

1 Einleitung

Aus einer historischen Sichtweise beruhen organische Leuchtdioden auf der Emission des erzeugten Lichtes durch eine substratseitige, transparente Anode. Die Arbeiten zur Realisierung von organischen Leuchtdioden mit einer Auskopplung durch den Deckkontakt motivieren sich aus einer potenziellen Kombination mit opaken, siliziumbasierten Substraten mit integrierten elektronischen Schaltkreisen. Nach einer kurzen Einführung in die Elektrolumineszenz von organischen Halbleiterbauelementen wird auf die besonderen Vorteile eingegangen, die sich hierbei durch eine invertierte Bauteilarchitektur ergeben.

1.1 Organische Elektrolumineszenz

Organische Substanzen mit einem molekularen Grundgerüst aus konjuguierten Kohlenstoff-Doppelbindungen zeichnen sich durch zwei faszinierende Eigenschaften aus. Nach einer geeigneten Anregung emittieren sie in sehr effizienter Weise Licht *und* sie zeigen in einem Molekülverbund elektrisch leitfähige Eigenschaften. Die Bemühungen, diese Phänomene in einer organischen Elektrolumineszenz zu vereinen, sind getragen von einem hohen naturwissenschaftlichen, technologischen und mittlerweile auch industriellem Interesse.

1.1.1 Eine kurze Historie

Der Transport von Ladungen in einem Volumenmaterial involviert die Interaktion der in ihm befindlichen Moleküle, wohingegen die Lumineszenz ein in der Regel auf das einzelne Molekül lokalisiertes Phänomen ist. Der räumliche Überlapp der einzelnen Molekülorbitale ist jedoch sehr klein und äußert sich bei Raumtemperatur in geringen Mobilitäten von $< 10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Über ein geordnetes Wachstum der Moleküle können diese Transporteigenschaften des molekularen Festkörpers gefördert werden.

Die erste Elektrolumineszenzdiode ist unter diesen Gesichtspunkten bereits von Helfrich et al. 1965 an Anthracenkristallen demonstriert worden [1]. Die großen geometrischen Abmessungen der Kristallite im Mikrometerbereich erforderten jedoch Betriebsspannungen von

mehreren hundert Volt. Eine bahnbrechende Neuerung ist 1987 von Tang und Van Slyke durch den Einsatz amorpher, thermisch verdampfbarer Materialien vorgestellt worden [2]. Sie ermöglichen eine geschlossene, defektfreie Filmbildung bei Schichtdicken von nur wenigen zehn Nanometern und können in so genannten Heterostrukturen mit anderen Halbleitermaterialien kombiniert werden. Die derart realisierten Betriebsspannungen lagen deutlich unterhalb von 10 V. Nur kurze Zeit später konnten von Burroughes et al. elektrolumineszierende Eigenschaften an polymeren Bauteilen demonstriert werden [3, 4]. Die vakuumfreie Abscheidung aus einer Lösung erschwert die Umsetzung mehrlagiger Strukturen, ist aber aufgrund der einfachen und preiswerten Prozesstechnologie für großtechnische Anwendungen sehr reizvoll. Beide materialbezogenen Bauteilkonzepte werden nach wie vor, getrennt oder in Kombination, weiter verfolgt. Das Bauteilkonzept von Tang mit selektiv loch- und elektronentransportierenden Einzelschichten, dotierten Emissionsfilmen, einer opaken Metallkathode und einer substratseitigen, transparenten ITO-Anode zur Lichtauskopplung hat bis heute Bestand.

1.1.2 Organische Displays

Die umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den letzten Jahren haben bereits zu einer kommerziellen Nutzung der OLED-Technologie geführt. In Abhängigkeit von der Adressierung der einzelnen Bildpunkte können die organischen Displays in Passiv-Matrix-(PM) oder Aktiv-Matrix-Displays (AM) klassifiziert werden.

Passiv-Matrix Adressierung

Bei der PM-Adressierung erfolgt der Bildaufbau durch ein sukzessives Ein- und Ausschalten der einzelnen Zeilen des Displays. Bei konstanter Bildwiederholfrequenz verkürzt sich also die Zeitspanne in der die einzelnen Pixel eingeschaltet sind mit einer steigenden Auflösung bzw. Zeilenzahl der Anzeige. Dies hat zur Folge, dass die Pulshelligkeiten L_p der OLED-Zellen mit der mittleren Displayhelligkeit L_0 und der Zeihlenzahl N gemäß $L_p \sim L_0 \cdot N$ ansteigen. Das folgende Zahlenbeispiel zeigt die Grenzen dieser Adressierung auf.

Für ein monochromes Display in einer VGA-Auflösung mit 640×480 -Bildpunkten beträgt die Spitzenhelligkeit der OLED-Elemente bei einer mittleren Helligkeit von *nur* 100 cd/m^2 und einem idealen Füllfaktor bereits knapp 50.000 cd/m^2 . Eine derart hohe Aussteuerung der OLEDs führt zu einer beschleunigten Alterung der Kontakte sowie der organischen Schichten und begrenzt die Einsatzdauer des Displays. Bedingt durch den hohen Stromfluss werden

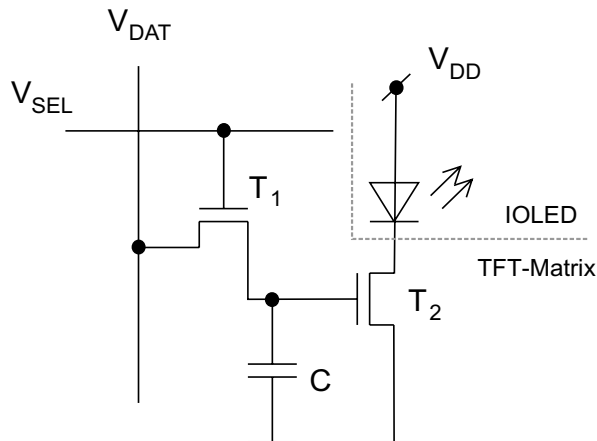


Bild 1.1: 2-Transistor-Schaltung mit n -Kanal TFT's zur AM-Adressierung. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die Integrationsebene zwischen Treibermatrix und IOLED.

die Zuleitungsverluste in den strukturierten ITO-Bahnen durch eine beeinträchtigte Bildhomogenität sichtbar. Diese Effekte werden durch die intrinsischen Effizienzverläufe der OLEDs weiter verstärkt. Die maximalen Effizienzen liegen typischerweise im Bereich von $10 \dots 200 \text{ cd/m}^2$ und fallen bei hohen Leuchtdichten rapide ab. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass ein sinnvoller Einsatz dieser Adressierung auf kleinformatige, monochrome Displays mit $100 \dots 200$ Zeilen begrenzt ist [5].

Aktiv-Matrix Adressierung

Durch eine Entkopplung von Adressierung und Spannungsversorgung können diese ungünstigen Betriebsbedingungen elegant umgangen werden. Hierzu ist ein Schaltungsaufwand von mindestens zwei Transistoren zum Auswählen bzw. Treiben der OLED sowie einer Speicherkapazität notwendig. Somit kann während der kompletten Zeit zwischen zwei Bildwechsellern (engl. frame time) die OLED zur Emission angeregt werden. In diesem Betriebsmodus sind die Helligkeiten des gesamten Displays identisch zu den Helligkeiten der einzelnen OLED-Zellen.

Bei organischen Leuchtdioden handelt es sich um Injektionsbauelemente, bei denen die Lichtemission auf der strahlenden Rekombination von Ladungsträgern beruht. Aus diesem Grund legt der gewählte Kanaltyp des Dünnschichttransistors (engl. thin film transistor, TFT) die Polarität der OLED fest. Da die Ladungsträgerbeweglichkeit von Elektronen in Silizium, ganz unabhängig vom Kristallisationsgrad des Kanals, die der Löcher übersteigt, sind n -Kanal TFT's grundsätzlich in der Lage, einen größeren Treiberstrom zur Verfügung zu stellen. Um diesen Vorteil bei der Integration beider Technologien zu nutzen, muss die mit dem Drainkontakt verbundene OLED-Elektrode elektroneninjizierende Eigenschaften aufweisen. Dieses ist nur mit so genannten *invertierten* organischen Leuchtdioden (IOLEDs) möglich,

die eine substratseitige Kathode aufgrund der umgekehrten Schichtenreihenfolge aufweisen (vgl. Abbildung 1.2).

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte ist in Abbildung 1.1 das Schaltbild einer aktiv angesteuerten IOLED mit einer 2-Transistorschaltung gezeigt. Bei einem zeilenweisen Bildaufbau wird über die Auswahlleitung der Transistor T1 geöffnet und der entsprechende Graustufenwert über die Datenleitung auf die Speicherkapazität C bzw. das Gate des Treibertransistors geschrieben. Der Treibertransistor T2 wird hierbei in der Sättigung betrieben, so dass eine Variation in der Flussspannung der OLED zu keiner Beeinträchtigung der Bildhomogenität führt. Zur Kompensation herstellungsbedingter Abweichungen in den Eigenschaften des Transistors T2 sind in der Regel komplexere Schaltungen notwendig [5, 6].

Die Frage nach dem OLED-Design

Die Realisierung von AM-OLED-Displays ist prinzipiell bereits mit der langjährig erforschten konventionellen OLED-Technologie möglich. Dieses OLED-Konzept verlangt mit seiner sub-

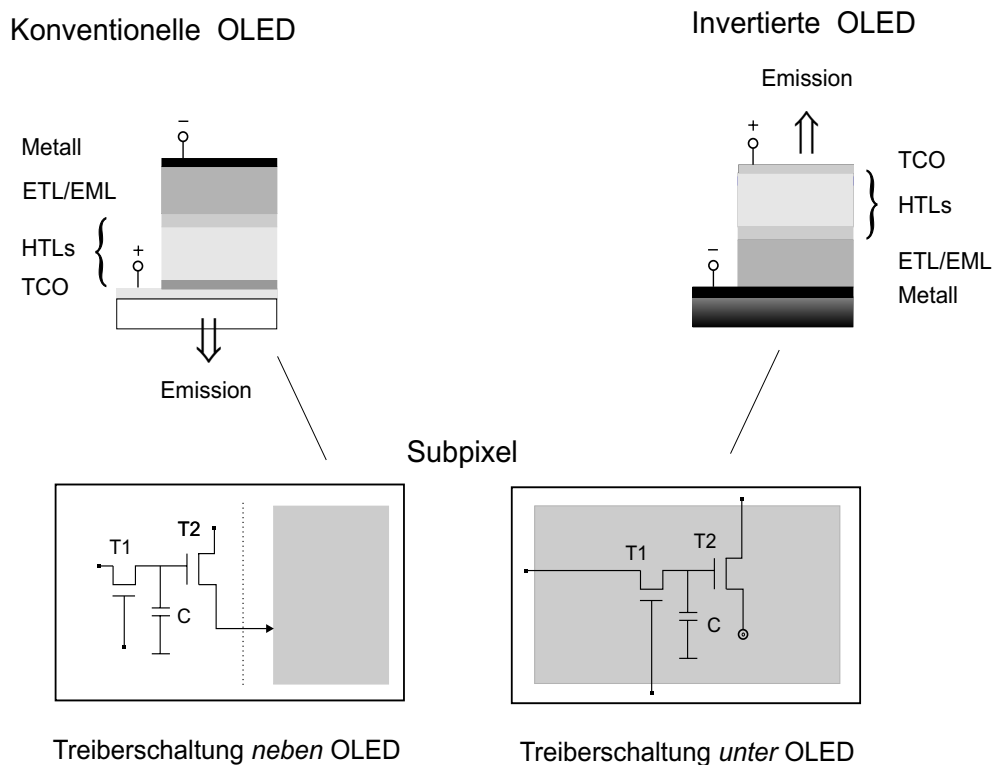


Bild 1.2: Horizontale (links) und vertikale (rechts) Integration einer OLED auf Substrate mit elektronischen Schaltkreisen.