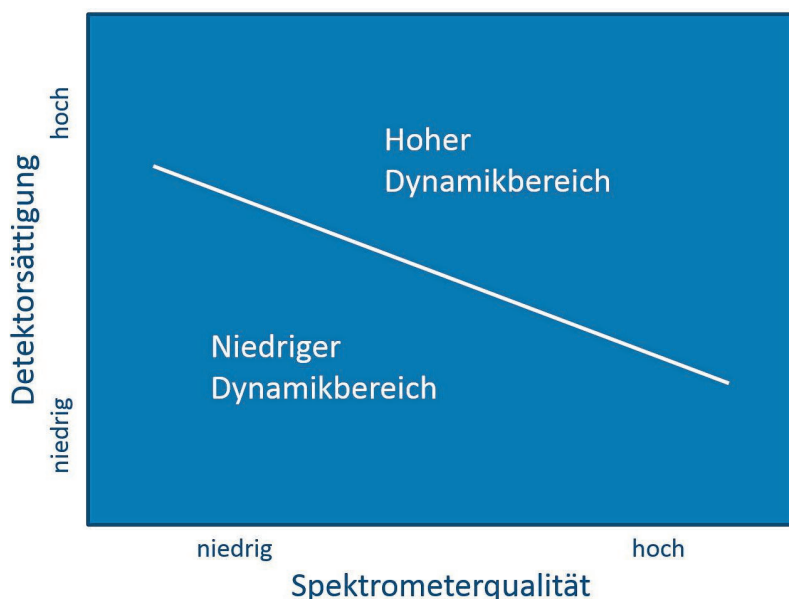


Die Guten ins Töpfchen

Inline-Tests für LEDs. Optische Messungen in der LED-Fertigung müssen schnell und präzise sein. In den einzelnen Produktionsschritten vom Wafer bis zum fertigen Modul werden verschiedene Methoden eingesetzt.



1 | **Spektralradiometer:** Die Linienintegration eines Flächendetektors reduziert das Rauschsignal und ermöglicht auch bei geringer Detektorsättigung aufgrund eines günstigen Signal-Rausch-Verhältnisses ein größeres Messspektrum

Im Herstellungsprozess von LEDs werden unmittelbar an der Fertigungslinie elektrische, optische und thermische Messungen durchgeführt, um die LEDs in einem als Binning bezeichneten Verfahren in Gütegruppen zu sortieren sowie fehlerbehaftete von der hochwertigen Produktion zu trennen. Die Bins enthalten dabei LEDs mit gleichen elektrooptischen Eigenschaften, obwohl es starke Schwankungen innerhalb eines Fertigungsloses gibt. Zusätzlich dienen die Ergebnisse der Inline-Tests dazu, den Herstellungsprozess unmittelbar während der Fertigung anzupassen und so den Produktionsertrag zu steigern.

Anforderungen an Produktionstests

Produktionstests unterscheiden sich von Labormessungen vornehmlich durch die Geschwindigkeit: An einer Fertigungslinie werden etwa zehn LEDs pro Sekunde gemessen. Die optischen Messinstrumente müssen entsprechend der Geschwin-

digkeit der Fertigungslinie getaktet und die Messzeiten so kurz wie möglich sein. Neben mechanischen beziehungsweise pneumatischen Positionierern, Kontaktanlagen sowie Sichtprüfgeräten bleibt wenig Bauraum für die Einkoppeloptik und weitere Testvorrichtungen.

Temperatur und Feuchtigkeit unterliegen in der Produktionsanlage oft deutlichen Schwankungen. Zusätzlich können die Tester Vibrationsbelastungen ausgesetzt sein und müssen dem Dauerbetrieb

standhalten. Daher sind für Messungen in der Produktion widerstandsfähige, wartungsarme Geräte erforderlich, die zugleich genaue und reproduzierbare Ergebnisse liefern.

Das Messen von LED-Parametern in der Fertigung gestaltet sich insbesondere hinsichtlich des Messinstrumentariums als schwierig, da der Lichtdurchsatz von CIE-konformen Messadaptern gering ist und eine Vielzahl verschiedener Produkte von Low-Power- zu High-Power-LEDs getestet wird. Gleichzeitig müssen die Messzeiten kurz sein, um möglichst viele Einheiten pro Stunde produzieren zu können.

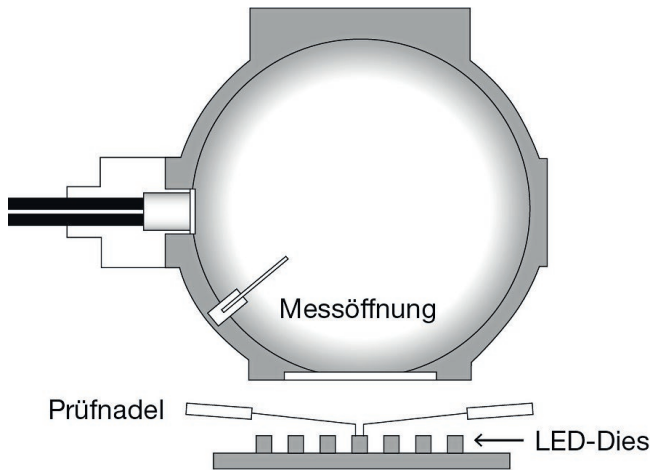
In der Fertigungskontrolle kamen früher hauptsächlich Photometer und Farbmessköpfe für integrale Messungen zum Einsatz, da die Messgeschwindigkeit hier der entscheidende Faktor ist. Deren Messgenauigkeit reicht jedoch nicht für die Prüfung von blauen und weißen LEDs aus, weshalb hierzu in der Regel Spektrometer verwendet werden.

Messungen an blauen und weißen LEDs

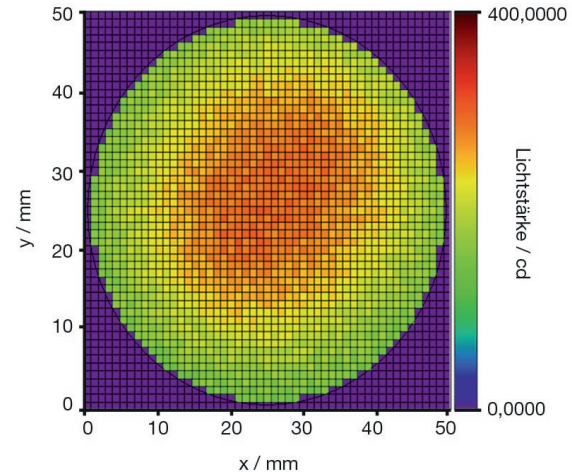
Dank ihrer Robustheit und kurzer Messzeiten sind Array-Spektralradiometer ideal für den Einsatz in der Fertigung. Ihr größter Nachteil lag früher in der zu geringen Empfindlichkeit und einem zu kleinen Dynamikbereich. Weder mit einer Einkoppeloptik nach CIE Condition B noch mit einem den Lichtdurchsatz stark

FAZIT

Unterschiedliche Geräte für jeden Fertigungsschritt. Um fehlerhafte Teile zu erkennen sowie zur Sortierung in Gütegruppen finden während der Fertigung von LEDs in allen Produktionsschritten vom Wafer bis zum fertigen Modul optische Messungen statt. Außerdem dienen diese Inline-Tests dazu, den Herstellungsprozess zu optimieren. Neben einer hohen Messgenauigkeit kommt es dabei vor allem auf kurze Messzeiten an, um die Produktion nicht unnötig zu bremsen. Je nach Produktionsschritt lassen sich unterschiedliche Parameter und physikalische Größen der LEDs bestimmen, wozu verschiedene Geräte wie Spektrometer, Mikroskop oder Ulbricht-Kugel eingesetzt werden.



2 | **Wafer-Test:** Die Messanordnung besteht aus einer Ulbricht-Kugel mit 100 mm Durchmesser sowie Quarzglas als Staubschutz



3 | **Wafermap:** Die Lichtstärke der Dies wird über die Ortskoordinaten des Wafers farbcodiert dargestellt

einschränkenden Diffusor konnten Integrationszeiten im Millisekundenbereich erzielt werden. Dieses Problem wurde mit der Entwicklung hochqualitativer Back-Illuminated-CCD-Sensoren mit deutlich höherer Empfindlichkeit behoben.

Die Steigerung der effektiven Full-Well-Kapazität durch den Flächendetektor erhöht auch den nutzbaren Dynamikbereich und verringert gleichzeitig das Rauschsignal, was wiederum die Reproduzierbarkeit verbessert (**Bild 1**). Array-Spektralradiometer dieser Bauweise eignen sich somit am besten für die Fertigungskontrolle von LEDs, da sie die Nachteile des Photometers beheben, ohne dabei die Messzeit zu beeinträchtigen.

Der für optische Prüfungen von LEDs relevante Fertigungsprozess kann in mehrere Schritte unterteilt werden. Üblicherweise wird zunächst ein Wafer in Dies zerschnitten, die anschließend voneinander getrennt werden. Dadurch können sich ihre optischen Eigenschaften bis zu einem gewissen Grad verändern. Bei phosphorkonvertierten weißen LEDs wird im nachgeschalteten Produktionsschritt ein darauf angepasster Phosphor gewählt und auf dem Die aufgebracht. Bei Mehrchip-LEDs für Weißlicht kombiniert man drei oder vier Dies. Die kontaktierten Chips werden zum Schluss in einem Gehäuse zu einer LED zusammengefasst. Je nach Bestimmungszweck können die LEDs auf Leiterplatten montiert und mit Steuerungselektronik sowie gegebenenfalls Linsen und Reflektoren versehen werden.

Die folgenden Abschnitte liefern einen Einblick in klassische optische Messver-

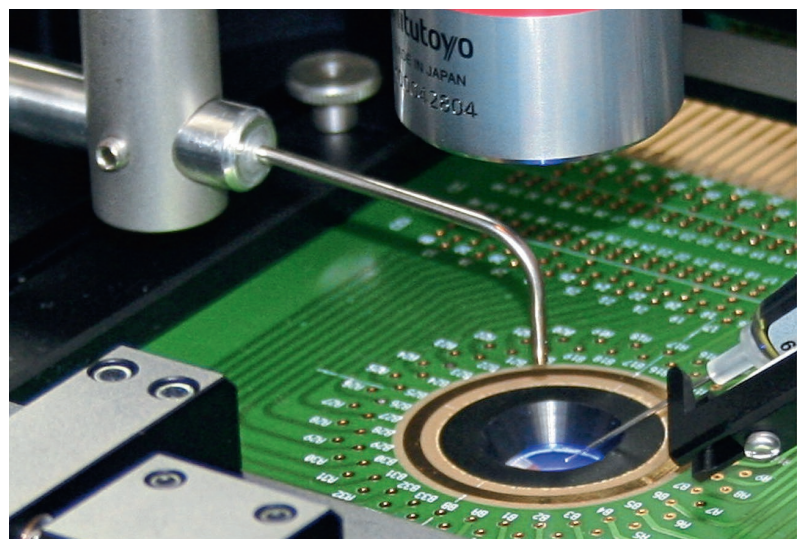
fahren entlang der Hauptproduktions-schritte, wobei der Fokus auf weißen LEDs liegen soll, da sie am stärksten nachgefragt und am komplexesten sind.

Instrumente für Wafer-Tests

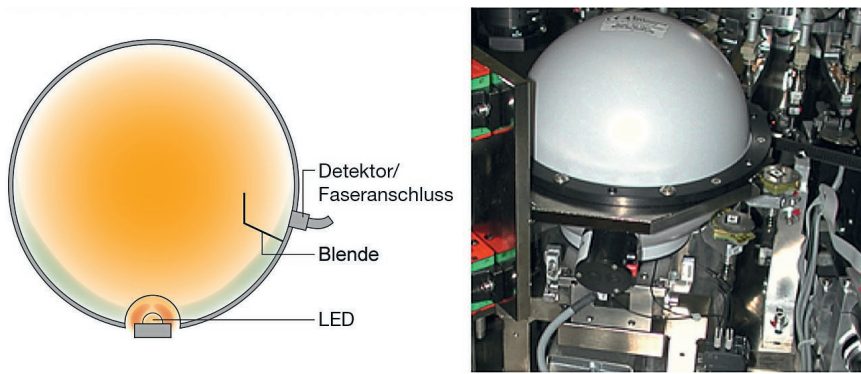
Um frühzeitig die richtigen Entscheidungen zur weiteren Verarbeitung treffen zu können und so die Ausbeute zu optimieren, sind Messungen auf Wafer-Ebene notwendig [1]. Wafer erfordern Reiraumbedingungen und werden gewöhnlich mithilfe einer über dem Wafer angeordneten Ulbricht-Kugel geprüft. Hierzu wird der Wafer mittig vor der Messöffnung der Kugel platziert und mit Prüfnadeln kontaktiert (**Bild 2**). Aus den optischen Prüfungen, die zumeist den Lichtstrom sowie die dominante Wellenlänge

messen, ergibt sich eine Wafermap (**Bild 3**), welche die Lichtstärke der Dies über die x- und y-Ortskoordinaten des Wafers farbcodiert zeigt.

Aufgrund des beschränkten Raums für Wafer-Testgeräte und der Notwendigkeit, optische Integrationszeiten möglichst kurz zu halten, sollte die Ulbricht-Kugel so klein wie nötig, aber so groß wie möglich gewählt werden. Kugeln mit einem Durchmesser von 100 mm entsprechen in der Regel den Anforderungen an Genauigkeit und Größe bei Wafer-Tests am besten. Je nach Anwendung können jedoch auch Durchmesser zwischen 75 und 250 mm eingesetzt werden. Die Messöffnung sollte dabei maximal ein Drittel des Kugeldurchmessers betragen, also 33 mm bei einer Kugel mit 100 mm Durchmesser.



4 | **Einkoppeloptik:** Lichtleiter ermöglichen schnelle Wafer-Prüfungen, ohne die Sichtprüfung einzuschränken



5 | Ulbricht-Kugel: Die LED wird auf dem Radius der Kugel positioniert, die zum Schutz vor Staub über eine Quarzglas-Kuppel verfügt (links); das rechte Teilbild zeigt die beispielhafte Anordnung an einem LED-Handler

Zum Schutz der Bariumsulfat-Schicht der Kugel vor Verunreinigungen und Umwelteinflüssen eignet sich ein Quarzglasfenster.

Für die Messung von Flip-Chip-LEDs kann die Ulbricht-Kugel von unten in nächster Nähe zur LED platziert werden. Der Abstand kann dabei kleiner als 1 mm sein und ermöglicht die Messung des gesamten Lichtstroms in guter Näherung.

Wafer-Tests mit Lichtleiter oder Mikroskop

Die Verwendung von Lichtleitern als Einkoppeloptik ermöglicht schnelle Wafer-Messungen ohne Einschränkung der Sichtprüfung. Diese Art der Einkopplung in das Spektralradiometer ergibt einen besonders hohen Lichtdurchsatz und gewährleistet selbst bei geringer Lichtstärke kurze Messzeiten. Dank seines kompakten Aufbaus kann der Lichtleiter zwischen Justiermikroskop und Wafer angeordnet werden, ohne die Sichtprüfung der Kontakte zu behindern (Bild 4).

Das Messsystem wird gewöhnlich auf die Beleuchtungsstärke oder bei bekann-

ten Messabständen auf die Lichtstärke, nicht aber auf den Lichtstrom kalibriert. Mit einem Diffusor lässt sich der Einfluss des Kopplungswinkels auf die Messung reduzieren. Der Lichtleiter eignet sich ebenfalls zum Messen einzelner Dies.

Oft erfolgt die optische Messung von LED-Dies in Wafer-Testanlagen auch per Mikroskop. Dieses Bildgebungsverfahren misst im Grunde die Leuchtdichte und eignet sich nicht für Lichtstrom- oder Lichtstärkemessungen, da die inhomogene Beschaffenheit des emittierenden Chips zu Messfehlern führen kann. Auch Farbverschiebungen sind aufgrund der spektralen Transmission des Mikroskops wahrscheinlich.

Das Multi-Die-Testing beschleunigt den Wafer-Test. Um die Zahl zeitaufwendiger mechanischer Bewegungen möglichst gering zu halten, kontaktiert man vier, acht oder mehr Dies zeitgleich und platziert die Einkoppeloptik über der Die-Gruppe. Durch elektrisches Multiplexing wird die Stromquelle nacheinander auf die einzelnen Dies geschaltet. Über dieses Testverfahren können somit mehrere Dies

in Folge gemessen werden, ohne den Wafer zu bewegen. Da die elektrischen Schaltzeiten (eine bis wenige Millisekunden) deutlich kürzer sind als die Verfahrzeit des Positionierers (zehn oder mehrere Dutzend Millisekunden), erhöht sich der Durchsatz.

Während Multi-Die-Tests mit Multiplexing im Allgemeinen einen bis zu viermal höheren Durchsatz ermöglichen, stellen parallel betriebene Multikanal-Stromquellen eine noch schnellere Methode dar, da die elektrische Prüfung aller kontaktierten Dies gleichzeitig erfolgt. Im Anschluss daran wird über die optische Prüfung die emittierte Strahlung der einzelnen Dies gemessen.

Tests am nackten Chip

Die elektrooptischen Eigenschaften von Dies ändern sich, sobald diese aus dem Wafer geschnitten wurden. Im nächsten Fertigungsschritt werden deshalb die optischen und elektrischen Prüfungen an den abgetrennten Chips durchgeführt. Bei LEDs geringerer Qualität kann dieser Schritt übersprungen werden, für die Herstellung hochwertiger Produkte ist eine Prozesssteuerung an dieser Stelle jedoch unerlässlich.

Die Trennung erfolgt mittels eines sogenannten Blue Tape aus Polymerfolie, auf dem der zerschnittene Wafer platziert wird. Beim Dehnen der Folie trennen sich die Dies, die dann ein spezieller Prober für die elektrische und optische Prüfung kontaktiert. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Dies zum Kontaktieren einzeln auf eine gesonderte Testplatte zu setzen und mit einem Die-Prober zu testen.

Gewöhnlich werden bei optischen Prüfungen der Lichtstrom und die dominante Wellenlänge gemessen. Bei weißen LEDs mit Lumineszenzkonversion werden die Phosphorplättchen zur Herstellung des gewünschten Weißtons mit ins Binning einbezogen. Da sich die optischen Eigenschaften des Phosphors durch die Kombination verschiedener Phosphorarten anpassen lassen, kann für jeden Die-Bin ein passender Phosphor-Bin produziert werden. Durch die richtige Zuordnung der Phosphor-Bins kann der gewünschte Weißton aus unterschiedlichen Die-Bins hergestellt und somit der Produktionsertrag erhöht werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Phosphor direkt auf den Chip aufzutragen. Hierzu sind fundierte Kenntnisse des Be-

WISSENSWERT

Fertigungstests für OLEDs. Optische Messungen in der noch recht jungen Massenherstellung von OLEDs verlaufen ähnlich wie Messungen in der LED-Produktion. Die größere Licht emittierende Fläche erfordert jedoch zur Messung des Lichtstroms in 2π -Konfiguration größere Ulbricht-Kugeln. Die Leuchtdichte wird mit Einkoppeloptiken gemessen, die zwar in der klassischen LED-Fertigung ungewöhnlich, bei Fertigungstests von Displays jedoch üblich sind. Auch zur Messung der Leuchtdichtehomogenität sowie der Winkelcharakteristik kann auf Displaymessgeräte zurückgegriffen werden.

Spezielle Verfahren für optische Messungen bilden bisher in der OLED-Herstellung noch die Ausnahme. Module verschiedener Hersteller weisen jedoch auf allgemeingültige Eigenschaften hin, deren Messung hilfreich sein könnte [2]. Tabelle A listet Eigenschaften auf, die in ausgereiften Fertigungslinien gemessen werden können.

schichtungsprozesses notwendig, um Phosphorkonzentration und -zusammensetzung zu steuern.

Die bevorzugte Einkoppeloptik für das optische Prüfsystem ist – je nach LED-Typ und verfügbarem Bauraum am Fördermittel – eine Ulbricht-Kugel mit einem Durchmesser von 75 bis 150 mm.

LED-Tests

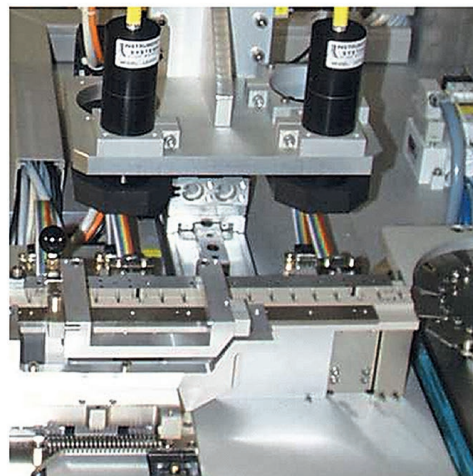
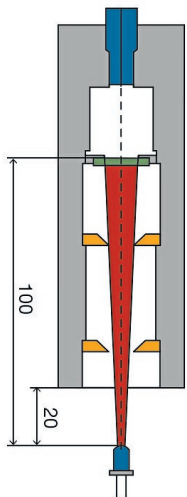
Bei bereits gehausten LEDs verändern sich die Messgrößen im Vergleich zum Wafer- und Die-Test. Gewöhnlich werden bei optischen Tests an weißen LEDs Lichtstrom, Lichtstärke, Farbkoordinaten und korrelierte Farbtemperatur (CCT) gemessen. Für LEDs, die zu allgemeinen Beleuchtungszwecken genutzt werden sollen, wird der Farbwiedergabeindex (CRI) als Parameter für das Binning verwendet. Einige LED-Hersteller spezifizieren LED-Fertigungslose entweder nach einem festen CRI-Wert mit definiertem Toleranzbereich oder nach einem Mindest-CRI, der erreicht sein muss.

Im Vergleich zu den nackten Chips ändert sich bei den gehausten LEDs aufgrund von Kontaktieren, Packaging und Lichtausbreitung im Phosphor oder einer aufgesetzten Linse die Lichtverteilung. Durch Fertigungstoleranzen entstehen sehr individuelle Richtcharakteristiken.

Die individuelle Abstrahlcharakteristik verschiedener LEDs äußert sich bei der Lichtstrommessung derart, dass das emittierte Licht jeweils an einer anderen Stelle auf der Innenseite der Ulbricht-Kugel auftrifft. Unregelmäßigkeiten in der Kugelbeschichtung und -form würden zu Messab-

weichungen führen, weshalb der Verwendung einer hochwertigen Kugel große Bedeutung zukommt, um eine ausreichende Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu gewährleisten. Für die Fertigung geeignete Ulbricht-Kugeln besitzen auf dem direkten Weg des eintretenden Lichts bis zur Kugelrückwand keine optischen Elemente. Dort befindet sich lediglich die homogene, mit Bariumsulfat beschichtete Wand, wodurch sich die Richtungsabhängigkeit verringert.

Wird die Kugel für die Messung sehr nah an der LED platziert oder die LED mechanisch auf dem (theoretischen) Kugelradius positioniert, ist eine Quarzglas- oder Kunststoffkugel zu verwenden, um die Kugel vor Staub oder losen Teilchen zu schützen. Ein flaches Fenster würde aufgrund der bei großen Öffnungswinkeln auftretenden starken Reflexion den effektiven Öffnungswinkel verkleinern. **Bild 5** zeigt die Anordnung. Ein größerer Abstand zwischen LED-Gehäuse und Kugel erlaubt auch die Verwendung eines flachen Glasfensters.



6 | **Lichtstärkemessadapter:** Das Gehäuse und zwei Blenden schirmen Streulicht ab (links); rechts ist der Adapter in einer LED-Sortieranlage integriert zu sehen

Messgröße	LED	OLED
Lichtstrom	ja	ja
Strahlungsfluss	nicht sichtbare LEDs (UV/NIR)	nein
Lichtstärke	ja	nein
Strahlungsstärke	nicht sichtbare LEDs (UV/NIR)	nein
Leuchtdichte	nein	ja
Leuchtdichthehomogenität	nein	ja
Farbkoordinaten	ja	ja
Korrelierte Farbtemperatur (CCT)	ja	ja
Farbwiedergabeindex (CRI)	ja	ja
Dominante Wellenlänge	monochrom (beispielsweise blauer Chip für weiße LEDs)	selten
Schwerpunktwellenlänge	selten	nein
Winkelcharakteristik	nur im Labor	in Labor und Pilotlinien

A | **Vergleich:** Übersicht über Parameter, die in der Fertigung von LEDs und OLEDs gemessen werden können

Tests mit Lichtstärkemessadapter

Die Lichtstärke wird mit einem speziellen Adapter gemessen, der einen Kosinuskorrigierten Detektor mit einem genau definierten Detektionsbereich umfasst. Die LED wird mit Abstand zum Adapter positioniert, um die Bewegung durch den Positionierer nicht zu behindern. Hierdurch kann Streulicht in den Raum zwischen Emittor und Detektor eintreten sowie Licht aus dem Inneren des Adapters auch wieder nach außen gelangen. Das verzerrt den Messwert.

Zwar ist der Detektor durch das Adaptergehäuse und zwei Blenden abgeschirmt (links in **Bild 6**), doch empfiehlt sich trotzdem eine ausreichend abgedunkelte

Messumgebung. Die Messöffnung für den Adapter kann mittels einer Glasscheibe vor Staub geschützt werden. Die Transmission des Lichtleiters, der den Messadapter mit dem Spektrometer verbindet, darf nicht von den durch die mechanischen Vibrationen des Positionierers hervorgerufenen Bewegungen beeinflusst werden.

Aufgrund der Richtwirkung der LED-Strahlung ist eine präzise Positionierung der mechanischen Achse der LED entlang der optischen Achse des Lichtstärkesensors entscheidend, da schon kleine Abweichungen zu deutlich unterschiedlichen Messwerten führen können. Die mechanische Positionierung muss daher höchsten Genauigkeitsansprüchen genügen.

Modultests bei unterschiedlichen Bedingungen

Ein Modul, das die Bestromung der LEDs sowie möglicherweise mehrere LEDs einschließt, erhöht die Komplexität des Testverfahrens. Da die optischen Eigenschaften einer LED von der Bestromung abhängen, ist ein Test jeweils nur für einen spezifischen Betriebszustand möglich. Ergänzend kann die Prüfung bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen erfolgen.

Hierdurch erhält man die notwendigen Messdaten zur Steuerung der optischen Eigenschaften des Endprodukts.

Würden die Bins der LEDs nur für die Einzel-LEDs bestimmt werden, so ergäben sich bei Modulen mit mehreren LEDs – aufgrund der Vielzahl möglicher Kombinationen – viele Bins. Daher wird das Binning durch das gleichzeitige Messen und Zusammenfassen aller LEDs eines Moduls vereinfacht. Hierzu müssen entweder alle LEDs zeitgleich betrieben oder ihre einzeln gemessenen Spektren mittels einer Software kombiniert werden, um daraus die farb- und photometrischen Größen abzuleiten.

Da nun die Bestromung in die Messung einfließt, kann die für viele Endkunden bedeutsame Lichtausbeute (mit der Einheit lm/W) für das Binning herangezogen wer-

den. Aufgrund ihrer Größe und Lichtleistung erfordert die Prüfung ganzer Module größere Ulbricht-Kugeln mit Durchmessern von 250 bis 1000 mm. Ansonsten folgt der Testablauf dem in den vorstehenden Abschnitten beschriebenen Verfahren. dar

Autoren

Dr. Günther Leschhorn ist Leiter Produktmanagement,

Dr. Richard Young war bis zu seiner Pensionierung Chief Scientist und ist nun als Consultant tätig,

beide bei Instrument Systems.

Literatur

1. Đ. Konjodžić: Contribution to Technical Report from CIE TC 2-64, High speed testing methods for LEDs; CIE
2. T. Kawabata, Y. Ohno: Optical Measurements of OLED Panels for Lighting Applications; Journal of Modern Optics, 2013

Online-Service

Handbook of LED and SSL Metrology; Optische Messtechnik von Instruments Systems

www.elektronik-informationen.de/65036

KONTAKT

Instrument Systems GmbH,
Neumarkter Straße 83,
81673 München,
Tel. 089 454943-0,
E-Mail info@instrumentsystems.de,
www.instrumentsystems.de