



(10) DE 10 2011 055 245 B4 2023.12.28

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2011 055 245.6

(51) Int Cl.: F01D 5/18 (2006.01)

(22) Anmelddatag: 10.11.2011

F01D 25/08 (2006.01)

(43) Offenlegungstag: 10.05.2012

F01D 5/28 (2006.01)

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 28.12.2023

C23C 4/134 (2016.01)

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

(30) Unionspriorität:

12/943,646

10.11.2010 US

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	6 321 449	B2
US	6 905 302	B2
US	7 625 180	B1
US	2008 / 0 138 529	A1
US	2008 / 0 298 975	A1
US	2012 / 0 111 545	A1
US	5 626 462	A
US	5 640 767	A

(73) Patentinhaber:

GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:

Rüger Abel Patent- und Rechtsanwälte, 73728 Esslingen, DE

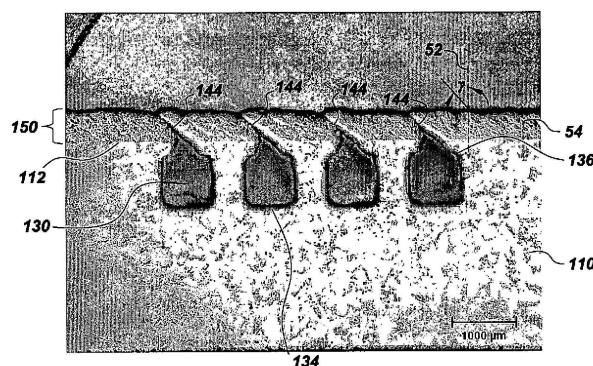
(72) Erfinder:

Bunker, Ronald Scott, Niskayuna, NY 12309, US;  
Gray, Dennis Michael, Niskayuna, NY 12309, US;  
Lipkin, Don Mark, Niskayuna, US

(54) Bezeichnung: Komponente und Verfahren zum Herstellen und Beschichten einer Komponente

(57) Hauptanspruch: Komponente (100), aufweisend:  
ein Substrat (110) mit einer Außenoberfläche (112) und  
einer Innenoberfläche (116), wobei die Innenoberfläche (116) wenigstens einen hohlen Innenraum (114) definiert,  
während die Außenoberfläche (112) eine oder mehrere Nuten (132) definiert, und wobei sich jede von der einen oder den mehreren Nuten (132) wenigstens teilweise entlang der Außenoberfläche (112) des Substrates (110) erstreckt und eine Basis (134) hat, wobei sich ein oder mehrere Zugangslöcher (140) durch die Basis (134) einer entsprechenden von der einen oder den mehreren Nuten (132) erstrecken, um die Nut (132) mit einem entsprechenden von dem wenigstens einen hohlen Innenraum (114) in Fluidverbindung zu bringen;  
eine unmittelbar über wenigstens einem Abschnitt der Außenoberfläche (112) des Substrates (110) angeordnete abgeschiedene Beschichtung (150), wobei die Beschichtung (150) eine oder mehrere Lagen (50) umfasst, wobei die eine oder mehreren Lagen (50) einen oder mehrere durchlässige Schlitze (144) dergestalt definieren, dass die eine oder mehreren Lagen (50) jede von der einen oder den mehreren Nuten (132) nicht vollständig überbrücken und der eine oder die mehreren durchlässigen Schlitze (144) sich von der einen oder den mehreren Nuten (132) durch alle Lagen (50) der einen oder mehreren Lagen (50) der Beschichtung (150) hindurch erstrecken, wobei der

eine oder die mehreren durchlässigen Schlitze (144) während der Abscheidung der Beschichtung (150) durch den Abscheidungsprozess über dem wenigstens einen Abschnitt der Außenoberfläche (112) des Substrates (110) ohne Verwendung eines Opferfüllmaterials gebildet sind, wobei der eine oder die mehreren durchlässigen Schlitze (144) über entsprechend einer von der einen oder den mehreren Nuten (132) ausgerichtet positioniert sind und wobei die eine oder mehreren Nuten (132) und die Beschichtung (150) zusammen einen oder mehrere Kanäle (130) zur Kühlung der Komponente (100) definieren.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft allgemein Gasturbinemaschinen und insbesondere die Mikrokanalkühlung darin.

**[0002]** In einer Gasturbine wird Luft in einem Verdichter verdichtet und mit Brennstoff in einem Brenner zum Erzeugen heißer Verbrennungsgase gemischt. Energie wird aus den Gasen in einer Hochdruckturbine (HPT) entzogen, welche den Verdichter antreibt, und in einer Niederdruckturbine (LPT) welche einen Fan in Turbofan-Flugzeugtriebwerksanwendungen antreibt, oder welche eine externe Welle in Schiffs- oder Industrieanwendungen antreibt.

**[0003]** Der Maschinenwirkungsgrad nimmt mit der Temperatur der Verbrennungsgase zu. Jedoch erhitzen die Verbrennungsgase die verschiedenen Komponenten entlang ihres Strömungspfades, was wiederum deren Kühlung erfordert, um eine lange Maschinenlebensdauer zu erzielen. Typischerweise werden die Heißgaspfad-Komponenten durch Zapfluft aus dem Verdichter gekühlt. Dieser Kühlvorgang verringert den Maschinenwirkungsgrad, da die Zapfluft nicht in dem Verbrennungsprozess genutzt wird.

**[0004]** Die Kühlungstechnik von Gasturbinemaschinen ist ausgereift und beinhaltet zahlreiche Patente für verschiedene Aspekte von Kühlkreisen und Einrichtungen in den verschiedenen Heißgaspfad-Komponenten. Beispielsweise enthält der Brenner radial äußere und innere Einsätze, welche eine Kühlung während des Betriebs erfordern. Turbinenleitapparate enthalten zwischen Außen- und Innenbändern gelagerte hohle Leitschaufeln, welche ebenfalls eine Kühlung erfordern. Turbinenrotorlaufschaufeln sind hohl und enthalten typischerweise Kühlkreise darin, wobei die Laufschaufeln von Turbinendeckbändern umgeben sind, welche ebenfalls eine Kühlung erfordern. Die heißen Verbrennungsgase werden durch einen Auslass ausgegeben, welcher ebenfalls ausgekleidet und geeignet gekühlt sein kann.

**[0005]** In all diesen exemplarischen Gasturbinenkomponenten werden dünne Metallwände aus hochfesten Superlegierungsmetallen typischerweise für eine verbesserte Haltbarkeit verwendet, während gleichzeitig deren Kühlbedarf minimiert wird. Verschiedene Kühlkreise und Einrichtungen sind speziell für diese individuellen Komponenten in ihren entsprechenden Umgebungen in dem Triebwerk angepasst. Beispielsweise kann eine Reihe von internen Kühlkanälen oder -schlägen in einer Heißgaspfad-Komponente ausgebildet sein. Ein Kühlfluid kann an die Kühlschlägen aus einem Sammelraum geliefert werden, und das Kühlfluid kann durch die Kanäle strömen, das Heißgaspfad-Komponenten-

substrat und die Beschichtungen kühlen. Jedoch führt diese Kühlungsstrategie typischerweise zu vergleichsweise niedrigen Wärmeübertragungsraten und zu ungleichmäßigen Komponententemperaturenprofilen.

**[0006]** Die Mikrokanalkühlung hat das Potential Kühlungsanforderungen deutlich zu reduzieren, indem die Kühlung so nahe wie möglich an die heiße Zone gebracht wird und somit die Temperaturdifferenz zwischen der heißen Seite und der kalten Seite für eine gegebene Wärmeübertragungsrate verringert. Jedoch erfordern derzeitige Techniken zur Erzeugung von Mikrokanälen typischerweise die Verwendung eines Opferfüllmaterials, um eine Abscheidung der Beschichtung in den Mikrokanälen zu verhindern, um die Beschichtung während der Abscheidung zu unterstützen, sowie die Entfernung des Opferfüllmaterials nach der Abscheidung des Beschichtungssystems. Jedoch stellen sowohl die Füllung der Kanäle mit dem flüchtigen Material als auch die spätere Entfernung dieses Materials mögliche Probleme für die derzeitigen Mikrokanalbearbeitungstechniken dar. Beispielsweise muss das Füllmaterial mit dem Substrat und den Beschichtungen kompatibel sein und trotzdem eine minimale Schrumpfung, aber auch eine ausreichende Stärke haben. Die Entfernung des Opferfüllmaterials bringt möglicherweise Beschädigungsprozesse einer Auslaugung, Ätzung oder Verdampfung mit sich und erfordert typischerweise lange Zeiten. Restliches Füllmaterial ist ebenfalls ein Problem.

**[0007]** US 2008 / 0 298 975 A1 beschreibt ein Komponente, die ein Substrat mit einer Außenoberfläche und einer Innenoberfläche aufweist, wobei die Innenoberfläche einen hohen Innenraum definiert, während die Außenoberfläche mehrere Nuten definiert, die sich entlang der Außenoberfläche des Substrates erstrecken. Die Komponente enthält ferner eine unmittelbar über der Außenoberfläche des Substrates aufgeklebte Folie, eine auf der Folie aufgebrachte metallische Beschichtung und optional eine Wärmeschutzbeschichtung über der metallischen Beschichtung. Die aufgeklebte Folie überbrückt und verschließt die Oberseite der Nuten und definiert mit diesen mehrere Kanäle zur Kühlung der Komponente. Hilfskühllöcher sind durch Bohren oder Schneiden durch die Folie, die metallische Beschichtung und die optionale Wärmeschutzbeschichtung hindurch geformt, um die Kühlluft an vorbestimmten Stellen aus den Kanälen zur Außenseite austreten zu lassen, um diese zu kühlen.

**[0008]** US 7 625 180 B1 beschreibt ein Turbinschaufelblatt mit einer Tragstruktur, die in ihrem Innern mehrere innere Hohlräume und auf ihrer Außenseite mehrere Kühlkanäle definiert, die entlang der Außenfläche der Tragstruktur in Längsrichtung des Turbinschaufelblattes verlaufen. Eine

äußere Schaufelblattwand und eine Wärmeschutzbeschichtung umgeben die Tragstruktur und überdecken die Kühlkanäle. Prallküllöcher verbinden die Kühlkanäle mit den inneren Hohlräumen, und Filmkülllöcher verlaufen von den Kühlkanälen schräg nach außen durch die äußere Schaufelblattwand und die Wärmeschutzbeschichtung hindurch. Ein keramisches Füllmaterial wird bei der Erzeugung der äußeren Schaufelblattwand verwendet, um die Kühlkanäle und die Filmkülllöcher auszubilden, und wird danach durch Auslaugen entfernt.

**[0009]** US 6 905 302 B2 offenbart eine Turbinenwandkonfiguration mit einem Substrat, Zugangslöchern, die sich durch das Substrat hindurch erstrecken, einer Beschichtung, die Kühlkanäle in der Außenoberfläche des Substrats definiert, und Ausschlüsse, die durch die Beschichtung hindurch bis zu den Kühlkanälen gebohrt sind.

**[0010]** Es wäre wünschenswert und ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen einer Komponente unter Abscheidung von Beschichtungen auf Komponenten mit Nuten zur Ausbildung von Kühlkanälen darin sowie eine derart hergestellte Komponente bereitzustellen, die unter Reduktion des Herstellungsaufwands eine wirksame Mikronalkühlung der Komponente ermöglichen.

**[0011]** Zur Lösung der obigen Aufgabe liefert ein Aspekt der Erfindung eine Komponente, die ein Substrat mit einer Außenoberfläche und einer Innenoberfläche aufweist, wobei die Innenoberfläche wenigstens einen hohen Innenraum definiert, während die Außenoberfläche eine oder mehrere Nuten definiert, und wobei sich jede von der einen oder den mehreren Nuten wenigstens teilweise entlang der Außenoberfläche des Substrates erstreckt und eine Basis hat. Ein oder mehrere Zugangslöcher erstrecken sich durch die Basis einer entsprechenden von der einen oder den mehreren Nuten, um die Nut mit entsprechenden von dem wenigstens einen hohen Innenraum in Fluidverbindung zu bringen. Die Komponente enthält ferner eine unmittelbar über wenigstens einem Abschnitt der Außenoberfläche des Substrates angeordnete abgeschiedene Beschichtung. Die Beschichtung weist eine oder mehrere Lagen auf, und die eine oder mehrere Lagen definieren einen oder mehrere durchlässige Schlitze dergestalt, dass die eine oder mehrere Lagen nicht vollständig jede von der einen oder den mehreren Nuten überbrücken. Der eine oder die mehreren durchlässigen Schlitze erstrecken sich von der einen oder den mehreren Nuten durch alle Lagen der einen oder mehreren Lagen der Beschichtung hindurch, wobei der eine oder die mehrere durchlässigen Schlitze während der Abscheidung der Beschichtung durch den Abscheidungsprozess über dem wenigstens einen Abschnitt der Außenoberfläche des Substrates ohne Verwendung eines Opferfüllmaterials gebildet

sind und wobei der eine oder die mehrere durchlässigen Schlitze über entsprechend einer von der einen oder den mehreren Nuten ausgerichtet positioniert sind. Die eine oder mehreren Nuten und die Beschichtung definieren zusammen einen oder mehrere Kanäle zur Kühlung der Komponente.

**[0012]** Zur Lösung der obigen Aufgabe liefert ein weiterer Aspekt der Erfindung ein Verfahren zum Herstellen einer Komponente. Das Verfahren beinhaltet die Erzeugung einer oder mehrerer Nuten in einer Oberfläche eines Substrates, wobei das Substrat wenigstens einen hohen Innenraum hat. Jede von der einen oder den mehreren Nuten erstreckt sich wenigstens teilweise entlang der Substratoberfläche und besitzt eine Basis. Das Verfahren beinhaltet ferner die Erzeugung eines oder mehrerer Zugangslöcher durch die Basis einer entsprechenden von der einen oder den mehreren Nuten, um die Nut mit einem entsprechenden von dem wenigstens einen hohen Innenraum in Fluidverbindung zu verbinden. Das Verfahren beinhaltet ferner die Abscheidung einer Beschichtung unmittelbar über wenigstens einem Abschnitt der Außenoberfläche des Substrates dergestalt, dass die eine oder die mehreren Nuten und die Beschichtung zusammen einen oder mehrere Kanäle zur Kühlung der Komponente definieren. Die eine oder die mehreren Nuten werden durch kein Opferfüllmaterial ausgefüllt, wenn die Beschichtung über der einen oder den mehreren Nuten abgeschieden wird. Während der Abscheidung der Beschichtung ohne Verwendung eines Opferfüllmaterials werden durch den Abscheidungsprozess ein oder mehrere durchlässige Schlitze gebildet, die über entsprechend einer von der einen oder den mehreren Nuten ausgerichtet positioniert sind und sich von der einen oder den mehreren Nuten durch die gesamte Beschichtung hindurch erstrecken.

**[0013]** Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden besser verständlich, wenn die nachstehende detaillierte Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Ansprüche gelesen wird, in welchen gleiche Bezugszeichen gleiche Teile durchgängig durch die Zeichnungen bezeichneten, in welchen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Gasturbinensystems ist;

**Fig. 2** ein schematischer Querschnitt einer Beispieldraht-Ausführungsform mit einer Beschichtungslage mit einer in einem Winkel  $\alpha$  in Bezug auf die Oberflächennormale für das Substrat angeordneten Mikrostruktur gemäß Aspekten der vorliegenden Erfindung ist;

**Fig. 3** ein schematischer Querschnitt einer als solche nicht beanspruchten Ausführungsform eines Abschnittes eines Kühlkreises mit in einem Substrat ausgebildeten Kühlkanälen und

einer auf dem Substrat angeordneten Beschichtungslage mit einer in einem Winkel  $\alpha$  in Bezug auf die Oberflächennormale für das Substrat angeordneten Mikrostruktur ist;

**Fig. 4** ein schematischer Querschnitt einer als solche nicht beanspruchten Ausführungsform eines Abschnittes eines Kühlkreises mit in einem Substrat ausgebildeten Kühlkanälen und einer ersten und zweiten übereinander auf dem Substrat angeordneten Beschichtungslage mit in Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  in Bezug auf die Oberflächennormale für das Substrat angeordneten Mikrostrukturen ist;

**Fig. 5** vier Beispielkühlkanäle einer erfindungsgemäßen Ausführungsform darstellt, die in einem Nickellegierungssubstrat ausgebildet sind, wobei eine erste Beschichtungslage einer Nickellegierung in einem Winkel  $\alpha$  von ca. 45 Grad in Bezug auf die Oberflächennormale des Substrates abgeschieden ist;

**Fig. 6** die vier Beispielkühlkanäle von **Fig. 5** darstellt, mit einer zusätzlichen zweiten Beschichtungslage einer Nickellegierung in einem Winkel  $\beta$  von ca. 45 Grad in Bezug auf die Oberflächennormale des Substrates abgeschieden ist;

**Fig. 7** eine schematische Querschnittsansicht einer als solche nicht beanspruchten Ausführungsform eines Abschnittes eines Kühlkreises mit Einsprungkühlkanälen und einer ersten und zweiten Beschichtungslage ist, die auf dem Substrat in Winkeln  $\alpha$  und  $\beta$  in Bezug auf die Oberflächennormale des Substrates ausgerichteten Mikrostrukturen übereinander angeordnet sind;

**Fig. 8** in schematischer und perspektivischer Ansicht eine als solche nicht beanspruchte Ausführungsform mit drei Beispilmikrokanäle darstellt, die sich teilweise entlang der Oberfläche des Substrates erstrecken und Kühlmittel zu entsprechenden Filmkühlungslöchern führen;

**Fig. 9** eine Querschnittsansicht von einem der Beispilmikrokanäle von **Fig. 8** ist und den Kühlmittel aus einem Zugangloch zu einem Filmkühlungslöch transportierenden Mikrokanal darstellt; und

**Fig. 10** schematisch im Querschnitt eine einspringend geformte Nut mit einer sich über die Oberseite der Nut zur Ausbildung eines einspringend geformten Kanals erstreckenden Beschichtung darstellt.

#### Detaillierte Beschreibung

**[0014]** Die Begriffe „erst...“, „zweit...“ und dergleichen hierin, bedeuten keine Reihenfolge, Menge oder Wichtigkeit, sondern werden lediglich dazu genutzt, ein Element von einem anderen zu unter-

scheiden, und die Begriffe „ein...“ bedeuten keine Einschränkung der Menge, sondern bedeuten das Vorliegen von wenigstens einem von dem angesprochenen Element. Der in Verbindung mit einer Menge genutzte Modifikator „etwa“ schließt den angegebenen Wert ein und hat die von dem Kontext vorgegebene Bedeutung (beinhaltet beispielsweise den Grad des Fehlers in Verbindung mit der Messung einer bestimmten Menge). Zusätzlich schließt der Begriff „Kombination“ Mischungen, Gemische, Legierungen, Reaktionsprodukte und dergl. mit ein.

**[0015]** Ferner soll das Suffix „er“, wie hierin verwendet, sowohl die Singular- als auch Pluralform des Begriffes, den es modifiziert, beinhalten und dadurch einen oder mehrere von diesem Begriff (z.B. kann „das Durchtrittsloch“ sowohl nur eines oder mehrere Durchtrittlöcher beinhalten, sofern nicht anders angegeben) beinhalten. Eine Bezugnahme in der gesamten Patentschrift auf „nur eine Ausführungsform“, „eine andere Ausführungsform“, „eine Ausführungsform“ usw. bedeutet, dass ein in Verbindung mit der Ausführungsform beschriebenes spezielles Element (z.B. Merkmal, Aufbau und/oder Eigenschaft) in wenigstens einer hierin beschriebenen Ausführungsform enthalten ist und in anderen Ausführungsformen enthalten sein kann oder auch nicht. Zusätzlich dürfte es sich verstehen, dass die beschriebenen erfindungsgemäßen Merkmale in jeder geeigneten Weise in den verschiedenen Ausführungsformen kombiniert sein können.

**[0016]** **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung eines Gasturbinensystems 10. Das Gasturbinensystem 10 kann einen oder mehrere Verdichter 12, Brenner 14, Turbinen 16 und Brennstoffdüsen 20 enthalten. Der Verdichter 12 und die Turbine 16 können über eine oder mehrere Wellen 18 verbunden sein. Die Welle 18 kann eine einzige Welle sein oder aus mehreren Wellensegmenten bestehen, die zum Ausbilden der Welle 18 verbunden sind.

**[0017]** Das Gasturbinensystem 10 kann eine Anzahl von Komponenten 100, insbesondere Heißgaspfad-Komponenten, enthalten. Eine Heißgaspfad-Komponente ist eine beliebige Komponente des Gasturbinensystems 10, die wenigstens teilweise einem Hochtemperatur-Gasstrom durch das Gasturbinensystem 10 hindurch ausgesetzt ist. Beispielsweise sind Schaufelbaugruppen (auch als Laufschaufeln oder Laufschaufelbaugruppen bekannt), Leitapparatbaugruppen (auch als Leitschaufeln oder Leitschaufelbaugruppen bekannt), Deckbandbaugruppen, Übergangsstücke, Halteringe und Verdichterausgangskomponenten alle Heißgaspfad-Komponenten. Es dürfte sich jedoch verstehen, dass die Heißgaspfad-Komponente der vorliegenden Erfindung nicht auf die vorstehenden Beispiele beschränkt ist, sondern jede beliebige Komponente sein kann, die wenigstens teilweise einem Hochtem-

peratur-Gasstrom ausgesetzt ist. Ferner dürfte es sich verstehen, dass die Komponente 100 der vorliegenden Offenlegung nicht auf Komponenten in Gasturbinensystemen beschränkt ist, sondern ein beliebiges Teil einer Maschinerie oder einer Komponente davon sein kann, die Hochtemperaturströmen ausgesetzt ist.

**[0018]** Wenn eine Komponente 100 einem Heißgasstrom ausgesetzt ist, wird die Heißgaspfad-Komponente durch den heißen Gasstrom 80 erwärmt und kann eine Temperatur erreichen, in welcher die Heißgaspfad-Komponente ausfällt. Somit ist, um dem Gasturbinensystem 10 einen Betrieb mit einem heißen Gasstrom 80 bei hoher Temperatur zu ermöglichen, was den Wirkungsgrad und die Leistung des Gasturbinensystems 10 erhöht, ein Kühlsystem für die Heißgaspfad-Komponente 100 erforderlich.

**[0019]** Im Wesentlichen enthält das Kühlsystem der vorliegenden Offenlegung eine Reihe kleiner Kanäle oder Mikrokanäle, die in der Oberfläche der Komponente 100 ausgebildet sind. Die Komponente 100 kann mit einer Beschichtung versehen sein. Ein Kühlfluid kann an die Kanäle aus einem Sammelraum geliefert werden, und das Kühlfluid kann durch die Kanäle unter Kühlung der Beschichtung strömen.

**[0020]** Ein Verfahren zum Beschichten einer Komponente wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 2** bis **Fig. 9** beschrieben. Wie es beispielsweise in den **Fig. 3**, **Fig. 4** und **Fig. 7** dargestellt ist, beinhaltet das Verfahren die Erzeugung einer oder mehrerer Nuten 132 in einem Substrat 110. Für die dargestellten Beispiele werden mehrere Nuten 132 in dem Substrat 110 erzeugt. Wie es beispielsweise in den **Fig. 8** und **Fig. 9** dargestellt ist, erstrecken sich die Nuten 132 wenigstens teilweise entlang einer Außenoberfläche 112 des Substrates 110. Wie es beispielsweise in den **Fig. 3** und **Fig. 4** dargestellt ist, beinhaltet das Verfahren ferner die Abscheidung einer Beschichtung 150 über wenigstens einem Abschnitt der Außenoberfläche 112 des Substrates 110. Insbesondere wird die Beschichtung 150 über wenigstens einem Abschnitt des Substrates 110 des Substrates 110 direkt über offenen (ungefüllten) Nuten 132 abgeschieden. So wie hierin verwendet bedeutet „offen“, dass die Nuten 132 leer sind, d.h., dass sie nicht mit einem Opferfüllmaterial gefüllt sind.

**[0021]** Beispielhafte Beschichtungen 150 werden in US 5 640 767 A und US 5 626 462 A bereitgestellt. Wie in US 5 626 462 A diskutiert, sind die Beschichtungen 150 mit Abschnitten der Außenoberfläche 112 des Substrates 110 verbunden. Die Beschichtung 150 weist eine oder mehrere Lagen 50 auf. Für die in **Fig. 3** dargestellte, als solche nicht beanspruchte Beispielanordnung ist wenigstens eine von den Lagen 50 in einem Winkel  $\alpha$  in einem Bereich

von ca. 20 - 85 Grad in Bezug auf eine Oberflächennormale 52 des Substrats 110 abgeschieden. Insbesondere liegt der dargestellte Abscheidungswinkel  $\alpha$  in einem Bereich von ca. 45 - 80 Grad und noch bevorzugter in einem Bereich von ca. 50 - 70 Grad in Bezug auf die Oberflächennormale 52 des Substrates 110. Insbesondere ist wenigstens eine von den Lagen 50 in einem oder mehreren Winkeln abgeschieden. Wie in **Fig. 3** gezeichnet, sind der Winkel  $\alpha$  und in ähnlicher Weise der Winkel  $\beta$  in **Fig. 4** in Bezug auf die Oberflächennormale 52 des Substrates 110 definiert. **Fig. 3** und **Fig. 4** stellen die Nuten 132 rechtwinklig zu der Ebene der Seiten, d.h., als einen Querschnitt quer zu der Nutrichtung dar. Jedoch können Nuten mit unterschiedlichen Ausrichtungen ebenfalls in dem Substrat 110 ausgebildet sein, und für derartige Nuten ist es nicht möglich eine Mikrobeschichtung dergestalt auszuführen, dass die Beschichtungsabscheidungswinkel immer quer zu der Nutrichtung sind, sondern dass stattdessen der Beschichtungswinkel effektiv ein zusammengesetzter Winkel ist, der die definierten Winkel  $\alpha$  oder  $\beta$  zur Oberflächennormalen, aber auch einen (nicht dargestellten) Winkel in Bezug auf die lokale Nutrichtung hat.

**[0022]** Gemäß Darstellung in den **Fig. 3**, **Fig. 4**, **Fig. 8** und **Fig. 9** definieren beispielsweise die Nuten 132 und die Beschichtung 150 eine Anzahl von Kanälen 130 zum Kühlen der Komponente 100. Obwohl die Nuten 132 und Kanäle 130 in den **Fig. 3**, **Fig. 4**, **Fig. 8** und **Fig. 9** als rechteckig dargestellt sind, können sie auch andere Formen annehmen. Beispielsweise können die Nuten 132 (und Kanäle 130) Einsprungnuten (Einsprungkanäle) sein, wie es nachstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 7** und **Fig. 10** beschrieben wird. Für verschiedene Anwendungen können die Seitenwände der Nuten 132 (Kanäle 130) gebogen oder abgerundet sein.

**[0023]** Das Substrat 110 wird typischerweise vor der Ausbildung der Nuten 132 in der Außenoberfläche 112 des Substrates 110 gegossen. Wie in der gemeinsam übereigneten US 5 626 462 A diskutiert, kann das Substrat 110 aus jedem hierin als ein erstes Material bezeichneten geeigneten Material ausgebildet sein. Abhängig von der beabsichtigten Anwendung für die Komponente 100 könnten diese Ni-Basis, Co-Basis und Fe-Basis Superlegierungen sein. Die Ni-Basis-Superlegierungen können die sein, welche sowohl  $\gamma$ - als auch  $\gamma'$ -Phasen enthalten, insbesondere diejenigen Ni-Basis-Superlegierungen, welche sowohl  $\gamma$ - als auch  $\gamma'$ -Phasen enthalten, wobei die  $\gamma'$ -Phase wenigstens 40 Volumenprozent der Superlegierung belegt. Derartige Legierungen sind aufgrund einer Kombination erwünschter Eigenschaften einschließlich hoher Temperaturfestigkeit und hoher Temperaturkriechbeständigkeit als vorteilhaft bekannt. Das erste Material kann auch eine intermetallische NiAl-Legierung aufweisen, da diese

Legierungen ebenfalls bekanntermaßen eine Kombination besonders guter Eigenschaften einschließlich Hochtemperaturfestigkeit und Hochtemperatkriechbeständigkeit enthalten, die für den Einsatz in für Flugzeuge eingesetzten Turbinentreibwerksanwendungen vorteilhaft sind. Im Falle von Nb-Basis-Legierungen werden beschichtete Nb-Basis-Legierungen mit besonderer Oxidationsbeständigkeit bevorzugt wie zum Beispiel Nb/Ti-Legierungen und insbesondere die Legierungen, die Nb-(27-40)Ti-(4,5-10,5)Al-(4,5-7,9)Cr-(1,5-5,5)Hf-(0-6)V in Atomprozent enthalten. Das erste Material kann auch eine Nb-Basis-Legierung aufweisen, die auch wenigstens eine Sekundärphase enthält wie zum Beispiel ein Nb-haltiger intermetallischer Verbundwerkstoff, ein Nb-haltiges Carbid oder ein Nb-haltiges Borid. Derartige Legierungen entsprechen einem Verbundwerkstoffmaterial dahingehend, dass sie eine duktile Phase (d.h., die Nb-Basislegierung) und eine Verstärkungsphase (d.h., Nb-haltige intermetallische Verbindung, ein Nb-haltiges Carbid oder ein Nb-haltiges Borid) enthalten.

**[0024]** Für die in den **Fig. 2**, **Fig. 8** und **Fig. 9** dargestellte Beispieldurchmessers erstreckt sich die Beschichtung 150 in Längsrichtung entlang der schaufelblattförmigen Außenoberfläche 112 des Substrates 110. Die Beschichtung 150 folgt der schaufelblattförmigen Außenoberfläche 112 und deckt die die Mikrokanäle (Kanäle 130) ausbildende Nut 132 ab. Wie in den **Fig. 8** und **Fig. 9** dargestellt, können beispielsweise das Substrat 110 und die Beschichtung 150 ferner mehrere Austrittsfilmkühllöcher 142 definieren. Für die in **Fig. 9** dargestellte Beispieldurchmessersform transportiert der Kanal 130 Kühlmittel aus einem Zugangloch 140 zu einem Austrittsfilmkühlloch 142. Es sei angemerkt, dass, wie dargestellt, die Beschichtung 150 lediglich die erste Beschichtung oder strukturelle Beschichtung ist, die die Kanäle abdeckt. Für bestimmte Anwendungen kann nur eine einzige Beschichtung alles sein, was eingesetzt wird. Jedoch werden für andere Anwendungen auch eine Haftbeschichtung und eine Wärmedämmbeschichtung (TBC) verwendet. Bei den in den **Fig. 8** und **Fig. 9** dargestellten Beispieldurchmessern führen die Mikrokanäle (Kanäle 130) den Kühlmittelstrom aus dem entsprechenden Zugangloch zu dem Austrittsfilmkühlloch 142. Bei den in den **Fig. 8** und **Fig. 9** dargestellten, als solche nicht beanspruchten Ausführungsbeispielen transportieren die Nuten Fluid zu den Austrittsfilmkühlköpfen 142. Jedoch enthalten weitere Ausführungsformen kein Filmloch, wobei sich die Mikrokanäle einfach entlang der Außenoberfläche 112 des Substrats 110 erstrecken und an einer Kante der Komponente, wie zum Beispiel der Hinterkante oder der Schaufel spitze oder an einer Stirnwandkante, austreten. Zusätzlich sollte angemerkt werden, dass obwohl die Filmlöcher in **Fig. 8** als rund dargestellt sind, dieses lediglich ein nicht einschränkendes Bei-

spiel ist. Die Filmlöcher können auch nicht rund geformte Löcher sein.

**[0025]** Typischerweise liegt die Mikrokanallänge in dem Bereich des 10- bis 1000-fachen des Filmlochdurchmessers und insbesondere in dem Bereich des 20- bis 100-fachen des Filmlochdurchmessers. Vorteilhaft können die Mikrokanäle überall auf den Oberflächen der Komponenten (Schaufelblattkörper, Vorderkanten, Hinterkanten, Blattspitzen, Stirnwänden, Plattformen) eingesetzt werden. Zusätzlich können, obwohl die Mikrokanäle mit geraden Wänden dargestellt sind, die Kanäle 130 jede Ausführungsform haben, sie können beispielsweise gerade, gekrümmt sein oder mehrere Kurven haben usw. Die Beschichtung 150 weist ein zweites Material auf, welches jedes geeignete Material sein kann und mit der schaufelblattförmigen Außenoberfläche 112 des Substrates 110 verbunden ist. Für spezielle Ausführungsformen hat die Beschichtung 150 eine Dicke in dem Bereich von 0,1 bis 2,0 mm und insbesondere in dem Bereich von 0,1 bis 1 mm und noch bevorzugter von 0,1 bis 0,5 mm für industrielle Komponenten. Für Luftfahrtkomponenten reicht dieser Bereich typischerweise von 0,1 bis 0,25 mm. Jedoch können andere Dicken abhängig von den Anforderungen für eine spezielle Komponente 100 verwendet werden.

**[0026]** Bei der in **Fig. 4** dargestellten, als solche nicht beanspruchten Beispieldurchmessersform weist die Beschichtung 150 zwei Lagen 54, 56 auf. Obwohl nur zwei Lagen 54 und 56 in **Fig. 4** dargestellt sind, können zusätzliche Lagen 50 für bestimmte Anwendungen angewendet werden. Für die in **Fig. 4** dargestellte Beispieldurchmessersform ist die erste 54 der Lagen 50 auf dem Substrat 110 in einem Winkel  $\alpha$  abgeschieden, und die zweite 56 der Lagen 50 ist über der ersten Lage 54 in einem Winkel  $\beta$  abgeschieden. Für bestimmte Prozessausführungsformen kann der Winkel  $\beta$  im Wesentlichen dasselbe wie der Winkel  $\alpha$  (nämlich  $\beta = \alpha \pm 10$  Grad) dargestellt sein, dass die Ausrichtung der ersten und der zweiten Lage 54, 56 im Wesentlichen spiegelbildlich ist. Für andere Prozessausführungsarten können sich die Abscheidungswinkel  $\beta$  und  $\alpha$  deutlicher unterscheiden. Beispielsweise kann die zweite Lage 56 in einem Winkel  $\beta$  abgeschieden sein, der näher an der Oberflächennormalen 52 als der Abscheidungswinkel  $\alpha$  für die erste Lage 54 liegt. Durch Wechseln oder Modulieren des Beschichtungsabscheidungswinkels von einer Seite zur anderen dargestellt, dass die erste Lage 54 bei einem Winkel  $\alpha$  aufgebracht wird und die zweite Lage 56 bei dem entgegengesetzten Winkel  $\beta = 180 - \alpha$  aufgebracht wird, wird eine Beschichtungsmikrostruktur aufgebaut, die durch nur eine einzige Beschichtungsrichtung offen gebliebene Bereiche schließen kann, wie es aus einem Vergleich von **Fig. 5** und **Fig. 6** ersichtlich ist. Diese Abweichung kann für zwei Lagen oder für zusätzliche Lagen fortgesetzt werden.

**[0027]** Für die in **Fig. 4** dargestellten nicht erfundungsgemäßen Beispielausführungsformen überbrücken die erste und zweite Beschichtungslage 54, 56 vollständig die entsprechenden Nuten 132 dergestalt, dass die Beschichtung 150 die entsprechenden Kanäle 130 verschließt. Jedoch definiert die erste Lage 54 für erfundungsgemäße Ausführungsformen einen oder mehrere durchlässige Schlitz 144 dergestalt, dass die erste Lage 54 nicht jede von den entsprechenden Nuten 132 vollständig überbrückt. Beispiele poröser Lagen 54, 56 sind in den **Fig. 5** und **Fig. 6** dargestellt. **Fig. 5** stellt vier Beispiekühlkanäle dar, die in einem GTD444®-Substrat mit einer ersten Lage 54 aus Rene142C® ausgebildet sind, die in einem Winkel  $\alpha$  von ca. 45 Grad in Bezug auf die Oberflächennormale 52 des Substrates 110 abgeschieden ist. **Fig. 6** stellt die vier Beispiekühlkanäle von **Fig. 5** mit einer zusätzlichen zweiten Lage 56 aus Rene142C® dar, die in einem Winkel  $\beta$  von ca. 45 Grad in Bezug auf die Oberflächennormale 52 des Substrates 110 abgeschieden ist. Für speziellere Ausführungsformen definiert die zweite Lage 56 auch einen oder mehrere durchlässige Schlitz 144 dergestalt, dass die erste und zweite Lage 54, 56 nicht jede von den entsprechenden Nuten 132 vollständig überbrücken. Gemäß Darstellung in **Fig. 5** hat ein typischer Spalt (durchlässiger Schlitz 144) eine unregelmäßige Geometrie, wobei die Spaltbreite des Schlitzes 144 variiert, während die Beschichtung 150 aufgebracht wird und eine Dicke aufbaut. Zu Beginn, während der erste Teil der Beschichtung 50 auf das Substrat 110 aufgebracht wird, kann die Breite des Schlitzes 144 bis zu 50% der Breite der Oberseite 136 des Kanals 130 sein. Der Schlitz 144 kann sich dann bis zu 5% oder weniger der Breite der Oberseite 136 verkleinern, während sich die Beschichtung 150 aufbaut. Für spezielle Beispiele ist die Breite des Schlitzes 144 an seinem engsten Punkt 5 bis 20% der Breite der entsprechenden Oberseite 136 des Mikrokanals. Zusätzlich kann der durchlässige Schlitz 144 porös sein, wobei in diesem Falle der „poröse“ Schlitz 144 einige Verbindungen haben kann, d.h., einige Punkte oder Stellen, die einen Spalt von null haben. Vorteilhafterweise stellen die Schlitz 144 eine Spannungsentlastung für die Beschichtung 150 bereit.

**[0028]** Jedoch ist, obwohl es wichtig ist, die durch den Schlitz 144 in der ersten Lage 54 der Beschichtung 150 bereitgestellte Spannungsentlastung zu haben, der sich ergebende Schlitz 144 in der ersten Lage 54 wesentlich kleiner als die ursprüngliche Öffnung. Die durchlässigen Schlitz 144 erstrecken sich durch alle Beschichtungslagen hindurch. Vorteilhaft funktioniert der durchlässige Schlitz 144 als eine Spannungs/Belastungs-Entlastung für die Aufbaubeschichtung(en). Zusätzlich kann der durchlässige Schlitz 144 als eine Kühlungseinrichtung dienen, wenn er sich durch alle Beschichtungen hindurch erstreckt, d.h., dass bei dieser Ausführungsform die

durchlässigen Schlitz 144 zum Transportieren eines kühlenden Fluids aus den entsprechenden Kanälen zu einer Außenoberfläche der Komponente ausgelegt sind. Ferner dient der durchlässige Schlitz 144 als eine passive Kühleinrichtung, wenn er durch die oberen Beschichtungen überbückt ist, in dem Falle, wenn diese Beschichtungen beschädigt oder abgeplatzt sind.

**[0029]** Für die in **Fig. 7** dargestellte, als solche nicht beanspruchte Beispielausführungsform hat jede von den Nuten 132 eine Basis 134 und eine Oberseite 136, wobei die Basis 134 dergestalt breiter als die Oberseite 136 ist, dass jede von den Nuten 132 eine einspringend geformte Nut 132 aufweist. Für spezielle Ausführungsformen ist die Basis 134 einer entsprechenden von den einspringend geformten Nuten 132 wenigstens zweimal breiter als die Oberseite 136 der entsprechenden Nut 132. Für speziellere Ausführungsformen ist die Basis 134 der entsprechenden einspringend geformten Nut 132 wenigstens dreimal breiter und ist insbesondere in einem Bereich von etwa drei- bis viermal breiter als die Oberseite 136 der entsprechenden Nut 132. Vorteilhaft kann die vorstehend beschriebene in einem Winkel stattfindende Beschichtungsabscheidung in Kombination mit den als Einsprungnuten ausgebildeten Nuten 132 verwendet werden, die in der gleichzeitig übereigneten, gleichzeitig eingereichten US Patentanmeldung, Ronald S. Bunker et al., "Ronald S. Bunker et al., „Components with re-entrant shaped cooling channels and methods of manufacture“ bereitgestellt werden. Vorteilhaft kann durch Aufbringen der Beschichtung in einem signifikanten Abscheidungswinkel die Beschichtung 150 die Einsprungnut ohne Füllung oder Teilverfüllung überbrücken. Zusätzlich stellen die Einsprungnuten eine verbesserte Kühlung in Bezug auf eine einfach geformte Nut (nämlich Nuten mit Oberseiten 136 und Basen angenähert gleicher Breite) mit derselben Breite an der Oberseite 136 bereit.

**[0030]** Die Beschichtung 150 kann unter Anwendung einer Vielzahl von Techniken abgeschieden werden. Für spezielle Prozesse wird die Beschichtung 150 über wenigstens einen Abschnitt der Außenoberfläche 112 des Substrates 110 durch Durchführen einer Ionenplasma-Abscheidung angeordnet. Beispielhafte kathodische Lichtbogenionenplasma-Abscheidungsvorrichtungen und Verfahren sind in der gemeinsam übereigneten US Patentanmeldung US 2008 / 0 138 529 A1, Weaver et al., „Method and apparatus for cathodic arc ion plasma deposition“ bereitgestellt. Kurz gesagt, umfasst eine Ionenplasmaabscheidung die Platzierung einer aus einem Beschichtungsmaterial geformten Kathode in einer Vakuumumgebung in einer Vakuumkammer, die Bereitstellung eines Substrates 110 in der Vakuumumgebung, die Zuführung eines Stroms zu der Kathode zum Erzeugen eines kathodischen

Lichtbogens auf der Kathodenoberfläche, was zu einer Erosion oder Verdampfung des Beschichtungsmaterials von der Kathodenoberfläche und zur Abscheidung des Kathodenmaterials von der Kathode auf die Außenoberfläche 112 des Substrats 110 führt.

**[0031]** In einem nicht einschränkenden Beispiel beinhaltet der Ionenplasma-Abscheidungsprozess einen Plasmadampf-Abscheidungsprozess. Nicht einschränkende Beispiele der Beschichtung 150 beinhalten Aufbaubeschichtungen, Haftbeschichtungen, oxidationsbeständige Beschichtungen und Wärmedämmbeschichtungen wie es nachstehend im Detail unter Bezugnahme auf die US 5 626 462 A diskutiert wird. Für bestimmte Heißgaspfad-Komponenten weist die Beschichtung 150 eine Nickel-basierende oder Kobalt-basierende Legierung auf, und weist insbesondere eine Superlegierung oder eine NiCoCrAlY-Legierung auf. Beispielsweise kann, wenn das erste Material des Substrates 110 eine Ni-Basis-Superlegierung sowohl mit  $\gamma$ -als auch  $\gamma'$ -Phasen ist, die Beschichtung 150 diese gleichen Materialien aufweisen, wie es nachstehend detaillierter unter Bezugnahme auf die US 5 626 462 A beschrieben wird.

**[0032]** Für weitere Prozessausführungsarten wird die Beschichtung 150 wenigstens über einem Abschnitt der Außenoberfläche 112 des Substrates 110 angeordnet, indem wenigstens einer von einem Wärmespritzprozess und einem Kaltspritzprozess durchgeführt wird. Kurz gesagt, ist ein Kaltspritzprozess ein nicht thermischer Spritzprozess, in welchem Metallpulver in inerten Gasstrahlen beschleunigt wird. Bei einem Aufprall auf dem Substrat machen die Metallpartikel eine plastische Verformung durch, um an der Substratoberfläche anzuhaften. Beispielsweise kann der Wärmespritzprozess Verbrennungsspritzen oder Plamaspritzen umfassen, das Verbrennungsspritzen kann Hochgeschwindigkeits-Sauerstoffbrennstoffspritzen (HVOF) oder Hochgeschwindigkeits-Luftbrennstoffspritzen (HVAF) umfassen und das Plamaspritzen kann einen atmosphärischen (wie zum Beispiel Luft- oder Inertgas-) Plasmastrahl oder einen Niederdruckplasmastrahl (LPPS), welcher auch als Vakuumplasmastrahl oder VPS bekannt ist) umfassen. In einem nicht einschränkenden Beispiel wird eine NiCrAlY-Beschichtung durch HVOF oder HVAF abgeschieden. Weitere Beispieltechniken zur Abscheidung einer oder mehrerer Lagen der Beschichtung 150 umfassen ohne Einschränkung Sputtern, Elektronenstrahlaufdampfen, stromloses Galvanisieren und Galvanisieren.

**[0033]** Für bestimmte Ausführungsformen ist es wünschenswert, mehrere Abscheidungstechniken für die Erzeugung der Beschichtung 150 bzw. des Beschichtungssystems einzusetzen. Beispielsweise kann die erste Lage 54 unter Verwendung einer

Ionenplasma-Abscheidung abgeschieden werden, und die zweite Lage 56 und optionale (nicht dargestellte) zusätzliche Lagen können unter Anwendung anderer Techniken, wie zum Beispiel eines Verbrennungsspritzprozesses (zum Beispiel HVOF oder HVAF) oder unter Anwendung eines Plasmaspritzprozesses wie zum Beispiel LPPS abgeschieden werden. Abhängig von den verwendeten Materialien kann die Verwendung unterschiedlicher Abscheidungstechniken für die Lagen 50 Vorteile in Verformungstoleranz und/oder in der Duktilität bieten.

**[0034]** Insbesondere, und wie in der US 5 626 462 A diskutiert, weist das zum Erzeugen der Beschichtung 150 verwendete zweite Material jedes geeignete Material auf. Für den Fall einer gekühlten Komponente 100 einer Turbine muss das zweite Material in der Lage sein, Temperaturen von etwas 1150 °C zu widerstehen, während die TBC bis zu etwa 1320 °C gehen kann. Die Beschichtung 150 muss zu der schaufelblattförmigen Außenoberfläche 112 des Substrates 110 kompatibel und zur Anhaftung dafür angepasst sein. Diese Haftung kann erzeugt werden, wenn die Beschichtung 150 auf das Substrat 110 abgeschieden wird. Die Haftung kann während der Abscheidung durch viele Parameter einschließlich des Abscheideverfahrens, der Temperatur des Substrates 110 während der Abscheidung, abhängig davon, ob die Abscheidungsoberfläche in Bezug auf die Abscheidungsquelle vorgespannt ist und mittels anderer Parameter beeinflusst werden. Die Haftung kann auch durch eine anschließende Wärmebehandlung oder andere Bearbeitung beeinflusst werden. Zusätzlich kann die Oberflächenmorphologie, chemische Zusammensetzung und Reinheit des Substrates 110 vor der Abscheidung den Grad beeinflussen, mit welchem eine metallurgische Haftung auftritt. Zusätzlich zur Ausbildung einer starken metallurgischen Haftung zwischen der Beschichtung 150 und dem Substrat 110 ist es erwünscht, dass diese Haftung über der Zeit und bei hohen Temperaturen in Bezug auf Phasenänderungen und in der Diffusion, wie hierin beschrieben, konstant bleibt. Im Rahmen der Kompatibilität wird es bevorzugt, dass die Haftung dieser Elemente thermodynamisch stabil ist, sodass sich die Festigkeit und Duktilität der Haftung nicht signifikant über der Zeit (zum Beispiel bis zu 3 Jahren) durch Interdiffusion oder andere Prozesse selbst bei Aussetzungen an hohe Temperaturen in der Größenordnung von 1150 °C für Ni-Basis Legierungs-Schaufelblatträgerwände und Ni-Basis-Schaufelblattüberzüge 42, oder höhere Temperaturen in der Größenordnung von 1300 °C, wenn Materialien mit höherer Temperaturbeständigkeit wie zum Beispiel Nb-Basislegierungen verwendet werden, verschlechtert.

**[0035]** Wie es in US 5 626 462 A diskutiert wurde, können, wenn das erste Material des Substrates 110 eine Ni-Basis-Superlegierung sowohl mit  $\gamma$ - als auch

$\gamma$ -Phasen oder eine intermetallische NiAl-Legierung ist, die zweiten Materialien für die Beschichtung 150 dieselben Materialien umfassen. Eine derartige Kombination von Beschichtungen 150 und Materialien des Substrates 110 wird für Anwendungen bevorzugt, bei denen die maximalen Temperaturen der Betriebsumgebung ähnlich denen bestehender Triebwerke sind (zum Beispiel unter 1650 °C). In dem Falle, in welchem das erste Material des Substrates 110 eine Nb-Basis-Legierung ist, kann das zweite Material für die Beschichtung 150 ebenfalls eine Nb-Basis-Legierung einschließlich derselben Nb-Basis-Legierung umfassen.

**[0036]** Wie es in US 5 626 462 A beschrieben wurde, wird es für andere Anwendungen, wie zum Beispiel Anwendungen, die eine andere Temperatur, Umgebung oder andere Beschränkungen vorgeben, die die Verwendung einer Metalllegierungsbeschichtung 150 unerwünscht machen, bevorzugt, dass die Beschichtungen 150 Materialien aufweisen, die Eigenschaften haben, die denen von Metalllegierungen alleine überlegen sind, wie Verbundwerkstoffe in der allgemeinen Form einer intermetallischen Verbindung ( $I_s$ )/Metall-Legierungs (M) Phasenverbundwerkstoffe und intermetallische Verbindung( $I_s$ )/intermetallische Verbindungs ( $I_m$ ) Phasenverbundwerkstoffe umfassen. Die Metalllegierung M kann dieselbe Legierung sein, wie die für die Schaufelblattunterstützungswand verwendete oder ein anderes Material abhängig von den Anforderungen an das Schaufelblatt. Diese Verbundwerkstoffe sind im Allgemeinen dahingehend ähnlich, dass sie eine relativ duktilere Phase M oder  $I_m$  mit einer relativ weniger duktilen Phase  $I_s$  kombinieren, um eine Beschichtung 150 zu erzeugen, die den Vorteil beider Materialien erreicht. Ferner müssen, um einen erfolgreichen Verbundwerkstoff zu erhalten, die zwei Materialien kompatibel sein. So wie hierin in Bezug auf Verbundwerkstoffe verwendet, bedeutet der Begriff „kompatibel“, dass die Materialien in der Lage sein müssen, die gewünschte Anfangsverteilung ihrer Phasen auszubilden, und diese Verteilung für eine längere Zeitdauer wie vorstehend beschrieben bei Einsatztemperaturen von 1150 °C oder mehr beizubehalten, ohne metallurgische Reaktionen durchzumachen, die die Festigkeit, Duktilität, Zähigkeit oder andere wichtige Eigenschaften des Verbundwerkstoffes beeinträchtigen. Eine derartige Kompatibilität kann auch in Form einer Phasenstabilität ausgedrückt werden. Das heißt, die getrennten Phasen des Verbundwerkstoffes müssen eine Stabilität während des Betriebs bei einer Temperatur über längere Zeitperioden haben, sodass diese Phasen getrennt und vereinzelt bleiben, und dadurch ihre getrennten Identitäten und Eigenschaften beibehalten und nicht zu einer einzigen Phase oder mehreren unterschiedlichen Phasen aufgrund einer Interdiffusion werden. Die Kompatibilität kann auch in Form einer morphologischen Stabilität der Zwischenpha-

senbegrenzungsschnittstelle zwischen den  $I_s/M$  oder  $I_s/I_m$ -Verbundwerkstofflagen ausgedrückt werden. Eine derartige Instabilität kann durch Faltungen manifestiert sein, welche den Zusammenhang jeder Lage unterbrechen. Es ist auch anzumerken, dass innerhalb einer gegebenen Beschichtung 150 mehrere  $I_s/M$ - oder  $I_s/I_m$ -Verbundwerkstoffe verwendet werden können und derartige Verbundwerkstoffe nicht auf zwei Materialien oder zwei Phasenkombinationen beschränkt sind. Die Verwendung derartiger Kombinationen ist lediglich veranschaulichend und nicht erschöpfend oder bezüglich der möglichen Kombinationen einschränkend. Somit sind  $M/I_m/IS$ ,  $M/I_{S1}/IS2$  (wobei  $I_{S1}$  und  $I_{S2}$  unterschiedliche Materialien sind) und viele andere Kombinationen möglich.

**[0037]** Wie in US 5 626 462 A diskutiert, in welchem das Substrat 110 eine Ni-Basis-Superlegierung mit einem Gemisch sowohl aus  $\gamma$ - als auch  $\gamma'$ -Phasen aufweist, kann  $I_s$   $Ni_3[Ti, Ta, Nb, V]$ , NiAl,  $Cr_3 Si$ ,  $[Cr, Mo]_x Si$ ,  $[Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V]C$ ,  $Cr_3 C_2$  und  $Cr_7 C_3$  intermetallische Verbindungen und Zwischenphasen aufweisen und M kann eine Ni-Basis-Superlegierung sowohl mit einem Gemisch aus  $\gamma$  als auch  $\gamma'$ -Phasen aufweisen. In Ni-Basis-Superlegierungen, die ein Gemisch sowohl aus  $\gamma$ - als auch  $\gamma'$ -Phasen aufweisen, sind die Elemente Co, Cr, Al, C und B nahezu immer als Legierungsbestandteile vorhanden, so wie variierende Kombinationen von Ti, Ta, Nb, V, W, Mo, Re, Hf und Zr. Somit entsprechen die Bestandteile der beschriebenen exemplarischen  $I_s$ -Materialien einem oder mehreren Materialien, die man typischerweise in Ni-Basis-Legierungen findet, wie sie beispielsweise als erstes Material (zum Erzeugen des Substrates 110) verwendet werden, und können somit angepasst werden, um die hierin beschriebene Phasen- und Interdiffusionsstabilität zu erreichen. Als ein zusätzliches Beispiel kann in dem Falle, in welchem das erste Material (das Substrat 110) die intermetallische NiAl-Legierung aufweist,  $I_sNi_3[Ti, Ca, Nb, V]$ , NiAl,  $Cr_3 Si$ ,  $[Cr, Mo]_x Si$ ,  $[Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V]C$ ,  $Cr_3 C_2$  und  $Cr_7 C_3$  intermetallische Verbindungen und Zwischenphasen aufweisen und  $I_m$  kann eine zwischenmetallische  $Ni_3Al$ -Legierung aufweisen. Wiederum sind in den intermetallischen NiAl-Legierungen eines oder mehrere von den Elementen (Co, Cr, C und B) nahezu immer als Legierungsbestandteile vorhanden, so wie variierende Komponenten von Ti, Ta, Nb, V, W, Mo, Re, Hf und Zr. Somit entsprechen die Bestandteile der beschriebenen exemplarischen  $I_s$ -Materialien einem oder mehreren Materialien, die man typischerweise in NiAl-Legierungen findet, wie sie als ein erstes Material verwendet werden können, und das somit angepasst werden kann, um die hierin beschriebene Phasen- und Interdiffusionsstabilität zu erreichen.

**[0038]** Wie in US 5 626 462 A beschrieben, in welchem das Substrat 110 eine Nb-Basis-Legierung auf-

weist, die eine Nb-Basis-Legierung mit wenigstens einer sekundären Phase enthält, kann I<sub>S</sub> eine Nb-haltige intermetallische Verbindung ein Nb-haltiges Carbide oder ein Nb-haltiges Borid aufweisen, und M kann eine Nb-Basis-Legierung umfassen. Es wird bevorzugt, dass ein derartiger I<sub>S</sub>/M-Verbundwerkstoff eine M-Phase einer Nb-Basis-Legierung mit Ti dergestalt aufweist, dass das Atomverhältnis von dem Ti zu Nb (Ti/Nb) der Legierung in dem Bereich von 0,2 bis 1 liegt, und dass eine I<sub>S</sub>-Phase eine Gruppe aufweist, die aus Nb-Basis Siliziden, Cr<sub>2</sub>[Nb, Ti, Hf] und Nb-Basis-Aluminiden besteht, und wobei Nb neben Nb, Ti und Hf der Hauptbestandteil von Cr<sub>2</sub>[Nb, Ti, Hf] auf einer Atombasis ist. Diese Verbindungen haben alle Nb als gemeinsamen Bestandteil und können somit angepasst werden, um die in US 5 626 462 A beschriebene Phasen- und Interdiffusionsstabilität zu erzielen.

**[0039]** Die Beschichtung hat im Aufbringungszustand eine ausreichende Partikelgröße, Festigkeit und Anhaftung (Haftung) um die sich öffnenden Spalte der Nuten 132 ohne die Verwendung eines Opferfüllmaterials während der Beschichtungsabscheidung zu überbrücken, und wobei minimale Mengen des Beschichtungsmaterials innerhalb der Nut abgeschieden werden. Jedoch füllt typischerweise etwas Beschichtungsmaterial die Öffnung leicht unter der Außenoberfläche auf, wie es beispielsweise in **Fig. 10** dargestellt ist. Dieser Überbrückungseffekt wurde bereits früher bei TBC-Beschichtungen unter Plasmadampfabscheidung (PVD) dokumentiert, die über kleinen offenen Nuten abgeschieden wurden. Vorteilhaft führt die Verwendung der vorliegenden Winkelabscheidungstechnik mit thermischen Sprühbeschichtungen zu wesentlich größeren Partikelansammlungen mit der Fähigkeit, größere Spaltgrößen zu überbrücken.

**[0040]** Gemäß den **Fig. 3** und **Fig. 4** überbrückt die Beschichtung 150 für bestimmte nicht erfundungsähnliche Ausführungsformen vollständig die entsprechenden Nuten 132 so, dass die Beschichtung 150 die entsprechenden Kanäle 130 verschließt. Insbesondere überbrücken die erste und zweite Lage 54, 56 für in den **Fig. 4** und **Fig. 7** dargestellte Beispieldarstellungen vollständig die entsprechenden Nuten 132. Für Ausführungsformen gemäß der Erfindung definiert die Beschichtung 150 einen oder mehrere durchlässige Schlitze 144 so, dass die Beschichtung 150 nicht vollständig jede von den entsprechenden Nuten 132 überbrückt, wie es beispielsweise in den **Fig. 5** und **Fig. 6** dargestellt ist. Diese poröse Ausführungsform stellt eine Spannungsentlastung für die Beschichtung 150 bereit.

**[0041]** Vorteilhaft ist es durch Abscheiden der Beschichtung 150 in einem Winkel α, β nicht erforderlich, ein (nicht dargestelltes) Opferfüllmaterial zu verwenden, um die Beschichtung 150 auf die Sub-

strate 110 aufzubringen. Diese erübriggt die Notwendigkeit eines Füllprozesses und eines noch schwierigeren Entfernungsprozesses. Ferner können bei Durchführung einer Winkelbeschichtungsabscheidung auf einspringend geformten Nuten mit engen Öffnungen (Oberseiten 136) beispielsweise bei Öffnungen (Oberseiten 136) in dem Bereich von etwa 250 bis 300 µm (10 bis 12 mils) Breite die Öffnungen (Oberseiten 136) durch die Beschichtung 150 ohne die Verwendung eines Opferfüllmaterials überbrückt werden, und dabei zwei von den Hauptverarbeitungsschritten (Füllen und Auslaugen) für herkömmliche Kanalerzeugungstechniken erübrigten werden.

**[0042]** Zusätzlich zur Beschichtung 150 kann die Innenoberfläche der Nut 132 (oder des Kanals 130, wenn die erste (innere) Lage der Beschichtung 150 nicht besonders oxidationsbeständig ist) weiter modifiziert werden, um ihre Oxidations- und/oder Heißkorrosionsbeständigkeit zu verbessern. Geeignete Techniken zum Aufbringen einer (nicht ausdrücklich dargestellten) oxidationsbeständigen Beschichtung an der Innenoberfläche der Nuten 132 (oder der Kanäle 130) beinhalten eine Dampfphasen- oder Schlämmenchromidierung, Dampfphasen- oder Schlämmenaluminidierung oder Überzugsabscheidung durch Verdampfen, Sputtern, Ionenplasmaabscheiden, thermisches Sprühen und/oder kaltes Sprühen. Beispiele oxidationsbeständiger Überzugsbeschichtungen beinhalten Materialien in der MCrAlY-Familie (M={Ni,Co,Fe}) sowie aus der NiAlX-Familie (X={CrHf,Zr,Y,La,Si,Pt,Pd}) ausgewählte Materialien.

**[0043]** Eine Komponente 100 wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 2** bis **Fig. 10** beschrieben. Wie es beispielsweise in **Fig. 2** dargestellt ist, weist die Komponente 100 ein Substrat 110 mit einer Außenoberfläche 112 und einer Innenoberfläche 116 auf. Wie es beispielsweise in **Fig. 2** dargestellt ist, definiert die Innenoberfläche 116 wenigstens einen hohen Innenraum 114. Wie es beispielsweise in den **Fig. 2** bis **Fig. 4**, **Fig. 7** und **Fig. 8** dargestellt ist, definiert die Außenoberfläche 112 eine oder mehrere Nuten 132. Für die dargestellten Beispiele definiert das Substrat 110 mehrere Nuten 132. Wie es beispielsweise in den **Fig. 7** bis **Fig. 9** dargestellt ist, erstreckt sich jede von den Nuten 132 wenigstens teilweise entlang der Außenoberfläche 112 des Substrates 110 und hat eine Basis 134. Um die Wahrscheinlichkeit irgendeiner Beschichtungsabscheidung auf den Innenseitenwänden der Nuten 132 zu verringern, liegt die Kanalöffnungsbreite an der Oberseite erwünschtermaßen in einem Bereich von 250 bis 500 µm (0,010 bis 0,02 Inches).

**[0044]** Zugangslöcher 140 erstrecken sich durch die entsprechenden Basen 134 der Nuten 132, um eine Fluidverbindung zwischen den Nuten 132 und dem hohen Innenraum beziehungsweise Innenräumen

114 gemäß Darstellung in den **Fig. 3**, **Fig. 4** und **Fig. 7** bereitzustellen. Die Zugangslöcher 140 sind typischerweise im Querschnitt rund oder oval und können beispielsweise unter Verwendung von einem oder mehreren von einer Laserbearbeitung (Laserbohrung), eines abtragenden Flüssigkeitsstrahls, einer Elektroerosionsbearbeitung (EDM) und durch Elektronenstrahlbohren ausgebildet werden. Die Zugangslöcher 140 können senkrecht zu der Basis 134 der entsprechenden Nuten 132 (gemäß Darstellung in den **Fig. 3**, **Fig. 4** und **Fig. 7**) sein oder können allgemeiner in Winkeln in einem Bereich von 20 Grad bis 90 Grad in Bezug auf die Basis 134 der Nut gebohrt sein.

**[0045]** Gemäß Darstellung in den **Fig. 3**, **Fig. 4** und **Fig. 7** enthält die Komponente 100 ferner eine Beschichtung 150, die wenigstens über einem Abschnitt der Außenoberfläche 112 des Substrates 110 angeordnet ist, wobei die Beschichtung 150 eine oder mehrere Lagen 50 aufweist. Wie vorstehend diskutiert, definieren die Nuten 132 und die Beschichtung 150 zusammen eine Anzahl von Kanälen 130 zum Kühlen der Komponente 100. Beispielbeschichtungen sind vorstehend angegeben. Für Beispieldurchführungsformen weist die Beschichtung 150 wenigstens eine Aufbaubeschichtung, eine Haftbeschichtung, eine oxidationsbeständige Beschichtung und eine Wärmedämmbeschichtung auf.

**[0046]** Für die in den **Fig. 5** und **Fig. 6** dargestellten Beispieldurchführungsformen definiert wenigstens eine von den Lagen 50 einen oder mehrere durchlässige Schlitze 144 so, dass die entsprechende Lage 50 nicht vollständig jede von den entsprechenden Nuten 132 überbrückt. Wie vorstehend diskutiert, erstrecken sich die durchlässigen Schlitze 144 für bestimmte Anordnungen durch alle Beschichtungsschichten, und transportieren dadurch ein Kühlmittel aus den Kanälen 130 an die Außenoberfläche der Komponente. Wie vorstehend angegeben, erzeugen die durchlässigen Schlitze 144 eine Spannungsentlastung für die Beschichtung 150. Zusätzlich sollte angemerkt werden, dass obwohl in Beispieldurchführungsformen für den Schlitz 144 in den Figuren für andere Anordnungen dargestellt ist, die Porosität (und somit der Querschnitt) entlang des Verlaufs des Mikrokanals variiert.

**[0047]** Für spezielle Ausführungsformen werden die Schlitze 144 dazu genutzt, einen Kühlstrom durch die Beschichtung(en) 150 an die Außenoberfläche der Komponente 100 zu liefern. Beispielsweise ergibt sich, wenn nur Aufbaubeschichtungen aufgebracht werden, dann eine Art einer Transpirationskühlung mit Kühlungsströmen, die nützlicherweise entlang der gesamten Kanallänge austreten. Zusätzlich würde, wenn nur eine Wärmedämmbeschichtung (TBC) unter Anwendung einer Plasmadampfabscheidung (PVD) aufgebracht wird, dann die säulen-

artige Art der TBC wiederum einen Austritt des Kühlstroms durch die Schlitze 144 ermöglichen. Dieser Kühlstrom durch die durchlässigen Schlitze 144 ist besonders für die Kühlung von Luftfahrtturbinenlaufschaufern nützlich.

**[0048]** Bei der in **Fig. 5** dargestellten Beispieldurchführungsform ist jeder von den durchlässigen Schlitzen 144 in einem Winkel  $\gamma$  in Bezug auf eine Oberflächennormale 52 des Substrates 110 geneigt, wobei der Winkel  $\gamma$  in einem Bereich von ca. 25 Grad bis 70 Grad in Bezug auf die Oberflächennormale 52 des Substrates 110 liegt. Der Winkel der Schlitzneigung  $\gamma$  kann zu einem Abscheidungswinkel  $\alpha$  unter Anwendung der nachstehenden Gleichung in Bezug gesetzt werden:

$$\tan \alpha = 2 \tan \gamma \quad (\text{Gl. 1})$$

**[0049]** Für speziellere Ausführungsformen liegt der Winkel  $\gamma$  in einem Bereich von ca. 30 Grad bis 45 Grad in Bezug auf die Oberflächennormale 52 des Substrates 110. Es sei angemerkt, dass die in den **Fig. 5** und **Fig. 6** dargestellten Ausführungsformen typischerweise sich nur für Komponenten ergeben, die während des Beschichtungsprozesses stationär sind. Zusätzlich kann für gekrümmte Komponenten der Winkel  $\gamma$  entlang der Länge des Kanals 130 als Folge der lokalen Krümmung der Komponente variieren. Ferner kann für gekrümmte Komponenten der Winkel  $\gamma$  für unterschiedliche Kanäle auf der Basis der lokalen Krümmung der Komponente variieren.

**[0050]** Für die in **Fig. 6** dargestellte Beispieldurchführungsform variiert der Neigungswinkel für den durchlässigen Schlitz 144 über der Dicke der Beschichtung 150. Gemäß Darstellung in **Fig. 6** unterscheidet sich der Neigungswinkel  $\gamma'$  für die Schlitze 144 (in Bezug auf die Oberflächennormale 52 des Substrates 110) in der zweiten Lage 56 von dem Neigungswinkel  $\gamma$  für die Schlitze 144 (in Bezug auf die Oberflächennormale 52) in der ersten Lage 54. Der Neigungswinkel  $\gamma'$  kann zu einem Abscheidungswinkel  $\beta$  unter Anwendung der nachstehenden Gleichung in Bezug gesetzt werden:

$$\tan \beta = 2 \tan \gamma' \quad (\text{Gl. 2})$$

**[0051]** Für weitere Ausführungsformen sind die durchlässigen Schlitze 144 angenähert rechtwinklig zu dem Substrat 110 ausgerichtet. Diese Ausführungsform ergibt sich typischerweise, wenn das Substrat 110 um eine oder mehrere Achsen während der Abscheidung der Beschichtung gedreht wird. So wie hierin verwendet sollte der Begriff „angenähert“ in der Bedeutung von  $\pm 15$  Grad der lokalen Oberflächennormale verstanden werden.

**[0052]** Für die in den **Fig. 5** und **Fig. 6** dargestellten erfindungsgemäßen Beispieldurchführungsformen

definiert die erste Lage 54 einen oder mehrere durchlässige Schlitze 144, sodass die erste Lage 54 jede von den entsprechenden Nuten 132 nicht vollständig überbrückt. Zusätzlich definiert die zweite Lage 56 für die in **Fig. 6** dargestellte Beispielanordnung auch einen oder mehrere durchlässige Schlitze 144 so, dass die erste und zweite Lage 54, 56 nicht vollständig jede von den entsprechenden Nuten 132 überbrücken.

**[0053]** Wie vorstehend diskutiert, können, obwohl die Kanäle 130 mit geraden Wänden dargestellt sind, die Kanäle 130 beispielsweise eine Ausführungsform haben, dass sie gerade sind, gekrümmmt sind oder mehrere Kurven haben usw. Für die in den **Fig. 7** und **Fig. 10** dargestellte Beispielausführungsformen sind die Nuten einspringend geformt. Für die Anordnungen der **Fig. 7** und **Fig. 10** ist nämlich die Basis 134 von jeder der Nuten 132 breiter als die Oberseite 136 der entsprechenden Nut 132, sodass jede von den Nuten 132 eine einspringend geformte Nut 132 ist.

**[0054]** Insbesondere ist die Basis 134 der entsprechenden einspringend geformten Nut 132 wenigstens zweimal breiter und noch spezieller in dem Bereich von etwa 3 bis 4-mal breiter als die Oberseite 136 der entsprechenden Nut 132. Für spezielle Ausführungsformen ist eine Wand 13 einer entsprechenden von den einspringend geformten Nuten 132 in einem Winkel  $\phi$  in einem Bereich von ca. 10 Grad bis 80 Grad in Bezug auf eine Oberflächennormale ausgerichtet, wie es beispielsweise in **Fig. 10** dargestellt ist. Insbesondere ist die Wand 138 der entsprechenden von den einspringend geformten Nuten 132 in einem Winkel  $\phi$  in einem Bereich von ca. 10 Grad bis 45 Grad in Bezug auf eine Oberflächennormale ausgerichtet.

**[0055]** Wie vorstehend angemerkt können, durch Ausführen einer im Winkel durchgeführten Beschichtungsabscheidung auch einspringend geformte Nuten mit engen Öffnungen (Oberseiten 136) beispielsweise bei Öffnungen (Oberseiten 136) in dem Bereich von etwa 250 bis 300  $\mu\text{m}$  (10 bis 12 mils) die Öffnungen (Oberseiten 136) durch die Beschichtung 150 ohne die Verwendung eines Opferfüllmaterials überbrückt werden und dadurch zwei von den Hauptverarbeitungsschritten (Füllen und Auslaugen) für herkömmliche Kanalerzeugungstechniken erübrigt werden. Zusätzlich steigert die breitere Basis 134 die Kühlung für den Kanal 130.

**[0056]** Ein Verfahren zur Herstellung einer Komponente 100 wird unter Bezugnahme auf die **Fig. 2** bis **Fig. 10** beschrieben. Wie es vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 3**, **Fig. 4** und **Fig. 7** beschrieben wurde, beinhaltet das Verfahren die Erzeugung von einer oder mehreren Nuten 132 in einer Außenoberfläche 112 eines Substrates 110.

Für die dargestellten Beispiele sind mehrere Nuten 132 in der Außenoberfläche 112 des Substrates 110 ausgebildet. Wie es beispielsweise in **Fig. 2** dargestellt ist, hat das Substrat 110 wenigstens einen hohen Innenraum 114.

**[0057]** Das Substrat 110 wird typischerweise vor dem Ausbilden der Nuten 132 in der Oberfläche des Substrates 110 gegossen, und Beispielsubstratmaterialien sind vorstehend angegeben. Wie es vorstehend unter Bezugnahme auf die **Fig. 7** bis **Fig. 9** diskutiert wurde, erstreckt sich jede von den Nuten 132 wenigstens teilweise entlang der Außenoberfläche 112 des Substrates 110 und hat eine Basis 134.

**[0058]** Das Herstellungsverfahren beinhaltet ferner die Erzeugung einer Anzahl von Zugangslöchern 140. Insbesondere sind ein oder mehrere Zugangslöcher 140 pro Nut 132 vorgesehen. Für die dargestellten Beispiele ist ein Zugangloch 140 pro Nut 132 vorgesehen. Wie es beispielsweise in den **Fig. 3**, **Fig. 4** und **Fig. 7** dargestellt ist, ist jedes von den Zugangslöchern 140 durch die Basis 134 einer entsprechenden von den Nuten 132 hindurch ausgebildet, um eine Fluidverbindung zwischen der Nut 132 und dem hohen Innenraum 114 bereitzustellen. Beispielgeometrien von Zugangslöchern und Erzeugungsverfahren sind vorstehend angegeben.

**[0059]** Wie es beispielsweise in **Fig. 3** dargestellt ist, beinhaltet das Herstellungsverfahren ferner die Abscheidung einer Beschichtung 150 über wenigstens einem Abschnitt der Außenoberfläche 112 des Substrates 110 direkt über offenen (ungefüllten) Nuten 132. Wie vorstehend angegeben, bedeutet „offen“, dass die Nuten 132 leer sind, das heißt, dass sie nicht mit einem Opferfüllmaterial gefüllt sind. Beispielbeschichtungen sind vorstehend angegeben. Für Beispielausführungsformen weist die Beschichtung 150 wenigstens eine von einer Aufbaubeschichtung, einer Haftbeschichtung, einer oxidationsbeständigen Beschichtung und einer Wärmedämmbeschichtung auf. Die Beschichtung 150 definiert einen oder mehrere durchlässige Schlitze 144 dergestalt, dass die Beschichtung 150 jede von den entsprechenden Nuten 132 nicht vollständig überbrückt, wie es beispielsweise in den **Fig. 5** und **Fig. 6** dargestellt ist.

**[0060]** Für spezielle Ausführungsformen beinhaltet das Verfahren ferner die Drehung des Substrates 110 um wenigstens eine Achse während der Abscheidung der Beschichtung 150 dergestalt, dass die Beschichtung 150 in einem sich ständig variierenden Winkel abgeschieden wird. So wie hierin angewendet, sollte der Ausdruck „sich ständig verändernd“, als sich ständig zeitlich verändernd verstanden werden. Das Substrat kann auf einer (nicht dargestellten) sich drehenden Halterung montiert sein, wie zum Beispiel auf einer Einachsen-Drehhalterung

oder einer Mehrachsen-(Planeten)-Drehhalterung. Somit verändert sich für ein komplexes Teil mit varierender Krümmung, wie zum Beispiel für eine Turbinenlaufschaufel, der Winkel, bei welchem die Beschichtung in Bezug auf die Oberflächennormale abgeschieden wird, kontinuierlich mit der Zeit dergestalt, dass die sich ergebenden durchlässigen Schlitze 144 angenähert rechtwinklig zu der Substratoberfläche (nämlich innerhalb  $\pm 15$  Grad der lokalen Oberflächennormale) liegen.

**[0061]** Für die in **Fig. 7** dargestellte Beispieldurchführungsform ist die Basis 134 breiter als die Oberseite 136 der Nut 132 dergestalt, dass jede von den Nuten 132 eine einspringend geformte Nut 132 aufweist. Die einspringend geformten Nuten 132 können unter Anwendung von einem oder mehreren von einem abtragenden Flüssigkeitsstrahl, einer elektro-chemischen Tauchbearbeitung (ECM), einer Elektro-erosionsbearbeitung (EDM) mit einer Drehelektrode (Fräsen-EDM) und einer Laserbearbeitung (Laserbohrung) hergestellt werden. Techniken für die Erzeugung der einspringenden Nuten 132 im Substrat 110 sind in Bunker et al. angegeben. Beispielsweise können die einspringend geformten Nuten 132 erzeugt werden, indem ein (nicht dargestellter) abtragender Flüssigkeitsstrahl in einem seitlichen Winkel in Bezug auf die Außenoberfläche 112 des Substrates 110 in einem ersten Durchgang des abtragenden Flüssigkeitsstrahls ausgerichtet wird, dann ein nachfolgender Durchgang in einem im Wesentlichen entgegengesetzten Winkel zu dem seitlichen Winkel durchgeführt wird und optional ein zusätzlicher Durchgang ausgeführt wird, bei dem der abtragende Flüssigkeitsstrahl auf die Basis 134 der Nut 132 bei einem oder mehreren Winkeln zwischen dem Seitenwinkel und dem im Wesentlichen entgegengesetzten Winkel dergestalt gerichtet wird, dass Material von der Basis 134 der Nut 132 entfernt wird, wie es beispielsweise in den **Fig. 3** bis **Fig. 5** von Bunker et al. dargestellt ist. Weitere Werkzeugpfadführungsformen für den Strahl 160 können ebenfalls verwendet werden. Beispielsweise kann der Strahl 160 entlang einem Radius (**Fig. 5**) hin und her bewegt und entlang der Kanallängsrichtung entlang einem Zickzack-Werkzeugpfad bewegt werden. Auf diese Weise kann eine relativ schmale Nutöffnung (Oberseite 136 der Nut) erzeugt werden. Um den Strahl 160 hin und her zu bewegen, kann eine mehrachsige numerisch gesteuerte (NC) Werkzeugpfadfunktion eingesetzt werden, um den Schwenkpunkt für den Strahl 160 zu steuern, um eine schmale Öffnung (Oberseite 136 der Nut) sicherzustellen. Die Tiefe des Kanals wird durch die Geschwindigkeit der Hin- und Herbewegung, sowie durch die Strahlwanderungsgeschwindigkeit entlang des Kanals bestimmt, wenn der Strahldruck festgelegt ist.

**[0062]** Wie es vorstehend diskutiert wurde, ist es durch die Abscheidung der Beschichtung 150 in einem Winkel  $\alpha, \beta$  nicht erforderlich, ein (nicht dargestelltes) Opferfüllmaterial zur Aufbringung der Beschichtung 150 auf den Substraten 110 zu verwenden. Dieses erübrigt die Notwendigkeit für einen Füllprozess und für den noch schwierigeren Entfernungsprozess. Zusätzlich trägt die Abscheidung der Beschichtung 150 in einem Winkel  $\alpha, \beta$  zur Verhinderung der teilweisen Beschichtung des Innenraums der Kühlkanäle auf der Komponentenoberfläche bei.

**[0063]** Obwohl nur bestimmte Merkmale der Erfindung hierin dargestellt und beschrieben wurden, werden viele Modifikationen und Änderungen für den Fachmann ersichtlich sein. Es dürfte sich daher verstehen, dass die beigefügten Ansprüche alle derartigen Modifikationen und Änderungen, soweit sie in den tatsächlichen Erfindungsgedanken der Erfindung fallen, abdecken sollen.

**[0064]** Es wird eine Komponente 100 offenbart. Die Komponente weist ein Substrat 110 mit einer Außenoberfläche 112 und einer Innenoberfläche 116 auf, wobei die Innenoberfläche wenigstens einen hohlen Innenraum 114 definiert, während die Außenoberfläche eine oder mehrere Nuten 132 definiert, und wobei sich jede von der einen oder den mehreren Nuten wenigstens teilweise entlang der Oberfläche des Substrates erstreckt und eine Basis 134 hat. Ein oder mehrere Zugangslöcher 140 erstrecken sich durch die Basis einer entsprechenden von der einen oder den mehreren Nuten, um die Nut mit entsprechenden von dem wenigstens einen hohen Innenraum in Fluidverbindung zu bringen. Die Komponente weist ferner eine über wenigstens einem Abschnitt der Oberfläche des Substrates angeordnete Beschichtung 150 auf, wobei die Beschichtung eine oder mehrere Lagen 50 aufweist. Wenigstens eine von den Lagen definiert einen oder mehrere durchlässige Schlitze 144 dergestalt, dass die entsprechende Lage jede von der einen oder den mehreren Nuten nicht vollständig überbrückt. Die Nuten und die Beschichtung zusammen definieren einen oder mehrere Kanäle 130 zur Kühlung der Komponente. Verfahren für die Herstellung und Beschichtung einer Komponente werden ebenfalls bereitgestellt.

#### Teileliste

10	Gasturbinensystem
12	Verdichter
14	Brenner
16	Turbine
18	Welle
20	Brennstoffdüse

50	Beschichtungslage(n)
52	Oberflächennormale des Substrates
54	erste Lage
56	zweite Lage
80	Heißgaspfadstrom
100	Komponente
110	Substrat
112	Außenoberfläche des Substrates
114	hohler Innenraum
116	Innenoberfläche des Substrates
130	Kanäle
132	Nut(en)
134	Basis der Nut
136	Oberseite der Nut
138	Nutwand
140	Zugangloch (-löcher)
142	Austrittsfilmkühlloch (-löcher)
144	durchlässige(r) Schlitz(e) in der Beschichtung
150	Beschichtung(en)

### Patentansprüche

1. Komponente (100), aufweisend:  
ein Substrat (110) mit einer Außenoberfläche (112) und einer Innenoberfläche (116), wobei die Innenoberfläche (116) wenigstens einen hohlen Innenraum (114) definiert, während die Außenoberfläche (112) eine oder mehrere Nuten (132) definiert, und wobei sich jede von der einen oder den mehreren Nuten (132) wenigstens teilweise entlang der Außenoberfläche (112) des Substrates (110) erstreckt und eine Basis (134) hat, wobei sich ein oder mehrere Zugangslöcher (140) durch die Basis (134) einer entsprechenden von der einen oder den mehreren Nuten (132) erstrecken, um die Nut (132) mit einem entsprechenden von dem wenigstens einen hohlen Innenraum (114) in Fluidverbindung zu bringen;  
eine unmittelbar über wenigstens einem Abschnitt der Außenoberfläche (112) des Substrates (110) angeordnete abgeschiedene Beschichtung (150), wobei die Beschichtung (150) eine oder mehrere Lagen (50) umfasst, wobei die eine oder mehreren Lagen (50) einen oder mehrere durchlässige Schlitz(e) (144) dergestalt definieren, dass die eine oder mehreren Lagen (50) jede von der einen oder den mehreren Nuten (132) nicht vollständig überbrücken und der eine oder die mehreren durchlässigen Schlitz(e) (144) sich von der einen oder den mehreren Nuten (132) durch alle Lagen (50) der einen oder

mehreren Lagen (50) der Beschichtung (150) hindurch erstrecken, wobei der eine oder die mehreren durchlässigen Schlitz(e) (144) während der Abscheidung der Beschichtung (150) durch den Abscheidungsprozess über dem wenigstens einen Abschnitt der Außenoberfläche (112) des Substrates (110) ohne Verwendung eines Opferfüllmaterials gebildet sind, wobei der eine oder die mehreren durchlässigen Schlitz(e) (144) über entsprechend einer von der einen oder den mehreren Nuten (132) ausgerichtet positioniert sind und wobei die eine oder mehreren Nuten (132) und die Beschichtung (150) zusammen einen oder mehrere Kanäle (130) zur Kühlung der Komponente (100) definieren.

2. Komponente (100) nach Anspruch 1, wobei jeder von den durchlässigen Schlitz(e) (144) in einem Winkel  $\gamma$  in Bezug auf eine Oberflächennormale (52) des Substrates (110) geneigt ist, und wobei der Winkel  $\gamma$  in einem Bereich von ca. 25 bis 70 Grad in Bezug auf die Oberflächennormale (52) des Substrates (110) liegt.

3. Komponente (100) nach Anspruch 1, wobei die durchlässigen Schlitz(e) (144) angenähert rechtwinklig zu dem Substrat (110) ausgerichtet sind.

4. Komponente (100) nach Anspruch 1, wobei die Beschichtung (150) zwei oder mehr Lagen (50) aufweist, und wobei eine anschließend abgeschiedene von den Lagen (56) die in einer zuvor abgeschiedenen Lage (54) ausgebildeten durchlässigen Schlitz(e) (144) dergestalt nicht vollständig überbrückt, dass sich der eine oder die mehreren durchlässigen Schlitz(e) (144) durch die anschließend abgeschiedene Lage (56) hindurch erstrecken.

5. Komponente (100) nach Anspruch 1, wobei der eine oder die mehreren durchlässigen Schlitz(e) (144) dafür ausgelegt sind, ein Kühlfluid aus dem entsprechenden einen oder den mehreren Kanälen (130) an eine Außenoberfläche der Komponente zu transportieren, wobei die Beschichtung (150) wenigstens eine von einer Aufbaubeschichtung, einer Haftbeschichtung, einer oxidationsbeständigen Beschichtung und einer Wärmedämmbeschichtung aufweist, und wobei jede von der einen oder den mehreren Nuten (132) eine Oberseite (136) hat, wobei die Basis (134) breiter als die Oberseite (136) dergestalt ist, dass eine oder mehrere von den Nuten (132) eine einspringend geformte Nut (132) aufweisen.

6. Verfahren zum Herstellen einer Komponente (100), wobei das Verfahren die Schritte aufweist:  
Erzeugen einer oder mehrerer Nuten (132) in einer Außenoberfläche (112) eines Substrates (110), wobei das Substrat (110) wenigstens einen hohlen Innenraum (114) hat, wobei sich jede von der einen oder den mehreren Nuten (132) wenigstens teil-

weise entlang der Außenoberfläche (112) des Substrates (110) erstreckt und eine Basis (134) hat; Erzeugen eines oder mehrerer Zugangslöcher (140) durch die Basis (134) einer entsprechenden von der einen oder den mehreren Nuten (132), um die eine entsprechende von der einen oder den mehreren Nuten (132) mit einem entsprechenden von dem wenigstens einen hohlen Innenraum (114) in Fluidverbindung zu verbinden; und

Abscheiden einer Beschichtung (150) unmittelbar über wenigstens einem Abschnitt der Außenoberfläche (112) des Substrates (110) dergestalt, dass die eine oder die mehreren Nuten (132) und die Beschichtung (150) zusammen einen oder mehrere Kanäle (130) zur Kühlung der Komponente (100) definieren, wobei die eine oder die mehreren Nuten (132) durch kein Opferfüllmaterial ausgefüllt werden, wenn die Beschichtung (150) über der einen oder den mehreren Nuten (132) abgeschieden wird, wobei während der Abscheidung der Beschichtung (150) durch den Abscheideprozess ohne Verwendung eines Opferfüllmaterials ein oder mehrere durchlässige Schlitze (144) gebildet werden, die über entsprechend einer von der einen oder den mehreren Nuten (132) ausgerichtet positioniert sind und sich von der einen oder den mehreren Nuten (132) durch die gesamte Beschichtung (150) hindurch erstrecken.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Beschichtung (150) eine oder mehrere Lagen (50) aufweist und wobei die eine oder mehreren Lagen (50) derart abgeschieden werden, dass die eine oder mehreren Lagen (50) den einen oder die mehreren durchlässigen Schlitze (144) dergestalt definiert, dass die entsprechende Lage (50) nicht vollständig jede von der einen oder den mehreren Nuten (132) überbrückt.

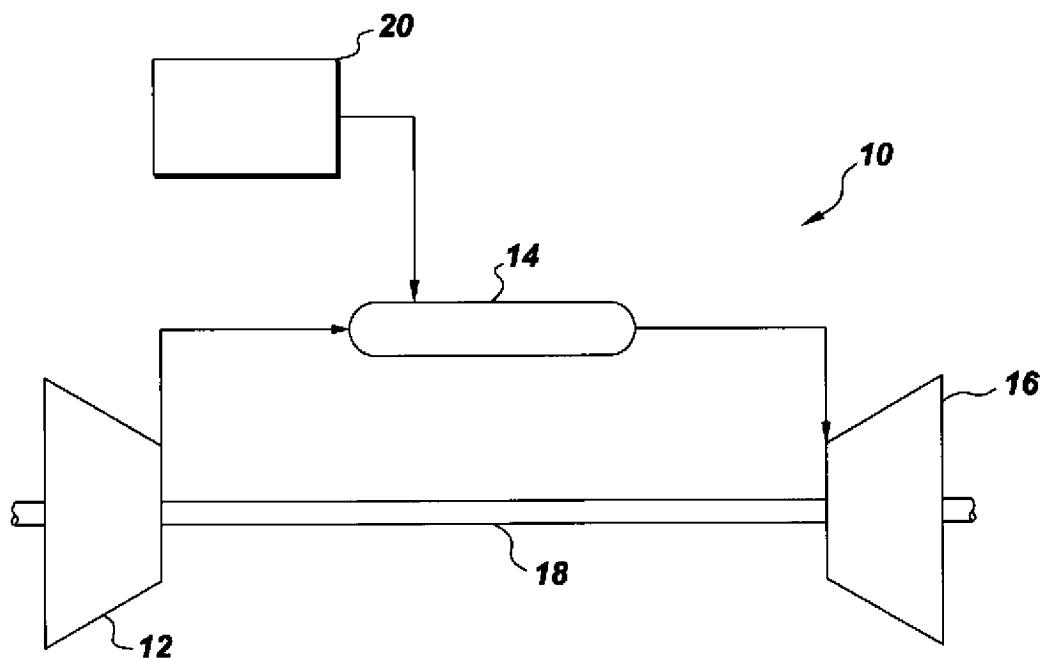
8. Verfahren nach Anspruch 6, das ferner den Schritt der Drehung des Substrates (110) um wenigstens eine Achse aufweist, während die Beschichtung (150) abgeschieden wird, sodass die Beschichtung (150) in einem sich kontinuierlich verändernden Winkel abgeschieden wird.

9. Verfahren nach Anspruch 6, wobei jede von der einen oder den mehreren Nuten (132) eine Oberseite (136) hat, wobei die Basis (134) breiter als die Oberseite (136) dergestalt ist, dass jede von der einen oder den mehreren Nuten (132) eine einspringend geformte Nut (132) aufweist, und wobei die eine oder die mehreren einspringend geformten Nuten (132) unter Verwendung von einem oder mehreren von einem abtragenden Flüssigkeitsstrahl, einer elektrochemischen Tauchbearbeitung (ECM), einer Elektroerosionsbearbeitung (EDM) mit einer Drehelektrode (Fräss-EDM) und

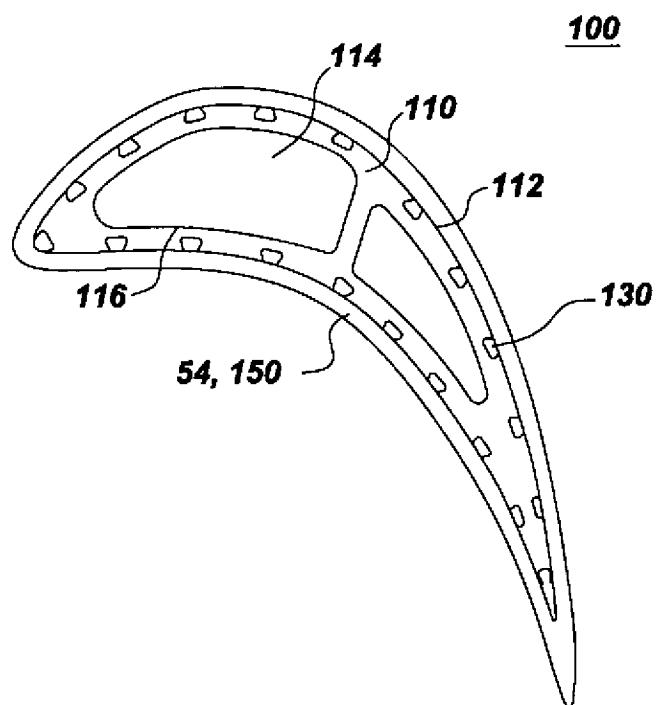
einer Laserbearbeitung (Laserbohrung) hergestellt werden.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

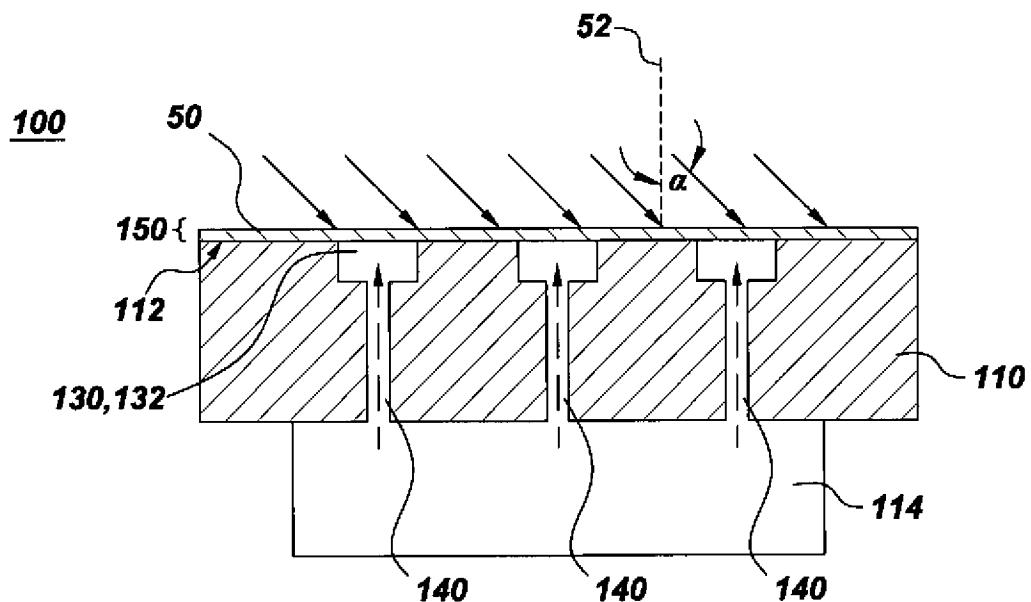
Anhängende Zeichnungen



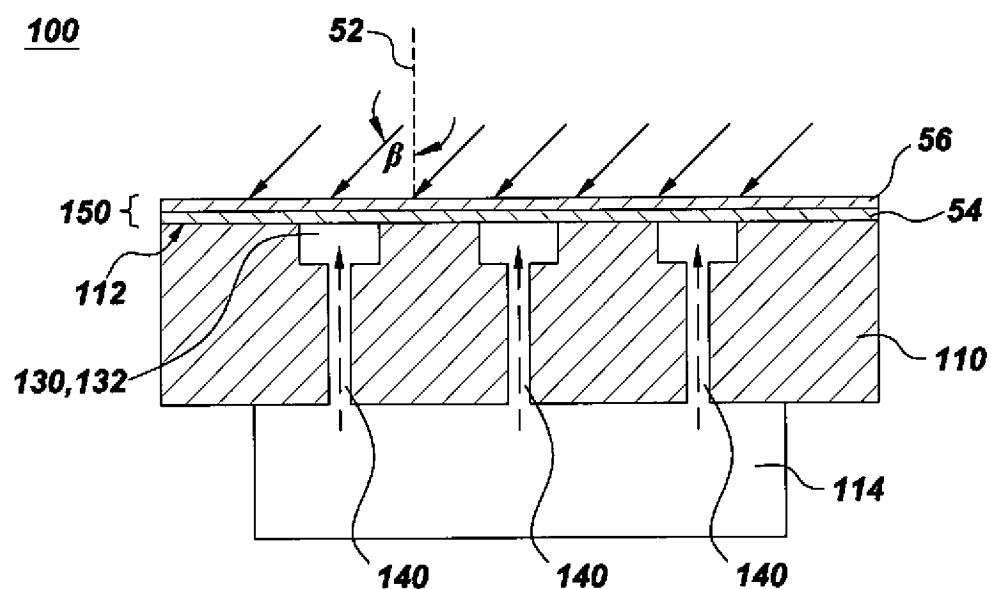
*Fig. 1*



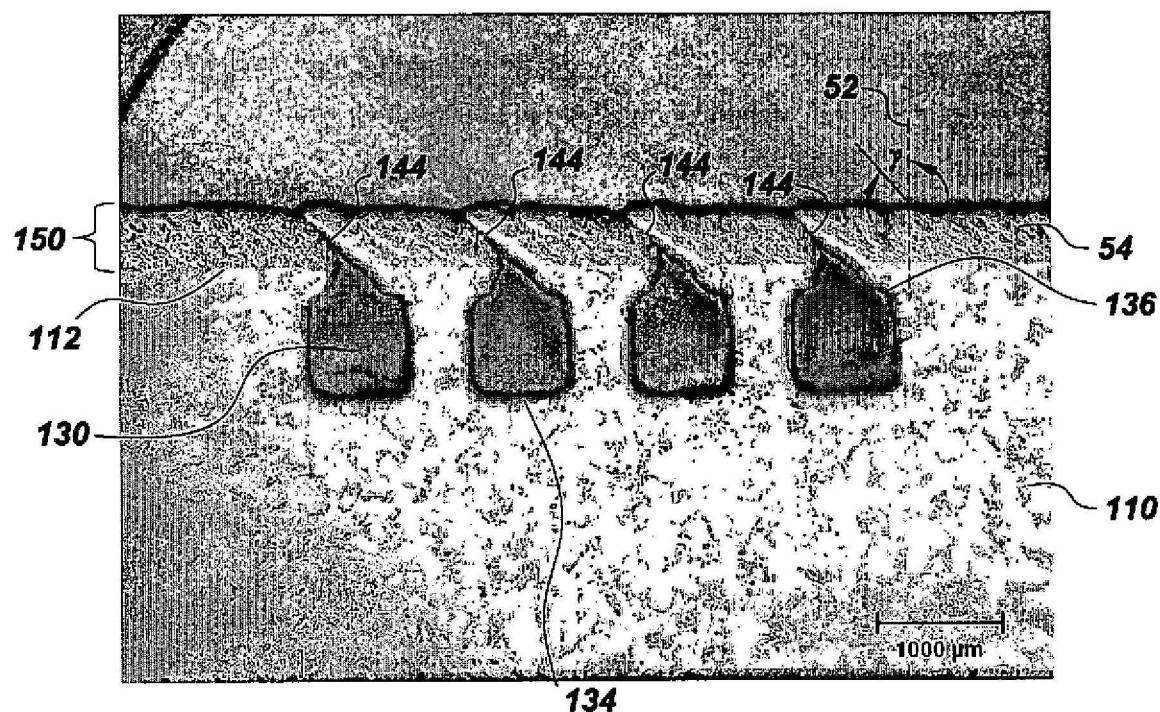
*Fig. 2*



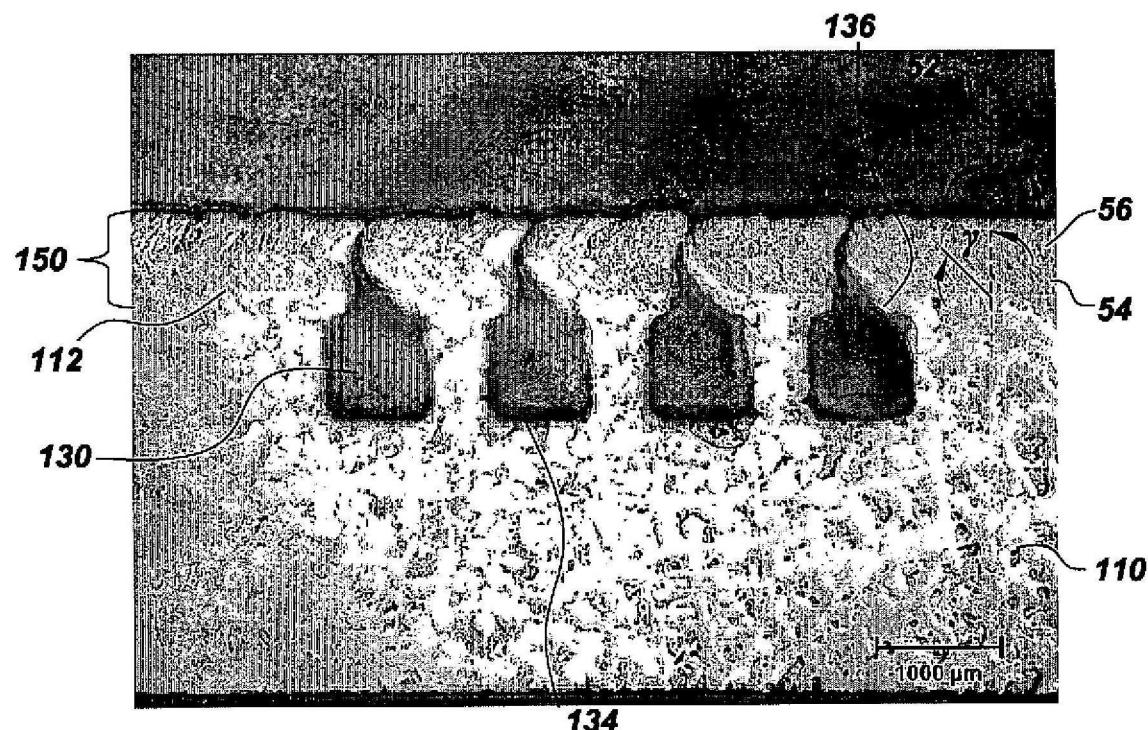
*Fig. 3*



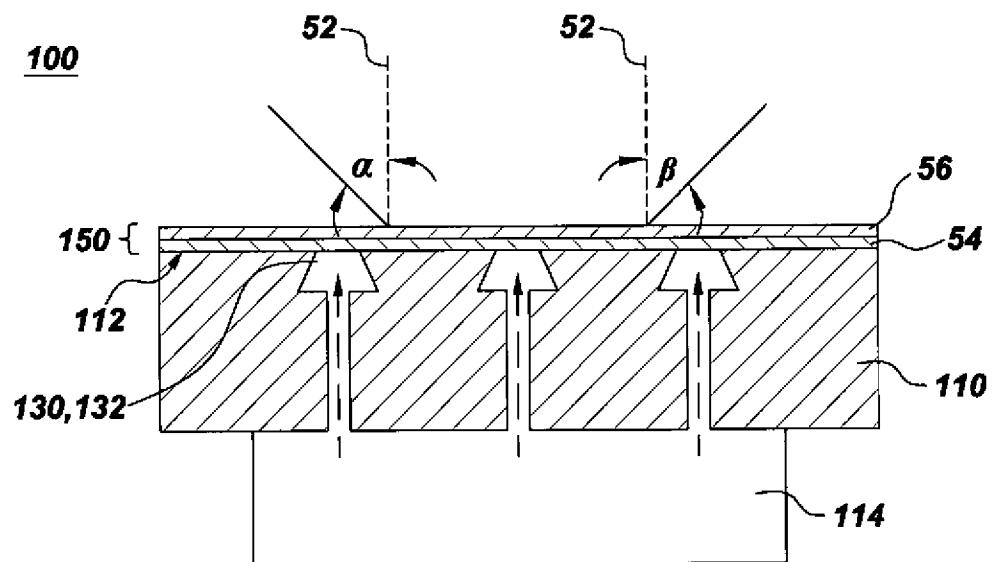
*Fig. 4*



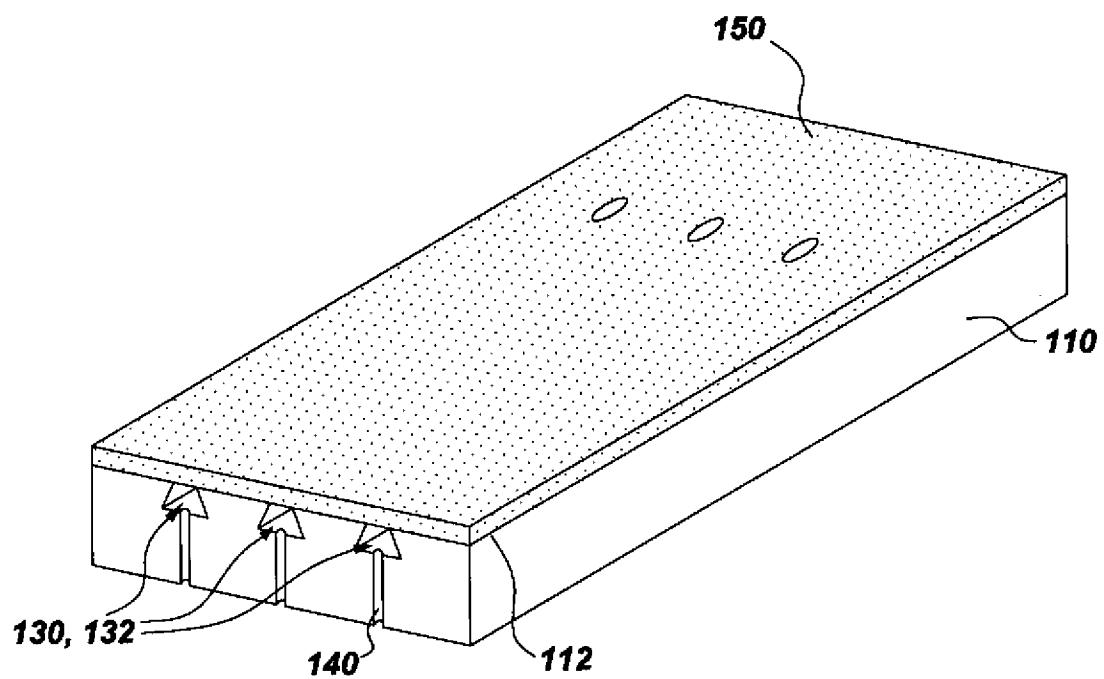
*Fig. 5*



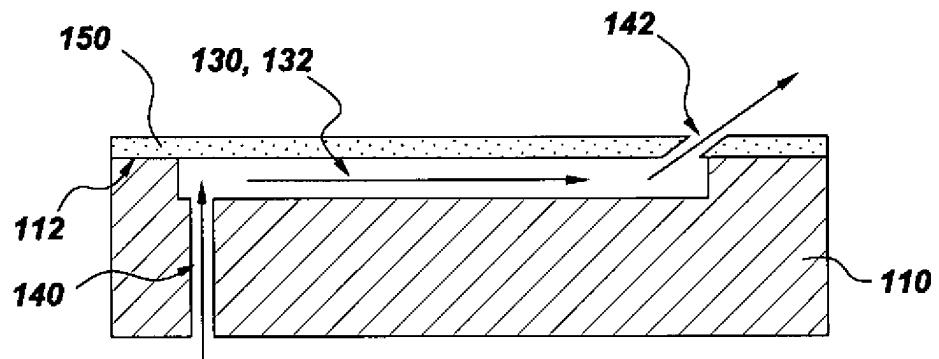
*Fig. 6*



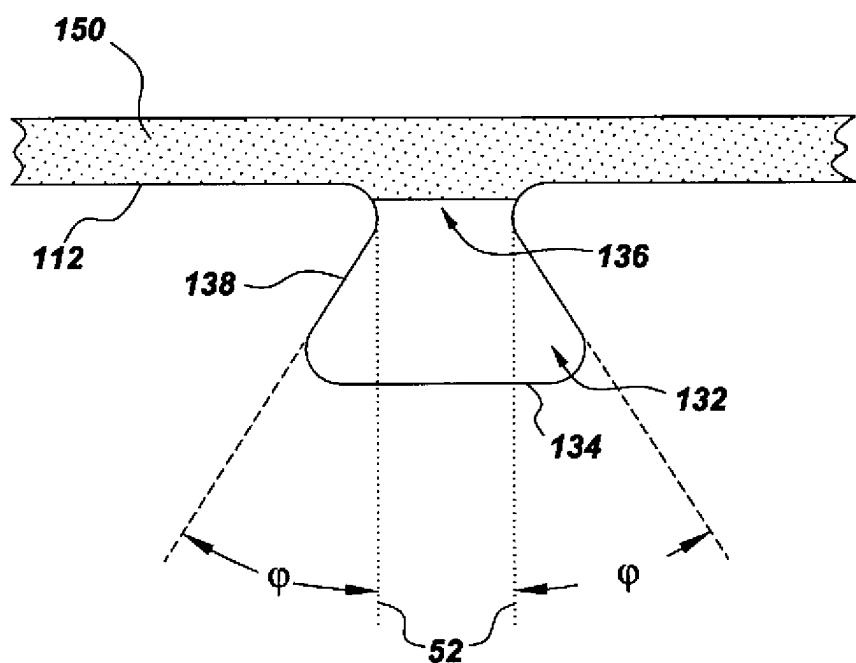
**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**



**Fig. 10**