

Brillianter Kunststoff

Organische Leuchtdioden (OLEDs) können den Markt für Displays revolutionieren: OLEDs sind selbstleuchtend, kontrastreich, extrem flach und videotauglich. Zahlreiche Hersteller haben jetzt eigene Marken für OLED-Produkte eingeführt, darunter auch Osram Opto Semiconductors.



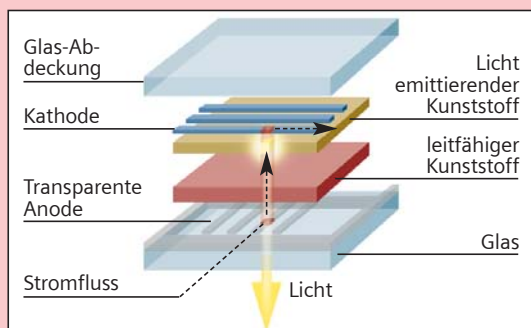
Mini-Fernseher im Blick: Bernhard Stapp, Leiter der Forschung und Entwicklung von Osram Opto Semiconductors, zeigt ein videotaugliches, brilliant leuchtendes OLED-Display. Im malaysischen Penang können pro Jahr nun 30.000 Quadratmeter Glasfläche in OLED verwandelt werden.

So sieht die Zukunft der Displays aus“, sagt Dr. Bernhard Stapp und stellt einen Mini-Fernseher auf den Tisch seines Büros in Regensburg. Das Gehäuse hat auf der Fläche einer Kreditkarte Platz, ist wenige Zentimeter hoch und trägt einen Aufbau mit einem dünnen Display, das einen Film mit Impressionen aus Paris zeigt. „Ich meine damit aber nicht, dass Displays künftig so klein sind, sondern

dass sie so dünn sein werden und so brilliant leuchten“, sagt Stapp, Leiter der Forschung und Entwicklung von Osram Opto Semiconductors, der Optoelektronik-Sparte von Osram. Während der Film läuft, dreht Stapp das Gehäuse. Im Gegensatz zu Flüssigkristall-Bildschirmen (LCDs), die nur von vorn optimal sichtbar sind, wirkt das Display aus allen Winkeln gestochen scharf und kontrastreich.

VIELE TECHNIKEN KONKURRIEREN

Die Welt der OLEDs ist zweigeteilt. Zwei Arten bestimmter organischer Chemikalien leuchten beim Anlegen einer Spannung: langkettige Polymere und kleine Moleküle. Es gibt zwei zugrunde liegende Phänomene: Fluoreszenz und Phosphoreszenz. Und bei der Displaytechnik stehen sich zwei Architekturen gegenüber: Aktiv- und Passivmatrix. Osram Opto Semiconductors produziert derzeit ausschließlich Passivmatrix-Displays aus Polymeren. Hier bestehen Anode und Kathode aus engen, um 90 Grad versetzten Leiterbahnen, die die Polymerschicht einschließen (siehe Grafik). Die Kreuzungspunkte der Elektroden bilden die Pixel. Das Licht wird durch eine transparente Elektrode aus Indium-Zinn-Oxid nach außen abgestrahlt. Passivmatrix-Displays sind relativ einfach herzustellen, aufgrund von Verlusten in den elektrischen Leitungen ist ihre Größe aber auf etwa fünf Zentimeter Diagonale begrenzt. Diese Beschränkung gilt nicht für die komplexer aufgebauten Aktivmatrix-Displays. Hier wird jedes Pixel einzeln angesteuert, was eine integrierte Schaltung in der Displayebene erfordert. Ideal dafür wären Dünnschichttransistoren aus polykristallinem Silizium, die derzeit aber noch nicht breit verfügbar sind. Bei integrierten Schaltungen mit der konkurrierenden Technik des amorphen Siliziums ist der Stromverbrauch wiederum zu hoch.



Schema eines Passivmatrix-Displays: Kathode und Anode bilden ein quadratisches Gitter. Die Pixel aus OLED-Material werden durch den Strom zum Leuchten angeregt.

Vollfarbige Displays werden heute fast ausschließlich mit OLEDs aus kleinen Molekülen („small molecules“) in Pulverform hergestellt, bei denen das nötige Farbspektrum bereits vorhanden ist. Ein Standardmaterial ist dabei Alq₃ (Tris(8-hydroxyquinolin)aluminium-Komplex). Für blaues Licht sind etwa so genannte Spiro-Verbindungen geeignet, die aus über Kreuz verbundenen Bi- oder Oligophenylen bestehen. Diese OLEDs werden durch Aufdampfen der Schichten über Masken erzeugt, was Probleme bei der Massenproduktion und bei größeren Displays bereiten könnte. Polyphenylenvinyl (PPV) oder Polyethylenedioxythiophen (PDOT:PSS), wie sie Osram einsetzt, können dagegen mit der Technik des „spin coatings“ auf große Flächen aufgebracht werden. Die höchsten Effizienzen werden derzeit im Labor bei „small molecules“ gemessen, die teilweise beide opto-elektrischen Anregungszustände verwenden können: Fluoreszenz und Phosphoreszenz. Bisher wird in Polymer-OLEDs ausschließlich der so genannte Singulett-Zustand genutzt, wenn die Spannung Energie in die Elektronen des Polymers pumpt, die diese dann beim Zurückfallen in den Grundzustand durch sichtbare Strahlung wieder abgeben – das Phänomen der Fluoreszenz. Parallel werden auch Elektronen in den dreimal häufigeren, aber energieärmeren Triplett-Zustand gehoben. Beim Zurückfallen der Elektronen entsteht auch Strahlung, die aber meist nicht sichtbar ist, die Phosphoreszenz. Durch Tricks wie bestimmte Dotierungen wird aber der Triplett-Zustand aktiviert und in die Emission miteinbezogen, was die Effizienz von Polymer-OLEDs künftig bis zu einem Faktor vier erhöhen könnte.

Außerdem strahlt es verzögerungsfrei von selbst. LCDs müssen hinterleuchtet werden, was rund 90 Prozent der hineingesteckten Energie verbraucht – mehr als die Hälfte schlucken allein die nötigen Polarisationsfilter. Das neue Display besteht aus Kunststoff, Metall und Glas; die leuchtende Schicht ist weniger als einen halben tausendstel Millimeter dick. Die Rede ist von OLEDs, organischen Leuchtdioden, die jetzt auf den Markt kommen und auf etlichen Feldern bald den LCDs Konkurrenz machen dürften.

Seit Mitte der 80er Jahre Forscher von Kodak erstmals eine OLED aus kleinen Molekülen hergestellt haben, nahm das Gebiet eine stürmische Entwicklung. Kurz darauf folgte Cambridge Display Technology mit OLEDs aus Polymeren, also langkettigen Kunststoffen. Inzwischen sind zahlreiche organische Materialien bekannt, die beim Anlegen einer Spannung leuchten, ob gelb, grün, rot oder blau – alle Farben sind möglich. Vom erfolgreichen Laborversuch zur großtechnischen Produktion ist es indes ein steiniger Weg: Die Dioden sind extrem empfindlich gegenüber Feuchtigkeit und Sauerstoff und müssen daher hinter Glas verkapselt werden. Für die Verarbeitung gelten Reinheitskriterien wie in der Halbleiterindustrie. Und noch basteln die Wissenschaftler an den optimalen Materialien. So strahlen nicht alle Farben mit der gleichen Effizienz, was den Stromverbrauch in die Höhe treibt, die Lebensdauer verkürzt und damit den breiten Einsatz vollfarbiger Großdisplays hinausschiebt.

Großes Marktpotenzial. Die OLEDs stehen 20 Jahre nach der Entdeckung vor dem kommerziellen Durchbruch. Laut einer Studie des US-Marktforschungsunternehmens iSuppli soll der Umsatz mit OLED-Displays von 500 Millionen Dollar im Jahr 2004 auf knapp 2,5 Milliarden Dollar 2009 steigen. Auf der diesjährigen Fachmesse SID in Baltimore stellte das asiatische Unternehmen International Display Technology mit IBM den Prototypen eines Farbdisplays mit 50 Zentimetern Diagonale vor. Sony präsentierte sogar ein Display mit 60 Zentimetern, bei dem das Bild allerdings aus vier aneinander liegenden Teilen zusammengesetzt wird. Der US-Chemiekonzern

DuPont sowie Philips, Kodak und Osram führten 2003 eigene Marken für ihre OLED-Produkte ein. Schon länger auf dem Markt sind Displays von Pioneer für Autoradios und Handys. Philips hat jetzt einen Rasierer, Kodak eine Digitalkamera mit OLED-Display im Angebot. Osram OS zielt mit der Marke Pictiva unter anderem auf den Displaymarkt der Klapptelevone, Autoradios, Haushaltsgereäte – auf alle Einsatzgebiete, in denen selbstleuchtende und extrem flache Displays gefragt sind. „Das Spektrum ist enorm breit“, sagt Stapp. „Es gibt Anwendungen, an die heute noch keiner denkt, etwa Displays, die bei tiefen Temperaturen funktionieren müssen, oder Taucheruhren. Denkbar ist sogar Modeschmuck mit einem OLED-Display.“

15.000 Stunden Lebensdauer. Die Osram-Tochter hat eine Massenproduktionsanlage für kleine Polymer-OLED-Displays in Penang, Malaysia, aufgebaut. „Wir können pro Jahr 30.000 Quadratmeter Glas in Displays verwandeln“, sagt Produktionsleiter David Lacey. Die kleinen, gelb-grünen Displays wirken im Vergleich zu den vollfarbigen der Konkurrenz nicht gerade eindrucksvoll – aber der Schein trügt. „Wir produzieren robuste Displays von gleich bleibend hoher Qualität. Die Lebensdauer beträgt 15.000 Stunden“, sagt Lacey stolz. „Für die Großdisplays, die auf den Messen gezeigt werden, können Sie dagegen noch keine Bestellung aufgeben.“ Der Chemiker weiß, wovon er spricht: Seit fast zehn Jahren arbeitet er auf dem Gebiet. „Es war faszinierend, die Entwicklungen der OLEDs von Anfang an mitzerleben, von wenigen Stunden Leuchtdauer bis hin zur Marktreife.“

OLEDs bestehen aus mehreren dünnen Schichten, die jeweils einen bestimmten Aufbau haben. Bei der Produktion wird das bereits mit einer durchsichtigen Anode aus Indium-Zinn-Oxid (ITO) beschichtete Trägerglas mit einer metallischen Struktur versehen, die

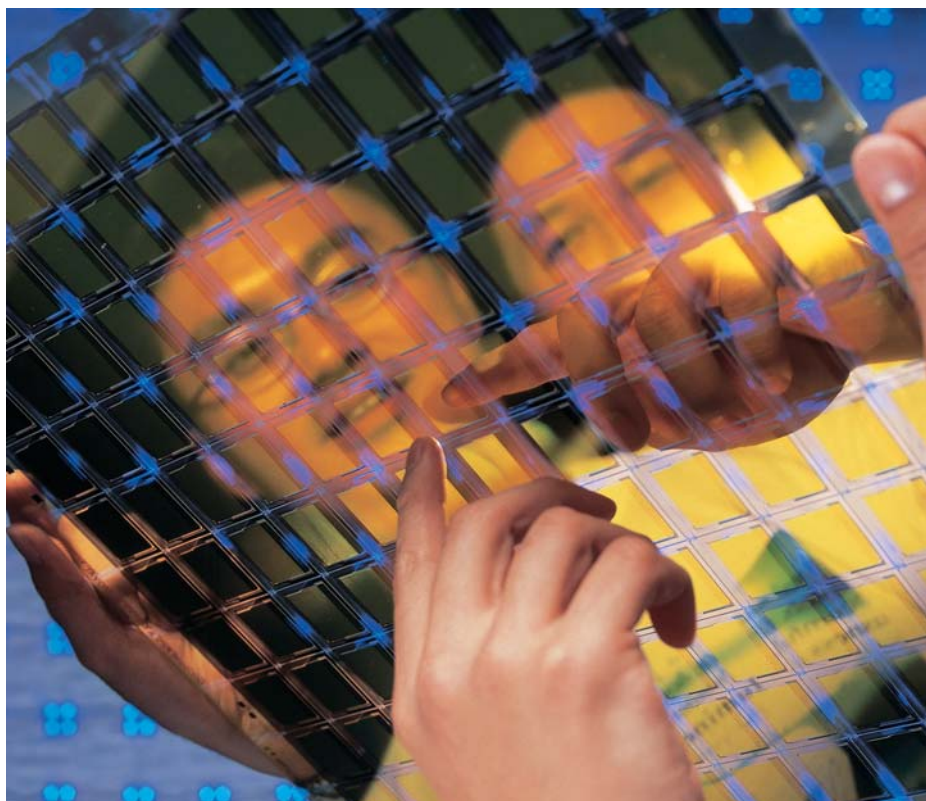
später die elektrischen Kontakte bildet. Mittels Photolithographie entstehen dann die Displays, zunächst als Muster winziger Leiterbahnen auf der Glasfläche zu erkennen. Dann werden nacheinander zwei Schichten Polymere aufgebracht (siehe Grafik S. 46). Das funktioniert so, dass jeweils ein Tropfen des Kunststoffes – entweder in Wasser dispergiert oder in einem organischen Lösungsmittel gelöst – auf die sich extrem schnell drehende Platte fällt und sich gleichmäßig über die Oberfläche verteilt. Nach diesem so genannten ‚spin coating‘ entfernt ein Laser das Polymer von jenen Stellen, die als Kontakte dienen und für die Versiegelung nötig sind. Die Leiterbahnen

Glasplatte mit OLEDs: Die Displays werden in Malaysia nach einem weitgehend automatisierten Prozess gefertigt. In mehreren Schritten werden Schichten von Polymeren und Metallen aufgetragen. Bereits im Jahr 2004 will Osram Displays auch in Orange und Grün anbieten.

für die Kathode bestehen aus einer Mischung aus Barium und Aluminium, zuletzt folgt die Verkapselung aus Glas. Ein einzelnes der quadratischen Pixel hat eine Kantenlänge von etwa 0,3 Millimetern. „Wir haben den Fertigungsprozess weitgehend automatisiert“, erklärt Lacey. „In unserem Verfahren steckt viel Know-how, da es sehr viele Faktoren gibt, die sich auf die Reproduzierbarkeit und die Lebensdauer sehr kritisch auswirken.“

OLEDs aus dem Drucker. „Unser nächstes Ziel sind vollfarbige Displays“, sagt Lacey. Anfang 2004 sollen die ersten orangen und grünen OLEDs in Penang in Produktion gehen. Im Forschungslabor in San José in Kalifornien ist es bereits gelungen, video-taugliche vollfarbige Displays herzustellen. Die Wissenschaftler verwenden dazu einen Prozess, ähnlich einem Tintenstrahldrucker. Das Pixelmuster erzeugen 128 Düsen, die winzige Mengen des Polymers in Vertiefungen spritzen. Dabei werden die drei Grundfarben rot, blau und grün eines Pixels nacheinander in eigene Felder aufgebracht.

Das Verfahren ist derzeit aber nicht serientauglich. Das Polymer scheidet sich noch nicht mit der notwendigen gleichmäßigen Dicke ab, es entstehen eher kugelige Tropfen. Die Forscher sind zuversichtlich,



OLEDs sind sehr kompliziert aufgebaut.

Für die Fertigung sind Reinheitskriterien fast wie bei Halbleitern einzuhalten.

in den nächsten Jahren ein reproduzierbares Verfahren entwickeln zu können.

Gefilterte Farben. An vollfarbigen Displays arbeitet auch Dr. Wolfgang Rogler von Siemens Corporate Technology (CT) in Erlangen. Er forscht mit Osram und dem Materialhersteller Covion in einem Förderprojekt des Bundesforschungsministeriums an OLEDs, die weißes Licht aussenden. Die Farben wollen die Partner mit optischen Filtern erzeugen. Der Vorteil dieses Ansatzes ist der einfachere Aufbau, da nur eine Sorte OLED-Material benötigt wird. Die Filtertechnik kann zudem

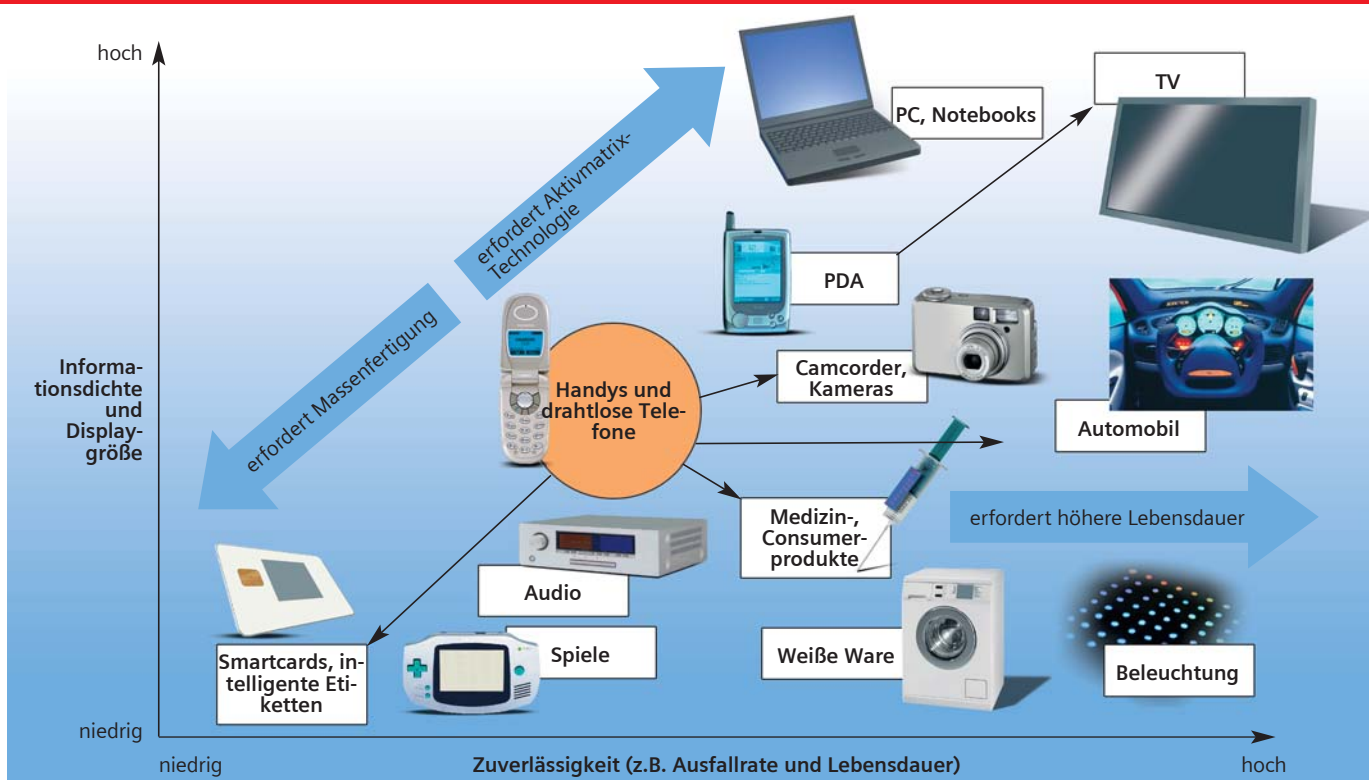
aus der Welt der Flüssigkristalldisplays übernommen werden, in der Farben ähnlich erzeugt werden. „Ein Nachteil ist natürlich die geringere Effizienz“, räumt Rogler ein. Denn jeder Filter schluckt Licht, was letztlich mehr Stromverbrauch bzw. geringere Lebensdauer bedeutet. Eine Lösung könnten Polymere mit einer höheren Lichtausbeute sein, an denen Siemens CT ebenso forscht. Als Fernziel hat das Unternehmen organische Leuchtdioden im Visier, die es mit ihren anorganischen Vettern an Leuchtkraft aufnehmen und in Zukunft sogar als Lichtquelle dienen könnten. Dann müsste die Effizienz von heute drei

bis sechs Lumen pro Watt auf ein konkurrenzfähiges Maß gesteigert werden.

„Derzeit konzentrieren wir uns aber eher auf die Verlängerung der Lebensdauer“, sagt Joe Carr, der Leiter der OLED-Sparte von Osram Opto Semiconductors in San José, Kalifornien. Ermöglichen könnte dies neben optimierten Materialien auch eine verbesserte Verkapselung. Auch hier haben die OLED-Forscher eine Vision: Biegsame Displays, die in Zukunft eine elektronische Zeitung abbilden oder auch als gebogene Bildschirme das Auto-Cockpit von morgen darstellen könnten. Handgefertigte Demonstratoren existieren bereits, die aber rasch undicht werden und daher nur wenige Stunden funktionieren. Einen Durchbruch bei flexiblen Verkapselungen erwartet Carr erst in etwa zehn Jahren. Forschungsleiter Stapp fügt hinzu: „Noch ist das weit entfernt. Aber wir wissen, wie wir dorthin gelangen können.“ ■ Norbert Aschenbrenner

Das flexible OLED-Display ist eine realistische Vision. Der Weg dorthin ist zwar weit, aber bereits heute bekannt.

DIE OLED-ZUKUNFT: HERAUSFORDERUNGEN FÜR DIE FORSCHUNG



Herausforderungen für die OLED-Forscher: Je nach künftiger Anwendung müssen organische Leuchtdioden noch verbessert werden. Für einen TV-Bildschirm ist etwa die Entwicklung von feinstrukturierten Aktivmatrix-Displays nötig. OLEDs in Smartcards erfordern die Prozesse einer Massenfertigung und wenn sie einst auch Räume erhellen sollen, müssen sie extrem lange halten.

Quelle: Osram