Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 89 (1998)

Heft: 11

Artikel: Neue Werkstoffe für hellere Digitalanzeigen

Autor: Hirstein, Andreas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902083

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die Anwendungsmöglichkeiten heutiger Flüssigkristallanzeigen reichen von der einfachen Armbanduhr bis hin zu aufwendigen Multicolor-Bildschirmen für Computer und Fernsehgeräte. Trotz zahlreichen Verbesserungen in den letzten Jahren ist die Effizienz der Geräte noch immer mangelhaft: Über 80% des erzeugten Lichts gehen auf dem Weg von der Hintergrundbeleuchtung zum Betrachter verloren. Angesichts eines Marktvolumens von voraussichtlich über 30 Milliarden Dollar im Jahr 2000 bemühen sich Wissenschaft und Industrie um effizientere Konzepte für neue Anzeigen.

Neue Werkstoffe für hellere Digitalanzeigen

■ Andreas Hirstein

Obwohl alle grossen Hersteller schon seit vielen Jahren an der Entwicklung von Flachbildschirmen für stationäre Monitore und Fernsehgeräte arbeiten, konnten sich die neuen Geräte bisher nicht durchsetzen. Vor allem die Verwirklichung grossflächiger und farbiger Anzeigen war zu aufwendig, um die bestehende Bildschirmtechnik, die bis heute auf der Kathodenstrahlröhre von Ferdinand Braun (1897) basiert, verdrängen zu können. Der hohe Preis und die schlechtere Bildqualität der Flachbildschirme gegenüber normalen Bildröhren liessen ihren Einsatz bislang nur in tragbaren Geräten akzeptabel erscheinen. Für solche Anwendungen sind die Flüssigkristallanzeigen wegen eines deutlich geringeren Gewichts und Platzbedarfs heute noch ohne Konkurrenz.

Spätestens seit der diesjährigen Computermesse Cebit scheint sich abzuzeichnen, dass sich Flachbildschirme auch als stationäre Geräte durchsetzen werden. Neben dem geringeren Platzbedarf zeichnen sie sich durch einen flimmerfreien Betrieb und eine sehr verzerrungsarme Darstellung aus. Heutige Geräte weisen allerdings noch einige grundlegenden Schwächen auf. Industrie und Forschung entwickeln daher neue Materialien, die hellere und effizientere Anzeigen ermöglichen sollen.

Flüssigkristallanzeigen

Die heute erhältlichen Flachbildschirme beruhen auf der Flüssigkristalltechnik (LCD: Liquid Crystal Display). Sie benötigen daher weder eine schwere und grosse Vakuumröhre noch eine Hochspannungsquelle, die aus der Glühkathode emittierte Elektronen zur Lichterzeugung auf einen phosphoreszierenden Schirm beschleunigt. Da zudem der Energieverbrauch eines LCD-Bildschirms relativ gering ist, können Batterien oder wiederaufladbare Akkumulatoren zur Stromversorgung für einen mehrere Stunden dauernden Betrieb eingesetzt werden.

Alle diese Eigenschaften ergeben sich aus der Funktionsweise der Flüssigkristallanzeigen (Bild 1). Auf dem Weg von der Hintergrundbeleuchtung zum Betrachter muss das Licht neben dem eigentlichen Flüssigkristallelement zwei Polarisatoren durchqueren. Diese Filter haben die Eigenschaft, nur Lichtwellen mit einer bestimmten Schwingungs- oder Polarisationsebene durchzulassen. Im Beispiel von Bild 1 wird vertikal polarisiertes Licht durch das erste Filter durchgelassen, während alle Anteile der Lichtwelle mit einer horizontalen Schwin-

Adresse des Autors
Dr. *Andreas Hirstein*, Schweizerischer Elektrotechnischer Verein (SEV), 8320 Fehraltorf

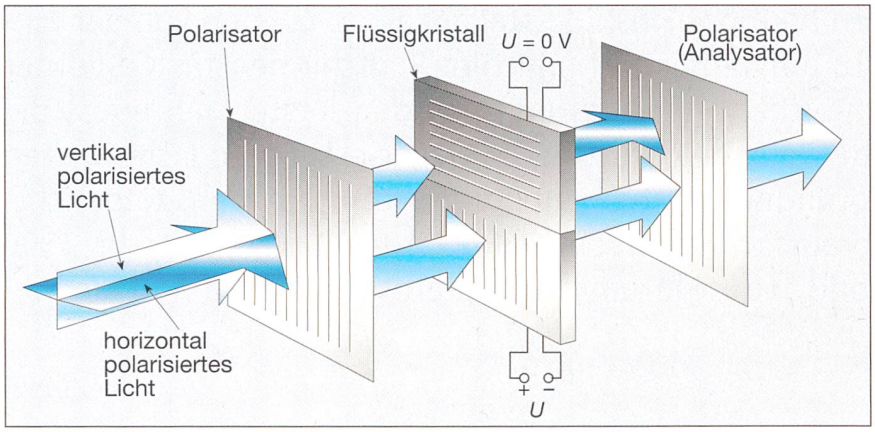

Bild 1 Flüssigkristallanzeige

Die Polarisationsebene des Lichts wird im Flüssigkristall um 90° gedreht, sofern keine Steuerspannung anliegt (oben). Das Licht wird dann am Analysator blockiert. Bei anliegender Spannung (unten) bleibt die Lichtwelle unbeeinflusst und wird damit hinter dem Analysator sichtbar.

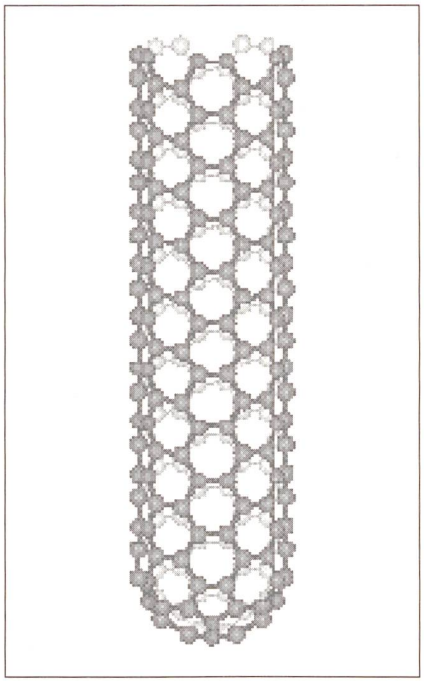

Bild 2 Nanoröhrchen

Das Makromolekül aus reinem Kohlenstoff hat einen Durchmesser von ungefähr 10 nm.

gungsebene vollständig absorbiert werden. Das vertikal polarisierte Licht fällt anschliessend auf das Flüssigkristallelement, wo seine Polarisationsebene um genau 90° gedreht wird (Bild 1 oben). Da das Licht nun horizontal polarisiert ist, wird es am abschliessenden Polarisator, dem Analysator, vollständig absorbiert. Der Bildschirm bliebe schwarz. Hier kommt nun aber die besondere Funktion des Flüssigkristallelements ins Spiel. Jedem Bildpunkt oder Pixel ist in dieser Schicht eine eigene Zelle zugeteilt, die einzeln durch eine elektrische Spannung angesteuert werden kann. Bei anliegender Spannung (Bild 1 unten) wird die Schwingungsebene des einfallenden Lichts nicht mehr gedreht. Die Polarisation bleibt also erhalten und entspricht damit exakt der Vorzugsrichtung des Analysators. Daher kann das Licht dieses Filter ungehindert durchqueren und als heller Bildpunkt auf dem Monitor sichtbar werden.

Nachteile der LCD-Technik

Im Vergleich zu herkömmlichen Bildschirmen hat die Flüssigkristalltechnik allerdings auch einige Nachteile. Da das Licht nicht wie in der Kathodenstrahlröhre erst auf einem dünnen, phosphoreszierenden Film (dem Bildschirm) erzeugt wird, sondern von der Hintergrundbeleuchtung ausgehend das Sandwich aus Filtern und LCD-Zelle durchqueren muss, ergibt sich eine deutlich grössere Winkelabhängigkeit des emittierten Lichts. Dadurch wird der Betrachtungswinkel, unter dem die Anzeige problemlos gelesen werden kann, stark eingeschränkt.

Es kommt hinzu, dass die Bildhelligkeit relativ niedrig ist. Der Einsatz des ersten Polarisators verursacht nämlich einen Verlust von mindestens 50, typischerweise aber von mehr als 60% des erzeugten Lichts. Ausserdem führen die Teilabsorption von Licht in der Flüssigkristallzelle und den Filtern sowie die internen Reflexionen des Lichtes an den diversen Grenzflächen der Anzeige zu zusätzlichen Einbussen. Soll die Anzeige farbig sein, müssen zusätzlich Farbfilter eingebaut werden, die durch wellenlängenselektive Absorption zu einer weiteren Intensitätsabnahme führen. Im Ergebnis kommt man so zu maximalen Wirkungsgraden der Anzeige von unter 20%. Die restlichen 80% des ursprünglich erzeugten Lichts werden in Wärme umgesetzt und begrenzen als wesentlicher Faktor die Betriebsdauer der Batterien.

Alle grossen Firmen der Computerbranche halten daher Ausschau nach neuen Techniken, die hellere und besser ablesbare Flachbildschirme mit höheren Wirkungsgraden ermöglichen. Wie wichtig neue Ideen für die Industrie wären, haben in den letzten Jahren gerade auch schweizerische Wissenschafter von der ETH Lausanne und Zürich erlebt: Ihren Veröffentlichungen in den Fachzeitschriften «Science» und «Nature» folgten gleich mehrere Besucherdelegationen aus der Industrie. Auch das Fernsehen wollte nicht abseits stehen und tauchte mit Kameras und Mikrophonen in den Labors auf.

Nanoröhrchen als Elektronenemitter

Im Lausanner Verfahren werden röhrchenförmige Makromoleküle aus reinem Kohlenstoff verwendet, die einen Durchmesser von etwa 10 nm = 10^{-8} m und eine Länge von etwa 1 µm = 10^{-6} m besitzen (Bild 2). Wegen ihrer geringen Grösse und besonderen Bauform nennt man diese 1991 entdeckten Kohlenstoffverbindungen auch Nanoröhrchen. Aufgrund der sehr spitzen Form und der damit einhergehenden Feldverteilung emittieren sie Elektronen bereits bei verhälnismässig niedrigen Spannungen von ungefähr 80 V [1, 2]. Da sie überdies als gute elektrische Leiter bekannt sind, scheinen sie ein geeigneter Kandidat für eine neue,

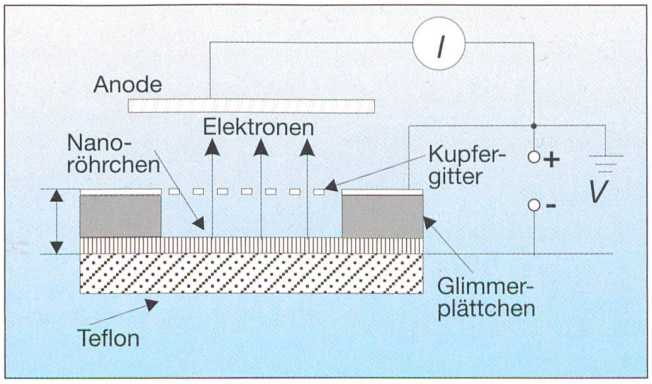

Bild 3 Schema eines Nanoröhrchen-Bildschirms

Die zwischen Anode und Nanoröhrchenfilm anliegende Spannung (U = 200 V) verursacht einen Elektronenemissionsstrom (nach [2]).

auf Elektrolumineszenz basierende Anzeige zu sein. So könnten sie in Zukunft die Glühkathode heutiger Bildschirme ersetzen.

Den Lausanner Forschern gelang es, die Moleküle in einem regelmässigen Gitter dichtgepackter und senkrecht auf einer leitfähigen Unterlage stehender Moleküle anzuordnen (Bild 3).

Durch Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen der Unterlage und dem Kupfergitter, das sich auf der Oberseite des «Molekülrasens» befindet, wird ein über die Anode fliessender Elektronenemissionsstrom messbar. Dabei ist es nicht notwendig, die Moleküle wie eine Glühkathode zu heizen. Einer derartigen Temperatur würden die Moleküle auch gar nicht standhalten. Ebenfalls als Folge der besonderen Feldverteilung konnte der gezeigte Versuch bei Zimmertemperatur im Hochvakuum durchgeführt werden.

Um mit diesem Aufbau Licht zu erzeugen, würde es bereits genügen, die Anode in Bild 3 durch einen transparenten phosphoreszierenden Film zu ersetzen. Schwieriger gestaltet sich dagegen die Unterteilung des Nanoröhrchenfilms in einzeln ansteuerbare Pixel. Die Spannungen von etwa 200 V, die bei einer Anzeige dieser Art zu schalten wären, sind nämlich beträchtlich höher als die Spannungen, die man benötigt, um einen LCD-Bildschirm zu steuern. Die Isolation zwischen benachbarten Bildpunkten dürfte noch für einige Zeit ein schwerwiegendes Problem sein. Hinzu kommt, dass sich eine homogene Helligkeitsverteilung, die auf einer konstanten Emissionscharakteristik aller Pixel beruhen würde, bis heute nicht zuverlässig realisieren lässt.

Andererseits besitzt diese Technik den Vorteil, einen ähnlichen Geräteaufbau zu verlangen wie eine herkömmliche Bildröhre. Da sie lediglich deren Glühkathode durch eine Elektronenquelle aus Makromolekülen ersetzen würde, könnte sie ansonsten von einer jahrzehntelangen Erfahrung für die industrielle Fertigung profitieren.

Leuchtdioden aus Polymeren

Obwohl Polymere nicht auf vergleichbaren Vorarbeiten aufbauen können, sind sie der technischen Anwendung schon sehr viel näher [3]. Eine spezielle Klasse dieser Moleküle, die sogenannten konjugierten Polymere, besitzen elektrisch halbleitende Eigenschaften, die genauso zur Lichterzeugung genutzt werden können wie halbleitende inorganische Verbindungen, die den üblichen, millionenfach produzierten Leuchtdioden (LED) zugrunde liegen.

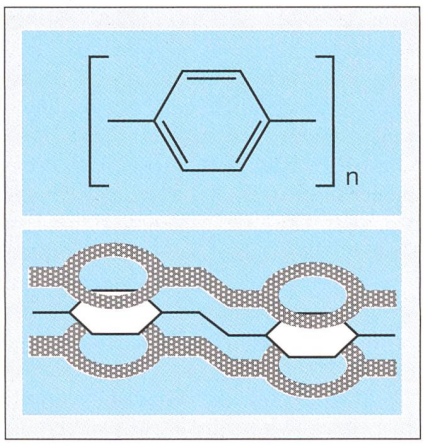

Bild 4 Konjugiertes Polymer

Oben: chemische Formel; unten: dreidimensionale Darstellung der delokalisierten Elektronenzustände ober- und unterhalb der Molekülebene

Bild 4 zeigt ein Modell eines konjugierten Polymers. Die chemischen Bindungen werden abwechselnd von elektronischen Einfach- und Doppelbindungen gebildet. Die Elektronen in den entsprechenden Bindungszuständen sind zu einem Teil delokalisiert, das heisst sie können sich entlang der Molekülkette bewegen und verleihen dem Molekül halbleitende Eigenschaften. Wie im inorganischen halbleitenden Festkörper sorgt der räumliche Überlapp der delokalisierten Elektronenzustände für die Bildung von sogenannten Energiebändern. Darunter versteht man Energieintervalle, die für die Elektronen des Moleküls zugänglich sind. Ein tiefliegendes Energieband, das Valenzband, ist mit den erwähnten delokalisierten Elektronen besetzt. Es ist für die Bindung der Atome zum Molekül mitverantwortlich. Im Energiebereich oberhalb des Valenzbandes befindet sich das Leitungsband. Da die Zustände des Leitungsbandes eine höhere Energie besitzen als die Zustände des Valenzbandes und die Elektronen immer die Zustände mit der niedrigsten Energie bevorzugen, ist das Leitungsband im Grundzustand des Moleküls nicht mit Elektronen besetzt. Dies beruht auf der allgemeinen Gesetzmässigkeit, nach der jedes physikalische System immer bestrebt ist, den Zustand mit der niedrigsten Energie einzunehmen. Es ist die gleiche Gesetzmässigkeit, die Wasser den Berg hinunterfliessen lässt und nie hinauf.

Valenz- und Leitungsband werden durch einen für das Molekül charakteristischen Energiebereich voneinander getrennt, in dem keine erlaubten Zustände für Elektronen des Moleküls existieren. Das bedeutet, dass kein Elektron des Moleküls eine Energie annehmen kann, die in diesem Bereich liegt.*

Wie kann nun mit einem solchen Molekül Licht erzeugt werden? Dazu genügt es, Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband zu befördern. In Analogie zum Wasser spricht man auch vom Pumpen der Elektronen vom Valenzband ins Leitungsband. Da sie dort nicht bleiben wollen, werden sie nach kurzer Zeit wieder in ihren Grundzustand zurückspringen und dabei ein Lichtquant aussenden, dessen Energie E_{photon} exakt dem Energieunterschied zwischen Valenz- und Leitungsband entspricht:

$$E_{photon} = h\nu = E_{Leitung} \quad E_{Valenz} \qquad (1)$$

In dieser Gleichung steht ν für die Frequenz und damit für die Wellenlänge des emittierten Lichts. Durch Veränderung der Bandlücke der Moleküle kann also Licht von unterschiedlicher Wellenlänge erzeugt werden. Bild 5 zeigt eine repräsentative Auswahl verschiedener Moleküle, deren chemische Unterschiede in unterschiedlichen Bandlücken der Moleküle und somit in unterschiedlichen Farben des Emissionslichts resultieren. Für alle wichtigen Farben des sichtbaren Lichtspektrums hat man mittlerweile passende Moleküle gefunden, so dass aus

* Die Existenz einer Energielücke zwischen Valenz- und Leitungsband ist ein charakteristisches Merkmal aller Halbleiter.

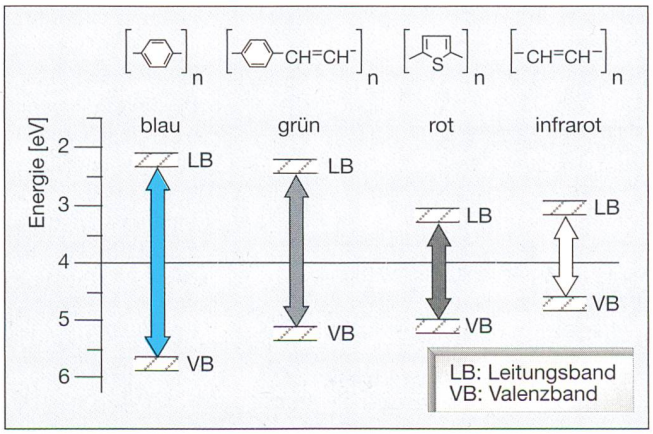

Bild 5 Halbleitende Polymere

Die Energiebänder sind durch charakteristische Energielücken voneinander getrennt. Die Energiedifferenz bestimmt die Farbe des emittierten Lichts (nach [3]).

dieser Sicht keine grundsätzlichen Hindernisse für die Herstellung von Farbbildschirmen sprechen.

Das Funktionsprinzip einer auf diesen Molekülen basierenden polymeren Leuchtdiode (pLED) wird in Bild 6 veranschaulicht. Der Polymerfilm wird auf beiden Seiten durch eine Elektrode kontaktiert. Eine der beiden Elektroden, die Anode oder die Kathode, muss transparent sein, damit das erzeugte Licht den Film verlassen und sichtbar werden kann. Häufig verwendet man einen Träger aus Glas oder PET, der mit einem transparenten und leitfähigen Indium-Zinn-Oxid-(ITO)-Film beschichtet ist. Die Spannung U zwischen Kathode und Anode wird nun so eingestellt, dass die Energie der Anode mit der Energie im Valenzband übereinstimmt, während die Energie der Kathode mit der Energie des Leitungsbands zusammenfällt. Dieser Zustand ist in Bild 6 erreicht. Elektronen des besetzten Valenzbands können nun in die Anode und Elektronen der Kathode können in das unbesetzte Leitungsband des Polymers wandern. Daraus resultieren negative Ladungen im Leitungsband und positive Ladungen, sogenannte Elektronenlöcher, im Valenzband. Sowohl Elektronen im Leitungsband als auch Löcher im Valenzband können sich frei bewegen. Sie diffundieren aufgrund ihrer gegensätzlichen Ladung aufeinander zu und bilden gebundene Elektron-Loch-Paare oder Exzitonen, die dann, sobald es zur Rekombination des Leitungselektrons im Valenzband kommt, das gewünschte Photon aussenden. Aus theoretischer Sicht funktioniert dieser Vorgang der Elektrolumineszenz jedoch nur in höchstens 25% aller Elektronenanregungen. In drei Vierteln der Fälle findet ein strahlungsloser Übergang ohne Lichtemission statt. Die aufgewendete Energie wird in diesen Fällen in Wärme umgesetzt und kann nicht mehr zur Lichterzeugung genutzt werden.

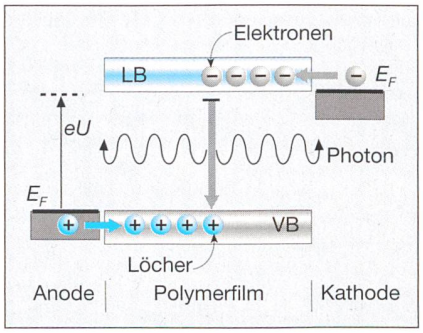

Bild 6 Funktionsprinzip einer halbleitenden Polymer-LED

Durch Anlegen der Spannung U fallen die Energieniveaus von Anode und Kathode mit den Energien von Valenz- und Leitungsband des Polymers zusammen. Dadurch werden Ladungsträger (Elektronen und Löcher) in die Bänder injiziert (nach [3]).

Den Aufbau einer Polymer-Leuchtdiode veranschaulicht Bild 7a. Auf einem transparenten Träger aus Glas oder Kunststoff (zum Beispiel PET) wird ein dünner Film (100–300 nm) aus ITO aufgedampft. Dieser transparente Film dient als Kathode. Darauf wird der Polymerfilm aufgebracht. Als Anodenmaterial wird in der Regel ein Metallfilm aus einem reaktiven Metall wie Ca oder Al auf den Polymerfilm aufgedampft. Diese Metalle sind besonders gut geeignet, weil sie eine relativ niedrige Austrittsarbeit für Elektronen besitzen. Bild 7b zeigt ein Beispiel einer pLED, bei der beide Elektroden aus transparenten Filmen bestehen.

Limitierte Quantenausbeuten

In der Praxis erreicht heute noch keine der Polymerleuchtdioden die theoretisch erreichbare Quantenausbeute (das Verhältnis aus erzeugten Photonen und injizierten Ladungsträgern) von 25%. Nachdem die Ausbeute vor einigen Jahren noch bei mageren 0,01% lag, werden inzwischen Werte von 3% erreicht. Damit liegt man bereits heute in die Nähe von herkömmlichen Festkörper-LED, die üblicherweise Quantenausbeuten zwischen 5 und 15% erreichen. Eine weitere Steigerung hängt entscheidend von einer grösseren Reinheit der verwendeten Materialien und einer geringeren Defektdichte des Polymerfilms ab. Der aktuelle Entwicklungsstand der neuen Leuchtdioden wird in Bild 8 anhand eines Vergleichs mit bewährten Anzeigegeräten verdeutlicht. Durch eine angemessene Betriebsspannung lassen sich Leuchtstärken erzeugen, die mit normalen Elektronenstrahl-Bildröhren vergleichbar sind. Durch eine weitere Spannungssteigerung können sogar noch weitaus höhere Helligkeiten – dann allerdings auf Kosten der Lebensdauer des Polymerfilms – erreicht werden. Unter normalen Betriebsbedingungen werden heute Lebensdauern (>5000 h) angegeben, die für den Einsatz der Polymere in vielen kommerziellen Produkten ausreichend sind. Erste Anwendungen der Leuchtdioden als Hintergrundbeleuchtung in normalen Flüssigkristallanzeigen sind für Ende dieses Jahres von den Firmen Philips/Uniax angekündigt worden. Die Firma Cambridge Display Technology hat im Februar dieses Jahres einen Prototyp eines Schwarzweissmonitors auf Polymerbasis vorgestellt.

Die Herstellung eines Monitors dagegen, der die fluoreszierenden Moleküle

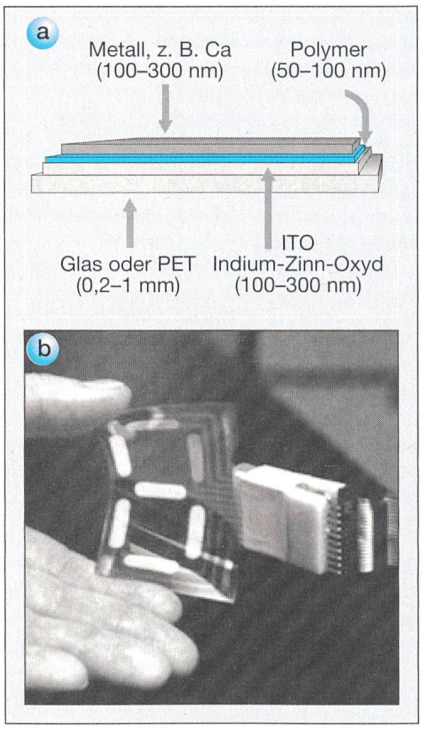

Bild 7 a: Schema einer Polymer-Leuchtdiode (nach [3]); b: Beispiel einer transparenten und elastischen Leuchtdiode (Foto: Uniax)

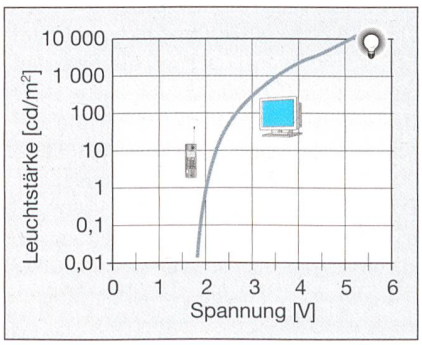

Bild 8 Leuchtstärke heutiger pLED im Vergleich mit anderen Techniken (nach [3])

als Lichtquelle nützt, wäre ungleich komplizierter. Bisher ist man nicht in der Lage, Hunderttausende von Polymer-Leuchtdioden auf einem kleinen Monitor unterzubringen und getrennt ansteuerbar zu machen. Bei Farbbildschirmen käme als zusätzliche Schwierigkeit hinzu, drei unterschiedliche Moleküle für die Farben Rot, Grün und Blau in geordneter Form anzuordnen.

Photolumineszierende Polarisatoren

Wissenschafter vom Institut für Polymerphysik der ETH Zürich haben Anfang dieses Jahres in zwei Publikationen in «Science» und «Nature» gezeigt, wie man solche Schwierigkeiten eventuell umgehen könnte [4, 5]. In ihrem Ver-

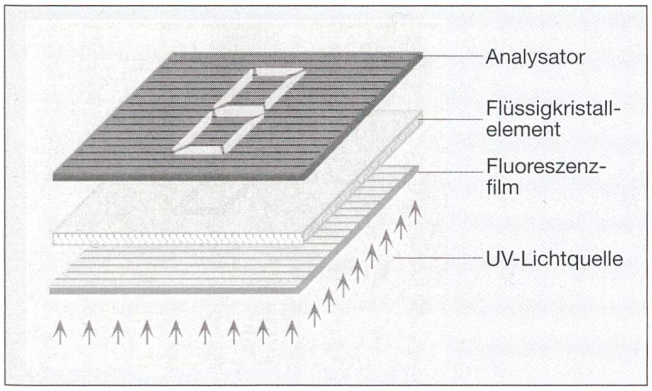

Bild 9 Schema einer photolumineszierenden Flüssigkristallanzeige (ETH Zürich)

fahren werden die Moleküle nicht durch Anlegen einer elektrischen Spannung angeregt, sondern durch Bestrahlen mit entsprechend energiereichem UV-Licht. Es wäre daher nicht mehr notwendig, jede einzelne Diode des Polymerfilms zu kontaktieren. Ein nach dieser Technik arbeitender Flachbildschirm würde nach Vorstellung der Forscher wie ein gewöhnlicher Flüssigkristallbildschirm funktionieren, ohne allerdings auf die lichtschluckenden Polarisatoren und Farbfilter angewiesen zu sein. Deren Aufgaben würden nämlich von den Molekülen selbst übernommen.

Dank eines besonderen Herstellungsverfahrens erfüllen die Polymerfilme automatisch die Eigenschaft, nicht nur farbiges, sondern auch polarisiertes Licht zu erzeugen. Dazu werden einem gewöhnlichen Polyethylenfilm ein bis zwei Gewichtsprozent der halbleitenden, stark fluoreszierenden Polymere zugesetzt. Anschliessend wird der Kunststoffilm mechanisch in eine ausgezeichnete Richtung verstreckt. Die Polymere werden dabei gezwungen, sich der neuen Struktur anzupassen und sich entlang der Zugrichtung auszurichten. Dies hat zur Folge, dass vom Film emittiertes Licht stark polarisiert wird. Damit erfüllt der Polymerfilm die Aufgabe, die bisher nur durch den Einsatz eines Polarisators und eines Farbfilters erreicht werden konnte. Hinzu kommt, dass es aus theoretischer Sicht keine obere Grenze für die Quantenausbeute des geschilderten Prozesses der Photolumineszenz gibt. Anders als die Elektrolumineszenz sind hier theoretisch Ausbeuten von 100% möglich. Der Aufbau eines nach diesem Prinzip arbeitenden Bildschirms ist in Bild 9 dargestellt. Das Licht der UV-Lampe fällt zunächst auf den fluoreszierenden Polymerfilm, der polarisiertes und sichtbares Licht einer bestimmten Wellenlänge emittiert. An der folgenden Flüssigkristallschicht wird die Polarisationsebene des nunmehr farbigen Lichts genau dann um 90° gedreht, falls keine Steuerspannung an der entsprechenden LCD-Zelle anliegt. Falls eine Spannung anliegt, durchquert das Licht die LCD-Schicht ohne Veränderung der Polarisationsrichtung. Es wird dann am abschliessenden Analysator durchgelassen, weil seine Schwingungsebene parallel zur Vorzugsrichtung dieses Filters orientiert ist. Entsprechend werden die anderen Lichtanteile, deren Polarisationsebene um 90° gedreht wurde, vom Analysator blockiert.

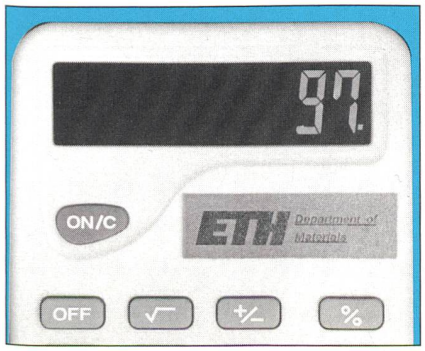

Bild 10 Einfarbige photolumineszierende Taschenrechneranzeige (ETH Zürich)

Indem sie den Polymerfilm in die Flüssigkristallanzeige eines gewöhnlichen Taschenrechners einbauten, konnten die Zürcher Wissenschafter demonstrieren, dass ihre Entwicklung ohne grossen Aufwand in existierende Produkte integriert werden könnte. Die in Bild 10 gezeigten Photolumineszenz-Anzeigen zeichnen sich im Vergleich mit einer normalen LCD durch eine grössere Helligkeit und einen höheren Kontrast aus. Die gemessenen Leuchtstärkewerte betragen 30 cd/m^2 für die hellen und 4 cd/m^2 für die dunklen Bereiche der neuen Anzeige. Demgegenüber erreicht eine normale LCD-Anzeige Werte von 17 und 7 cd/m^2.

Weil die Anregung der fluoreszierenden Moleküle auf optischem Wege (durch UV-Licht) stattfindet, kann die theoretisch erreichbare Quantenausbeute 100% erreichen. Vereinfacht könnte man sagen, dass durch Photonenabsorption angeregte Moleküle auch durch Photonenemission in ihren Grundzustand zurückfinden können. Strahlungslose Übergänge, die bei der Anregung durch das Anlegen einer elektrischen Spannung unvermeidbar sind, können dementsprechend vernachlässigt werden. Hierin liegt ein prinzipieller Vorteil der Photolumineszenz gegenüber der Elektrolumineszenz, wie sie in den Polymer-Leuchtdioden ausgenutzt wird.

Ein Nachteil der Photolumineszenz-Methode bestand bisher jedoch in einer relativ schlechten Ausnützung des anregenden Lichtes der UV-Hintergrundbeleuchtung. Die Ursache dieser Schwäche liegt in der anisotropen Absorption des Lichts der isotrop strahlenden Lichtquelle. Wie die Lichtemission der Polymere, wird nämlich auch die Absorption des Lichts durch die räumliche Ausrichtung der Moleküle als Folge der Filmverstreckung stark polarisiert. Lichtanteile mit Schwingungsebenen senkrecht zur Zugrichtung des Filmes konnten daher bisher nicht vom Film genutzt werden, sondern gingen durch Umwandlung in Wärme verloren.

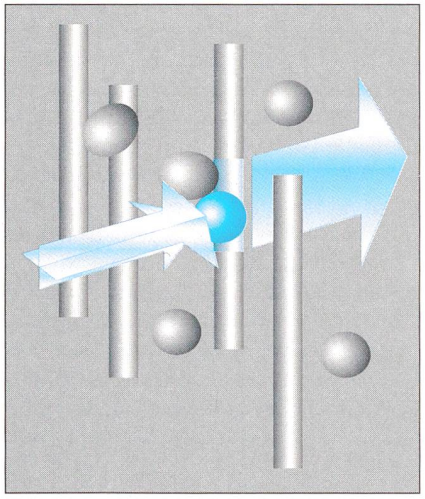

Bild 11 Funktionsprinzip der Sensibilisatoren

Die runden Sensibilisatormoleküle absorbieren einstrahlendes Licht mit beliebiger Polarisationsrichtung und übertragen die Energie an die polarisiert fluoreszierenden Polymere (senkrechte Stäbe).

Die ETH-Gruppe hat mittlerweile auch für dieses Problem eine Lösung gefunden, die der Forderung nach möglichst isotroper Absorption und anisotroper (polarisierter) Emission nachkommen soll. Die Lösung liegt in der Beimischung eines weiteren Moleküls zu den fluoreszierenden Polymeren, das sich durch eine isotrope Absorption auszeichnet und von allen Lichtanteilen der UV-Quelle angeregt werden kann. Aufgabe dieser Moleküle, der sogenannten Sensibilisatoren, ist es, die durch Lichtabsorption gespeicherte Energie an die orientierten fluoreszierenden Polymere zu transferieren (Bild 11). Die Sensibilisatoren tragen

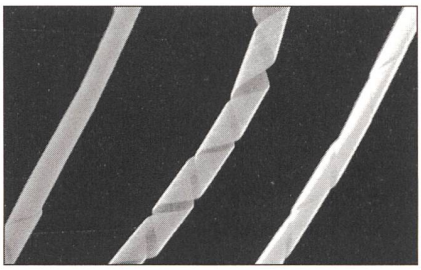

Bild 12 Helligkeitsvergleich zwischen Filmen mit Sensibilisator (links), mit fluoreszierendem Polymer (Mitte) und mit beiden Molekülsorten (rechts)

damit nicht direkt zur Lumineszenz bei, sondern transferieren lediglich die isotrop absorbierte Energie zu den anisotrop (polarisiert) fluoreszierenden Halbleiter-Polymeren. Neben der direkten, anisotropen Lichtabsorption besteht somit ein weiterer, diesmal isotroper Mechanismus der Elektronenanregung. Im Idealfall würde durch beide Mechanismen das gesamte Licht der UV-Quelle absorbiert und in fluoreszierende Strahlung umgewandelt. Bild 12 veranschaulicht die Verbesserung der bisherigen Leuchtstärke der Polymerfilme durch die Verwendung der Sensibilisatoren. Konkret wurden für den Film mit Sensibilisatoren 82 cd/m^2 gegenüber 22 cd/m^2 für den fluoreszierenden Film ohne Sensibilisator gemessen.

Bisher konnte noch nicht im Detail geklärt werden, durch welchen Mechanismus der Energietransfer zwischen Sensibilisatoren und halbleitenden Polymeren vermittelt wird. Aufgrund bisheriger Experimente wird vermutet, dass kein direkter Elektronentransfer stattfindet, sondern eine andere elektrische Dipol-Wechselwirkung für den Effekt verantwortlich ist.

Zusammenfassung

Die geschilderten Methoden sind alle noch verhältnismässig neu. Von der Existenz der Nanoröhrchen weiss man sogar erst seit sieben Jahren. Man kann daher heute noch nicht abschätzen, ob eine der Methoden in Zukunft in kommerziellen Massenprodukten verwendet werden wird. Die Chancen scheinen aber speziell für die Polymertechnologie sehr gut zu stehen. Einige prinzipielle Vereinfachungen der Geräte sowie eine verbesserte Anzeigequalität mögen sich in Zukunft mit Hilfe dieser Moleküle realisieren lassen. Ein nächster wichtiger Schritt wird sein, die Polymerfilme zu strukturieren. Dies wäre eine notwendige Voraussetzung, um Monitore – zunächst monochrome und später farbige – herstellen zu können. Dabei könnte sich die Technologie bereits etablierte Techniken (z.B. LCD) zunutze machen, ohne allzu grundlegende Veränderungen zu erfordern.

*

Der Autor dankt Dr. Christoph Weder, ETH Zürich, für die Unterstützung bei der Vorbereitung dieses Artikels.

Literatur

[1] *A. G. Rinzler, J. H. Hafner, P. Nikolaev, L. Lou, S. G. Kim, D. Tomanek, P. Nordlander, D. T. Colbert, R. E. Salley:* Unraveling Nanotubes: Field Emission from an Atomic Wire. Science 269(1995), pp. 1550 to 1553.

[2] *Walt A. de Heer, A. Châtelain, D. Ugarte:* A Carbon Nanotube Field-Emission Electron Source. Science 270(1995), pp. 1179–1180.

[3] *H. Sixl, H. Schenk, N. Yu:* Flächenleuchtdioden aus Polymeren. Physik. Blätter 54(1998), S. 225–230.

[4] *Ch. Weder, Ch. Sarwa, A. Montali, C. Bastiaansen, P. Smith:* Incorporation of Photoluminescent Polarizers into Liquid Crystal Displays. Science 279(1998), pp. 835–837.

[5] *A. Montali, C. Bastiaansen, P. Smith, Ch. Weder:* Polarizing Energy Transfer in Photoluminescent Materials for Display Applications. Nature 392(1998), pp. 261 to 264.

Nouveaux matériaux pour des affichages numériques plus clairs

Les possibilités d'utilisation des affichages à cristaux liquides d'aujourd'hui s'étendent de la simple montre-bracelet jusqu'aux coûteux écrans multicolores pour ordinateurs et appareils de télévision. Malgré les nombreuses améliorations opérées ces dernières années, l'efficience des appareils est toujours imparfaite: plus de 80% de la lumière générée sont perdus le long du parcours de l'éclairage de fond vers l'observateur. Etant donné le volume du marché estimé à plus de 30 milliards de dollars en l'an 2000, scientifiques et industriels font de gros efforts pour des concepts plus efficaces en faveur de nouveaux affichages.