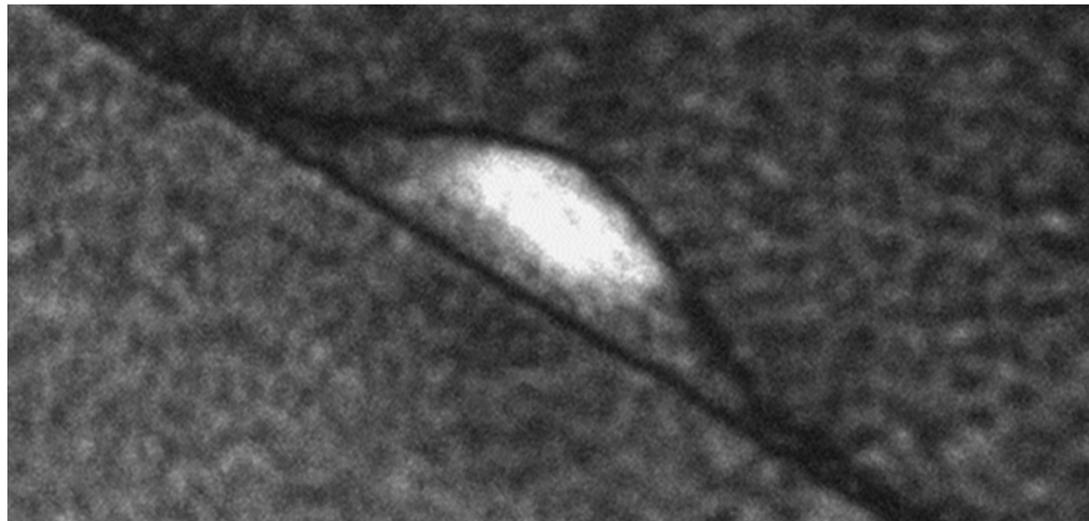


Quantum Dot Lichtquellen

Fachhochschule Münster

Modul Inkohärente Lichtquellen

Volker Hinz



Quelle: <http://kompendium.infotip.de/quantenpunkt-displays.html>

- › Einleitung
- › Historie
- › Fertigungsverfahren
- › Warum Quantum Dots?
- › Anwendungen
- › Zusammenfassung

- › **Einleitung**
- › Historie
- › Herstellungsverfahren
- › Warum Quantum Dots?
- › Anwendungen
- › Zusammenfassung

Einleitung

Was sind Quantenpunkte?

- › Fluoreszente Halbleiternanostruktur, eingebettet in andere Nanostruktur
 - › 1 Quantenpunkt enthält 1000 bis 10000 Atome
 - › menschliches Haar hat 10.000fachen Durchmesser

- › Ladungsträger im Halbleiter in allen Raumrichtungen stark eingeschränkt
 - › es können nur diskrete Energieniveaus eingenommen werden
 - › räumliche Ausdehnung in jeder Dimension kleiner als De-Broglie-Wellenlänge

- › Emissionsverhalten ähnlich dem von Atomen
 - › Größe, Form und Elektronenzahl und somit elektronische und optische Eigenschaften variabel

- › Einleitung
- › **Historie**
- › Herstellungsverfahren
- › Warum Quantum Dots?
- › Anwendungen
- › Zusammenfassung

- › 1976: Patentanmeldung auf Quantengrabenlaser (2D-Struktur) durch Ray Dingle und Charles Henry
- › 1982: Arawaka und Sakaki mit entscheidendem Schritt zu 0D-Strukturen
- › 1985: Goldstein und Glas entdecken vertikal korrelierter Nanocluster in InAs/GaAs
- › 1986: M.Asada beweist Reduzierung der Schwellstromdichte
 - › Enormer Anstieg an Arbeiten zu 0D-Strukturen

- › 1990: A.Madhukar und M.Sasaki beweisen defektfreie Herstellung von Quantum Dots
- › 1994: H. Hirayama mit QD-Laser ($I_{Th} = 7,5 \frac{kA}{cm^2}$)
- › 1994/95: 4 Durchbrüche in der AG von Prof. Dieter Bimberg (TU Berlin)
 - › Nachweis schmalbandiger Linienemission von Quantum Dots
 - › Konzept der Selbstähnlichkeit in Form und Größe sowie selbstorganisiertes Wachstum
 - › Quantum Dots fangen Ladungsträger innerhalb einiger Pikosekunden ein
 - › erster Injektionslaser mit hoher Quantenausbeute und geringer Schwellstromdichte

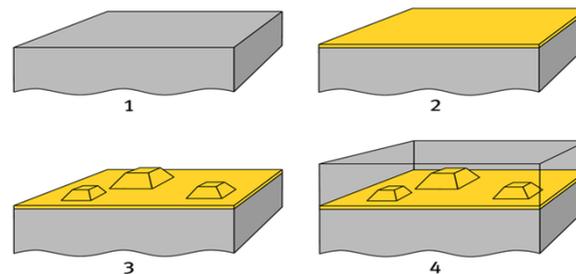
- › Einleitung
- › Historie
- › **Herstellungsverfahren**
- › Warum Quantum Dots?
- › Anwendungen
- › Zusammenfassung

Fertigungsverfahren

Epitaxie zur Herstellung von Quantenpunkten

= Aufwachsen kristalliner Schichten auf Substrat

- › Wafer in Hochvakuumkammer erhitzen
- › verdampfte QD-Ausgangsstoffe als Strahl auf Wafer
 - › Ablagerung der Atome auf dem Wafer → chemische Bindung
- › gleiche Gitterkonstanten: Anpassung an Kristallstruktur des Wafers
- › bei unterschiedlichen Gitterkonstanten bilden sich nach 2-3 Atomschichten Quantum Dots in Selbstorganisation
- › Benetzungsschicht für mechanischen Schutz, Kontaktierung etc.



Epitaxie zur Herstellung von Quantum Dots (Welt der Physik)

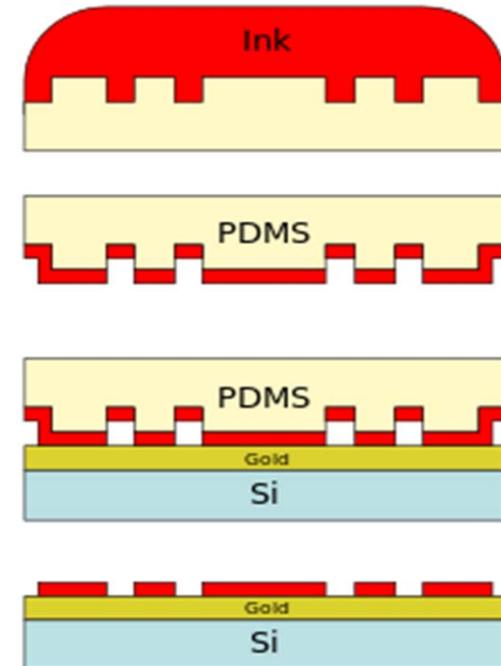
→ für flächige, einfarbige LEDs

- › Mischung von QD-Lösungen und TPD (organischer Photo-/Lochleiter) als Monoschicht auf Glassubstrat auftragen
- › Lösungsmittel verdunstet
 - › Vermischung von Quantum Dots und TPD
- › Quantum Dots lagern sich oben ab (Selbsorganisation) und bilden nach Trocknung Monolage

Fertigungsverfahren

Mikrokontaktdruck für mehrfarbige LEDs

- › Negativ der gewünschten Strukturen auf Siliziumsubstrat auftragen
Überzug mit flüssigem Polymethysiloxan (PDMS)
- › Entfernen des Masters → PDMS Abbild
- › Monolage von Quantum Dots auf Abbild auftragen
→ Übertragung auf präparierte Substrate
- › Aufbringen weiterer Schichten zur
Effizienzsteigerung
- › Deckschicht zur Versiegelung, Kontaktierung etc.



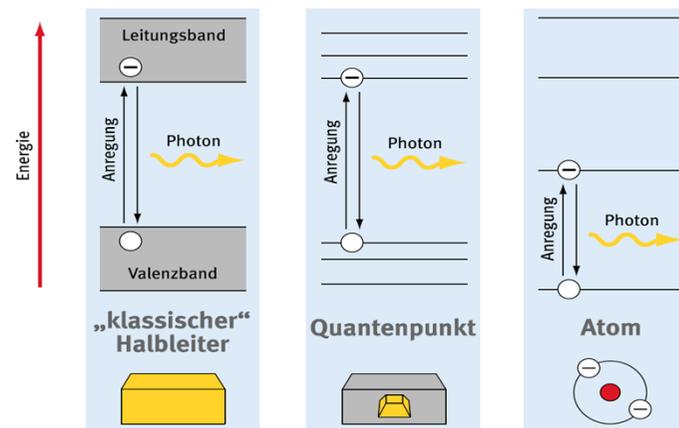
Mikrokontaktdruck (Wikipedia)

- › Einleitung
- › Historie
- › Herstellungsverfahren
- › **Warum Quantum Dots?**
- › Anwendungen
- › Zusammenfassung

Warum Quantum Dots?

Energiezustände

- › in klassischen Halbleiter können sich die Ladungsträger in Leitungs- und Valenzband frei bewegen
 - › kontinuierliche Energiezustände führen zu breiten Linien
- › durch ihre starke räumliche Beschränkung haben Quantum Dots diskrete Energiezustände
 - › sehr hoher Farbwiedergabeindex durch scharfe Linien



Vergleich der Energiezustände (Welt der Physik)

Warum Quantum Dots?

Bandstruktur

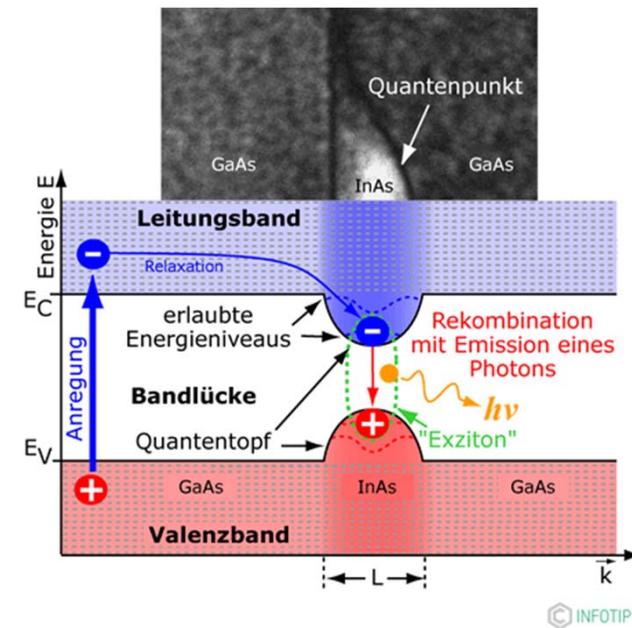
- › emittierte Wellenlänge ist proportional zur Größe des Quantenpunktes
 - › Ausdehnung des Quantenpunktes verkleinert Bandlücke

- › Ausdehnung unterhalb der de-Broglie-Wellenlänge
→ Quanteneigenschaften

1. elektrische oder optische Anregung

2. Relaxation in den Quantentopf

3. Rekombination und Emission

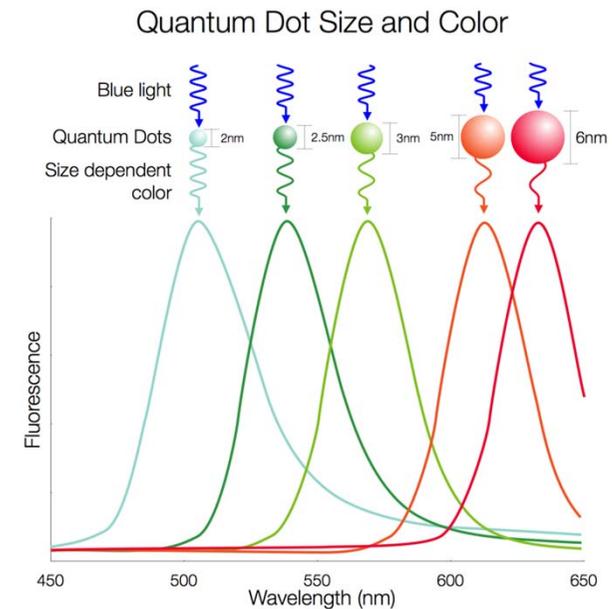


Bandstruktur eines Quantum Dots (Kompendium Infotip)

Warum Quantum Dots?

Spektrum von Quantum Dots

- › Emissionswellenlänge ist größenabhängig
- › bei optischer Anregung nur eine Anregungswellenlänge notwendig
- › Emission von Spektralfarben mit Auflösung von 10 nm möglich
- › Durch additive Mischung können sehr reine Farben erzeugt werden
- › Durchstimmbare zw. 1000 nm und 1500 nm
tlws. Wellenlängen > 1600 nm



Spektrum von Quantum Dots (www.nanosysinc.com)

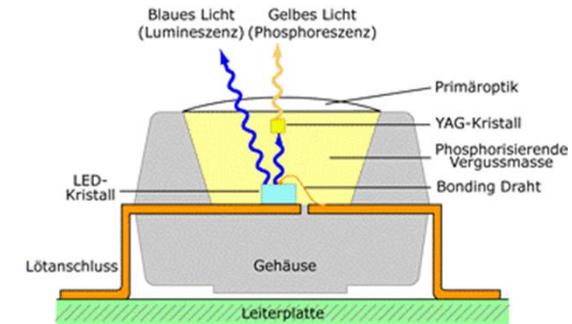
- › Einleitung
- › Historie
- › Herstellungsverfahren
- › Warum Quantum Dots?
- › **Anwendungen**
- › Zusammenfassung

Anwendungen

Quantum Dots als Lichtkonverter

› LED mit YAG-Konverter:

- › additive Farbmischung aus Blau und Gelb
- › kaltweißes Spektrum (5500 K – 6000 K)

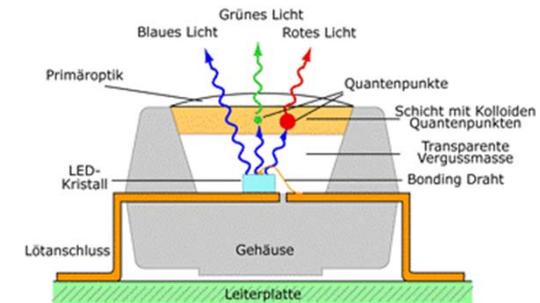


INFOTIP

LED mit YAG-Konverter (Kompodium Infotip)

› LED mit Quantum Dot Schicht

- › additive Farbmischung aus Rot, Grün und Blau
- › warmweißes Spektrum (2700 K – 3000 K)
- › Eigenschaften des emittierten Licht abhängig von Konzentration der Quantenpunkte



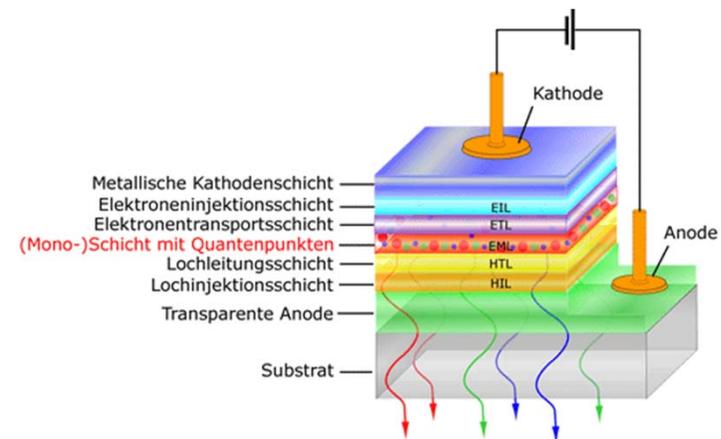
INFOTIP

LED mit Quantum Dot Schicht (Kompodium Infotip)

- › 3-Schichtstruktur möglich: Anode – Quantenpunkte – Kathode
 - › sehr kurze Lebensdauer wegen chemischer Reaktionen an Kontaktflächen
 - › unterschiedliche Mobilitäten und Injektionseffizienzen von Elektronen und Löchern
- Aufbringen von Transport und Injektionsschichten

› Vorteile ggü. OLEDs

- › 30-40 % höhere Lumineszenz-effizienz auf gleichem Farbpunkt
- › 50 % Energieeinsparung
- › sehr geringe Herstellkosten



INFOTIP

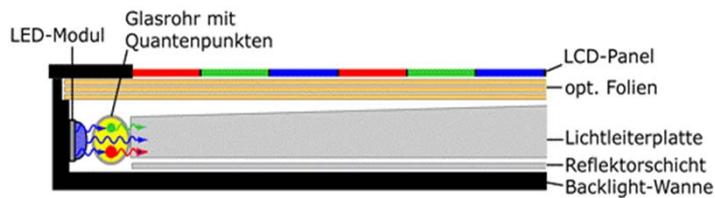
Schichtstruktur einer QLED (Infotip Kompendium)

Anwendungen

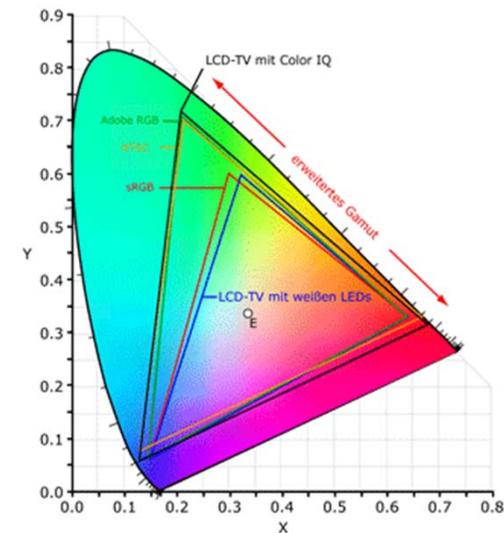
LC-Display mit QD-Backlight

› Konventioneller LCD mit modifizierten Backlights

› Color IQ von QD Vision

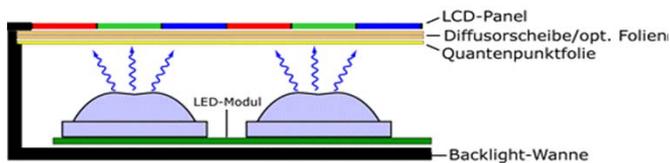


Color IQ von QD Vision (Kompendum Infotip)

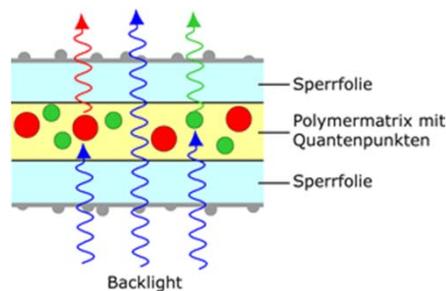


Vergleich verschiedener Displays (Kompendum Infotip)

› QDEF von 3M

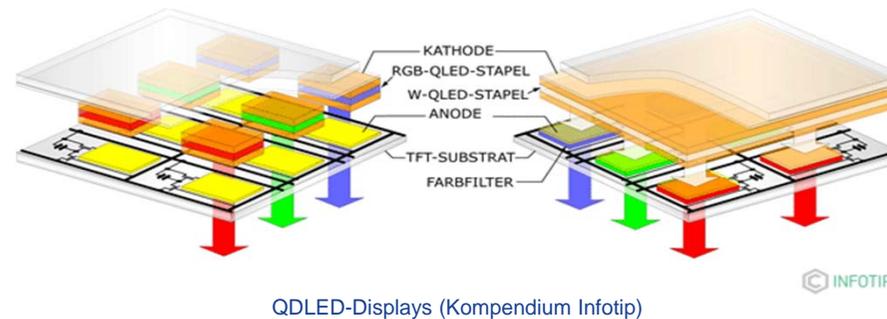


QDEF von 3M (Kompendum Infotip)



Quantenpunktfolie (Kompendum Infotip)

- › links: direkt emittierendes Display mit RGB-Subpixel
- rechts: weiß emittierendes Display: RGB-Farbfiler zur passiven Mischung



- › Ansteuerungsverfahren von OLED-Displays kann verwendet werden
- › langfristig als Ersatz von OLED-Displays:
 - › halber Energieverbrauch bei gleicher Farbqualität
 - › geringere Herstellkosten bei großflächigen Displays

- › Einleitung
- › Historie
- › Herstellungsverfahren
- › Warum Quantum Dots?
- › Anwendungen
- › **Zusammenfassung**

- › Quantum Dots = in Halbleiter eingebettete Nanostrukturen
 - › ‚nulldimensionale Strukturen‘
- › Diskrete Energieniveaus und schmalbandige Übergänge durch starke räumliche Begrenzung
- › geometrieabhängige Wellenlänge
- › Lichtqualität einer OLED bei viel effizienterem Betrieb
- › Quantum Dots als Zukunft der Beleuchtungstechnik, Displaytechnologie oder auch der Telekommunikation

- <http://www.heise.de/tr/artikel/Fantastische-Farbenspiele-278647.html>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Quantenpunkt>
- <http://www.qdvision.com>
- <http://www.can-hamburg.de/deutsch/menue/materialien/quantum-dots.html>
- <http://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/quanten-technik/halbleiter-quantenpunkte/anwendungen/>
- <http://www.nanosysinc.com/what-we-do/quantum-dots/>
- <http://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/quanten-technik/halbleiter-quantenpunkte/>
- <http://kompendium.infotip.de/quantenpunkt-displays.html>
- Bimberg, D.: Der Zoo der Quantenpunkte. Mit Halbleiter-Quantenpunkten zu neuartigen Bauelementen

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Fragen?