

■ Farbe satt

Ein wichtiges Verkaufsargument bei Fernsehgeräten ist deren Farbwiedergabe. Mit Quantenpunkten lässt sich diese weiter verbessern.

Seit 1967 gibt es in Deutschland das Farbfernsehen. Einst ein Nischenangebot für Besserverdienende – die ersten Farbfernseher kosteten zwischen 2000 und 4000 Mark –, sind heute nicht nur TV-Geräte, sondern alle Bildschirme in der Consumerelektronik „in Farbe“. Doch auch im Zeitalter der Flüssigkristalldisplays (LCDs), die beim Fernsehen inzwischen zum Standard geworden sind, gilt noch immer: Farbe ist nicht gleich Farbe, vielmehr unterscheidet sich der Bildeindruck von Gerät zu Gerät. Mehr noch: In Sachen Farbsättigung konnten LCDs in den vergangenen Jahren zwar aufholen, haben aber weiterhin ihre Grenzen, weil sie ihr Bild – und damit die Farben – für gewöhnlich nicht direkt aus den drei Grundfarben Rot, Grün und Blau erzeugen, sondern weißes Licht filtern. Eine neue Technologie, die auf Quantenpunkten beruht, kann die Farbwiedergabe deutlich verbessern. Erste Fernsehgeräte sind nun auf dem Markt.

Solche Quantenpunkte sind Halbleiterkristalle mit Abmessungen von wenigen Nanometern (ca. 2–10 nm). Die Elektronen und Löcher sind darin wie in einem dreidimensionalen Potentialtopf so stark eingesperrt, dass sie nur noch diskrete Energiewerte annehmen können. Da die erlaubten Energiezustände direkt mit den Dimensionen der Quantenpunkte korrelieren, lassen sich die elektronischen und optischen Eigenschaften dieser Nanokristalle maßschneidern: Größere Quantenpunkte emittieren



Sony

Erste Flachbildfernseher auf der Basis von Flüssigkristallen nutzen Quantenpunkte, um die Farbwiedergabe zu verbessern. Diese Quantenpunkte sind

Nanokristalle aus Halbleitermaterialien, deren zulässige Energieniveaus für Elektronen und Löcher diskret sind.

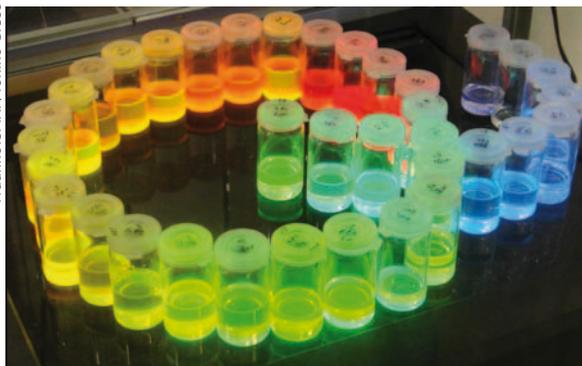
bei längeren Wellenlängen, kleinere bei kürzeren – und sie emittieren dieses Licht schmalbandig. Kommerziell verfügbare Quantenpunkte erreichen Halbwertsbreiten von nur 30 bis 40 Nanometer und eine Effizienz von mehr als 90 Prozent. Das riecht geradezu nach idealer Strahlungsquelle.

Um die Vorzüge der Quantenpunkte bei der Farbwiedergabe von Flüssigkristalldisplays zu verstehen, muss man sich verdeutlichen, wie diese Geräte derzeit ein Bild erzeugen. Jedes LCD umfasst zwei Hauptkomponenten: das eigentliche Flüssigkristallmodul und die Hintergrundbeleuchtung. Letztere besteht für gewöhnlich aus einer

Zeile blauer Leuchtdioden, die mit einem gelben Leuchtstoff beschichtet sind. Das resultierende weiße Licht wird über diverse optische Elemente so umgeleitet und gleichmäßig verteilt, dass es das Flüssigkristallmodul homogen ausleuchtet. Das Modul wiederum setzt sich aus Millionen Pixeln zusammen, von denen jedes aus einem roten, grünen und blauen Subpixel besteht. Durch die Steuerung der Lichtmenge, die durch jedes Subpixel fällt, lässt sich auf Pixelebene eine große Zahl von Farben darstellen. Wie lebhaft eine Farbe auf dem Bildschirm wirkt, hängt also direkt von der Farbsättigung der Subpixel ab und vom Spektrum der Hintergrundbeleuchtung: Ein intensives Rot erfordert entweder eine sehr schmalbandige Filterwirkung des Subpixels oder einen passenden schmalbandigen Rotanteil der Hintergrundbeleuchtung. Entsprechendes gilt für Grün und Blau – und ist leider für keine der drei Farben realisierbar. Denn schmalbandige Subpixel sind zu teuer in der Herstellung und dämpfen das Licht der Leuchtdioden viel zu

Die Größe der Quantenpunkte legt die Wellenlänge fest, bei der sie emittieren. Da man inzwischen in der Lage ist, bei der Fertigung die Größe sehr genau einzustellen, lässt sich das Emissionsspektrum von Quantenpunkten passend zur intendierten Anwendung maßschneidern. Kommerziell erhältliche Quantenpunkte liegen häufig als Suspension vor.

Fraunhofer IAP/Tonino Greco

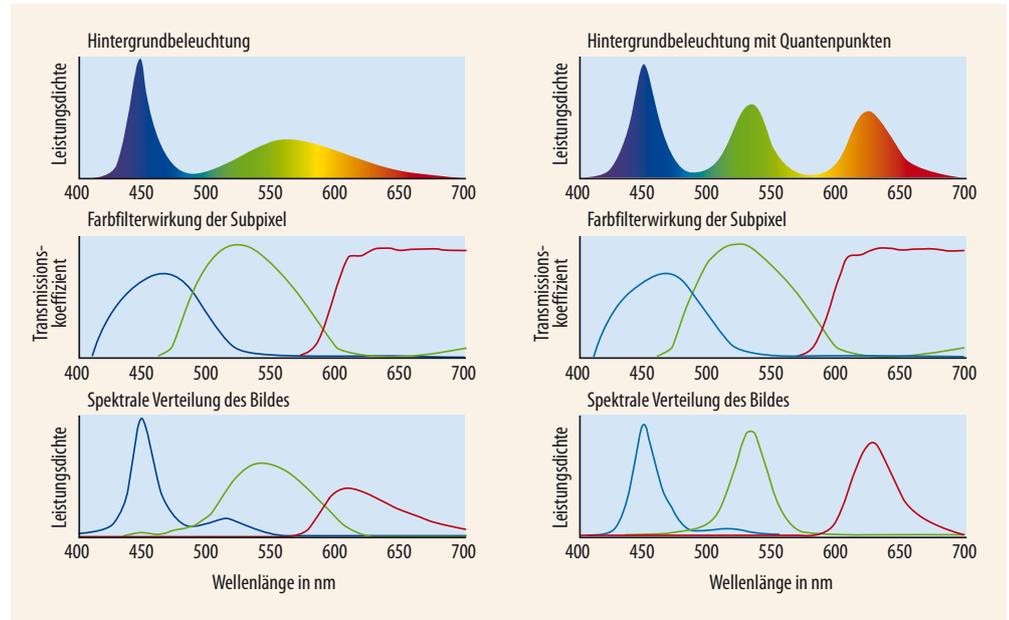


stark, und das breitbandige weiße Licht der Hintergrundbeleuchtung hat einen hohen Blauanteil und vergleichsweise geringe Grün- und Rotanteile. Zwar lässt sich eine Hintergrundbeleuchtung zum Beispiel auch aus RGB-Leuchtdioden aufbauen, die den Vorteil haben, dass ihre Mischung ein Weiß ergibt, zu dem die drei Grundfarben gleichmäßiger beitragen, allerdings ist dieser Ansatz deutlich teurer und senkt die Energieeffizienz. Daher haben sich die Hersteller entschieden, mit dem genannten Kompromiss, also blauer Leuchtdiode mit gelbem Leuchtstoff, bei der Farbmischung zu leben – und die Resultate sind ja trotz aller physikalisch bedingten Einschränkungen erstaunlich gut.

Eingebettete Quantenpunkte

In den Flüssigkristallbildschirmen mit Quantenpunkten gibt es statt der blauen Leuchtdioden mit gelbem Leuchtstoff einfach blaue Leuchtdioden, vor denen Quantenpunkte angebracht sind, die einen Teil des blauen Lichts absorbieren und im Roten oder Grünen emittieren. Die Dichte der Quantenpunkte ist dabei so gewählt, dass auch noch genügend blaues Licht transmittiert wird. Das Spektrum des resultierenden weißen Lichts weist dank der Quantenpunkte deutlich schmalere Peaks im grünen und roten Wellenlängenbereich auf als klassisch aufgebaute Displays. Für den Betrachter bedeutet das: Die Farben des Bildes sind differenzierter und satter. Wobei man bei Vergleichen nie vergessen darf, dass bereits die Produktionsfirmen den Farbraum eines Filmes festlegen – beschränkt er sich auf einen Standardfarbraum, wie etwa den weit verbreiteten Adobe RGB, so gibt es auch für ein Quantenpunktdisplay keine zusätzlichen Nuancen, die es darstellen könnte. Gerät und Film müssen also zusammenpassen.

Technisch fertigen die Hersteller die Quantenpunkte für Displays aus II-VI- oder III-V-Halbleitern; das Materialsystem Cadmiumselenid/Zinksulfid ist ein Beispiel dafür. Die Nanokristalle werden nasschemisch hergestellt. Ihre Oberflächen



Die Hintergrundbeleuchtung in Flüssigkristalldisplays trägt maßgeblich zur Farbwiedergabe bei. Bei einer typischen Beleuchtung regen blaue Leuchtdioden einen gelben Leuchtstoff an, um weißes Licht mit einem relativ hohen Blauanteil zu erzeugen (links). Durch den Transmissionskoeffizienten der Subpixel, die wie Filter wirken, entsteht letztlich

Licht mit unterschiedlich starken Rot-, Blau- und Grünanteilen. Bei der spektralen Verteilung eines Displays mit Quantenpunkten regt blaues Licht die Quantenpunkte an, die im Grünen bzw. Roten emittieren (rechts). Durch die Farbfilterwirkung der Subpixel ergibt sich ein Spektrum mit fast gleich hohen und breiten Peaks bei Blau, Grün und Rot.

sind mit weiteren funktionalen Stoffen, sogenannten Liganden, umgeben, damit sie in der Lösung nicht zusammenklumpen. Weil die Quantenpunkte so klein sind, sedimentieren sie auch nicht, sondern bleiben aufgrund der Brownschen Molekularbewegung fein verteilt im Lösungsmittel – technisch gesprochen liegt also eine Suspension vor. Bei der Herstellung lässt sich über Stoffkonzentrationen, Temperatur und Reaktionszeit die Größe der resultierenden Nanokristalle steuern. Die Hersteller füllen die Suspension anschließend in eine geeignet geformte Kunststoffröhre und härten diese mit Licht oder Wärme aus. Diese Kunststoffröhre wird dann vor der Leuchtdiodenzeile der Hintergrundbeleuchtung platziert.

Bei einer anderen Technologie bringen die Hersteller die Quantenpunkte für Rot und Grün gleichmäßig in ein Matrixmaterial aus Kunststoff ein und versiegeln es anschließend mit einer Sperrfolie, um es vor Sauerstoff und Luftfeuchtigkeit zu schützen. Diese sehr dünne Sandwichstruktur lässt sich dann zwischen Hintergrundbeleuchtung und Flüssigkristallmodul platzieren; in der Hintergrundbe-

leuchtung stecken wiederum blaue Leuchtdioden, die die Quantenpunkte zur Emission im grünen und roten Wellenlängenbereich anregen. Geräte mit einer solchen Quantenpunktfolie stehen vor der Markteinführung.

Gemeinsam ist den beiden technischen Ansätzen, dass sich Stab oder Folie relativ einfach in die Fertigungsprozesse der Displayhersteller integrieren lassen. Das ist auch zwingend nötig, da die Fabriken Milliardeninvestitionen erforderten – eine neue Technologie also nur Chancen hat, wenn sie zumindest fertigungstechnisch zum Etablierten kompatibel ist. Ansonsten wäre das finanzielle Risiko für die Displayindustrie zu hoch. Denn ob Quantenpunkte in der Hintergrundlichtquelle sich auf breiter Front durchsetzen werden, lässt sich derzeit nicht absehen. Als Fernziel träumen die Forscher eh von ganz anderen Dingen, nämlich von Quantenpunkt-Leuchtdioden. Bis es so weit kommt, dürften aber noch viele LCD-Fernsehgeräte verkauft werden – mit oder ohne Quantenpunkte in der Hintergrundbeleuchtung.

Michael Vogel