

(19)



(11)

**EP 1 956 193 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**13.08.2008 Patentblatt 2008/33**

(51) Int Cl.:  
**F01D 5/28** (2006.01) **F01D 25/00** (2006.01)  
**C23C 4/08** (2006.01) **C23C 28/00** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07002463.3**

(22) Anmeldetag: **05.02.2007**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI  
SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA HR MK RS**

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
80333 München (DE)**

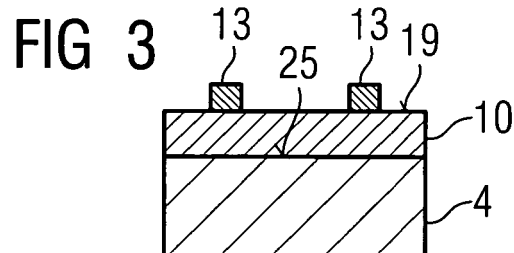
(72) Erfinder: **Malow, Thomas, Dr.  
45470 Mülheim/Ruhr (DE)**

(54) **Bauteil mit einer Leiterbahn aus Indium und Zinn sowie die Verwendung von Indium-Zinnoxid als Verschleissindikator**

(57) Sensoren oder Leiterbahnen zur Detektion von Degradation von äußeren Schichten sind Stand der Technik, die jedoch oft ebenfalls nicht hochtemperatur-

stabil sind.

Leiterbahnen aus Indium-Oxid stellen hier eine Alternative dar, da Indium-Zinnoxid elektrisch leitend ist und einen hohen Schmelzpunkt aufweist.



**EP 1 956 193 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Bauteil mit einem Substrat, auf dem eine Leiterbahn aus Indium-Zinnoxid (ITO) aufgebracht ist sowie die Verwendung von ITO als Verschleißindikator.

**[0002]** Bei Hochtemperaturanwendungen werden keramische Schichten oder sonstige Schichten verwendet, um das Bauteil vor thermischen und/oder oxidativen korrosiven Einflüssen zu schützen. Diese Schutzschichten weisen jedoch nur eine begrenzte Lebensdauer auf. Um das Lebenszeitende zu detektieren, damit das zugrunde liegende Substrat ggf. noch einmal verwendet werden kann oder um das Versagen des Substrats zu verhindern, weisen solche Schichten Sensoren (smart coatings) auf, die eine Aussage darüber ergeben, wie der Zustand der Schicht ist.

**[0003]** In der US 2006/0056959 A1, US 2006/0056960 A1, US 2005/0287386 A1, US 2005/0038817 A1, US 6,838,157 B2 sind verschiedene Systeme und Anwendungen von Sensoren in Wärmedämmschichten offenbart, die jedoch nicht optimal sind.

**[0004]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung, oben genanntes Problem zu überwinden.

**[0005]** Die Aufgabe wird gelöst durch ein Bauteil gemäß Anspruch 1. Dabei werden Leiterbahnen oder Sensoren aus Indium-Zinnoxid (ITO) verwendet.

**[0006]** Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch eine Verwendung von ITO als Verschleißindikator gemäß Anspruch 18.

**[0007]** Es zeigen

Figur 1 perspektivisch eine Turbinenschaufel,  
Figur 2 bis 17 Anwendungsbeispiele mit Leiterbahnen/Sensoren aus ITO,  
Figur 18 eine Gasturbine,  
Figur 19 eine Brennkammer,  
Figur 20 Liste von Superlegierungen.

**[0008]** Die Figur 1 zeigt in perspektivischer Ansicht eine Laufschaufel 120 oder Leitschaufel 130 einer Strömungsmaschine, die sich entlang einer Längsachse 121 erstreckt.

**[0009]** Die Strömungsmaschine kann eine Gasturbine 100 (Fig. 18) eines Flugzeugs oder eines Kraftwerks zur Elektrizitätserzeugung, eine Dampfturbine oder ein Kompressor sein.

**[0010]** Die Schaufel 120, 130 weist entlang der Längsachse 121 aufeinander folgend einen Befestigungsbereich 400, eine daran angrenzende Schaufelplattform 403 sowie ein Schaufelblatt 406 und eine Schaufelspitze 415 auf.

Als Leitschaufel 130 kann die Schaufel 130 an ihrer Schaufelspitze 415 eine weitere Plattform aufweisen (nicht dargestellt).

**[0011]** Im Befestigungsbereich 400 ist ein Schaufelfuß 183 gebildet, der zur Befestigung der Laufschaufeln 120, 130 an einer Welle oder einer Scheibe dient (nicht dar-

gestellt).

Der Schaufelfuß 183 ist beispielsweise als Hammerkopf ausgestaltet. Andere Ausgestaltungen als Tannenbaum- oder Schwalbenschwanzfuß sind möglich.

5 Die Schaufel 120, 130 weist für ein Medium, das an dem Schaufelblatt 406 vorbeiströmt, eine Anströmkante 409 und eine Abströmkante 412 auf.

**[0012]** Bei herkömmlichen Schaufeln 120, 130 werden in allen Bereichen 400, 403, 406 der Schaufel 120, 130 beispielsweise massive metallische Werkstoffe, insbesondere Superlegierungen verwendet.

10 Solche Superlegierungen sind beispielsweise aus der EP 1 204 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bekannt; diese Schriften sind bzgl. der chemischen Zusammensetzung der Legierung Teil der Offenbarung.

15 Die Schaufel 120, 130 kann hierbei durch ein Gussverfahren, auch mittels gerichteter Erstarrung, durch ein Schmiedeverfahren, durch ein Fräsverfahren oder Kombinationen daraus gefertigt sein.

**[0013]** Werkstücke mit einkristalliner Struktur oder Strukturen werden als Bauteile für Maschinen eingesetzt, die im Betrieb hohen mechanischen, thermischen und/oder chemischen Belastungen ausgesetzt sind.

25 Die Fertigung von derartigen einkristallinen Werkstücken erfolgt z.B. durch gerichtetes Erstarren aus der Schmelze. Es handelt sich dabei um Gießverfahren, bei denen die flüssige metallische Legierung zur einkristallinen Struktur, d.h. zum einkristallinen Werkstück, oder gerichtet erstarrt.

30 Dabei werden dendritische Kristalle entlang dem Wärmefluss ausgerichtet und bilden entweder eine stängelkristalline Kornstruktur (kolumnar, d.h. Körner, die über die ganze Länge des Werkstückes verlaufen und hier, dem allgemeinen Sprachgebrauch nach, als gerichtet erstarrt bezeichnet werden) oder eine einkristalline Struktur, d.h. das ganze Werkstück besteht aus einem einzigen Kristall. In diesen Verfahren muss man den Übergang zur globulitischen (polykristallinen) Erstarrung meiden, da sich durch ungerichtetes Wachstum notwendigerweise transversale und longitudinale Korngrenzen ausbilden, welche die guten Eigenschaften des gerichtet erstarrten oder einkristallinen Bauteiles zunichte machen.

45 Ist allgemein von gerichtet erstarrten Gefügen die Rede, so sind damit sowohl Einkristalle gemeint, die keine Korngrenzen oder höchstens Kleinwinkelkorngrenzen aufweisen, als auch Stängelkristallstrukturen, die wohl in longitudinaler Richtung verlaufende Korngrenzen, aber keine transversalen Korngrenzen aufweisen. Bei diesen zweitgenannten kristallinen Strukturen spricht man auch von gerichtet erstarrten Gefügen (directionally solidified structures).

50 Solche Verfahren sind aus der US-PS 6,024,792 und der EP 0 892 090 A1 bekannt; diese Schriften sind bzgl. des Erstarrungsverfahrens Teil der Offenbarung.

**[0014]** Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen Korrosion oder Oxidation aufwei-

sen, z. B. (MCrAlX; M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Aktivenelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Silizium und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden, bzw. Hafnium (Hf)). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1, die bzgl. der chemischen Zusammensetzung der Legierung Teil dieser Offenbarung sein sollen.

Die Dichte liegt vorzugsweise bei 95% der theoretischen Dichte.

Auf der MCrAlX-Schicht (als Zwischenschicht oder als äußerste Schicht) bildet sich eine schützende Aluminiumoxidschicht (TGO = thermal grown oxide layer).

**[0015]** Auf der MCrAlX kann noch eine Wärmedämmschicht vorhanden sein, die vorzugsweise die äußerste Schicht ist, und besteht beispielsweise aus  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3-ZrO_2$ , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

Die Wärmedämmschicht bedeckt die gesamte MCrAlX-Schicht. Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermoschockbeständigkeit aufweisen. Die Wärmedämmschicht ist also vorzugsweise poröser als die MCrAlX-Schicht.

**[0016]** Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Bauteile 120, 130 nach ihrem Einsatz gegebenenfalls von Schutzschichten befreit werden müssen (z.B. durch Sandstrahlen). Danach erfolgt eine Entfernung der Korrosions- und/oder Oxidationsschichten bzw. -produkte. Gegebenenfalls werden auch noch Risse im Bauteil 120, 130 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung des Bauteils 120, 130 und ein erneuter Einsatz des Bauteils 120, 130.

**[0017]** Die Schaufel 120, 130 kann hohl oder massiv ausgeführt sein. Wenn die Schaufel 120, 130 gekühlt werden soll, ist sie hohl und weist ggf. noch Filmkühlhöcher 418 (gestrichelt angedeutet) auf.

**[0018]** Insbesondere stellt das Bauteil 1 ein Bauteil für Hochtemperaturanwendungen dar, also beispielsweise Turbinenbauteile für eine Dampf- oder Gasturbine 100. Dies sind dann insbesondere Turbinenleit- oder -lauf-schaufeln 120, 130 oder Brennkammerelemente 155 (Fig. 19).

Solche Turbinenbauteile bestehen vorzugsweise aus einem nickel- oder kobaltbasierten Superlegierungssubstrat 4. Auf diesem Substrat 4 kann noch eine Anbindungsschicht (MCrAlX-Schicht) vorhanden sein, die eine schützende Oxidschicht (TGO) bildet.

**[0019]** Auf der Zwischenschicht 7 kann auch eine äußerste keramische Schicht 10 vorhanden sein.

**[0020]** Figur 2 zeigt ein Bauteil 120, 130, 155 aus einem Substrat 4 mit einer einzigen äußersten Schicht 10, wobei die Leiterbahn 13 auf dem Substrat 4 aufgebracht ist und durch die Schicht 10 vorzugsweise vollkommen abgedeckt wird.

**[0021]** Ebenso kann sich die Leiterbahn 13 von der Oberfläche 25 des Substrats 4 bis zur Oberfläche 19 der äußersten Schicht 10 erstrecken (Fig. 13).

**[0022]** In Figur 3 ist die Leiterbahn 13 auf der Oberfläche 19 der äußersten Schicht 10 aufgebracht.

Die äußerste Schicht 10 kann metallisch oder keramisch sein. In Figur 6 ist die Leiterbahn 13 auch auf der äußersten Oberfläche 19 der Schicht 10 vorhanden, wobei im Vergleich zu Figur 3 noch eine Zwischenschicht 7 vorhanden ist.

**[0023]** In Figur 5 ist ein Zwei-Schicht-System aus einer Zwischenschicht 7 und einer äußersten Schicht 10 gezeigt.

Die Leiterbahn 13 ist hier auf der Oberfläche 28 der Zwischenschicht 7 aufgebracht und insbesondere nur innerhalb der Schicht 10 angeordnet.

Auch hier kann sich die Leiterbahn 13 von der Oberfläche 28 der Zwischenschicht 7 bis zur äußersten Oberfläche 19 der äußersten Schicht 10 erstrecken (Fig. 14).

**[0024]** In Figur 7 ist die Leiterbahn 13 nicht in der äußersten Schicht 10 vorhanden, sondern in der Zwischenschicht 7.

**[0025]** Die Leiterbahn 13 kann sich in der Zwischenschicht 7 von der Oberfläche des Substrats 4 auch bis zur Grenzfläche zwischen der Zwischenschicht 7 und der äußersten Schicht 10 erstrecken (Fig. 15).

**[0026]** In Figur 8 ist die Leiterbahn 13 insbesondere nur in einer Zwischenschicht 7 angeordnet, wobei diese aber nicht auf der Oberfläche 25 des Substrats 4 aufgebracht ist, sondern bündig mit einer Oberfläche 28 der Zwischenschicht 7 abschließen. Dieses bündige Abschließen einer Leiterbahn 13 mit einer äußersten Oberfläche 19 oder Grenzfläche 22 ist ebenso in Figur 4 mit einer einzigen äußersten Schicht 10 gezeigt und einem Zwei-Schicht-System gemäß Figur 9, bei der ausgehend von Figur 4 noch eine Zwischenschicht 7 vorhanden ist.

**[0027]** Ebenso können gemäß Figur 10 Leiterbahnen 13 sowohl in der Zwischenschicht 7 als auch in der äußersten Schicht 10 vorhanden sein. Auch kann die Leiterbahn 13 in der Zwischenschicht 7 wie in Figur 15 oder Figur 8 ausgebildet sein. Weiterhin kann die Leiterbahn 13 in der äußersten Schicht 10 wie in Figur 9 oder Figur 10 ausgebildet sein.

**[0028]** In Figur 16 ist die Leiterbahn 13 vollkommen innerhalb einer Schicht 7, 10 angeordnet, also ohne an die Oberfläche 19 zu stoßen oder Kontakt zur Oberfläche 25 des Substrats 4 zu haben.

**[0029]** Die Ausführungen gemäß Figur 2 bis 16 gelten entsprechend für einen Sensor 16 oder Leiterbahnen 13 mit einem Sensor 16.

**[0030]** In Figur 12 ist aufgezeigt, dass ein Sensor 16 auf der äußersten Oberfläche 19 einer äußersten Schicht 10 vorhanden ist. Ebenso kann der Sensor 16 an eine

Grenzfläche 22 zwischen Zwischenschicht 7 und äußerster Schicht 10 angrenzen. Die Zuleitungen für den Sensor 16 sind, soweit notwendig, ebenfalls aus ITO, können aber auch aus einem anderen Material bestehen. Ebenso kann der Sensor 16 Teil eines Schwingkreises sein, so dass keine Zuleitungen notwendig sind.

**[0031]** In Figur 17 ist das Schaufelblatt einer Turbinenschaufel 120, 130 gezeigt, auf der mehrere Sensoren 16, 16', 16'' vorhanden sind, die mittels Leiterbahnen 13 miteinander verbunden sind. Die Sensoren 16, 16' werden an den Stellen aufgebracht, in denen die stärkste Belastung der äußeren Schicht auf dem Bauteil (1, 120, 130, 155) zu erwarten ist. Der Sensor 16, 16' kann auch aus Indium-Zinnoxid aufgebaut sein. Die Einheit 16'' kann auch ein Chip darstellen, der die Messergebnisse und Werte aus den Sensoren 16, 16' auswertet.

**[0032]** In Figur 11 ist schematisch dargestellt, wie so eine Leiterbahnstruktur aussehen kann.

Auf dem Substrat 4 oder auf dieser Zwischenschicht 7 oder auf der TGO ist dann eine Leiterbahn 13 aus Indium-Zinnoxid aufgebracht. Dies können Zuleitungen zu einem Sensor sein oder ein Sensor selber, der aus Indium-Zinnoxid besteht. Ebenso kann, wie in Figur 3 dargestellt, die Leiterbahn Teil des Schwingkreises sein, wobei der andere Teil des Schwingkreises außerhalb der Turbinenschaufel angeordnet ist. Findet eine Degradation, z. B. durch Oxidation, Korrosion oder Erosion der Leiterbahnen 13 statt, so wird der Schwingkreis gestört, dessen veränderte Resonanzfrequenz dann detektiert wird. Somit wirken die ITO Leiterbahnen als Verschleißindikator. Auf der Leiterbahn 13 wird dann eine äußere keramische Wärmedämmschicht 10 aufgebracht. Ebenso kann die Leiterbahn 13 innerhalb der keramischen Schicht angeordnet sein.

**[0033]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn für die Zwischenschicht 24% - 26% Co, 16% - 18% Cr, 9.5% - 11% Al, 0.3% - 0.5%, 1% - 1.8% Re und Rest Nickel oder 11% - 13.5% Co, 19.5% - 23% Cr, 9% - 12% Al, 0.1% - 0.8% Y, 1% - 3.2% Re und Rest Nickel verwendet wird, da die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Leiterbahn und Zwischenschicht gut zueinander passen.

**[0034]** Das Material der keramischen Wärmedämmschicht kann beliebig gewählt werden, also yttriumstabilisiertes Zirkonoxid, Gadoliniumhafnat, Gadoliniumzirkonat und/oder Mischungen daraus.

**[0035]** Die Figur 18 zeigt beispielhaft eine Gasturbine 100 in einem Längsteilschnitt.

Die Gasturbine 100 weist im Inneren einen um eine Rotationsachse 102 drehgelagerten Rotor 103 mit einer Welle 101 auf, der auch als Turbinenläufer bezeichnet wird.

Entlang des Rotors 103 folgen aufeinander ein Ansauggehäuse 104, ein Verdichter 105, eine beispielsweise torusartige Brennkammer 110, insbesondere Ringbrennkammer, mit mehreren koaxial angeordneten Brennern 107, eine Turbine 108 und das Abgasgehäuse 109.

Die Ringbrennkammer 110 kommuniziert mit einem bei-

spielsweise ringförmigen Heißgaskanal 111. Dort bilden beispielsweise vier hintereinander geschaltete Turbinenstufen 112 die Turbine 108.

Jede Turbinenstufe 112 ist beispielsweise aus zwei Schaufelringen gebildet. In Strömungsrichtung eines Arbeitsmediums 113 gesehen folgt im Heißgaskanal 111 einer Leitschaufelreihe 115 eine aus Laufschaufeln 120 gebildete Reihe 125.

**[0036]** Die Leitschaufeln 130 sind dabei an einem Innengehäuse 138 eines Stators 143 befestigt, wohingegen die Laufschaufeln 120 einer Reihe 125 beispielsweise mittels einer Turbinenscheibe 133 am Rotor 103 angebracht sind.

An dem Rotor 103 angekoppelt ist ein Generator oder eine Arbeitsmaschine (nicht dargestellt).

**[0037]** Während des Betriebes der Gasturbine 100 wird vom Verdichter 105 durch das Ansauggehäuse 104 Luft 135 angesaugt und verdichtet. Die am turbinenseitigen Ende des Verdichters 105 bereitgestellte verdichtete Luft wird zu den Brennern 107 geführt und dort mit einem Brennmittel vermischt. Das Gemisch wird dann unter Bildung des Arbeitsmediums 113 in der Brennkammer 110 verbrannt. Von dort aus strömt das Arbeitsmedium 113 entlang des Heißgaskanals 111 vorbei an den Leitschaufeln 130 und den Laufschaufeln 120. An den Laufschaufeln 120 entspannt sich das Arbeitsmedium 113 impulsübertragend, so dass die Laufschaufeln 120 den Rotor 103 antreiben und dieser die an ihn angekoppelte Arbeitsmaschine.

**[0038]** Die dem heißen Arbeitsmedium 113 ausgesetzten Bauteile unterliegen während des Betriebes der Gasturbine 100 thermischen Belastungen. Die Leitschaufeln 130 und Laufschaufeln 120 der in Strömungsrichtung des Arbeitsmediums 113 gesehen ersten Turbinenstufe 112 werden neben den die Ringbrennkammer 110 auskleidenden Hitzeschildelementen am meisten thermisch belastet.

Um den dort herrschenden Temperaturen standzuhalten, können diese mittels eines Kühlmittels gekühlt werden.

Ebenso können Substrate der Bauteile eine gerichtete Struktur aufweisen, d.h. sie sind einkristallin (SX-Struktur) oder weisen nur längsgerichtete Körner auf (DS-Struktur).

Als Material für die Bauteile, insbesondere für die Turbinenschaufel 120, 130 und Bauteile der Brennkammer 110 werden beispielsweise eisen-, nickel- oder kobaltbasierte Superlegierungen verwendet.

Solche Superlegierungen sind beispielsweise aus der EP 1 204 776 B1, EP 1 306 454, EP 1 319 729 A1, WO 99/67435 oder WO 00/44949 bekannt; diese Schriften sind bzgl. der chemischen Zusammensetzung der Legierungen Teil der Offenbarung.

**[0039]** Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Beschichtungen gegen Korrosion (MCrAlX; M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Aktivelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Silizium, Scandium (Sc) und/oder zumindest ein

Element der Seltenen Erden bzw. Hafnium). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1, die bzgl. der chemischen Zusammensetzung Teil dieser Offenbarung sein sollen.

**[0040]** Auf der MCrAlX kann noch eine Wärmedämmschicht vorhanden sein, und besteht beispielsweise aus  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3-ZrO_2$ , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

**[0041]** Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

**[0042]** Die Leitschaufel 130 weist einen dem Innengehäuse 138 der Turbine 108 zugewandten Leitschaufelfuß (hier nicht dargestellt) und einen dem Leitschaufelfuß gegenüberliegenden Leitschaufelkopf auf. Der Leitschaufelkopf ist dem Rotor 103 zugewandt und an einem Befestigungsring 140 des Stators 143 festgelegt.

**[0043]** Die Figur 19 zeigt eine Brennkammer 110 einer Gasturbine.

Die Brennkammer 110 ist beispielsweise als so genannte Ringbrennkammer ausgestaltet, bei der eine Vielzahl von in Umfangsrichtung um eine Rotationsachse 102 herum angeordneten Brennern 107 in einen gemeinsamen Brennkammerraum 154 münden, die Flammen 156 erzeugen. Dazu ist die Brennkammer 110 in ihrer Gesamtheit als ringförmige Struktur ausgestaltet, die um die Rotationsachse 102 herum positioniert ist.

**[0044]** Zur Erzielung eines vergleichsweise hohen Wirkungsgrades ist die Brennkammer 110 für eine vergleichsweise hohe Temperatur des Arbeitsmediums M von etwa 1000°C bis 1600°C ausgelegt. Um auch bei diesen, für die Materialien ungünstigen Betriebsparametern eine vergleichsweise lange Betriebsdauer zu ermöglichen, ist die Brennkammerwand 153 auf ihrer dem Arbeitsmedium M zugewandten Seite mit einer aus Hitzeschildelementen 155 gebildeten Innenauskleidung versehen.

Jedes Hitzeschildelement 155 aus einer Legierung ist arbeitsmediumsseitig mit einer besonders hitzebeständigen Schutzschicht (MCrAlX-Schicht und/oder keramische Beschichtung) ausgestattet oder ist aus hochtemperaturbeständigem Material (massive keramische Steine) gefertigt.

Diese Schutzschichten können ähnlich der Turbinenschaufeln sein, also bedeutet beispielsweise MCrAlX: M ist zumindest ein Element der Gruppe Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), X ist ein Aktivelement und steht für Yttrium (Y) und/oder Silizium und/oder zumindest ein Element der Seltenen Erden, bzw. Hafnium (Hf). Solche Legierungen sind bekannt aus der EP 0 486 489 B1, EP 0 786 017 B1, EP 0 412 397 B1 oder EP 1 306 454 A1, die bzgl. der chemischen Zusammensetzung der Legierung Teil dieser Offenbarung sein sollen.

**[0045]** Auf der MCrAlX kann noch eine beispielsweise keramische Wärmedämmschicht vorhanden sein und

besteht beispielsweise aus  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3-ZrO_2$ , d.h. sie ist nicht, teilweise oder vollständig stabilisiert durch Yttriumoxid und/oder Kalziumoxid und/oder Magnesiumoxid.

Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

Andere Beschichtungsverfahren sind denkbar, z.B. atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), LPPS, VPS oder CVD. Die Wärmedämmschicht kann poröse, mikro- oder makrorissbehaftete Körner zur besseren Thermochockbeständigkeit aufweisen.

**[0046]** Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Hitzeschildelemente 155 nach ihrem Einsatz gegebenenfalls von Schutzschichten befreit werden müssen (z.B. durch Sandstrahlen). Danach erfolgt eine Entfernung der Korrosions- und/oder Oxidationsschichten bzw. -produkte. Gegebenenfalls werden auch noch Risse in dem Hitzeschildelement 155 repariert. Danach erfolgt eine Wiederbeschichtung der Hitzeschildelemente 155 und ein erneuter Einsatz der Hitzeschildelemente 155.

**[0047]** Aufgrund der hohen Temperaturen im Inneren der Brennkammer 110 kann zudem für die Hitzeschildelemente 155 bzw. für deren Halteelemente ein Kühlsystem vorgesehen sein. Die Hitzeschildelemente 155 sind dann beispielsweise hohl und weisen ggf. noch in den Brennkammerraum 154 mündende Kühllöcher (nicht dargestellt) auf.

## 30 Patentansprüche

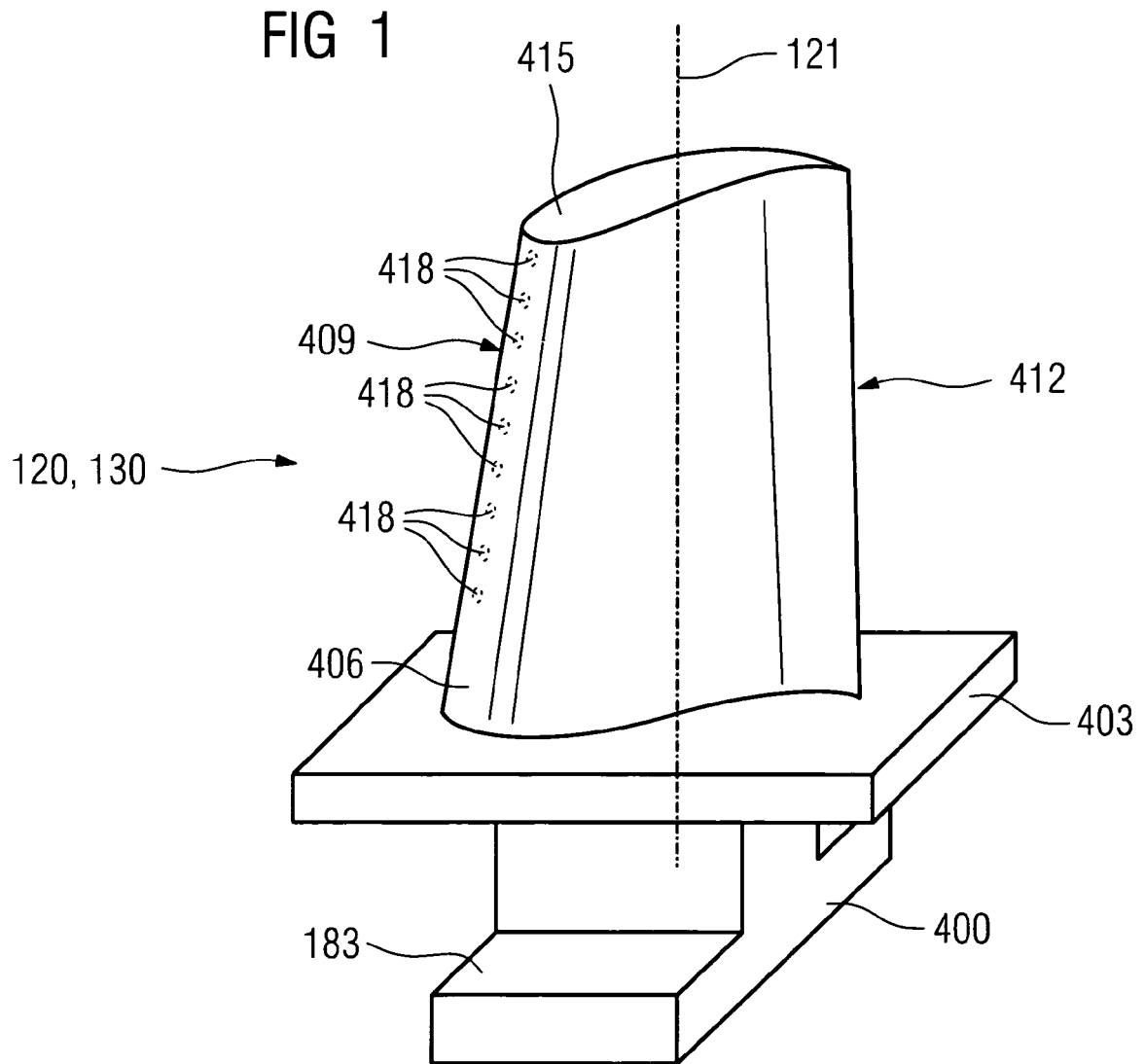
1. Bauteil (1) mit einem Substrat (4), mit zumindest einer Leiterbahn (13) und/oder zumindest einem Sensor (16) auf oder in dem Substrat (4), die (13, 16) Indium-Zinnoxid ( $In_2O_3:ZnO_2 = ITO$ ) aufweisen.
2. Bauteil nach Anspruch 1, das nur zumindest einen Sensor (16) aufweist.
3. Bauteil nach Anspruch 1, das nur zumindest eine Leiterbahn (13) aufweist.
4. Bauteil nach Anspruch 1, das zumindest eine Leiterbahn (13) und zumindest einen Sensor (16) aufweist.
5. Bauteil nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, bei dem auf dem Bauteil (1, 120, 130, 155) eine Schicht (7, 10) auf dem Substrat (4) vorhanden ist und bei dem die Leiterbahn (13) und/oder der Sensor (16) direkt auf dem Substrat (4) aufgebracht ist.
6. Bauteil nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, bei dem auf dem Bauteil (1, 120, 130, 155) eine

Schicht (7, 10) vorhanden ist und bei dem die Leiterbahn (13) und/oder der Sensor (16) auf der Schicht (7, 10) aufgebracht ist.

ausgebildet als Turbinenbauteil, insbesondere als Turbinenschaufel (120, 130) für eine Dampf- oder Gasturbine (100).

7. Bauteil nach Anspruch 6, bei dem die Leiterbahn (13) und/oder der Sensor (16) auf einer Zwischenschicht (7) aufgebracht ist. 5
8. Bauteil nach Anspruch 6, bei dem die Leiterbahn (13) und/oder der Sensor (16) auf der äußersten Schicht (10) aufgebracht ist. 10
9. Bauteil nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6 oder 7, bei dem die Leiterbahn (13) und/oder der Sensor (16) innerhalb einer Schicht (7, 10) aufgebracht sind. 15
10. Leiterbahn nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6 oder 7, bei dem die Leiterbahn (13) und/oder der Sensor (16) innerhalb der äußersten Schicht (10) vorhanden ist, die insbesondere keramisch ausgebildet ist. 20
11. Bauteil nach Anspruch 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 oder 10, bei dem die Leiterbahn (13) und/oder der Sensor (16) vollständig innerhalb einer Schicht (7, 10) angeordnet ist, aber nicht auf dem Substrat (4) oder in der unterliegenden Schicht (7). 25
12. Bauteil nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei dem das Substrat (4) eine Superlegierung ist, insbesondere eine nickel- oder kobaltbasierte Superlegierung darstellt. 30
13. Bauteil nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei dem auf dem Substrat (4) eine metallische Zwischenschicht (7), insbesondere aus einer MCrAlX-Legierung, aufgebracht ist. 35  
40
14. Bauteil nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, bei dem eine äußerste Schicht (10), insbesondere eine keramische äußerste Schicht (10), insbesondere auf der Schicht (7) vorhanden ist. 45
15. Bauteil nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, bei dem die Leiterbahn (13) und/oder der Sensor (16) mindestens 50vol% Indium-Zinnoxid ( $\text{In}_2\text{O}_3$ :  $\text{ZnO}_2$ ) aufweist. 50
16. Bauteil nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, bei dem die Leiterbahn (13) und/oder der Sensor (16) aus Indium-Zinnoxid ( $\text{In}_2\text{O}_3$ :  $\text{ZnO}_2$ ) besteht. 55
17. Bauteil nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche,

18. Verwendung von Indium-Zinnoxid ( $\text{In}_2\text{O}_3$ :  $\text{ZnO}_2$ ) in Form von Leiterbahnen (13) und/oder Sensor (16) als Verschleißindikator für Hochtemperaturanwendungen, insbesondere für Bauteile (120, 130, 155), nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche 1 bis 17.



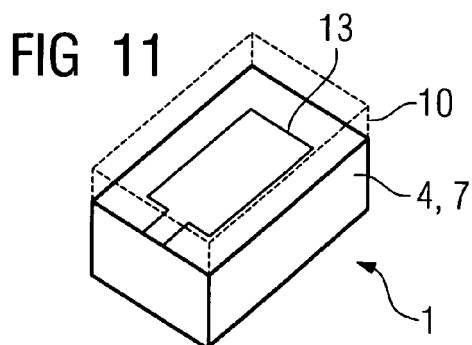
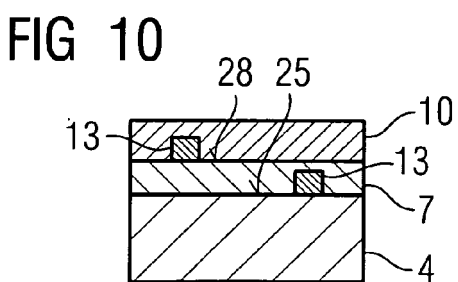
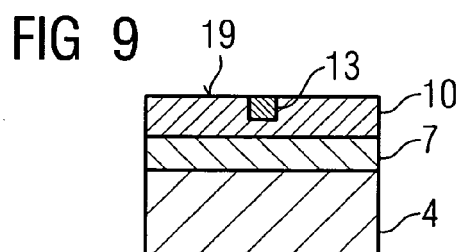
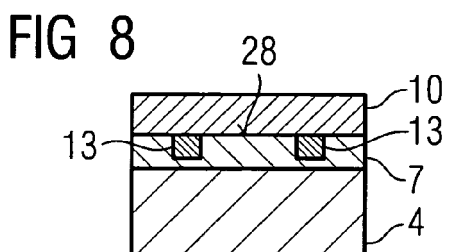
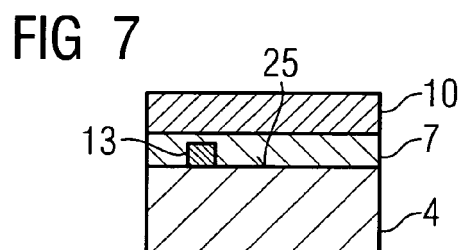
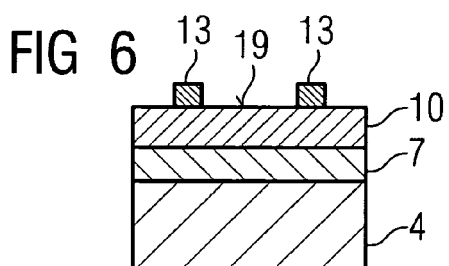
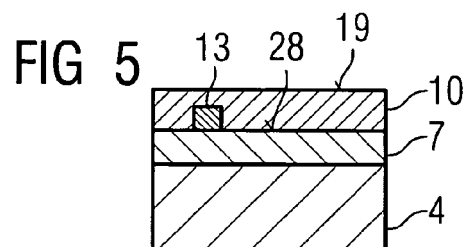
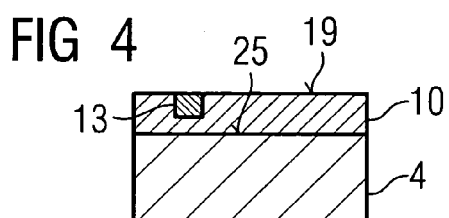
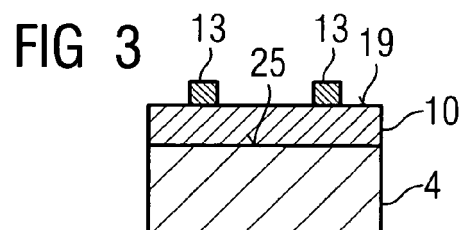
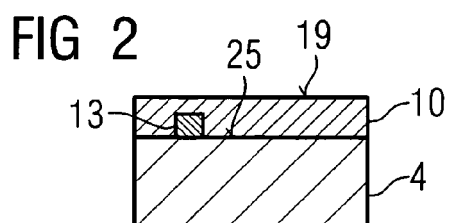




FIG 12

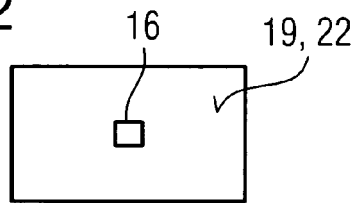


FIG 13

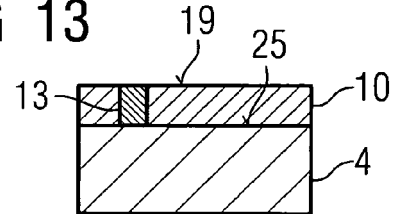


FIG 14

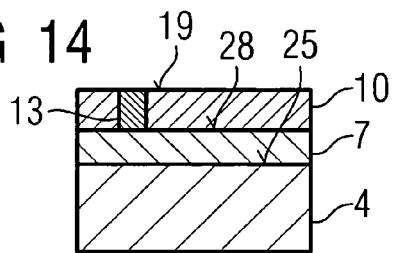


FIG 15

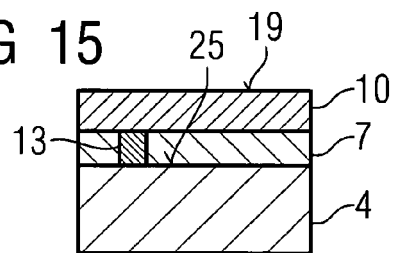


FIG 16

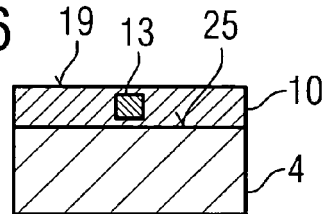


FIG 17

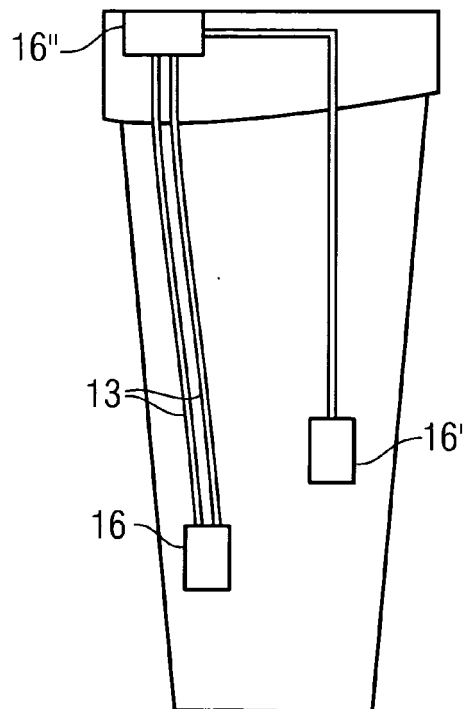


FIG 18

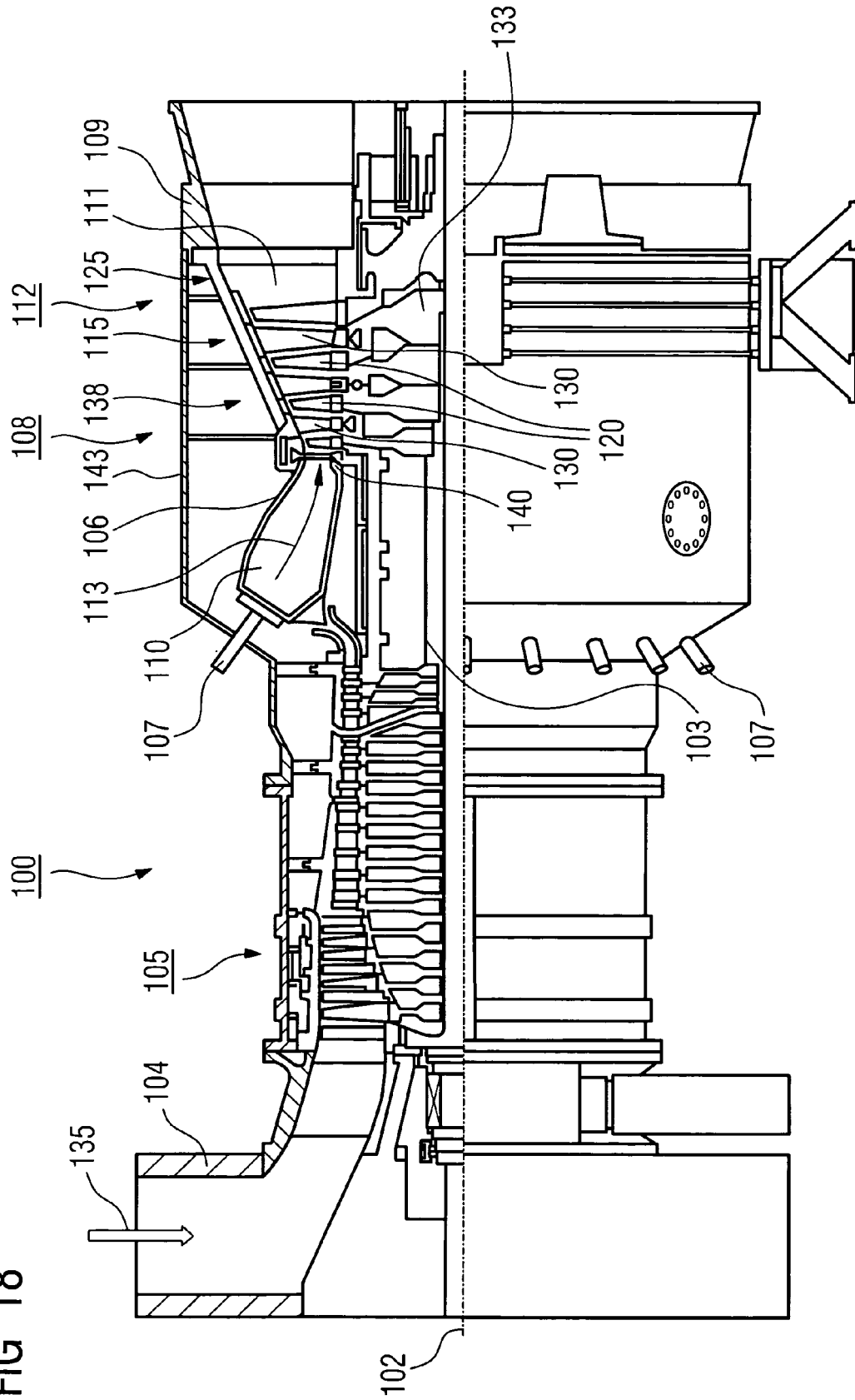


FIG 19

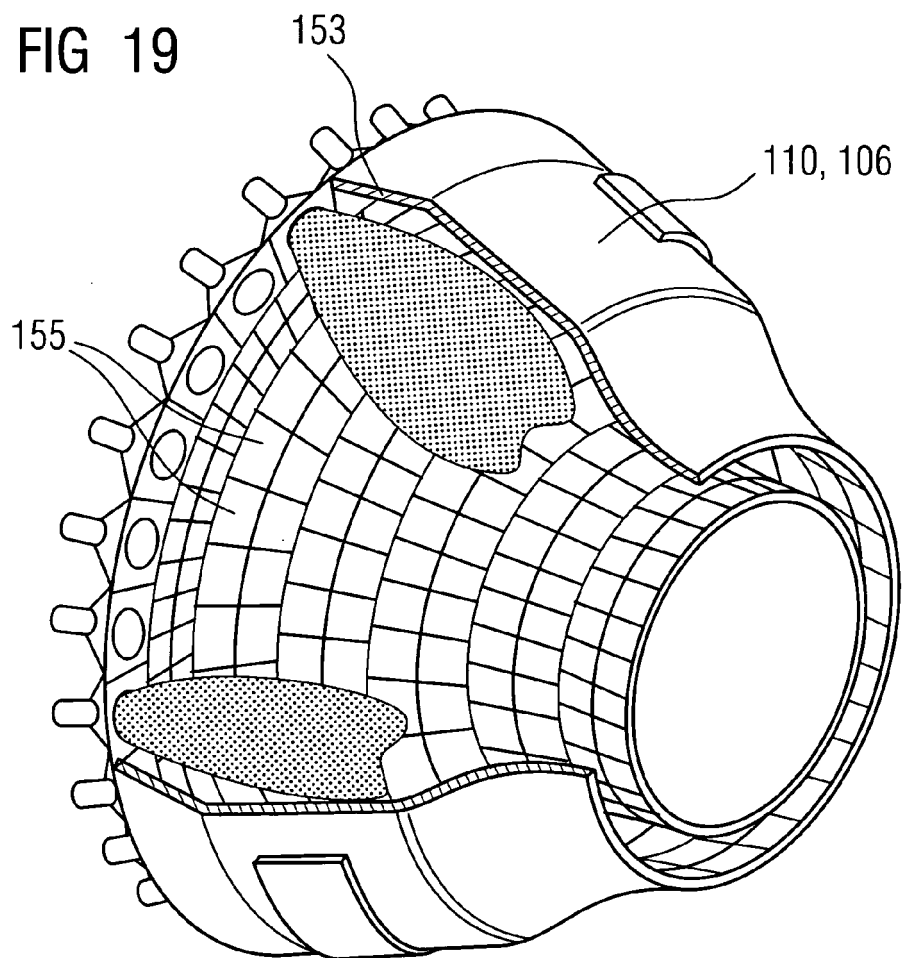


FIG 20

Werkstoff	chemische Zusammensetzung in %												
	C	Cr	Ni	Co	Mo	W	Ta	Nb	Al	Ti	B	Zr	Hf
Ni-Basis-Feingußlegierungen													
GTD 222	0.10	22.5	Rest	19.0		2.0	1.0		1.2	2.3	0.008		
IN 939	0.15	22.4	Rest	19.0		2.0	1.4	1.0	1.9	3.7	0.009	0.10	
IN 6203 DS	0.15	22.0	Rest	19.0		2.0	1.1	0.8	2.3	3.5	0.010	0.10	0.75
Udimet 500	0.10	18.0	Rest	18.5	4.0				2.9	2.9	0.006	0.05	
IN 738 LC	0.10	16.0	Rest	8.5	1.7	2.6	1.7	0.9	3.4	3.4	0.010	0.10	
SC 16	<0.01	16.0	Rest		3.0		3.5		3.5	3.5	<0.005	<0.008	
Rene 80	0.17	14.0	Rest	9.5	4.0	4.0			3.0	5.0	0.015	0.03	
GTD 111	0.10	14.0	Rest	9.5	1.5	3.8	2.8		3.0	4.9	0.012	0.03	
GTD 111 DS													
IN 792 CC	0.08	12.5	Rest	9.0	1.9	4.1	4.1		3.4	3.8	0.015	0.02	
IN 792 DS	0.08	12.5	Rest	9.0	1.9	4.1	4.1		3.4	3.8	0.015	0.02	1.00
MAR M 002	0.15	9.0	Rest	10.0		10.0	2.5		5.5	1.5	0.015	0.05	1.50
MAR M 247 LC DS	0.07	8.1	Rest	9.2	0.5	9.5	3.2		5.6	0.7	0.015	0.02	1.40
CMSX-2	<.006	8.0	Rest	4.6	0.6	8.0	6.0		5.6	1.0	<.003	<.0075	
CMSX-3	<.006	8.0	Rest	4.6	0.6	8.0	6.0		5.6	1.0	<.003	<.0075	0.10
CMSX-4		6.0	Rest	10.0	0.6	6.0	6.0		5.6	1.0		Re=3.0	0.10
CMSX-6	<.015	10.0	Rest	5.0	3.0	<.10	2.0	<.10	4.9	4.8	<.003	<.0075	0.10
PWA 1480 SX	<.006	10.0	Rest	5.0		4.0	12.0		5.0	1.5	<.0075	<.0075	
PWA 1483 SX	0.07	12.2	Rest	9.0	1.9	3.8	5.0		3.6	4.2	0.0001	0.002	
Co-Basis-Feingußlegierungen													
FSX 414	0.25	29.0	10	Rest		7.5					0.010		
X 45	0.25	25.0	10	Rest		8.0					0.010		
ECY 768	0.65	24.0	10	51.7		7.5	4.0		0.25	0.3	0.010	0.05	
MAR-M-509	0.65	24.5	11	Rest		7.5	4			0.3	0.010	0.60	
CM 247	0.07	8.3	Rest	10.0	0.5	9.5	3.2		5.5	0.7			1.5



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 07 00 2463

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 1 574 596 A (SONY CHEMICALS CORP [JP]) 14. September 2005 (2005-09-14) * das ganze Dokument * -----	1-18	INV. F01D5/28 F01D25/00 C23C4/08 C23C28/00
X	JP 04 173958 A (NISSIN ELECTRIC CO LTD) 22. Juni 1992 (1992-06-22) * das ganze Dokument * -----	1-18	
X	US 2004/202886 A1 (SUBRAMANIAN RAMESH [US]) 14. Oktober 2004 (2004-10-14) * das ganze Dokument * -----	1-18	
X	US 2005/198967 A1 (SUBRAMANIAN RAMESH [US]) 15. September 2005 (2005-09-15) * das ganze Dokument * -----	1-18	
X	WO 2006/121570 A (SIEMENS POWER GENERATION INC [US]; SABOL STEPHEN M [US]; SUBRAMANIAN R) 16. November 2006 (2006-11-16) * das ganze Dokument * -----	1-18	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01D C23C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>18. Juni 2007</b>	Prüfer <b>Brown, Andrew</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1  
EPO FORM 1503 03/82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 07 00 2463

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

18-06-2007

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1574596	A	14-09-2005	AU 2003289419 A1 09-07-2004
			WO 2004055233 A1 01-07-2004
			KR 20050092712 A 22-09-2005
			US 2005287724 A1 29-12-2005
JP 4173958	A	22-06-1992	KEINE
US 2004202886	A1	14-10-2004	US 2005158511 A1 21-07-2005
US 2005198967	A1	15-09-2005	KEINE
WO 2006121570	A	16-11-2006	KEINE

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- US 20060056959 A1 [0003]
- US 20060056960 A1 [0003]
- US 20050287386 A1 [0003]
- US 20050038817 A1 [0003]
- US 6838157 B2 [0003]
- EP 1204776 B1 [0012] [0038]
- EP 1306454 A [0012] [0038]
- EP 1319729 A1 [0012] [0038]
- WO 9967435 A [0012] [0038]
- WO 0044949 A [0012] [0038]
- US PS6024792 A [0013]
- EP 0892090 A1 [0013]
- EP 0486489 B1 [0014] [0039] [0044]
- EP 0786017 B1 [0014] [0039] [0044]
- EP 0412397 B1 [0014] [0039] [0044]
- EP 1306454 A1 [0014] [0039] [0044]