Pantallas de cristal líquido: Principios y aplicaciones

Emanuel Chironi

Instrumentación y control Primer cuatrimestre 2019

compiled: May 8, 2019

1. Cristales líquidos

Algunos materiales son capaces de adoptar un estado de agregación que se encuentra a medio camino entre los sólidos cristalinos y los líquidos isotrópicos. A los materiales que se encuentran en esta fase se les denomina **cristales líquidos**. Existen distintas maneras en que un material puede alcanzar dicha fase, lo cual permite clasificar a los cristales líquidos en **termotrópicos** y **liotrópicos**. En los primeros, que son los que aquí interesan, la fase se alcanza calentando un sólido o enfriando un líquido.

La forma de las moléculas es un factor importante. En la gran mayoría de los cristales líquidos de aplicación práctica, las moléculas tienen una forma alargada, con simetría de rotación alrededor del eje longitudinal (forma de vara o cigarrillo). Se les denomina moléculas **calamíticas**.

A diferencia de un líquido, cuyas moléculas no poseen orden alguno y son libres para moverse en todas las direcciones, el cristal líquido posee cierto grado de **orden de orientación y posición**. Para caracterizarlo, es posible definir un vector **director**, que marca la dirección promedio de las moléculas.

Un cristal líquido termotrópico va experimentando distintas subfases, dentro del estado general, a medida que la temperatura aumenta. Al calentarse un sólido cristalino aparece la **subfase esmética**, que es viscosa y fluida. Las moléculas se organizan unas al lado de otras en capas y sus movimientos están limitados solamente dentro de las capas, las cuáles son libres de deslizarse unas sobre otras.

Al incrementar la temperatura aparece la **subfase nemática**, en la cual las moléculas se alinean en una dirección aproximadamente paralela, unas respecto de otras y de una capa a otra, de modo que solamente hay un orden orientacional unidimensional y sin orden posicional. Las moléculas pueden trasladarse en todas las direcciones (por eso no hay orden posicional) y rotar libremente alrededor de su eje orientacional, pero sin romper su orientación.

2. Propiedades

La estructura y orden de orientación de las moléculas en un cristal termotrópico calamítico en fase nemática, generan un comportamiento anisótropo del cristal líquido, en cuanto a sus propiedades mecánicas, ópticas y electromagnéticas. En primer lugar, un cristal líquido puede deformarse con más facilidad que un sólido cristalino, lo cual es útil para aplicaciones prácticas. En segundo término, la anisotropía dieléctrica de los cristales hace que las moléculas tiendan a reorientarse en respuesta a campos electromagnéticos externos. Finalmente, la existencia de dos coeficientes de anisotropía se traduce, en términos ópticos, en la presencia de dos índices de refracción. Por lo tanto, el material exhibe un comportamiento birrefringente, el cual puede alterarse, a su vez, frente a la aplicación de campos externos. La velocidad con la que el cristal responde a campos externos depende de la viscosidad. A su vez, todas las propiedades de un cristal líquido dependen de la temperatura.

3. Celdas de cristal líquido

Un dispositivo de cristal líquido requiere algunos componentes adicionales para ser usado en la práctica. La unidad mínima funcional es la **celda de cristal líquido**. La idea esencial es que la celda se fabrica colocando al cristal en una configuración mecánica específica (en cuanto a la orientación de las moléculas), que luego puede ser convenientemente modificada aplicando tensiones externas.

Dado un cristal líquido, se colocan dos superficies entre las capas extremas del cristal. Los cristales líquidos tienen afinidad por ciertos sustratos, de modo que, si las superficies se colocan de manera apropiada, permiten alinear las moléculas de todo el volumen, dando así la configuración mecánica deseada. Hay dos configuraciones básicas: **paralel aligned** y **twisted nematic**. Esta última es la usual en todos los displays comerciales. En ella, la orientación de las moléculas en una de las superficies del cristal está rotada a 90 grados con respecto a la otra superficie, pero con los ejes de las moléculas contenidos en el plano de la superficie.

A continuación, sobre las superficies de alineación se coloca un par de electrodos transparentes, que permiten aplicar tensiones para reorientar las moléculas del cristal. En ausencia de campos externos, las moléculas mantienen la orientación indicada en el párrafo anterior. Sin embargo, al aplicar un campo eléctrico externo, las moléculas se orientan paralelas al campo y eso permite cambiar la interacción con la luz que pasa través del dispositivo.

Finalmente, dada la fluidez del cristal y su tendencia

a degradarse, todo lo anterior se encierra en una celda de material transparente, herméticamente sellada.

La configuración indicada en los párrafos anteriores modula casi exclusivamente la fase de la onda luminosa. Para lograr que module intensidad se añaden dos polarizadores sobre las caras opuestas de la celda, en las caras de los electrodos y las superficies de alineación. Dada la configuración twisted nematic, cada polarizador se coloca con su eje de transmisión paralelo a la dirección de alineación de las moléculas en la cara correspondiente.

La luz que entra al dispositivo pasa a través del primer polarizador y adquiere polarización lineal en la dirección de transmisión. En ausencia de campo eléctrico externo, el cristal obliga al haz de luz a rotar su eje de polarización, de modo que a la salida, el eje de polarización es paralelo al eje de transmisión del segundo polarizador. Como resultado, la luz es completamente transmitida (a menos de un factor global de atenuación). Al aplicar un campo externo, las moléculas se reorientan y se disponen paralelas al campo. Este cambio hace que el cristal no introduzca cambios en la dirección de polarización de la luz incidente. Así, el eje de polarización de la luz que llega al segundo polarizador es ortogonal a su eje de transmisión. Por ende, la transmisión de luz a través de la celda es mínima. En un display, la primera configuración genera pixeles iluminados, mientras que la segunda genera pixeles opacos.

4. Alimentación y control

Hay algunas sutilezas importantes en el manejo de los dispositivos de cristal líquido. En primer lugar, debido a imperfecciones en el proceso de elaboración del cristal líquido, no pueden utilizarse tensiones continuas (DC). Si bien el cristal líquido es aislante, contiene impurezas iónicas conductoras. Si se aplicaran tensiones continuas, las impuerezas migrarían hacia los electrodos y se "soldarían". Entonces, el campo de apantallamiento se fijaría y aparecería una imagen fantasma en el display. Por lo tanto, lo antedicho implica la necesidad de utilizar tensiones **alternas** de media nula, tales que la semiamplitud de la señal corresponda al voltaje con el cuál se desea alimentar el cristal. Lo que se hace es tomar una tensión continua del valor deseado y transformarla en la correspondiente señal alterna, por medio de un circuito "trazeador".

En segundo término, cuando el dispositivo tiene muchos pixeles, el proceso de alimentación no es trivial. En efecto, en dispositivos de alta resolución, la alimentación de cada uno de los pixeles de manera independiente sería altamente ineficiente. Por esa razón, lo que se hace es colocar electrodos por fila y columna, de manera que cada celda está controlada por un par de electrodos, asociados con la fila y columna correspondientes.

Para controlar los pixeles se envía una señal que contiene la información de la tensión con que debe alimentarse cada pixel. La pantalla tiene una señal de sincronización que "recorta" la señal de alimentación y la asigna a los distintos pixeles, siguiendo un orden prefijado (una manera específica de recorrer los pixeles del cristal). Esto significa que la distribución espacial que se ve en un display no corresponde a una alimentación simultánea, sino a una alimentación sucesiva a una frecuencia tan alta ($\sim$ 1 MHz) que da la sensación visual de simultaneidad.

Dada la función que desempeña, la señal de sincronización tiene que ser muy precisa. En caso contrario, recortará la señal de alimentación en un lugar incorrecto. Ahora bien, como el proceso de corte es secuencial, los errores de sincronización, por más pequeños que sean, se acumulan. Por lo tanto, incluso pequeñas desviciones terminarán generando un efecto preciable.

5. Aplicaciones ópticas

Los dispositivos de cristal líquido tienen múltiples aplicaciones, espacialmente como displays para mostrar datos. Sin embargo, en óptica también se los utiliza para introducir activamente modificaciones en las propiedades de la luz que interactúa con ellos. Dos usos concretos se dan en los retardadores variables y los moduladores espaciales de luz.

Un **retardador variable** es un dispositivo que permite introducir, de manera regulada, una diferencia de fase entre las componentes ortogonales de una onda electromagnética incidente. Al variar la tensión aplicada, cambia el retardo introducido (las láminas de cuarto de onda y de media onda son casos particulares de retardadores que producen retardos fijos de fase). Esto es muy útil para generar y caracterizar estados de polarización de la luz.

Un **modulador espacial de luz** suministra la posibilidad de regular, vía tensión, las propiedades de transmisión de intensidad y retardo de fase de un cristal líquido. Esto sirve para introducir modificaciones con resolución espacial a una onda electromagnética. Por ejemplo, es posible emplearlos para la elaboración de redes de difracción y filtros para el procesado óptico de señales. También son muy útiles en la generación de dispositivos de almacenamiento de información cuántica.

Referencias

[1] D. J. R. C. S. P. F. Pulvirenti, *Liquid Crystal Display Drivers* (Springer, 2009).

[2] R. H. Chen, *Liquid Crystal Displays*, SID Series in Display Technologies (Wiley, 2011).

[3] D.-K. Y. S. T. Wu, *Fundamentals of Liquid Crystal Devices*, SID Series in Display Technologies (Wiley, 2006).

[4] *D3128 Spatial Light Modulator User's Manual*, Meadolark Optics, Disponible en https://www.meadowlark.com/transmissive-spatial-light-modulator-p-103?mid=16 (), fecha de consulta: 08/05/2019.

[5] *Liquid Crystal Variable Retarder Datashet*, Meadolark Optics, Disponible en https://www.meadowlark.com/liquid-crystal-variable-retarder-p-94?mid=2 (), fecha de consulta: 08/05/2019.