



(10) **DE 10 2012 103 975 B3** 2013.08.01

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 103 975.5**

(22) Anmeldetag: **07.05.2012**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.08.2013**

(51) Int Cl.: **G01N 25/72 (2012.01)**
G01M 11/08 (2012.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch
das Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie, dieses vertreten durch den
Präsidenten der BAM, Bundesanstalt für
Materialforschung und -prüfung, 12205, Berlin,
DE**

(72) Erfinder:

**Ziegler, Mathias, 12167, Berlin, DE; Lucht, Marco,
12277, Berlin, DE; Maierhofer, Christiane, Dr.,
14109, Berlin, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	40 15 893	C2
DE	39 13 474	A1

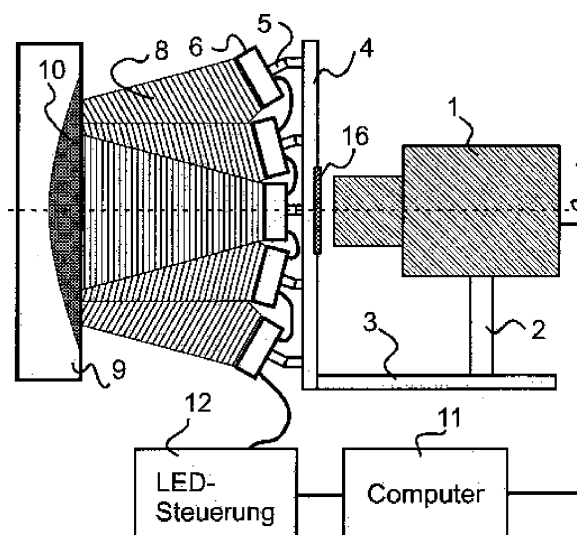
(74) Vertreter:

Zimmermann & Partner, 80331, München, DE

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur thermografischen Prüfung mittels Hochleistungs-LED-Quelle**

(57) Zusammenfassung: Vorgeschlagen wird eine Vorrichtung zur Thermografie, umfassend: – eine optische Detektionseinrichtung, die eine IR-Kamera (1) umfasst, die eingerichtet ist, elektromagnetische Strahlung in einem zweiten Wellenlängenbereich zu detektieren; – mindestens eine Anordnung von LEDs, die eingerichtet ist, zumindest in einem ersten, vom zweiten Wellenlängenbereich verschiedenen Wellenlängenbereich elektromagnetische Strahlung zu emittieren, wobei die Anordnung von LEDs eine in Bezug auf eine optische Achse (7) der Detektionseinrichtung verstellbare Abstrahlungsrichtung der elektromagnetischen Strahlung der LEDs gestattet; und – einen dichroitischen Filter (16), beispielsweise einen dichroitischen Spiegel, der elektromagnetische Strahlung im ersten Wellenlängenbereich blockiert und elektromagnetische Strahlung im zweiten Wellenlängenbereich durchlässt; wobei der dichroitische Filter (16) in der Detektionseinrichtung zwischen IR-Kamera (1) und einem zu prüfenden Prüfteil (9) angeordnet ist. Das entsprechende Verfahren zur Thermografie umfasst: – Beleuchten eines Prüfteils (19) mit einer Anordnung von LEDs, die zumindest in einem ersten Wellenlängenbereich elektromagnetische Strahlung emittieren, wobei die LEDs derart ausgerichtet sind, dass eine Leistungsdichte (10) der elektromagnetischen Strahlung in dem ersten Wellenlängenbereich auf dem Prüfteil (9) großflächig homogen verteilt ist; – synchron dazu Erfassen durch eine IR-Kamera (1) einer vom Prüfteil (9) in einem zweiten Wellenlängenbereich abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung, wobei die abgestrahlte elektromagnetische Strahlung einen dichroitischen Filter (16) passiert, der die elektromagnetische Strahlung der LEDs blockiert, und

wobei der zweite Wellenlängenbereich verschieden vom ersten Wellenlängenbereich ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung liegt auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Materialprüfung und betrifft die aktive Thermografie an Komponenten mit oberflächennahen Fehlstellen oder Inhomogenitäten, an dünnwandigen Schichten und an Schichtsystemen.

[0002] Vorbekannte Lösungen zur aktiven Thermografie basieren auf der optischen Anregung untersuchter Proben mittels Blitzlampen, Halogenlampen oder Laser.

[0003] Die von Blitz- oder Halogenlampen erzeugte Strahlung umfasst einen breiten Spektralbereich, von Ultraviolett bis Infrarot (IR). Die thermische Eigenstrahlung dieser Strahlungsquellen stellt für bestimmte Prüfverfahren, insbesondere durch Signalüberlagerungen, eine limitierende Störquelle dar. Insbesondere bei Prüfaufgaben, die eine Messung während der optischen Anregung erfordern, wie z. B. die Lock-In Thermografie, ist dieser Signalüberlagerung nur durch aufwändige spektrale Filterung beizukommen. Dabei gehen allerdings bis zu mehreren 10 Prozent der Strahlungsenergie wieder verloren, werden in Wärme umgewandelt und tragen ebenfalls zur Störstrahlung bei. Bei den häufig verwendeten Blitzlampen mit Blitzdauern um 3 ms lässt sich ein thermisches Nachglühen des Glaskolbens von bis zu mehreren 10 ms beobachten, welches ebenfalls zu Störungen im relevanten Spektralbereich führt. Hierdurch gehen wertvolle Messinformationen aus dem exponentiell abklingenden Teil der Abkühlungstransienten verloren und die Messzeit verlängert sich abermals. Ein weiterer großer Nachteil der konventionellen Lichtquellen liegt in ihrer thermischen Trägheit. Die Modulation des Anregungssignals ist auf Frequenzen unterhalb von 1 Hz begrenzt. Damit erreicht die thermische Eindringtiefe in Metallen zwangsläufig mehrere Millimeter. Laserquellen, welche eine schmalbandige Emission separiert vom Detektionsspektrum der IR-Kamera aufweisen, vermeiden die inhärenten Nachteile der vorgenannten thermischen Lichtquellen, erfordern für eine flächige Bestrahlung der Prüffläche jedoch eine zusätzliche Strahlaufweitung und/oder Homogenisierung, was zu einem hohen Kostenaufwand führt.

[0004] Aus EP 2413094 A1, ist eine Vorrichtung mit Infrarot-LEDs geringer Leistung bekannt, die mittels fokussierter Anregungsstrahlung zur lokalen Bestimmung der Dicke eines Werkstücks genutzt wird. Die US 6394646B1 beschreibt die Eliminierung thermischer Strahlung einer Blitzlampe in dem für die IR-Kamera empfindlichen Spektralbereich durch einen Filter unmittelbar vor der Blitzlampe. Die DE 39 13 474 A1 beschreibt ein photothermisches Untersuchungsverfahren sowie eine Vorrichtung zu dessen Durchführung unter Verwendung eines portablen Messkopfes, in dem sich eine Laser-

lichtquelle befindet. Die DE 40 15 893 C2 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Untersuchung der inneren Struktur eines absorptionsfähigen Prüflings mit einem Heizlaser.

[0005] Vor diesem Hintergrund stellt die vorliegende Erfindung die Verwendung einer optischen Detektionseinrichtung, die eine IR-Kamera und eine leistungsfähige optische Strahlungsquelle umfasst, für die automatisierbare, zerstörungsfreie und berührungslose thermografische Prüfung von Komponenten mit oberflächennahen Fehlstellen oder Inhomogenitäten, von dünnwandigen Werkstücken oder von dünnen Schichten und/oder Schichtsystemen im Sub-Millimeter Bereich bereit, insbesondere für thermografische Reflexionsanordnungen und für die Lock-In Thermografie.

[0006] Gemäß Anspruch 1 wird eine Vorrichtung zur Thermografie und gemäß Anspruch 9 ein Verfahren zur Thermografie vorgeschlagen. Weitere Ausführungsformen, Modifikationen und Verbesserungen ergeben sich anhand der folgenden Beschreibung und der beigefügten Ansprüche.

[0007] Gemäß einer Ausführungsform wird eine Vorrichtung zur Thermografie vorgeschlagen, umfassend: – eine optische Detektionseinrichtung, die eine IR-Kamera umfasst, die angepasst ist, elektromagnetische Strahlung in einem zweiten Wellenlängenbereich zu detektieren; – mindestens eine Anordnung von LEDs, die eingerichtet ist, zumindest in einem ersten, vom zweiten Wellenlängenbereich verschiedenen Wellenlängenbereich elektromagnetische Strahlung zu emittieren, wobei die Anordnung von LEDs eine in Bezug auf eine optische Achse der Detektionseinrichtung verstellbare Abstrahlungsrichtung der elektromagnetischen Strahlung der LEDs gestattet; und – einen dichroitischen Filter, beispielsweise einen dichroitischen Spiegel, der elektromagnetische Strahlung im ersten Wellenlängenbereich blockiert und elektromagnetische Strahlung im zweiten Wellenlängenbereich durchlässt; wobei der dichroitische Filter in der Detektionseinrichtung zwischen IR-Kamera und einem zu prüfenden Prüfteil angeordnet ist.

[0008] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass die thermische Ausstrahlung im zweiten Wellenlängenbereich vollkommen ungestört von der Anregungsstrahlung im ersten Wellenlängenbereich erfolgen kann, und zwar ohne die Notwendigkeit von zusätzlichen Filtern unmittelbar vor der Lichtquelle. Gleichzeitig ist somit eine regelbare, homogene und/oder nahezu Gaußförmige optische Anregung von unterschiedlich großen Prüfteilen möglich.

[0009] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird eine Vorrichtung vorgeschlagen, weiterhin umfassend: – eine Halterung, die angepasst ist, die LED-

Anordnung in einer vorgegebenen Position zum dichroitischen Filter und zur IR-Kamera zu halten.

[0010] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass nur eine Befestigung der kombinierten Anrege-Detektions-Einheit z. B. an einer bestehenden Apparatur in der Fertigung oder Qualitätssicherung erfolgen muss. Weiterhin kann diese kombinierte Anrege-Detektions-Einheit vergleichsweise einfach an einer Verfah- oder Positioniereinheit oder an einem Roboterarm befestigt werden. Der optische Strahlengang wird durch diesen festen Bezug zwischen mehreren Messungen nicht geändert, wodurch eine einmalige Kalibrierung, gegebenenfalls auch jeweils eine für jede festgelegte Stellung der LED-Anordnung, für eine zuverlässige Prüfung ausreichend ist und wodurch eine Wiederholbarkeit der Prüfung möglich wird.

[0011] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird eine Vorrichtung vorgeschlagen, weiterhin umfassend: – eine Aufnahme für die eine oder mehrere LED-Anordnungen, die orthogonal zur optischen Achse zwischen der IR-Kamera (1) und der Oberfläche des Prüfteils angeordnet ist, wobei die Aufnahme die verstellbare Anordnung der LEDs zur optischen Achse erlaubt und so angepasst ist, dass mehrere LEDs oder mindestens eine LED-Anordnung so auf das Prüfteil ausrichtbar sind, dass auf der Oberfläche des Prüfteils eine gleichmäßige Bestrahlungsdichte großflächig einstellbar ist.

[0012] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass alle LED-Anordnungen einfach positionierbar sind und dass sie entweder unterschiedliche oder äquivalente relative Positionen zur optischen Achse einnehmen können, um die Bestrahlung des Prüfteils, welche sich aus der Bestrahlung der einzelnen LED-Anordnungen zusammensetzt, optimal auf die zu prüfenden Fehler und die Prüfteilgeometrie gewährleisten zu können. So ist z. B. für eine Prüfung von im Wesentlichen parallel zur Prüfteiloberfläche ausgerichteten Fehlern eine möglichst homogene Bestrahlungsdichte vorteilhaft.

[0013] Gemäß einer weiteren Ausführungsform weist die Aufnahme der vorgeschlagenen Vorrichtung zumindest eine Ausnehmung zur Fixierung der Anordnung von LEDs auf.

[0014] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass die LED-Anordnungen entlang dieser Ausnehmungen positioniert werden können und somit eine flexible Anpassung an das Prüfproblem bei gleichzeitiger Gewährleistung der Reproduzierbarkeit der Prüfung realisierbar ist. Insbesondere kann damit ein definierter Abstand der LED-Anordnungen zur optischen Achse eingestellt werden.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist der dichroitische bzw. Spiegel der vorgeschlagenen Vorrichtung ein Stufenfilter und hat eine Reflektivität R von $R > 80\%$, typischerweise von $R > 90\%$, insbesondere von $R > 99\%$ für den Wellenlängenbereich der LED-Anordnung, und eine Durchlässigkeit T von $T > 50\%$, insbesondere von $T > 90\%$ in einem Wellenlängenbereich, der oberhalb des Wellenlängenbereichs der LED und/oder der LED-Anordnung liegt.

[0016] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass die Strahlung der Hochleistungs-LEDs im Wesentlichen nicht absorbiert wird und sie damit zu keiner signifikanten Erwärmung des dichroitischen Filters führt, insbesondere für den Fall eines stark reflektierenden, z. B. eines metallischen, Prüfteils, bei dem ein erheblicher Anteil der Anregungsstrahlung in Richtung der IR-Kamera reflektiert wird. Damit ist eine wichtige Störquelle in der thermografischen Prüfung eliminiert. Eine hohe Durchlässigkeit des Filters ist für eine effiziente Detektion notwendig, um eine hohe Nachweisempfindlichkeit zu gewährleisten.

[0017] Gemäß einer weiteren Ausführungsform liegt der Wellenlängenbereich der LED-Anordnung (6) unterhalb des Wellenlängenbereichs, in dem der dichroitische Filter durchlässig ist, und liegt beispielsweise im Bereich von $0,2\ \mu\text{m}$ bis $1,5\ \mu\text{m}$, insbesondere im Bereich von $0,6\ \mu\text{m}$ bis $1,2\ \mu\text{m}$, typischerweise im Bereich von $0,8\ \mu\text{m}$ bis $1,0\ \mu\text{m}$.

[0018] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass zum einen in diesem Wellenlängenbereich die effizientesten und leistungsstärksten LEDs vorliegen und dass zum anderen eine einfache Justierung der LEDs entweder direkt visuell möglich ist, wenn die LEDs im sichtbaren Wellenlängenbereich emittieren, oder mit Hilfe weit verbreiteter Silizium-basierter Kameras erfolgen kann, wenn die LEDs im ultravioletten oder nahen infraroten Wellenlängenbereich emittieren. Viele Werkstoffe weisen im ultravioletten, sichtbaren oder nahen infraroten Wellenlängenbereich einen deutlich höheren Absorptionsgrad als im IR auf. Die Wahl der LED-Wellenlänge in diesem Wellenlängenbereich erlaubt somit eine hohe Effizienz bei der Umwandlung der optischen Anregungsstrahlung in Wärme.

[0019] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird eine Vorrichtung vorgeschlagen, weiterhin umfassend: – einen Umlaufkühler der eingerichtet ist, eine umlaufende Kühlflüssigkeit über einen Kühlverteiler an einen Kühlkörper einer LED und/oder LED-Anordnung zu leiten.

[0020] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass nur zwei Kühlleitungen für Zu- und Ablauf zum Kühlverteiler benötigt werden, welcher dann die Kühlflüssigkeit über dünnere flexible

re Schläuche an die LED-Anordnungen verteilt. Die LED-Anordnungen bleiben damit gleichzeitig gut gekühlt und gut verstellbar.

[0021] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird eine Vorrichtung vorgeschlagen, weiterhin umfassend: – eine LED-Steuerung und einen Computer, wobei die LED-Steuerung und der Computer so angepasst sind, dass eine störungsfreie Thermografie mit einer zur Anregung zeitlich synchronisiert und/oder zeitlich korreliert vollzogenen Messung für alle Formen der zeitlichen Anregung erfolgt. Dabei umfasst die zeitliche Anregung eine Impulsanregung im Minuten-Bereich, eine Blitz-Anregung im Mikrosekunden- oder Millisekunden-Bereich und/oder eine modulierte oder eine nichtmodulierte Anregung bei Frequenzen im Hz- und kHz-Bereich.

[0022] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass ein zeitlicher Bezug zwischen Anregung und Detektion gewährleistet ist, der unter anderem eine Aussage zur Tiefenlage der im Prüfteil befindlichen Defekte oder Inhomogenitäten ermöglicht, z. B. bei einer Impuls- oder Blitzanregung. Ein möglichst phasenstabiler zeitlicher Bezug zwischen den Steuersignalen des Computers, der LED-Steuerung und der von den LEDs abgestrahlten Strahlungsdichte ist Voraussetzung für eine exakte Lock-in-Thermografie mit modulierter Anregung. Die Verwendung von LEDs und geeigneter LED-Steuerung ermöglicht, neben Laserquellen, den Einsatz aller typischen zeitlichen Anregungsformen der Thermografie, die bislang nur mit unterschiedlichen Quellen realisiert werden konnten. Damit steht ein sehr universelles Werkzeug mit einem sehr breiten Anwendungsgebiet zur Verfügung.

[0023] Gemäß einer Ausführungsform wird ein Verfahren zur Thermografie, insbesondere zur Lock-in-Thermografie an einem zu prüfenden Prüfteil vorgeschlagen, umfassend: – Beleuchten eines Prüfteils mit einer Anordnung von LEDs, die zumindest in einem ersten Wellenlängenbereich elektromagnetische Strahlung emittieren, wobei die LEDs derart ausgerichtet sind, dass eine Leistungsdichte der elektromagnetischen Strahlung im ersten Wellenlängenbereich auf dem Prüfteil großflächig homogen verteilt ist; – synchron dazu Erfassen durch eine IR-Kamera einer vom Prüfteil in einem zweiten Wellenlängenbereich abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung, wobei die abgestrahlte elektromagnetische Strahlung einen dichroitischen Filter passiert, der die elektromagnetische Strahlung der LEDs blockiert, und wobei der zweite Wellenlängenbereich verschieden vom ersten Wellenlängenbereich ist.

[0024] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass eine störungsfreie Thermografie ohne eine ungewollte thermische Störstrahlung, von der Anregungsquelle oder durch die Anregungsquel-

le verursacht, möglich wird, dass die IR-Kamera vor der intensiven Anregungsstrahlung geschützt wird, dass eine Anpassung der Anregungsfrequenz an die Tiefenlage der zu erkennenden Defekte möglich wird und dass eine optimale Erkennung und Charakterisierung von Defekten oder Inhomogenitäten im Prüfteil möglich wird, ohne dass eine ungleichmäßige Bestrahlung zu Fehlinterpretationen des Prüfergebnisses führt.

[0025] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das vorgeschlagene Verfahren weiterhin: – Kühlen der Anordnung von LEDs mit einer Kühlflüssigkeit, die von einem Umlaufkühler bereitgestellt wird.

[0026] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass erst durch eine effiziente Kühlung ein Einsatz von LEDs mit hoher Ausgangsleistung möglich wird. Insbesondere bei Prüfungen mit langer Dauer, die über eine kurzzeitige Blitz-Anregung im Millisekunden-Bereich hinausgehen – wie z. B. Lock-In-Thermografie im Minuten- oder Stundenbereich, ist somit ein zuverlässiger Betrieb der LEDs sichergestellt. Weiterhin verbleiben die LED-Anordnungen während der Prüfung bei einer möglichst geringen und möglichst gleichbleibenden Temperatur, womit Störstrahlung aufgrund der thermischen Eigenstrahlung der LED-Anordnungen unterdrückt oder vermieden werden kann.

[0027] Gemäß einer weiteren Ausführungsform des vorgeschlagenen Verfahrens erfolgt das Beleuchten mittels einem computergesteuerten Betreiben der Anordnung von LEDs, wobei eine zeitliche Verteilung der Leistungsdichte der elektromagnetischen Strahlung im ersten Wellenlängenbereich auf dem Prüfteil (9) so auf das Erfassen der vom Prüfteil (9) abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung abgestimmt ist, dass ein thermografischer Nachweis von im Wesentlichen orthogonal zur optischen Achse der IR-Kamera (1) im Prüfteil (9) verlaufender Inhomogenitäten und/oder Fügezonen erfolgt.

[0028] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass z. B. Fügezonen von Fügeverbindungen wie z. B. Widerstandspunktschweißverbindungen oder Verklebungen mit einer an diese Fügezone angepassten Anregungsfrequenz, Anregungswellenlänge und Anregungsleistungsdichte geprüft werden können. Der durch eine homogene Leistungsdichte an der Prüfteiloberfläche induzierte Wärmestrom ins Innere des Prüfteils ist im Wesentlichen eindimensional und erlaubt sowohl ein optimales Auffinden als auch eine optimale Charakterisierung, wie z. B. eine Größenbestimmung, von im Wesentlichen orthogonal dazu verlaufenden Inhomogenitäten und/oder Fügezonen.

[0029] Gemäß einer weiteren Ausführungsform des vorgeschlagenen Verfahrens liegt der erste Wellen-

längenbereich zwischen 0,2 μm und 1,5 μm , bevorzugt zwischen 0,6 μm und 1,2 μm , insbesondere zwischen 0,8 μm und 1 μm ausgewählt und der zweite Wellenlängenbereich zwischen 2 μm und 20 μm , bevorzugt zwischen 3 μm und 6 μm ausgewählt, und der dichroitische Filter und/oder Spiegel ist angepasst für die spektrale Trennung der ausgewählten ersten und zweiten Wellenlängenbereiche. Der Mindestabstand zwischen dem ersten und dem zweiten Wellenlängenbereich beträgt typischerweise mehrere 100 nm, die zentrale LED-Emissionswellenlänge sollte jedoch so gewählt werden, dass sie mindestens um die doppelte Halbwertsbreite, d. h. $2 \times \text{FWHM}$ (Full width at half maximum), von der unteren Grenze des spektralen Empfindlichkeitsbereiches der IR-Kamera entfernt liegt.

[0030] Vorteile dieser Ausführungsform ergeben sich daraus, dass zuverlässig vermieden werden kann, dass vom Prüfteil reflektierte Anregungsstrahlung in die IR-Kamera gelangt. Wird der Wellenlängenbereich der Anregungsstrahlung im Empfindlichkeitsbereich der weit verbreiteten und kostengünstigen Si-basierten Kameratechnik, d. h. unterhalb von etwa 1 μm gewählt, steht diese Kameratechnik zur Charakterisierung und Visualisierung der Anregungsstrahlungsverteilung auf dem Prüfteil zur Verfügung. Ein Großteil der vorhandenen IR-Kameratechnik weist eine spektrale Empfindlichkeit oberhalb von 2 μm bis 3 μm auf, somit ist der dichroitische Filter auf diese Technologie angepasst.

[0031] Die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen können beliebig miteinander kombiniert werden.

[0032] Die beiliegenden Zeichnungen veranschaulichen Ausführungsformen und dienen zusammen mit der Beschreibung der Erläuterung der Prinzipien der Erfindung. Die Elemente der Zeichnungen sind relativ zueinander und nicht notwendigerweise maßstabgetreu. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen entsprechend ähnliche Teile.

[0033] [Fig. 1](#) zeigt eine Seitenansicht einer Vorrichtung zur thermografischen Prüfung eines Prüfteils mittels Hochleistungs-LED-Quelle, mit dichroitischem Filter, beispielsweise einem dichroitischen Spiegel, und IR-Kamera.

[0034] [Fig. 2](#) zeigt eine Vorderansicht einer Vorrichtung zur thermografischen Prüfung mittels Hochleistungs-LED-Quelle mit dichroitischem Filter bzw. Spiegel.

[0035] [Fig. 3](#) zeigt die Seitenansicht einer Vorrichtung zur thermografischen Prüfung eines Prüfteils mit IR-Kamera, dichroitischem Filter und Hochleistungs-LED-Quelle.

[0036] Gemäß typischer Ausführungsbeispiele wird die Verwendung einer Hochleistungs-LED-Quelle für die thermografische Prüfung in Gestalt von kippbar und ringförmig um das Objektiv einer IR-Kamera angeordneten LEDs oder LED-Arrays zur flexiblen optischen Anregung und thermografischen Analyse von unterschiedlich großen Prüfteilen vorgeschlagen.

[0037] Thermische Störstrahlung und insbesondere reflektiertes Anregungslicht wird durch einen dichroitischen Filter, beispielsweise einen dichroitischen Spiegel, vor dem Kameraobjektiv spektral vom Meßsignal getrennt.

[0038] Mehrere Hochleistungs-LEDs mit Wellenlänge deutlich verschieden von der Detektionswellenlänge der IR-Kamera, z. B. 0,8–1,0 μm vs. 3–6 μm , werden ringförmig und kippbar um die IR-Kamera so angeordnet, dass eine regelbare, homogene und/oder nahezu Gaußförmige optische Anregung des Prüfteils ermöglicht wird. Die vom Prüfteil nicht absorbierte und in Richtung Kamera reflektierte oder gestreute Strahlung wird durch einen dichroitischen Filter vor dem Kameraobjektiv reflektiert und gelangt so nicht in die IR-Kamera. Zusätzlich können die LEDs mittels Luft- oder Wasserkühlung gekühlt werden. Die Ansteuerung der Anordnung der LEDs erfolgt mit einem Hochleistungsnetzgerät, welches mit der IR-Kamera synchronisiert ist.

[0039] Die Vorrichtung eignet sich für die Prüfung in der sogenannten Reflexionsanordnung, bei der sich die IR-Kamera und die Anregungsquelle auf derselben Seite vor dem Prüfteil befinden. Sie erlaubt die Detektion der thermischen Antwort des Prüfteils sowohl nach als auch insbesondere während der optischen Anregung mittels der Hochleistungs-LED-Quelle.

[0040] Hierzu werden mehrere Hochleistungs-LEDs bzw. Anordnungen von LEDs, die in einem Wellenlängenbereich emittieren, z. B. 0,8–1,0 μm , der deutlich verschieden von der Detektionswellenlänge der IR-Kamera, z. B. 3–6 μm , ist, ringförmig und kippbar um die IR-Kamera so angeordnet, dass eine regelbare, homogene und/oder nahezu Gaußförmige optische Anregung des Prüfteils erfolgt. Nachfolgend wird der Wellenlängenbereich elektromagnetischer Strahlung, in dem die LEDs emittieren, als der erste Wellenlängenbereich bezeichnet. Der Wellenlängenbereich, in dem die IR-Kamera elektromagnetische Strahlung detektiert bzw. der Wellenlängenbereich der IR-Kamera, der zur Detektion elektromagnetischer Strahlung genutzt wird, wird nachfolgend als zweiter Wellenlängenbereich bezeichnet. Die elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs ist längerwellig als die des ersten Wellenlängenbereichs.

[0041] Wie in den [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellt, ist die IR-Kamera **1** mittels einer Befestigung **2** an der gemeinsamen Grundplatte (oder Halterung) **3** angebracht. Die zur Aufnahme mehrerer LED oder LED-Anordnungen dienende Basisplatte **4** ist ebenfalls mittels Stützen **15** an dieser Grundplatte **3** befestigt. Damit wird ein fester räumlicher Zusammenhang von LED-Quelle und IR-Kamera erzielt und eine Lagerung des Gesamtsystems über eine einzige Grundplatte erreicht.

[0042] An der Aufnahme **4** sind ringförmig einzelne Anordnungen von LEDs (LED-Arrays oder andere LED-Anordnungen) **6** mittels verstellbarer Gelenke **5** so angebracht, dass sie entweder stufenlos oder in diskreten Winkelschritten zur gemeinsamen optischen Achse **7** von LED/LED-Anordnung und Kamera hin gekippt werden können.

[0043] Die in [Fig. 1](#) gezeigten Gelenke **5** sind so beschaffen, dass sie in den in [Fig. 2](#) gezeigten Schlitzen **14** gleiten können und somit der Abstand der LED-Anordnungen zur optischen Achse je nach der Größe des Prüfteils **9** reguliert werden kann. Die räumliche Abstrahlcharakteristik der LED-Anordnungen ist in [Fig. 1](#) durch Streifenmuster **8** angedeutet.

[0044] Auf der Oberfläche des Prüfteils **9** kommt es zur Überlagerung der Fernfelder der einzelnen LED-Anordnungen. Die Verteilung der Leistungsdichte ist in [Fig. 1](#) durch die karierte Fläche **10** angedeutet. Durch die Verstellmöglichkeiten **5** und **13** kann eine variable Verteilung der summarischen Leistungsdichte auf der Prüfteiloberfläche erzielt und zum einen an unterschiedliche Abstände zwischen Prüfteil und LED-Quelle und zum anderen an unterschiedliche Prüfteil-Geometrien angepasst werden.

[0045] Die Anordnung der LEDs **6** wird vorteilhafterweise so gewählt, dass eine möglichst gleichmäßige Verteilung um die optische Achse **7** herum erzielt wird, welche zu einer räumlich homogenen Erwärmung des Prüfteils führt.

[0046] Im gezeigten Beispiel sind acht LED-Arrays **6** dargestellt die jeweils aus mehreren LEDs **12** zusammengesetzt sind. Diese LED-Arrays **6** besitzen jeweils eine Kühlung die entweder passiv erfolgt, d. h. mittels Konvektion mit Kühlkörper und Lüfter, oder aktiv, z. B. mit thermoelektrischen Kühlern oder mit Wasserkühlern, arbeitet und die auftretende Verlustwärme von den LEDs effektiv abführt.

[0047] In [Fig. 3](#) ist eine Ausführungsform der Vorrichtung mit aktiver Kühlung gezeigt. Hierbei sind die kompakten Kühlkörper (z. B. aus Kupfer gefertigte Mikrokanalkühlkörper oder aus anderen Metallen gefertigte Hohlkörper mit Strömungskanälen) jeweils direkt unter den LED-Arrays **6** befestigt und werden von einem Kühlmedium (z. B. Wasser) durchströmt. Dieses

Kühlmedium wird in einem Umlaufkühler **20** temperiert und mittels Schläuchen mit großem Durchmesser **19** über ein Verteilerstück **18** auf Schläuche mit geringerem Durchmesser **17** an die LEDs oder LED-Arrays **6** verteilt. Durch diese vorteilhafte Gestaltung der Kühlung bleibt die LED-Anordnung sehr kompakt und die Verlustwärme wird effektiv abgeführt, wodurch wiederum eine Störwärmestrahlung durch die Eigenwärme der LEDs, und/oder der LED-Arrays vermieden wird.

[0048] Mittig in der Aufnahme **4** befindet sich eine Öffnung, welche mit einem dichroitischen Filter **16** versehen ist. Dieser dichroitische Filter **16** ist so beschaffen, dass er hoch reflektierend ist für die Anregungsstrahlung der LEDs, vorzugsweise im sichtbaren Spektralbereich und/oder im nahen Infrarot mit Wellenlängen $< 1,2 \mu\text{m}$ und somit elektromagnetische Strahlung im ersten Wellenlängenbereich blockiert, und transparent oder teiltransparent ist für elektromagnetische Strahlung im zweiten Wellenlängenbereich, in jenem Spektralbereich, in welchem die IR-Kamera empfindlich ist, d. h. im Allgemeinen für Wellenlängen $> 3 \mu\text{m}$.

[0049] Weiterhin kann dieser Filter entweder beidseitig oder zumindest einseitig, an jener Seite die der IR-Kamera zugewandt ist, eine Antireflex-Beschichtung aufweisen, die an den Spektralbereich der IR-Kamera angepasst ist. Der Durchmesser des Filters ist an die Dimensionen der IR-Kamera angepasst und entspricht insbesondere zumindest der Größe der effektiven Objektöffnung.

[0050] Die IR-Kamera **1** und deren zugehörige Datenerfassungseinheit werden über ein Steuerteil, beispielsweise einen Computer **11** gesteuert. Eine LED oder eine Anordnung von LEDs, bevorzugt eine Vielzahl von LED-Anordnungen wird von einer LED-Steuerung **12** mit Strom versorgt und gesteuert. Die Kamera und die Anordnungen der LEDs (z. B. LED-Arrays) sind über eine Triggerung miteinander verbunden, so dass eine Synchronisierung zwischen Anregung und Detektion und mithin z. B. eine Lock-In-Thermografie erfolgen kann.

[0051] Bislang sind für die thermografische Prüfung kommerziell keine geeigneten Hochleistungs-LED-Anregungsquellen verfügbar. Lediglich LED-Quellen mit geringer Leistung für die konzeptionell nicht vergleichbare Prüfung von Halbleiterbauteilen (z. B. Solarzellen) sind im Zusammenhang mit IR-Kameras bekannt. Jedoch wird das Anregungslicht dort durch elektronische Übergänge im Halbleiter absorbiert und die erhöhte Rekombinationsrate an Halbleiterdefekten führt zu lokalen Erwärmungen, was sich grundlegend von der aktiven Thermografie für verschiedenartige Materialklassen unterscheidet. Erfindungsgemäß soll durch die Absorption der LED-Strahlung die Wärme direkt an der Oberfläche erzeugt werden. Der

zur Kontrastgebung genutzte Mechanismus beruht auf lokalen Unterschieden im Wärmefluss in das bestrahlte Bauteil hinein, welche sich aufgrund lokaler Defekte mit erhöhtem thermischem Widerstand ausbilden. Die mindestens notwendige elektrische Anschlussleistung der Hochleistungs-LED-Quelle für eine thermografische Prüfung liegt bei ca. 100 W, vorzugsweise sollten jedoch > 1 kW benutzt werden. Bei 20% Wirkungsgrad ergeben sich daraus optische Ausgangsleistungen von mindestens ca. 20 W und vorzugsweise > 200 W. Die für eine effiziente thermografische Prüfung mindestens notwendige optische Leistungsdichte auf der Prüfteiloberfläche welche durch die Hochleistungs-LED-Quelle eingebracht werden muss, kann zu etwa $0,5 \text{ kW/m}^2$ abgeschätzt werden; vorzugsweise sind $> 5 \text{ kW/m}^2$ zu verwenden.

[0052] Ein prinzipieller Vorteil der beschriebenen Vorrichtung und des darauf basierenden Verfahrens zur aktiven Thermografie besteht darin, dass simultan ein großes Probenareal eines Prüfteils homogen angeregt bzw. bestrahlt werden kann und mit einer geeignet angepassten Vorrichtung zur Aufnahme des vom angeregten Probenareal abgestrahlten längerwelligen Signals zerstörungsfrei auf Inhomogenitäten bzw. Defekte untersucht werden kann.

[0053] Die Dauer der Anregung kann vom kontinuierlichen Dauerstrichbetrieb über den hochfrequenten Pulsbetrieb bis zur Einzelpulsanregung gewählt werden, wobei zusätzlich und weitestgehend unabhängig von der (Einzel-)Impulsdauer zusätzlich die Intensität der Pulse eingestellt werden kann. Durch die bei Verwendung von LED mögliche Modulation des Anregungssignals lässt sich die Aussagekraft des in Wechselwirkung mit der Oberfläche des Prüfteils erzeugten Mess-Signals erheblich steigern.

[0054] Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass mit Hilfe der beschriebenen Vorrichtung, insbesondere durch die individuelle Anordnung und die individuelle Ansteuerung einzelner LEDs, LED-Anordnungen oder LED-Arrays, auch bei einer insgesamt komplexen Bauart eines Prüfteils, dessen Prüfteiloberfläche großflächig synchron thermografisch geprüft werden kann.

[0055] Im Gegensatz zur EP 2413094 stellt die vorgeschlagene Vorrichtung eine variabel mittels Schlitzen und Gelenken ausrichtbare Orientierung von stabil auf einer ebenen Aufnahme (Basisplatte) gehaltenen LEDs bzw. LED-Anordnungen oder LED-Arrays dar, die eine großflächig gleichmäßige Anregung des Prüfteils ermöglicht. Die in EP 2413094 beschriebenen LEDs sind von geringer Leistung und sollen im Empfindlichkeitsbereich der IR-Kamera emittieren.

[0056] In EP 2413094A1 wird eine impulsartige Beleuchtung ausgeführt (d. h. ein Blitz). In der hier be-

schriebenen Vorrichtung sind jedoch die einzelnen LEDs, bzw. die einzelnen LED-Anordnungen, deren Kühlung und Stromversorgung derartig ausgelegt, dass zusätzlich zum Impulsbetrieb ein Dauerstrichbetrieb möglich ist. Insbesondere ist auch ein modulierter Betrieb möglich, z. B. indem die Strahlungsleistung der LEDs sinusförmig moduliert wird. Durch eine rechnerische Korrelation dieser Anregungsstrahlung mit der mittels IR-Kamera gemessenen thermischen Ausstrahlung im spektral separierten infraroten Wellenlängenbereich ist somit eine störungsfreie Lock-In-Thermografie möglich.

[0057] Für einen effektiven Energieeintrag mittels der LEDs in das Prüfteil ist als Stromversorgung vorteilhaft ein Hochleistungsnetzteil in der Größenordnung 1 kW und größer zu wählen. Bei einer elektro-optischen Konversionseffizienz von ca. 10–30% fallen 70–90% dieser aufgewendeten elektrischen Energie (ist gleich Verlustleistung mal Beleuchtungsdauer) in Form von Wärme an, welche mittels entsprechend dimensionierter Kühlungsanordnungen von den LEDs abgeführt werden muss. Hierzu können z. B. thermoelektrische Kühler oder von Wasser durchflossene Kühlkörper verwendet werden.

[0058] Durch die ausgeführten Vorkehrungen (spektrale Trennung, dichroitische Spiegel, Kühlung) ist insbesondere die thermografische Messung mit der IR-Kamera bereits während der energetischen Anregung mittels der Hochleistungs-LED-Quelle möglich und nicht erst danach wie beispielsweise in EP 2413094A1 oder US 6394646B1 beschrieben.

[0059] Weiterhin gestattet die beschriebene Anordnung des dichroitischen Filters unmittelbar vor der Kamera, aber hinter der Anregungslichtquelle auch die Prüfung von hoch-reflektierenden Werkstoffen wie z. B. unbehandelten Metallen. Im Gegensatz dazu ist für konventionelle Meßanordnungen eine exakte thermografische Messung bei Verwendung von Blitz- oder Halogenlampen als Anregungslichtquelle stark erschwert oder gänzlich unmöglich, da im reflektierten und von der Kamera erfassten Spektralbereich ein hoher Anteil der Gesamtstrahlungsintensität der Anregungswellenlängen enthalten ist.

[0060] Der reflektierende dichroitische Filter ist direkt vor der IR-Kamera angebracht und nicht vor den Energiequellen. Damit wird die volle optische Ausgangsleistung der LEDs auf das Prüfteil abgestrahlt und nicht teilweise in Filtern absorbiert wie z. B. in US 6394646B1 beschrieben, um dort die thermische Strahlung der Blitzlampe in dem für die IR-Kamera empfindlichen Spektralbereich als Störgröße zu eliminieren. Die in US 6394646B1 von den Filtern absorbierten Strahlungsanteile können zu einer so starken Erwärmung dieser Filter führen, dass diese selbst als zeitlich verzögert modulierte thermische Strahlungsquellen wirken und empfindliche Messungen,

insbesondere an hoch-reflektierenden Prüfteilen, stören.

[0061] Die beschriebene Vorrichtung erlaubt somit eine störungsfreie thermografische Messung gleichzeitig mit der Anregung (d. h. während die LEDs emittieren) und eignet sich damit für alle Formen der zeitlichen Anregung von kurzer Anregung (Blitz) im μ s- bis ms-Bereich über Impulsanregung im min-Bereich bis hin zu modulierter Anregung (Lock-In-Thermografie) mit Frequenzen bis in den kHz-Bereich, auch mit veränderlicher Frequenz. Damit ist z. B. neben der thermografischen Prüfung von Fehlstellen tief im Innern von Bauteilen aufgrund der möglichen hohen Modulationsfrequenzen auch eine gezielte Prüfung von oberflächennahen dünnen Schichten und Schichtsystemen im Sub-Millimeter Bereich realisierbar. Über die Frequenzabhängigkeit der thermischen Eindringtiefe lassen sich die jeweils gewünschten Prüftiefen einstellen, so dass z. B. Fügeverbindungen gezielt an der Stelle der Fügung geprüft werden oder ein Prüfteil gezielt auf oberflächennahe Fehlstellen geprüft werden kann.

[0062] Des Weiteren lässt sich die Anregungswellenlänge durch Wahl entsprechender LEDs gut auf jeweilige Maxima des optischen Absorptionsgrades des zu prüfenden Werkstoffes einstellen. So weist z. B. Aluminium zwischen $0,8\ \mu\text{m}$ und $0,9\ \mu\text{m}$ solch ein Absorptionsmaximum auf, welches eine deutlich effizientere Einbringung der optischen Energie erlaubt, als beispielsweise im sichtbaren Spektralbereich zwischen $0,4\ \mu\text{m}$ und $0,7\ \mu\text{m}$.

[0063] Damit unterscheidet sich die hier vorgeschlagene Vorrichtung grundlegend von den bisher bekannten, da hier ausdrücklich der reflektierte Anteil, welcher den Nutzanteil in den dort beschriebenen Vorrichtungen darstellt, auf zweierlei Art unterdrückt wird:

- Zum einen durch die spektrale Separation der LED-Wellenlänge, z. B. $0,8\text{--}1,0\ \mu\text{m}$, und der Detektionswellenlänge der IR-Kamera, z. B. $3\text{--}6\ \mu\text{m}$.
- Zum anderen durch den Einsatz eines dichroitischen Filters welcher die LED-Wellenlänge reflektiert und die Detektionswellenlänge der IR-Kamera durchlässt.

[0064] In der hier vorgeschlagenen Vorrichtung wird also gerade die hohe Ausgangsleistung und die gute Modulierbarkeit von lichtemittierenden Dioden (LED) benutzt, um eine großflächige Erwärmung des Prüfteils zu erzielen, die aufgrund der thermischen Ausstrahlung selektiv von der IR-Kamera detektiert wird.

[0065] Die spektrale Trennung von Anregungsstrahlung eines ersten Wellenlängenbereichs und spezifischer, der thermografischen Analyse unterzogener Sekundärstrahlung eines zweiten Wellenlängenbereichs mit Hilfe eines dichroitischen Filters erlaubt es,

den Einfluss thermischer Störstrahlung zu unterdrücken. Da LEDs ohne Weiteres Modulationsfrequenzen oberhalb von 1 Hz, ggf. bis in den MHz-Bereich zulassen, lässt sich die thermische Eindringtiefe in metallische Proben vorteilhafterweise gut einstellen und insbesondere auf die gesonderte Untersuchung dünner Schichten beschränken. So liegt beispielsweise die thermische Eindringtiefe von Kupfer und Aluminium bei einer Modulationsfrequenz von 100 Hz bei etwa $0,5\text{--}0,6\ \text{mm}$ und bei 1 kHz bei etwa $0,1\text{--}0,2\ \text{mm}$. Für Stahl ist die Eindringtiefe bei gleichen Frequenzen noch einmal um einen Faktor zwei bis drei geringer.

[0066] Die erfindungsgemäße Vorrichtung erlaubt eine automatisierbare, zerstörungsfreie und berührungslose thermografische Prüfung mit modulierter Anregung von dünnen Schichten und Schichtsystemen mit Schichtdicken im Sub-Millimeter Bereich. Insbesondere ist so eine ungestörte Lock-in-Thermografie mit klassischer Sinus- oder Rechteckanregung und/oder -Korrelation durchführbar. Ebenso sind innovative Formen der zeitlichen Anregung möglich, bei denen die Anregungsfrequenz nicht konstant bleibt.

[0067] Kostenvorteile gegenüber konventionellen zur thermografischen Analyse verwendeten Blitz- und Halogenlampen ergeben sich insbesondere aus einem möglichen höheren Prüftakt und aus einem verlängerten Wartungsintervall aufgrund der hohen Lebensdauer von LEDs von bis zu mehreren 10.000 h. Weiterhin sind die Anschaffungskosten etwa um den Faktor 3–7 geringer, als bei traditionellen Laser-Quellen oberhalb von 100 Watt. Durch die Möglichkeit des Verzichts auf einen Laser ist kein strenger Laserschutz erforderlich. Ebenso sind die bei der Benutzung von Blitzlampen sonst zu treffenden Vorkehrungen zum Brandschutz gemäß geltenden Brandschutzvorschriften nicht erforderlich.

[0068] So sind Messungen in Reflexionsanordnung, welche für nur einseitig zugängliche Prüfteile bedeutsam sind, mit konventionellen Blitz- oder Halogenlampen nicht störungsfrei möglich, weil dann der eigentliche thermische Strahlungsanteil des Prüfteils von der Strahlung der Anregungsquelle, also der Lampe, überlagert wird.

[0069] Auch im Falle der spektralen Separation von Anregungsstrahlung und detektierter thermischer Strahlung ohne zusätzliche Blockierung z. B. durch den erfindungsgemäßen Einsatz eines dichroitischen Filters, kann die an der Oberfläche des Prüfteils reflektierte Strahlung, insbesondere bei metallischen Materialien, in die IR-Kamera oder Teile von ihr gelangen und so zu einem Störsignal oder im schlimmsten Fall zur Beschädigung der IR-Kamera führen. Die beschriebene Vorrichtung und das darauf beruhende Verfahren weisen diese Nachteile nicht auf

Bezugszeichenliste

1	IR-Kamera
2	Befestigung
3	Grundplatte, Halterung
4	Aufnahme für LED-Anordnungen, Basisplatte
5	verstellbares Gelenk
6	LED-Anordnung, Anordnung von LEDs
7	optische Achse von LED-Anordnung und IR-Kamera
8	räumliche Abstrahlcharakteristik, schematisch
9	Prüfteiloberfläche
10	Verteilung der Leistungsdichte, schematisch
11	Computer
12	LED-Steuerung
13	LED
14	Ausnehmung, Schlitz
15	Stütze
16	dichroitische Filter
17	Schlauch, geringer Durchmesser
18	Kühlverteiler, Verteilerstück
19	Schlauch, großer Durchmesser
20	Umlauf-Kühler

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Thermografie, umfassend:

- eine optische Detektionseinrichtung, die eine IR-Kamera (1) umfasst, die eingerichtet ist, elektromagnetische Strahlung in einem zweiten Wellenlängenbereich zu detektieren;
- mindestens eine Anordnung von LEDs, die eingerichtet ist, zumindest in einem ersten, vom zweiten Wellenlängenbereich verschiedenen Wellenlängenbereich elektromagnetische Strahlung zu emittieren, wobei die Anordnung von LEDs eine in Bezug auf eine optische Achse (7) der Detektionseinrichtung verstellbare Abstrahlungsrichtung der elektromagnetischen Strahlung der LEDs gestattet; und
- einen dichroitischen Filter (16), beispielsweise einen dichroitischen Spiegel, der elektromagnetische Strahlung im ersten Wellenlängenbereich blockiert und elektromagnetische Strahlung im zweiten Wellenlängenbereich durchlässt; wobei der dichroitische Filter (16) in der Detektionseinrichtung zwischen IR-Kamera (1) und einem zu prüfenden Prüfteil (9) angeordnet ist.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, weiterhin umfassend:

- eine Halterung (3), die angepasst ist, die LED-Anordnung (6) in einer vorgegebenen Position zum dichroitischen Filter (16) und zur IR-Kamera (1) zu halten.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, weiterhin umfassend:

- eine Aufnahme (4) für die mindestens eine LED-Anordnung, die orthogonal zur optischen Achse (7) zwischen der IR-Kamera (1) und der Oberfläche des Prüfteils (9) angeordnet ist,

wobei die Aufnahme (4) die verstellbare Anordnung der mindestens einen LED-Anordnung (6) zur optischen Achse (7) erlaubt und so angepasst ist, dass mehrere LEDs oder mindestens eine LED-Anordnung (6) so auf das Prüfteil (9) ausrichtbar sind, dass auf der Oberfläche des Prüfteils (9) eine gleichmäßige Bestrahlungsdichte großflächig einstellbar ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Aufnahme (4) zumindest eine Ausnehmung (14) zur Fixierung der Anordnung von LEDs (6) aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der dichroitische bzw. Spiegel (16) ein Stufenfilter ist und/oder eine Reflektivität R von $R > 80\%$, typischerweise von $R > 90\%$, insbesondere von $R > 99\%$ für den Wellenlängenbereich der LED-Anordnung (6) hat, und eine Durchlässigkeit T von $T > 50\%$, insbesondere von $T > 90\%$ in einem Wellenlängenbereich hat, der oberhalb des Wellenlängenbereichs der LED und/oder der LED-Anordnung (6) liegt.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Wellenlängenbereich der LED-Anordnung (6) unterhalb des Wellenlängenbereichs liegt, in dem der dichroitische Filter (16) durchlässig ist, und im Bereich von $0,2 \mu\text{m}$ bis $1,5 \mu\text{m}$, insbesondere im Bereich von $0,6 \mu\text{m}$ bis $1,2 \mu\text{m}$, typischerweise im Bereich von $0,8 \mu\text{m}$ bis $1,0 \mu\text{m}$ liegt.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, weiterhin umfassend

- einen Umlaufkühler (20) der eingerichtet ist, eine umlaufende Kühlflüssigkeit über einen Kühlverteiler (18) an einen Kühlkörper einer LED und/oder LED-Anordnung (6) zu leiten.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, weiterhin umfassend

- eine LED-Steuerung (12) und einen Computer (11), wobei die LED-Steuerung (12) und der Computer (11) so angepasst sind, dass eine störungsfreie Thermografie für alle Formen der zeitlichen Anregung mit einer zur Anregung zeitlich synchronisiert und/oder zeitlich korreliert vollzogenen Messung erfolgt, wobei die zeitliche Anregung eine Impulsanregung im Minuten-Bereich, eine Blitz-Anregung im Mikrosekunden- oder Millisekunden-Bereich und/oder eine modulierte oder eine nichtmodulierte Anregung bei Frequenzen im Hz- und kHz-Bereich umfasst.

9. Verfahren zur Thermografie an einem Prüfteil (9), umfassend

- Beleuchten eines Prüfteils (19) mit einer Anordnung von LEDs, die zumindest in einem ersten Wellenlängenbereich elektromagnetische Strahlung emittieren, wobei die LEDs derart ausgerichtet sind, dass eine Leistungsdichte (10) der elektromagnetischen Strahlung in dem ersten Wellenlängenbereich auf dem Prüfteil (9) großflächig homogen verteilt ist;

– synchron dazu Erfassen durch eine IR-Kamera (**1**) einer vom Prüfteil (**9**) in einem zweiten Wellenlängenbereich abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung, wobei die abgestrahlte elektromagnetische Strahlung einen dichroitischen Filter (**16**) passiert, der die elektromagnetische Strahlung der LEDs blockiert, und wobei der zweite Wellenlängenbereich verschieden vom ersten Wellenlängenbereich ist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, weiterhin umfassend:

– Kühlen der Anordnung von LEDs (**6**) mit einer Kühlflüssigkeit, die von einem Umlaufkühler (**20**) bereitgestellt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, wobei das Beleuchten mittels einem computer-gesteuerten Betreiben der Anordnung von LEDs erfolgt, und eine zeitliche Verteilung der Leistungsdichte der elektromagnetischen Strahlung im ersten Wellenlängenbereich auf dem Prüfteil (**9**) so auf das Erfassen der vom Prüfteil (**9**) abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung abgestimmt ist, dass ein thermografischer Nachweis von im Wesentlichen orthogonal zur optischen Achse der IR-Kamera (**1**) im Prüfteil (**9**) verlaufender Inhomogenitäten und/oder Füge-zonen erfolgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei der erste Wellenlängenbereich zwischen 0,2 μm und 1,5 μm , bevorzugt zwischen 0,6 μm und 1,2 μm , insbesondere zwischen 0,8 μm und 1 μm ausgewählt ist, und der zweite Wellenlängenbereich zwischen 2 μm und 20 μm , bevorzugt zwischen 3 μm und 6 μm ausgewählt ist, und der dichroitische Filter (**16**) angepasst ist für die spektrale Trennung der ausgewählten ersten und zweiten Wellenlängenbereiche.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

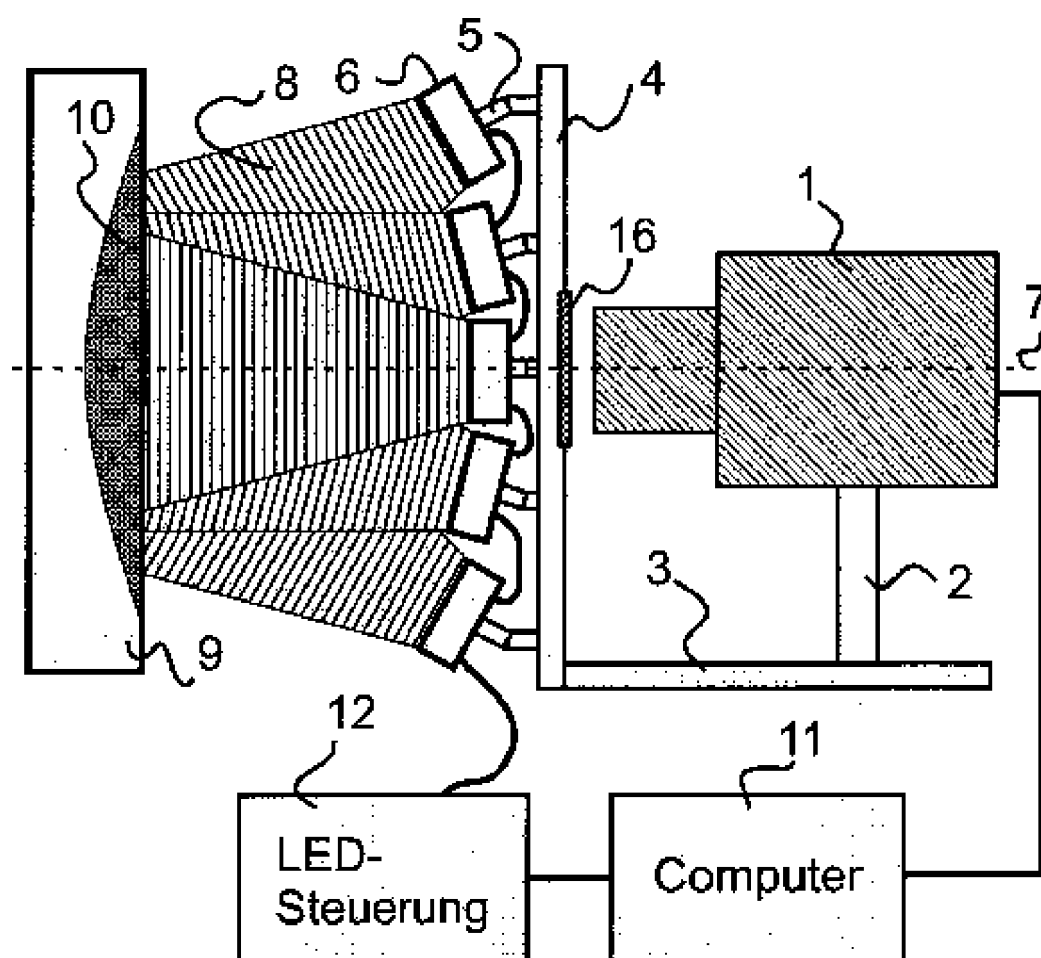


Fig. 1

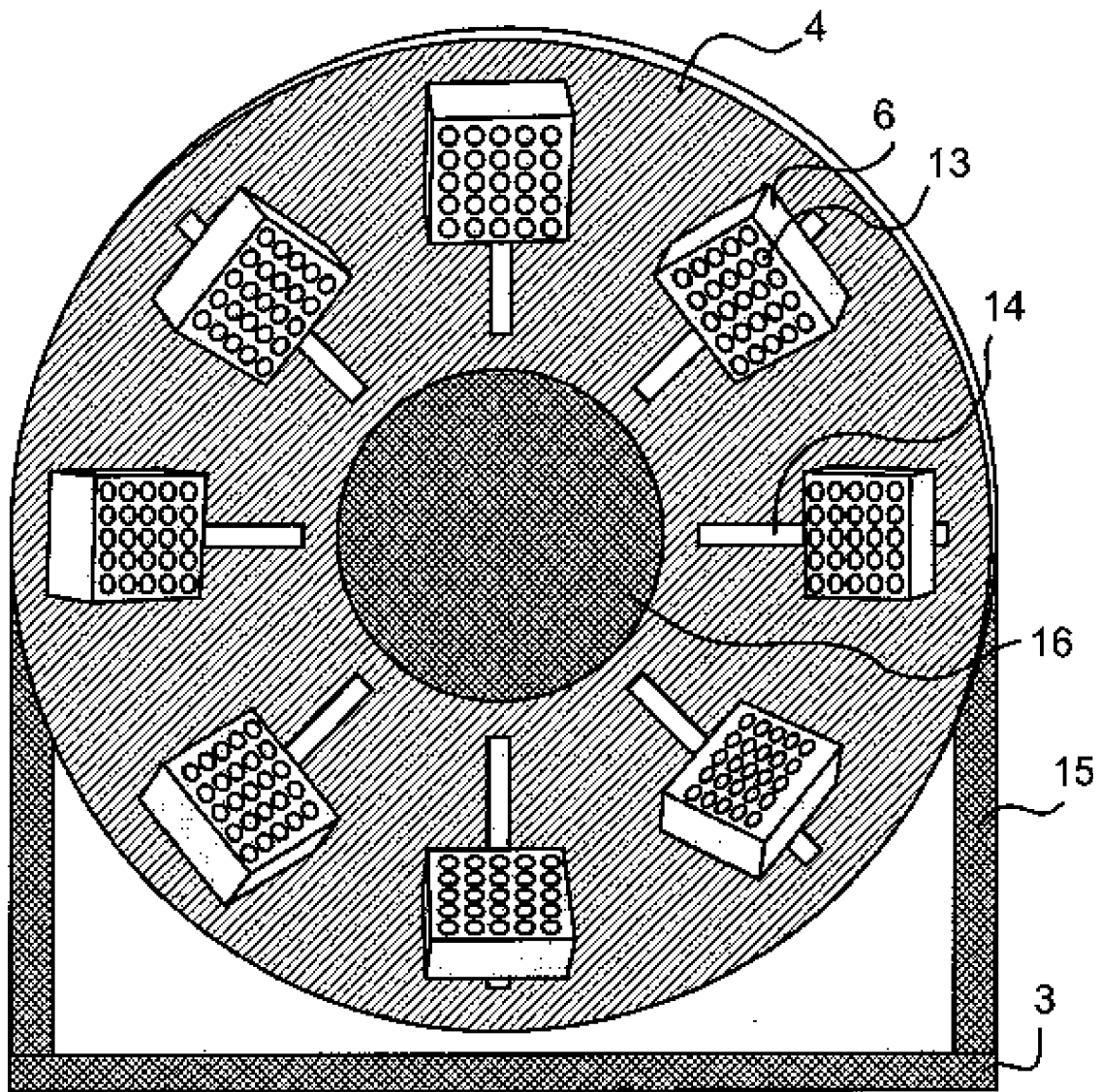


Fig. 2

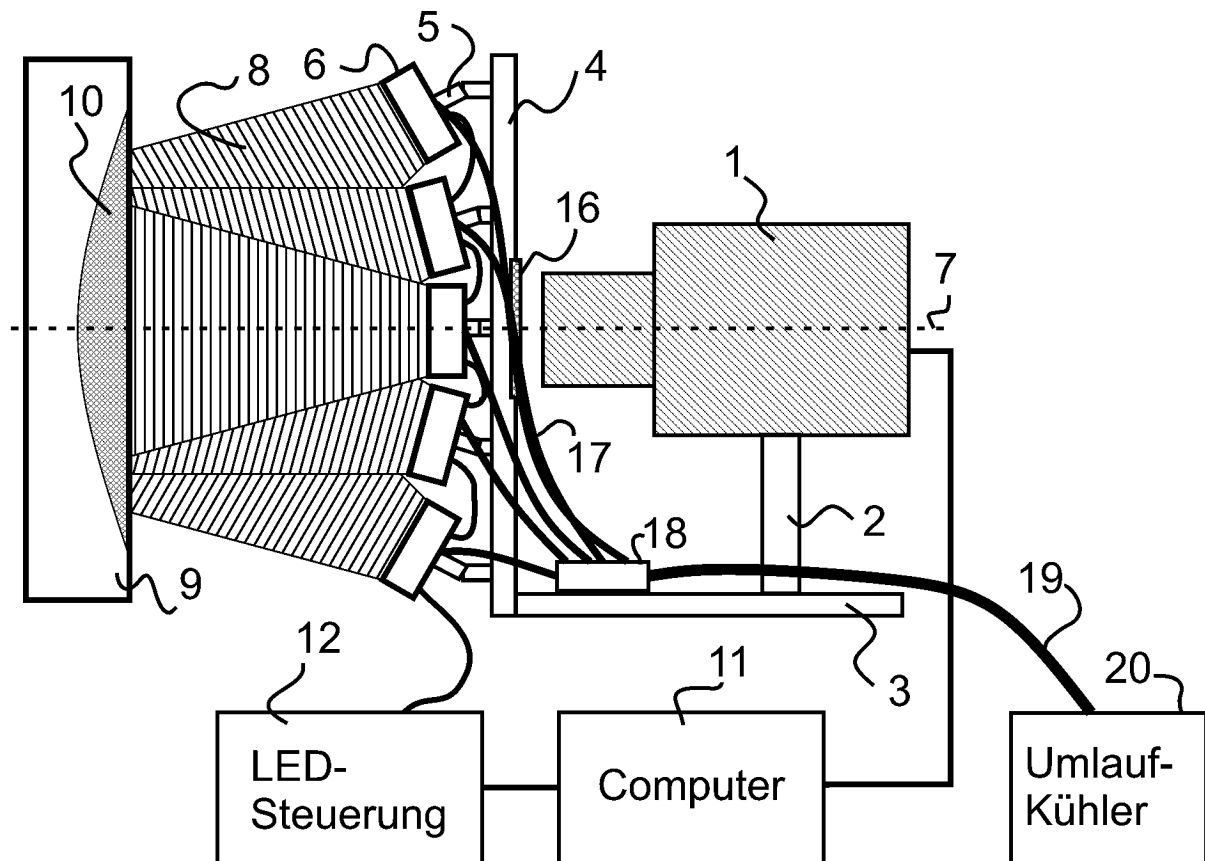


Fig. 3