

Die Renaissance der LED-Anzeigechips

Vera Abrosimova, Bernd Kloth, Erwin Jäger,
Jenoptik Polymer Systems GmbH, Berlin
Regina Osterland, Jenoptik Polymer Systems GmbH, Triptis

LED-Display-Chips werden seit Jahrzehnten genutzt, um Informationen darzustellen oder in optische Geräte einzuspiegeln. Nun wurde mit einer wesentlichen Weiterentwicklung eine mehr als 100-fach höhere Lichtstärke im Vergleich zu bisherigen Elementen erreicht und zugleich der Stromverbrauch erheblich reduziert.

1 Optisch aktive und passive Informationsanzeige-Typen

Es gibt technisch sehr unterschiedliche Möglichkeiten, alphanumerische Informationen in Form von Zahlen, Symbolen oder Text leuchtend darzustellen [1]. Informationsanzeigen sollen – in Abhängigkeit von Anwendung und Ablesedistanz – gut ablesbar sein, d.h. über einen hohen Kontrast und eine klare Darstellung der Konturen verfügen, und eine variable Informationsdarstellung zu einem günstigen Preis ermöglichen. Die Realisierung dieser Anforderungen wäre auch durch Bildschirme geeigneter Größe und Auflösung möglich, würde jedoch in vielen Fällen einen zu großen Ansteuerungsaufwand erfordern. Eine Möglichkeit zur einfacheren Ansteuerung und Integration

bieten auf einen vorgegebenen Zeichensatz festgelegte optoelektronische Anzeigeelemente, auf welche wir uns im Folgenden beziehen möchten.

Informationsanzeigen sind entweder optisch passiv (reflektierend, transmittierend) oder optisch aktiv (selbst leuchtend) [2,3]. Optisch passive Anzeigen werden entweder beleuchtet, sodass die Informationen durch eine passende Anordnung reflektierender Bereiche sichtbar werden, oder es werden Anordnungen unterschiedlich transparenter Bereiche hinterleuchtet. Man spricht von reflektiven und transluzenten Anzeigen, wobei letztere meist durch Licht emittierende Dioden (LEDs) hinterleuchtet werden. Zu den optisch passiven Informationsanzeigen gehören neben mechanischen Anzeigen (**Bild 1**) auch monochrome oder farbige Flüssigkristall-Displays (LCDs, **Bild 2**).

Als optisch aktiv werden selbst leuchtende Informationsanzeigen bezeichnet. Für diese werden heute LEDs oder organische OLEDs verwendet – hierzu gleich mehr. Die ersten aktiv leuchtenden Ziffernanzeigeelemente wie Glühfaden-, Fluoreszenz- oder Gasentladungslampen entstanden in den 1960er Jahren und waren in Vakuumröhren montiert (**Bild 3**). Auf Grund ihrer Größe, des hohen Energiebedarfs und der begrenzten Darstellungsmöglichkeiten



Bild 4: LED-7-Segment-Bauelement mit Lichtschacht (hybrid einstellig und mehrstellig zusammengesetzt)

werden sie jedoch schon lange nicht mehr gefertigt und haben nur noch eine nostalgische Bedeutung.

2 LEDs: Kompakte Festkörper-Lichtquellen

Seit mehr als 40 Jahren hat sich die Verwendung von LEDs aus kristallinen anorganischen Materialien etabliert (**Bild 4**), und seit etwa 5 Jahren werden auch OLEDs aus organischen Ausgangsmaterialien eingesetzt (**Bild 5**). Da OLEDs jedoch technisch noch nicht vollständig ausgereift sind und sie sich ihre zum Teil neuen Marktsegmente erst noch durch ihre spezifischen Eigenschaften erobern müssen, wird sich dieser Artikel auf die LED-Anzeigen beschränken. Die einfachsten LED-Informationsanzeigeelemente bestehen aus sieben Segmenten

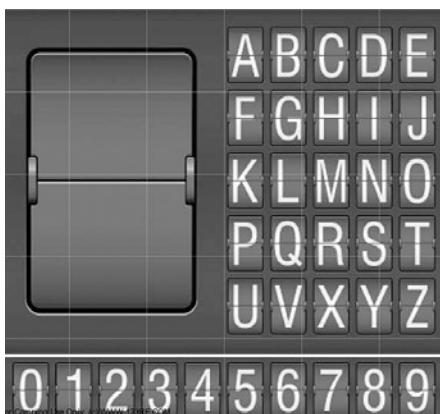


Bild 1: Elektromechanische Anzeigetafel



Bild 2: LCD mit LED-Hinterleuchtung



Bild 3: „Nixie“-Ziffernanzeigeröhre



Bild 5: OLED-Anzeige

und einem Dezimalpunkt. Sie können zu mehrstelligen Digitalanzeigen zusammengefügt werden. Für große Ablesentfernungen werden sie mit Ziffernhöhen bis zu 200 mm in spritzgegossenen Plastikgehäusen gefertigt.

In jedem der lichtschachtförmigen Segmente sind meist Standard-LED-Chips oder oberflächenmontierbare, sogenannte Surface-Mounted-Device-LEDs platziert. Zur flexiblen Darstellung großer Buchstaben, Ziffern und Symbole werden auch Dot-Matrix-Elemente aus LEDs verschiedenster Bauformen gefertigt. Um eine gut erkennbare Darstellung zu erreichen, sind pro angezeigte Stelle 5 x 7 unabhängig adressierbare Leuchtpunkte erforderlich. Diese können dann für Anzeigen mit hoher Informationsdichte und großer Darstellungsflexibilität auch zu LED-Laufschriften oder video- und farbfähigen LED-Tableaus zusammengesetzt werden. Diese großen, hybriden LED-Anzeigen ähneln bereits Bildschirmen und unterscheiden sich durch Herstellungstechniken und Einsatzfelder grundsätzlich von den bedeutend kleineren, monolithischen LED-Anzeigechips [4].

3 Die erste Generation der LED-Anzeigechips

Vor mehr als 40 Jahren entstand die erste Generation der 7-Segment-LED-Anzeigechips aus kristallinem Gallium-Arsenid-Phosphid (GaAsP) auf einem GaAs-Substrat. Deren Lichtstärke erreicht typisch 0,1 mcd je Segment bei 5 mA Betriebsstrom.

Die ersten LED-Anzeigechips hatten jedoch verschiedene Nachteile. Die Emissionswellenlänge war durch das Halbleitermaterial auf 650–660 nm festgelegt [5], sodass die LED-Anzeigechips nur rotes Licht emittieren konnten. Bei diesen Wellenlängen beträgt die Augenempfindlichkeit nur noch ca. 6–10% vom Maximum bei 550 nm. Zudem war die Helligkeit dieser Chips bei einem äußeren Quantenwirkungsgrad (EQE) von ca. 0,1% für viele Anwendungen zu gering. Auch war aufgrund ihres hohen Energieverbrauchs die Batteriebensdauer im mobilen Einsatz sehr kurz.

Letzteres war sicher der Hauptgrund, weshalb sich digitale LED-Armbanduhren in den 70er Jahren (Bild 6) nicht am Markt durchsetzen konnten. Mit den heutigen leistungsfähigen und energiesparenden LED-Chips können Designer einen neuen Versuch starten, kleine LED-Anzeigechips mit deutlich besseren Eigenschaften in nostalgischen oder modernen Mode- oder Gebrauchsartikeln einzusetzen.

Um die Nachteile der abschließlich roten Emission



Bild 6: LED-Armbanduhr aus den 1970er Jahren

und der geringen Lichtstärke auszugleichen, wurden hybride Displaybauelemente entwickelt, bei denen effizientere LED-Chips mit einem EQE von ca. 5–10% mit verschiedenen Emissionswellenlängen im sichtbaren Spektralbereich in Lichtschächte montiert, vergossen und z.B. zu 7-Segmentanzeigen angeordnet werden. Aufgrund ihrer Größe sind diese hybriden Bauelemente jedoch für Miniaturanwendungen z.B. im Strahlengang optischer Geräte nicht einsetzbar. Somit ergab sich die Notwendigkeit zur Entwicklung effizienterer monolithischer Anzeigechips mit höherer Lichtstärke, die nicht auf einen sehr spezifischen Wellenlängenbereich begrenzt sind.

4 Wechsel des Materialsystems

Bei den monolithischen Anzeigechips fand der Wechsel zu effizienteren Materialien und neuen Technologien erst im Jahr 2010 statt. Die LED-Anzeigechips der zweiten Generation ermöglichten die 100-fache Lichtstärke der bisher auf dem Markt erhältlichen Chips. Dies konnte durch Halbleiterstrukturen aus Aluminium-Gallium-Indium-Phosphid (AlGaInP) und Aluminium-Gallium-Arsenid (AlGaAs) auf einem GaAs-Substrat und mit Hilfe einer implantationsbasierten Chiptechnologie erreicht werden. Bei gleich gutem Kontrast zwischen den leuchtenden und den nicht leuchtenden Chipbereichen können mit der neuen Technologie nicht nur rote, sondern auch gelbe und orange emittierende Anzeigechips hergestellt werden [2]. Bild 7 zeigt Beispiele möglicher Chiplayouts.

Bei der bisherigen GaAsP/GaAs-basierten, Zn-diffundierten Lösung, bei der nur mit

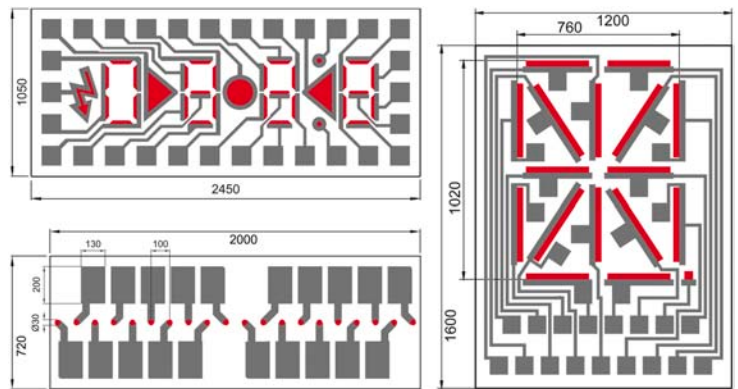


Bild 7: Beispiele verschiedener Layoutmöglichkeiten: mehrstelliger Kameradisplaychip (oben links), Chipelement für eine Druckerzeile (unten links), Entwurf einer 16-Segment-Anzeige (rechts)

roter Emission ein guter Kontrast realisiert werden kann, haben die Chips immer eine gemeinsame Katode und damit die gleiche Polarität. Dies schränkt ihre Anwendung in unterschiedlichen Schaltungen ein. Die Chips der neuen Generation können sowohl mit gemeinsamer Katode als auch mit gemeinsamer Anode hergestellt werden. Auch Sonderzeichen und Symbole können einfach dargestellt werden, speziellen Kundenanforderungen bei Anzeigen sind keine Grenzen gesetzt.

5 Kompakt und wirtschaftlich: Chip-on-Board-Technologie

Die LED-Chips der neuen Generation können auf Grund ihrer geringen Größe in vielfältige Anwendungen integriert werden. Für kleine optische Geräte, in denen nur sehr wenig Platz ist, werden unverkapselte Chips mit möglichst geringen Abmessungen direkt auf die Leiterplatten montiert. Man spricht dabei von der Chip-on-Board-(CoB-) Technologie, die eine Miniaturisierung der Baugruppen ermöglicht.

Durch die Informations-Einspiegelung in Strahlengänge optischer Geräte, bei denen eine gleichzeitige Vergrößerung erfolgt, werden selbst kleinste Ziffern mit einer Höhe von ca. 0,5 mm sehr gut erkennbar. So kann man beispielsweise eine zweizeilige Miniatur-LED-Anzeige mit insgesamt 28 Digits (Bild 8) auf einer Leiterplatte mit

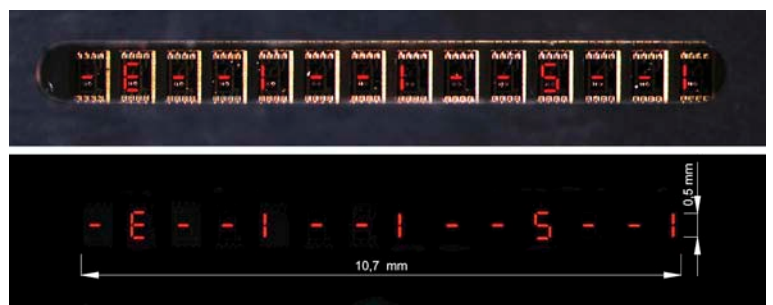


Bild 8: 14-stellige LED-Anzeige mit und ohne Umgebungsbeleuchtung

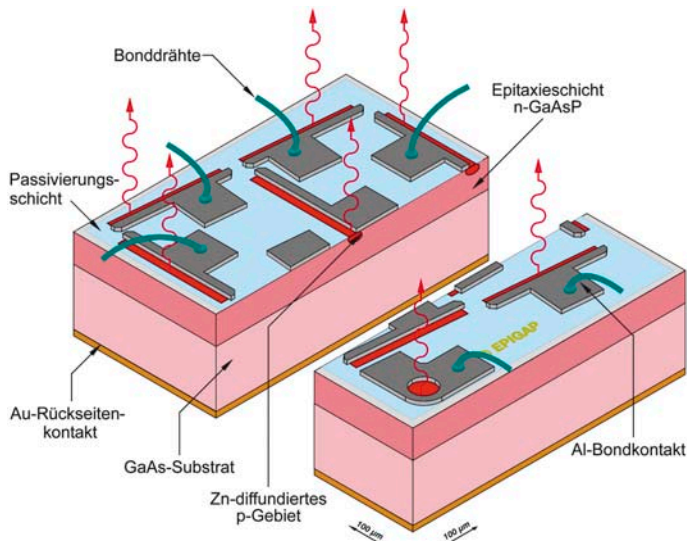


Bild 9: Schnittzeichnung eines Chips der 1. Generation

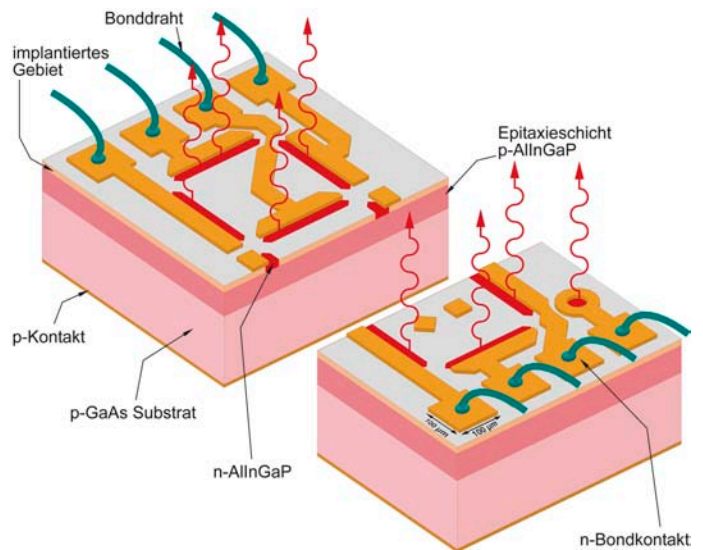


Bild 10: Schnittzeichnung eines Chips der 2. Generation

den Abmessungen von nur ca. 15 mm x 8 mm montieren und für den Multiplexbetrieb verschalten.

Meist werden einstellige 7-, 14- oder 16-Segment Anzeigechips mit oder ohne Dezimalpunkt gefertigt, aus denen dann entsprechend der Anwendung mehrstellige Anzeigen zusammengesetzt werden. In Ausnahmefällen werden auch mehrstellige Anzeigechips monolithisch hergestellt. Diese sind wegen der größeren Chipfläche und einer damit größeren Fehlerwahrscheinlichkeit (Ausschussquote) allerdings auch bedeutend teurer. Im Gegensatz zu den CoB-montierten mehrstelligen Anzeigen gibt es hier jedoch grundsätzlich keinerlei Chipversatz oder Verdrehungen.

6 Aufbau der neuen LED-Anzeigechips

Bei Displaychips der ersten Generation (**Bild 9**) wurden die leuchtenden p/n-Strukturen durch lokale Zn-Diffusion

(p-Ladungstyp) in eine n-leitende GaAsP-Schicht erzeugt. Als Diffusionsmaske und zur Isolation der Kontaktstrukturen dient eine dünne Schicht aus Siliziumnitrid.

Bei den LED-Anzeigechips der zweiten Generation (**Bild 10**) erzeugt man die gleichen leuchtenden Strukturen mit Hilfe wesentlich effizienterer Schichten aus AlInGaP oder AlGaAs mit einem großflächig gewachsenen p/n-Übergang. Die Begrenzung der leuchtenden Strukturen wird dadurch erzeugt, dass man die aktiven Bereiche mit einer Lackmaske schützt und die umgebende Kristallstruktur durch Ionenimplantation derartig stört, dass sie elektrisch isolierend wird.

Die hohe Lichtstärke wird vor Allem durch die hohe Qualität und Effizienz der verwendeten Ausgangsmaterialien, d.h. der Epitaxiewafer erreicht. Da sich die Emissionswellenlänge aber zudem in Bereiche höherer Augenempfindlichkeit verschieben lässt, wird das Licht der neuen LED-Anzeigechips als noch heller wahrgenommen.

7 Generationsvergleich der 7-Segment-Chips

Durch die neue Technologie konnten folgende wichtige Kennwerte, die z.T. auch in **Tabelle 1** zusammengefasst sind, deutlich verbessert werden:

- hohe Lichtstärke
- einsetzende Emission schon ab ca. 0,8 μA
- besonders hohe Lichtstärkedynamik
- hohe Stromdichtebelastbarkeit
- lange Lebensdauer auch bei hoher Stromdichte
- Variationsmöglichkeiten bei der Emissionsfarbe

Charakteristisch für die neue Displaychip-Generation ist eine um gut 0,2 V höhere, materialbedingte Flussspannung (**Bild 11**). Sie wirkt sich nicht negativ aus, da diese Chips mit bedeutend geringerem Strom betrieben werden und dadurch die Leistungsbilanz bei gleicher Lichtstärke sogar

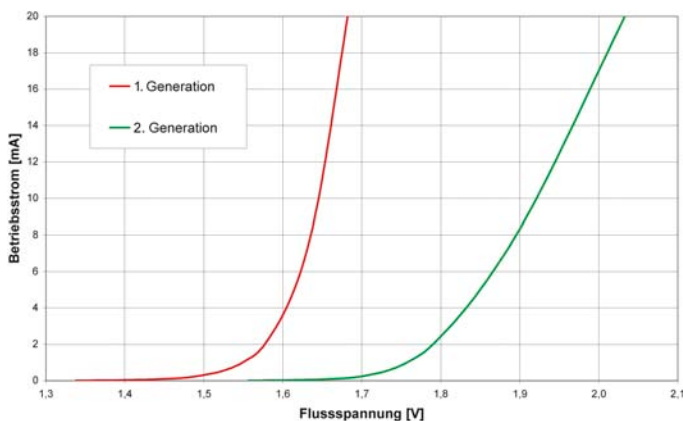


Bild 11: Typische IF/VF-Kennlinien

Displaytyp	1. Generation	2. Generation
Lichtstärke [mcd] @ 10 mA	0,16	18
Lichtstärke [mcd] @ 200 μA	0,0006	0,18
Typ. Peak-Wellenlänge [nm]	655	645
Typische spektrale Halbwertsbreite [nm]	18	10
Leuchtbeginn @ I_f [μA]	ca. 20	ca. 0,8
Schaltzeit [ns]	20	5

Tabelle 1: Vergleich der wichtigsten Parameter (typische Werte) für die erste und die zweite LED-Anzeigechip-Generation

besser ausfällt (**Bild 12**). Neben einer guten Kristallperfektion steigern spezielle interne Reflektoren (Bragg-Spiegel) den Quantenwirkungsgrad und die Lichtausbeute senkrecht zur Chipoberfläche.

Der Verlauf der Lichtstärke-Strom-Charakteristik ist für beide Chipvarianten sehr ähnlich (**Bild 13**), wobei die Lichtstärkedifferenz bei sehr geringen Strömen mehr als das Hundertfache, bei Strömen über 10 mA jedoch geringfügig weniger als das Hundertfache beträgt. Das etwas stärkere Abknicken der Lichtstärke bei Stromerhöhung kann mit der höheren Flussspannung und Verlustleistung und damit einer stärkeren Eigenerwärmung erklärt werden. Das Degradationsverhalten von Anzeigechips der neuen Generation kann als LED-typisch bezeichnet werden (**Bild 14**). Nach einem Betrieb mit Gleichstrom zwischen 5 mA und 20 mA über mehr als 2000 h sank die Lichtstärke nur um ca. 10–20%. Die Dezimalpunkte zeigten sich als besonders degradationsstabil, obwohl sie mit Stromdichten von bis zu 500 A/cm² betrieben wurden.

8 Anwendungsmöglichkeiten:

Der bisher wichtigste Einsatzbereich liegt in der Einspiegelung von Parametern und Messwerten in den Strahlengang miniaturisierter, hochwertiger optischer Geräte wie beispielsweise Messmikroskope, Kameras, Endoskope und Geräte für die minimalinvasive Chirurgie, Ferngläser, Entfernungsmesser und Punktarrray-Belichterzeilen für Drucker.

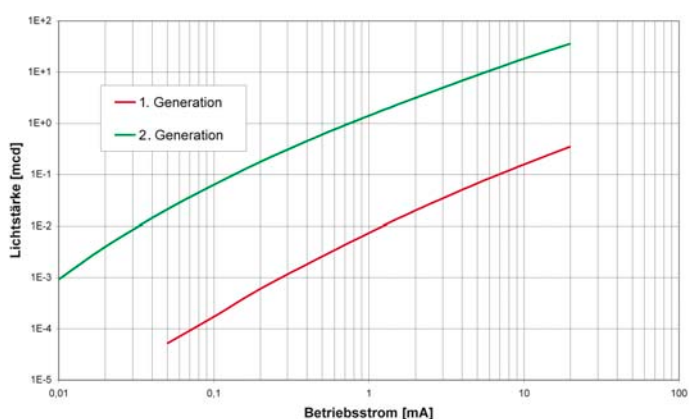


Bild 13: Typische Lichtstärke-Flussstrom-Charakteristik

Aber auch in batteriebetriebenen Geräten für den Verbraucher wie Sportbrillen, in die Puls, Blutdruck, Leistung oder Distanz eingespiegelt werden sollen, sowie in verschiedensten kundenspezifischen Geräten der Medizintechnik, der Messtechnik, der Sicherheitstechnik oder in neuen Anwendungsgebieten können sich diese Chips etablieren und für eine Renaissance der LED-Anzeige sorgen.

9 Zusammenfassung

Dank der im Jahr 2010 entwickelten neuen Technologie stehen heute monolithische Informationsanzeigechips der zweiten Generation zur Verfügung. Vor allem wegen ihrer um etwa zwei Größenordnungen höheren Lichtstärke und damit einem bedeutend geringeren Leistungsbedarf bei hohem Kontrast sind diese kompakten Chips für batteriebetriebene Geräte besonders interessant. Die hohe Lichtstärkedynamik macht sich z.B. beim Einspiegeln von Entfernungen in Ferngläser positiv bemerkbar. Damit kann man die Helligkeit der Anzeige bei dunkler Umgebung wie bisher gut dimmen, hat jedoch auch in sehr hellen Umgebungen wie beispielsweise Schnee oder Sand genügend Lichtstärke für eine problemlose Ablesbarkeit zur Verfügung.

Literaturhinweise:

- [1] de.wikipedia.org/wiki/Segmentanzeige
- [2] Patent PCT/DE2011/050009, Jenoptik, 31.03.2011
- [3] www.microsyst.de

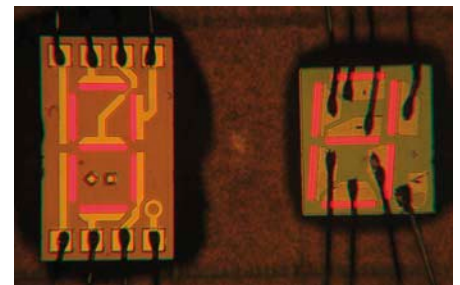


Bild 12: Chip der neuen Generation bei 0,1 mA (links) und der alten Generation bei 10 mA (rechts)

- [4] G. Winstel, C. Weyrich, *Optoelektronik I*, Springer 1980
- [5] A.A. Bergh, P.J. Dean, *Light-Emitting Diodes*, Clarendon Press, Oxford, 1976

Ansprechpartner:

Dr. Bernd Kloth
Business
Development,
Optische Systeme
Jenoptik Polymer
Systems GmbH
Koepenicker Str. 325b
D-12555 Berlin
Tel. 030/6576-2544
Fax 030/6576-2545
eMail: bernd.kloth@jenoptik.com
Internet:
www.jenoptik.com/de-optoelektronik
VISION 2011: Halle 6, Stand D31



www.photonik.de **Webcode 5003**

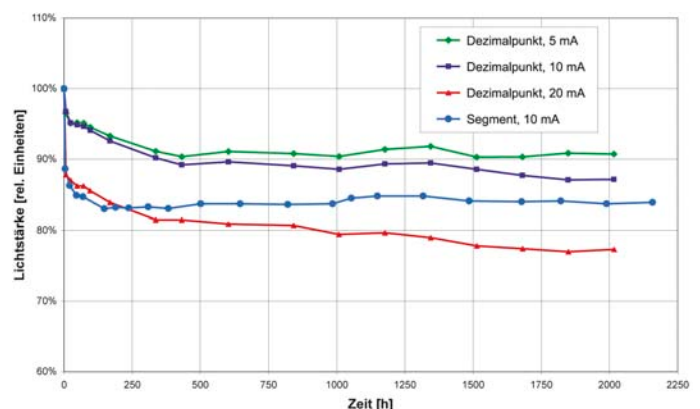


Bild 14: Typische Degradationskurven für Dezimalpunkte und Segmente (Chips der 2. Generation) bei verschiedenen Betriebsströmen (Emissionsflächen: 0,28 bis 1 · 10⁻² mm²)