

(19)



(11)

**EP 2 589 682 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**08.05.2013 Patentblatt 2013/19**

(51) Int Cl.:  
**C23C 30/00** <sup>(2006.01)</sup> **F01D 5/28** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **11188032.4**

(22) Anmeldetag: **07.11.2011**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft  
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Ahmad, Fathi  
41564 Kaarst (DE)**

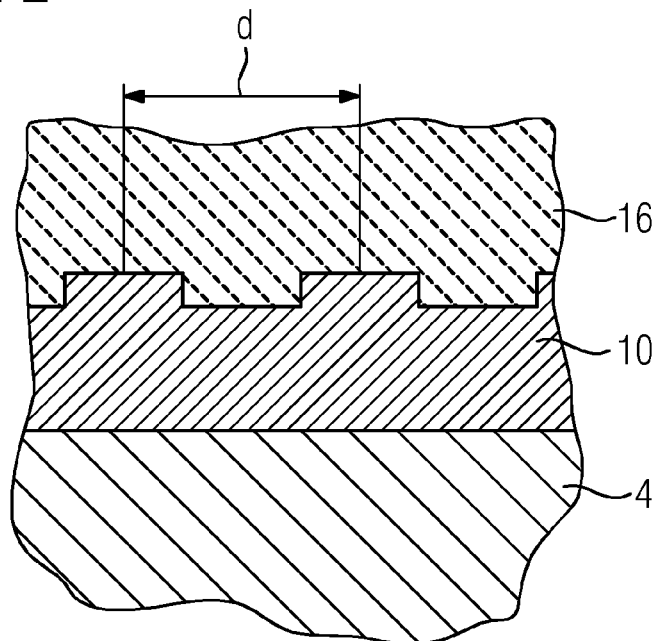
- **Amann, Christian  
46238 Bottrop (DE)**
- **Beckmann, Björn  
47057 Duisburg (DE)**
- **Buchholz, Björn  
45470 Mülheim an der Ruhr (DE)**
- **Gaio, Giuseppe  
53173 Bonn (DE)**
- **Hille, Thomas  
35684 Dillenburg (DE)**
- **Schumann, Eckart  
45468 Mülheim an der Ruhr (DE)**
- **Teteruk, Rostislav  
45468 Mülheim an der Ruhr (DE)**

(54) **Keramische Wärmedämmschicht auf strukturierter Oberfläche und Herstellungsverfahren**

(57) Durch die Einbringung von Vertiefungen (19', 19'', ...) in eine Oberfläche (7, 13) werden die Spannun-

gen in der keramischen Schicht (16) an den metallischen Untergrund reduziert, so dass eine längere Lebensdauer für die keramische Schicht erzielt wird.

**FIG 2**



**EP 2 589 682 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine keramische Schicht auf einer strukturierten Oberfläche und Herstellungsverfahren.

**[0002]** Hochtemperaturbauteile wie Gasturbinenbauteile werden oft mit keramischen Wärmedämmschichten versehen, die jedoch unter extremsten Einsatzbedingungen auch abplatzen können.

Dies geschieht dadurch, dass Spannungen auftreten, die zu Abplatzungen der keramischen Wärmedämmschicht führen.

**[0003]** Eine Lösung war es bisher, die Wärmedämmschicht nachträglich mit Vertiefungen zu versehen.

**[0004]** Es ist daher Aufgabe der Erfindung o. g. Problem weiter zu verbessern.

**[0005]** Die Aufgabe wird gelöst durch eine keramische Wärmedämmschicht gemäß Anspruch 1 und ein Herstellungsverfahren nach Anspruch 9 oder 12.

**[0006]** In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Maßnahmen aufgelistet, die beliebig miteinander kombiniert werden können, um weitere Vorteile zu erzielen.

**[0007]** Es zeigen

Figur 1 - 5 Ausführungsbeispiele der Erfindung,

Figur 6 eine Turbinenschaufel,

Figur 7 eine Brennkammer,

Figur 8 eine Gasturbine und

Figur 9 eine Liste von Superlegierungen.

**[0008]** Die Beschreibung und die Figuren stellen Ausführungsbeispiele der Erfindung dar.

**[0009]** In Figur 5 ist ein Schichtsystem 1, 120, 130, 155 gezeigt. Das Schichtsystem 1, 120, 130, 155 weist ein Substrat 4 auf, das insbesondere eine nickel- oder kobaltbasierte Superlegierung aufweist, insbesondere daraus besteht, ganz insbesondere gemäß einer Legierung gemäß Figur 9.

**[0010]** Auf der Oberfläche 7 des Substrats 4 ist optional eine Zwischenschicht 10, insbesondere eine metallische Haftvermittlerschicht 10 vorhanden, auf dessen Oberfläche 13 wiederum eine keramische Wärmedämmschicht 16 vorhanden ist.

Es gibt auch Kombinationen von Substraten 4 mit alitertem Oberflächenbereich, bei dem die keramische Wärmedämmschicht direkt auf dem Substrat aufgebracht werden kann.

**[0011]** Die metallische Haftvermittlerschicht 10 weist vorzugsweise eine MCrAlX-Legierung auf.

**[0012]** Erfindungsgemäß sind oder werden in die Oberfläche 7 des Substrats 4 oder in der Oberfläche 13 der Schicht 10 Vertiefungen 19', 19", ... vorhanden oder eingebracht (Fig. 1).

**[0013]** Die Vertiefungen 19', 19", ... weisen eine be-

stimmte Tiefe b und eine gewisse Breite a auf.

Die Breite a der Vertiefungen 19', 19", ... beträgt mindestens 10 µm, vorzugsweise 10 µm bis 30 µm.

Die Tiefe b beträgt mindestens 10%, vorzugsweise 10% bis 30% der Dicke der unten liegenden Schicht 10, ganz insbesondere 10 µm bis 30 µm.

**[0014]** Der Abstand d der gegenüberliegenden Vertiefungen 19', 19", ... beträgt mindestens 100 µm, vorzugsweise zwischen 100 µm und 300 µm (Fig. 2).

**[0015]** Die Parameter a, b, d können je nach Einsatzbedingungen oder lokal (auf dem Schaufelblatt 406, nicht aber auf Schaufelblattform 403) auf der Oberfläche 7, 13 variiert werden.

**[0016]** Ebenso können die Vertiefungen 19', 19" nur lokal begrenzt auf der Oberfläche 7, 13 des Bauteils 1, 120, 130 vorhanden sein.

**[0017]** Die Vertiefungen 19', 19", ... können am Boden 20 vorzugsweise rund ausgeführt werden (Fig. 1).

**[0018]** Die Vertiefungen 19', 19", ... können eine Honigwabenstruktur (Figur 3) oder eine Maschenstruktur (Figur 4) aufweisen.

**[0019]** In Figur 1 ist ein Querschnitt durch eine solche gezielt strukturierte Oberfläche gezeigt.

Je nach dem, wie groß die Vertiefungen 19', 19", ... sind, setzt sich die Vertiefung 19', 19" auch an der Oberfläche 22 der keramischen Wärmedämmschicht 16 in Vertiefungen 23', 23" fort.

**[0020]** Es kommt zur Spannungsreduzierung und mechanischen Verklammerung zwischen metallischer Haftvermittlerschicht 10 und keramischer Wärmedämmschicht 16 (bzw. Schicht 16 und Substrat 4). Es ist sehr viel einfacher die metallische Oberfläche der Schicht 10 oder des Substrats 4 zu bearbeiten, als eine keramische Oberfläche.

**[0021]** Ebenso kann die Beschichtung 16 so ausgeführt sein/werden, dass die äußerste Oberfläche 22 glatt ist, d.h. die unterliegenden Vertiefungen 23', 23" wären an der Oberfläche 22 nicht erkennbar.

**[0022]** Oft werden die Schichten 10 durch Auftragen von Material (z.B. Pulver) aus einer Düse aufgebracht, insbesondere linienförmig. Durch das Auslassen einer Beschichtungsspur beim Beschichten oder gezieltes Nichtbeschichten wird dort kein Material aufgetragen und es entsteht eine Vertiefung 19', 19".

**[0023]** Dies ist insbesondere bei Beschichtungsverfahren wie APS, VPS, LPPS, HVOF, Kaltgasspritzen möglich, bei denen Pulver in Bahnen aufgetragen wird.

**[0024]** Die strukturierte Oberfläche 7, 13 ist integraler Bestandteil einer Schicht 10. Sie stellt somit keine Honigwabenstruktur dar, die mit einem keramischen Material gefüllt ist.

**[0025]** Die Figur 6 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 Ansaug-

gehäuse 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 beispielsweise 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.

**[0026]** 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).

**[0027]** 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.

**[0028]** 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.

**[0029]** Ebenso können die Schaufeln 120, 130 Be-

schichtungen gegen Korrosion (MCrAIX; 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. Auf der MCrAIX 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.

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

**[0030]** 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.

**[0031]** Die Figur 7 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.

**[0032]** 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 (MCrAIX-Schicht und/oder keramische Beschichtung) ausgestattet oder ist aus hochtemperaturbeständigem Material (massive keramische Steine) gefertigt.

**[0033]** Diese Schutzschichten können ähnlich der Turbinenschaufeln sein, also bedeutet beispielsweise MCrAIX: 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.

**[0034]** Auf der MCrAIX 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 Thermoschockbeständigkeit aufweisen.

**[0035]** 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.

**[0036]** 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.

**[0037]** Die Figur 8 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 beispielsweise 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.

**[0038]** 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).

**[0039]** Während des Betriebes der Gasturbine 100 wird vom Verdichter 105 durch das Ansauggehäuse 104 Luft 135 angesaugt und verdichtet. Die am turbinensei-

tigen 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.

**[0040]** 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.

**[0041]** 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.

**[0042]** 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.

**[0043]** Durch geeignete Beschichtungsverfahren wie z.B. Elektronenstrahlverdampfen (EB-PVD) werden stängelförmige Körner in der Wärmedämmschicht erzeugt.

**[0044]** 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.

**Patentansprüche**

1. Schichtsystem,  
das zumindest aufweist:  
  
    ein Substrat (4),  
    eine keramische Schicht (16),  
    die (16) auf einer gezielt strukturierten Oberfläche (7, 13) aufgebracht ist.  
  
2. Schichtsystem nach Anspruch 1,  
bei dem die strukturierte Oberfläche (7, 13) durch Vertiefungen (19', 19", ...), insbesondere durch längliche Vertiefungen (19', 19", ...), in der Oberfläche (7, 13) ausgebildet ist.  
  
3. Schichtsystem nach einem oder beiden der Ansprüche 1 oder 2,  
bei dem die Vertiefungen (19', 19", ...) eine Honigwabenstruktur bilden.  
  
4. Schichtsystem nach einem oder beiden der Ansprüche 1 oder 2,  
bei dem die Vertiefungen (19', 19", ...) eine Maschenstruktur bilden,  
insbesondere mit quadratischer oder rechteckiger Masche.  
  
5. Schichtsystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3 oder 4,  
bei dem die Vertiefungen (19', 19", ...) eine Breite (a) von mindestens 10µm,  
insbesondere von 10µm bis 30µm, aufweisen.  
  
6. Schichtsystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3, 4 oder 5,  
bei dem die Vertiefungen (19, 19") eine Tiefe (b) von mindestens 10%,  
insbesondere 10% bis 30% der Schichtdicke der Schicht (16), ganz insbesondere von 10µm bis 30µm aufweisen.  
  
7. Schichtsystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3, 4, 5 oder 6,  
bei dem der Abstand (d) gegenüberliegender Vertiefungen (19', 19", ...) mindestens 100µm,  
insbesondere zwischen 100µm und 300µm, beträgt.  
  
8. Schichtsystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2, 3, 4, 5, 6 oder 7,  
das eine Zwischenschicht (10), insbesondere eine metallische Schicht (10),  
ganz insbesondere aus einer MCrAlX-Legierung, aufweist,  
in der (10) die Vertiefungen (19', 19", ...) eingebracht sind.  
  
9. Verfahren zur Herstellung eines Schichtsystems nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8,  
bei dem die Vertiefungen (19', 19", ...) nachträglich in die Oberfläche (7, 13) eingebracht werden.  
  
10. Verfahren nach Anspruch 9,  
bei dem ein chemisches Ätzverfahren verwendet wird.  
  
11. Verfahren nach Anspruch 9,  
bei dem ein Laserverfahren verwendet wird.  
  
12. Verfahren zur Herstellung eines Schichtsystems nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8,  
bei dem die Zwischenschicht (10), insbesondere die metallische Schicht (10), so aufgebracht wird,  
dass die Vertiefungen (19', 19", ...) während der Beschichtung entstehen.

FIG 1

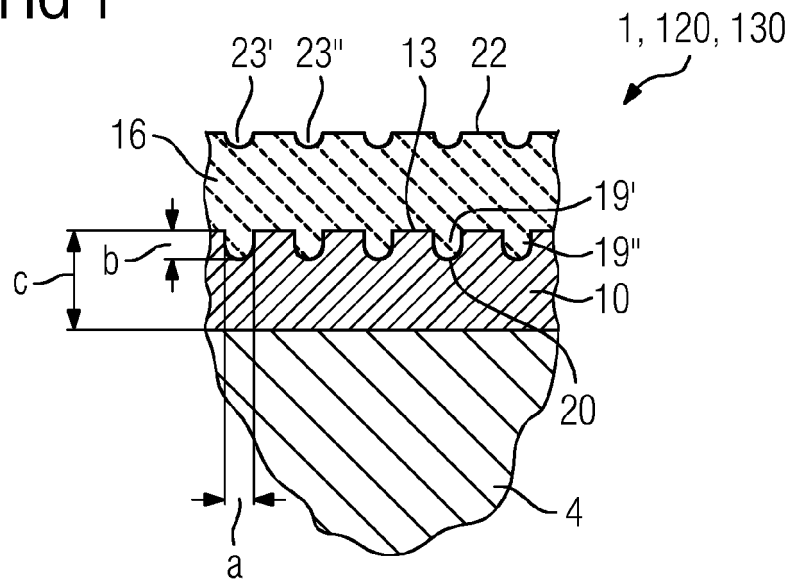


FIG 2

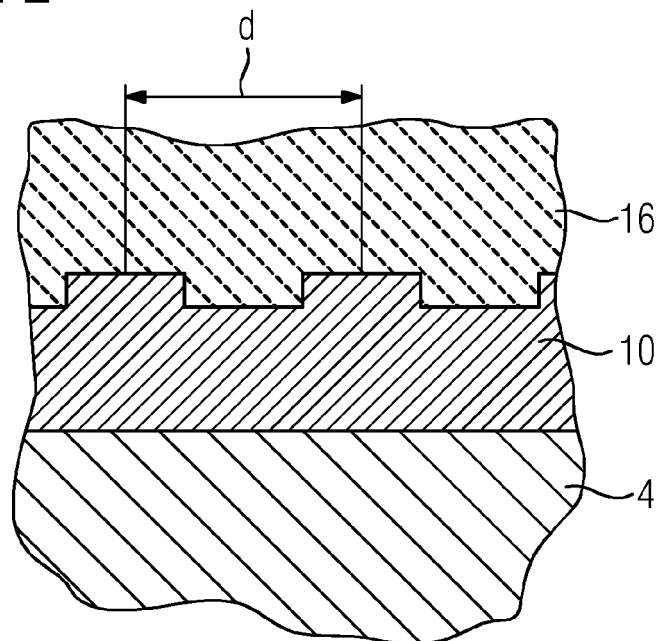


FIG 3

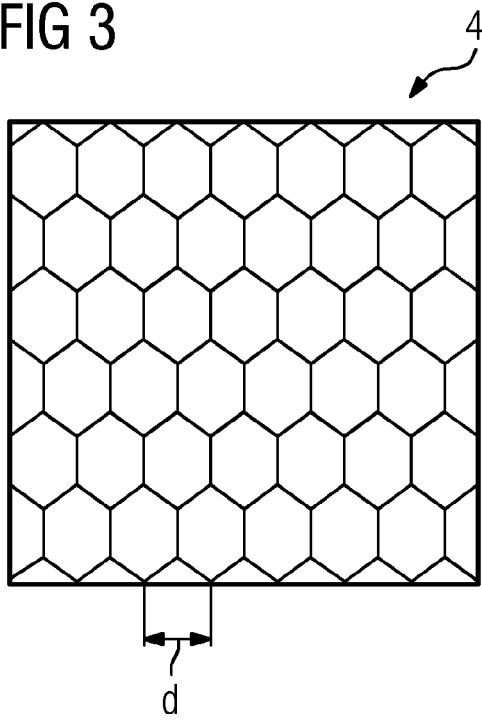


FIG 4

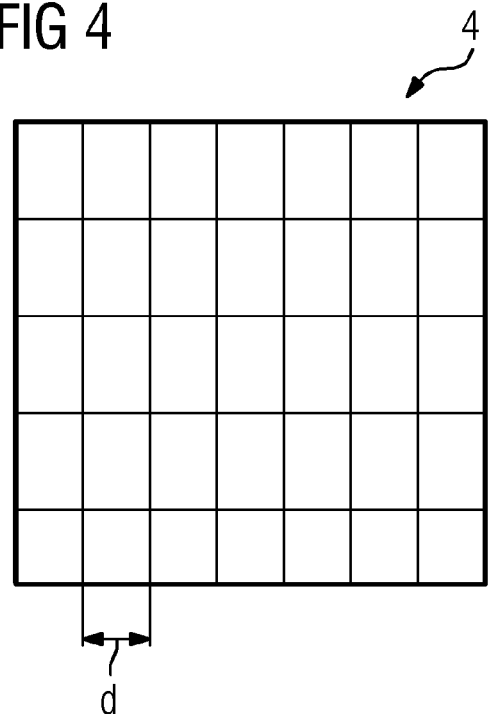


FIG 5

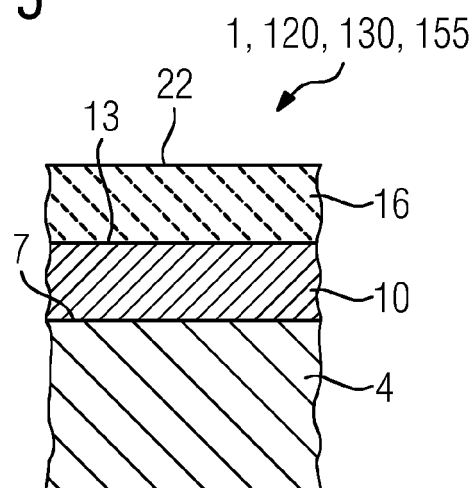


FIG 6

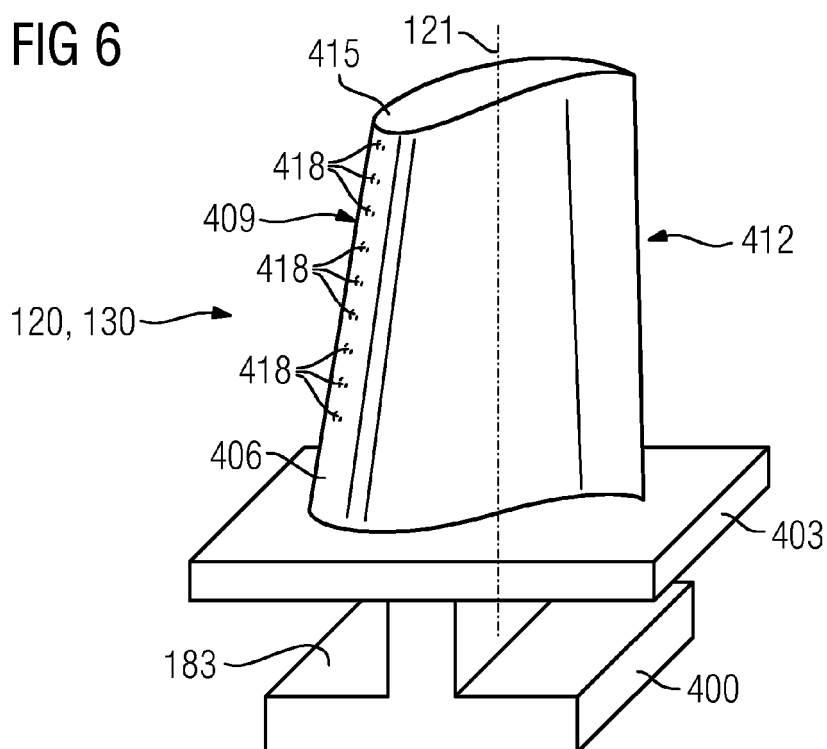


FIG 7

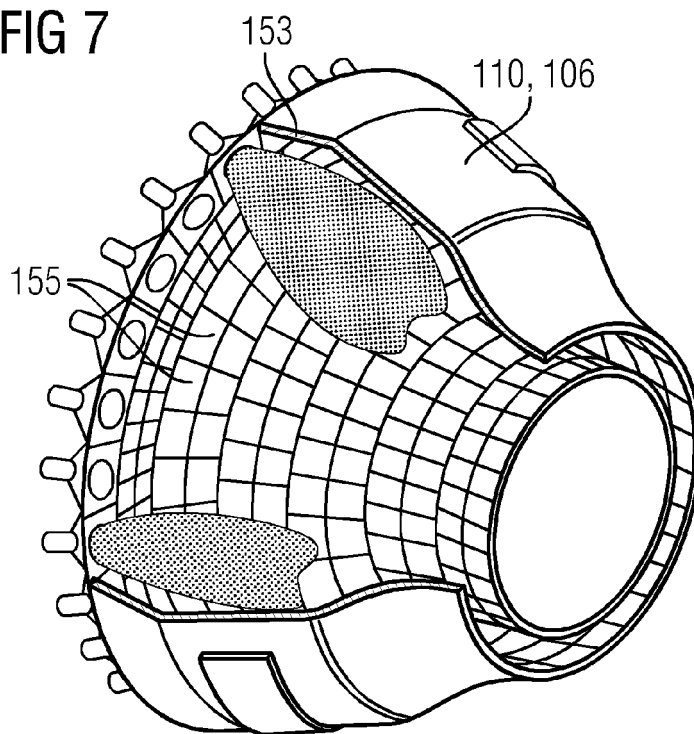


FIG 8

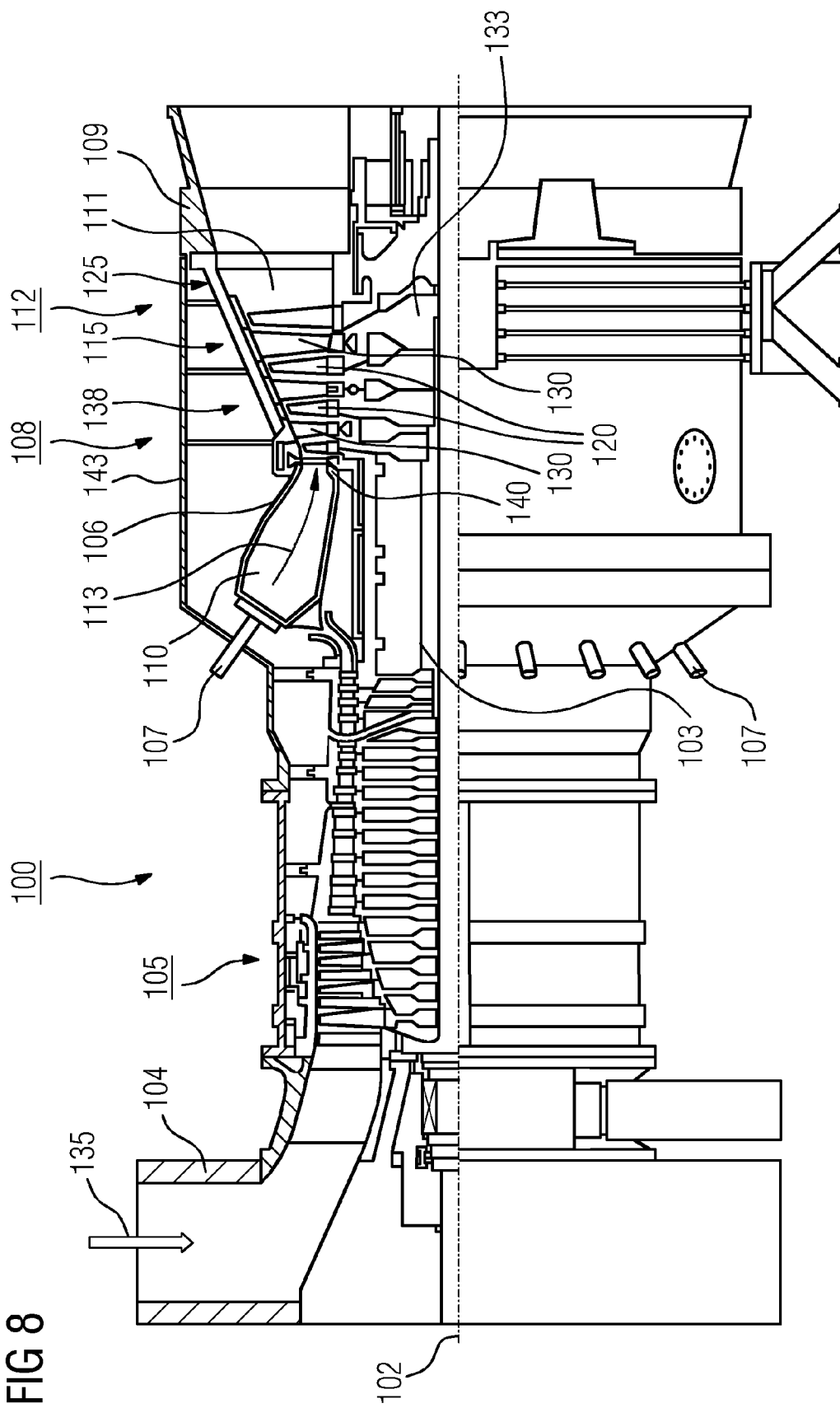


FIG 9

| 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  |



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung  
EP 11 18 8032

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                         | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Betrifft Anspruch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)              |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | EP 2 275 645 A2 (ROLLS ROYCE CORP [US])<br>19. Januar 2011 (2011-01-19)<br>* Seite 4, Absatz 35-37 *<br>* Seite 5, Absatz 47-49; Abbildungen 1B,2A-2D *<br>* Seite 6, Absatz 51 - Seite 9, Absatz 80; Abbildungen 3A-3F,4 *<br>* Seite 11, Absatz 93 - Seite 12, Absatz 107; Abbildungen 7A-7D *<br>* Seite 15, Absatz 136 - Seite 22, Absatz 117; Abbildungen 11A-11C,12A-12F,13A-13G *<br>----- | 1-12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | INV.<br>C23C30/00<br>F01D5/28                   |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2008/085191 A1 (LIANG GEORGE [US])<br>10. April 2008 (2008-04-10)<br>* Seite 2, Absätze 21,23-25; Abbildungen 2-5 *                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1-12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 5 419 971 A (SKELLY DAVID W [US] ET AL)<br>30. Mai 1995 (1995-05-30)<br>* Spalte 5, Zeile 3 - Spalte 6, Zeile 68 *<br>* Spalte 7, Zeilen 1-32 *<br>* Spalte 8, Zeilen 32-65 *                                                                                                                                                                                                                  | 1-12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | WO 2004/043691 A1 (UNIV VIRGINIA [US]; WORTMAN DAVID J [US]; WADLEY HAYDN N G [US])<br>27. Mai 2004 (2004-05-27)<br>* Seite 5, Zeilen 9-16 *<br>* Seite 12, Zeile 24 - Seite 13, Zeile 6 *<br>* Seite 19, Zeilen 9-22 *                                                                                                                                                                           | 1-12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)<br>C23C<br>F01D |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 6 074 706 A (BEVERLEY MICHAEL [US] ET AL)<br>13. Juni 2000 (2000-06-13)<br>* Spalte 3, Zeile 66 - Spalte 5, Zeile 27; Abbildung 2 *                                                                                                                                                                                                                                                            | 1-8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                 | US 2009/017260 A1 (KULKARNI ANAND A [US] ET AL)<br>15. Januar 2009 (2009-01-15)<br>* Seite 6, Absatz 42; Abbildung 8 *                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1-11                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                 |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                 |
| Recherchenort<br>München                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Abschlußdatum der Recherche<br>12. Januar 2012                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Prüfer<br>Joffreau, P                           |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : mündliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                                 |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 11 18 8032

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

12-01-2012

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentedokument |    | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|-----------------------------------------------------|----|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| EP 2275645                                          | A2 | 19-01-2011                    | CA 2710053 A1                     | 17-01-2011                    |
|                                                     |    |                               | CA 2711175 A1                     | 17-01-2011                    |
|                                                     |    |                               | EP 2275645 A2                     | 19-01-2011                    |
|                                                     |    |                               | EP 2275646 A2                     | 19-01-2011                    |
|                                                     |    |                               | SG 168491 A1                      | 28-02-2011                    |
|                                                     |    |                               | SG 168492 A1                      | 28-02-2011                    |
|                                                     |    |                               | US 2011014060 A1                  | 20-01-2011                    |
|                                                     |    |                               | US 2011097538 A1                  | 28-04-2011                    |
| -----                                               |    |                               |                                   |                               |
| US 2008085191                                       | A1 | 10-04-2008                    | EP 2069610 A2                     | 17-06-2009                    |
|                                                     |    |                               | JP 2010506086 A                   | 25-02-2010                    |
|                                                     |    |                               | KR 20090078817 A                  | 20-07-2009                    |
|                                                     |    |                               | US 2008085191 A1                  | 10-04-2008                    |
|                                                     |    |                               | WO 2008091305 A2                  | 31-07-2008                    |
| -----                                               |    |                               |                                   |                               |
| US 5419971                                          | A  | 30-05-1995                    | US 5419971 A                      | 30-05-1995                    |
|                                                     |    |                               | US 6503574 B1                     | 07-01-2003                    |
| -----                                               |    |                               |                                   |                               |
| WO 2004043691                                       | A1 | 27-05-2004                    | AU 2003287691 A1                  | 03-06-2004                    |
|                                                     |    |                               | US 2005266163 A1                  | 01-12-2005                    |
|                                                     |    |                               | WO 2004043691 A1                  | 27-05-2004                    |
| -----                                               |    |                               |                                   |                               |
| US 6074706                                          | A  | 13-06-2000                    | KEINE                             |                               |
| -----                                               |    |                               |                                   |                               |
| US 2009017260                                       | A1 | 15-01-2009                    | EP 2283169 A1                     | 16-02-2011                    |
|                                                     |    |                               | US 2009017260 A1                  | 15-01-2009                    |
|                                                     |    |                               | WO 2009126194 A1                  | 15-10-2009                    |
| -----                                               |    |                               |                                   |                               |

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**

- EP 1204776 B1 [0028] [0040]
- EP 1306454 A [0028] [0040]
- EP 1319729 A1 [0028] [0040]
- WO 9967435 A [0028] [0040]
- WO 0044949 A [0028] [0040]
- EP 0486489 B1 [0029] [0033] [0041]
- EP 0786017 B1 [0029] [0033] [0041]
- EP 0412397 B1 [0029] [0033] [0041]
- EP 1306454 A1 [0029] [0033] [0041]