

MicroLED-Displays – ein heller Weg in die Zukunft?

Bewertungskriterien industrieller Displays und technologische Evolutionspfade



Bild © Data Modul

Die Leistungsfähigkeit industrieller Displays wird durch eine Vielzahl technischer Parameter bestimmt, deren Gewichtung stark von der jeweiligen Applikation abhängt. Zentrale Bewertungskriterien sind unter anderem eine kontrastreiche, farbstabile und störungsfreie Darstellung der Inhalte, hohe Ablesbarkeit unter variierenden Umgebungslichtbedingungen, eine lange Lebensdauer sowie ein zuverlässiger Betrieb über einen erweiterten Temperaturbereich hinweg. In industriellen Anwendungen haben sich bislang insbesondere TFT-, LCD- und LED-basierte Displaytechnologien als robuste und wirtschaftlich tragfähige Lösungen etabliert.

Entwicklung geht weiter

Parallel zu diesen ausgereiften Technologien werden kontinuierlich neue Anzeigeprinzipien entwickelt, die eine weitere Steigerung der optischen Performanz versprechen. Diese Innovationsprozesse verlaufen jedoch zunehmend spezialisierter: Nicht jede technologische Neuerung erfüllt die hohen Erwartungen an Zuverlässigkeit, Skalierbarkeit und Wirtschaftlichkeit im industriellen Umfeld. Der langfristige Erfolg einer Displaytechnologie entscheidet sich daher weniger an ihrem theoretischen Leistungsvermögen, sondern vielmehr an der tatsächlich erzielbaren Verbesserung relevanter Kenngrößen bei gleichzeitig vertretbarem Implementierungs- und Produktionsaufwand. Vor diesem Hintergrund rücken derzeit selbstemissive Displaykonzepte verstärkt in den Fokus.

Selbstemissive Displaytechnologien als Paradigmenwechsel

Emissive Anzeigetechnologien zeichnen sich dadurch aus, dass einzelne Pixel selbst Licht emittieren. Der Verzicht auf eine separate Hintergrundbeleuchtung sowie auf klassische LCD-Zellstrukturen ermöglicht grundlegende konstruktive und optische Vorteile. Dazu zählen extrem hohe Kontrastverhältnisse,

sehr kurze Schaltzeiten, eine hohe Energieeffizienz sowie neue Designfreiheiten wie Freiform-, gebogene oder flexible Displays. Diese Eigenschaften machen emissive Technologien grundsätzlich attraktiv für anspruchsvolle industrielle und sicherheitskritische Anwendungen. OLED-Displays sind die aktuell populärsten Vertreter emissiver Display Technologien. MicroLED-Displays treten in Konkurrenz und könnten die Zukunft sein.

MicroLED – Hoffnungsträger der nächsten Displaygeneration?

Eine der derzeit vielversprechendsten selbstemissiven Technologien ist MicroLED. Dabei handelt es sich um eine Anzeigetechnologie, die auf mikroskopisch kleinen LEDs basiert, deren typische Kantenlängen unter 50 µm liegen. Jede einzelne MicroLED fungiert als selbstleuchtendes Subpixel, wodurch weder eine Hintergrundbeleuchtung noch eine Flüssigkristallzelle erforderlich ist. Daraus resultieren sehr hohe maximale Leuchtdichten, ein exzellentes natives Kontrastverhältnis sowie eine hohe Lebensdauer ohne die für OLED typischen Einbrenn- oder Alterungseffekte.

Hohe Leuchtdichte-effizienz

Technologisch hat MicroLED das Potenzial, sich sowohl von

LCD- als auch von OLED-Displays deutlich abzuheben. Insbesondere die hohe Leuchtdichte-effizienz, der große Farbraum, die hohe Dynamik (HDR-Fähigkeit), der extrem niedrige Energieverbrauch sowie die große Bandbreite des möglichen Betriebstemperaturbereichs prädestinieren diese Technologie für Anwendungen mit höchsten Anforderungen an optische Qualität und Betriebssicherheit. Zusätzliche Motivation für die industrielle Implementierung liefern erfolgreiche Consumer-Anwendungen, etwa in Smartwatches sowie branchenübergreifende Einsatzszenarien in AR/VR-Systemen.

Anwendungsfelder und technologische Alleinstellungsmerkmale

Aktuell werden MicroLED-Displays vor allem in AR- und VR-Brillen eingesetzt, da hier die Kombination aus sehr hoher Helligkeit, hoher Auflösung, minimaler Latenz und extrem kompakter Bauform entscheidend ist. Perspektivisch eröffnen sich jedoch zahlreiche weitere Einsatzfelder, etwa in sicherheitsrelevanten Premium-Automobilen, in High-End-Medizingegeräten oder in transparenten Anzeige- und Informationssystemen am Point of Sale, Point of Information oder in Kioskanwendungen.



Transparente MicroLED-Displays kombinieren die Vorteile selbstemissiver Anzeigetechnologien mit neuen Möglichkeiten für Design und Integration.

© Data Modul



Autoren:

Andreas Huber (links)

Head of Products

Tauseef Mahmud (rechts)

Product Management Displays

DATA MODUL

www.data-modul.com

Bedienen und Visualisieren



Transparente MicroLED-Displays kombinieren hohe optische Performance mit neuen Möglichkeiten für die Integration von HMI- und Informationssystemen in industriellen Anwendungen. © AdobeStock | Aisyah

Gegenüber OLED-Displays weisen MicroLEDs eine deutlich geringere Alterungsrate auf, während der Farbumfang vergleichbar hoch ist. Die hohe Transparenz – deutlich über dem Niveau heutiger OLED-Lösungen – ermöglicht zudem neuartige Produkt- und Benutzererlebnisse.

Hohe Skalierbarkeit

Ein weiterer wesentlicher Vorteil liegt in der hohen Skalierbarkeit der Technologie. MicroLED-Displays lassen sich sowohl für sehr kleine, hochauflösende Wearables als auch für großformatige, modulare Displayssysteme realisieren. Insbesondere im Bereich tragbarer medizinischer Geräte zur kontinuierlichen Patientenüberwachung oder in industriellen AR-Anwendungen für Training, Fernwartung und Simulation bieten sich hier erhebliche Potenziale.

Modulare Großformate und industrielle Integration

Data Modul beschäftigt sich seit Jahrzehnten mit der Entwicklung und Industrialisierung innovativer Displaylösungen für spezifische

Kundenanforderungen und erkennt in der MicroLED-Technologie ein erhebliches Zukunftspotenzial. Aktuell gibt es erste MicroLED-Großformate verschiedener Hersteller, die in einem modularen Kachelsystem realisiert sind. Diese lassen sich von einer Diagonale von 16,1 Zoll bis auf 30 Zoll oder – bei einer Konfiguration von 2 x 8 Kacheln – auf bis zu 60 Zoll erweitern.

Die einzelnen Module weisen eine Transparenz von bis zu 70 % auf und übertreffen damit OLED-Lösungen, die typischerweise bei etwa 50 % liegen. Jede Kachel verfügt über eine Auflösung von 960 x 540 Pixel bei einem Pixelpitch von 0,692 mm. Das rahmenlose Design verzichtet vollständig auf sichtbare T-CON- oder FPC-Strukturen, wie sie von klassischen TFT-Displays bekannt sind. Mit einer Aufbauhöhe von lediglich 1,1 mm eröffnen sich vielfältige Integrationsmöglichkeiten, wobei diese extreme Filigranität gleichzeitig hohe Anforderungen an Design, Handling und Systemintegration stellt. Aufgrund der LED-basierten Emission sind

Einbrenneffekte ausgeschlossen, und die Reaktionszeiten liegen im Mikrosekundenbereich.

Technologische und fertigungstechnische Herausforderungen

Trotz der vielversprechenden Eigenschaften steht die MicroLED-Technologie noch vor erheblichen Herausforderungen. Die Struktur von MicroLED-Chips ist deutlich komplexer als die konventioneller LEDs, und auch das Design der TFT- oder CMOS-Backplanes übersteigt den Aufwand klassischer Displayarchitekturen. Eine der größten Hürden stellt der sogenannte Mass-Transfer-Prozess dar, bei dem Millionen mikroskopisch kleiner LED-Chips präzise vom Wafer auf das Zielsubstrat übertragen werden müssen.

Derzeit konkurrieren unterschiedliche Transferv Verfahren – darunter elektrostatische, elektromagnetische, laserbasierte, stempelbasierte, monolithische oder fluidische Inkjet-Ansätze sowie Pick-and-Place-Verfahren. Jedes dieser Konzepte weist spezifische Vor- und Nachteile hinsichtlich Genauigkeit, Durchsatz, Yield und Kosten auf. Bislang hat sich kein Verfahren als industrieller Standard etabliert, wodurch Produktionsprozesse, Wertschöpfungsketten und Lieferstrukturen noch nicht abschließend definiert sind.

Hinzu kommen die aufwendigen Anforderungen an Inspektion und Reparatur. Selbst bei sehr hohen Yield-Raten müssen defekte Subpixel identifiziert und ersetzt werden,

da moderne MicroLED-Displays aus Millionen oder gar Dutzenden Millionen einzelner Subpixel bestehen. Dieser Aufwand wirkt sich unmittelbar auf die Produktionskosten aus und stellt derzeit eine der größten wirtschaftlichen Hürden dar.

Marktentwicklung und Ausblick

Trotz dieser Herausforderungen wird dem MicroLED-Markt in den kommenden Jahren ein signifikantes Wachstum prognostiziert. Zwischen 2020 und 2025 werden Investitionen in Höhe von rund 8 Milliarden US-Dollar erwartet, die unter anderem in MOCVD-Anlagen, epitaktische Wafer, Mass-Transfer-Prozesse, Chipdesign, CMOS- und TFT-Backplanes, Treiber-ICs, Modulisierung, Inspektions- und Reparaturoquipments sowie Systemintegration fließen (Quelle: Omdia).

Die MicroLED-Technologie ist damit grundsätzlich im Markt angekommen, befindet sich jedoch noch nicht auf dem Niveau einer wirtschaftlichen Massenproduktion. Kurz- bis mittelfristig wird sie daher voraussichtlich ein Nischenprodukt bleiben, mit klaren Schwerpunkten in Wearables, AR/VR sowie in medizinischen und automobilen High-End-Anwendungen. Eine vorsichtige Prognose geht davon aus, dass es noch etwa drei bis fünf Jahre dauern wird, bis die Technologie in großem Maßstab industriell gefertigt werden kann. Der Weg dorthin ist anspruchsvoll – aber das Ziel rückt näher. ◀



Funktionsprinzip, Potenziale und Herausforderungen der MicroLED-Technologie. Insbesondere der präzise Massentransfer der LED-Chips gilt als eine der größten Hürden auf dem Weg zur industriellen Serienfertigung. © Data Modul