

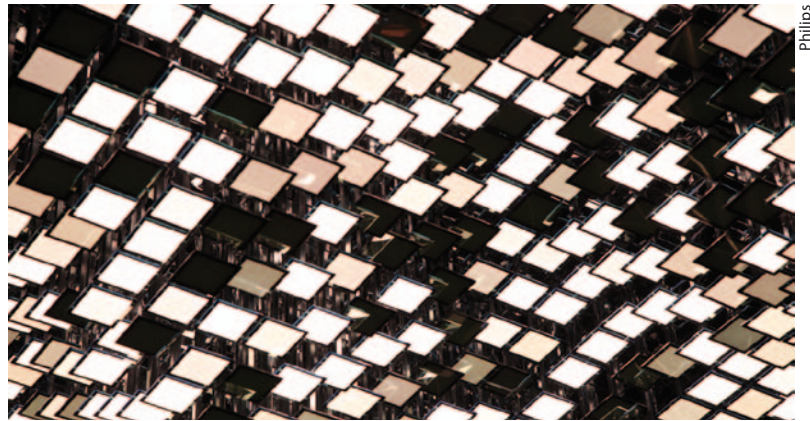
## ■ Helles Licht aus dünnen Schichten

Immer mehr Displays beruhen auf organischen Leuchtdioden. Vereinzelt tauchen diese OLEDs inzwischen auch als Raumbeleuchtung auf.

#) vgl. das Schwerpunkt-  
heft zur Organischen  
Elektronik, Physik Jour-  
nal, Mai 2008, ab S. 29

**M**anchmal jagt ein Technologiewandel den nächsten fast unbemerkt vom Verbraucher. Organische Leuchtdioden sind ein Beispiel dafür. Vielen Besitzern eines Smartphones dürfte nicht bewusst sein, dass sie längst auf ein Display aus OLEDs schauen. Selbst bei Fernsehgeräten werden OLEDs künftig eine bedeutende Rolle spielen. Auch für die Raumbeleuchtung, wo sich der Verbraucher gerade erst mit Leuchtdioden anfreundet, gibt es bereits die ersten Leuchtmittel auf OLED-Basis, wenn auch nur in Nischen.<sup>#)</sup>

So wie ihre kristallinen Namensvetter sind organische Leuchtdioden Halbleiterbauelemente. Allerdings sind ihre Licht emittierenden Schichten nur einige hundert Nanometer dick. Die organischen Schichten in OLEDs sind elektrisch leitfähig, weil ihre Moleküle delokalisierte  $\pi$ -Elektronen enthalten. Die Leitfähigkeit lässt sich einstellen – vom Isolator bis zum Leiter, so wie es von einem Halbleiter zu erwarten ist. Im einfachsten Fall einer OLED befindet sich auf einem Substrat eine Anode, die häufig aus Indium-Zinn-Oxid (ITO) besteht, und darüber die Lochleitungsschicht. Über dieser liegt die Emitterschicht, die einen Farbstoff



Philips

Mit OLEDs lassen sich Flächenstrahler mit einer Bautiefe von wenigen Millimetern herstellen. Der hohe Preis der

Lichtkacheln beschränkt ihren Einsatz zurzeit auf Designerstücke oder Lichtinszenierungen für Gebäude oder Events.

enthält. Auf sie folgt die Kathode, die oft aus Metall besteht. Liegt ein Strom an, injiziert die Kathode über die Elektronenleitungsschicht Elektronen in die Emitterschicht, und die Anode erzeugt Löcher in der Lochleitungsschicht (Abb. 1). Im Idealfall treffen sich Löcher und Elektronen in der Emitterschicht und bilden ein Exziton, also einen gebundenen Zustand. Entweder handelt es sich bei dem Exziton bereits um den angeregten Zustand des Farbstoffmoleküls, oder das zerfallende Exziton liefert die Energie für die Anregung. Durch die Wahl des Farbstoffs und die damit einhergehenden unterschiedlichen Energieabstände zwischen angeregtem und Grundzustand lässt sich die gewünschte Wellenlänge des emittierten Lichts einstellen.

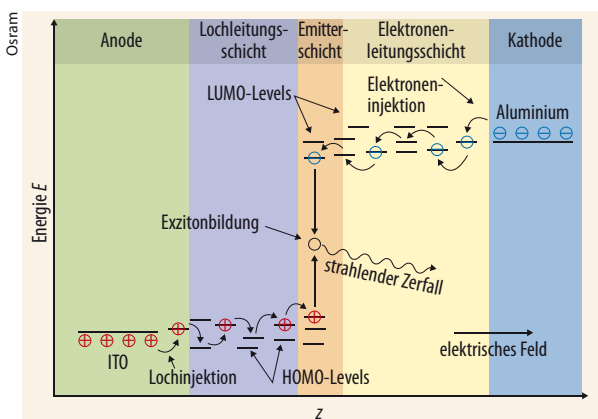
Meist sind OLEDs aber komplexer aufgebaut: An Anode und Kathode schließen sich jeweils Schichten an, die die Injektionsbarriere für Löcher bzw. Elektronen absenken („Vermittlungsschicht“). Danach folgen eine Loch- bzw. Elektronenleitungsschicht, mit deren Hilfe sich besser steuern lässt, an welchem Ort Löcher und Elektronen in der zentralen Emitterschicht rekombinieren. Die OLED besteht also aus sieben Schichten.

Bei einem alternativen Aufbau, der sog. PIN-Diode, entfallen die beiden Vermittlungsschichten, weil

die Lochleitungsschicht mit einem p-dotierten Material versehen wird und die Elektronenleitungsschicht mit einem n-dotierten Material. Diese Dotierung verbessert die Ladungsträgerinjektion der Elektroden und die Leitfähigkeit der Materialien. Um das emittierte Licht auf den gewünschten Spektralbereich einzustellen, sind auch mehrere, übereinanderliegende Emitterschichten möglich. In heutigen OLEDs, die aufgedampft werden, handelt es sich bei den Licht emittierenden Materialien um organische Metallkomplexe.

OLEDs haben gegenüber LCDs, die vor einigen Jahren bei Displays das Maß aller Dinge waren, Vorteile: So erzeugt ein LCD Bilder, indem seine Pixel eine Hintergrundbeleuchtung unterschiedlich stark abschnitten. Dagegen emittieren OLED-Pixel selbst Licht, kommen also ohne Hintergrundbeleuchtung aus, was für höhere Kontraste in der Bildwiedergabe sorgt. Der Betrachtungswinkel eines OLED-Displays ist dadurch größer als bei einem LCD. Und die Bautiefe kann natürlich geringer ausfallen – ein wichtiges Argument bei Mobilgeräten (Abb. 2). Zudem lassen sich OLED-Displays sehr schnell schalten.

Dass sich OLEDs bei Displays noch nicht allgemein durchgesetzt haben, liegt neben technologischen



**Abb. 1** In Anlehnung an Leitungs- und Valenzband bei kristallinen Halbleitern spricht man bei einem organischen Halbleiter von LUMO (lowest unoccupied molecular orbitals) und HOMO (highest occupied molecular orbitals). Liegt eine Gleichspannung an den Elektroden an, können die injizierten Elektronen und Löcher in den organischen Schichten rekombinieren und Licht emittieren.



Samsung

**Abb. 2** Inzwischen verfügen viele Smartphones über OLED-Displays. Sie erreichen wegen der nicht nötigen Hintergrundbeleuchtung höhere Kontraste als LCD-Displays und teils geringere Bautiefen.

und strategischen Überlegungen an Problemen bei der Skalierung der Produktion. Die wenigen Hersteller von OLED-Displays sind voll ausgelastet, zudem haben sie bei der Fertigung von Displays mit großen Diagonalen, wie sie für Fernseher erforderlich wären, bislang immense Probleme mit der Ausbeute. So kommt es, dass zwar bereits seit Jahren marktreife OLED-TVs angekündigt werden, aber erst jetzt tatsächlich Modelle in größeren Stückzahlen auf den Markt kommen. Erkennbar sind solche Geräte an ihrer extrem geringen Bautiefe von wenigen Millimetern.

### Mehr Licht!

In der Raumbelichtung haben sich OLEDs allerdings noch nicht durchgesetzt: Für Displayhersteller ist es wichtig, dass ihre Produkte farbgenau arbeiten und dass jedes Subpixel der RGB-Pixel genau ansteuerbar ist. Die erforderlichen Leuchtdichten sind jedoch sehr moderat, rund 400 Candela pro Quadratmeter genügen. Dagegen müssen OLEDs für die Raumbelichtung die zehnfache Leuchtdichte erreichen. Das gelingt erst seit kurzem und ist nicht einfach, denn die Licht emittierenden

Schichten sind ja nur wenige hundert Nanometer dick.

OLEDs für die Raumbelichtung müssen meist weißes Licht erzeugen. Dies verlangt, verschiedene Farbschichten zu kombinieren, damit der gewünschte Farbton entsteht, und möglichst viele Schichten zu verwenden, damit die Leuchtdichte entsprechend hoch ist. Zwar sind die organischen Schichten der OLEDs im sichtbaren Spektralbereich nahezu transparent, aber natürlich müssen die Entwickler gut abwägen, ob durch zusätzliche Schichten eine höhere Lichtausbeute resultiert oder doch die Absorption zu hoch wird. Auch viele konstruktive Maßnahmen, die nichts direkt mit der Lichterzeugung zu tun haben, tragen zur Effizienzsteigerung bei. So sorgen Folien dafür, dass sich Streulicht im Bauteil effizient auskoppeln lässt.

OLEDs für die Raumbelichtung bestehen meist aus Stapeln organischer PIN-Dioden, sie sind also in Reihe geschaltet. Dadurch sind die gleichen Leuchtdichten möglich wie bei einem einfachen Bauteil, aber die erforderliche Stromstärke kann geringer ausfallen. Niedrigere Ströme haben immer weniger Wärme zur Folge, die ja zwangsläufig zu irreversiblen Prozessen im Bauteil führt. Das Stapeln verlängert also die Lebensdauer der OLED-Belichtung. Bei heute verfügbaren Produkten fällt der Lichtstrom nach 10 000 bis 15 000 Stunden auf 70 Prozent des Ausgangswertes ab.

OLEDs ermöglichen in der Raumbelichtung zwei Dinge, die bislang mit keinem Leuchtmittel zu erreichen waren: Sie sind echte Flächenstrahler, also nicht nur geschickt verbaute Punktlichtquellen, und sie haben eine Bautiefe von wenigen Millimetern. Das ermöglicht beispielsweise Designs mit Lichtkacheln, die man in Wände oder Möbel integrieren kann. Auch die Automobilindustrie experimentiert mit OLEDs. Solange die OLED-Kacheln jedoch noch etwa 7000 Euro pro Quadratmeter kosten, werden sie bei der Raumbelichtung nur Nischen besetzen können.

**Michael Vogel**