

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **710 615 B1**

(51) Int. Cl.: **B23K 26/382** (2014.01)
B23K 26/062 (2014.01)
B23K 26/146 (2014.01)
B23K 26/03 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00013/16

(22) Anmeldedatum: 05.01.2016

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.07.2016

(30) Priorität: 08.01.2015 US 14/592,304

(24) Patent erteilt: 15.01.2021

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.01.2021

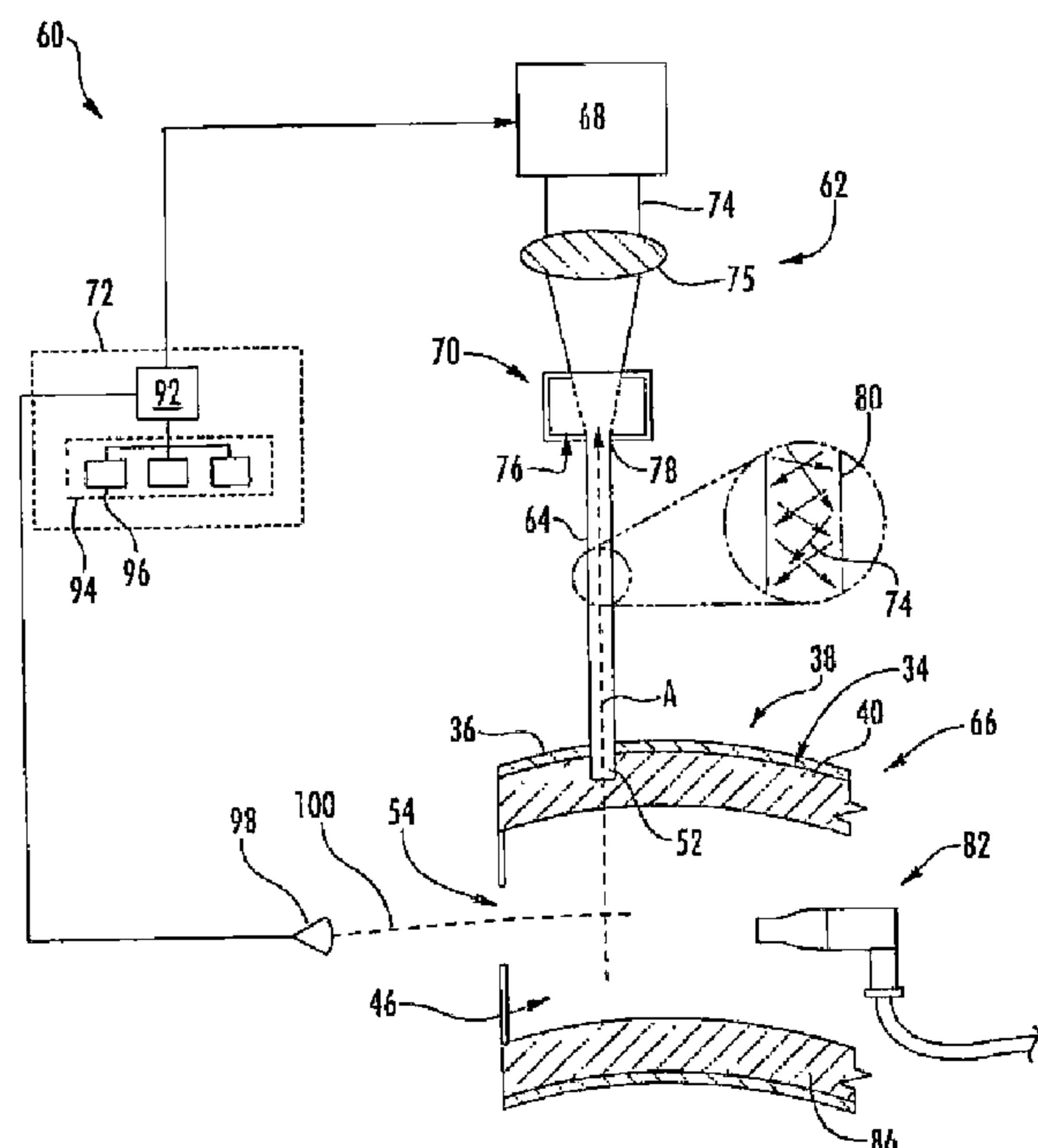
(73) Inhaber:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Zhaoli Hu, Greenville, South Carolina 29615 (US)
Abe Denis Darling, Greenville, South Carolina 29615 (US)
Shamgar Elijah McDowell,
Greenville, South Carolina 29615 (US)
Douglas Anthony Serieno,
Greenville, South Carolina 29615 (US)

(74) Vertreter:
freigutpartners IP Law Firm Dr. Rolf Dittmann,
Hahnrainweg 4
5400 Baden (CH)

(54) **Verfahren und System zum Bohren mit einem begrenzten Laserbohrer.**

(57) Es ist ein Verfahren zum Bohren eines Lochs (52) in einer Komponente geschaffen. Das Verfahren weist einen Laserstrahl (64) auf, der mittels Lichtführungs- und -fokussiermechanismen eines Laserbohrers (62) begrenzt ist. Das Verfahren umfasst ein Richten eines begrenzten Laserstrahls (64) in Richtung auf eine erste Lochposition an einer nahegelegenen Wand (66) der Komponente. Das Verfahren enthält ferner ein Erfassen einer Lichteigenschaft innerhalb eines durch die Komponente definierten Hohlraums (46). Die nahegelegene Wand (66) ist benachbart zu dem Hohlraum (46) positioniert, und der Sensor ist außerhalb des Hohlraums (46) positioniert. Das Verfahren enthält ferner ein Feststellen eines ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls (64) durch die nahegelegene Wand (66) der Komponente an der ersten Lochposition basierend auf dem Licht aus dem Innenraum des Hohlraums (46), das mit dem Sensor erfasst wird. Ein derartiges Verfahren (120, 200, 300, 400) kann ein komfortableres und zeiteffizienteres, Verfahren in Gasturbinenkomponenten ermöglichen.



Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zum Bohren eines oder mehrerer Löcher in einem Bauteil unter Verwendung eines begrenzten Laserbohrers.

HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG

[0002] Turbinen werden im industriellen und kommerziellen Betrieb in großem Umfang verwendet. Eine typische kommerzielle Dampf- oder Gasturbine, die zur Erzeugung elektrischer Leistung verwendet wird, enthält abwechselnde Stufen von stationären und rotierenden Schaufelblättern. Z.B. können stationäre Leitschaufeln an einer stationären Komponente, wie beispielsweise einem Gehäuse, das eine Turbine umgibt, angebracht sein, und rotierende Laufschaufeln können an einem Rotor angebracht sein, der entlang einer axialen Mittellinie der Turbine angeordnet ist. Ein verdichtetes Arbeitsfluid, wie beispielsweise, jedoch nicht darauf beschränkt, Dampf, Verbrennungsgase oder Luft, strömt durch die Turbine, und die Leitschaufeln beschleunigen und richten das verdichtete Arbeitsfluid auf die nachfolgende Stufe rotierender Laufschaufeln, um den rotierenden Laufschaufeln eine Bewegung zu verleihen, womit der Rotor gedreht und Arbeit verrichtet wird.

[0003] Ein Wirkungsgrad der Turbine steigt im Allgemeinen mit steigenden Temperaturen des verdichteten Arbeitsfluids. Übermäßige Temperaturen innerhalb der Turbine können jedoch die Langlebigkeit der Schaufelblätter in der Turbine verringern und somit Reparaturen, Wartung und Ausfälle im Zusammenhang mit der Turbine erhöhen. Infolgedessen sind verschiedene Konstruktionen und Verfahren entwickelt worden, um eine Kühlung an den Schaufelblättern zu erzielen. Z.B. kann ein Kühlmedium zu einem Hohlraum im Innern des Schaufelblattes geliefert werden, um Wärme von dem Schaufelblatt auf konvektive und/oder konduktive Weise abzuführen. In bestimmten Ausführungsformen kann das Kühlmedium aus dem Hohlraum durch Kühlkanäle in dem Schaufelblatt herausströmen, um eine Filmkühlung über der äußeren Oberfläche des Schaufelblattes zu erzielen.

[0004] Da Temperaturen und/oder Leistungsstandards weiterhin steigen, werden Materialien, die für das Schaufelblatt verwendet werden, zunehmend dünn, was eine zuverlässige Herstellung des Schaufelblattes zunehmend schwierig gestaltet. Z.B. kann das Schaufelblatt aus einem hochlegierten Metall gegossen sein, und es kann eine Wärmedämmbeschichtung auf die äußere Oberfläche des Schaufelblattes aufgebracht sein, um den Wärmeschutz zu verstärken. Ein Wasserstrahl kann verwendet werden, um Kühlkanäle durch die Wärmedämmbeschichtung und die äußere Oberfläche hindurch zu schaffen, aber der Wasserstrahl kann bewirken, dass Teile der Wärmedämmbeschichtung abblättern. Alternativ kann die Wärmedämmbeschichtung auf die äußere Oberfläche des Schaufelblattes aufgebracht werden, nachdem die Kühlkanäle durch eine Elektroerosionsmaschine (EDM) erzeugt worden sind, aber dies erfordert eine zusätzliche Verarbeitung, um jegliche Wärmedämmbeschichtung, die die neu erzeugten Kühlkanäle bedeckt, zu entfernen. Außerdem wird dieser Prozess des Wiederöffnens der Kühlöcher nach dem Beschichtungsprozess zunehmend schwierig, und er erfordert mehr Arbeitsstunden und Fähigkeiten, wenn die Größen der Kühlöcher abnehmen und die Anzahl der Kühlöcher steigt.

[0005] Ein Laserbohrer, der einen fokussierten Laserstrahl verwendet, kann auch dazu verwendet werden, die Kühldurchgänge durch das Schaufelblatt hindurch bei reduziertem Risiko eines Abblätterns der Wärmedämmbeschichtung zu erzeugen. Der Laserbohrer kann jedoch aufgrund der Gegenwart des Hohlraums im Innern des Schaufelblattes eine genaue Steuerung erfordern. Sobald die Laserbohrung eine nahegelegene Wand des Schaufelblattes durchbricht, kann ein fortgesetzter Betrieb des Laserbohrers durch herkömmliche Verfahren eine Beschädigung an der gegenüberliegenden Seite des Hohlraums zur Folge haben, was möglicherweise zu einem beschädigten Schaufelblatt führen kann, der überholt oder ausrangiert werden muss.

[0006] Demgemäß würde ein verbessertes Verfahren und System zum Bohren eines Lochs in einer Komponente einer Gasturbine von Vorteil sein. Insbesondere würde ein Verfahren und System zum Bohren eines Lochs in einer Komponente einer Gasturbine und zur Bestimmung einer oder mehrerer Betriebsbedingungen während eines derartigen Bohrprozesses besonders nützlich sein.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0007] Aspekte und Vorteile der Erfindung sind nachstehend in der folgenden Beschreibung erläutert oder können aus der Beschreibung offenkundig sein, oder sie können durch Umsetzung der Erfindung in die Praxis erfahren werden.

[0008] In der Erfindung ist ein Verfahren nach Anspruch 1 beschrieben.

[0009] In dem zuvor erwähnten Verfahren kann die Komponente ein Schaufelblatt einer Gasturbine sein.

[0010] Zusätzlich oder als eine Alternative kann der Sensor ein optischer Sensor sein.

[0011] In jedem beliebigen vorstehend erwähnten Verfahren kann der begrenzte Laserstrahl eine Strahlachse definieren, wobei der Sensor an einer Stelle positioniert sein kann, die die Strahlachse nicht schneidet und eine Sichtlinie zu der Strahlachse innerhalb des Hohlraums definiert.

[0012] In einer Ausführungsform kann das Verfahren ferner ein Aktivieren eines Rückschlagschutzmechanismus und Stören des begrenzten Laserstrahls innerhalb des Hohlraums mit dem Rückschlagschutzmechanismus aufweisen.

[0013] In dieser Ausführungsform kann der begrenzte Laserstrahl eine Strahlachse definieren, wobei das Aktivieren eines Rückschlagschutzmechanismus ein Einleiten eines Gases in den Hohlraum der Komponente in einer derartigen Weise enthalten kann, dass das Gas die Strahlachse innerhalb des Hohlraums der Komponente kreuzt.

[0014] Zusätzlich oder als eine Alternative kann der begrenzte Laserstrahl eine Strahlachse definieren, wobei der begrenzte Laserstrahl eine Flüssigkeitssäule und einen Laser aufweisen kann, wobei das Stören des begrenzten Laserstrahls innerhalb des Hohlraums ein Stören der Flüssigkeitssäule des begrenzten Laserstrahls in einer derartigen Weise aufweisen kann, dass eine Flüssigkeit aus der Flüssigkeitssäule die Strahlachse schneidet, und wobei die die Strahlachse schneidende Flüssigkeit wenigstens teilweise durch den Laser des begrenzten Laserstrahls innerhalb des Hohlraums angestrahlt werden kann.

[0015] Ferner kann das Erfassen einer Lichteigenschaft innerhalb des Hohlraums ein Erfassen einer Lichtintensität von dem Teil der Flüssigkeit der Flüssigkeitssäule des begrenzten Laserstrahls, der durch den Laser des begrenzten Laserstrahls angestrahlt wird, aufweisen.

[0016] Noch weiter kann das Feststellen des ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls ein Feststellen des ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls auf der Basis der erfassten Lichtintensität aus dem durch den Laser des begrenzten Laserstrahls angestrahlten Teil der Flüssigkeit der Flüssigkeitssäule des begrenzten Laserstrahls aufweisen.

[0017] In einigen Ausführungsformen kann die Komponente eine Öffnung definieren, die zu dem Hohlraum führt, wobei der Sensor benachbart zu der Öffnung positioniert sein kann und durch die Öffnung hindurch sowie in den Hohlraum hinein gerichtet werden kann.

[0018] In weiteren Ausführungsformen kann das Verfahren ferner ein Richten des begrenzten Laserstrahls des begrenzten Laserbohrers in Richtung auf eine zweite Lochposition an der nahegelegenen Wand der Komponente, Erfassen einer Lichteigenschaft innerhalb des Hohlraums, der durch die Komponente definiert ist, unter Verwendung des Sensors nach dem Richten des begrenzten Laserstrahl des begrenzten Laserbohrers in Richtung auf die zweite Lochposition an der nahegelegenen Wand der Komponente und Feststellen eines zweiten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls durch die nahegelegene Wand der Komponente an der zweiten Lochposition auf der Basis der erfassten Lichteigenschaft aus dem Inneren des Hohlraums aufweisen, wobei der Sensor zwischen der Feststellung des ersten Durchbruchs und der Feststellung des zweiten Durchbruchs stationär bleibt.

[0019] Weiterhin ist in der Erfindung ein System nach Anspruch 10 beschrieben.

[0020] In dem zuvor erwähnten System kann der Sensor dazu eingerichtet sein, eine oder mehrere von einer Lichtmenge, einer Lichtintensität und einer Lichtwellenlänge zu erfassen.

[0021] In bevorzugten Ausführungsformen des Systems kann der Sensor ein optischer Sensor sein.

[0022] In einigen Ausführungsformen kann der begrenzte Laserstrahl eine Strahlachse definieren, wobei der Sensor eine Sichtlinie zu der Strahlachse des begrenzten Laserstrahls innerhalb des Hohlraums definieren kann.

[0023] In dem System einer beliebigen vorstehend erwähnten Art kann die Komponente ein Schaufelblatt einer Gasturbine sein.

[0024] In verschiedenen Ausführungsformen kann der Rückschlagschutzmechanismus dazu eingerichtet sein, den begrenzten Laserstrahl innerhalb des Hohlraums der Komponente zu stören.

[0025] In diesen Ausführungsformen kann der Laserstrahl eine Strahlachse definieren, wobei der begrenzte Laserstrahl eine Flüssigkeitssäule und einen Laser aufweisen kann, wobei die Flüssigkeitssäule des begrenzten Lasers innerhalb des Hohlraums der Komponente durch den Rückschlagschutzmechanismus derart gestört werden kann, dass eine Flüssigkeit aus der Flüssigkeitssäule die Strahlachse schneidet, und wobei die die Strahlachse schneidende Flüssigkeit wenigstens teilweise durch den Laser des begrenzten Laserstrahls innerhalb des Hohlraums angestrahlt sein kann.

[0026] Zusätzlich kann der Sensor in den Hohlraum der Komponente hinein gerichtet sein, um eine Eigenschaft des Lichts aus dem durch den Laser angestrahlten Teil der Flüssigkeit zu erfassen.

[0027] In einigen Ausführungsformen kann der Sensor derart außerhalb des Hohlraums positioniert und in den Hohlraum hinein gerichtet sein, dass der Sensor eingerichtet ist, um Licht innerhalb des Hohlraums der Komponente an mehreren Stellen zu detektieren.

[0028] Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Offenbarung werden unter Bezugnahme auf die folgende Beschreibung und die beigefügten Ansprüche besser verstanden. Die beigefügten Zeichnungen, die in dieser Offenbarung enthalten sind und einen Teil derselben bilden, veranschaulichen Ausführungsformen der Offenbarung und dienen gemeinsam mit der Beschreibung dazu, die Prinzipien der Offenbarung zu erläutern.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0029] Eine vollständige und ausführbare Offenbarung des vorliegenden Offenbarungsgegenstands, einschließlich dessen bester Ausführungsart, für einen Fachmann ist in größeren Einzelheiten in dem Rest der Beschreibung erläutert, die eine Bezugnahme auf die beigefügten Figuren enthält, in denen:

[0030] Fig. 1 zeigt eine vereinfachte Querschnittsansicht eines Turbinenabschnitts einer beispielhaften Gasturbine, die verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung aufnehmen kann.

[0031] Fig. 2 zeigt eine Perspektivansicht eines beispielhaften Schaufelblattes gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0032] Fig. 3 zeigt eine schematische Ansicht eines Systems zur Herstellung eines Schaufelblattes gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0033] Fig. 4 zeigt eine schematische Ansicht des beispielhaften Systems nach Fig. 3, nachdem ein begrenzter Laserstrahl eine nahegelegene Wand des Schaufelblattes durchbrochen hat.

[0034] Fig. 5 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen eines Schaufelblattes gemäß einem Beispiel der Erfindung.

[0035] Fig. 6 zeigt eine graphische Darstellung, die Lichtintensitätsmesswerte während eines Betriebs eines begrenzten Laserbohrers gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0036] Fig. 7 zeigt eine graphische Darstellung, die Wellenlängenmesswerte während eines Betriebs eines begrenzten Laserbohrers gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0037] Fig. 8 zeigt eine graphische Darstellung, die Rauschen in Lichtintensitätsmesswerten während eines Betriebs eines begrenzten Laserbohrers gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung zeigt.

[0038] Fig. 9 zeigt eine schematische Ansicht eines Systems zur Herstellung eines Schaufelblattes gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0039] Fig. 10 zeigt eine schematische Ansicht des beispielhaften Systems nach Fig. 9, nachdem ein begrenzter Laserstrahl eine nahegelegene Wand des Schaufelblattes durchbrochen hat.

[0040] Fig. 11 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen eines Schaufelblattes gemäß einem weiteren beispielhaften Aspekt der vorliegenden Erfindung.

[0041] Fig. 12 zeigt eine schematische Ansicht eines Systems zur Herstellung eines Schaufelblattes gemäß einer noch weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0042] Fig. 13 zeigt eine schematische Ansicht des beispielhaften Systems nach Fig. 12, nachdem ein begrenzter Laserstrahl eine nahegelegene Wand des Schaufelblattes durchbrochen hat.

[0043] Fig. 14 zeigt eine schematische Ansicht eines Systems zur Herstellung eines Schaufelblattes gemäß einer noch weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0044] Fig. 15 zeigt eine schematische Ansicht des beispielhaften Systems nach Fig. 14, nachdem ein begrenzter Laserstrahl eine nahegelegene Wand des Schaufelblattes durchbrochen hat.

[0045] Fig. 16 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen eines Schaufelblattes gemäß einem noch weiteren Beispiel der vorliegenden Erfindung.

[0046] Fig. 17 zeigt eine schematische Ansicht eines Systems zur Herstellung eines Schaufelblattes gemäß einer noch weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0047] Fig. 18 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen eines Schaufelblattes gemäß einem noch weiteren Beispiel der vorliegenden Erfindung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0048] Es wird nun im Einzelnen auf Ausführungsformen der Erfindung Bezug genommen, von denen ein oder mehrere Beispiele in den Zeichnungen veranschaulicht sind. Jedes Beispiel ist zur Erläuterung der Erfindung, nicht zur Beschränkung der Offenbarung vorgesehen. In der Tat wird es für Fachleute auf dem Gebiet offenkundig sein, dass verschiedene Modifikationen und Veränderungen an der vorliegenden Erfindung vorgenommen werden können, ohne dass von dem Umfang oder Rahmen der Erfindung abgewichen wird. Z.B. können Merkmale, die als ein Teil einer einzelnen Ausführungsform veranschaulicht oder beschrieben sind, bei einer anderen Ausführungsform verwendet werden, um eine noch weitere Ausführungsform zu ergeben. Somit ist beabsichtigt, dass die vorliegende Erfindung derartige Modifikationen und Veränderungen mit umfasst, wie sie in den Umfang der beigefügten Ansprüche und ihrer Äquivalente fallen. Obwohl beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung für die Zwecke der Veranschaulichung allgemein in dem Kontext der Herstellung eines Schaufelblattes 38 für eine Turbomaschine beschrieben sind, wird ein gewöhnlicher Fachmann auf dem Gebiet ohne Weiteres erkennen, dass Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung auf andere Herstellungsgegenstände angewandt werden können und nicht auf ein System oder Verfahren zum Herstellen eines Schaufelblattes 38 für eine Turbomaschine beschränkt sind, sofern dies nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist. Z.B. können in anderen beispielhaften Ausführungsformen Aspekte der vorliegenden Erfindung dazu verwendet werden, ein Schaufelblatt 38 zur Verwendung im Zusammenhang mit der Luftfahrt herzustellen oder um andere Komponenten einer Gasturbine herzustellen.

[0049] In dem hierin verwendeten Sinne können die Ausdrücke „erste“, „zweite“ und „dritte“ austauschbar dazu verwendet werden, eine Komponente von einer anderen zu unterscheiden, und sie sollen keine Anordnung oder Bedeutung der einzelnen Komponenten angeben. Ebenso können die Ausdrücke „nahegelegen“ und „entfernt“ dazu verwendet werden, eine relative Position eines Gegenstands oder einer Komponente anzugeben, und sie sollen keine Funktion oder Konstruktion des Gegenstands oder der Komponente angeben.

[0050] Indem nun auf die Zeichnungen Bezug genommen wird, zeigt Fig. 1 einen vereinfachten Schnitt einer Seitenansicht eines beispielhaften Turbinenabschnitts 10 einer Gasturbine gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 1 gezeigt, enthält der Turbinenabschnitt 10 allgemein einen Rotor 12 und ein Gehäuse 14, die wenigstens teilweise einen Gaspfad 16 durch den Turbinenabschnitt 10 hindurch definieren. Der Rotor 12 ist mit einer axialen Mittellinie 18 des Turbinenabschnitts 10 im Wesentlichen ausgerichtet und kann mit einem Generator, einem Verdichter oder einer anderen Maschine verbunden sein, um Arbeit zu verrichten. Der Rotor 12 kann abwechselnde Abschnitte von Rotorlaufrädern 20 und Rotorabstandshaltern 22 enthalten, die durch einen Bolzen 24 miteinander verbunden sind, um gemeinsam zu rotieren. Das Gehäuse 14 umgibt wenigstens einen Teil des Rotors 12 längs des Umfangs, um ein verdichtetes Arbeitsfluid 26 aufzunehmen, das durch den Gaspfad 16 strömt. Das verdichtete Arbeitsfluid 26 kann z.B. Verbrennungsgase, verdichtete Luft, gesättigten Dampf, ungesättigten Dampf oder eine Kombination von diesen enthalten.

[0051] Wie in Fig. 1 veranschaulicht, enthält der Turbinenabschnitt 10 ferner abwechselnde Stufen von rotierenden Laufschaufeln 30 und stationären Laufschaufeln, die sich in Radialrichtung zwischen dem Rotor 12 und dem Gehäuse 14 erstrecken. Die rotierenden Laufschaufeln 30 sind längs des Umfangs um den Rotor 12 herum angeordnet und können mit den Rotorlaufrädern 20 unter Verwendung verschiedener Mittel verbunden sein. Im Unterschied hierzu können die stationären Laufschaufeln 32 am Rand um die Innenseite des Gehäuses 14 herum den Rotorabstandshaltern 22 gegenüberliegend angeordnet sein. Die rotierenden Laufschaufeln 30 und die stationären Laufschaufeln 32 weisen im Wesentlichen die Gestalt eines Tragflächenprofils mit einer konkaven Druckseite, einer konvexen Saugseite sowie einer Vorder- und einer Hinterkante auf, wie dies in der Technik bekannt ist. Das verdichtete Arbeitsfluid 26 strömt entlang des Gaspfades 16 durch den Turbinenabschnitt 10 hindurch von links nach rechts, wie in Fig. 1 zu sehen. Während das verdichtete Arbeitsfluid 26 über die erste Stufe der Laufschaufeln 30 strömt, expandiert das verdichtete Arbeitsfluid, wobei es die Laufschaufeln 30, die Laufräder 20, die Rotorabstandshalter 22, den Bolzen 24 und den Rotor 12 zum Rotieren veranlasst. Das verdichtete Arbeitsfluid 26 strömt anschließend über die nächste Stufe stationärer Laufschaufeln 32, die das verdichtete Arbeitsfluid 26 auf die nächste Stufe von Laufschaufeln 30 hin beschleunigt und umlenkt, und der Prozess wiederholt sich für die folgenden Stufen. In der beispielhaften Ausführungsform, wie sie in Fig. 1 veranschaulicht ist, weist der Turbinenabschnitt 10 zwei Stufen stationärer Laufschaufeln 32 zwischen drei Stufen rotierender Laufschaufeln 30 auf; jedoch wird ein gewöhnlicher Fachmann auf dem Gebiet ohne Weiteres erkennen, dass die Anzahl von Stufen von rotierenden Laufschaufeln 30 und stationären Laufschaufeln 32 keine Beschränkung für die vorliegende Erfindung darstellt, sofern dies nicht in den Ansprüchen speziell angegeben ist.

[0052] Fig. 2 zeigt eine Perspektivansicht eines beispielhaften Schaufelblattes 38, wie es in die Laufschaufeln 30 oder die stationären Laufschaufeln 32 aufgenommen werden kann, gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 2 veranschaulicht, enthält das Schaufelblatt 38 allgemein eine Druckseite 42 mit einer konkaven Krümmung und eine Saugseite 44, die der Druckseite 42 gegenüberliegt und eine konvexe Krümmung aufweist. Die Druck- und die Saugseite 42, 44 sind voneinander getrennt, um einen Hohlraum 46 im Innern des Schaufelblattes 38 zwischen der Druck- und der Saugseite 42, 44 zu definieren. Der Hohlraum 46 kann einen serpentinenförmigen oder gewundenen Weg bereitstellen, damit ein Kühlmedium im Innern des Schaufelblattes 38 strömen kann, um in konduktiver und/oder konvektiver Weise Wärme aus dem Schaufelblatt 38 zu entfernen. Zusätzlich sind die Druck- und die Saugseite 42, 44 ferner zusammengefügt, um eine Vorderkante 48 an einem stromaufwärtigen Abschnitt des Schaufelblattes 38 und eine Hinterkante 50 stromabwärts von dem Hohlraum 46 an einem stromabwärtigen Abschnitt des Schaufelblattes 38 zu bilden. Mehrere Kühldurchgänge in der Druckseite 42, der Saugseite 44, der Vorderkante 48 und/oder der Hinterkante 50 können für eine Strömungsverbindung mit dem Hohlraum 46 durch das Schaufelblatt 38 hindurch sorgen, um das Kühlmedium über eine Außenfläche 34 des Schaufelblattes 38 zuzuführen. Wie in Fig. 2 veranschaulicht, können die Kühldurchgänge z.B. an der Vorder- und der Hinterkante 48, 50 und/oder entlang entweder der Druck- oder der Saugseite 42, 44 oder entlang beider angeordnet sein. Das beispielhafte Schaufelblatt 38 definiert ferner eine Öffnung an einer Basis des Schaufelblattes 38, wobei ein Kühlmedium, wie beispielsweise Druckluft, aus einem Verdichterabschnitt der Gasturbine dem Hohlraum 46 zugeführt werden kann.

[0053] Ein Fachmann auf dem Gebiet wird ohne Weiteres anhand der hierin gegebenen Lehren erkennen, dass die Anzahl und/oder die Lage der Kühldurchgänge gemäß bestimmten Ausführungsformen variieren kann, wie auch die Konstruktion des Hohlraums 46 und die Konstruktion der Kühldurchgänge variieren kann. Demgemäß ist die vorliegende Erfindung nicht auf irgendeine bestimmte Anzahl oder Positionierung der Kühldurchgänge oder irgendeine Konstruktion der Kühldurchgänge oder des Hohlraums 46 beschränkt, sofern dies nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist.

[0054] In manchen beispielhaften Ausführungsformen kann eine Wärmedämmbeschichtung 36 über wenigstens einem Teil einer Außenfläche 34 eines Metallteils 40 des Schaufelblattes 38 (vgl. Fig. 3) aufgebracht sein, die den darunter liegenden Metallteil 40 des Schaufelblattes 38 bedeckt. Die Wärmedämmbeschichtung 36, wenn sie aufgebracht ist, kann ein geringes Emissionsvermögen oder einen hohen Reflexionsgrad für Wärme, ein glattes Oberflächenfinish und/oder eine gute Adhäsion an der darunter liegenden Außenfläche 34 aufweisen.

Koaxiale Erfassung

[0055] Indem nun auf die Fig. 3 und Fig. 4 Bezug genommen wird, ist eine Perspektivansicht eines beispielhaften Systems 60 gemäß der vorliegenden Erfindung bereitgestellt. Das System 60 kann z.B. bei der Herstellung einer Komponente für eine Gasturbine verwendet werden. Insbesondere wird bei der dargestellten Ausführungsform das System 60 für die Herstellung/das Bohren eines oder mehrerer Löcher oder Kühldurchgänge in einem Schaufelblatt 38 einer Gasturbine, wie beispielsweise dem vorstehend unter Bezugnahme auf Fig. 2 erläuterten Schaufelblatt 38, verwendet. Es sollte jedoch erkannt werden, dass, obwohl das System 60 hierin in dem Zusammenhang mit der Herstellung des Schaufelblattes 38 beschrieben ist, in anderen beispielhaften Ausführungsformen das System 60 bei der Herstellung einer beliebigen anderen geeigneten Komponente für eine Gasturbine verwendet werden kann. Z.B. kann das System 60 bei der Herstellung von Übergangsstücken, Leitapparaten, Brennkammerflammpfeifen, Effusions- oder Prallplatten, Leitschaufeln, Deckbändern oder einem beliebigen anderen geeigneten Teil verwendet werden.

[0056] Das beispielhafte System 60 enthält allgemein einen begrenzten Laserbohrer 62, der eingerichtet ist, um einen begrenzten Laserstrahl 64 in Richtung auf eine nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 zu richten, um ein Loch 52 in der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 zu bohren. Der begrenzte Laserstrahl 64 definiert eine Strahlachse A, und die nahegelegene Wand 66 ist benachbart zu dem Hohlraum 46 angeordnet. Insbesondere können verschiedene Ausführungsformen des begrenzten Laserbohrers 62 allgemein einen Lasermechanismus 68, einen Kollimator 70 und eine Steuereinrichtung 72 enthalten. Der Lasermechanismus 68 kann eine beliebige Vorrichtung enthalten, die in der Lage ist, einen Laserstrahl 74 zu erzeugen. Nur um ein Beispiel anzugeben, kann der Lasermechanismus 68 in manchen beispielhaften Ausführungsformen ein diodengepumpter Nd:YAG-Laser sein, der in der Lage ist, ein Laserstrahlbündel mit einer Pulsfrequenz von ungefähr 10-50 kHz, einer Wellenlänge von ungefähr einem Mikrometer oder falls die Frequenzverdopplung „SHG“, Second Harmonic Generation) genutzt wird, zwischen 500-550 Nanometern und einer mittleren Leistung von ungefähr 10-200 W zu erzeugen. Jedoch kann in anderen Ausführungsformen ein anderer geeigneter Lasermechanismus 68 eingesetzt werden.

[0057] In der speziellen Ausführungsform, wie sie in den Fig. 3 und Fig. 4 veranschaulicht ist, richtet der Lasermechanismus 68 das Laserstrahlbündel 74 durch eine fokussierende Linse 75 auf einen Kollimator 70. Der Kollimator 70 formt einen Durchmesser des Strahlbündels 74 um, um ein besseres Fokusmerkmal zu erreichen, wenn das Strahlbündel 74 in ein anderes Medium, wie beispielsweise eine Glasfaser oder Wasser, hinein fokussiert wird. Demgemäß enthält der Kollimator 70, wie hierin verwendet, eine beliebige Vorrichtung, die ein Bündel aus Teilchen oder Wellen einengt und/oder ausrichtet, um zu bewirken, dass der räumliche Querschnitt des Bündels schmaler wird. Z.B. kann der Kollimator 70, wie in den Fig. 3 und Fig. 4 veranschaulicht, eine Kammer 76 enthalten, die das Laserstrahlbündel 74 gemeinsam mit einem Fluid, wie beispielsweise deionisiertem oder gefiltertem Wasser, aufnimmt. Eine Öffnung oder Düse 78, die einen Durchmesser zwischen ungefähr 20 und 150 Mikrometern aufweisen kann, richtet den Laserstrahl 74 im Innern einer Flüssigkeitssäule 80 zu dem Schaufelblatt 38 hin - unter Bildung eines begrenzten bzw. eingeengten Laserstrahls 74. Die Flüssigkeitssäule 80 kann einen Druck von ungefähr 907,18kg bis 1.360,78kg (2000 bis 3000 Pfund) pro 6.45 Quadratcentimeter (1 Quadratzoll) aufweisen. Jedoch ist die vorliegende Offenbarung nicht auf irgendeinen bestimmten Druck für die Flüssigkeitssäule 80 oder Durchmesser für die Düse 78 beschränkt, sofern dies nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist. Außerdem sollte erkannt werden, dass, wie hierin verwendet, Näherungsausdrücke, wie beispielsweise „etwa“ oder „ungefähr“, sich auf eine Fehlerspanne innerhalb von 10% beziehen.

[0058] Wie in der vergrößerten Ansicht in den Fig. 3 und Fig. 4 veranschaulicht, kann die Flüssigkeitssäule 80 von Luft, beispielsweise einem Schutzgas, umgeben sein und als ein Lichtführungs- und -fokussierungsmechanismus für den Laserstrahl 74 dienen. Demgemäß können die Flüssigkeitssäule 80 und der Laserstrahl 74, der durch die Flüssigkeitssäule 80 geführt wird, wie vorstehend erläutert, gemeinsam den begrenzten (eingeengten) Laserstrahl 64 bilden, der durch den begrenzten (eingeengten) Laserbohrer 62 verwendet und auf das Schaufelblatt 38 gerichtet wird.

[0059] Wie erwähnt, kann der begrenzte Laserstrahl 64 durch den begrenzten Laserbohrer 62 dazu verwendet werden, z.B. einen oder mehrere Kühldurchgänge durch das Schaufelblatt 38 hindurch zu bohren. Insbesondere kann der begrenzte Laserstrahl 64 die Außenfläche 34 des Schaufelblattes 38 abtragen, wobei er schließlich den gewünschten Kühldurchgang durch das Schaufelblatt 38 erzeugt. Insbesondere zeigt Fig. 3 das System 60, bevor der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 „durchbricht“, während Fig. 4 das System 60 zeigt, nachdem der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat. In dem hierin verwendeten Sinne beziehen sich die Ausdrücke „Durchbruch“, „bricht durch“ und damit verwandte Bezeichnungen darauf, wann der begrenzte Laserstrahl 64 einen kontinuierlichen Teil des Materials, der die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 bildet, entlang der Strahlachse A des begrenzten Laserstrahls 64 entfernt hat. Nach einem Durchbruch des begrenzten Laserstrahls 64 durch die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 kann wenigstens ein Teil des begrenzten Laserstrahls 64 durch diese hindurch, z.B. in den Hohlraum 46 des Schaufelblattes 38 eintreten.

[0060] Unter weiterer Bezugnahme auf die Fig. 3 und Fig. 4 enthält das System 60 ferner einen beispielhaften Rückschlagschutzmechanismus 82. Der dargestellte beispielhafte Rückschlagschutzmechanismus 82 enthält ein Gas 84, das im Inneren des Schaufelblattes 38 strömt. In dem hierin verwendeten Sinne kann der Begriff „Gas“ ein beliebiges gasförmiges Medium enthalten. Zum Beispiel kann das Gas 84 ein Inertgas, ein Vakuum, ein gesättigter Dampf, ein Heißdampf oder ein beliebiges sonstiges geeignetes Gas 84 sein, das eine gasförmige Strömung im Inneren des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 ausbilden kann. Das innerhalb des Schaufelblattes 38 strömende Gas 84 kann einen Druck, der un-

gefähr dem Druck der Flüssigkeit der Flüssigkeitssäule 80 entspricht, oder einen beliebigen sonstigen Druck aufweisen, der ausreicht, um den begrenzten Laserstrahl 64 zu stören. Insbesondere kann das Gas 84 einen beliebigen sonstigen Druck aufweisen, der ausreicht, um ein hinreichendes kinetisches Moment oder eine Geschwindigkeit zu erzeugen, um die Flüssigkeitssäule 80 innerhalb des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 zu stören. Zum Beispiel kann das Gas 84, das im Inneren des Schaufelblattes 38 strömt, in manchen beispielhaften Ausführungsformen einen Druck aufweisen, der größer ist als ungefähr 11,34kg (25 Pfund) pro 6.45 Quadratcentimeter (1 Quadratzoll), obwohl die vorliegende Erfindung nicht auf irgendeinen bestimmten Druck für das Gas 84 beschränkt ist, sofern dies nicht speziell in den Ansprüchen angegeben ist.

[0061] Wie am deutlichsten in Fig. 4 veranschaulicht, kann das Gas 84 ausgerichtet sein, um den begrenzten Laserstrahl 64 im Inneren des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 zu kreuzen. In bestimmten Ausführungsformen kann das Gas 84 im Wesentlichen senkrecht zu der Flüssigkeitssäule 80 ausgerichtet sein, während das Gas 84 in anderen bestimmten Ausführungsformen unter einem schrägen oder spitzen Winkel in Bezug auf die Flüssigkeitssäule 80 und/oder den begrenzten Laserstrahl 64 ausgerichtet sein kann. Während das Gas 84 die Flüssigkeitssäule 80 im Inneren des Schaufelblattes 38 kreuzt, stört das Gas 84 die Flüssigkeitssäule 80 und zerstreut den Laserstrahl 74 des begrenzten Laserstrahls 64 im Inneren des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38. Auf diese Weise verhindert das Gas 84, dass der begrenzte Laserstrahl 64 auf eine Innenfläche des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 auf der zu dem neu erzeugten Kühldurchgang in der nahegelegenen Wand 66 gegenüberliegenden Seite auftrifft. Insbesondere hindert das Gas 84 den begrenzten Laserstrahl 64 daran, auf eine entfernte Wand 86 des Schaufelblattes 38 aufzutreffen.

[0062] Das beispielhafte System 60 gemäß den Fig. 3 und Fig. 4 enthält zusätzlich einen Sensor 88, der mit der Steuereinrichtung 72 funktionsmäßig verbunden ist, die nachstehend weiter erläutert ist. Bei der dargestellten Ausführungsform ist der Sensor 88 dazu eingerichtet, eine Lichteigenschaft zu erfassen und ein Signal 68 zu der Steuereinrichtung 72 zu senden, das die erfasste Lichteigenschaft kennzeichnet. Insbesondere ist der Sensor 88 positioniert, um eine Eigenschaft des Lichts, das entlang der Strahlachse A von der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 weg gerichtet ist, z.B. von einem von dem Kühldurchgang reflektierten und/oder abgelenkten Licht, zu erfassen. In manchen beispielhaften Ausführungsformen kann der Sensor 88 ein Oszilloskopsensor sein, der sich zur Erfassung einer oder mehrerer der folgenden Eigenschaften von Licht eignet: einer Lichtintensität, einer oder mehrerer Lichtwellenlängen, einer Lichtmenge, einer zeitlichen Form eines Lichtimpulses und einer Frequenzform eines Lichtimpulses. Außerdem ist der Sensor 88 für die dargestellte Ausführungsform gegenüber der Strahlachse A versetzt und dazu eingerichtet, eine Eigenschaft des reflektierten Lichtes entlang der Strahlachse A durch Ablenkung wenigstens eines Teil des reflektierten Lichtes, das entlang der Strahlachse A gerichtet ist, zu dem Sensor 88 mit einer Ablenklinse 90 zu erfassen. Die Ablenklinse 90 ist in der Strahlachse A, d.h. die Strahlachse A schneidend, unter einem Winkel von ungefähr 45° zu der Strahlachse A positioniert. Jedoch kann die Ablenklinse 90 in anderen beispielhaften Ausführungsformen einen beliebigen sonstigen geeigneten Winkel in Bezug auf die Strahlachse A definieren. Obwohl bei der Ausführungsform gemäß den Fig. 3 und Fig. 4 die Ablenklinse 90 in dem Kollimator 70 angeordnet ist, kann die Linse 90 außerdem in anderen Ausführungsformen stattdessen zwischen dem Kollimator 70 und der Fokussierungslinse 75 oder alternativ zwischen der Fokussierungslinse 75 und dem Lasermechanismus 68 positioniert sein. Die Ablenklinse 90 kann eine Beschichtung auf einer ersten Seite (d.h. auf der zu der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 nächstgelegenen Seite) enthalten, die wenigstens einen Teil des entlang der Strahlachse A strömenden reflektierten Lichtes zu dem Sensor 88 umlenkt. Die Beschichtung kann eine sein, die als „Einweg“-Beschichtung bezeichnet wird, so dass im Wesentlichen kein Licht, das entlang der Strahlachse in Richtung auf die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 strömt, durch die Linse oder ihre Beschichtung abgelenkt wird. Zum Beispiel kann die Beschichtung in manchen Ausführungsformen eine Beschichtung aus einem Elektronenstrahlbeschichtungsverfahren („EBC“, Electron Beam Coating) sein.

[0063] Weiterhin bezugnehmend auf das beispielhafte System 60 gemäß den Fig. 3 und Fig. 4 kann die Steuereinrichtung 72 eine beliebige geeignete prozessorbasierte Rechenvorrichtung sein, und sie kann mit z.B. dem begrenzten Laserbohrer 62, dem Sensor 88 und dem Rückschlagschutzmechanismus 82 in wirksamer Kommunikationsverbindung stehen. Zum Beispiel können geeignete Steuereinrichtungen 72 einen oder mehrere Personalcomputer, Mobiltelefone (einschließlich Smartphones), persönliche digitale Assistenten, Tablets, Laptops, Desktops, Workstations, Spielekonsolen, Server, andere Computer und/oder beliebige sonstige geeignete Rechenvorrichtungen enthalten. Wie in den Fig. 3 und Fig. 4 veranschaulicht, kann die Steuereinrichtung 72 einen oder mehrere Prozessoren 92 und einen zugehörigen Speicher 94 enthalten. Der (die) Prozessor(en) 92 kann (können) im Allgemeinen eine oder mehrere beliebige geeignete in der Technik bekannte Prozessorvorrichtungen sein. Ebenso kann der Speicher 94 allgemein ein beliebiges geeignetes computerlesbares Medium oder mehrere computerlesbare Medien sein, zu denen einschließlic, jedoch nicht darauf beschränkt, RAM, ROM, Festplattenlaufwerke, Flash-Laufwerke oder andere Speichervorrichtungen gehören. Wie allgemein verstanden wird, kann der Speicher 94 eingerichtet sein, um Informationen zu speichern, die für den (die) Prozessor(en) 92 zugänglich sind, einschließlic Instruktionen oder einer Logik 96, die durch den (die) Prozessor(en) 92 ausgeführt werden kann/können. Die Instruktionen oder Logik 96 kann/können ein beliebiger Satz von Instruktionen sein, die, wenn sie durch den (die) Prozessor(en) 92 ausgeführt werden, den (die) Prozessor(en) 92 veranlassen, eine gewünschte Funktionalität bereitzustellen. Zum Beispiel kann/können die Instruktionen oder Logik 96 Softwareinstruktionen sein, die in einer computerlesbaren Form wiedergegeben sind. Wenn Software verwendet wird, kann eine beliebige geeignete Programmierung, Skript-Art oder eine sonstige geeignete Sprache oder können Kombinationen von Sprachen dazu verwendet werden, die hierin enthaltenen Lehren zu implementieren. In besonderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann/können z.B. die Instruktionen oder die Logik 96 dazu eingerichtet sein, ein oder mehrere der nachstehend unter Bezugnahme auf

die Fig. 5, Fig. 11, Fig. 16 oder Fig. 18 beschriebenen Verfahren zu implementieren. Alternativ können die Instruktionen durch eine festverdrahtete Logik 96 oder andere Schaltkreise implementiert sein, zu denen einschließlich, jedoch nicht darauf beschränkt, anwendungsspezifische Schaltkreise gehören. Außerdem kann, obwohl die Steuereinrichtung 72 in schematischer Weise von dem Sensor 88 gesondert veranschaulicht ist, in anderen beispielhaften Ausführungsformen der Sensor 88 und die Steuereinrichtung 72 zu einer einzigen Vorrichtung integriert sein, die an einer beliebigen geeigneten Stelle positioniert sein kann.

[0064] Indem nun auf die Fig. 5 Bezug genommen wird, ist ein Flussdiagramm eines beispielhaften Verfahrens 120 zum Herstellen eines Schaufelblattes 38 einer Gasturbine bereitgestellt. Insbesondere veranschaulicht das Flussdiagramm nach Fig. 5 ein beispielhaftes Verfahren 120 zum Bohren eines Lochs 52 in einem Schaufelblatt 38 einer Gasturbine. Das beispielhafte Verfahren 120 nach Fig. 5 kann mit dem beispielhaften System verwendet werden, das in den Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt und vorstehend beschrieben ist. Demgemäß kann das beispielhafte Verfahren 120, obwohl es in dem Zusammenhang mit dem Bohren eines Lochs 52 in einem Schaufelblatt 38 erläutert ist, alternativ dazu verwendet werden, ein Loch 52 in einer beliebigen sonstigen geeigneten Komponente einer Gasturbine zu bohren.

[0065] Das Verfahren 120 enthält allgemein bei 122 ein Richten eines begrenzten Laserstrahls 64 eines begrenzten Laserbohrers 62 in Richtung auf eine nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38, um das Loch 52 in der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 zu bohren. Der begrenzte Laserstrahl 64 definiert eine Strahlachse, und die nahegelegene Wand 66 ist benachbart zu einem in dem Schaufelblatt 38 definierten Hohlraum 46 positioniert. Das Verfahren 120 umfasst weiterhin bei 124 ein Erfassen einer Eigenschaft eines Lichts, das entlang der Strahlachse von dem Schaufelblatt 38 weg gerichtet ist, mit einem Sensor 88. Das entlang der Strahlachse von dem Schaufelblatt 38 weg gerichtete Licht kann, in manchen Aspekten, sich auf das Licht beziehen, das von der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 reflektiert wird. In manchen beispielhaften Aspekten kann das Erfassen einer Eigenschaft des Lichtes bei 124 ein Erfassen wenigstens einer von einer Lichtintensität, einer oder mehrerer Wellenlängen des Lichtes, einer zeitlichen Form eines Lichtimpulses und einer Frequenzform eines Lichtimpulses enthalten. Außerdem kann der Sensor 88 zu der Strahlachse versetzt angeordnet sein, so dass das Erfassen einer Eigenschaft des Lichtes bei 124 ferner ein Ablenken wenigstens eines Teils des entlang der Strahlachse von dem Schaufelblatt 38 weg gerichteten Lichtes zu dem Sensor 88 mit einer Linse enthalten kann.

[0066] Weiterhin bezugnehmend auf Fig. 5 enthält das beispielhafte Verfahren 120 ferner bei 126 ein Bestimmen einer oder mehrerer Betriebsbedingungen auf der Basis der Eigenschaft des mit dem Sensor 88 bei 124 erfassten Lichtes. Die eine oder mehreren Betriebsbedingungen enthalten wenigstens eines von einer Tiefe des Lochs 52, das mit dem begrenzten Laserbohrer 62 gebohrt wird, und einem Material, in das der begrenzte Laserstrahl 64 des begrenzten Laserbohrers 62 hinein gerichtet wird.

[0067] Zum Beispiel kann das Erfassen einer Eigenschaft von Licht bei 124 in manchen beispielhaften Aspekten ein Erfassen einer Lichtintensität enthalten. Zur Darstellung wird nun auch auf Fig. 6 Bezug genommen, die eine grafische Darstellung 150 von beispielhaften Lichtintensitätswerten, die bei 124 erfasst werden, liefert. Die beispielhafte Grafik 150 zeigt eine Lichtintensität auf der Y-Achse und Zeit auf der X-Achse. In einem derartigen beispielhaften Aspekt kann das Bestimmen einer oder mehrerer Betriebsbedingungen bei 126 ein Bestimmen entweder einer reflektierten Pulsrate des begrenzten Laserbohrers 62 oder einer reflektierten Pulsbreite (gemessen in Einheiten der Zeit) des begrenzten Laserbohrers 62 oder beide auf der Basis der Intensität des entlang der Strahlachse A von dem Schaufelblatt 38 weg gerichteten, bei 124 erfassten Lichtes enthalten. Zum Beispiel zeigt, wie in Fig. 6 veranschaulicht, die bei 124 erfasste Lichtintensität während Bohrvorgänge - d.h. während einer Operation mit dem begrenzten Laserbohrer 62 - Höhen 152 und Tiefen 154. Die reflektierte Pulsrate kann folglich bestimmt werden, indem die Anzahl der Höhen 152 pro Zeiteinheit gezählt wird, und die reflektierte Pulsbreite kann bestimmt werden, indem die Zeitpunkte der Höhen 152 bestimmt werden.

[0068] Insbesondere würden in dem Fall, dass das gesamte auf das Schaufelblatt 38 gerichtete Licht reflektiert werden würde, ohne dass es absorbiert oder in sonstiger Weise verändert würde, die reflektierte Pulsrate und die reflektierte Pulsbreite genau eine tatsächliche Pulsrate und eine tatsächliche Pulsbreite widerspiegeln, mit denen der begrenzte Laserbohrer 62 und der begrenzte Laserstrahl 64 funktionieren. Jedoch kann während der Bohrvorgänge eine Größe der Lichtabsorption durch das Schaufelblatt 38 basierend z.B. auf einer Tiefe des Lochs 52, einem Seitenverhältnis des Lochs 52 (das sich in dem hierin verwendeten Sinne auf ein Verhältnis des Lochdurchmessers zu einer Lochlänge bezieht) und/oder dem Material, in das der begrenzte Laserstrahl hinein gerichtet wird (d.h. das Material, durch das gebohrt wird) variieren. Demgemäß kann das beispielhafte Verfahren 120 während der Bohrvorgänge ein Vergleichen der Werte von entweder der reflektierten Pulsrate und/oder der reflektierten Pulsbreite, wie bei 126 bestimmt, mit bekannten Betriebsbedingungen des begrenzten Laserbohrers 62 (z.B. der tatsächlichen Pulsrate und/oder der tatsächlichen Pulsbreite des begrenzten Laserbohrers 62) enthalten. Ein derartiger Vergleich kann einen Fehlerwert aufzeigen. Der Fehlerwert kann dann mit einer Nachschlagetabelle verglichen werden, die derartige Fehlerwerte mit Lochtiefen in Beziehung setzt - unter Berücksichtigung des speziellen Materials, in das hinein gebohrt wird, des Lochdurchmessers, der Lochgeometrie und beliebiger sonstiger relevanter Faktoren - um eine Tiefe des Lochs 52, das durch den begrenzten Laserbohrer 62 in der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 gebohrt wird, zu bestimmen. Die Werte der Nachschlagetabelle können experimentell ermittelt werden.

[0069] Es sollte jedoch erkannt werden, dass in anderen beispielhaften Aspekten der vorliegenden Erfindung das beispielhafte Verfahren 120 zusätzlich oder alternativ bei 124 andere Eigenschaften des Lichts, das entlang der Strahlachse

gerichtet ist, erfassen und bei 126 andere Betriebsbedingungen bestimmten kann. Zum Beispiel kann, indem weiterhin auf Fig. 5 sowie auf eine beispielhafte grafische Darstellung 160 der erfassten Lichtwellenlängenwerte, die in Fig. 7 bereitgestellt ist, Bezug genommen wird, das Erfassen einer Lichteigenschaft bei 124 zusätzlich oder alternativ ein Erfassen einer Wellenlänge des entlang der Strahlachse von dem Schaufelblatt 38 weg gerichteten Lichtes mit dem Sensor 88 enthalten. In einem derartigen beispielhaften Aspekt kann die eine oder können die mehreren Betriebsbedingungen, die bei 126 bestimmt werden, das Material, in das der begrenzte Laserstrahl des begrenzten Laserbohrers 62 hinein gerichtet wird, enthalten. Zusätzlich kann das Bestimmen der einen oder mehreren Betriebsbedingungen bei 126 einen Vergleich der erfassten Lichtwellenlänge mit vorbestimmten Werten enthalten. Insbesondere absorbieren und reflektieren unterschiedliche Materialien Licht bei verschiedenen Wellenlängen. Demgemäß kann das reflektierte Licht, das während der Bohrvorgänge entlang der Strahlachse gerichtet wird, eine Wellenlänge definieren, die für das Material, in das der begrenzte Laserstrahl hinein gerichtet wird, kennzeichnend ist. Z.B. kann, indem speziell auf Fig. 7 Bezug genommen wird, Licht, das entlang der Strahlachse gerichtet wird, wenn in eine Wärmedämmbeschichtung eines Schaufelblattes 38 hinein gebohrt wird, eine erste Wellenlänge 162 definieren, während Licht, das entlang der Strahlachse gerichtet ist, wenn in einen Metallteil des Schaufelblattes 38 hinein gebohrt wird, eine zweite Wellenlänge 164 definieren kann und Licht, das entlang der Strahlachse gerichtet ist, nachdem der begrenzte Laserstrahl die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat, eine dritte Wellenlänge 166 definieren kann. Demgemäß kann das Verfahren 120 in einem derartigen beispielhaften Aspekt die Schicht, in die der begrenzte Laserstrahl hineinbohrt, basierend wenigstens zum Teil auf der erfassten Wellenlänge des entlang der Strahlachse reflektierten Lichtes bestimmen.

[0070] In anderen beispielhaften Aspekten kann das Verfahren 120 jedoch ein Erfassen des Lichts bei mehreren Wellenlängen enthalten. Z.B. kann Licht, das entlang der Strahlachse gerichtet ist, beim Bohren durch sowohl die Wärmedämmbeschichtung als auch den Metallteil zusätzlich eine vierte Wellenlänge 163 definieren, und Licht, das entlang der Strahlachse gerichtet ist, wenn durch den Metallteil gebohrt wird und wenn die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 wenigstens teilweise durchbrochen ist, kann zusätzlich eine fünfte Wellenlänge 165 definieren. Darüber hinaus kann in anderen beispielhaften Ausführungsformen das Licht ein beliebiges sonstiges ausgeprägtes Muster von Wellenlängen basierend auf vielfältigen Faktoren definieren, zu denen das (die) Material(ien), in das (die) der begrenzte Laserbohrer 62 gerichtet wird, die Tiefe des Lochs 52, das gebohrt wird, ein Seitenverhältnis des Lochs 52, das gebohrt wird, etc. gehören. Demgemäß kann das Verfahren 120 ein Verwenden einer Fuzzy-Logik-Methodik enthalten, um die eine oder mehreren Betriebsbedingungen bei 126, einschließlich z.B. des Materials, in das der begrenzte Laserbohrer 62 hinein gerichtet wird, zu bestimmen.

[0071] Jedoch kann das beispielhafte Verfahren 120 in noch weiteren beispielhaften Aspekten der vorliegenden Erfindung zusätzlich oder alternativ bei 124 noch andere Eigenschaften des Lichts, das entlang der Strahlachse gerichtet ist, erfassen und bei 126 weitere Betriebsbedingungen bestimmen. Weiterhin Bezugnehmend auf Fig. 5, sowie auf eine beispielhafte graphische Darstellung 170 des erfassten Rauschens in den Lichtintensitätswerten, die in Fig. 8 geliefert ist, kann das Erfassen einer Eigenschaft des Lichts bei 124 z.B. zusätzlich oder alternativ ein Erfassen des Rauschens in der Intensität des Lichtes, das entlang der Strahlachse von dem Schaufelblatt 38 weg gerichtet ist, mit dem Sensor 88 enthalten. Insbesondere zeigt die beispielhafte Graphik 170 nach Fig. 8 mit der Linie 172 ein erfasstes Rauschniveau in der Lichtintensität und mit der Linie 174 eine erfasste Lichtintensität. In einem derartigen beispielhaften Aspekt kann das Bestimmen einer oder mehrerer Betriebsbedingungen bei 126 zusätzlich oder alternativ ein Erfassen /Bestimmen eines Rauschniveaus in der Intensität des entlang der Strahlachse von dem Schaufelblatt 38 weg gerichteten Lichtes enthalten. In dem hierin verwendeten Sinne bezeichnet der Ausdruck „Rauschniveau“ eine Schwankung der mit dem Sensor 88 erfassten Lichtintensität oder einer anderen Charakteristik. Zusätzlich kann in einem derartigen beispielhaften Aspekt das Bestimmen einer oder mehrerer Betriebsbedingungen bei 126 ferner ein Bestimmen einer Tiefe des Lochs 52, das gebohrt wird, basierend auf dem bestimmten Rauschniveau in der Intensität des entlang der Strahlachse von dem Schaufelblatt 38 weg gerichteten Lichtes enthalten. Insbesondere ist festgestellt worden, dass während eines Bohrvorgangs in bestimmten Schaufelblättern 38 oder anderen Komponenten von Gasturbinen ein erhöhter Rauschanteil in der entlang der Strahlachse bei 124 erfassten Lichtintensität durch Faktoren, wie beispielsweise die Tiefe des gebohrten Lochs 52 und ein Seitenverhältnis des gebohrten Lochs 52, hervorgerufen wird. Demgemäß kann durch Erfassen des Rauschniveaus in der Intensität des entlang der Strahlachse von der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 weg gerichteten Lichtes eine Tiefe des Loches 52 bestimmt werden, indem ein derartiges Rauschniveau z.B. mit einer Nachschlagetabelle verglichen wird, die Lochtiefen mit Rauschniveaus in der Lichtintensität in Beziehung setzt, wobei das spezielle Loch 52, das gebohrt wird, und beliebige sonstige relevante Faktoren mit berücksichtigt werden. Diese Nachschlagetabellenwerte können experimentell ermittelt werden.

[0072] Weiterhin bezugnehmend auf Fig. 5 enthält das beispielhafte Verfahren 120 ferner bei 128 ein Bestimmen eines angezeigten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 des begrenzten Laserbohrers 62 durch die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 der Gasturbine. Ein Bestimmen des angezeigten Durchbruchs bei 128 kann auch auf der Basis der Eigenschaft des entlang der Strahlachse mit dem Sensor 88 bei 124 erfassten Lichts vorgenommen werden. Erneut Bezug nehmend auf die graphische Darstellung 150 nach Fig. 6 kann, wenn die Lichtintensität bei 124 erfasst wird, die erfasste Lichtintensität während des Bohrens des Lochs 52 abnehmen. Demgemäß kann das beispielhafte Verfahren 120 einen angezeigten Durchbruch des begrenzten Laserstrahls des begrenzten Laserbohrers 62 durch die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 bei 128 auf der Basis einer erfassten Lichtintensität, die unter einen vorbestimmten Schwellen-/Durchbruchwert fällt, bestimmen. Wenn z.B. der vorbestimmte Schwellen-/Durchbruchwert der Linie 156 ent-

spricht, kann das Verfahren 120 einen angezeigten Durchbruch bei 128 an dem Punkt 158 auf der Graphik 150 bestimmen. Dieser vorbestimmte Schwellen-/Durchbruchwert kann experimentell oder basierend auf bekannten Werten ermittelt werden.

[0073] Das Verfahren nach Fig. 5 enthält ferner bei 130 ein Feststellen eines Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 durch die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 basierend z.B. auf dem bei 128 bestimmten angezeigten Durchbruch und/oder den bei 126 bestimmten Betriebsbedingungen. Z.B. kann das beispielhafte Verfahren 120 nach Fig. 5 einen Durchbruch des begrenzten Laserstrahls bei 130 nach der Bestimmung eines angezeigten Durchbruchs bei 128 und der Bestimmung einer oder mehrerer Betriebseigenschaften bei 126 feststellen. Insbesondere kann das beispielhafte Verfahren 120 nach Fig. 5 einen Durchbruch des begrenzten Laserstrahls bei 130 feststellen, sobald ein angezeigter Durchbruch bei 128 bestimmt worden ist, zusätzlich dazu, dass eine oder mehrere Betriebsbedingungen, die bei 126 bestimmt werden, ein vorbestimmtes Kriterium erfüllen - z.B. die Tiefe des Lochs 52 größer als ein vorbestimmter Wert ist oder das Material, in das der begrenzte Laserstrahl hinein gerichtet ist, nicht der Metallteil oder die Wärmedämmbeschichtung ist. Ein Verfahren 120 zum Bohren eines Lochs 52 entsprechend einem derartigen beispielhaften Aspekt kann eine genauere Durchbruchdetektion beim Bohren mit dem begrenzten Laser ermöglichen.

[0074] Insbesondere kann das Loch 52, obwohl ein Teil des begrenzten Laserstrahls die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen haben kann, nicht fertiggestellt sein. Spezieller kann das Loch 52 noch nicht eine gewünschte Geometrie entlang einer gesamten Länge des Lochs 52 definieren. Demgemäß enthält das beispielhafte Verfahren 120 nach Fig. 5 für den dargestellten beispielhaften Aspekt ferner bei 132 ein weiteres Richten des begrenzten Laserstrahls 64 in Richtung auf die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 nach der Feststellung eines Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls bei 130. Das Verfahren 120 kann die Erfassung einer Lichteigenschaft, wie beispielsweise einer Lichtintensität, einer Lichtwellenlänge oder eines Rauschens in der Intensität des entlang der Strahlachse von dem Schaufelblatt 38 weg gerichteten Lichtes mit dem Sensor 88 fortsetzen. Außerdem enthält das Verfahren 120 bei 134 ein Feststellen einer Fertigstellung des Lochs 52 in der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 basierend auf der entlang der Strahlachse mit dem Sensor 88 erfassten Lichteigenschaft. Z. B. kann das Feststellen der Fertigstellung des Lochs 52 bei 134 ein Feststellen einer angezeigten Fertigstellung enthalten basierend auf: der erfassten Intensität des reflektierten Lichtes entlang der Strahlachse; einer reflektierten Pulsrate und/oder reflektierten Pulsbreite des entlang der Strahlachse reflektierten Lichtes; einer Wellenlänge des reflektierten Lichtes auf der Strahlachse; und/oder eines Rauschanteils in der Intensität des entlang der einen Strahlachse reflektierten Lichtes.

[0075] Das beispielhafte Verfahren 120 nach Fig. 5 enthält ferner bei 136 ein Verändern eines Betriebsparameters des begrenzten Laserbohrers 62, wie beispielsweise einer Leistung des begrenzten Laserbohrers 62, einer Pulsrate des begrenzten Laserbohrers 62 oder einer Pulsbreite des begrenzten Laserbohrers 62, basierend auf der bei 126 bestimmten Betriebsbedingung, basierend auf dem bei 128 bestimmten angezeigten Durchbruch und/oder basierend auf der Feststellung eines Durchbruchs bei 130. Z.B. kann das Verfahren 120 ein Verändern eines Betriebsparameters bei 136 als Reaktion auf eine Feststellung, dass der begrenzte Laserstrahl 64 des begrenzten Laserbohrers 62 in den Metallteil des Schaufelblattes 38 verglichen mit der Wärmedämmbeschichtung des Schaufelblattes 38 gerichtet ist, eine Feststellung eines angezeigten Durchbruchs bei 128 und/oder eine Feststellung eines einsetzenden Durchbruchs des begrenzten Laserbohrers 62 bei 130 enthalten.

Außerhalb der Komponente positionierter, ins Innere der Komponente gerichteter Sensor

[0076] Indem nun auf die Fig. 9 und Fig. 10 Bezug genommen wird, ist ein System 60 gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung geschaffen. Insbesondere zeigt Fig. 9 eine schematische Ansicht eines Systems 60 gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bevor ein begrenzter Laserstrahl 64 eines begrenzten Laserbohrers 62 eine nahegelegene Wand 66 eines Schaufelblattes 38 durchbricht, und Fig. 10 zeigt eine schematische Ansicht des beispielhaften Systems 60 nach Fig. 9, nachdem der begrenzte Laserstrahl 64 des begrenzten Laserbohrers 62 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat. Obwohl es im Zusammenhang mit einem Schaufelblatt 38 erläutert ist, kann das System 60 in anderen Ausführungsformen mit einer beliebigen sonstigen geeigneten Komponente einer Gasturbine verwendet werden.

[0077] Das beispielhafte System 60, wie es in den Fig. 9 und Fig. 10 dargestellt ist, kann im Wesentlichen in der gleichen Weise wie das beispielhafte System 60 gemäß den Fig. 3 und Fig. 4 eingerichtet sein, und die gleichen oder ähnliche Bezugszeichen können die gleichen oder ähnliche Teile bezeichnen. Z.B. enthält das System 60 einen begrenzten Laserbohrer 62, der einen begrenzten Laserstrahl 64 verwendet, wobei der begrenzte Laserbohrer 62 eingerichtet ist, um ein oder mehrere Löcher 52 oder Kühldurchgänge in einer nahegelegenen Wand 66 eines Schaufelblattes 38 zu bohren. Außerdem ist die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38, wie dargestellt, benachbart zu einem Hohlraum 46, der durch das Schaufelblatt 38 definiert ist, positioniert. Darüber hinaus ist ferner ein Rückschlagschutzmechanismus 82 vorgesehen, der dazu eingerichtet ist, eine entfernte Wand 86 des Schaufelblattes 38 zu schützen, wobei die entfernte Wand 86 auf der zu der nahegelegenen Wand 66 gegenüberliegenden Seite des Hohlraums 46 positioniert ist.

[0078] Jedoch ist für die Ausführungsform gemäß den Fig. 9 und Fig. 10 ein Sensor 98 außerhalb des Hohlraums 46 positioniert und in den Hohlraum 46 hinein gerichtet, um eine Lichteigenschaft innerhalb des Hohlraums 46 zu erfassen. Wie in größeren Einzelheiten nachstehend erläutert, ist das System 60 dazu eingerichtet, einen Durchbruch des begrenzten Laserstrahls 64 durch die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 auf der Basis der innerhalb des Hohlraums

46 des Schaufelblattes 38 erfassten Lichteigenschaft festzustellen. In manchen beispielhaften Ausführungsformen kann der Sensor 98 z.B. ein optischer Sensor, ein Oszilloskopsensor oder ein beliebiger sonstiger geeigneter Sensor sein, der in der Lage ist, eine oder mehrere der folgenden Lichteigenschaften zu erfassen: eine Lichtmenge, eine Lichtintensität und eine Lichtwellenlänge.

[0079] Für die dargestellte Ausführungsform ist der Sensor 98 außerhalb des Schaufelblattes 38 positioniert, so dass der Sensor 98 eine Sichtlinie 100 zu der Strahlachse A des begrenzten Laserstrahls 64 definiert. In dem hierin verwendeten Sinne bezeichnet der Ausdruck „Sichtlinie“ eine gerade Linie von einer Position zu einer anderen Position, die frei von jeglichen strukturellen Hindernissen ist. Demgemäß kann der Sensor 98 an einer beliebigen Stelle außerhalb des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 positioniert werden, die dem Sensor 98 ermöglicht, die Sichtlinie 100 zu der Strahlachse A innerhalb des Hohlraums 46 zu definieren. Z. B. ist der Sensor 98 in der dargestellten Ausführungsform benachbart zu der (schematisch dargestellten) Öffnung 54 des Schaufelblattes 38 positioniert und durch die Öffnung 54 des Schaufelblattes 38 hindurch in den Hohlraum 46 des Schaufelblattes 38 hinein gerichtet.

[0080] Gewöhnlich ist es schwierig Licht von einem Laserstrahl zu erfassen, sofern ein derartiger Laserstrahl nicht mit einer Oberfläche in Kontakt tritt (wenn beispielsweise das Licht reflektiert und/oder abgelenkt wird) oder sofern der Sensor 98 nicht einer Achse des Laserstrahls fluchtend ausgerichtet positioniert ist. Für die dargestellte Ausführungsform ist der Rückschlagschutzmechanismus 82 dazu eingerichtet, den begrenzten Laserstrahl 64 innerhalb des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 zu stören, nachdem der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat. Insbesondere enthält der begrenzte Laserstrahl 64, wie vorstehend erwähnt, eine Flüssigkeitssäule 80 und einen Laserstrahl 74 innerhalb der Flüssigkeitssäule 80. Insbesondere bezugnehmend auf Fig. 10 stört, wenn der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat, ein Gas 84, das durch den Hohlraum 46 von dem Rückschlagschutzmechanismus 82 strömen gelassen wird, die Flüssigkeitssäule 80 des begrenzten Laserstrahls 64 innerhalb des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 in einer derartigen Weise, dass wenigstens ein Teil der Flüssigkeit aus der Flüssigkeitssäule 80 die Strahlachse A und den Laserstrahl 74 schneidet. Die die Strahlachse A schneidende Flüssigkeit kann wenigstens teilweise durch den Laserstrahl 74 des begrenzten Laserstrahls 64 innerhalb des Hohlraums 46 angestrahlt sein. Demgemäß kann der Sensor 98, der in den Hohlraum 46 des Schaufelblattes 38 hinein gerichtet ist, eine Lichteigenschaft, wie beispielsweise eine Lichtintensität, von dem durch den Laserstrahl 74 angestrahlten Teil der Flüssigkeit detektieren.

[0081] In manchen Ausführungsformen kann der Sensor 98 derart außerhalb des Hohlraums 46 positioniert und in den Hohlraum 46 hinein gerichtet sein, dass der Sensor 98 konfiguriert ist, um Licht aus dem Innenraum des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 an mehreren Stellen zu detektieren. Insbesondere kann der Sensor 98 außerhalb des Hohlraums 46 positioniert und in den Hohlraum 46 hinein derart gerichtet sein, dass der Sensor 98 eine Sichtlinie 100 mit der Strahlachse A des begrenzten Laserstrahls 64 an einer ersten Lochstelle sowie mit einer zweiten Strahlachse A' des begrenzten Laserstrahls 64 an einer zweiten Lochstelle definiert (vgl. Fig. 10). Eine derartige Ausführungsform kann ein zeiteffizientes und komfortableres Bohren von z.B. Kühllöchern in einem Schaufelblatt 38 für eine Gasturbine ermöglichen.

[0082] Indem nun auf Fig. 11 Bezug genommen wird, ist ein Blockdiagramm eines beispielhaften Verfahrens 200 zum Bohren eines Lochs 52 in einem Schaufelblatt 38 einer Gasturbine bereitgestellt. Das beispielhafte Verfahren 200 nach Fig. 11 kann mit dem beispielhaften System 60, das in den Fig. 9 und Fig. 10 dargestellt und vorstehend beschrieben ist, verwendet werden. Demgemäß kann das beispielhafte Verfahren 200, obwohl es im Zusammenhang mit dem Bohren eines Lochs 52 in einem Schaufelblatt 38 beschrieben ist, alternativ dazu verwendet werden, ein Loch 52 in einer beliebigen sonstigen geeigneten Komponente einer Gasturbine zu bohren.

[0083] Wie veranschaulicht, enthält das beispielhafte Verfahren 200 bei 202 ein Richten eines begrenzten Laserstrahls 64 eines begrenzten Laserbohrers 62 in Richtung auf eine erste Lochposition an einer nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38. Die nahegelegene Wand 66 kann benachbart zu einem in dem Schaufelblatt 38 definierten Hohlraum 46 positioniert sein. Das Verfahren 200 enthält ferner bei 204 ein Erfassen einer Lichteigenschaft innerhalb des Hohlraums 46, der durch das Schaufelblatt 38 definiert ist, unter Verwendung eines Sensors 98, der außerhalb des durch das Schaufelblatt 38 definierten Hohlraums 46 positioniert ist. In manchen beispielhaften Aspekten kann der Sensor 98 benachbart zu einer Öffnung, die durch das Schaufelblatt 38 definiert ist, positioniert und durch die Öffnung hindurch in den Hohlraum 46 hinein gerichtet sein. Der Sensor 98 kann folglich an einer Stelle positioniert sein, die sich nicht mit einer Strahlachse, die durch den begrenzten Laserstrahl 64 definiert ist, kreuzt, sondern eine Sichtlinie zu der Strahlachse, die durch den begrenzten Laserstrahl 64 definiert ist, innerhalb des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 definiert.

[0084] Das Verfahren 200 enthält ferner bei 206 ein Aktivieren eines Rückschlagschutzmechanismus 82. Das Aktivieren des Rückschlagschutzmechanismus 82 bei 206 kann z.B. als Reaktion auf ein Betreiben des begrenzten Laserbohrers 62 für eine vorbestimmte Zeitdauer erfolgen. Außerdem kann das Aktivieren des Rückschlagschutzmechanismus 82 bei 206 ein Strömenlassen eines Gases 84 durch den Hohlraum 46 des Schaufelblattes 38 in einer derartigen Weise enthalten, dass das Gas 84 die Strahlachse innerhalb des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 kreuzt. Demgemäß enthält das Verfahren 200, wenn der begrenzte Laserstrahl des begrenzten Laserbohrers 62 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbricht, ferner bei 208 ein Stören des begrenzten Laserstrahls innerhalb des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 mit dem Rückschlagschutzmechanismus 82. Insbesondere kann das Stören des begrenzten Laserstrahls innerhalb des Hohlraums 46 bei 208 ein Stören einer Flüssigkeitssäule 80 des begrenzten Laserstrahls in einer derartigen Weise enthalten, dass eine Flüssigkeit aus der Flüssigkeitssäule 80 die Strahlachse und einen Laserstrahl des begrenzten

Laserstrahls schneidet. Die die Strahlachse schneidende Flüssigkeit kann wenigstens teilweise durch den Laserstrahl des begrenzten Laserstrahls innerhalb des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 angestrahlt sein.

[0085] Das beispielhafte Verfahren 200 nach Fig. 11 enthält ferner bei 210 ein Feststellen eines ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 durch die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 an der ersten Lochposition basierend auf dem mit dem Sensor 98 bei 204 aus dem Innenraum des Hohlraums 46 erfassten Licht. In manchen beispielhaften Aspekten kann das Erfassen einer Lichteigenschaft bei 204 innerhalb des Hohlraums 46 mit dem Sensor 98 ein Erfassen einer Lichtintensität aus dem Teil der Flüssigkeit des begrenzten Laserstrahls, der durch den Laser des begrenzten Laserstrahls 64 angestrahlt wird, enthalten. Ferner kann in einem derartigen beispielhaften Aspekt das Feststellen des ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 bei 210 ein Feststellen des ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 basierend auf der erfassten Lichtintensität von dem Teil der Flüssigkeit des begrenzten Laserstrahls 64, der durch den Laserstrahl des begrenzten Laserstrahls 64 angestrahlt wird, enthalten.

[0086] Nach der Feststellung des ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 bei 210 kann das beispielhafte Verfahren 200 ein Abschalten des begrenzten Laserbohrers 62 und Neupositionieren des begrenzten Laserbohrers 62 zum Bohren eines zweiten Kühllochs enthalten. Außerdem enthält das beispielhafte Verfahren 200 bei 212 ein Richten des begrenzten Laserstrahls 64 des begrenzten Laserbohrers 62 in Richtung auf eine zweite Lochposition an der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38. Das Verfahren 200 enthält ferner bei 214 ein Erfassen einer Lichteigenschaft innerhalb des durch das Schaufelblatt 38 definierten Hohlraums 46 unter Verwendung des Sensors 98 nach dem Richten des begrenzten Laserstrahls in Richtung auf die zweite Lochposition bei 212. Ferner enthält das Verfahren 200 nach Fig. 11 bei 216 ein Feststellen eines zweiten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 durch die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 auf der Basis der erfassten Lichteigenschaft aus dem Innenraum des Hohlraums 46. Das Feststellen des zweiten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 bei 216 kann in einer Weise durchgeführt werden, die der Feststellung des ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 bei 210 im Wesentlichen ähnlich ist. Außerdem bleibt der Sensor 98 für den dargestellten beispielhaften Aspekt zwischen der Feststellung des ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 bei 210 und der Feststellung des zweiten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 bei 216 stationär. Zum Beispiel kann der Sensor 98 derart positioniert sein, dass er eine Sichtlinie mit der Strahlachse des begrenzten Laserstrahls 64 an mehreren Lochpositionen (einschließlich der ersten Lochposition und der zweiten Lochposition) definiert. Es sollte jedoch erkannt werden, dass in anderen beispielhaften Aspekten der Sensor 98 bewegt, neu positioniert oder neu ausgerichtet werden kann, um eine Sichtlinie zu nachfolgenden Lochpositionen aufrechtzuerhalten oder zu schaffen, falls z.B. die Kühllöcher, die gebohrt werden, einen nichtlinearen Weg definieren.

[0087] Das beispielhafte Verfahren 200 nach Fig. 11 kann ein zeiteffizienteres und komfortableres Bohren mehrerer Löcher 52 durch die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 hindurch unter Verwendung eines begrenzten Laserbohrers 62 ermöglichen.

Erfassen der Flüssigkeit außerhalb der Komponente

[0088] Indem nun auf die Fig. 12 und Fig. 13 Bezug genommen wird, ist ein System 60 gemäß einer noch weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bereitgestellt. Insbesondere zeigt Fig. 12 eine schematische Ansicht eines Systems 60 gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bevor ein begrenzter Laserstrahl 64 eines begrenzten Laserbohrers 62 eine nahegelegene Wand 66 eines Schaufelblattes 38 durchbrochen hat. Zusätzlich zeigt Fig. 13 eine schematische Ansicht des beispielhaften Systems 60 nach Fig. 12, nachdem der begrenzte Laserstrahl 64 des begrenzten Laserbohrers 62 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat. Es sollte erkannt werden, dass, obwohl das beispielhafte System 60 gemäß den Fig. 12 und Fig. 13 im Zusammenhang mit einem Schaufelblatt 38 erläutert ist, das System 60 in anderen Ausführungsformen mit einer beliebigen sonstigen Komponente einer Gasturbine verwendet werden kann.

[0089] Das beispielhafte System 60, wie es in den Fig. 12 und Fig. 13 dargestellt ist, kann im Wesentlichen in der gleichen Weise wie das beispielhafte System 60 gemäß den Fig. 3 und Fig. 4 eingerichtet sein, und die gleichen oder ähnliche Bezugszeichen können sich auf die gleichen oder ähnliche Teile beziehen. Zum Beispiel enthält das beispielhafte System 60 gemäß den Fig. 12 und Fig. 13 einen begrenzten Laserbohrer 62 (der in den Fig. 12 und Fig. 13 der Einfachheit wegen schematisch dargestellt ist), der einen begrenzten Laserstrahl 64 einsetzt. Der begrenzte Laserstrahl 64 enthält eine Flüssigkeitssäule 80, die aus einer Flüssigkeit und einem Laserstrahl 74 innerhalb der Flüssigkeitssäule 80 ausgebildet ist. Der begrenzte Laserbohrer 62 ist dazu eingerichtet, ein oder mehrere Löcher 52 oder Kühldurchgänge durch eine nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 hindurch zu bohren. Für die dargestellte Ausführungsform ist die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 benachbart zu einem Hohlraum 46 positioniert, der durch das Schaufelblatt 38 definiert ist.

[0090] Jedoch enthält das System 60 für die Ausführungsform gemäß den Fig. 12 und Fig. 13 einen außerhalb der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 positionierten Sensor 102, der dazu eingerichtet ist, eine Flüssigkeitsmenge aus dem begrenzten Laserstrahl 64, die außerhalb der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 vorhanden ist, zu bestimmen. Eine Steuereinrichtung 72 steht in wirksamer Kommunikationsverbindung mit dem Sensor 102. Die Steuereinrichtung 72 ist dazu eingerichtet, einen Durchbruch des begrenzten Laserstrahls 64 durch die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 basierend auf der Flüssigkeitsmenge, die durch den Sensor 102 als vorhanden bestimmt wird, festzustellen. Insbesondere kann, bevor der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbricht, Flüssigkeit aus der Flüssigkeitssäule 80 des begrenzten Laserstrahls 64 während der Bohroperation

(d.h. während der Operation mit dem begrenzten Laserbohrer 62) von der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 weg zurückspritzen. Die Flüssigkeit aus dem begrenzten Laserstrahl 64 kann eine Fahne 106 der zurückspritzenden Flüssigkeit bilden, die das in der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 gerade gebohrte Loch 52 umgibt. Die Fahne 106 kann in einem Rückspritzbereich 104, der durch das System 60 definiert ist, angeordnet sein. Außerdem kann der begrenzte Laserbohrer 62 in manchen beispielhaften Ausführungsformen, wie beispielsweise in der Ausführungsform gemäß den Fig. 12 und Fig. 13, innerhalb einer relativ engen Nähe zu der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 positioniert sein, so dass der begrenzte Laserbohrer 62 innerhalb des Rückspritzbereiches 104 positioniert ist. Zum Beispiel kann der begrenzte Laserbohrer 62 in manchen Ausführungsformen einen Abstand zu der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 zwischen etwa 5 Millimetern () und etwa 25 mm, beispielsweise zwischen etwa 7 mm und etwa 20 mm, beispielsweise zwischen etwa 10 mm und etwa 15 mm, definieren. Jedoch kann der begrenzte Laserbohrer 62 in anderen Ausführungsformen einen beliebigen sonstigen geeigneten Abstand zu der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 definieren.

[0091] Im Gegensatz hierzu kann, nachdem der begrenzte Laserbohrer 62 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat (Fig. 13), Flüssigkeit aus der Flüssigkeitssäule 80 des begrenzten Laserstrahls 64 durch das gebohrte Loch 52 hindurch und in den Hohlraum 46 des Schaufelblattes 38 hineinfließen. Demgemäß kann der begrenzte Laserbohrer 62, nachdem der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat, nicht die Fahne 106 der rückspritzenden Flüssigkeit in dem Rückspritzbereich 104 definieren, oder alternativ kann die Fahne 106 kleiner sein oder ansonsten eine andere Form im Vergleich zu ihrer Größe und Form, bevor der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat, definieren.

[0092] Für die Ausführungsform gemäß den Fig. 12 und Fig. 13 kann der Sensor 102 als ein beliebiger Sensor eingerichtet sein, der in der Lage ist, eine Flüssigkeitsmenge aus dem begrenzten Laserstrahl 64, die außerhalb der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 vorhanden ist, zu bestimmen. Zum Beispiel kann der Sensor 102 in manchen beispielhaften Aspekten eine Kamera enthalten. Wenn der Sensor 102 eine Kamera enthält, kann die Kamera des Sensors 102 auf den begrenzten Laserstrahl 62 gerichtet sein, oder alternativ kann die Kamera des Sensors 102 auf das Loch 52 in der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 gerichtet sein. In jeder dieser Ausführungsformen kann der Sensor 102 eingerichtet sein, um ein Bilderkennungsverfahren einzusetzen um festzustellen, ob eine vorbestimmte Flüssigkeitsmenge in dem Rückspritzbereich 104 vorhanden ist oder nicht. Zum Beispiel kann der Sensor 102 eingerichtet sein, um ein oder mehrere Bilder, die von der Kamera des Sensors 102 empfangen werden, mit einem oder mehreren gespeicherten Bildern zu vergleichen, um die Flüssigkeitsmenge, die vorhanden ist, zu bestimmen. Insbesondere kann der Sensor 102 eingerichtet sein, um ein oder mehrere Bilder, die von der Kamera empfangen werden, mit einem oder mehreren gespeicherten Bildern des begrenzten Laserbohrers 62 oder des Lochs 52 mit einer vorhandenen Flüssigkeitsmenge, die dafür kennzeichnend ist, dass der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat, zu vergleichen.

[0093] Es sollte jedoch erkannt werden, dass in anderen beispielhaften Ausführungsformen ein beliebiger sonstiger geeigneter Sensor 102 vorgesehen sein kann. Zum Beispiel kann der Sensor 102 in anderen beispielhaften Ausführungsformen ein Bewegungssensor, ein Feuchtigkeitssensor oder ein beliebiger sonstiger geeigneter Sensor sein. Wenn der Sensor 102 zum Beispiel ein Bewegungssensor ist, kann der Sensor 102 bestimmen, ob eine Fahne 106 der rückgespritzten Flüssigkeit in dem Rückspritzbereich 104 vorhanden ist oder nicht. Ein Durchbruch kann festgestellt werden, wenn die Fahne 106 der rückgespritzten Flüssigkeit nicht mehr in dem Rückspritzbereich 104 vorhanden ist.

[0094] Indem nun auf die Fig. 14 und Fig. 15 Bezug genommen wird, ist ein System 60 gemäß einer noch weiteren beispielhaften Ausführungsform geschaffen. Das beispielhafte System 60 gemäß den Fig. 14 und Fig. 15 ist im Wesentlichen in der gleichen Weise wie das beispielhafte System 60 gemäß den Fig. 12 und Fig. 13 eingerichtet. Jedoch ist der Sensor 102 für die beispielhafte Ausführungsform gemäß den Fig. 14 und Fig. 15 als ein optischer Sensor eingerichtet, und das System 60 enthält ferner eine Lichtquelle 108, die von dem begrenzten Laserbohrer 62 gesondert ist. Die Lichtquelle 108 kann eine beliebige geeignete Lichtquelle sein. Zum Beispiel kann die Lichtquelle 108 eine oder mehrere LED-Glühlampen, eine oder mehrere Glühlampen, eine oder mehrere Elektroluminiszenzlampen, ein oder mehrere Laser oder Kombinationen von diesen sein.

[0095] Wie erwähnt, definiert der begrenzte Laserbohrer 62 einen Rückspritzbereich 104, in dem Flüssigkeit aus dem begrenzten Laserstrahl 64 spritzt, bevor der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbricht. Für die dargestellte Ausführungsform ist die Lichtquelle 108 außerhalb des Schaufelblattes 38 positioniert und dazu eingerichtet, ein Licht durch wenigstens einen Teil des Rückspritzbereiches 104 hindurch zu richten. Außerdem ist die Lichtquelle 108 für die dargestellte Ausführungsform direkt auf der gegenüberliegenden Seite des Rückspritzbereiches 104 zu dem Sensor 102 positioniert, wobei die Lichtquelle 108 auf den Sensor 102 gerichtet ist und der Sensor 102 auf die Lichtquelle 108 gerichtet ist. Jedoch können die Lichtquelle 108 und der Sensor 102 in anderen beispielhaften Ausführungsformen in Bezug auf den Rückspritzbereich 104 zueinander versetzt angeordnet sein, die Lichtquelle 108 kann nicht auf den Sensor 102 gerichtet sein und/oder der Sensor 102 kann nicht auf die Lichtquelle 108 gerichtet sein.

[0096] Wie erwähnt, ist der Sensor 102 für die dargestellte Ausführungsform auf die Lichtquelle 108 gerichtet, und die Lichtquelle 108 ist auf den Sensor 102 gerichtet, so dass eine Achse der Lichtquelle den Sensor 102 schneidet. In einer derartigen Ausführungsform kann das Erfassen einer Lichtintensität oberhalb einer vorbestimmten Schwelle anzeigen, dass eine verringerte Flüssigkeitsmenge aus dem begrenzten Laserstrahl 64 außerhalb des Schaufelblattes 38 vorhanden

ist und dass somit der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat. Wenn Flüssigkeit in dem Rückspritzbereich 104 vorhanden ist, kann insbesondere eine derartige Flüssigkeit Licht aus der Lichtquelle 108 stören oder ablenken, so dass eine durch den Sensor 102 erfasste Lichtintensität relativ gering ist. Im Gegensatz hierzu ist, wenn keine Flüssigkeit oder eine minimale Flüssigkeitsmenge in dem Rückspritzbereich 104 vorhanden ist, das Maß der Störungen zwischen der Lichtquelle 108 und dem Sensor 102 begrenzt, so dass eine relativ hohe Lichtintensität durch den Sensor 102 erfasst werden kann. Demgemäß kann bei einer derartigen Konfiguration ein Erfassen einer relativ hohen Lichtintensität anzeigen, dass der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat.

[0097] In weiteren beispielhaften Ausführungsformen, wenn beispielsweise die Lichtquelle 108 nicht auf den Sensor 102 gerichtet ist und der Sensor 102 nicht auf die Lichtquelle 108 gerichtet ist, zeigt jedoch das Erfassen einer Lichtintensität unterhalb einer vorbestimmten Schwelle an, dass eine verringerte Flüssigkeitsmenge aus dem begrenzten Laserstrahl 64 außerhalb des Schaufelblattes 38 vorhanden ist. Wenn insbesondere die Lichtquelle 108 nicht auf den Sensor 102 gerichtet ist und der Sensor 102 nicht auf die Lichtquelle 108 gerichtet ist, kann der Sensor 102 eine erhöhte Lichtintensität erfassen, wenn Licht aus der Lichtquelle durch die Flüssigkeit in dem Rückspritzbereich 104 abgelenkt und reflektiert wird. Wenn jedoch keine Flüssigkeit oder eine minimale Flüssigkeitsmenge in dem Rückspritzbereich 104 vorhanden ist, wird Licht aus der Lichtquelle durch eine derartige Flüssigkeit nicht abgelenkt oder reflektiert, und der Sensor 102 kann folglich eine relativ geringe Lichtintensität erfassen. Demgemäß kann in einer derartigen beispielhaften Ausführungsform ein Erfassen einer Lichtintensität unterhalb einer vorbestimmten Schwelle anzeigen, dass der begrenzte Laserstrahl 64 die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 durchbrochen hat.

[0098] Indem nun auf Fig. 16 Bezug genommen wird, ist ein Blockdiagramm eines beispielhaften Verfahrens 300 zum Bohren eines Lochs 52 in einem Schaufelblatt 38 einer Gasturbine bereitgestellt. Das beispielhafte Verfahren 300 nach Fig. 16 kann mit dem beispielhaften System 60, das in den Fig. 12 und Fig. 13 dargestellt ist, und/oder dem beispielhaften System 60, das in den Fig. 14 und Fig. 15 dargestellt ist, die beide vorstehend beschrieben sind, verwendet werden. Demgemäß kann das beispielhafte Verfahren 300, obwohl es im Zusammenhang mit dem Bohren eines Lochs 52 in einem Schaufelblatt 38 erläutert ist, alternativ dazu verwendet werden, ein Loch 52 in einer beliebigen sonstigen geeigneten Komponente einer Gasturbine zu bohren.

[0099] Wie veranschaulicht, enthält das beispielhafte Verfahren 300 bei 302 ein Positionieren eines begrenzten Laserbohrers 62 innerhalb eines vorbestimmten Abstands zu einer nahegelegenen Wand 66 eines Schaufelblattes 38 einer Gasturbine. Das beispielhafte Verfahren 300 enthält ferner bei 304 ein Richten eines begrenzten Laserstrahls 64 des begrenzten Laserbohrers 62 in Richtung auf eine Außenfläche der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38. Der begrenzte Laserstrahl 64 enthält eine Flüssigkeitssäule, die aus einer Flüssigkeit und einem Laserstrahl innerhalb der Flüssigkeitssäule ausgebildet ist. Das beispielhafte Verfahren 300 enthält ferner bei 306 ein Erfassen einer Flüssigkeitsmenge, die außerhalb der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 vorhanden ist, aus dem begrenzten Laserstrahl 64 mit einem Sensor 102. Außerdem enthält das beispielhafte Verfahren 300 bei 308 ein Feststellen eines Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 des begrenzten Laserbohrers 62 durch die nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 der Gasturbine auf der Basis einer außerhalb der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 bei 306 erfassten Flüssigkeitsmenge.

[0100] In manchen beispielhaften Aspekten, in denen der Sensor 102 eine Kamera enthält, kann das Erfassen einer außerhalb der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 vorhandenen Flüssigkeitsmenge bei 306 einen Vergleich eines oder mehrerer Bilder, die von der Kamera empfangen werden, mit einem oder mehreren gespeicherten Bildern enthalten, um die Flüssigkeitsmenge, die vorhanden ist, zu bestimmen. Es kann eine beliebige geeignete Mustererkennungssoftware eingesetzt werden, um eine derartige Funktionalität bereitzustellen.

Verwendung mehrerer Sensoren

[0101] Indem nun auf Fig. 17 Bezug genommen wird, ist ein System 60 gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bereitgestellt. Es sollte erkannt werden, dass, obwohl das beispielhafte System 60 nach Fig. 17 im Zusammenhang mit einem Schaufelblatt 38 erläutert ist, das System 60 in weiteren Ausführungsformen mit einer beliebigen sonstigen Komponente einer Gasturbine verwendet werden kann.

[0102] Das beispielhafte System 60 nach Fig. 17 kann im Wesentlichen in der gleichen Weise wie das beispielhafte System 60 gemäß den Fig. 3 und Fig. 4 eingerichtet sein, und die gleichen oder ähnliche Bezugszeichen können sich auf die gleichen oder ähnliche Teile beziehen. Zum Beispiel enthält das beispielhafte System 60 nach Fig. 17 einen begrenzten Laserbohrer 62, der einen begrenzten Laserstrahl 64 einsetzt. Der begrenzte Laserstrahl 64 ist dazu eingerichtet, ein Loch 52 durch eine nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38 hindurch zu bohren. Die nahegelegene Wand 66 ist, wie veranschaulicht, benachbart zu einem durch das Schaufelblatt 38 definierten Hohlraum 46 positioniert. Das System 60 enthält ferner eine Steuereinrichtung 72.

[0103] Das beispielhafte System 60 nach Fig. 17 enthält ferner einen ersten Sensor 110, der dazu eingerichtet ist, eine erste Eigenschaft des Lichtes aus dem Loch 52 in der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 zu erfassen. Das beispielhafte System 60 enthält ferner einen zweiten Sensor 112, der dazu eingerichtet ist, eine zweite Eigenschaft des Lichtes aus dem Loch 52 und der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 zu erfassen. Die zweite Lichteigenschaft unterscheidet sich von der ersten Lichteigenschaft. Außerdem ist die Steuereinrichtung 72 dem ersten Sensor 110 und

dem zweiten Sensor 112 funktionsmäßig verbunden und ist dazu eingerichtet, einen Fortschritt des Lochs 52, das mit dem begrenzten Laserbohrer 62 gebohrt wird, auf der Basis der erfassten ersten Lichteigenschaft und der erfassten zweiten Lichteigenschaft zu bestimmen.

[0104] Für die in Fig. 17 dargestellte Ausführungsform ist der erste Sensor 110 außerhalb des Schaufelblattes 38 positioniert, und er ist ferner positioniert, um Licht zu erfassen, das von dem Loch 52 entlang einer Strahlachse A reflektiert und/oder abgelenkt wird, d.h. entlang der Strahlachse A von der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 weg gerichtet ist. Zum Beispiel kann der erste Sensor 110 im Wesentlichen in der gleichen Weise wie der Sensor 88 eingerichtet sein, der vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 3 und Fig. 4 beschrieben ist. Demgemäß kann der erste Sensor 110 ein Oszilloskopsensor oder ein beliebiger sonstiger geeigneter optischer Sensor sein.

[0105] Außerdem ist für die Ausführungsform nach Fig. 17 der zweite Sensor 112 ebenfalls außerhalb des Schaufelblattes 38 positioniert und in Richtung auf das Loch 52 in der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 gerichtet. Insbesondere ist der zweite Sensor 112 derart positioniert, dass der zweite Sensor 112 eine Sichtlinie 114 mit dem Loch 52 definiert, wobei sich die Sichtlinie 114 in eine zu der Strahlachse A nicht parallele Richtung erstreckt. Der zweite Sensor 112 kann in manchen Ausführungsformen ein optischer Sensor sein, der eingerichtet ist, um eine oder mehrere von einer Lichtintensität, einer Lichtwellenlänge und einer Lichtmenge zu erfassen.

[0106] Wie in größeren Einzelheiten nachstehend unter Bezugnahme auf Fig. 18 erläutert ist, kann die erste Lichteigenschaft in manchen beispielhaften Ausführungsformen eine Lichtintensität bei einer ersten Wellenlänge sein, und die zweite Lichteigenschaft kann eine Lichtintensität bei einer zweiten Wellenlänge sein. Ein Erfassen des Lichtes bei der ersten Wellenlänge kann dafür kennzeichnend sein, dass der begrenzte Laserstrahl 64 auf eine erste Schicht, wie beispielsweise eine Wärmedämmbeschichtung 36, der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 auftrifft. Im Unterschied hierzu kann das Erfassen eines Lichtes bei der zweiten Wellenlänge dafür kennzeichnend sein, dass der begrenzte Laserstrahl 64 auf eine zweite Schicht, wie beispielsweise einen Metallteil 40, der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 auftrifft. Die Steuereinrichtung 72 kann eingerichtet sein, um die Lichtintensität, die bei der ersten Wellenlänge durch den ersten Sensor 110 erfasst wird, mit der Lichtintensität zu vergleichen, die bei der zweiten Wellenlänge durch den zweiten Sensor 112 erfasst wird, um einen Fortschritt des Loches 52 zu bestimmen.

[0107] Es sollte jedoch erkannt werden, dass in anderen beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung der erste Sensor 110 und der zweite Sensor 112 an einer beliebigen sonstigen geeigneten Stelle positioniert sein können. Z.B. können der erste Sensor 110 und der zweite Sensor 112 in weiteren beispielhaften Ausführungsformen jeweils positioniert sein, um Licht zu erfassen, das entlang der Strahlachse A von der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 weg gerichtet ist. Alternativ können der erste Sensor 110 und der zweite Sensor 112 jeweils derart positioniert sein, dass jeder jeweilige Sensor 110, 112 eine Sichtlinie zu dem Loch 52 in der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 definiert, die zu der Strahlachse A nicht parallel verläuft. Alternativ kann einer von dem ersten Sensor 110 und dem zweiten Sensor 112 oder können beide Sensoren 101, 112 außerhalb des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 positioniert und in den Hohlraum 46 des Schaufelblattes 38 hinein gerichtet sein (ähnlich z.B. dem Sensor 98, der vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 9 und Fig. 10 erläutert ist) oder kann/können innerhalb des Hohlraums 46 des Schaufelblattes 38 positioniert sein. Alternativ kann einer von dem ersten Sensor 110 und dem zweiten Sensor 112 oder können beide Sensoren 110, 112 außerhalb des Schaufelblattes 38 positioniert und auf eine Umgebungsfläche gerichtet sein, um von dem Loch 52 auf die Umgebungsfläche reflektiertes Licht zu detektieren. In einer noch weiteren Alternative können der erste Sensor 110 und der zweite Sensor 112 in manchen beispielhaften Ausführungsformen beide zu einer einzigen Erfassungsvorrichtung an einer beliebigen geeigneten Stelle integriert sein.

[0108] Indem nun auf Fig. 18 Bezug genommen wird, ist ein Blockdiagramm eines beispielhaften Verfahrens 400 zum Bohren eines Lochs 52 in einem Schaufelblatt 38 einer Gasturbine bereitgestellt. Das beispielhafte Verfahren 400 nach Fig. 10 kann mit dem beispielhaften System 60, das in Fig. 17 dargestellt und vorstehend beschrieben ist, verwendet werden. Demgemäß kann das beispielhafte Verfahren 400, obwohl es im Zusammenhang mit dem Bohren eines Lochs 52 in einem Schaufelblatt 38 erläutert ist, alternativ verwendet werden, um ein Loch 52 in einem beliebigen sonstigen geeigneten Schaufelblatt 38 einer Gasturbine zu bohren.

[0109] Das beispielhafte Verfahren 400 nach Fig. 18 enthält bei 402 ein Richten eines begrenzten Laserstrahls 64 eines begrenzten Laserbohrers 62 in Richtung auf eine nahegelegene Wand 66 des Schaufelblattes 38. Die nahegelegene Wand 66 ist benachbart zu einem in dem Schaufelblatt 38 definierten Hohlraum positioniert, und der begrenzte Laserstrahl 64 definiert eine Strahlachse. Das beispielhafte Verfahren 400 enthält weiterhin bei 404 ein Erfassen einer ersten Eigenschaft eines Lichts aus dem Loch 52 in dem Schaufelblatt 38 mit einem ersten Sensor 110. In manchen beispielhaften Aspekten kann der erste Sensor 110 außerhalb des Schaufelblattes 38 positioniert sein, und die erste Lichteigenschaft kann eine Lichtintensität bei einer ersten Wellenlänge sein. Das Erfassen des Lichtes bei der ersten Wellenlänge kann dafür kennzeichnend sein, dass der begrenzte Laserstrahl 64 auf eine erste Schicht der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 auftrifft oder gerichtet ist. Z.B. kann das Erfassen des Lichtes bei der ersten Wellenlänge dafür kennzeichnend sein, dass der begrenzte Laserstrahl 64 auf eine Wärmedämmbeschichtung der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 auftrifft.

[0110] Das beispielhafte Verfahren 400 enthält ferner bei 406 ein Erfassen einer zweiten Eigenschaft eines Lichts aus dem Loch 52 in dem Schaufelblatt 38 mit einem zweiten Sensor 112. Die zweite Lichteigenschaft, die mit dem zweiten

Sensor 112 bei 406 erfasst wird, unterscheidet sich von der ersten Lichteigenschaft, die mit dem ersten Sensor 110 bei 404 erfasst wird. Z.B. kann in manchen beispielhaften Aspekten die zweite Lichteigenschaft eine Lichtintensität bei einer zweiten Wellenlänge sein. Die zweite Wellenlänge kann dafür kennzeichnend sein, dass der begrenzte Laserstrahl 64 auf eine zweite Schicht der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 auftrifft. Z.B. kann das Erfassen des Lichtes bei der zweiten Wellenlänge dafür kennzeichnend sein, dass der begrenzte Laserstrahl 64 auf einen Metallteil 40 der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 auftrifft.

[0111] Das Verfahren 400 enthält ferner bei 408 ein Bestimmen eines Lochfortschritts auf der Basis der ersten Lichteigenschaft, die bei 404 erfasst wird, und der zweiten Lichteigenschaft, die bei 406 erfasst wird. In manchen beispielhaften Aspekten kann das Bestimmen des Lochfortschritts bei 408 auf der Basis der ersten Lichteigenschaft, die bei 404 erfasst wird, und der zweiten Lichteigenschaft, die bei 406 erfasst wird, einen Vergleich der Lichtintensität, die bei der ersten Wellenlänge erfasst wird, mit einer Lichtintensität, die bei der zweiten Wellenlänge erfasst wird, enthalten. Z.B. kann ein Verhältnis der bei der ersten Wellenlänge erfassten Lichtintensität zu der bei der zweiten Wellenlänge erfassten Lichtintensität einen Fortschritt des Lochs 52 durch die erste Schicht der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 anzeigen.

[0112] In manchen beispielhaften Aspekten kann das Bestimmen des Lochfortschritts bei 408 auf der Basis der bei 404 erfassten ersten Lichteigenschaft und der bei 406 erfassten zweiten Lichteigenschaft ferner ein Feststellen enthalten, dass das Loch 52 um wenigstens ein vorbestimmtes Maß durch die erste Schicht der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 geschaffen ist. Z.B. kann das beispielhafte Verfahren 400 ein Feststellen enthalten, dass das Loch 52 um wenigstens etwa 90% durch die erste Schicht der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38, wie beispielsweise um wenigstens etwa 95% durch die erste Schicht der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38, beispielsweise um wenigstens etwa 98% durch die erste Schicht der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 geschaffen ist.

[0113] Zusätzlich kann es, abhängig von bestimmten Faktoren, wie beispielsweise der Materialart, aus der die Wärmedämmbeschichtung hergestellt ist, erwünscht sein, durch die Wärmedämmbeschichtung der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 hindurch mit einer geringen Leistung als durch den darunter liegenden Metallteil des Schaufelblattes 38 zu bohren. Demgemäß kann das Verfahren 400 als Reaktion auf die Bestimmung des Lochfortschrittes bei 408, z.B. in Abhängigkeit von der Feststellung, dass das Loch 52 um wenigstens ein vorbestimmtes Maß durch die erste Schicht der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 geschaffen ist, ferner bei 410 ein Einstellen eines oder mehrerer Betriebsparameter des begrenzten Laserbohrers 62 enthalten. Z.B. kann das Verfahren 400 ein Erhöhen einer Leistung, ein Erhöhen einer Pulsrate und/oder ein Erhöhen einer Pulsbreite des begrenzten Laserbohrers 62 enthalten.

[0114] Es wird jedoch erkannt, dass in anderen beispielhaften Aspekten die erste Lichteigenschaft und die zweite Lichteigenschaft jeweils eine beliebige sonstige geeignete Lichteigenschaft sein können. Z.B. kann der erste Sensor 110 in anderen beispielhaften Aspekten ein geeigneter optischer Sensor sein, und die erste Lichteigenschaft kann eine Lichtintensität sein. Ein derartiger beispielhafter Aspekt kann ferner ein Bestimmen entweder einer reflektierten Pulsbreite des begrenzten Laserbohrers 62 und/oder einer reflektierten Pulsfrequenz des begrenzten Laserbohrers 62 enthalten. Ähnlich zu der Art und Weise, wie sie in größeren Einzelheiten vorstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 3 bis Fig. 5 erläutert ist, kann das beispielhafte Verfahren 400 nach Fig. 18 auf der Basis der bestimmten reflektierten Pulsbreite des begrenzten Laserbohrers 62 und/oder der bestimmten Pulsfrequenz des begrenzten Laserbohrers 62 ferner ein Bestimmen einer Tiefe des Lochs 52, das mit dem begrenzten Laserbohrer 62 gebohrt wird, enthalten. Außerdem kann der zweite Sensor 112 in einem derartigen beispielhaften Aspekt auch ein optischer Sensor sein, und die zweite Lichteigenschaft kann eine Wellenlänge des Lichtes sein. Wie erwähnt, kann die Wellenlänge des Lichtes für das Material, in das der begrenzte Laserstrahl 64 hinein gerichtet ist, gekennzeichnet sein. Demgemäß kann das beispielhafte Verfahren 400 nach Fig. 18 ferner ein Bestimmen eines Materials, in das der begrenzte Laserstrahl 64 hinein gerichtet ist, basierend auf der mit dem zweiten Sensor 112 erfassten Lichtwellenlänge enthalten.

[0115] In einem derartigen beispielhaften Aspekt kann das beispielhafte Verfahren 400 nach Fig. 18 in Reaktion auf die Bestimmung der Tiefe des Lochs 52 und die Bestimmung des Materials, in das der begrenzte Laserstrahl 64 hinein gerichtet ist, ferner ein Einstellen eines oder mehrerer Betriebsparameter des begrenzten Laserbohrers 62 enthalten. Insbesondere kann das beispielhafte Verfahren 400 nach Fig. 18 ferner ein Feststellen, dass das Loch 52 durch die erste Schicht der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 hindurch gebohrt worden ist, und ein Erhöhen einer Leistung, Erhöhen einer Pulsrate und/oder Erhöhen einer Pulsbreite des begrenzten Laserbohrers 62, um bei dem Bohren durch den Metallteil der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 zu unterstützen, enthalten. Alternativ kann das beispielhafte Verfahren 400 nach Fig. 18 ferner ein Feststellen, dass das Loch 52 um wenigstens ein vorbestimmtes Maß durch den Metallteil der nahegelegenen Wand 66 des Schaufelblattes 38 geschaffen ist, enthalten und kann eine Leistung verringern, eine Pulsrate verringern und/oder eine Pulsbreite des begrenzten Laserbohrers 62 verringern, um eine unnötige Beschädigung z.B. an einer entfernten Wand 66 des Schaufelblattes 38 zu verhindern.

[0116] Bei jedem beliebigen der vorstehenden beispielhaften Aspekte sollte erkannt werden, dass das Bestimmen des Lochfortschritts bei 408 auf der Basis der bei 404 erfassten ersten Lichteigenschaft und der bei 406 erfassten zweiten Lichteigenschaft ein Verwenden einer beliebigen geeigneten Steuermethodik enthalten kann. Z.B. kann das Bestimmen des Lochfortschritts bei 408 ein Verwenden von Naschlagetabellen unter Berücksichtigung bestimmter Faktoren enthalten. Diese Nachschlagetabellen können experimentell bestimmt werden. Außerdem oder alternativ kann das Bestimmen des Lochfortschritts bei 408 den Einsatz einer Fuzzy-Logik-Steuermethodik zur Analyse der bei 404 bzw. 406 erfassten ersten bzw. zweiten Lichteigenschaft enthalten.

[0117] Diese schriftliche Beschreibung verwendet Beispiele, um die Erfindung, einschließlich der besten Ausführungsart, zu offenbaren und auch um jeden Fachmann auf dem Gebiet zu befähigen, die Erfindung in die Praxis umzusetzen, wozu die Schaffung und Verwendung jeglicher Vorrichtungen oder Systeme und die Durchführung jeglicher enthaltener Verfahren 400 gehören. Der patentierbare Umfang der Erfindung ist durch die Ansprüche definiert.

[0118] Es ist ein Verfahren 400 zum Bohren eines Lochs 52 in einer Komponente geschaffen. Das Verfahren 400 enthält ein Richten eines begrenzten Laserstrahls 64 des begrenzten Laserbohrers 62 in Richtung auf eine erste Lochposition an einer nahegelegenen Wand 66 der Komponente. Das Verfahren 400 enthält ferner ein Erfassen einer Lichteigenschaft innerhalb eines durch die Komponente definierten Hohlraums 46. Die nahegelegene Wand 66 ist benachbart zu dem Hohlraum 46 positioniert, und der Sensor 102 ist außerhalb des Hohlraums 46 positioniert. Das Verfahren 400 enthält ferner ein Feststellen eines ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls 64 durch die nahegelegene Wand 66 der Komponente an der ersten Lochposition basierend auf dem Licht aus dem Innenraum des Hohlraums 46, das mit dem Sensor 102 erfasst wird. Ein derartiges Verfahren 400 kann ein komfortableres und zeiteffizienteres Bohren in Gasturbinenkomponenten ermöglichen.

Patentansprüche

1. Verfahren (120, 200, 300, 400) zum Bohren eines Lochs (52) in einer Wand (66) einer Komponente, wobei das Verfahren (120, 200, 300, 400) aufweist:
einen Laserstrahl (64), der mittels eines Lichtführungs- und -fokussierungsmechanismus eines Laserbohrers (62) begrenzt ist, in Richtung auf eine erste Lochposition an der Wand (66) der Komponente zu richten, um ein Loch (52) an der ersten Lochposition durch die Wand (66) der Komponente zu bohren, wobei die Wand (66) benachbart zu einem in der Komponente definierten Hohlraum (46) positioniert ist;
Erfassen einer Lichteigenschaft innerhalb des durch die Komponente definierten Hohlraums (46) unter Verwendung eines Sensors (88, 98, 102), der außerhalb des durch die Komponente definierten Hohlraums (46) positioniert ist; und
Feststellen eines ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls (64) durch die Wand (66) der Komponente an der ersten Lochposition basierend auf dem mit dem Sensor (88, 98, 102) erfassten Licht aus dem Innenraum des Hohlraums (46).
2. Verfahren (120, 200, 300, 400) nach Anspruch 1, wobei die Komponente ein Schaufelblatt (38) einer Gasturbine ist; und/oder wobei der Sensor (88, 98, 102) ein optischer Sensor ist.
3. Verfahren (120, 200, 300, 400) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der begrenzte Laserstrahl (64) eine Strahlachse definiert und wobei der Sensor (88, 98, 102) an einer Stelle positioniert ist, die die Strahlachse nicht schneidet und die eine Sichtlinie zu der Strahlachse innerhalb des Hohlraums (46) definiert.
4. Verfahren (120, 200, 300, 400) nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, das ferner aufweist:
Aktivieren eines Rückschlagschutzmechanismus (82) und
Stören des begrenzten Laserstrahls (64) innerhalb des Hohlraums (46) mit dem Rückschlagschutzmechanismus (82).
5. Verfahren (120, 200, 300, 400) nach Anspruch 4, wobei der begrenzte Laserstrahl (64) eine Strahlachse definiert, wobei das Aktivieren eines Rückschlagschutzmechanismus (82) ein Einleiten eines Gases (84) in den Hohlraum (46) der Komponente in einer derartigen Weise enthält, dass das Gas (84) die Strahlachse innerhalb des Hohlraums (46) der Komponente kreuzt.
6. Verfahren (120, 200, 300, 400) nach Anspruch 4, wobei der begrenzte Laserstrahl (64) eine Strahlachse definiert, wobei der begrenzte Laserstrahl (64) eine Flüssigkeitssäule (80) und einen Laser aufweist, wobei das Stören des begrenzten Laserstrahls (64) innerhalb des Hohlraums (46) ein Stören der Flüssigkeitssäule (80) des begrenzten Laserstrahls (64) in einer derartigen Weise aufweist, dass eine Flüssigkeit aus der Flüssigkeitssäule (80) die Strahlachse schneidet, und wobei die die Strahlachse schneidende Flüssigkeit wenigstens teilweise durch den Laser des begrenzten Laserstrahls (64) innerhalb des Hohlraums (46) angestrahlt wird.
7. Verfahren (120, 200, 300, 400) nach Anspruch 6, wobei das Erfassen einer Lichteigenschaft innerhalb des Hohlraums (46) ein Erfassen einer Lichtintensität von dem Teil der Flüssigkeit der Flüssigkeitssäule (80) des begrenzten Laserstrahls (64), der durch den Laser des begrenzten Laserstrahls (64) angestrahlt wird, aufweist; und wobei das Feststellen des ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls (64) vorzugsweise ein Feststellen des ersten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls (64) auf der Basis der erfassten Lichtintensität von dem Teil der Flüssigkeit der Flüssigkeitssäule (80) des begrenzten Laserstrahls (64), der durch den Laser des begrenzten Laserstrahls (64) angestrahlt wird, aufweist.
8. Verfahren (120, 200, 300, 400) nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Komponente eine zu dem Hohlraum (46) führende Öffnung definiert und wobei der Sensor (88, 98, 102) benachbart zu der Öffnung positioniert und durch die Öffnung hindurch sowie in den Hohlraum (46) hinein gerichtet wird.
9. Verfahren (120, 200, 300, 400) nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, das ferner aufweist:
Richten des begrenzten Laserstrahls (64) des begrenzten Laserbohrers (62) in Richtung auf eine zweite Lochposition an der Wand (66) der Komponente;

CH 710 615 B1

Erfassen einer Lichteigenschaft innerhalb des durch die Komponente definierten Hohlraums (46) unter Verwendung des Sensors (88, 98, 102) nach dem Richten des begrenzten Laserstrahls (64) des begrenzten Laserbohrers (62) in Richtung auf die zweite Lochposition an der Wand (66) der Komponente; und
Feststellen eines zweiten Durchbruchs des begrenzten Laserstrahls (64) durch die Wand (66) der Komponente an der zweiten Lochposition auf der Basis der erfassten Lichteigenschaft aus dem Innenraum des Hohlraums (46), wobei der Sensor (88, 98, 102) zwischen der Feststellung des ersten Durchbruchs und der Feststellung des zweiten Durchbruchs stationär bleibt.

10. System zum Bohren eines oder mehrerer Löcher (52) in einer Wand (66) einer Komponente, wobei das System aufweist:
 - einen mittels eines Lichtführungs- und -fokussierungsmechanismus begrenzten Laserbohrer (62), der einen mittels eines Lichtführungs- und -fokussierungsmechanismus begrenzten Laserstrahl (64) verwendet, wobei der begrenzte Laserbohrer (62) dazu eingerichtet ist, ein oder mehrere Löcher (52) in der Wand (66) der Komponente zu bohren, wobei die Wand (66) benachbart zu einem durch die Komponente definierten Hohlraum (46) positioniert ist;
 - eine Rückschlagschutzmechanismus (82), der eingerichtet ist, um eine entfernte Wand (66) der Komponente zu schützen, wobei die entfernte Wand (66) auf der zu der Wand (66) gegenüberliegenden Seite des Hohlraums (46) positioniert ist; und
 - einen Sensor (88, 98, 102), der außerhalb des Hohlraums (46) positioniert und in den Hohlraum (46) hinein gerichtet ist, um eine Eigenschaft eines Lichts innerhalb des Hohlraums (46) zu erfassen, wobei das System eingerichtet ist, um einen Durchbruch des begrenzten Laserbohrers (62) durch die Wand (66) der Komponente auf der Basis der Eigenschaft des innerhalb des Hohlraums (46) der Komponente erfassten Lichts festzustellen.

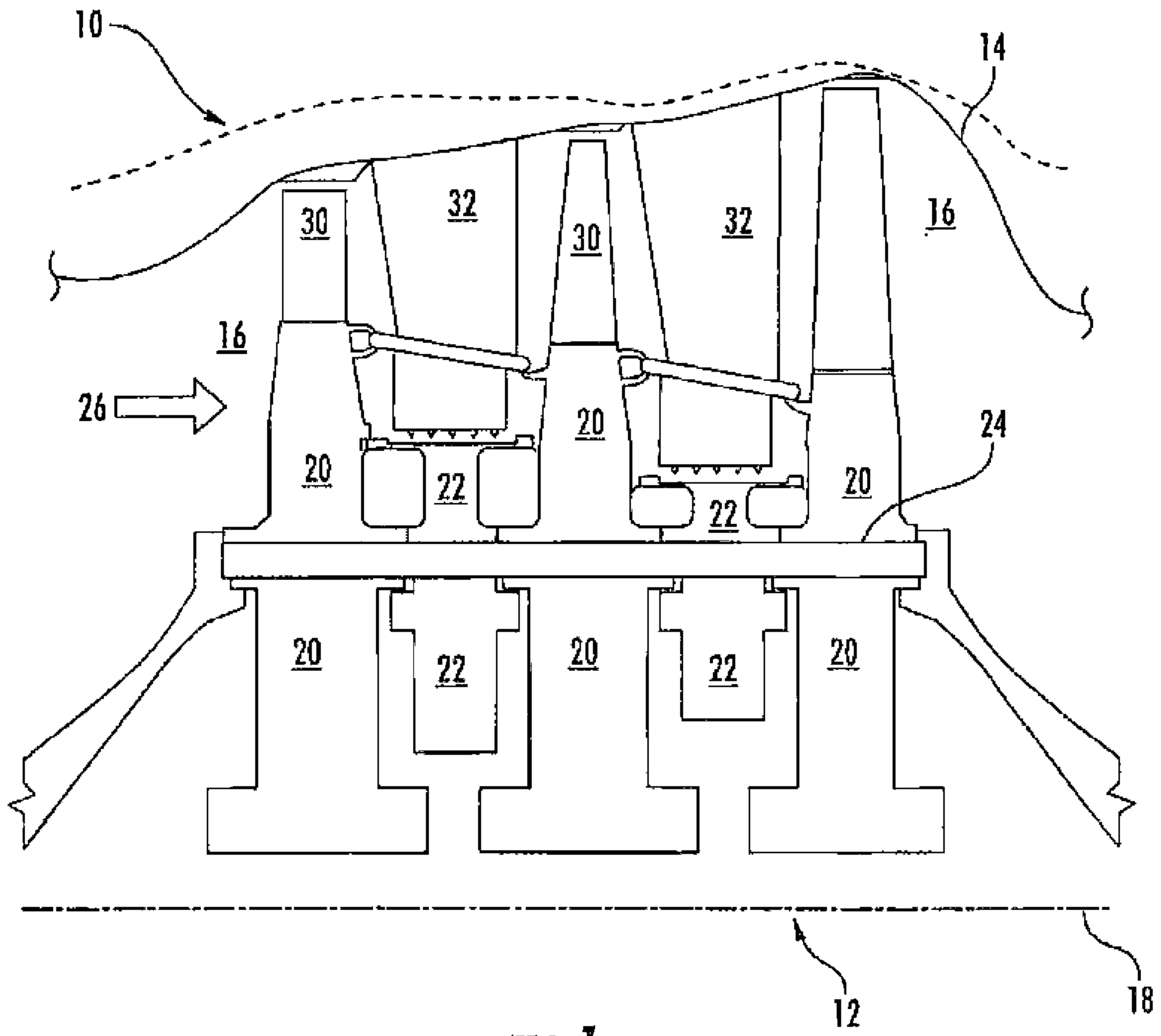
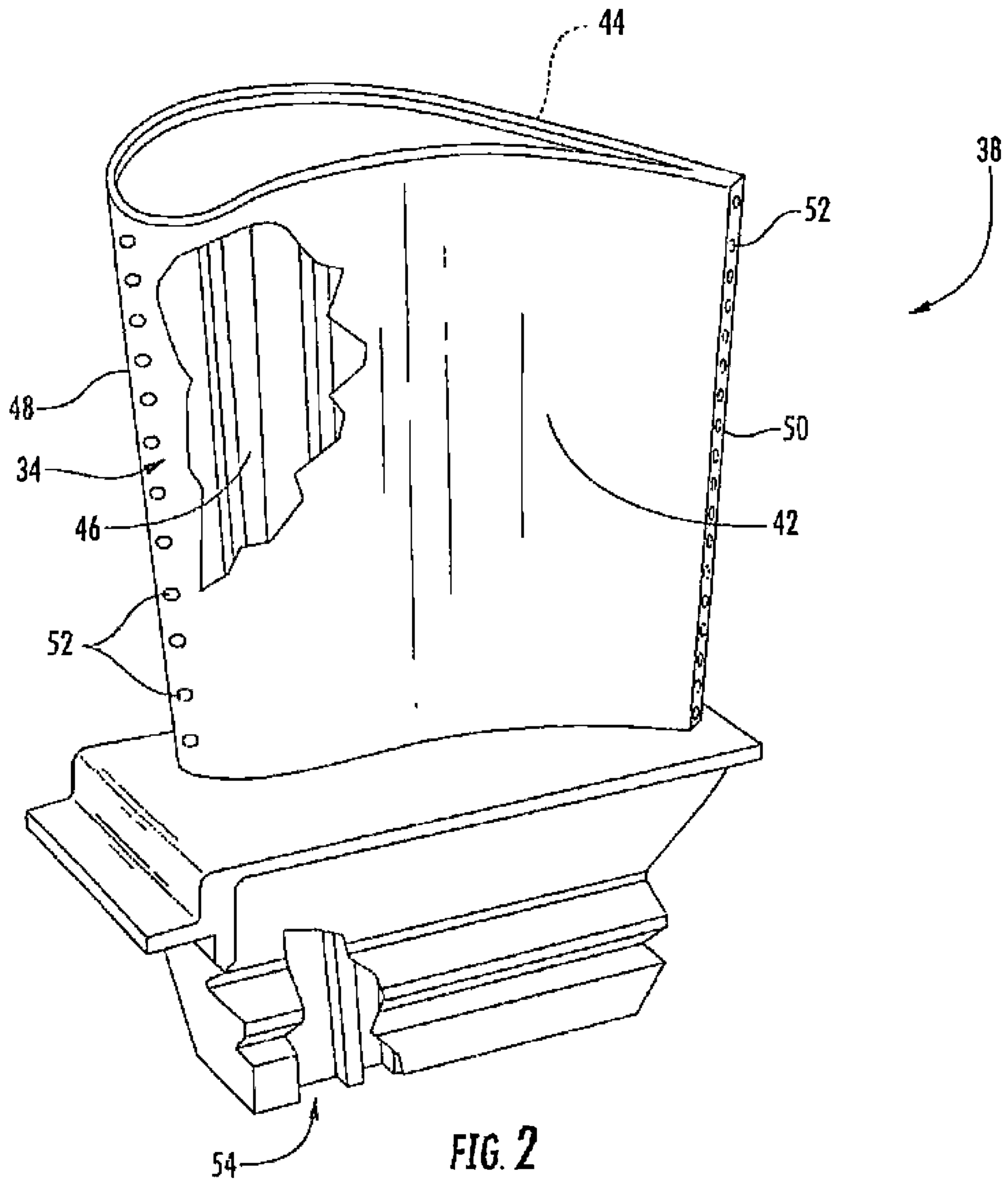


FIG. 1



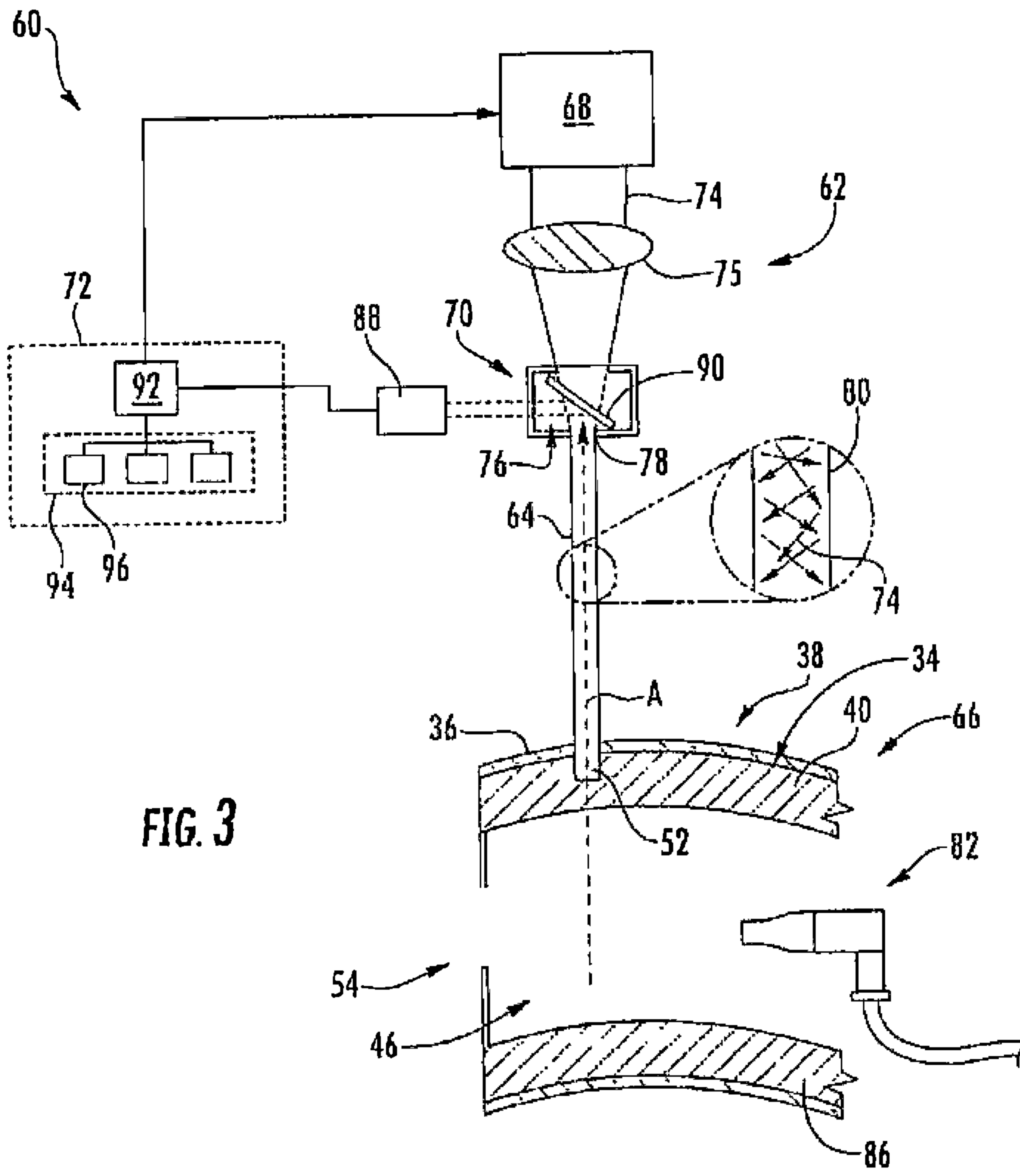


FIG. 3

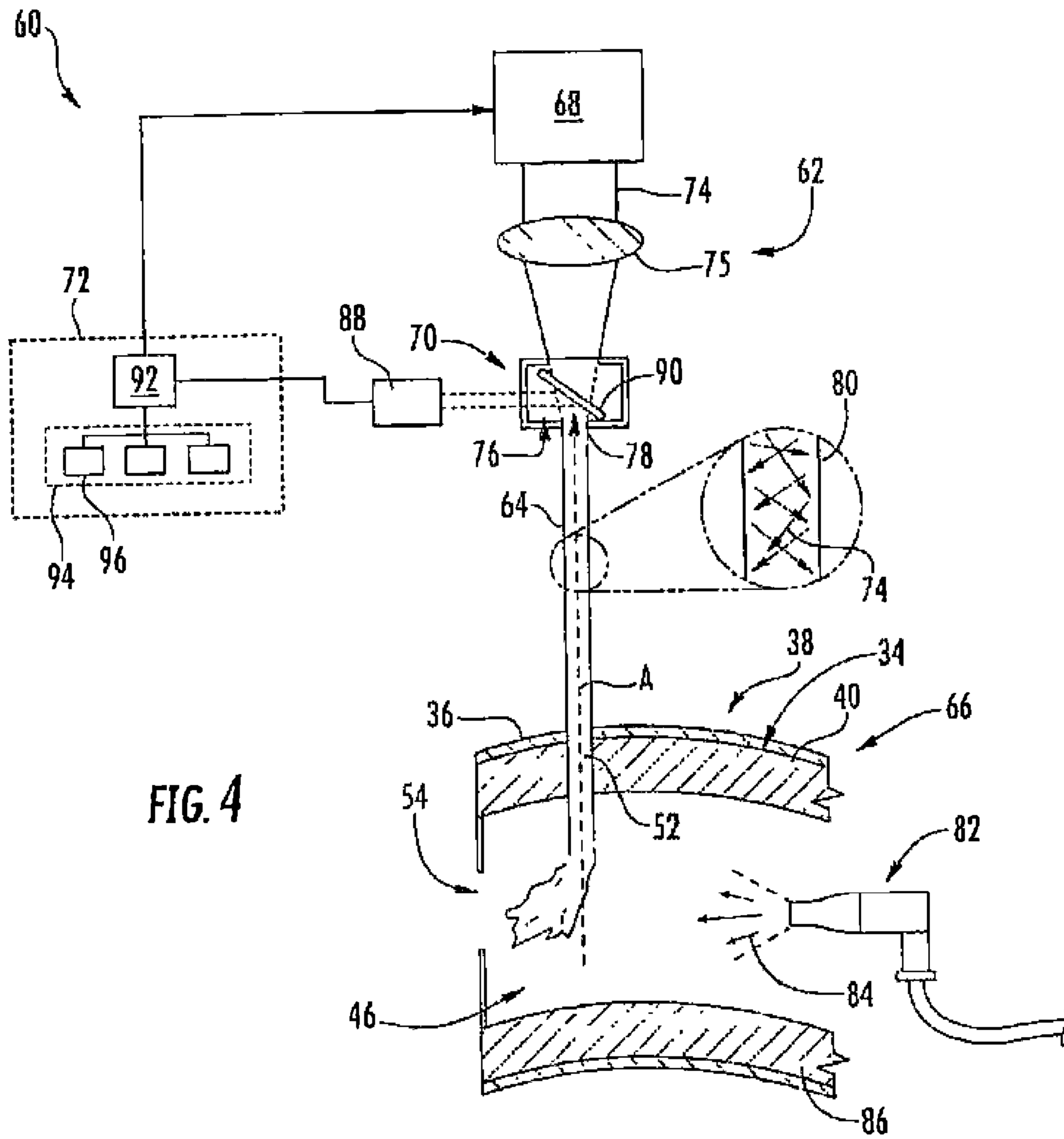


FIG. 4

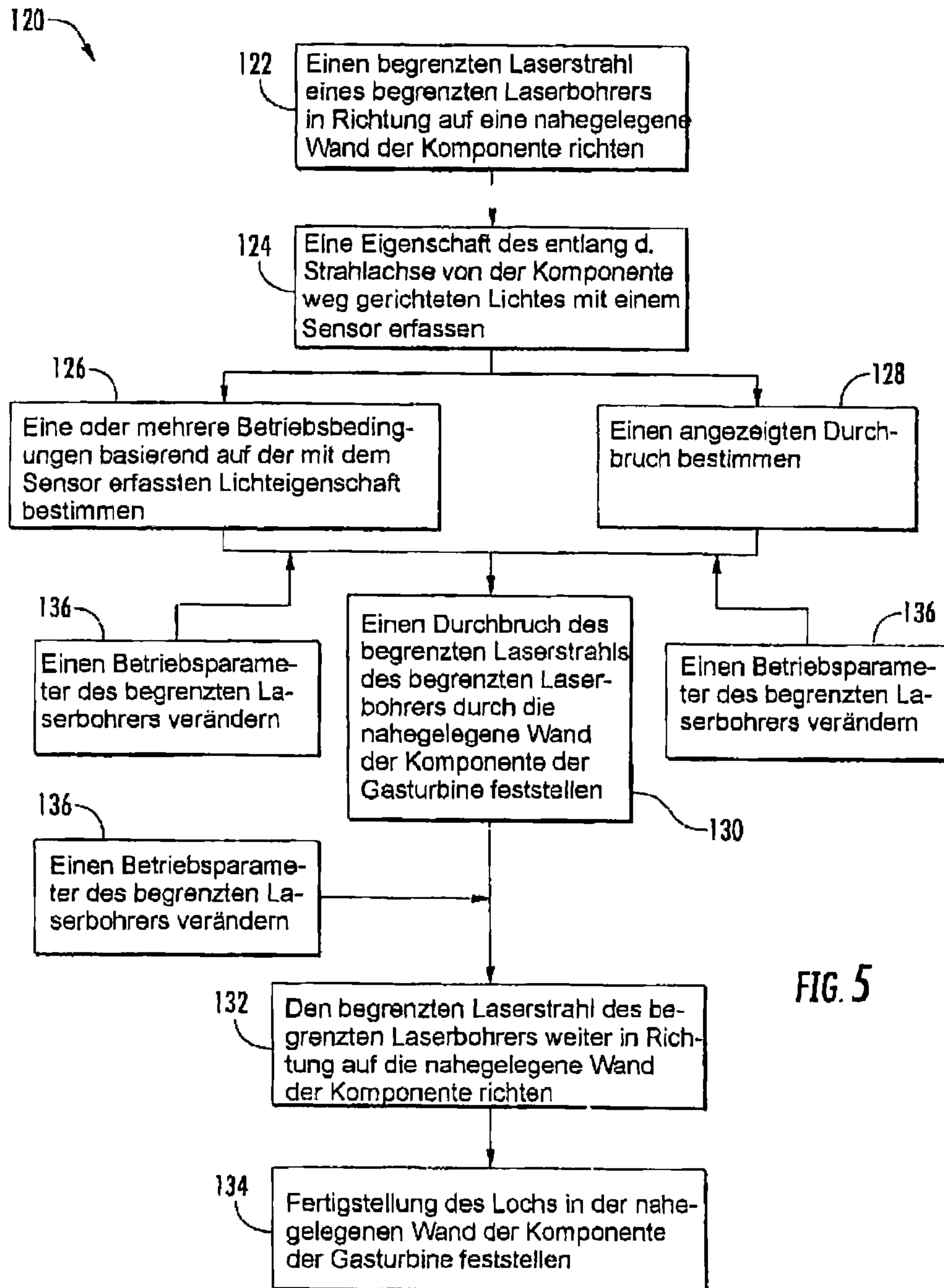


FIG. 5

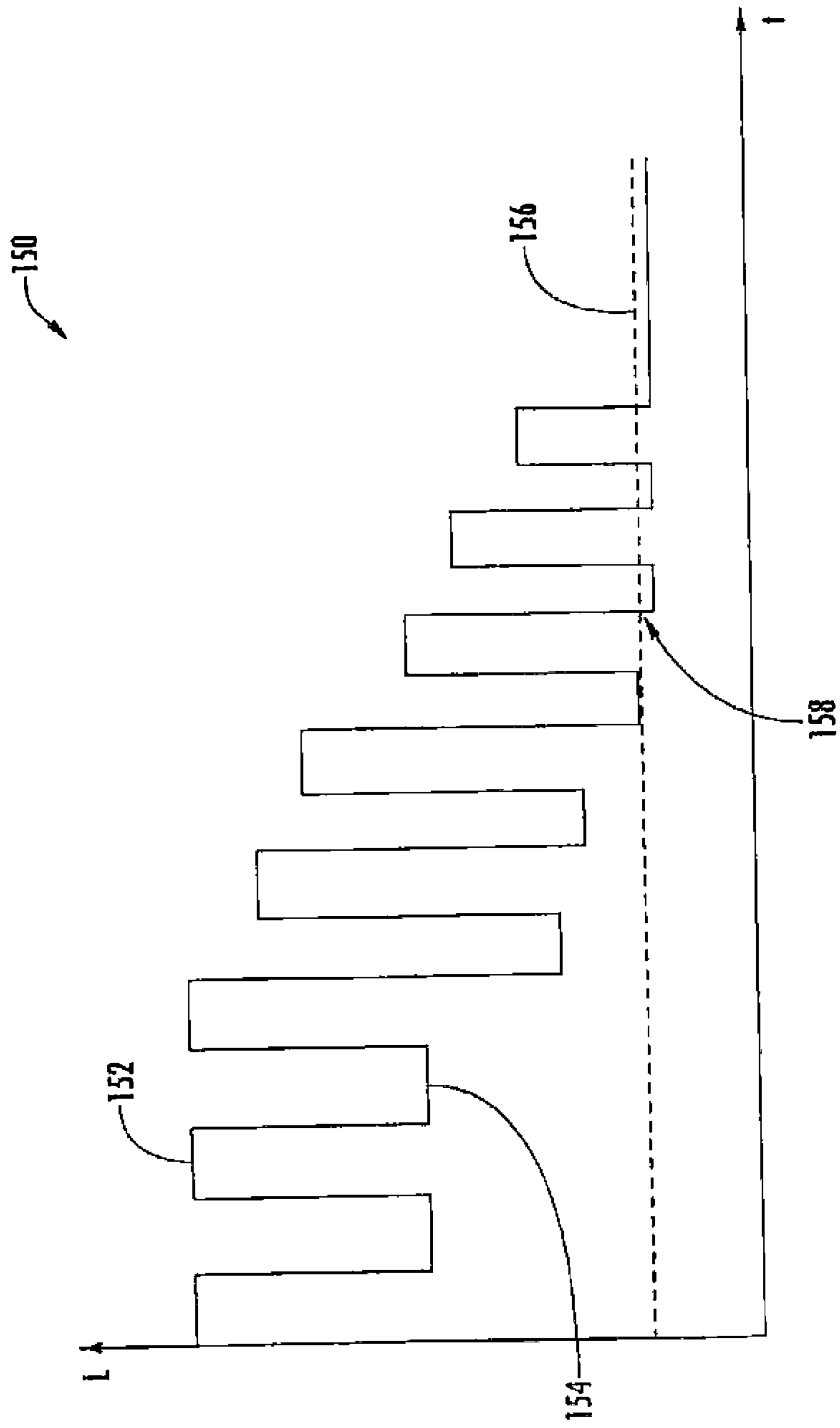


FIG. 6

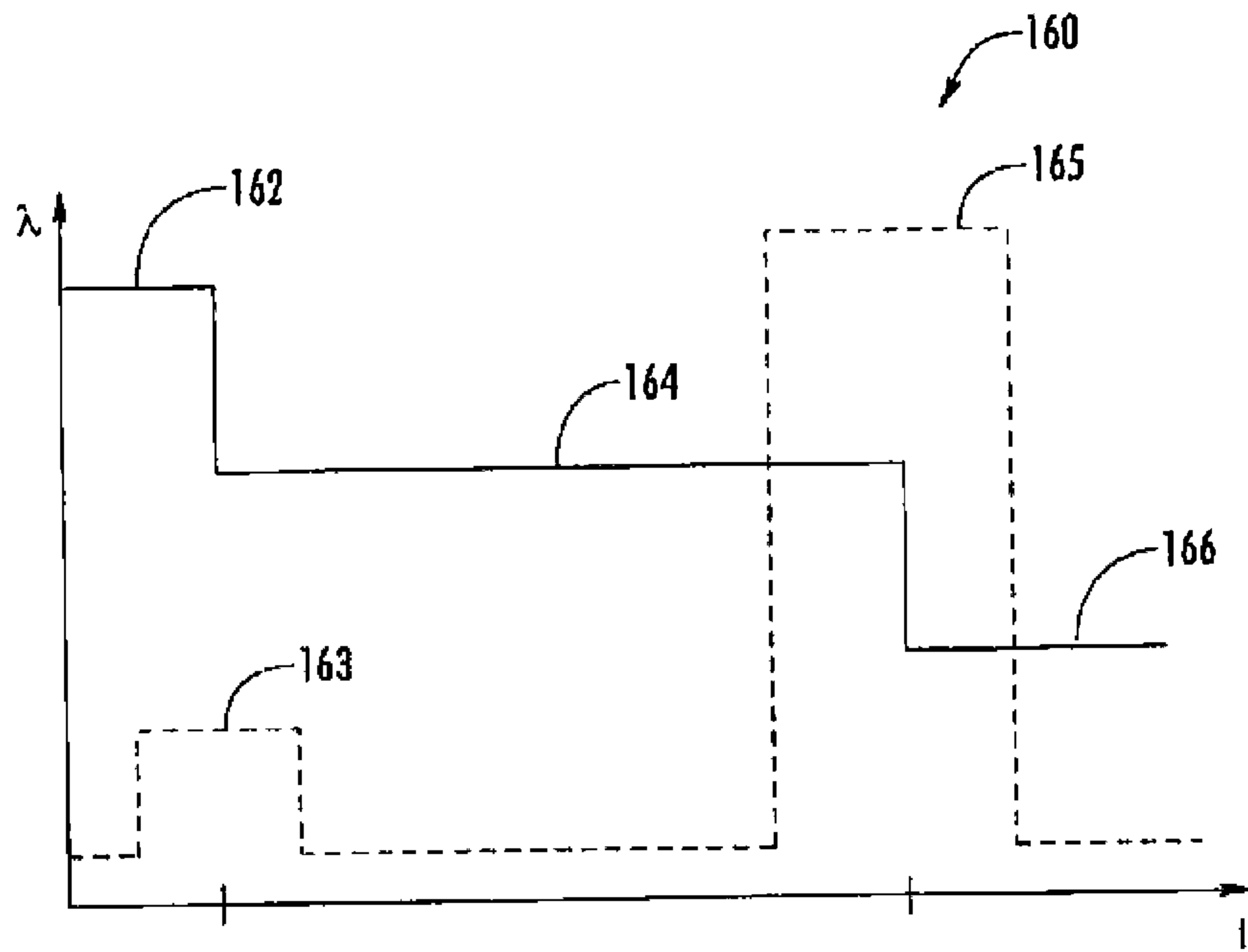


FIG. 7

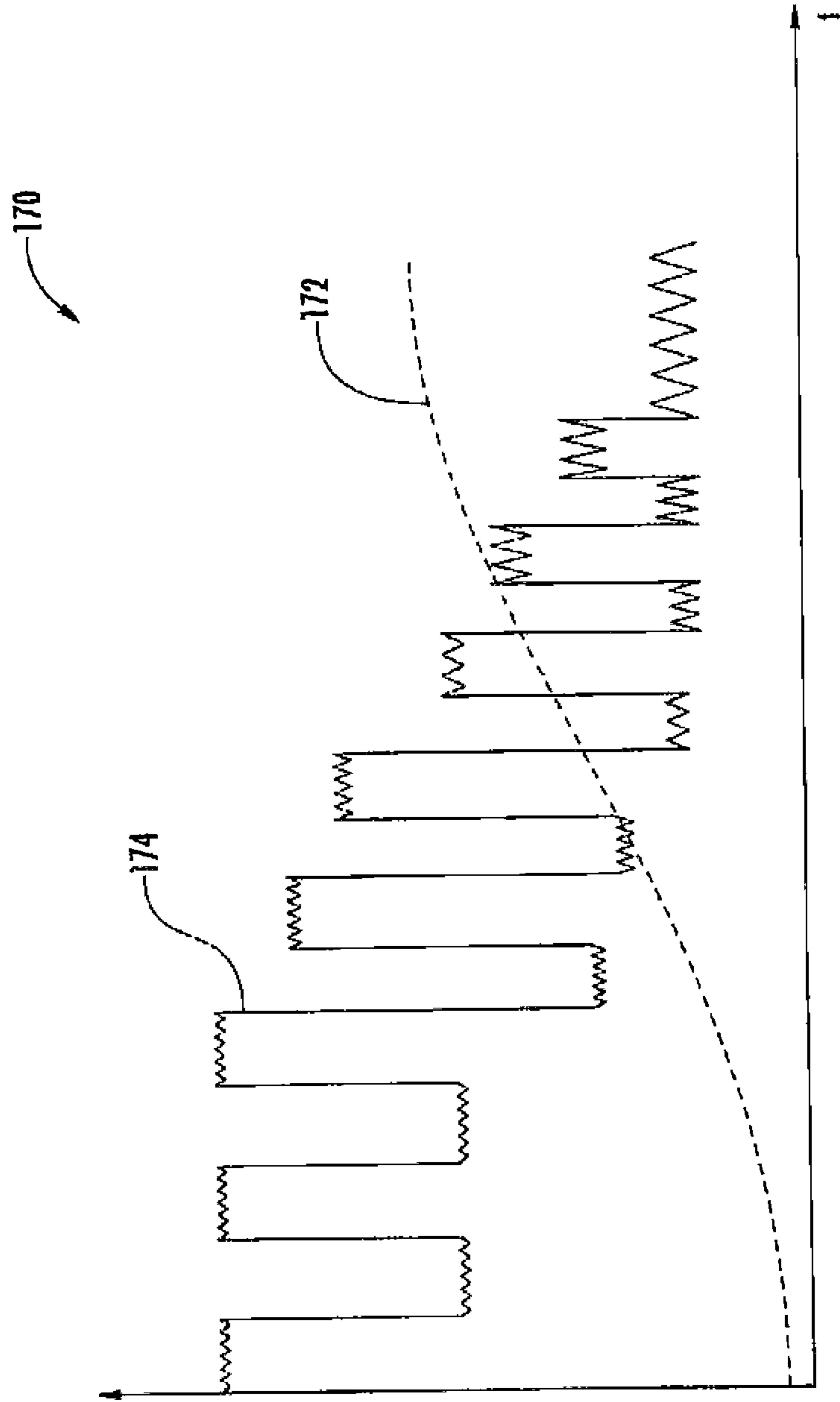


FIG. 8

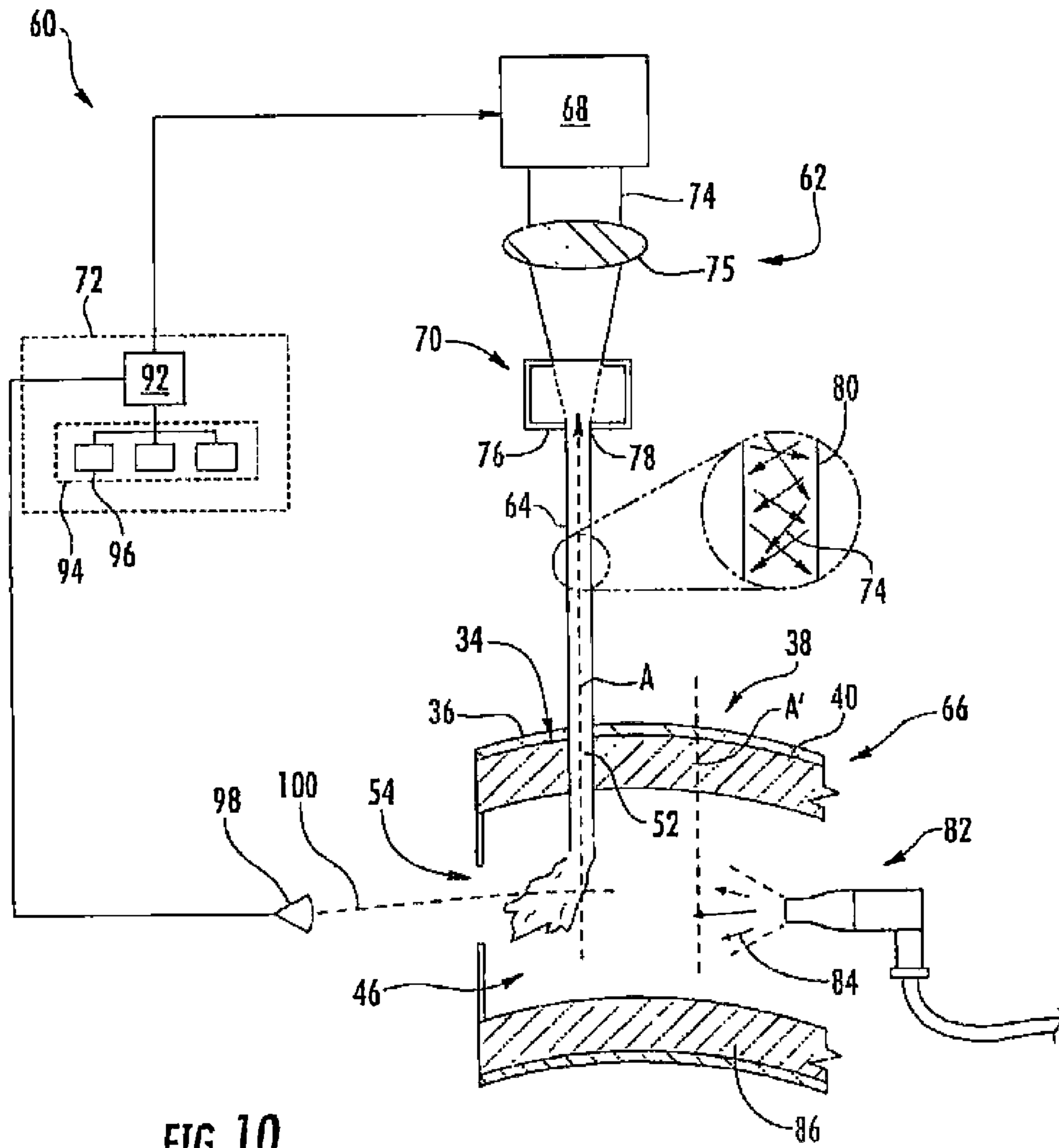


FIG. 10

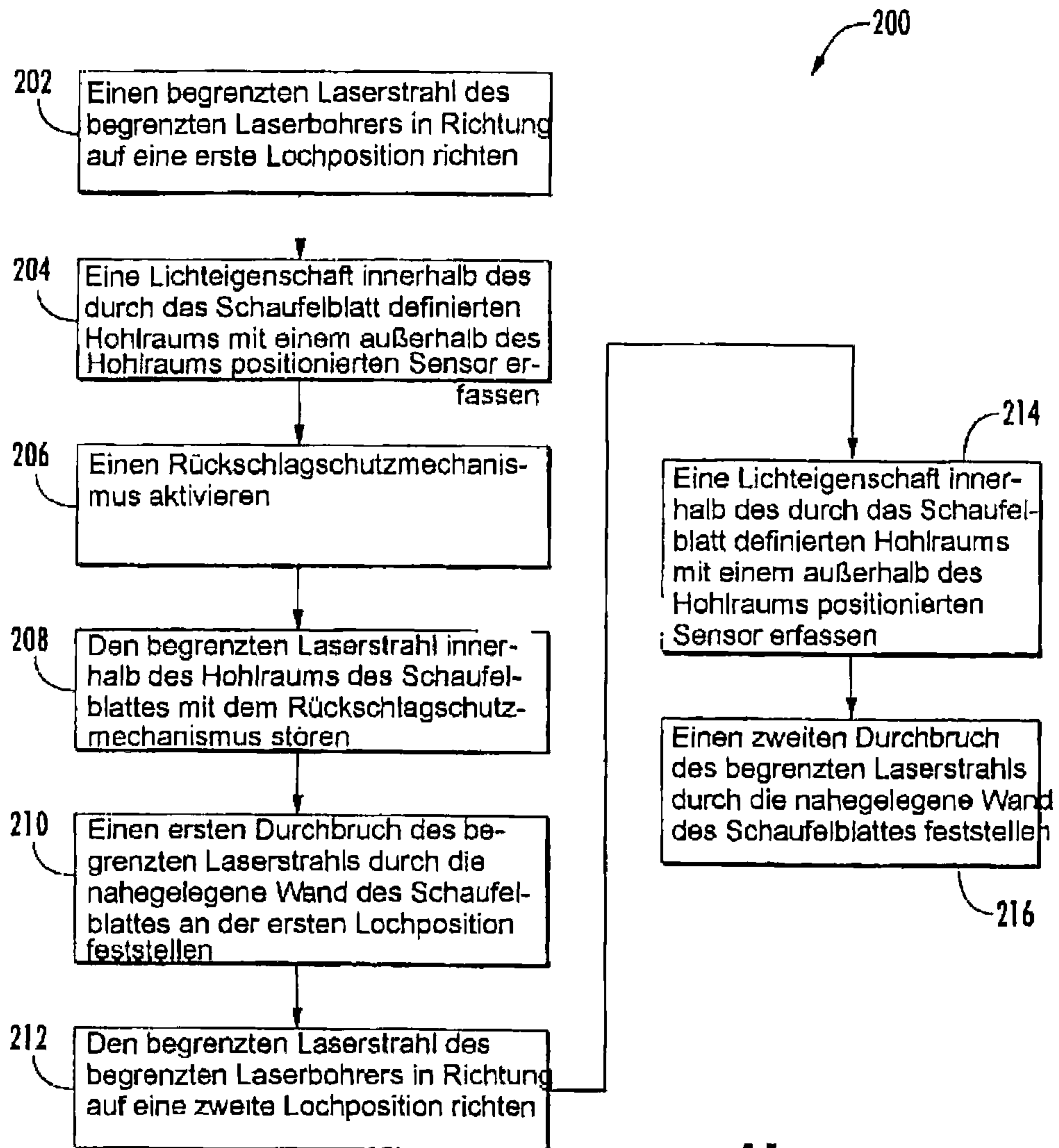


FIG. 11

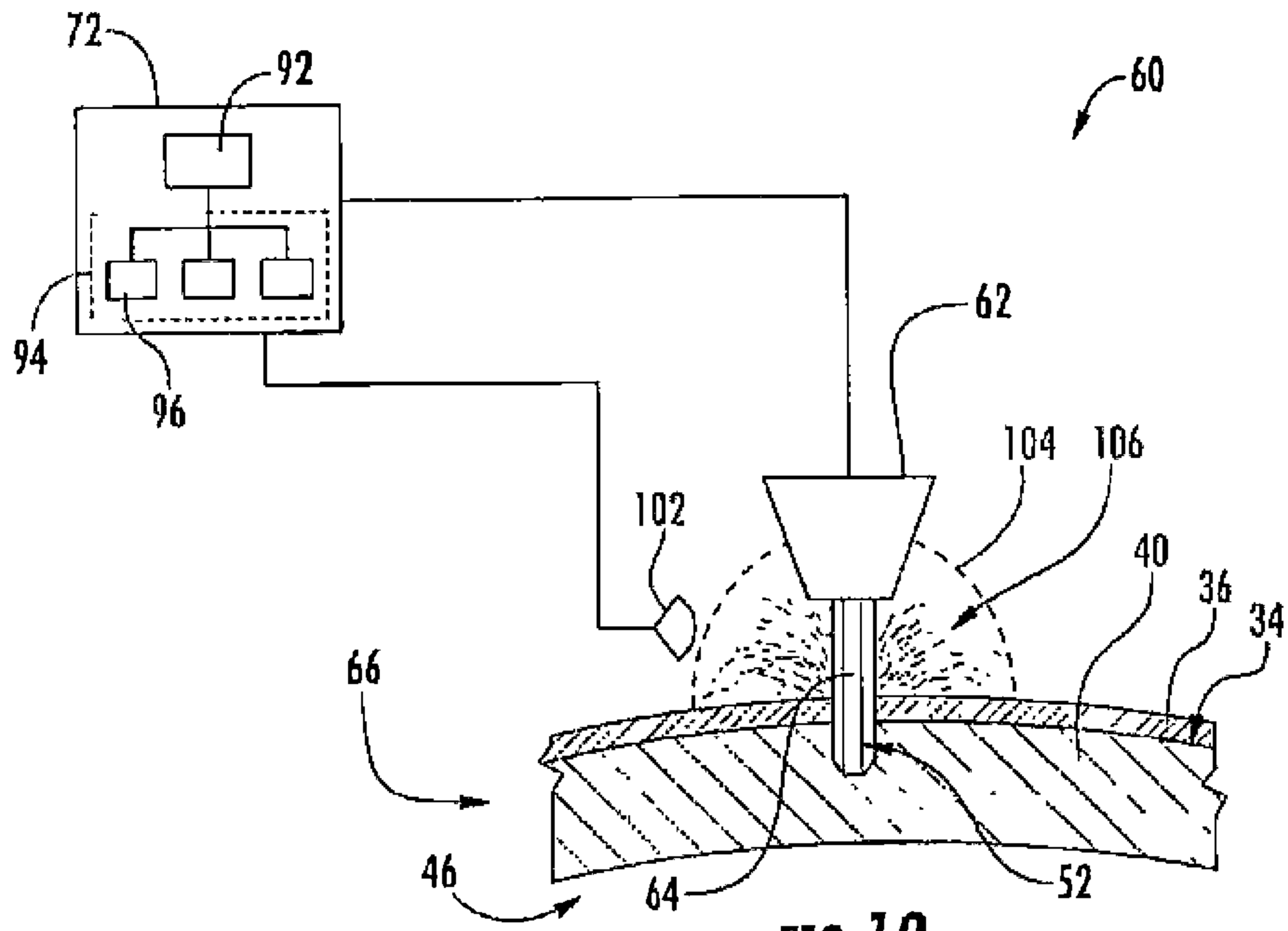


FIG. 12

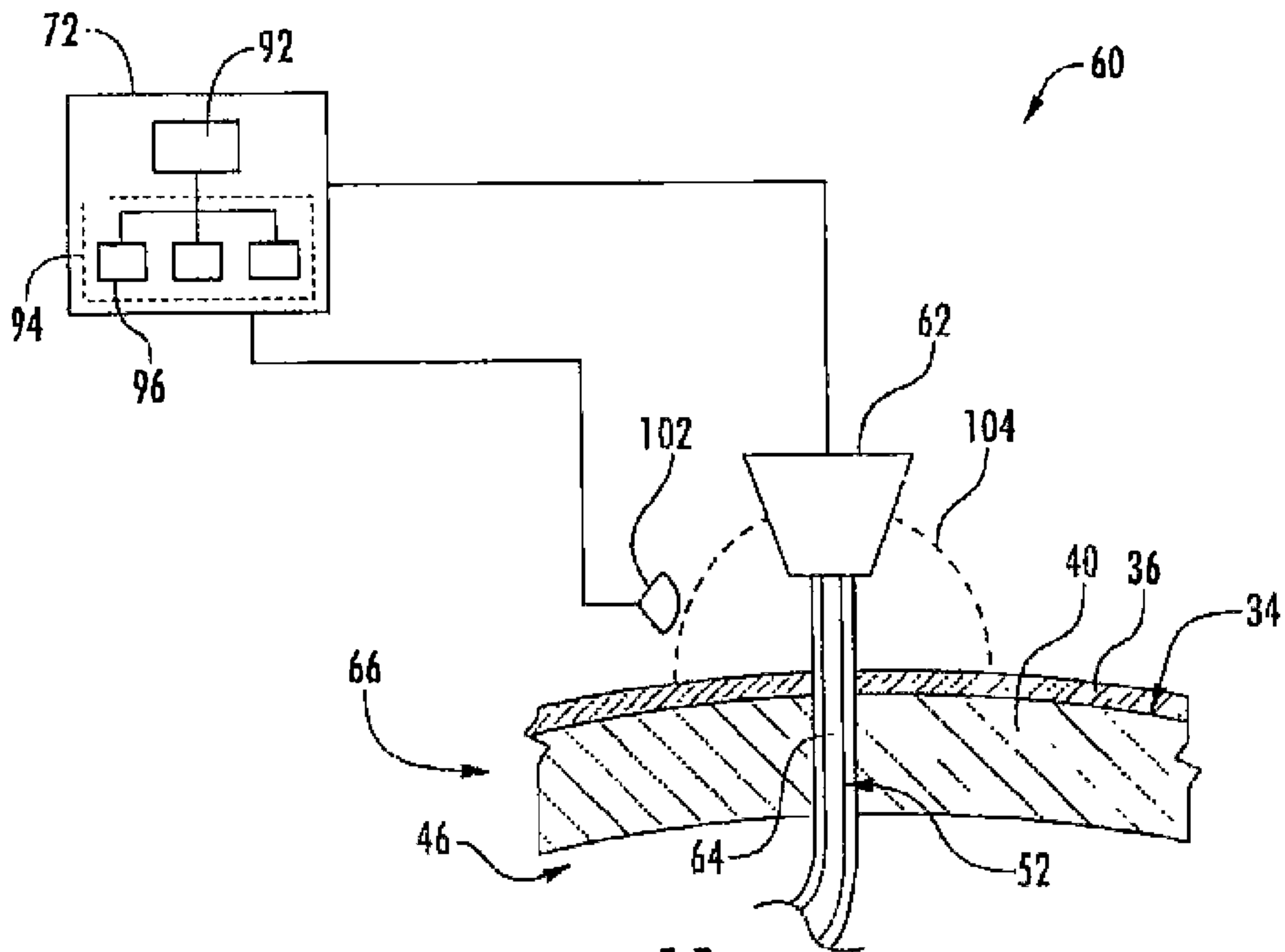


FIG. 13

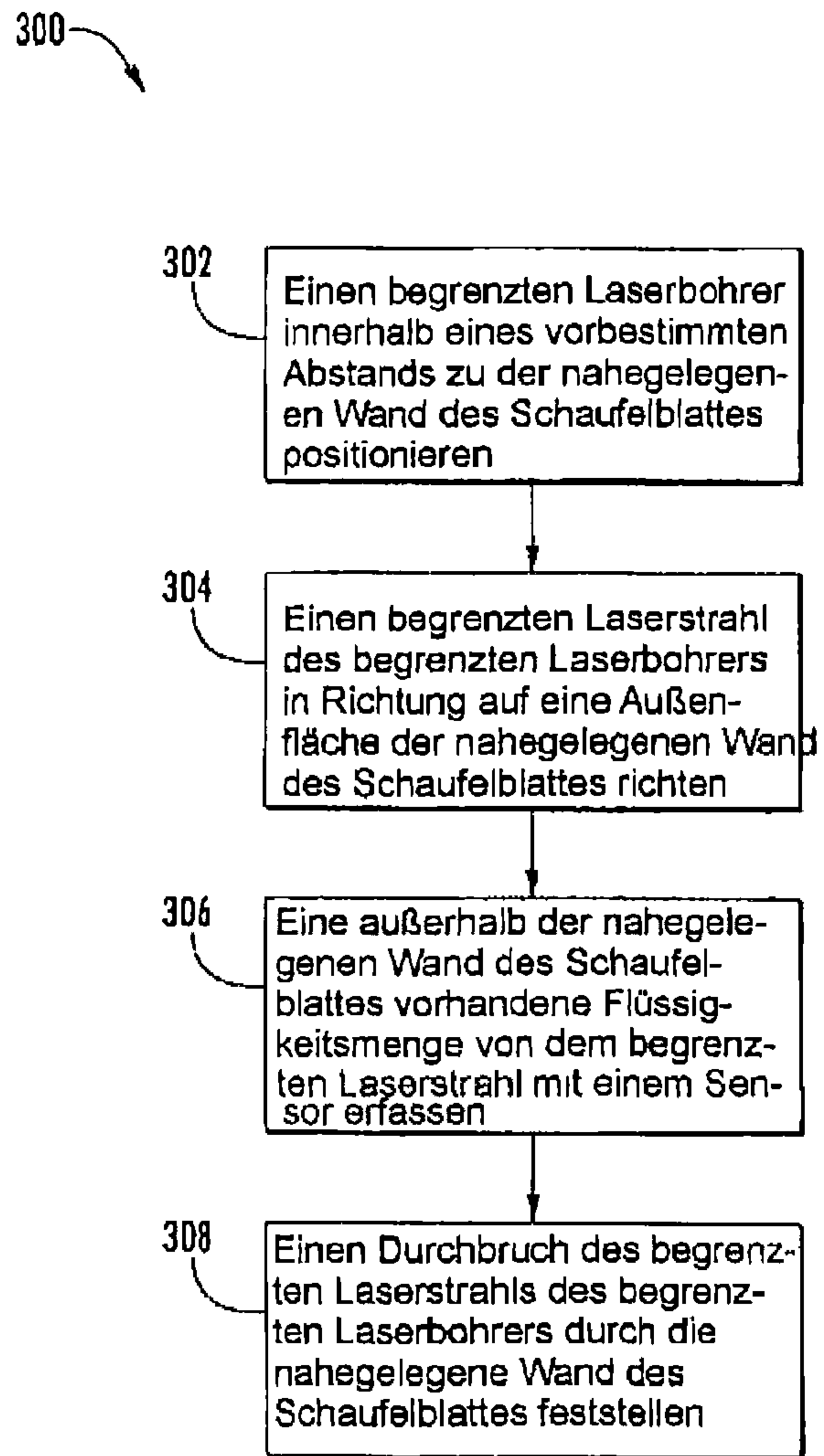
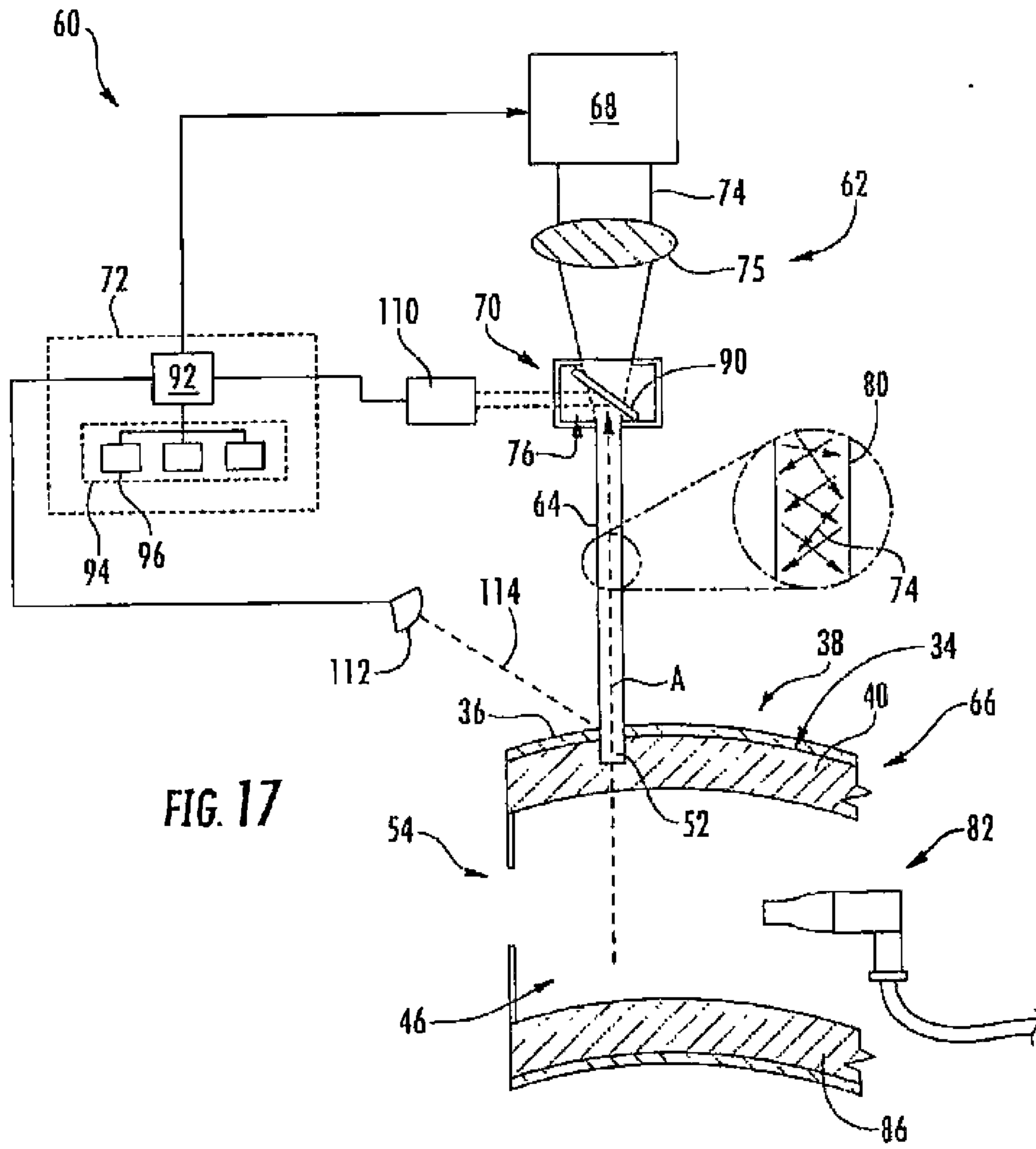


FIG. 16



400

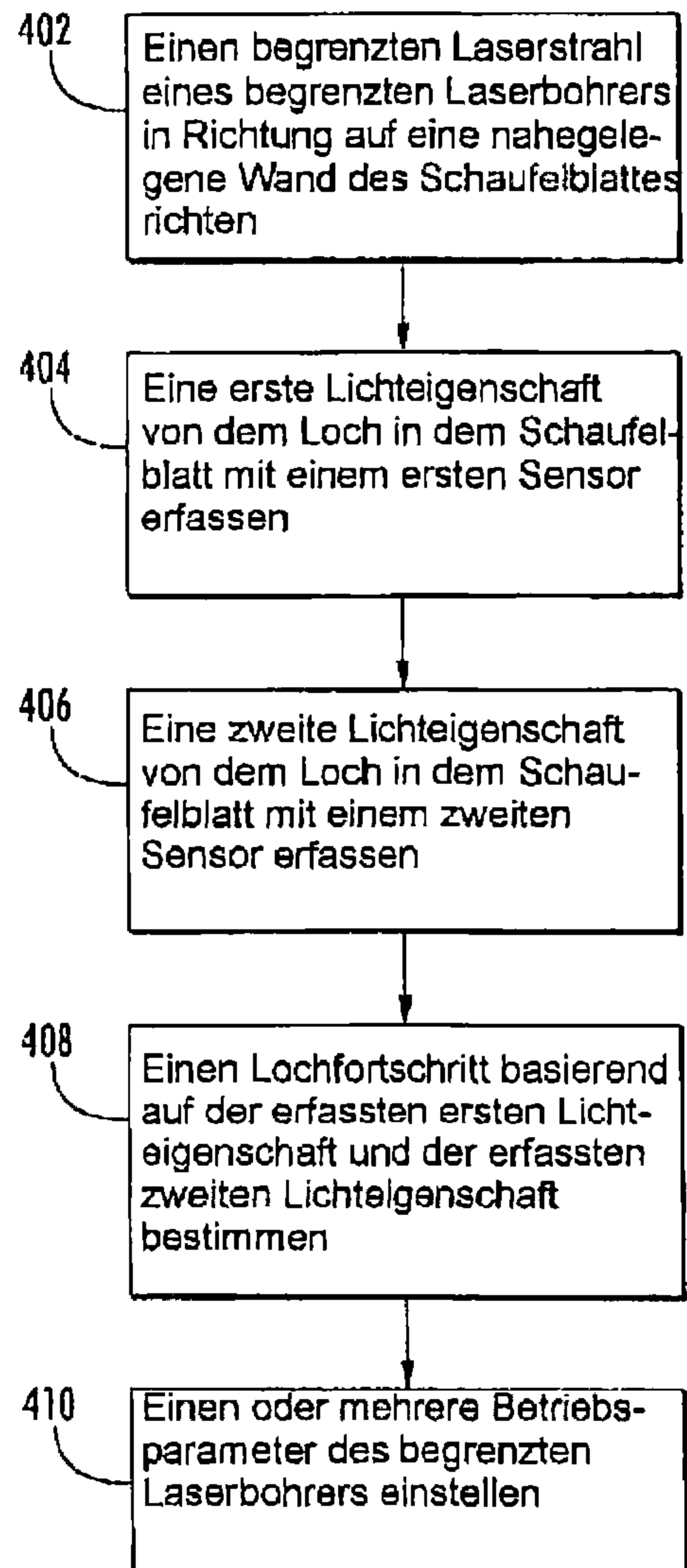


FIG. 18