

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50766/2015
(22) Anmeldetag: 07.09.2015
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2025

(51) Int. Cl.: **H05B 33/08** (2006.01)
G01K 7/42 (2006.01)
G01R 31/27 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 10 2007
WO 2010/103413 A1
WO 2009/044340 A2

(73) Patentinhaber:
Materials Center Leoben Forschung GmbH
8700 Leoben (AT)

(72) Erfinder:
Defregger Stefan Dr.
8501 Lieboch (AT)
Kraker Elke Dr.
8010 Graz (AT)
Mücke Manfred Dr.
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:
WIRNSBERGER & LERCHBAUM
Patentanwälte OG
8700 Leoben (AT)

(54) Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung eines Halbleitermoduls

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung eines Halbleitermoduls, insbesondere eines LED-Moduls, umfassend die Schritte:

- Erstellung eines theoretischen Modells (TM) des Halbleitermoduls,
- Messung von thermischen Impedanzen des Halbleitermoduls,
- Abgleich des theoretischen Modells (TM) mit Messwerten (MW), wobei das theoretische Modell (TM) mit den Messwerten (MW) validiert wird, und
- Erstellung eines kompakten thermischen Modells (KM) zur Darstellung eines Wärmestroms im Halbleitermodul, um einen Zustand des Halbleitermoduls zu überwachen.

Weiter betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Überwachung eines Halbleitermoduls, insbesondere eines LED-Moduls, umfassend zumindest eine Schaltungsanordnung und zumindest eine Auswerteeinheit, wobei die zumindest eine Schaltungsanordnung und die zumindest eine Auswerteeinheit im Halbleitermodul, insbesondere im LED-Modul, integriert sind.

Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Verwendung einer solchen Vorrichtung.

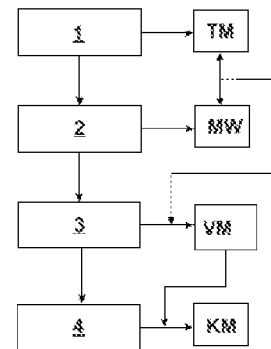


Fig. 1

Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ÜBERWACHUNG EINES HALBLEITERMODULS

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung eines Halbleitermoduls, insbesondere eines LED-Moduls.

[0002] Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Überwachung eines Halbleitermoduls, insbesondere eines LED-Moduls, umfassend zumindest eine Schaltungsanordnung und zumindest eine Auswerteeinheit.

[0003] Weiter betrifft die Erfindung eine Verwendung einer solchen Vorrichtung.

[0004] Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, ein Halbleitermodul bzw. dessen Zustand und Funktionsweise zu überwachen. Bei einer Überwachung eines Halbleitermoduls wie eines LED-Moduls ist dessen Temperatur von zentraler Bedeutung, da diese bzw. thermische Eigenschaften eine Lebensdauer des LED-Moduls bestimmen.

[0005] Es ist bekannt, beispielsweise durch eine thermische Impedanzanalyse eine Temperatur bzw. einen Temperaturverlauf eines LED-Moduls festzustellen. Hierzu werden ein Strom und/oder eine Spannung eines LED-Moduls als Funktion der Zeit insbesondere nach oder während eines Betriebszustandswechsels wie beispielsweise Ein- und Ausschalten gemessen. Daraus wird eine temperaturabhängige Diodenkennlinie gewonnen, aus welcher eine sogenannte Temperaturtransiente abgeleitet wird. Diese Temperaturtransiente gibt Auskunft über thermische Eigenschaften des LED-Moduls. Es wird weiter angenommen, dass ein solches Verfahren eine Wärmeausbreitung eines gesamten Systems in einem eindimensionalen Wärmepfad abbildet. Hierzu wird ein eindimensionaler Wärmepfad in kleine Blöcke aufgespalten, welche sowohl in Zeiteinheiten als auch in Entfernungen von einer Wärmequelle interpretiert werden.

[0006] Die DE 10 2007 009 532 A1 offenbart ein Verfahren zum Herstellen einer Steuervorrichtung zum Betreiben eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelementes. Eine Vorrichtung zum Kontrollieren eines Ansteuerungsstromes einer LED mit einem Regler zum Messen einer Temperatur ist in der WO 2010/103413 A1 offenbart. Weiter offenbart die WO 2009/044340 A2 ein Verfahren zum Feststellen einer Lichtleistung eines LED-Leuchtensystems.

[0007] Mit diesen bekannten Verfahren können zwar Fehlermoden identifiziert bzw. ein Fortschreiten bekannter Alterungsprozesse überwacht werden. Hiermit ist es jedoch nicht möglich, beobachtete Zustände bzw. Zustandsänderungen real existierenden Punkten des LED-Moduls zuzuordnen. Es wird nämlich eine Wärmeausbreitung über das gesamte System in einem einzelnen Wärmepfad zusammengefasst. Dies mag zwar ausreichend sein, um signifikante und/oder bekannte Effekte, lokalisieren zu können. Eine eindeutige Zuordnung von Effekten zu beispielsweise verschiedenen Lötstellen ist dadurch jedoch nicht möglich.

[0008] Um diesen Nachteil zu überwinden, ist es bekannt, thermische Modelle zu simulieren. Dabei wird ein Ersatzschaltbild von thermischen Widerständen und Kapazitäten entworfen, mit welchem Aussagen über Zusammenhänge zwischen real existierenden Punkten eines Systems getroffen werden sollen. Ein solches thermisches Modell ist jedoch nicht dazu geeignet, eine Wärmeausbreitung in LED-Modulen zuverlässig voraussagen und interpretieren zu können, da die Wärmeausbreitung in LED-Modulen über komplizierte Pfade erfolgt, welche sich mit thermischen Modellen nicht genau genug erfassen lassen.

[0009] Hier setzt die Erfindung an. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, mit welchem sowohl eine Temperatur eines Halbleitermoduls als auch eine thermische Anbindung des Halbleitermoduls an dessen Umgebung möglichst umfassend erfasst werden kann.

[0010] Ein weiteres Ziel ist es, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, mit welcher möglichst direkt an einem Halbleitermodul dessen Temperatur und eine thermische Anbindung desselben an dessen Umgebung möglichst umfassend erfassbar sind.

[0011] Weiter ist es Ziel, eine Verwendung einer solchen Vorrichtung anzugeben.

[0012] Die verfahrensmäßige Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein Verfahren der eingangs genannten Art folgende Schritte umfasst:

- Erstellung eines theoretischen Modells des Halbleitermoduls,
- Messung von thermischen Impedanzen des Halbleitermoduls,
- Abgleich des theoretischen Modells mit Messwerten, wobei das theoretische Modell mit den Messwerten validiert wird, und
- Erstellung eines kompakten thermischen Modells zur Darstellung eines Wärmestroms im Halbleitermodul, um einen Zustand des Halbleitermoduls zu überwachen.

[0013] Ein mit der Erfindung erzielter Vorteil ist insbesondere darin zu sehen, dass durch die thermische Impedanzmessung in Kombination mit aussagekräftigen kompakten thermischen Modellen eine echtzeitfähige Zustandsüberwachung von einem Halbleitermodul an oder nahe an demselben erreicht wird. Dadurch können zuverlässige Aussagen über eine Alterung von Grenzflächen eines Halbleitermodul-Systems getroffen werden. Solche Aussagen sind zentral für eine Abschätzung einer Lebensdauer eines Halbleitermoduls wie eines LED-Moduls. Zur Messung von thermischen Impedanzen wird beispielsweise ein Prozessor mit einem Sensor beim Halbleitermodul angeordnet, von welchem Strom- und/oder Spannungswerte gemessen werden. Es kann auch vorgesehen sein, dass weitere Betriebsparameter wie eine Temperatur, ein Luftvolumen und eine Luftfeuchtigkeit von einem Sensor oder dergleichen aufgenommen werden. Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise auch zur Qualitätskontrolle einer Produktion von Halbleitermodulen oder zur Kontrolle eines Ersteinbaus derselben verwendet werden.

[0014] Das theoretische Modell wird üblicherweise vorab mittels einer geeigneten Simulation und genügender Kenntnis über einen inneren Aufbau eines Halbleitermoduls und eines Bauteils, in welchem das Halbleitermodul verbaut ist, gewonnen. Hierzu können thermische Kennwerte und gegebenenfalls Materialeigenschaften des Halbleitermoduls einfließen. Zum Validieren des theoretischen Modells wird eine direkte experimentelle Rückkopplungsschleife zu einer schrittweisen Anpassung von Simulationsergebnissen eingesetzt, wodurch das theoretische Modell andauernd mit Messwerten abgeglichen wird. Es wird somit ein validiertes bzw. kalibriertes Modell erzeugt. Darüber hinaus werden die gemessenen Betriebsparameter vom theoretischen Modell zu Informationen verarbeitet.

[0015] Das kompakte thermische Modell stellt ein Netzwerk von thermischen Widerständen dar, welche wiederum einen komplexen 3-D-Wärmestrom in einem realen Halbleitermodul darstellen, wobei das kompakte thermische Modell über einen analytischen Prozess hergeleitet wird, an welchen ein statistischer Optimierungsprozess anschließt. Um ein solches Modell effizient zu gestalten, besteht dieses aus einer relativ kleinen Anzahl an Knotenpunkten. Dabei entspricht jeder Knotenpunkt einer einzigen Temperatur, welche entweder an einer Oberfläche oder im Inneren des Halbleitermoduls anliegt. Auch Fehlerabschätzungen werden vom kompakten thermischen Modell selbst durchgeführt.

[0016] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, einen thermischen Istzustand des Halbleitermoduls und einer Umgebung bzw. eines Bauteils, in welchem das Halbleitermodul eingebettet ist, zu prüfen. Darüber hinaus werden dadurch das zukünftige Verhalten sowie eine Lebensdauer eines Halbleitermoduls bzw. eines Bauelementes mit dem Halbleitermodul zuverlässig vorausgesagt bzw. abgeschätzt. Das kompakte thermische Modell ist echtzeitfähig, was eine kontinuierliche Überwachung z. B. eines LED-Moduls erlaubt. Es werden weiter thermische Veränderungen in einem Halbleitermodul so exakt wie möglich lokalisiert und eine Art bzw. Ursache der thermischen Veränderung festgestellt.

[0017] Zweckmäßig ist es, wenn das kompakte thermische Modell mit dem validierten theoretischen Modell bewertet wird. Hierzu wird aus dem theoretischen Modell, welches mit den Messwerten validiert wurde, ein validiertes theoretisches Modell erstellt. Dadurch wird das kompakte thermische Modell immer wieder mit Daten aus dem mit Messwerten validierten theoretischen Modell gefüttert, wodurch ein Zustand bzw. eine Lebensdauer des Halbleitermoduls noch genauer überwacht bzw. vorausgesagt werden kann.

[0018] Es ist weiter vorteilhaft, wenn das kompakte thermische Modell invertiert wird. Dadurch wird das kompakte thermische Modell in Relation mit thermischen Daten gesetzt, sodass eine Messkurve als Veränderung in einem Bauteil eines Halbleitermoduls interpretiert wird. In der Praxis wird dafür das Halbleitermodul bzw. das Bauteil in einem ersten Schritt geheizt, woraus Daten für eine Simulation des Halbleitermoduls gewonnen werden.

[0019] Günstig ist es, wenn Materialmodelle des Halbleitermoduls in das kompakte thermische Modell eingefügt werden, wobei diese mit dem kompakten thermischen Modell verglichen werden. Dadurch wird eine echtzeitfähige Überwachung des Halbleitermoduls möglich, wobei eine Ausführzeit festgelegt werden kann. Diese ist abhängig von einer Anwendung und beispielsweise geringer als eine Sekunde. Zumindest ist die Ausführzeit des erfindungsgemäßen Verfahrens um ein bis zwei Größenordnungen schneller als Ausführzeiten von Verfahren, welche aus dem Stand der Technik bekannt sind. Durch eine Kombination des kompakten thermischen Modells mit den Messwerten und den Materialmodellen kann ein Zustand eines beliebigen Halbleitermoduls zuverlässig überwacht und festgestellt bzw. vorausgesagt werden. Die Materialmodelle werden einerseits aus Erfahrungswerten und andererseits aus theoretischen Modellen gewonnen.

[0020] Es ist von Vorteil, wenn thermische und mechanische Modelle gekoppelt werden. Zudem kann vorgesehen sein, dass auch elektrische Modelle mit den thermischen und/oder mechanischen Modellen gekoppelt werden. Dadurch werden auch mechanische und/oder elektrische Eigenschaften des Halbleitermoduls bestimmt. Wird ein mechanisches Modell mit dem kompakten thermischen Modell gekoppelt, dann wird dieses zu einem kompakten thermisch-mechanischen Modell erweitert. Dadurch werden nicht nur thermische Eigenschaften eines Halbleitermoduls überwacht bzw. eine Lebensdauer desselben aufgrund von thermischen Effekten, sondern auch mechanische Eigenschaften bzw. deren Kopplung mit thermischen Eigenschaften und Effekten vorausgesagt.

[0021] Vorteilhaft ist es, wenn das kompakte thermische Modell in zumindest einer Auswerteeinheit integriert wird, wobei die zumindest eine Auswerteeinheit im oder am Halbleitermodul angeordnet wird. Das Halbleitermodul wird somit unmittelbar bei demselben überwacht, wobei die zumindest eine Auswerteeinheit mit Vorteil beim bzw. innerhalb des Halbleitermoduls angeordnet und somit ein eingebettetes System geschaffen wird. Die Auswerteeinheit kann als Prozessor ausgebildet sein.

[0022] Das weitere Ziel wird erreicht, wenn bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art die zumindest eine Schaltungsanordnung und die zumindest eine Auswerteeinheit im Halbleitermodul, insbesondere im LED-Modul, integriert sind.

[0023] Ein damit erzielter Vorteil ist insbesondere darin zu sehen, dass durch die kompakte Messanordnung eine direkte Qualitätsprüfung durchführbar ist, wobei die zumindest eine Schaltungsanordnung und die zumindest eine Auswerteeinheit im Halbleitermodul eingebettet bzw. eingebunden sind. Mit Vorteil wird beispielsweise ein Leuchtensystem mit integriertem Aufbau geschaffen. Insbesondere bei einer Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens ist die kompakte Mess- und Auswerteanordnung günstig, da dadurch ein theoretisches Modell, welches mit Vorteil in der Schaltungsanordnung integriert ist, unmittelbar mit Messwerten vergleichbar ist. Durch die Kombination einer Schaltungsanordnung bzw. einer Messschaltung und einer Auswerteeinheit auf kleinstem Raum ist eine Integration der Vorrichtung in typische Produkte wie beispielsweise LED- Straßenlampen, Autoscheinwerfer oder LED-Spots möglich.

[0024] Zweckmäßigerweise sind einer oder mehrere Prozessoren als Schaltungsanordnungen vorgesehen, sodass verschiedene Messgrößen wie Spannung, Strom, Temperatur, Luftvolumen und/oder Luftfeuchtigkeit von denselben messbar sind. Es kann auch vorgesehen sein, dass zumindest eine Schaltungsanordnung und eine Auswerteeinheit in einem oder mehreren Prozessoren eingebettet und somit in einer Recheneinheit miteinander verbunden sind. Die Prozessoren steuern weiter das theoretische Modell und verarbeiten Messdaten in diesem. Dadurch entsteht in weiterer Folge ein kompaktes thermisches Modell, welches einen Zustand des Halbleitermoduls erkennt und eine Lebensdauer desselben voraussagt. Darüber hinaus ist eine Alterung von Grenzflächen eines Halbleitermodul-Systems zuverlässig voraussagbar.

[0025] Hierzu ist es günstig, wenn zumindest eine Schaltungsanordnung zur Messung von thermischen Impedanzen des Halbleitermoduls vorgesehen ist. Hierzu misst insbesondere ein Prozessor, welcher beispielsweise einen Sensor umfasst, Spannungs- und Stromwerte in Abhängigkeit einer Zeit. Solche thermischen Impedanzmessungen zeigen Veränderungen in einem thermischen Management des Halbleitermoduls bzw. eines Bauteils mit einem Halbleitermodul und bieten somit einen Blick in ein Inneres des Halbleitermoduls ohne dieses zu beschädigen bzw. zu verändern.

[0026] Es ist von Vorteil, wenn in zumindest einer Auswerteeinheit ein kompaktes thermisches Modell zur Darstellung eines Wärmestroms im Halbleitermodul integriert ist. Somit erfolgt nicht nur die Messung der thermischen Impedanzen in Echtzeit, sondern auch deren Interpretation und in weiterer Folge eine Voraussage über eine Lebensdauer des Halbleitermoduls. Die Auswerteeinheit kann auch im selben Prozessor integriert sein wie die Schaltungsanordnung.

[0027] Eine Verwendung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung erfolgt mit Vorteil bei einer autonomen Überwachung eines Zustandes eines LED-Moduls.

[0028] Weitere Merkmale, Vorteile und Wirkungen ergeben sich aus den nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispielen. In den Zeichnungen, auf welche dabei Bezug genommen wird, zeigen:

[0029] Fig. 1 ein schematisches Flussdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0030] Fig. 2 ein schematisches Flussdiagramm eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0031] Fig. 3 eine erfindungsgemäße Vorrichtung.

[0032] Fig. 1 zeigt ein schematisches Flussdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Überwachung eines Halbleitermoduls HM. In einem ersten Verfahrensschritt 1 wird hierbei ein theoretisches Modell TM des Halbleitermoduls HM erstellt, wobei das Halbleitermodul HM insbesondere ein LED-Modul ist. Durch eine geeignete Simulation des Halbleitermoduls HM und somit mit einem geeigneten theoretischen Modell TM wird eine sogenannte Strukturfunktion ermittelt, welche in weiterer Folge interpretiert wird.

[0033] In einem zweiten Verfahrensschritt 2 werden thermische Impedanzen des Halbleitermoduls HM gemessen bzw. bestimmt und somit Messwerte MW aufgenommen. Hierzu werden üblicherweise von einem Prozessor mit beispielsweise einem Sensor Strom- und/oder Spannungswerte in Abhängigkeit einer Zeit gemessen, woraus eine Temperatur bestimmt wird. Das theoretische Modell TM wird wiederholt mit den Messwerten MW verglichen und validiert, wodurch in einem dritten Verfahrensschritt 3 ein validiertes Modell VM erstellt wird. Hierbei wird eine experimentelle Rückkopplungsschleife zur schrittweisen Anpassung des theoretischen Modells TM eingesetzt, wodurch ein Validierungsablauf erzeugt wird.

[0034] Es wird in weiterer Folge in einem vierten Verfahrensschritt 4 durch einen ständigen Abgleich des validierten Modells VM mit den Messwerten MW bzw. dem theoretischen Modell TM ein kompaktes thermisches Modell KM erstellt, welches einen Wärmestrom im Halbleitermodul HM darstellt. Um einen möglichst originalgetreuen Wärmestrom im Halbleitermodul HM zu simulieren bzw. eine Zuordenbarkeit zu echten Punkten bzw. Positionen im Halbleitermodul HM zu ermöglichen, wird das kompakte thermische Modell KM stets mit dem validierten Modell VM bewertet, womit auch die Messwerte MW einfließen. Mit einem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein kompaktes thermisches Modell KM zur Überwachung eines Halbleitermoduls HM und zur Voraussage einer Lebensdauer desselben erzeugt, welches echtzeitfähig, intelligent und direkt im Halbleitermodul HM anordenbar ist.

[0035] In Fig. 2 ist ein Flussdiagramm eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens gezeigt. Die Verfahrensschritte 1 bis 4 entsprechen dem Verfahren gemäß Fig. 1. In einem fünften Verfahrensschritt 5 wird ein mechanisches Modell MM erzeugt, durch welches mechanische Eigenschaften des Halbleitermoduls HM bzw. eines Bauteils mit einem Halbleitermodul HM simuliert werden. In einem sechsten Verfahrensschritt 6 wird anschließend das kompakte thermische

Modell KM mit dem mechanischen Modell MM zu einem kompakten thermisch-mechanischen Modell TMM erweitert. Mit dem kompakten thermisch-mechanischen Modell TMM wird nicht nur ein thermischer Zustand des Halbleitermoduls HM gemessen und vorausgesagt, sondern auch ein thermisch- mechanischer Zustand desselben.

[0036] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung V ist in Fig. 3 gezeigt. Diese umfasst ein LED-Modul und zumindest eine Schaltungsanordnung SA und eine Auswerteeinheit AE. Das LED-Modul umfasst ein LED-Substrat LS, eine Klebeschicht KS, einen Reflektor R, ein Aluminiumsubstrat AS, eine Substratbefestigung SB und einen Kühlkörper KK, wobei diese Elemente schichtförmig aufgebaut sind. Außenseitig ist das LED-Modul mit einer Linse L abgeschlossen, wodurch das Licht der LED austritt. Die Anordnung der Schaltungsanordnung SA und der Auswerteeinheit AE in Fig. 3 ist nur symbolisch. Allerdings ist es vorgesehen, dass diese direkt beim LED-Modul angeordnet bzw. in demselben integriert sind, sodass ein eingebettetes System erzeugt ist. Die Schaltungsanordnung SA kann als oder auf einem Prozessor angeordnet sein. Darüber hinaus kann auch die Auswerteeinheit AE als Prozessor ausgeführt sein.

[0037] Die Vorrichtung V ist beispielsweise in einer Straßenbeleuchtungseinrichtung verbaut, welche durch das erfindungsgemäße Verfahren *in-line* überwacht wird. Darüber hinaus kann die Vorrichtung V auch während eines Herstellungsverfahrens eines Bauteils mit beispielsweise einem LED-Modul in dieses integriert werden, um einen einwandfreien Betrieb des Bauteils bzw. des LED-Moduls nach einer Fertigstellung desselben autonom und ohne Veränderungen an demselben festzustellen bzw. zu überprüfen. Weiter ist vorgesehen, dass die Vorrichtung V dazu verwendet wird, um eine korrekte Installation eines Lichtmoduls über insbesondere thermische Eigenschaften zu überprüfen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung eines Halbleitermoduls (HM), insbesondere eines LED-Moduls, umfassend die Schritte:
 - Erstellung eines theoretischen Modells (TM) des Halbleitermoduls (HM),
 - Messung von thermischen Impedanzen des Halbleitermoduls (HM),
 - Abgleich des theoretischen Modells (TM) mit Messwerten (MW), wobei das theoretische Modell (TM) mit den Messwerten (MW) validiert wird, und
 - Erstellung eines kompakten thermischen Modells (KM) zur Darstellung eines Wärmestroms im Halbleitermodul (HM), um einen Zustand des Halbleitermoduls (HM) zu überwachen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das kompakte thermische Modell (KM) mit dem validierten theoretischen Modell (TM) bewertet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das kompakte thermische Modell (KM) invertiert wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass Materialmodelle des Halbleitermoduls (HM) in das kompakte thermische Modell (KM) eingefügt werden, wobei diese mit dem kompakten thermischen Modell (KM) verglichen werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass thermische und mechanische Modelle gekoppelt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das kompakte thermische Modell (KM) in zumindest einer Auswerteeinheit integriert wird, wobei die zumindest eine Auswerteeinheit (AE) im oder am Halbleitermodul (HM) angeordnet wird.
7. Vorrichtung (V) zur Überwachung eines Halbleitermoduls (HM), insbesondere eines LED-Moduls, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, umfassend zumindest eine Schaltungsanordnung (SA) und zumindest eine Auswerteeinheit (AE), **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest eine Schaltungsanordnung (SA) und die zumindest eine Auswerteeinheit (AE) im Halbleitermodul (HM), insbesondere im LED-Modul, integriert sind.
8. Vorrichtung (V) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Schaltungsanordnung (SA) zur Messung von thermischen Impedanzen des Halbleitermoduls (HM) vorgesehen ist.
9. Vorrichtung (V) nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in zumindest einer Auswerteeinheit (AE) ein kompaktes thermisches Modell (KM) zur Darstellung eines Wärmestroms im Halbleitermodul (HM) integriert ist.
10. Verwendung einer Vorrichtung (V) nach einem der Ansprüche 7 bis 9 zur autonomen Überwachung eines Zustandes eines LED-Moduls.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

1/3

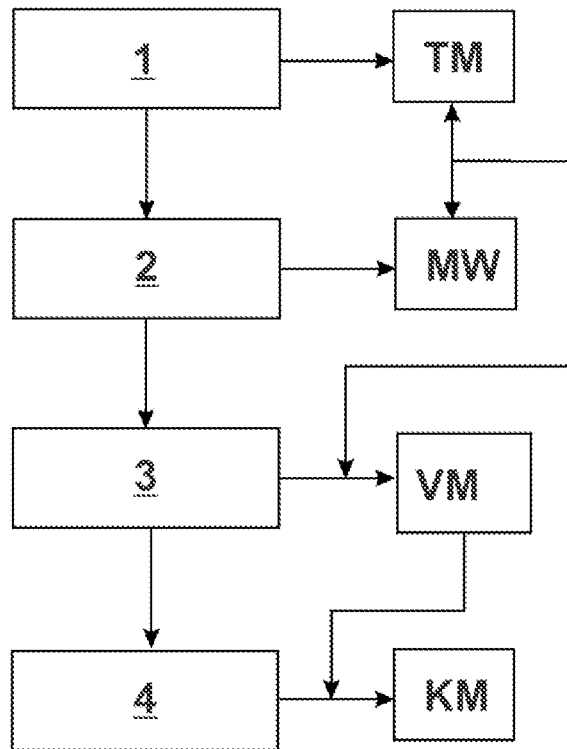


Fig. 1

2/3

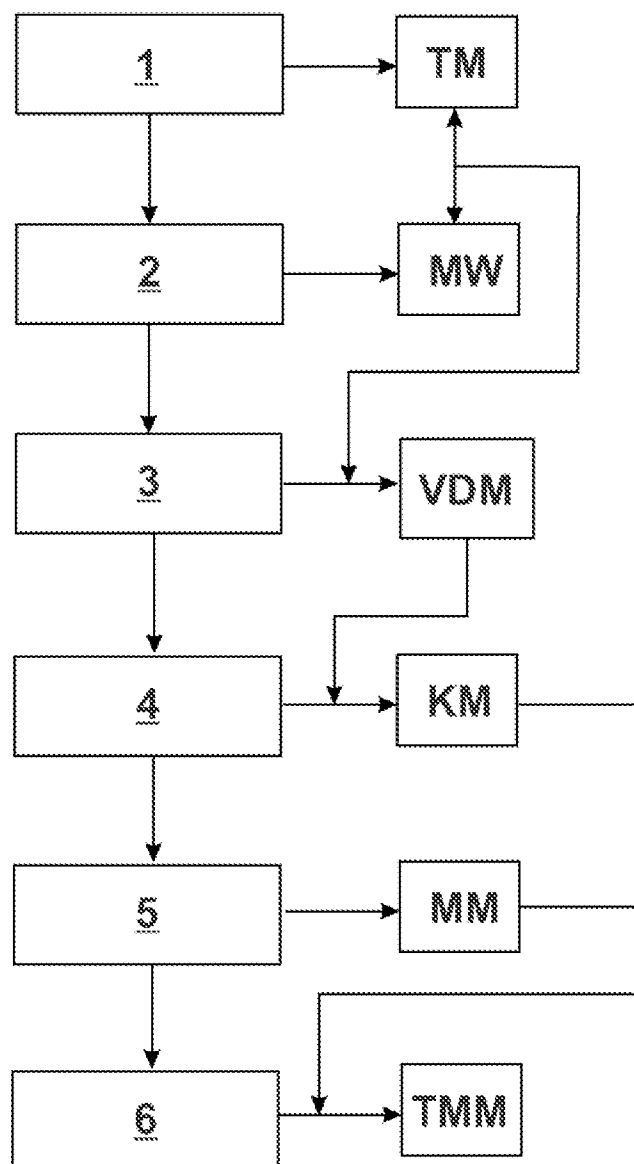


Fig. 2

3/3

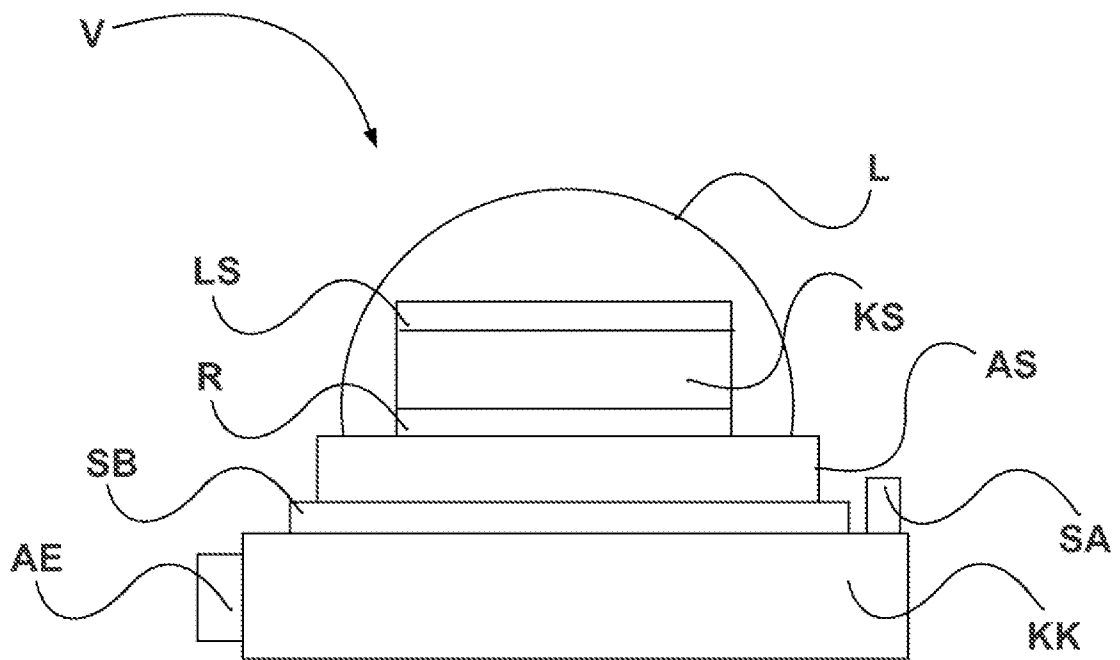


Fig. 3