

Messung des Temperaturprofils während des Reflow-Lötprozesses

Application Note

Abstrakt

Mit Bezug auf die Applikationsschrift „Zusätzliche Hinweise zum Bleifrei Reflow-Löten von LEDs“ gibt die vorliegende Schrift Hinweise und Empfehlungen für die Erfassung des Temperaturprofils während des Reflow-Lötprozesses.

Neben allgemeinen Informationen über Thermolemente wird die kritische Auswahl von geeigneten Messpunkten beschrieben, sowie verschiedene Möglichkeiten zur Befestigung von Thermolementen vorgestellt.

Einleitung

Mit Einführung der RoHS-Richtlinie muss aufgrund des verkleinerten Prozessfensters bei den bleifreien Verarbeitungsprozessen erhöhte Aufmerksamkeit auf das Löt-Equipment und speziell auf die Prozessführung gelegt werden.

Da die maximale Belastungsgrenze der SMD Bauteile im bleifreien Prozess sehr schnell erreicht bzw. überschritten werden kann, ist die genaue Kenntnis der thermischen Verhältnisse für die Erstellung geeigneter Lötprozesse unerlässlich.

Aus diesem Grund und zur Evaluierung einer möglichen Bauteilbeeinträchtigung, sollten deshalb die herrschenden Temperaturen an kritischen Punkten auf der Leiterplatte und an empfindlichen Bauteilen beim Lötprozess präzise gemessen werden, um individuelle Temperaturprofile des gesamten Lötvorgang zu erhalten.

Nachfolgend werden daher einige Hinweise und Empfehlungen für die Erfassung des Temperaturprofils gegeben.

Messung des Temperaturprofils

Für die genaue Temperaturüberwachung an kritischen Punkten der Leiterplatte während des Lötprozesses werden in der Industrie Thermolemente eingesetzt.

In ihrer einfachsten Ausführung bestehen Thermolemente aus zwei Drähten unterschiedlichen Materials, die an einem Ende miteinander verschweißt sind.

Bei der Messung wird die zwischen den Drähten entstehende temperaturabhängige Kontaktspannung (Thermospannung) bestimmt, und dem entsprechenden Temperaturwert zu geordnet. (s. a. Applikationsschrift „Temperature Measurement with Thermocouples“)

Thermolemente

Für Temperaturbereiche bis ca. 400°C kommen üblicherweise Thermolemente vom Typ K aus Nickel-Chrom (Chromel) und Nickel (Alumel) zum Einsatz. Limitiert wird ihr Einsatzbereich für die Profilierung des Lötprozesses dabei im Grund nur durch die Temperaturfestigkeit des verwendeten Isolationsmaterials der Drähte.

Aus der Vielzahl der angebotenen Thermolemente werden am häufigsten Sensoren mit Drahtdurchmessern (AWG- American Wire Gauge) der Größe AWG 30 bis AWG 40 für die Überwachung des dynamischen Temperaturverhaltens unter Wechselbeanspruchung und Reflow-Bedingungen verwendet.



Bild 1: Beispiel eines Thermoelements vom Typ K

Im Hinblick auf die Genauigkeit sind jedoch Thermoelemente mit Drahtdurchmessern AWG 36 bis AWG 40 zu empfehlen, insbesondere dann, wenn die Bauteile klein sind und der Drahtdurchmesser bezüglich der Gehäusemasse eine beträchtliche Wärmeabsenkung bewirken kann.

Ansprechzeit von Thermoelementen

Um während des Durchlaufes die dynamischen Temperaturänderungen exakt und detailliert aufzeichnen zu können, sind Thermoelemente mit entsprechend kurzen Ansprech- bzw. schnellen Reaktionszeiten notwendig, besonders bei Messungen an Miniaturbauteilen mit schnellen Temperaturwechseln.

Die Ansprechzeit von Thermoelementen wird hauptsächlich durch die Größe der Schweißperle und durch den leitenden Draht (Material) inklusive der Befestigungsmethode beeinflusst.

Die Reaktionszeit ist dabei proportional zur Oberfläche der aktiven Verbindung und zum Durchmesser des Drahtes, aus welchem das Thermoelement hergestellt wurde.

Das bedeutet, je kleiner die Schweißperle und je dünner der Draht desto kürzer die Ansprechzeit bzw. desto schneller die Reaktionszeit des Thermoelements.

Für eine präzise Messung der Temperaturen während eines Reflow-Lötprozesses besitzen die üblicherweise verwendeten Thermoelemente (kleiner gleich AWG 30) bei Befestigung auf der Oberfläche der Leiterplatte oder an den Bauteilen eine ausreichende schnelle Reaktionszeit.

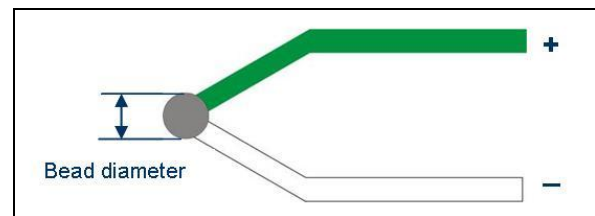


Bild 2: Schematischer Aufbau eines Thermoelementes (Farbcode Typ K) [4]

Im Hinblick auf Kosten, Größe und Festigkeit stellen Thermoelemente mit Drahtdurchmessern von AWG 30 bis 36 letztlich einen guten Kompromiss dar.

Dünnere Varianten sind im Vergleich dazu deutlich bruchanfälliger, bei dickeren Elementen dagegen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Messstelle (Schweißperle) größer als das Bauteil oder der eigentliche Befestigungspunkt ist.

Bezeichnung	Datapaq PA0210 / PA0215 Fast Response	Datapaq PA1683 Fine Wire	OMEGA SRTC
Typ	Typ K	Typ K	Typ K
Isolierung	PTFE oder Glasfaser	Glasfaser	PTFE oder Glasfaser
Genauigkeit	$\pm 0,4\%$ oder $\pm 1,1^\circ\text{C}$	$\pm 0,4\%$ oder $\pm 1,5^\circ\text{C}$	$\pm 1,5^\circ\text{C}$
Länge	800mm	500mm	1000mm
Drahtdurchmesser	0,2mm / 32AWG	0,12mm / 36AWG	0,25mm / 30AWG
Temperatur	max. 265°C	max. 265°C	max. 265°C / max. 480°C

Tabelle 1: Geeignete Thermoelemente zur Temperaturüberwachung während des Reflow Lötens

Auswahl der Temperatur-Messpunkte

In der Vergangenheit musste bei bleihaltigen Lötprozessen in den meisten Fällen kein besonderes Augenmerk auf die Auswahl geeigneter Messpunkte zur Temperaturüberwachung gelegt werden, da das relativ große Prozessfenster einen genügend großen Abstand zur Schadensgrenze der Bauteile geboten hat.

Gewöhnlich wurden für die Profilierung nur solche Bereiche herangezogen, von denen angenommen wurde, dass sie die heißesten bzw. kältesten Punkte auf dem PCB Board sind. Die Fixierung von Thermoelementen auf entsprechenden Löt pads diente in erster Linie zur Bestimmung, ob das thermische Profil über das gesamte Produkt hinweg konsistent ist.

Bei bleifreien Lötprozessen ist die Auswahl der Temperaturmesspunkte wesentlich kritischer und auch bauteilrelevanter, da sich der Prozess in unmittelbarer Nähe zur Schadensgrenze der Bauteile bewegt.

Um eine Schädigung der Bauteile zu vermeiden, ist es daher überaus wichtig, alle kritischen oder empfindlichen Komponenten, wie z.B. LEDs, Miniaturbauteile, etc. im Vorfeld zu identifizieren und zusätzlich an diesen Bauteilen eine Temperaturerfassung vorzunehmen.

Diese bauteilspezifischen Temperaturprofile sind insofern wichtig, da sich nur durch die Kenntnis der am Bauteil herrschenden Temperaturgradienten die auftretende Belastung während der Aufheiz- bzw. Abkühlphase am SMD Gehäuse abschätzen lässt. Auf diese Weise erhält man individuelle Bezugspunkte, und erfasst die realen Verhältnisse an den kritischen Bauteilen, wodurch ein Vergleich von unterschiedlichen Ofeneinstellungen und damit von Profilverläufen ermöglicht wird.

Die Identifikation der kritischen Bauteile und Festlegung der Messpunkte stellt aber nur den ersten Schritt dar, von entscheidender Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Auswahl des Messpunktes am Bauteil selbst.

Im JEDEC J-STD 020D.01 ist dazu festgelegt, dass sich alle Temperaturen auf das Zentrum des Gehäuses beziehen, und an derjenigen Bauteiloberfläche zu messen ist, die während des Reflow Lötvorgangs nach oben zeigt bzw. gerichtet ist.

OSRAM Opto Semiconductors folgt dieser Richtlinie, und bezieht alle Temperaturangaben bei der Klassifizierung oder in den Reflowprofilen auf das Zentrum des Gehäuses, wobei an der Spitze der Komponente gemessen wird.

Bei SMD LEDs, insbesondere bei LEDs mit Linse, empfiehlt sich die Auswahl von zwei Messpunkten bzw. Orte, einmal an der Spitze des Bauteils (Linse) und ein zweites Mal am Löt pad auf der Leiterplatte.

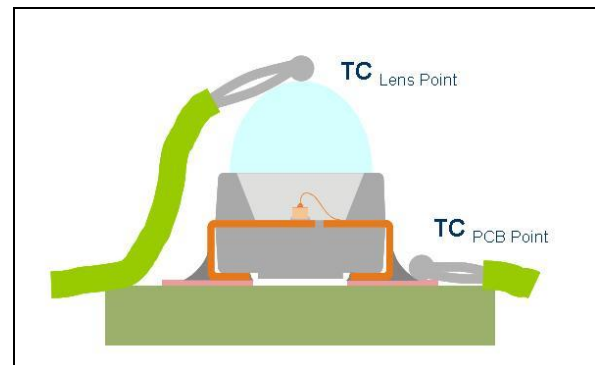


Bild 3 : Temperaturmesspunkte bei der Power TOPLED mit Linse

Befestigung von Thermoelementen

Der wichtigste Faktor/Punkt, um aussagekräftige Ergebnisse bei der Messung thermischer Profile zu erhalten, ist, die Sicherstellung einer geeigneten Befestigung und eines guten Oberflächenkontaktes der Thermoelemente während der Temperaturmessung.

Generell gibt es verschiedene Methoden Thermoelemente auf Leiterplatten, Löt pads oder Bauteilen zu befestigen, wie z.B.

- Hochtemperatur-Lot (HT – Lot)
- Aluminium Klebeband
- Polyimid Klebeband (Kapton®)
- Leitendes/ nicht leitendes Epoxy

Hochtemperatur-Lot

Die Befestigung der Thermoelemente mit Hochtemperatur-Lot wird als Industriestandard betrachtet, da damit eine exzellente Wiederholbarkeit und eine sehr starke Verbindung gegeben und sichergestellt ist.



Bild 4: Befestigung mittels Hochtemperatur-Lot

Nachteilig wirkt sich hier jedoch die etwas komplizierte und aufwendige Verarbeitbarkeit der Hochtemperatur-Lote aus.

Dies zeigt sich insofern, dass zur Verarbeitung ein spezieller HT-LötKolben verwendet werden muss, und dass es nur auf metallisierten Oberflächen angewandt werden kann. Ebenso muss berücksichtigt werden, dass Thermoelemente (z.B. vom Typ K) ein schlechtes Benetzungsverhalten besitzen, und letztendlich ein Anlöten immer die Zerstörung des Testprodukts zur Folge hat. Wird darüber hinaus zuviel Lot aufgetragen, so erhöht sich die Wärmekapazität des Thermoelements und verursacht eine falsche Temperaturmessung. Die Thermoelemente müssen daher mit einem Minimum an Lot befestigt werden.

Üblicherweise kommen dafür Lote mit einem 90% Bleianteil und einem Schmelzpunkt von über 290°C zum Einsatz. Es sind aber auch Silber-Zinn Verbindungen im Einsatz.

Alu Klebeband in Kombination mit Polyimid Klebeband (Kapton®)

Eine andere Methode, auch bezeichnet als Window Panning, ist die Befestigung mit

Aluminium Klebeband in Kombination mit Polyimid Klebeband.

Das Alu Band sorgt dabei neben dem guten Kontakt zur Messstelle für einen guten Wärmetransfer und ermöglicht eine schnelle Temperaturerfassung. Das Polyimid dient zur eigentlichen temperaturstabilen Befestigung, dabei ist zu beachten, dass das Polyimid Band nicht den Bereich mit der Thermoelementspitze abdeckt.

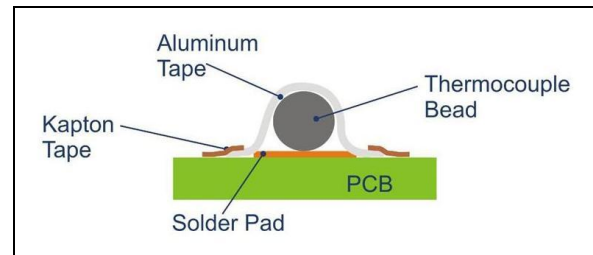


Bild 5: Befestigung mit Aluminium und Polyimid Klebeband

Auch ist es nicht zu empfehlen, das Polyimid-Band allein zu verwenden, da zum einen kein schlüssiger Kontakt zwischen Messstelle und Thermoelement erreicht wird, und die Haftkraft limitiert ist.

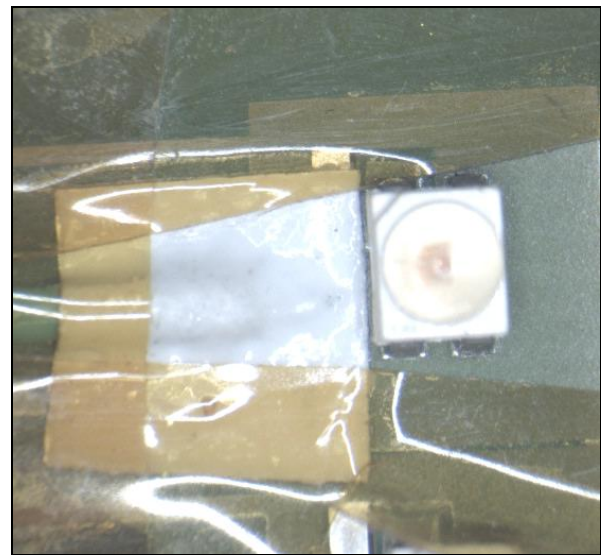


Bild 6: Beispiel T-Messung am Löt-pad einer LED, Befestigung mit Alu- und Polyimid Klebeband

Für die Befestigung wird das Aluminium Klebeband (z.B. KIC-Thermal Alu Tape) ungefähr auf eine Größe von 5mmx5mm zugeschnitten, und damit die Spitze des

Thermoelemente z.B. auf dem ausgewählten Lötspad der Leiterplatte platziert. Anschließend werden breitere Streifen des Polyimid Klebeband zur zusätzlichen Fixierung des Alu-Bandes am Rand aufgeklebt, wodurch auch die Thermoelement-Leitung nochmals gesichert wird.

Die Kombination bietet eine einfache, kostengünstige und zerstörungsfreie Möglichkeit Thermoelemente zur Profilerfassung auf Leiterplatten zu befestigen.

Ihre sichere Verbindung bei gleichzeitig ausgezeichneter thermischer Leitfähigkeit konnte in Studien der Industrie zu unterschiedlichen Messequipment und Thermoelement-Lieferanten belegt werden [4].

OSRAM Opto Semiconductors nutzt deshalb dieses System als bevorzugte Befestigungstechnik, sofern es auf dem zu untersuchenden PCB Board anwendbar ist.

Epoxydharz – leitend oder nicht leitend

Eine weitere weitverbreitete Möglichkeit für die Befestigung sind Epoxyd-Klebstoffe, wobei beide Arten, thermisch leitende und nicht leitende Kleber, verwendet werden.

Diese sind deutlich einfacher zu handhaben und zu verarbeiten als die Hochtemperatur-Lote. Eingesetzt werden die Kleber üblicherweise, wenn Thermoelemente auf nicht lötbaren Oberflächen, wie von Kunststoff- oder Keramikkomponenten, angebracht werden sollen.

Vor der Verwendung eines Epoxy sollten generell die Eigenschaften, wie spezifizierter Temperaturbereich und Ausheizbedingungen des Materials überprüft werden.

Schnellhärtende Epoxide sind meist nur für Temperaturbereiche kleiner 200°C klassifiziert, und zerbröseln daher während des Lötvorgangs.

Spezielle Hochtemperaturharze hingegen benötigen eine Ausheizzeit von mehreren Stunden bei erhöhten Temperaturen.

Bei der Verarbeitung der Kleber ist darauf zu achten, die Klebefläche so dünn wie möglich

zu halten, bzw. nur soviel Kleber zu verwenden, dass eine Wärmeleitung zwischen Gehäuseoberfläche und Thermoelement erreicht wird.

OSRAM Opto Semiconductors verwendet beispielsweise zur Befestigung der Thermoelemente das Epoxydharz LOCTITE 3609. Dieses ist für Temperaturen bis 260°C geeignet, und hat eine Ausheizzeit von 90sec bei einer Temperatur von 150°C.

Thermoelement Befestigung auf Lötspads

Für die Befestigung von Thermoelementen auf Oberflächen von Lötspads sind generell die beiden Methoden, Hochtemperatur-Lot oder Aluminium Klebeband, anwendbar.

Bei ausreichendem Platz auf der Leiterplatte um das Lötspad herum ist die Methode mit Aluminium Band zu bevorzugen, da sie zum einen einfacher und schneller im Gebrauch ist und andererseits ohne Beschädigung des Boards entfernt werden kann.

Thermoelement Befestigung auf LEDs mit Linse

Liegt der Messpunkt auf der Gehäuseoberseite oder auf der Linse von LEDs, so kann in der Regel für die Befestigung der Thermoelemente nur ein Epoxid-Kleber verwendet werden. Andere Methoden sind aus Platz- oder Temperaturgründen nur sehr bedingt geeignet.

Gemäß JEDEC JEP140 ("Beaded Thermocouple Temperature Measurement of Semiconductor Packages", [2]) können Temperaturangaben von Gehäusen erhalten werden, indem man ein Loch, kaum größer als die Thermoelementspitze, in das Gehäuse bohrt.

Bei Komponenten mit dünnem Gehäuse sollte es hingegen ausreichend sein, die Temperatur durch Befestigung des Thermoelements an der Gehäuseoberfläche wiederzugeben.

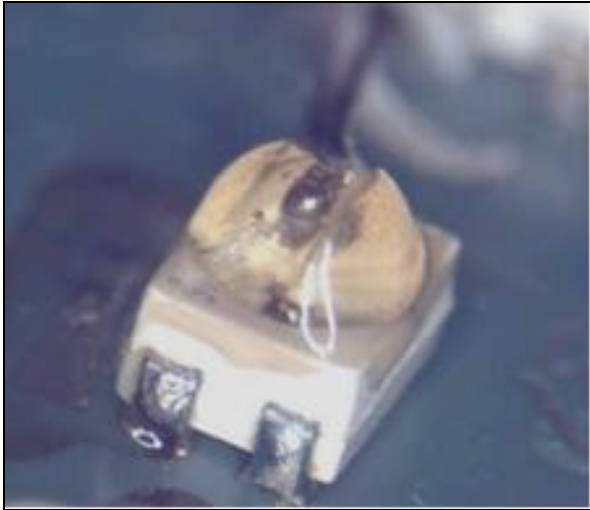


Bild 7: Befestigung eines Thermoelements auf der Linse der LED

Für die Messung an der Linse der LED hat sich bei OSRAM Opto Semiconductors die folgende Vorgehensweise bewährt:

1. Die LED sollte auf die Leiterplatte mit einem Hochtemperatur-Lot (z.B. Pb90Sn, mit einer Schmelztemperatur von $\sim 290^{\circ}\text{C}$) aufgelötet werden. Dadurch wird verhindert, dass sich die LED während des Reflow-Prozesses durch die Eigenspannung des Thermoelements von der Leiterplatte abhebt. Alternativ ist die LED bei Verwendung des bleifreien Lotes zusätzlich mit einem SMT Kleber zu fixieren;
2. Die Linse ist mit einem schmalen Einschnitt, in welchem die Thermo-

elementspitze fixiert werden kann, zu versehen;

3. Thermoelementspitze mit klarem Epoxid-Kleber befestigen;
4. Ausheizen des Kleber auf niedrigster möglicher Temperatur
5. Zusätzliche Fixierung der Thermo-elementdähte mit Polyimid Band

Datenerfassung und Aufzeichnung

Die Messwertaufzeichnung während des Lötvorgangs erfolgt in der Regel mit einem Datenerfassungssystem bzw. Datenrecorder, wobei dieses den Ofen mit durchläuft.

Das System sollte dabei in der Lage sein die anfallenden Daten schnell genug zu verarbeiten, und über eine ausreichende Anzahl von Aufnahmekanälen verfügen, um die notwendigen Profildaten entlang der Prozesskalibrierungspunkte zu erhalten. Ebenso sollte der Datenrecorder die benötigten thermometrischen Kalibrierpunkte, wie einen Temperaturreferenzpunkt für die Thermoelement Messungen beinhalten.

OSRAM Opto Semiconductors selbst verwendet beispielsweise für die Profilerfassung den Datenrecorder DQ 1860 von DATAPAQ. Im Bild 8 werden auch die wichtigsten Parameter dazu aufgelistet.

DATAPAQ DQ1860	
Sampling Interval:	0.05 seconds to 10 minutes
Accuracy:	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Resolution:	0.1°C
Maximum internal operating temperature:	85°C
Temperature range:	-200°C to $1,370^{\circ}\text{C}$
Memory:	18,000 readings per channel
Data collection start:	Start/stop buttons, time or temperature trigger
Battery:	NiMH rechargeable
Thermocouples:	Type K

Bild 8: Daten Recorder DATAPAQ DQ1860

Zusammenfassung

Die erhöhten Anforderungen bei dem bleifreien Reflow-Lötprozess implizieren gewissermaßen auch eine einheitliche Richtlinie zur Temperatur bzw. Profilmessung und diesbezüglich die Einhaltung entsprechender Vorgaben, wie

- Messmethode mit Thermoelementen
- Thermoelement Typ und Drahtdurchmesser (Typ K, AWG 30-40)
- Messort auf der Platine (Homogenität über die gesamte Baugruppe)
- Fühlerplatzierung auf kritischen Bauteilen (Bauteiloberseite)
- Methode der Thermoelement Anbindung (HT Lot, Alu Tape, Epoxy)

Mit entsprechend geeignetem Equipment kann damit wesentlich einfacher ein optimierter und kontrollierter Lötprozess erreicht werden. Dieser ist nicht nur Grundvoraussetzung für die Funktionsfähigkeit einer Baugruppe, sondern beeinflusst auch wesentlich die Qualität der Lötstelle, und somit die Zuverlässigkeit.

Literatur:

[1] JEDEC J-STD 020 D.1

[2] JEDEC Publication No 140

[3] Farbtabelle für Thermoelemente, Anschlussfarben und Leitungskennzeichnung

[4] Cameron Sinohui, A Comparison of Methods for Attaching Thermocouples to PCB for Thermal Profiling, KIC Thermal Profiling

Authors: Andreas Stich, Kurt-Jürgen Lang

ABOUT OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS

OSRAM, Munich, Germany is one of the two leading light manufacturers in the world. Its subsidiary, OSRAM Opto Semiconductors GmbH in Regensburg (Germany), offers its customers solutions based on semiconductor technology for lighting, sensor and visualization applications. Osram Opto Semiconductors has production sites in Regensburg (Germany), Penang (Malaysia) and Wuxi (China). Its headquarters for North America is in Sunnyvale (USA), and for Asia in Hong Kong. Osram Opto Semiconductors also has sales offices throughout the world. For more information go to www.osram-os.com.

DISCLAIMER

PLEASE CAREFULLY READ THE BELOW TERMS AND CONDITIONS BEFORE USING THE INFORMATION SHOWN HEREIN. IF YOU DO NOT AGREE WITH ANY OF THESE TERMS AND CONDITIONS, DO NOT USE THE INFORMATION.

The information shown in this document is provided by OSRAM Opto Semiconductors GmbH on an “as is basis” and without OSRAM Opto Semiconductors GmbH assuming, express or implied, any warranty or liability whatsoever, including, but not limited to the warranties of correctness, completeness, merchantability, fitness for a particular purpose, title or non-infringement of rights. In no event shall OSRAM Opto Semiconductors GmbH be liable - regardless of the legal theory - for any direct, indirect, special, incidental, exemplary, consequential, or punitive damages related to the use of the information. This limitation shall apply even if OSRAM Opto Semiconductors GmbH has been advised of possible damages. As some jurisdictions do not allow the exclusion of certain warranties or limitations of liability, the above limitations or exclusions might not apply. The liability of OSRAM Opto Semiconductors GmbH would in such case be limited to the greatest extent permitted by law.

OSRAM Opto Semiconductors GmbH may change the information shown herein at anytime without notice to users and is not obligated to provide any maintenance (including updates or notifications upon changes) or support related to the information.

Any rights not expressly granted herein are reserved. Except for the right to use the information shown herein, no other rights are granted nor shall any obligation be implied requiring the grant of further rights. Any and all rights or licenses for or regarding patents or patent applications are expressly excluded.