND SYNTHESIS OF A NEW FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CONTAINING A NON-RACEMIC 2.3 EPOXY ALCOHOL UNIT," D.M. Walba, R.T. Vohra, N.A. Clark, M.A. Handschy, J-Z.Xue, S.T.Lagerwall and K. Skarp, Journal of the America Chemical Society **108**, 7424-7425 (1986).

110. "STRUCTURES AND APPLICATIONS OF SSFLC DEVICES," N.A. Clark, S.T. Lagerwall, *Proceedings of the Sixth International Display Research Conference of the Society for Information Display*, Tokyo, Japan, (1986) 456-458.

111. "NEUTRON SCATTERING (SANS) FROM CHARGE STABILIZED SUSPENSIONS UNDERGOING SHEAR," B.J. Ackerson, J.B. Hayter, N.A. Clark and L.K. Cotter, Journal or Chemical Physics **84**, 2344-2349 (1986).

112. "DEVICE APPLICATIONS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark and M.A. Handschy, Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers **625**, 60-61 (1986).

113. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # **4**, 563, 059 (1986).

114. "STERIC INTERACTIONS IN A MODEL MEMBRANE SYSTEM: A SYNCHROTRON X-RAY STUDY," C.R. Safinya, D.Roux, G.S. Smith, S.K. Sinha, P.Dimon, N.A. Clark and A.M. Bellocq, Physical Review Letters **57**, 2718-2721 (1986).

115. "OPTICAL LOGIC GATES USING FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," L.A. Pagano-Stauffer, K.M. Johnson, N.A. Clark and M.A. Handschy, Proceedings of the Society of Photo- Optical Instrumentation Engineers **684**, 88 (1986).

obeikandl.com

116. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL AND FAST NEMATIC SPATIAL LIGHT MODULATORS," D.Armitage, J.I. Thackara, N.A. Clark and M.A. Handschy, Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers **684**, 60-68 (1986).

117. "ELECTRIC FIELD EFFECTS IN POLYBALL SUSPENSIONS," P.Richetti, J. Prost and N.A. Clark, in *Physics of Complex and Supermolecular Fluids, S.A. Safran and N.A. Clark*, Eds. John Wiley and Sons, New York (1987), 387-412.

118. "DENSITY FLUCTUATION DYNAMICS IN A SCREENED COULOMB COLLOID: COMPARISON OF THE LIQUID AND BCC CRYSTAL PHASES," L.K. Cotter and N.A. Clark, Journal of Chemical Physics **86**, 6616-6621) (1987).

119. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL SPATIAL LIGHT MODULATOR," Armitage, J.I. Thackara, N.A. Claark and M.A. Handschy, Molecular Crystals and Liquid Crystals 144, 309-316 (1987).

120. ELECTRO-OPTICAL SWITCHING PROPERTIES OF UNIFORM LAYER TILTED SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," J.Z.Xue, M.A. Handschy and N.A. Clark, Liquid Crystals **2**, 707-716 [1987].

121. "COLLOIDAL CRYSTALS," N.A. Clark, *Mc Graw-Hill Encyclopedia of Science and Technology* **4**, (1987) 163-164.

122. "CHEVRON' LOCAL LAYER STRUCTURE IN SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC SMECTIC C CELLS," T.P. Rieker, N.A. Clark, Clark, G.S.Smith, D.S. Parmar, E.B. Sirota and C.R. Safinya, Physical Review Letters **59**, 2658-2661 [1987].

123. "ELECTRO-OPTIC RESPONSE DURING SWITCHING OF A FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELL WITH UNIFORM DIRECTOR ORIENTATION," J.-Z.Xue, M.A. Handschy and N.A. Clark, Ferroelectrics **73**, 305-314 (1987).

124. "SWITCHING DYNAMICS AND STRUCTURES OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS IN THE SURFACE STABILIZED GEOMETRY," J.E. Maclennan and N.A. Clark, Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers **822**, 47-51 (1987).

Meadows, Applied Physics Letters 53, 2397-2399 (1988).

OpenKanal.com

125. "DIRECTOR AND LAYER STRUCTURE OF SSFLC CELLS," N.A. Clark, T.P.Rieker and J.E. Maclennan, Ferroelectrics **85**, 79-97 (1988).

126. "MOLECULAR DESIGN OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS, "D.M. Walba and N.A. Clark, Ferroelectrics **84**, 65-72 (1988).

127. "DESIGN AND SYNTHESIS OF NEW FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS. 5. PROPERTIES OF SOME CHIRAL FLUORINATED FLCs-A DIRECT CONNECTION BETWEEN MACROSCOPIC PROPERTIES AND ABSOLUTE CONFIGURATION IN A FLUID PHASE," D.M. Walba, H.A. Razavi, N.A. Clark and D.S. Parmar, Journal of the American Chemical Society **110**, 8686-8691 (1988).

128. "METHODS FOR PARALLEL FABRICATION OF NANOMETER SCALE MULTI-DEVICE STRUCTURES," N.A. CLARK, K. Douglas and K.J. Rothschild, U.S. Patent # **4**, 802, 951 (1989).

129. "DEVICE APPLICATIONS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS: IMPORTANCE OF POLARIZATION CHARGE INTERACTIONS," Z.Zhuang, J.E. Maclennan and N.A. Clark, Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers **1080**, 110-114 (1989).

130. "ELECTRO-OPTIC SWITCHING DEVICES USING FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," M.A. Handschy and N.A. Clark, U.S. Patent # **4**, 813771 (1989).

131. " DESIGN AND SYNTHESIS OF NEW FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS 9.AN APPROACH TO CREATION OF ORGANIC POLYMER THIN FILMS WITH CONTROLLED, STABLE POLAR ORIENTATION OF FUNCTIONAL GROUPS," D.M. Walba, P.Keller, D.S. Parmar, N.A. Clark and M.D. Wand, Journal of the American Chemical Society **111**, 8273-8274 (1989).

132. "NOVEL LIQUID-CRYSTAL PHASE-TRANSITION BEHAVIOR AT THE CHIRAL NEMATIC-SMECTIC-A-SMECTIC-C POINT," D.S. Parmar, N.A. Clark, D.M. Walba and M.D. Wand, Physical Review Letters **62**, 2136 -2139 (1989).

Open-Kandil.com

133. "ELECTRO-OPTIC SWITCHING USING TOTAL INTERNAL REFLECTION BY A FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL", M.R. Meadows, M.A. Handschy and N.A. Clark, Applied Physics Letters **54**, 1394-1396 (1989).

134. "LAYER AND DIRECTOR STRUCTURE IN SURFACE STABIL IZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS WITH NON-PLANAR BOUNDARY CONDITIONS," T.P. Rieker, N.A. Clark, G.S. Smith and C.R. Safinya, Liquid Crystals **6**, 565-576 (1989).

135. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS: THE DEVELOPMENT OF DEVICES," S.T. Lagerwall, N.A. Clark, J.Dijon and J.F. Clerc, Ferroelectrics **94**, 3-62 (1989).

136. "A NOVEL APPLICATION OF THE MOLECULAR RECOGNITION PARADIGM: DESIGN OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," D.M. Walba, .A. Clark, H.A. Razavi, K.F. Eidman, R.C. Haltiwanger and D.S. Parmar, Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers **1080**, 115-122 (1989).

137. "RAMAN SCATTERING FROM FREELY SUSPENDED LIQUID CRYSTAL FILMS," D.H. Van Winkle, S.B. Dierker and N.A. Clark, Journal of Chemical Physics 91, 5212-5217 (1989).

138. "EFFECT OF THE TRANSVERSE DIPOLE MOMENT ON THE SMECTIC - A - SMECTIC- C (OR - CHIRAL - SMECTIC - C) TRANSITION, H.Y. Liu, C.C.Huang, T.Min, M.D. Wand, D.M. Walba and N.A. Clark, Physical Review, Rapid Communications **40**, 6759-6762 (1989).

139. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # **4**, 813, 767 (1989).

140. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # **4**, 840,463 (1989).

141. "DETERMINATION OF THE COLLOIDAL CRYSTAL NUCLEATION RATE DENSITY,"D.J.W. Aastuen, N.A. Clark, J.C.Swindal and C.D. Muzny, Phase Transitions **21**, 139-155 (1990).

142. "A NOVEL APPLICATION OF THE HOST-GUEST

PARADIGM: DESIGN OF ORGANIC OPTO-ELECTRONIC MATERIALS," D.M.Walba, N.A. Clark, H.A.Razavi and D.S. Parmar, *Inclusion Phenomena and Molecular Recognition,* J.L. Atwood, Ed., Plenum Press, New York, (1990) 81-92.

143. "STATISTICAL GEOMETRY OF SIMPLE LIQUIDS IN TWO DIMENSIONS, "M.A. Glaser and N.A. Clark, Physical Review A **41**, 4585-4588 (1990).

144. "ANISOTROPIC THERMAL-LENS EFFECT IN FERROELECTRIC Ba2NaNb5O15 ATTc," J.F. Scott, S.-J. Sheih, K.R. Furer and N.A. Clark, Physical Review B **41**, 9330-9335 (1990).

145. "ANALOG SIMULATION OF MELTING IN TWO DIMENSIONS," B.Pouligny, R. Malzbender, P.Ryan and N.A. Clark, Physical Review B **42**, 988-991 (1990).

146. "GEOMETRICAL QUASIPARTICLE CONDENSATION MODEL OF MELTING IN TWO DIMENSIONS," M.A. Glaser, N.A. Clark, A.J. Armstrong and P.D. Beale, in *Dynamics and Patterns in Complex Fluids,* M.Doi and A. Onuki, Eds., Springer, New York, 141-152 (1990).

147. "X-RAY STRUCTURAL STUDIES OF FREELY SUSPENDED HYDRATED DMPC MULTI-MEMBRANE FILMS, "G. Smith, E.B. Sirota, C.R. Safinya and N.A Clark, Journal of Chemical Physics **92**, 4519-4529 (1990).

148. "PHYSICAL PROPERTIES AND ALIGNMENT OF A POLYMER-MONOMER FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL MIXTURE," D.S. Parmar, N.A. Clark, P. Keller, D.M. Walba and M.D. Wand, Journal de Physique **51**, 355-368 (1990).

149. "COMPOSITE BIOMOLECULAR/SOLID STATE NANOSTRUCTURES," K. Douglas, N.A. Clark and K.J. Rothschild, Journal of the Materials Research Society **174**, 151-156 (1990).

150. "PROXIMITY EFFECT FOR SCROLLING SPATIAL LIGHT MODULATOR APPLICATIONS OF SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL (SSFLC) SWITCHING," R.E. Brooks, N.A. Clark, M.A. Handschy, T.P.Rieker, Applied Physics Letters **56**, 1646-1648 (1990).

151. "DIRECTOR ORIENTATION IN CHEVRON SURFACE-

STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS: VERIFICATION OF ORIENTATIONAL BINDING AT THE CHEVRON INTERFACE USING VISIBLE POLARIZED LIGHT TRANSMISSION SPECTROSCOPY," J.E. Maclennan, N.A. Clark, M.A. Handschy and M.R.Meadows, Liquid Crystals **7**, 753-785 (1990).

152. "DIRECTOR REORIENTATION DYNAMICS IN CHEVRON FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS," J.E. Maclennan, M.A. Handschy and N.A. Clark, Liquid Crystals **7**, 787-(1990).

153. "BIOMOLECULAR/SOLID STATE NANOHETEROSTRUCTURES, "K.Douglas, N.A. Clark and K.J. Rothschild, Applied Physics Letters **56**, 692-694 (1990).

154. "SURFACE ELECTROCLINIC EFFECT IN CHIRAL SMECTIC-A LIQUID CRYSTALS," J.Z. Xue and N.A. Clark, Physical Review Letters **64**, 307-310 (1990).

155. "THE STRUCTURE OF ELECTRIC-FIELD-INDUCED LAYER DEFECTS IN SURFACE-STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DISPLAY CELLS, "P.C.Willis, N.A. Clark and J.-Z.Xue, Proceedings of Society for Information Display International Symposium Digest of Technical Papers XXI, 114-116 (1990).

156. "SURFACE-STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTIC WAVEGUIDE SWITCH," N.A. Clark and M.A. Handschy, Applied Physics Letters **57**, 1852-54 (1990).

157. "THE TILING STRUCTURE OF SIMPLE LIQUIDS: SQUARES AND TRIANGLES IN TWO DIMENSIONS," M.A. Glaser and N.A. Clark, in *Geometry and Thermodynamics,* P.Toledano and J.C.Toledano, Eds., Plenum, New York, (1990) 193-204.

158. "UNIVERSAL BEHAVIOR IN PHOSPHOLIPID MULTIMEMBRANE SYSTEMS, "E.B. Sirota, C.R. Safinya, G.S. Smith, R. Plano, D.Roux and N.A. Clark, in *Geometry and Thermodynamics,* P. Toledano and J. Toledano, Eds., Plenum, New York, (1990) 255-263.

159. "CHIRAL SMECTIC C OR H LIQUID CRYSTAL ELECTRO-OPTICAL DEVICE, "Japanese Patent # **1,** 555,765 (1990).

160. "FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS DESIGNED FOR ELECTRONIC NONLINEAR OPTICAL APPLICATIONS," D.M. Walba, M.B. Ros, N.A. Clark, R.Shao, K.M.Johnson, M.G.Robinson,

obeikandl.com

J.Y.Liu and D. Doroski in Materials for Nonlinear Optics: Chemical Perspectives, G.D. Stucky, Ed., American Chemical Society, Washington D.C., (1990) 484-496.

161. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # 4,958,916 (1990).

162. "OPTICAL SYMMETRY OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS," Z. Zhuang, N.A. Clark, J.E. Maclennan, Japanese Journal of Applied Physics **29**, L2239- L2242 (1990).

163. "EVOLUTION OF THE BOULDER MODEL FOR THE MOLECULAR ORIGINS OF THE POLARIZATION IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," D.M. Walba, H.A. Razavi, A. Horiuchi, K.F. Eidman, B.Otterholm, R.C. Haltiwanger, N.A. Clark, R.F. Shao, D.S Parmar, M.D.Wand and and R.T. Vohra, Ferroelectrics **113**,21-36 (199).

164. "CHEVRON LAYER STRUCTURES IN SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL (SSFLC) CELLS FILLED WITH A MATERIAL WHICH EXHIBITS THE CHIRAL NEMATIC TO SMECTIC C* PHASE TRANSITION," T.P. Rieker, N.A. Clark and C.R. Safinya, Ferroelectrics **113**, 245-256 (1991).

165. "THERMAL FLUCTUATION EFFECTS IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL POLARIZATION REVERSAL: LIGHT SCATTERING FROM A TRANSIENT DOMAIN WALL FOAM, J.E. Maclennan and N.A. Clark, Physical Review A **44**, 2543-2557 (1991).

166. "TOTAL-INTERNAL-REFLECTION STUDY OF A COLLOIDAL CRYSTAL-CONTAINER WALL INTERFACE," B.Pouligny, D.J.W. Aastuen and N.A. Clark, Physical Review A **44**, 6616-6625 (1991).

167. "LIQUID CRYSTALS WITH A CHIRAL CORE: CYCLOHEXENE CARBOXYLATES," L.Zhong, B.M. Fung, R.J. Twieg, K. Betterton, D.M. Walba, R.F. Shao and N.A. Clark, Molecular Crystals and Liquid Crystals **199**,379-386, (1991).

168. "AN APPROACH TO THE DESIGN OF FERROELECTRIC

obeikandl.com

LIQUID CRYSTALS WITH LARGE SECOND ORDER ELECTRONIC NONLINEAR OPTICAL SUSCEPTIBILITY," D.M. Walba, M.Blanca Ros, N.A. Clark, R. Shao, K.M. Johnson. M.G. Robinson, I.Y.Liu and D.Doroski, Molecular Crystals and Liquid Crystals **198**, 51-60, (1991).

169. "VISIBLE POLARIZED LIGHT TRANSMISSION SPECTROSCOPY OF ELECTRO-OPTIC SWITCHING BEHAVIOR IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS", Z. Zhuang, N.A.Clark, J.E.Maclennan, Liquid Crystals **10**, 409-417 (1991).

170. "INTRODUCTION TO FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," N.A. CLARK AND S.T. Lagerwall, in *Ferroelectric Liquid Crystals: Principles, Properties and Applications, J. Goodby, Ed., Gordon and* Breach, New York, (1991) 1-97.

171. "APPLICATIONS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, in *Ferroelectric Liquid Crystals: Principles, Properties and Applications,* J.Goodby, Ed., Gordon and Breach, New York, (1991) 409-461.

172. "USE OF THE BOULDER MODEL TO PREDICT COUPLING BETWEEN DIPOLES IN THE CORE AND CHIRAL TALL OF FLUORINATED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," M.D. Wand, R. Vohra, D.M. Walba, N.A. Clark and R.Shao. Molecular Crystal and Liquid Crystals **202**, 183-192 (1991).

173. "DYNAMIC BENDING RIGIDITY OF SURFACTANT LAYERS IN SWOLLEN LYOTROPIC LAMELLAR LIQUID CRYSTAL PHASE," S.Mangalampalli, N.A. Clark and J.F. Scott, Physical Review Letters **67**, 2303-2306 (1991).

174. "SCANNING TUNNELING MICROSCOPE SURFACE IMAGING AND ETCHING OF SINGLE CRYSTALS OF THE HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTOR TI2BA2CuO6+q, "D.C. Parks, J.H. Wang, N.A. Clark and A.M. Hermann, Applied Physics Letters **59**, 1506- 1508 (1991).

175. "EFFECTS OF FINITE LASER COHERENCE IN QUASIELASTIC MULTIPLE SCATTERING," T.Bellini, M.A. Glaser, N.A. Clark and V.Degiorgio, Physical Review A **44**,

5215-5223 (1991).

176. "TOTAL INTERNAL REFLECTION STUDIES OF A FERROEL ECTRIC LIQUID CRYSTAL-ANISOTROPIC SOLID INTERFACE," Z.Zhuang, N.A. Clark and M.R. Meadows, Proceedings of SPIE - the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers **1455**, 105-109 (1991).

177 *Ferroelectrics*, Volumes **121, 122**, Proceedings of the Third International Conference, on Ferroelectric Liquid Crystals, N.A. Clark, D.M. Walba, M.A. Handschy and G.Moddel, Eds. (1991).

178. "IONIC TRANSPORT EFFECTS IN SSFLC CELLS," Z.Zou, N.A. Clark and M.A. Handschy Ferroelectrics **121**, 147-158 (1991).

179. "THE FIELD INDUCED STRIPE TEXTURE IN SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS, "R.F. Shao, P.C. Willis and N.A Clark, Ferroelectrics **121**, 127-136 (1991).

180. "LARGE ELECTROCLINIC EFFECT IN NEW LIQUID CRYSTAL MATERIAL," P.A. Williams, N.A. Clark, M.B. Ros, D.M. Ros, D.M. Walba and M.D. Wand, Ferroelectrics **121**, 143-146 (1991).

181. DESIGN AND SYNTHESIS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS. 15. FLC MATERIALS FOR NONLINEAR OPTICAL APPLICATIONS," D.M. Walba, M.B. Ros, T.Sierra, J.A. Rego, N.A. Clark, R.F. Shao, M.D. Wand, R.T. Vohra, K.E. Arnett and S.P. Velsco, Ferroelectrics **121**, 247-257 (1991).

182. "DIRECTOR STRUCTURES OF A CHIRAL SMECTIC I LIQUID CRYSTAL IN THE SURFACE STABILIZED GEOMETRY," R.Shao, Z. Zhuang and N.A. Clark, Ferroelectrics **122**, 213-220 (1991).

183. "CONFERNCE SUMMARY: THIRD INTERNATIONAL FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CONFERENCE (FLC 91)," N.A. Clark and D.M. Walba, Condensed Matter News **1**.No. 2,5 (1991).

184. "CONFERENCE SUMMARY: THIRD INTERNATIONAL FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CONFERENCE (FLC91), N.A. Clark and D.M. Walba, Liquid Crystals Today **1**, No. 3,4

openkanal.com

(1991).

185. "DESIGN AND SYNTHESIS OF NEW FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS. 14. AN APPROACH TO THE STEREOCONTROLLED SYNTHESIS OF POLAR ORGANIC THIN FILMS FOR NONLINEAR OPTICAL APPLICATIONS," D.M. Walba, M.B. Ros, N.A. Clark, R.F. Shao, M.G. Robinson, J.Y. Liu, K.M. Johnson and D.Doroski, Journal of American Chemical Society **113**, 5471-5474 (1991).

186. "THE MEASUREMENT OF SECOND HARMONIC GENERATION IN NOVEL FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL MATERIALS", J.Y. Liu, M.G. Robinson, K.M. Johnson, D.M. Walba, M. Blanca Ros, N.A. Clark, R.F. Shao and D.Doroski, Journal of Applied Physics **70**, 3426-3430 (1991).

187. "THE LAYER AND DIRECTOR STRUCTURES OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," T.P. Rieker and N.A. Clark, in *Phase Transitions in Liquid Crystals*, S. Martellucci, Ed., Plenum, New York, (1992) 287-342.

188. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, Patent # **5**,083,855 (1992).

189. "ORIENTATIONAL PLASTICITY AT A SMECTIC-LIQUID CRYSTAL-ANISOTROPIC-SOLID INTERFACE," Z.Zhuang, N.A. Clark and M.R. Meadows, Physical Review A; Rapid Communications **45**, 6981-6984 (1992).

190. "MOLECULAR DIRECTOR AND LAYER RESPONSE OF CHEVRON SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS TO LOW ELECTRIC FIELD," P.C. Willis, N.A. Clark and C.R. Safinya, Liquid Crystals **11**, 581-592 (1992).

191. DIRECTOR-POLARIZATION REORIENTATION VIA SOLITARY WAVES IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," I.Abdulhalim, G.Moddel and N.A. Clark, Applied Physics Letters **60**, 551-553 (1992).

192. "DIRECT OBSERVATIONS OF THE BROWNIAN MOTION OF A LIQUID CRYSTAL TOPOLOGICAL DEFECT," C.D. Muzny and N.A. Clark, Physical Review Letters **68**, 804-807 (1992).

Obeikandl.com

193. "SOLITARY WAVES IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," J.E. Maclennan, N.A. Clark and M.A. Handschy in *Solitons Liquid Crystals,* L.Lam and J.Prost, Eds., Springer, New York, (1992) 151-190.

194. "TRANSFER OF BIOLOGICALLY-DERIVED NANOMETER-SCALE PATTERNS TO SMOOTH SUBSTRATES, "K. Douglas, G.Devaud and N.A. Clark, Science **257**,642-644 (1992).

195. "CONTROL OF GAS PERMEATION VIA ELECTROHYDRODYNAMIC CONVECTION IN A LIQUID CRYSTAL MEMBRANE," C.Wan R.D. Noble and N.A. Clark, Journal of Membrane Science **74**, 223-231 (1992).

96. "THEORY OF EVANESCENT LIGHT WAVE SCATTERING AT THE SOLID-NEMATIC INTERFACE," M. Copic, C.S. Park and N.A Clark, Molecular Crystals and Liquid Crystals **222**, 111-118 (1992).

197. "LOCAL LAYER STRUCTURE OF THE STEEP FIELD LINE DEFECT IN SURFACE-STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS," P.C. Willis, N.A. Clark, J.-Z. Xue and C.R. Safinya, Liquid Crystals **12**, 891-904 (1992).

198. "PHASE BEHAVIOR OF THE LIQUID CRYSTAL 8CB IN A SILICA AEROGEL", T.G. BELLINI, N.A. CLARK, L.WU, C.W. GARLAND, D.W. SCHAEFER AND B.J. Olivier, Physical Review Letters **69**, 788-791 (1992).

199. "STRING DEFECTS IN FREELY SUSPENDED LIQUID CRYSTAL FILMS," J.Z. PANG, C.D. Muzny and N.A. Clark Physical Review Letters **69**, 2783-2786 (1992).

200. "NANOSTRUCTURE FABRICATION USING BIOMOLECULAR TEMPLATES," K. Douglas, G.Devaud, M.K. Lyon and N.A. Clark, in *Physics and Chemistry of Finite Systems: from Clusters to Crystals* Vol II, P. Jena, S.N. Khanna and B.K. Rao, Eds. Kluwer Academic, Dordrecht, (1992) 1183-1191.

201. "X-RAY DIFFRACTION STUDIES OF TUBULES FORMED FROM A DIACETYLENIC PHOSPHOCHOLINE LIPID," B. Thomas, C.R. Safinya, R.j. Plano, N.A. Clark, B.R. Ratna and R. Shashidhar, Materials Research Society Symposium Proceedings **248**,

openkanal.com

83-87 (1992).

202. "APPLICATIONS OF LIQUID CRYSTALS IN OPTICAL COMPUTING," N.A. Clark and K.M. Johnson in *Liquid Crystals: Applications and Uses, Vol.* 3. Bahadur, Ed., World Scientific, Canada, (1992) 209-252.

203. "COLLOIDAL CRYSTALS," N.A. CLark *McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology* **4**, 7 th ed. (1992) 148-150.

204. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL SWITCHING USING PROXIMITY EFFECTS," N.A. Clark and M.A. Handschy, U.S. Patent # **5**,103,329 (1992).

205. ELECTRO-OPTIC SWITCHING DEVICES USING FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," M.A. Handschy and N.A. Clark, Canadian Patent # **1,299**,721 (1992).

206. "STUDIES ON FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL TOLAN DERIVATIVES DESIGNED FOR NONLINEAR OPTICAL APPLICATIONS," D.M. Walba, J.A. Rego, N.A. Clark and R.F. Shao, Materials Research Society Symposium Proceedings **277**, 205-216 (1992).

207. "SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL DEVICES," N.A. Clark and S.T. Lagerwall, U.S. Patent # **5**,225,905 (1993).

208. "STRUCTURE OF 2-PHENYLACETOPHENONE," T.P Rieker, C.Haltiwanger, K.Eidman, D.W. Walba, N.A. Clark, and A.C. Larson, Acta Crystallographica **C49**, 406-408 (1993).

209. "X-RAY SCATTERING STUDY OF SMECTIC ORDERING IN A SILICA AEROGEL," N.A. Clark, T.G. Bellini, R.M. Malzbender, B. Thomas, A.G. Rappaport, C.D. Muzny, D.W. Schaefer, and L. Hrubesh, Physical Review Letters **71**, 3505-3508 (1993).

210. "STROBOSCOPIC MICROSCOPY OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," J.Xue and N.A. Clark, Physical Review E **48**,2043- 2054 (1993).

211. "MELTING AND LIQUID STRUCTURE IN TWO DIMENSIONS," M.A. Glaser and N.A. Clark, in *Advances in Chemical Physics,* Vol. LXXXIII, I.Prigogine and S.A. Rice, eds., John Wiley & Sons, Inc., (1993) 543-709.

212. "THE MOUNTAIN DEFECT: A NEW KIND OF PLANAR DEFECT IN SURFACE STABILIZED SMECTIC C LIQUID CRYSTAL CELLS," Z.Zhuang, A.G.Rappaport and N.A. Clark, Liquid Crystals **15**, 417-427 (1993).

213. "SCANNING TUNNELING MICROSCOPY OF COEXISTING 2D CRYSTALLINE 1D STACKING DISORDERED PHASES AT THE CHIRAL LIQUID CRYSTAL-GRAPHITE INTERFACE," D.C. Parks, N.A. Clark, D.M. Walba and P.D. Beale, Physical Review Letters **70**,607-611 (1993).

214. "BACKFLOW EFFECTS IN SSFLC SWITCHING," Z.Zou, N.A. Clark and T.Carlsson, Liquid Crystal Materials, Devices and Applications II, U.Efron and M.D. Wand, eds., Proceedings of SPIE-the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers **1911**, 77-86 (1993).

215. "SHEAR-INDUCED MELTING OF TWO-DIMENSIONAL SOLIDS," T.Weider, M.A. Glaser, H.J.M. Hanley and N.A. Clark, Physical Review B **47**, 5622-5628 (1993).

216. "STUDIES OF THE HIGHER ORDER SMECTIC PHASE OF THE LARGE ELECTROCLINIC EFFECT MATERIAL W317," P.A. Williams, L.Komitov, A.G. Rappaport, B.N Thomas, N.A. Clark, D.M. Walba and G.W. Day, Liquid Crystals **14**, 1095-1105 (1993).

217. "ARE SHORT-PITCH BISTABLE FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS SURFACE STABILIZED?" R. Shao, Z.Zhuang, and N.A. Clark, Liquid Crystals **14**, 1079-1086 (1993).

218. "USE OF POLAR SOLVENTS IN AN ELECTROCONVECTIVE LIQUID MEMBRANE FOR GAS SEPARATION," C. Wan, R.D. Noble, and N.A. Clark Journal of Membrane Science **84**, 191-196 (1993).

219. THEORETICAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF BACKFLOW ON THE DYNAMICAL BEHAVIOUR OF A FREDERICKS TRANSITION OF A FERROELECTRIC SMECTIC C * LIQUID CRYSTAL IN THE BOOKSHELF GEOMETRY," T. Carlsson, N.A. Clark, and Z.Zou, Liquid Crystals **4**, 461-477 (1993).

220. "ELECTRIC FIELD INDUCED TRANSITIONS FROM TGBA *

openkandil.com

AND TGBC* SMECTIEC A * AND C* STATES," R.Shao, J. Pang, N.A. Clark, J.A. Rego, and D.M. Walba, Ferroelectrics **147**, 255-262 (1993).

221. "HIGH PERFORMANCE ELECTROCLINIC MATERIALS," D.M. Walba, D.J. Dyer, R. Shao, N.A. Clark, and M.D. Wand Ferroelectrics **147**, 435-442 (1993).

222. "DYNAMIC BEHAVIOR AT A NEMATIC LIQUID CRYSTAL-RUBBED NYLON INTERFACE USING EVANESCENT WAVE PHOTON CORRELATION SPECTROSCOPY," C.S. Park, M. Copic, R.Mahmood, and N.A. Clark, Liquid Crystals **16**, 135-142 (1994).

223. "INFLUENCE OF BACKFLOW ON THE REORIENTATION DYNAMICS OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS," Z.Zou, N.A. Clark and T.Carlsson, Physical Review E 49, 3021-3030 (1994).

224. "THEORY OF ORIENTATIONAL MODES AT A NEMATIC-SOLID INTERFACE: WHEN DO SURFACE MODES APPEAR?" M.Copic, N.A. Clark, Liquid Crystals **17**, 149-155 (1994).

225. "SOLITON SWITCHING IN FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS AND THEIR TRANSIENT ELECTRO - OPTIC RESPONSENT," I. Abdulhalim, G.Moddel, and N.A. Clark, Journal of Applied Physics **76**, 820-831 (1994).

226. "THXTURES IN HEXATIC FILMS OF NON-CHIRAL LIQUID CRYSTAL: SYMMETRY BREAKING AND MODULATED PHASES," J.E. Maclennan, U.Sohling, N.A. Clark, and M. Seul, Physical Review E **49**, 3207-3224 (1994).

227. "GLANT FIELD-INDUCED DEFORMATION OF NEMATIC AND ISOTROPIC LIQUID CRYSTAL DROPS," C.S. Park, N.A. Clark, and R.D. Noble, Physical Review Letters **72**, 1838-184I (1994).

228. "THEORY OF CHIRAL-RACEMIC MIXTURES NEAR THE SMECTIC C-SMECTIC A TRANSITION POINT: DEPENDENCE OF SPONTANEOUS POLARIZATION AND TRANSITION TEMPERATURE ON ENANTIOMETRIC EXCESS," V.V. Ginzburg, R. Shao, N.A. Clark, and D.M. Walba, Proceedings of

Obeikandl.com

SPIE- the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers **2175**, 102-107 (1994).

229. "BIOLOGICALLY DERIVED NANOMETER-SCALE PATTERNING ON CHEMICALLY MODIFIED SILICON SURFACES," B.W. Holland, K.Douglas, and N.A. Clark, Materials Research Society Symposium Proceedings **328**, 121-126 (1994).

230. "ATOMIC-DETAIL SIMULATION STUDIES OF TILTED SMECTICS," M.A. Glaser R. Malzbender, N.A. Clark, and D.M. Walba, Journal of Physics: Condensed Matter **6**, A261-A268 (1994).

231. "OBSERVATION OF A CHIRAL-SYMMETRY-BREAKING TWIST-BEND INSTABILITY IN ACHIRAL FREELY SUSPENDED LIQUID CRYSTAL FILMS," J.Pang and N.A. Clark, Physical Review Letters **73**, 2332-2335 (1994).

232. DYNAMIC LIGHT SCATTERING STUDY OF NEMATIC AND SMECTIC A LIQUID CRYSTAL ORDERING IN SILICA AEROGEL, "T. Bellini, N.A. Clark, and D.W. Schaefer, Physical Review Letters **74**, 2740-2743 (1995).

233. "AMACROSCOPIC THEORY FOR THE FLOW BEHAVIOUR OF SmC AND SmC* LIQUID CRYSTALS," T. Carlsson, F.M. Leslie, and N.A. Clark, Liquid Crystals **ZZ**, zz-zz (1995).

234. "CONTINUED STUDIES OF AN ELECTROCONVECTIVE LIQUID MEMBRANE FOR GAS SEPARATION," J.G. Collins, R.D. Noble, C.S. Park, and N.A. Clark (1994), Journal of Membrane Science **99**, 249-257 (1995).

235. "FLOW COUPLED SWITCHING EQUATIONS FOR SURFACE STABILIZED FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL CELLS," Z.Zou, N.A. Clark, and T. Carlsson, Japanese Journal of Applied Physics **34**, 560-565 (1995).

236. "ANNIHILATION RATE AND SCALING IN A TWO-DIMENSIONAL SYSTEM OF CHARGED PARTICLES," W.G. Jang, V.V. Ginzburg, C.D. Muzny, and N.A. Clark, Physical Review E **51**, 411-417 (1995).

237. "DYNAMIC BEHAVIOR OF OSCILLATORY PLASTIC FLOW IN A SMECTIC LIQUID CRYSTAL," R.Herke, N.A. Clark, and .A. Handschy, Physical Review E**ZZ**, zz-zz (1995).

238. "STATISTICS OF LOCAL ORDER IN TWO DIMENSIONAL LIQUIDS: THE GEOMETRICAL DEFECT CONDENSATE

CONTROLS THE STATISTICS OF LOCAL ORDER IN A TWO DIMENSIONAL LIQUID, "M.A. Glaser and N.A. Clark, Science **ZZ**, zz-zz (1995).

239. "PREPARATION OF SELF-ASSEMBLED MONOLAYERS ON FLOAT GLASS USING TRIALKOXYSILANES," D.M. Walba, C.A. Liberko, K.Douglas, S.D. Williams, A.F. Klittnick, and N.A. Clark, Chemistry of Materials **ZZ**, zz-zz (1995).

240. "PUMPING LIQUID CRYSTALS," Z.Zou and N.A. Clark, Physical Review Letters **ZZ**, zz-zz (1995)

241. "LIPID TUBULE SELF-ASSEMBLY: LENGTH DEPENDENCE ON COOLING RATE THROUGH A FIRST ORDER PHASE TRANSITION," B. Thomas, C.Safinya, R.Plano, and N.A. Clark, Science **267**, 1635-1638 (1995).

242. "STRESS-INDUCED VORTEX LINE HELIXING AVALANCHES IN THE PLASTIC FLOW A SMECTIC A LIQUID CRYSTAL," R. Herke, N.A. Clark, and M. Handschy, Science **267**, 651-654 (1995).

243. NEAR-ATOMIC RESOLUTION IMAGING OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTAL MOLECULES ON GRAPHITE BY STM", D.Walba, F. Stevens, D. Parks, N.A. Clark, Science **267**, 1144-1147 (1995).

244. "ATOMIC-DETAIL SIMULATION STUDIES OF SMECTIC LIQUID CRYSTALS," M.A. Glaser, R. Malzbender, N.A. Clark, and D.M. Walba, Molecular Simulation **ZZ**, zz-zz (1995).

245. "COMBINED INFLUENCE OF X-RAYS AND ELECTRIC FIELDS ON SMECTIC LAYERS IN ZLI 3554 SSFLC CELLS," P.C. Willis, W.J.A.M. Hartmann, N.A. Clark, A. Rappaport, B. Thomas and C.R, Safinya, Liquid Crystals **ZZ**, zz-zz (1995).

246. "NUMERICAL SIMULATION OF NANOPATTERN FORMATION FROM PROTEIN CRYSTAL MASKS: MODELING BY CURVATURE DEPENDENTION MILLNG AND SURFACE SELF-DIFFUSION," T.A. Winningham, Z.Zou, R. Weekley, K. Douglas, and N.A. Clark, Science **257,** 642 (1992).

247. "8CB POROUS GLASSES: A DNMR AND SPECIFIC HEAT STUDY," G. Iannacchione, C, Yeager, D.Finotello, A.Rappaport, N.A. Clark, and F.Aliev, Physical Review Letters **71**, 295 (1993).

Obeikandl.com

obeikandl.com

رقم الإيداع : ٣٠٧٥ / ٩٨

مطابع الكتب المصرى الحديث
MODERN EGYPTIAN PRESS
ت : ٢٢٩١٠٧١ - ٢٢٩١٠٧٢ - فاكس ٢٢٩١٠٧٣

obeikandl.com