

Inkohärente Lichtquellen

Leuchtende Zukunft – Aufbau- und Verbindungstechnik von LEDs

Winfried Reeb, Laser Components GmbH, Olching
Mark Gaston, Opto Technology, Inc., Wheeling, Illinois, USA

Die Lichtausbeute von Leuchtdioden ist vergleichbar effizient wie die von Leuchtstoffröhren. Festkörper-Lichtquellen wie LEDs erreichen aber eine erheblich höhere Lebensdauer als Glühlampen und Leuchtstoffröhren. Daher ist zu erwarten, dass die hohe Motivation zum Einsatz dieser Technologie in naher Zukunft weitere Fortschritt bringen wird. Wesentliche Anteile an der Weiterentwicklung von LEDs hat die Aufbau- und Verbindungstechnik, die wir im vorliegenden Beitrag erläutern.

Seit 1957 die ersten lichtemittierenden Dioden (LEDs) entwickelt wurden, schreitet die Technologie rasant voran. 1962 brachte General Electric die ersten roten GaAsP-Lumineszenzdioden auf den Markt [1]. In den ersten Jahren konzentrierte sich die Forschung hauptsächlich auf die Verbesserung des Halbleitermaterials. Die Defektdichte und Verunreinigungen konnten immer weiter reduziert werden. Zunächst kamen hauptsächlich GaAs und GaP zum Einsatz [2], in den Folgejahren wurde mit immer weiteren Halbleitern und Dotierungen experimentiert, um die die Farbe des emittierten Lichts an neue Anwendungen anzupassen.

Weitere Entwicklungen gingen (und gehen noch immer) in Richtung kostengünstiger Herstellung und Erhöhung der Effizienz. Die Qualität der verwendeten Halbleiterstrukturen und eine hohe Kompetenz in der Aufbau- und Verbindungstechnik sind Voraussetzungen für optimale Strahleigenschaften der LEDs.

Aufbau- und Verbindungstechnik

Halbleiterchips können heutzutage ins großen Stückzahlen eingekauft werden. Für Anzeigetafeln oder ähnliche Anwen-



Bild 2: Nahaufnahme eines LED-Chipaufbaus

dungen werden hauptsächlich kostengünstige LEDs mit geringer Lichtausbeute eingesetzt. Es sind aber auch Chips mit den verschiedensten spezielleren Qualitätsmerkmalen kommerziell verfügbar, sodass sich viele höhere Anforderungen an LED-Produkte kundenspezifisch erfüllen lassen, z.B. für Leselampen (**Bild 1**) oder Sicherheits-Beleuchtungen von der Seefahrt bis zu Flugfeldern. Die Wertschöpfung liegt dabei in der Weiterverarbeitung mit optimierter Aufbau- und Verbindungstechnik (**Bild 2**). Das Entwicklungsziel ist einfach formuliert: maximale Energieausbeute bei größtmöglicher Lebensdauer sowie voller Einhaltung aller spezifizierten technischen Kennwerte.

Lange Zeit war es nicht möglich, kurzwelliges Licht effizient mit Halbleitern zu erzeugen. Diese Situation änderte sich mit Entwicklungsleistungen von Unternehmen wie Akasaki (1988) und vor allem Nichia (1992), wo Shuji Nakamura ab 1993 Leiter der Forschungsabteilung war. Der Japaner entwickelte die ersten kommerziell verfügbaren blau emittierenden LEDs auf GaN-Basis, die im Jahr 1999 zur Serienreife gebracht wurden [3]. Nach wie vor ist die Herstellung von GaN aufwendig und damit kostenintensiv. Ein ideales Verfahren konnte bislang nicht gefunden werden [4]. Einer der wichtigsten Design-Parameter für heutige leistungsstarke LED-Arrays ist der Abstand der einzelnen Chips. Dichtes Packen bringt vier Vorteile: Erhöhung der spezifischen Licht-Emission, effizienter Einsatz von Strahlformungs-Optiken, Ermöglichung kompakterer Designs und Reduzie-



Bild 1: LEDs für die Allgemeinbeleuchtung

rung der System-Kosten. Durch die höhere Lichtausbeute können immer mehr ineffiziente Lichtquellen gegen LEDs ausgetauscht werden.

2006 konnte Opto Technology eine UV-LED auf den Markt bringen, die bei einer Spitzenwellenlänge von 365 nm eine optische Ausgangsleistung von 244 mW erzielt. Hier wurden 50 Leuchtdioden (**Bild 3**) als Array auf ein Berylliumoxid-Substrat (BeO-) gebracht. Das Bonding-Verfahren macht es möglich, dass diese Leistung mit einem Strom von lediglich 300 mA erreicht wird.

Weitere Innovationen im Bereich der Aufbau- und Verbindungstechnik führen zu sog. Multi-Wavelength-LEDs. Hier werden mehrere Hochleistungs-LEDs mit kundenspezifischen Wellenlängen auf kleinstem

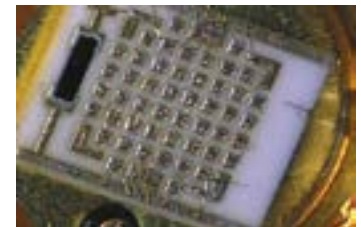


Bild 3: Eine hohe Packungsdichte ist Voraussetzung für Hochleistungs-LEDs

Inkohärente Lichtquellen

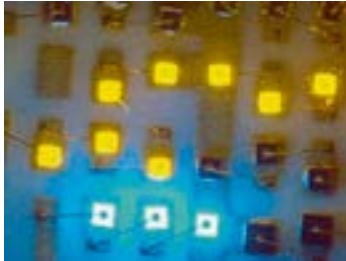


Bild 4: Die individuelle Ansteuerung mehrerer LEDs mit unterschiedlichen Wellenlängen ermöglicht variable Gesamt-Emissionspektren

Raum auf einem Keramiksubstrat montiert und mit fokussierenden Optiken versehen. So aufgebaute Beleuchtungseinheiten mit einer Kombination vieler verschiedener Wellenlängen bestehen durch geringe Abmessungen von 2 bis 3 mm. Die individuelle Ansteuerung der einzelnen LEDs ermöglicht es dabei, unterschiedliche Lichtsituationen hervorzurufen (**Bild 4**).

LED-Gehäuse

Für anspruchsvolle kundenspezifische LED-Produkte gibt es zahlreiche Bauform-Variationen, die von den Anwendungsanforderungen, dem Zielpreis und der Verbindungsmethode abhängen. Standardmäßig werden solche LEDs in Plastik- oder in TO-Gehäusen geliefert, die in verschiedenen Größen sowohl für einzelne LED-Chips als auch für bis zu 80 Chips in 8-Pin-Gehäusen angeboten werden.

Chipträger ohne Anschluss (sog. "I.C. style packages", **Bild 5**) sind eine gute, weit verbreitete Lösung für Stückzahlen bis ca. 100 000. Sie ermöglichen eine kostengünstige Oberflächenmontage (SMD) in großen Volumina. Dabei lassen sich z.B.

Trägermaterialien wie Keramik, FR4 etc. nicht nur zur Montage der Chips verwenden, sondern sie dienen auch als Schutzmaterial um das LED-Array herum. Die LED wird dann mit Epoxy vergossen oder mit einem Glasfenster gegen Umwelteinflüsse oder Zerstörung geschützt.

Weitere Optionen bei kundenspezifischen LED-Gehäusen sind u.a. Faserankopplung, vormontierte kundenspezifische Optiken, integrierte Photodetektoren oder Filter.

Mehrere Wellenlängen kombiniert

Für Multiwavelength-LEDs werden Chips vieler Farben verwendet (**Bild 6**). Sobald zusätzlich eine weiße LED in das Design einfließt, ist der Einsatz von zwei Leiterplatten vorteilhaft: eine Platine für alle farbigen Chips, und die verbundene Zwillingsplatine für die weiße LED. Durch die Kombination füllen die farbigen LEDs der ersten Platine „zu schwach“ vertretene Wellenlängen im Spektrum der weißen LED auf (**Bild 7**). Dies wird z.B. für Anwendungen in der Farbmessung oder bei biomedizinischen Geräten benötigt.

Farb- und Intensitätsregelung

Anwendungen in der Farbmessung und im analytischen Gerätebau verlangen nach speziellen LEDs mit präzisen Peak-Wellenlängen (z.B. ± 5 nm) und mit Intensitäten, die typisch innerhalb eines Bereichs von $\pm 50\%$ liegen müssen. Dies wird erreicht durch eine LED-Auswahl mittels Intensitäts-Klassifizierung, Farbauswahl, Temperaturüberprüfung und den Einsatz optischer Filter.

Zur LED-Klassifizierung bieten sich drei Wege an:

- Einkauf bei geprüften LED-Halbleiterherstellern
- Einkauf bei einem Zwischenhändler, der die Wafer vorselektiert
- Überprüfung im eigenen Labor

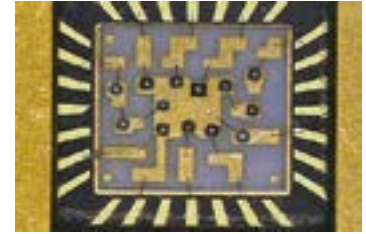


Bild 5: Bleifreier Chipträger für mehrere Wellenlängen

Da die Anschaffungskosten für eine geeignete Prüfausrüstung bei etwa 500 000 US\$ liegen, kann es vorteilhaft sein, mit Lieferanten zusammenzuarbeiten, die beständig eine hohe Qualität garantieren.

Farbe und Intensitätsverteilung einer LED sind aber auch temperaturabhängig. Eine Temperaturstabilisierung kann nicht nur passiv über Wärmesenken erreicht werden, sondern auch durch Peltier-Elemente (thermoelektrische Kühlung), aktive Feedback-Regelung und das Anlegen einer konstanten Temperatur oberhalb der Umgebungstemperatur, sodass deren Schwankungen die Emissionsparameter nicht beeinflussen.

Bei der Auswahl von LED-Chips ist es sehr wichtig, die Zuverlässigkeit des Chip-Lieferanten vor dem Hintergrund des Endprodukt-Lebenszyklus zu bewerten. Viele medizinische Geräte haben einen Produktlebenszyklus von 10 Jahren und weitere 10 Jahre Garantie auf Ersatzteillieferung. LED-Halbleiterbauelemente werden aber permanent in der Ausgangsleistung verbessert, und alte Chargen werden durch Weiterentwicklungen ersetzt. Wenn dies vorab nicht bedacht wurde, kann bei Ausfall einer LED in einem „alten“ Gerät eine Nachentwicklung des Produktes erforderlich werden. Daher ist für jedes einzelne

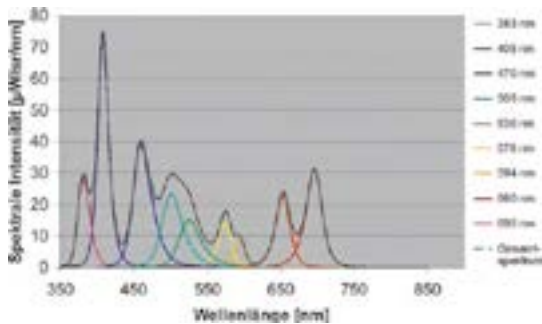


Bild 6: Einzelspektren und Gesamtspektrum einer Multiwavelength-LED mit neun Chips

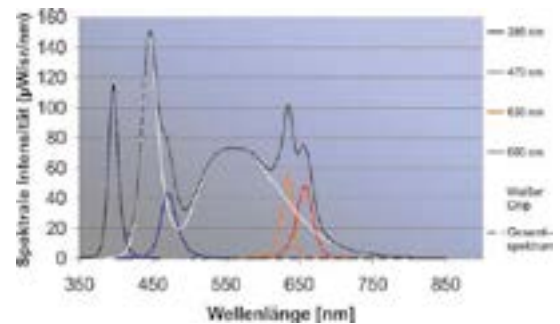


Bild 7: Spektren einer Multiwavelength-LED mit fünf Chips und zusätzlicher Weißlicht-LED

Inkohärente Lichtquellen



Bild 8: Effiziente Innenraumbeleuchtung mit Hochleistungs-LEDs, wie sie z.B. in Galerien eingesetzt werden

Produkt eine LED-Halbleiterstrategie erforderlich. Das Risiko, dass ein Chip nicht mehr zu reproduzieren ist, kann zwar auch durch eine Pulsmodulations-Schaltung minimiert werden, die den Betriebsstrom auf das erforderliche Niveau begrenzt. Darüber hinaus können gleichwertige LEDs verschiedener Lieferanten qualifiziert werden – oder man hält viele Halbleiterelemente auf Lager.

Optische Messtechnik in der LED-Fertigung

Die Überprüfung von LEDs mittels optischer Messtechnik erfordert eine kalibrierte Ausstattung nach Standards z.B. des amerikanischen NIST oder der deutschen PTB. Dies erlaubt eine Vergleichbarkeit zwischen den Messinstrumenten von Herstellern und Kunden. Generell sind Messmethoden zu unterscheiden, die während der Produktentwicklung oder in der Serienfertigung genutzt werden. In letzterer kommen meist lediglich kalibrierte Photosensoren zum Einsatz, um hohe Durchlauffrequenzen und niedrige Herstellungskosten zu ermöglichen.

In der LED-Entwicklung werden dagegen Spektrometer zur Vermessung von Intensitäten und Wellenlängen-Profilen eingesetzt, Ulbricht-Kugel integrieren die gesamte Ausgangsleistung der LED, während Goniometer für winkelabhängige Messungen dienen.

Optiken für optimale LED-Leuchten

Um die Lichtausbeute einer LED (Lumen pro Euro) zu maximieren, wird oft eine spezielle Optik in das Bauteil integriert.

Entsprechend kann dann die Anzahl der LED-Chips minimiert werden, was zu Einsparungen bei der Wärmeentwicklung, dem Energieverbrauch und den Endprodukt-Kosten führt. Dies gilt vor allem, wenn LED-Technologie mit Glühlampen oder Leuchtstoffröhren konkurrieren soll (**Bild 8**). Neben der Lichtbündelung können Optiken aber auch zur homogenen Farbmischung eingesetzt werden.

Anwendungen

LEDs haben überall dort Vorteile gegenüber konventionellen Lichtquellen, wo deren kürzere Lebensdauer zu erhöhten Kosten oder Sicherheitsrisiken führt, oder wo der Energieverbrauch besonders relevant ist. Die aktuellen Anwendungsfelder sind ebenso weit wie überraschend.

Navigationslichter für die Schifffahrt sind gerade bei großen Frachtern zur Unfallverhütung notwendig. Ein Ausfall der Lichter gefährdet die Sicherheit des Schiffes und dessen Besatzung. Eine unbedingte Funktionssicherheit der Lampen ist zu gewährleisten. Hier bietet sich eine LED-Lösung an, da die Halbleitermaterialien extrem stabil und haltbar sind.

Einen großen Markt stellt auch die Luftfahrt dar. Bei Flugfeldbeleuchtungen ist der Einsatz von LEDs gerade wegen der langen Lebensdauer vorteilhaft. Die Sperrung eines Rollfeldes zur Wartung ist mit immensen Kosten verbunden. Gleiches gilt für Flugzeugwarnlichter auf der Spitze von Masten, Türmen oder hohen Gebäuden in Flughafennähe (**Bild 9**). Allein durch den Austausch einer Glühlampe auf einem Funkmast entstehen Kosten in Höhe von 300 bis 500 €. Hier ist aber nicht nur der Austausch defekter Lampen problematisch und teuer. Allein das Auffinden ausgefallener Leuchten stellt eine Herausforderung dar. Überwachungssysteme können zwar installiert werden, lassen die Kosten jedoch extrem in die Höhe schnellen.

Auch in der Verkehrssicherheit sind viele Lichtquellen im Einsatz. In herkömmlichen Ampelanlagen werden drei 100 W Glühlampen verwendet (eine pro Farbe). Diese können durch LED-Quellen mit weniger als 10 W elektrischer Leistungsaufnahme ersetzt werden – eine 90%ige Stromeinsparung. Die Amortisationszeit einer solchen LED-Ampel liegt zwischen zwei und vier Jahren, abhängig vom Strompreis und den laufenden Instand-

haltungskosten. Bei Anwendungen wie Fahrspur-Anzeigen auf Brücken, in Tunneln oder an Autobahn-Mautstellen ist das größte Einsparpotential von LEDs in den stark reduzierten Wartungskosten zu sehen.

In der Analytischen Messtechnik werden ebenfalls LEDs z.B. in Farbmessgeräten erfolgreich eingesetzt. Hierdurch entfallen einerseits Rekalibrierungen der Messgeräte, die nach einem Lampentausch vorgenommen werden müssten, andererseits werden Ausfallzeiten reduziert.

In der Medizintechnik kommen LEDs u.a. bei chirurgischen OP- oder Stirnlampen, bei Beleuchtungen in der Zahnmedizin oder bei Endoskopen zum Einsatz. Je nach Zusammensetzung der Chips können Farbmischungen erreicht werden, die ein der Arbeitssituation angepasstes Licht ergeben. Das Weißlicht der LEDs erscheint dabei nicht nur heller, gleichzeitig ist auch die Abstrahlwärme geringer als bei Temperaturstrahlern.

Zusammenfassung

Um unterschiedliche LED-Chips verbinden und auf kleinstem Raum unterbringen zu können, werden umfassende Erfahrungen in der Aufbau- und Verbindungstechnik sowie im optoelektronischen Design und in der Materialkunde verschiedenster Halbleiter, Metalle und Epoxy-Harze benötigt. Wird zusätzlich eine auf die Anwendung und das Bauteil optimierte Optik integriert, kann die Eignung der LED-Produkte in der Beleuchtung und Messtechnik zusätzlich gesteigert werden. Der geringe Stromverbrauch trägt zum Umweltschutz bei, und auch die lange Lebensdauer der LEDs bringt berechenbare Kostenersparnisse mit sich. Dass sich das weltweite Produktionsvolumen von LEDs derzeit alle 18-24 Monate verdoppelt, lässt Rückschlüsse auf ihre immer



Bild 9: Sicherheits-LED-Beleuchtung auf einem Mast

Inkohärente Lichtquellen

weitere Verbreitung zu. So schauen LEDs einer leuchtenden Zukunft entgegen.

Literaturhinweise:

- [1] www.led-info.de/grundlagen/leuchtdioden/geschichte.html
- [2] D. Sauther, H. Weinerth (Hrsg.), *Elektronik und Mikroelektronik Lexikon*, VDI Verlag, 2. Aufl. März 1993, ISBN 3-540-62131-8
- [3] A. Wirthmüller, Referat: *Laser für Ingenieure*, ETH Zürich, WS 2005/06, http://people.ee.ethz.ch/~wirthmua/data/WS0506_GaN.pdf
- [4] E. Meißner, S. Hussy, P. Berwian, J. Friedrich, *Was macht die Herstellung von GaN so schwierig?*, Vortrag zur 9. Jahrestagung des Fraunhofer IISB, 4.10.2007

Ansprechpartner:

Winfried Reeb
Produktionsingenieur/
Gruppenleiter
Laserdioden und
Photodioden
Laser Components GmbH
Werner-von-Siemens-Str. 15
D-82140 Olching
Tel. 08142/2864-42
Fax 08142/2864-11
eMail: w.reeb@lasercomponents.com
Internet: www.lasercomponents.com



Mark Gaston
VP of Sales
Opto Technology, Inc.
160 E. Marquardt Dr.
Wheeling, IL 60090
USA
Tel. +1/847/537-4277
Fax +1/847/537-4785
eMail:
gaston@optotech.com
Internet: www.optotech.com



www.photonik.de ▶ Webcode **1004**