

Für die Bilddarstellung eines LC-Monitors machen sich die Entwickler chemische und physikalische Prozesse zu Nutze. Welche komplizierten Vorgänge beim Einschalten eines TFT-Monitors stattfinden, beschreibt der folgende Artikel.

Bereits im Jahre 1888 berichtete der österreichische Botaniker Friedrich Reinitzer in den Monatsheften für Chemie über das Verhalten von Flüssigkristallen. Er hatte in seinem Labor beobachtet, dass Cholesteryl-Benzoat bei 145,5 Grad Celsius schmilzt. Die Substanz war zunächst milchig trüb, hellte sich aber oberhalb einer Temperatur von 178,5 Grad Celsius schlagartig auf und wurde durchsichtig.

Der Physiker Otto Lehmann wusste um das Cholesteryl-Benzoat und beschrieb es als scheinbar lebendigen Kristall. Unter dem Mikroskop entdeckten die Forscher schon damals, dass die optischen Eigenschaften der trüben Flüssigkeit von ihrer Orientierung beziehungsweise von der Richtung und der Polarisation des einfallenden Lichts abhängen. Solche Effekte kannte man bis dahin ausschließlich von Kristallen. Deshalb hat Lehmann den Begriff »flüssigkristallin« für den neuentdeckten Aggregatzustand geprägt. Im Englischen heißt er Liquid Crystal, abgekürzt LC.

Weder fest noch flüssig

Wie funktionieren nun Anzeigen auf LC-Basis? Um diese Frage zu beantworten, ist ein wenig Theorie nötig. Materie kann, wie allgemein bekannt, in drei Aggregatzuständen auftreten: fest, flüssig und gasförmig. Bei den Festkörpern unterscheidet man zudem amorphe und kristalline Substanzen. Als Kristalle bezeichnet man Festkörper, deren kleinste Bausteine, also Atome oder Molekülgruppen, feste Plätze in einem starren Gitter einnehmen. Und die Gitter weisen Symmetrien auf, welche die physikalischen Eigenschaften mitbestimmen.

Viele Kristalle verhalten sich zum Beispiel in verschiedenen Raumrichtungen unterschiedlich. Diese Eigenschaft wird als Anisotropie bezeichnet. Flüssigkeiten und Gase besitzen im Gegensatz zu Kristallen im Allgemeinen keine Symmetrien. Ihre Moleküle bewegen sich regellos durcheinander, weshalb sich Flüssigkeiten und Gase isotrop verhalten - mit Ausnahme von Cholesteryl-Benzoat.

Anisotropes Verhalten weist immer auf eine mikroskopische Ordnung hin, und die kann man aus der Form der Flüssigkristall-Moleküle ableiten: Sie sind stäbchenförmig langgestreckt und darüber hinaus elektrisch polarisierbar.

In der festen Phase — also beim Cholesteryl-Benzoat unter 145,5 Grad Celsius - findet man neben der räumlichen Kristallgitter-Ordnung auch noch eine durch die Richtung der Stäbchen vorgegebene Orientierungsordnung. Bringt man solch einen Kristall

durch Erwärmen zum Schmelzen, geht zwar die Kristallgitter-Ordnung verloren und der Kristall verflüssigt sich, die Orientierungsordnung der Stäbchen bleibt aber zunächst erhalten - die Substanz liegt in ihrer flüssig-kristallinen Phase mit anisotropen Reaktionen vor. Erst bei weiterer Wärmezufuhr verschwindet auch die Orientierungsordnung - beim Cholesteryl-Benzoat bei über 178,5 Grad Celsius -, und es bildet sich die flüssig-isotrope Phase aus.

Der so genannte Schmelzpunkt markiert den Übergang vom Festkörper zum Flüssigkristall, der höher gelegene Klärpunkt den zur isotropen Flüssigkeit. Die Breite und die Lage des Temperaturintervalls zwischen diesen charakteristischen Punkten ist für die Verwendung in LCDs von entscheidender Bedeutung, denn die Displays sollen in einem nicht zu schmalen Temperaturbereich bei Raumtemperatur arbeiten.

Unterschiedliche Flüssigkristalle

Flüssigkristalle lassen sich in drei Gruppen gliedern: nematische, smektische und cholesterische. Nematische Flüssigkristalle sind am wenigsten geordnet. Nur die Längsachsen der Moleküle weisen eine Vorzugsrichtung auf, entlang derer die Moleküle frei gegeneinander verschiebbar sind.

Bei den smektischen Flüssigkristallen sind die Moleküle gleichfalls parallel zueinander angeordnet, fügen sich jedoch zusätzlich zu Schichten zusammen. Dabei kann die Molekül-Längsachse senkrecht auf der Schichtebene stehen (smektisch A) oder einen bestimmten Winkel mit ihr bilden (smektisch C). Andere smektische Flüssigkristalle besitzen eine zusätzliche Ordnung innerhalb der Schichtebenen, zum Beispiel durch Ausbildung einer hexagonalen Struktur (smektisch B).

Wie die smektischen, so sind auch die cholesterischen Flüssigkristalle in Schichten angeordnet. Allerdings liegen ihre Längsachsen in der Schichtebene, und ihre Vorzugsrichtung verschiebt sich von Schicht zu Schicht um einen bestimmten Betrag. Beschreibt man diese Hauptrichtung in jeder Ebene durch einen Pfeil, so liegen die Spitzen dieser Pfeile auf einer schraubenförmigen Kurve oder Helix.

Cholesterische Flüssigkristalle werden oft in Temperaturanzeigen verwendet. Je nach Temperatur ändern sie dort ihre Farbe. Die breiteste Verwendung finden derzeit aber nematische Flüssigkristalle. Ob als Sieben-Segment-Anzeige in Taschenrechnern, als Ersatz für das Zifferblatt bei Armbanduhren oder aber als Laptop-Display - im täglichen Leben stoßen wir überall auf LCDs, in denen nematische Flüssigkristalle ihren Dienst verrichten. Um einen möglichst großen Arbeitstemperaturbereich abzudecken, werden verschiedene nematische Flüssigkristalle in einer Mischung verwendet, die aus bis zu zwanzig Einzelkomponenten besteht.

Funktion einer LC-Zelle

Um die Funktion einer LC-Zelle zu verstehen, bedarf es eines Exkurses in die Physik. Licht kann man als elektromagnetische Welle beschreiben. Weißes Licht besteht aus Wellenzügen unterschiedlicher Längen und zufälliger Orientierung der Ebenen, in denen der jeweilige elektrische Feldvektor schwingt. Auf ein solches Gemisch wirkt ein so genannter Polarisator wie ein enges Gitter: Er filtert aus allen Schwingungsebenen nur diejenigen heraus, die durch seine Maschen fallen. So entsteht linear polarisiertes Licht, das in der LCD-Technik eine Rolle spielt.

Auch Flüssigkristalle zeigen eine spezifische Reaktion auf Licht: Sie sind doppelbrechend. Substanzen mit dieser Eigenschaft spalten einfallendes Licht, das senkrecht zu deren optischen Achse orientiert ist, in zwei senkrecht zueinander polarisierte Strahlen auf. Der eine davon, der so genannte ordentliche Strahl, wird normal gebrochen, der außerordentliche aber nicht. Nach dem Austritt aus der doppelbrechenden Substanz haben beide Strahlen unterschiedlich lange optische Wege zurückgelegt - ihre Phasen differieren, so dass ein ursprünglich linear polarisierter Lichtstrahl nach dem Austritt aus der doppelbrechenden Substanz elliptisch polarisiert ist.

Flüssigkristall-Moleküle sind durch elektrische Felder polarisierbar, wobei man zwei Reaktionen unterscheiden kann: Zum einen richten sich die Stäbchen entlang des angelegten elektrischen Feldes aus - man spricht von positiver Dielektrizitäts-Anisotropie. Oder aber sie stellen sich quer zum Feld ein - dann ist die Substanz negativ dielektrisch-anisotrop.

Einfach nematische LC-Zelle

Durch einen positiv-dielektrisch-anisotropen Flüssigkristall zwischen zwei Glasplatten tritt linear polarisiertes Licht in diese Zelle ein. Da die optische Achse von flüssigkristallinen Substanzen entlang der Stäbchenorientierung verläuft, tritt Doppelbrechung auf und das durchtretende Licht wird elliptisch polarisiert. Wird ein zu den Platten senkrechtes elektrisches Feld eingeschaltet, richten sich die Stäbchen in Längsrichtung aus, es findet keine Doppelbrechung statt - das Licht bleibt linear polarisiert.

Damit lässt sich eine einfache LC-Zelle konstruieren. Man klebt Polarisationsfolien so auf die Außenfläche jeder Glasplatte, dass deren Polarisationsrichtungen gekreuzt sind. Tritt nun von unten ein Lichtstrahl in diese Anordnung, wird er zunächst vom unteren Polarisator linear polarisiert. Dann gelangt er, nach dem Weg durch die Glasplatte, in den Flüssigkristall, der nun - ohne angelegtes Feld - den Strahl elliptisch polarisiert. Elliptisch polarisiertes Licht wird aber durch einen Polarisator nur wenig geschwächt: Insgesamt ist die Zelle also lichtdurchlässig.

Bei angelegtem elektrischen Feld richten sich die

Stäbchen in Feldrichtung aus, die Doppelbrechung findet nicht statt und der unten eintretende Lichtstrahl gelangt unbeeinflusst bis zum oberen Polarisator. Dieser erweist sich als undurchdringliches Hindernis; da der elektrische Feldvektor des Lichtstrahls senkrecht zur Polarisationssebene der oberen Folie schwingt, wird er nicht durchgelassen: die Zelle ist jetzt lichtundurchlässig. Im Prinzip kann man aus solchen einfach nematischen Zellen LC-Displays bauen. Der geringe Kontrast und unerwünschte Farbwirkungen machen diese einfache Flüssigkristall-Anzeige uninteressant. Die sogenannte Drehzelle, besser bekannt unter dem Namen Twisted-Nematic- oder TN-Zelle, bietet einen höheren Kontrast. Das typische Kontrastverhältnis von TN-LCDs mit passiver Matrix beträgt etwa 3:1. Brauchbare Bildschirme benötigen aber mindestens ein Kontrastverhältnis von 7:1. Einen Wert von etwa 10:1 erzielt man, wenn man die TN-Zellen durch sogenannte Supertwisted-Nematic- oder STN-Zellen ersetzt. Leider treten bei TN- oder STN-Zellen aber starke Farbfehler auf. Den beheben Double-Supertwisted-Nematic- oder DSTN-LCDs, die außerdem auf ein Kontrastverhältnis von etwa 15:1 kommen. Und auch Triple-Supertwisted-Nematic- oder TSTN-Zellen sowie Film-Supertwisted-Nematic- oder FSTN-Zellen umgehen die Farbproblematik. Wesentlich für das Kontrastverhältnis ist auch die Ansteuerung der Pixel, also die Frage, ob ein passives LCD oder ein aktives, ein so genanntes TFT-LCD (Thin-Film-Transistor-LCD) vorliegt. Mit aktiven TFT-LCDs können Kontrastverhältnisse über 300:1 erreicht werden. Besonders vorteilhaft: Das Drehen der Stäbchenmoleküle benötigt nur wenig Energie.

Der Schritt zum Farb-LCD mit aktiver Matrix

Statt einfache Schwarzweiß-Zellen zu einem Schwarz-weiß-Display zusammenzuschalten, kann man natürlich auch farbige Zellen verwenden, die man durch Vor- oder Nachschalten eines Farbfilters erreicht. Günstig sind Bildschirmpunkte, die sich aus drei Farben - und somit aus drei Zellen - zusammensetzen: Rot, Grün und Blau (RGB). Wie vom normalen Farbfernseher bekannt, lassen sich aus diesen Grundfarben alle anderen mischen.

Ein Problem bereitet noch die Ansteuerung der einzelnen Bildpunkte. Wollte man jede LC-Zelle einzeln adressieren, so benötigte man bei einer Schwarzweiß-VGA-Auflösung von 640 x 480 Bildpunkten insgesamt 307 200 Leitungen. Bei einer farbigen VGA-Auflösung wären es dementsprechend dreimal so viele, also 921 600. Wesentlich verringern kann man diesen Kabelaufwand durch Multi-plexen: Dazu bettet man durchsichtige Leiterbahnen in die Gläser der Flüssigkristallzelle ein. Die Bahnen verlaufen in einem Glas horizontal (Zeile), im anderen vertikal (Spalte). Ein Punkt bildet sich durch die Kreuzung einer Zeile und einer Spalte. Im obigen Beispiel **des** Schwarzweiß-VGA-Displays ergeben sich so 480 Zeilen in der einen Glasplatte und 640 Spalten in der anderen. Legt man an ein Zeilen/Spalten-Paar eine Spannung an, so entsteht

am Kreuzungspunkt ein elektrisches Feld, das ausreichend stark sein muss, um die Zelle zu schalten. Alle 307 200 Bildpunkte lassen sich mit nur $640 + 480 = 1120$ Leitungen adressieren. Dies ist eine passive Matrix.

Sie hat einen Nachteil: Da die Leitungen Strom röhren, entstehen nicht nur an den Kreuzungspunkten elektrische Felder, sondern auch entlang der stromdurchflossenen Leiter. Dies beeinträchtigt den Kontrast des Displays.

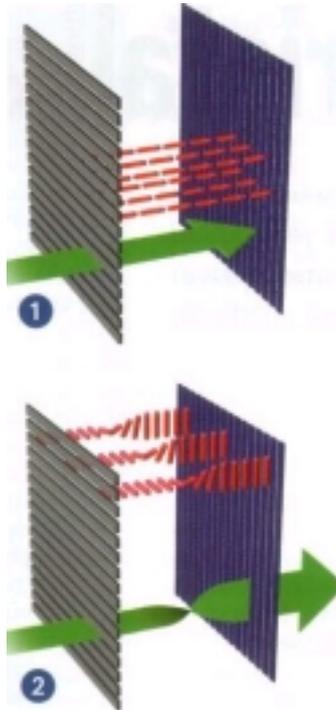
Aktive Matrizen umgehen diese Problematik. Hier befindet sich an jedem Kreuzungspunkt ein Dünnschicht-Transistor (TFT: Thin-Film-Transistor), der sich mit viel geringeren Strömen adressieren **und** schneller durchschalten lässt.

Die ersten Patente auf TFTs stammen aus den dreißiger Jahren und gehen zurück auf Lilienfeld und Heil. Nach einer wechselvollen Geschichte kam Anfang der achtziger Jahre das Interesse an TFTs zur Ansteuerung von LCDs sowohl in den USA als auch in Japan und Europa auf. Seit Mitte der achtziger Jahre beschäftigten sich alle japanischen LCD-Hersteller intensiv mit der TFT-Technologie - Europa und die USA waren zu diesem Zeitpunkt bereits weit abgeschlagen.

IPS-Displays

Alle Twisted-Nematic-Zellen haben einen entscheidenden Nachteil: den eingeschränkten Blickwinkel. Das heißt, die Farbe und der Kontrast ändern sich mit dem Betrachtungswinkel. Mit einer neuen Anordnung der Elektroden haben die Hersteller einen Ausweg gefunden. Es sind die Displays im so genannten In-Plane Switching Mode (IPS). Sie haben beide Elektroden auf einer Seite des Displays, so dass die Spannung nicht mehr quer über der LC-Schicht anliegt, sondern zwischen benachbarten Elektroden desselben Substrats. Diese Elektrodenanordnung führt dazu, dass das elektrische Feld - in dem sich die Flüssigkristalle ausrichten — nicht mehr senkrecht zur Schicht steht, sondern beinahe parallel zwischen den Elektroden verläuft. Die Schraubenform der LC-Moleküle fehlt deshalb bei IPS-Displays. Im Off-Zustand liegen die Moleküle nahezu parallel zur Bildelebene. Die gekreuzten Polarisationsfilter lassen dann kein Licht durch. Liegt Spannung an, so drehen sich die Moleküle je nach Feldrichtung so, dass das Display lichtdurchlässig wird. Nimmt die Spannung zu, dann drehen sich die Moleküle stärker und lassen mehr Licht durch. Allerdings ist die Lichtdurchlässigkeit etwas geringer als bei TN-LCDs. Etwa ein Drittel der Displays sind heutzutage in der IPS-Technik von Hitachi und NEC gefertigt.

Eine noch etwas neuere Entwicklung sind die MVA-Displays (Multi-Domain Vertikal Alignment). Im Ruhezustand stehen hier die Moleküle im Gegensatz zu den IPS-Displays senkrecht zur Bildelebene. Sie bieten einen sehr guten Kontrast und einen großen Betrachtungsbereich, allerdings zeigen sie bei der Darstellung von dunklen Farben leichte Schwächen.



(1) Bei angelegtem elektrischem Feld richten sich die Flüssigkristallmoleküle so aus, dass das Licht nicht elliptisch polarisiert wird. (2) Die Moleküle beschreiben im Normalzustand eine Drehung (Wendeltreppe) und polarisieren das Licht elliptisch.