

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5965132号
(P5965132)

(45) 発行日 平成28年8月3日(2016.8.3)

(24) 登録日 平成28年7月8日(2016.7.8)

(51) Int.Cl.	F 1
FO2C 7/00 (2006.01)	FO2C 7/00 C
FO1D 5/28 (2006.01)	FO2C 7/00 D
FO1D 25/00 (2006.01)	FO1D 5/28 FO1D 25/00 L

請求項の数 10 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2011-251175 (P2011-251175)
(22) 出願日	平成23年11月17日 (2011.11.17)
(65) 公開番号	特開2012-112381 (P2012-112381A)
(43) 公開日	平成24年6月14日 (2012.6.14)
審査請求日	平成26年11月12日 (2014.11.12)
(31) 優先権主張番号	12/953, 177
(32) 優先日	平成22年11月23日 (2010.11.23)
(33) 優先権主張国	米国 (US)

(73) 特許権者	390041542 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123 45、スケネクタディ、リバーロード、1 番
(74) 代理人	100137545 弁理士 荒川 聰志
(74) 代理人	100105588 弁理士 小倉 博
(74) 代理人	100129779 弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】冷却特徴要素を備えたタービン構成要素及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

タービン構成要素(54)を製造する方法であって、
前記タービン構成要素(54)の外部表面(102)内に1つ又はそれ以上のチャンネル(110)を形成する段階(56)と、
前記1つ又はそれ以上のチャンネル(110)と前記タービン構成要素(54)の内部領域(118)との間に1つ又はそれ以上の第1の孔(116)を形成する段階(58)と、

1つのフィラー材料を前記1つ又はそれ以上のチャンネル(110)内に機械的に圧入し、前記1つ又はそれ以上のチャンネル(110)に形状を一致させ実質的に充填するようとする段階(60)と、

を含み、 10

前記1つのフィラー材料は、前記チャンネル(110)の各々の断面に形状が一致する金属又は金属合金ワイヤーを含み、

前記方法は、さらに、

前記金属又は金属合金ワイヤーで充填された前記1つ又はそれ以上のチャンネル(110)上で前記タービン構成要素(54)の外部表面(102)に1つ又はそれ以上のコーティング(130)を施工する段階(64)と、

前記第1の孔(116)が形成されていない前記チャンネル(110)に対して、前記コーティング(130)を通して1つ又はそれ以上の第2の孔(140)を形成する段階

(6 6) と、

前記チャンネル (1 1 0) から前記金属又は金属合金ワイヤーを除去する段階 (6 8) と、

を含む、方法。

【請求項 2】

前記 1 つ又はそれ以上のコーティング (1 3 0) がニッケル又はコバルト合金を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記チャンネル (1 1 0) から前記金属又は金属合金を除去した後に、前記ターピン構成要素 (5 4) を熱処理する段階 (7 2) を含む、請求項 1 又は 2 に記載の方法。 10

【請求項 4】

前記少なくとも 1 つのコーティング (1 3 0) を施工する段階 (6 4) が、高速酸素燃料溶射法、イオンプラズマ堆積、低圧プラズマ溶射、高速空気燃料溶射法、又はコールドスプレーのうちの 1 つ又はそれ以上を用いて、前記ターピン構成要素 (5 4) の外部表面 (1 0 2) 上に前記コーティング (1 3 0) を堆積する段階を含む、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

前記 1 つ又はそれ以上のチャンネル (1 1 0) が、研磨液体ジェット、フライス放電加工、レーザ機械加工、又はプランジ電解加工のうちの 1 つ又はそれ以上を用いて形成される、請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の方法。 20

【請求項 6】

前記金属又は金属合金ワイヤーが、銅、モリブデン、ニッケル、タングステン、アルミニウム、モネル、又はニクロムのうちの 1 つ又はそれ以上を含む、請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

前記金属又は金属合金ワイヤーを除去する段階 (6 8) が、前記金属又は金属合金ワイヤー又は粉体 (1 2 0) を浸出、溶解、エッチング、酸化、又は溶融する段階を含む、請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 8】

前記コーティング (1 3 0) 上にトップコーティング (1 3 4) を施工し、前記トップコーティング (1 3 4) 並びに前記コーティング (1 3 0) を通して前記 1 つ又はそれ以上の第 2 の孔 (1 4 0) を形成する段階 (6 6) を含む、請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の方法。 30

【請求項 9】

前記 1 つ又はそれ以上のチャンネル (1 1 0) を形成する段階 (5 6) 、前記 1 つ又はそれ以上の第 1 の孔 (1 1 6) を形成する段階 (5 8) 、前記コーティング (1 3 0) を通して前記 1 つ又はそれ以上の第 2 の孔 (1 4 0) を形成する段階 (6 6) 、又は前記 1 つ又はそれ以上のチャンネル (1 1 0) を充填する段階 (6 0) のうちの少なくとも 1 つが、ロボットインターフェースを制御するプログラムプロセスに従って実施される、請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の方法。 40

【請求項 10】

前記チャンネル (1 1 0) から前記金属又は金属合金ワイヤーを除去する段階 (6 8) の後に、前記チャンネルの表面又は前記ターピン構成要素 (5 4) の外部表面の一方又は両方に耐酸化性コーティングを施工する段階 (7 0) を含む、請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本明細書で開示される主題は、全体的に、ガスターピンシステムのようなターピンシス

50

テムに関し、より詳細には、このようなタービンシステムにおける高温ガス経路構成要素を冷却する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

タービンシステムは、発電などの分野において広く利用されている。発電に利用される従来のガスタービンシステムは、圧縮機、燃焼器、及びタービンを含む。通常、このようなガスタービンシステムは、タービンの構成要素によって定められる流路を通る高温のガス流を生成する。このような高温はガスタービンシステムの性能、効率、及び出力の増大と関連付けることができるので、一般的にはより高温の流れが望ましい。すなわち、高温流は通常は、適正に機能しているガスタービンシステムにおいて期待される燃焼タイプ及び流れ条件に関連付けられ、又はそのような燃焼タイプ及び流れ条件を示している。

10

【0003】

しかしながら、予期できるように、このような高温により流路内の構成要素の過剰な加熱を引き起こす可能性がある。この加熱の結果、これらの構成要素の1つ又はそれ以上が障害を引き起こす恐れがある。従って、適切に稼働しているシステムにおいては、これらの高温の流れ条件が望ましいことに起因して、高温流に曝される構成要素を冷却し、高温の流れでガスタービンシステムが運転可能になるようにしなければならない。

【0004】

高温流に曝される構成要素を冷却するために様々な方式を利用することができる。これらの構成要素は通常、高温ガス経路構成要素として知られている。しかしながら、利用される冷却方式の多くは、比較的熱伝導率が低く且つ不均一な構成要素温度分布をもたらし、これは所望の冷却を達成するには不十分な場合がある。

20

【0005】

これらの例示的なガスタービンエンジン構成要素全てにおいて、通常は、構成要素を冷却する必要性を最小限にしながら、その耐久性を高めるために高強度超合金金属の薄い金属壁を用いている。様々な冷却回路及び特徴要素は、エンジン内の対応する環境におけるこれらの個々の構成要素に合わせて調整される。例えば、高温ガス経路構成要素内に一連の内部冷却通路又は蛇行路を形成することができる。蛇行路にプレナムから冷却流体を提供することができ、該冷却流体は通路を通って流れ、高温ガス経路構成要素基材及びコーティングを冷却することができる。しかしながら、この冷却方式は通常、比較的低い熱伝達率及び不均一な構成要素温度プロファイルをもたらす。

30

【0006】

マイクロチャンネル冷却は、加熱領域にできる限り近接して冷却部を配置して、所与の熱伝導率を得るために高温側と低温側との間の温度差を縮小することにより冷却要件を有意に低減することができる。しかしながら、マイクロチャンネルの上に構造コーティングを施工するときに最も臨界的な領域は、チャンネルの上縁部である。これらの縁部が先鋭且つ直角ではない場合、流れは、ギャップ、亀裂発生部、或いは、コーティングが堆積されたときに該コーティングに流れを伝播できる小空隙として、基材ベース金属と構造コーティングとの間の接合部にて開始する可能性がある。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許第5,626,462号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第20080138529号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従って、基材ベース金属を更に処理することなく、先鋭な直角として形成されるチャンネル縁部を有する構成要素内にマイクロチャンネルを形成する方法を提供することが望ましいことになる。

50

【課題を解決するための手段】**【0009】**

1つの実施形態において、ターピン構成要素を製造する方法が提供される。本方法によれば、ターピン構成要素の外部表面内に1つ又はそれ以上のチャンネルが形成される。1つ又はそれ以上のチャンネルとターピン構成要素の内部領域との間に1つ又はそれ以上の孔が形成される。金属又は金属合金ワイヤー又は粉体を1つ又はそれ以上のチャンネル内に機械的に圧入し、1つ又はそれ以上のチャンネルを実質的に充填するようとする。金属又は金属合金ワイヤー又は粉体で充填された1つ又はそれ以上のチャンネル上でターピン構成要素の外部表面に1つ又はそれ以上のコーティングを施工する。コーティングを通して1つ又はそれ以上の孔が形成され、金属又は金属合金ワイヤー又は粉体がチャンネルから除去される。

10

【0010】

別の実施形態において、高温ガス経路構成要素を形成する方法が提供される。本方法によれば、高温ガス経路構成要素の外部表面内に1つ又はそれ以上のチャンネルが形成される。1つ又はそれ以上のチャンネルは、高温ガス経路構成要素内の1つ又はそれ以上の内部通路に接続され、チャンネル及び内部通路が流体連通するようとする。固体金属又は金属合金材料が1つ又はそれ以上のチャンネルに機械的に圧入され、1つ又はそれ以上のチャンネルが固体金属又は金属合金材料で実質的に充填されるようになる。少なくとも1つの層が高温ガス経路構成要素の外部表面に施工され、1つ又はそれ以上のチャンネルが覆われるようとする。1つ又はそれ以上の冷却孔が少なくとも第1の層を通って形成され、固体金属又は金属合金材料がチャンネルから除去される。

20

【0011】

更なる実施形態において、ターボ機械で使用する製造物品が提供される。製造物品が、1つ又はそれ以上の内部通路を有する本体と、1つ又はそれ以上のチャンネルが形成される本体の外部表面と、を含む。1つ又はそれ以上のチャンネルが1つ又はそれ以上の内部通路と流体連通している。製造物品はまた、少なくとも1つ又はそれ以上のチャンネルを充填又は実質的に充填するよう1つ又はそれ以上のチャンネル内に配置される固体金属又は金属合金を含む。

【0012】

本発明のこれらの及びその他の特徴、態様並びに利点は、図面全体を通して同じ参照符号が同様の部分を表す添付図面を参照して以下の詳細な説明を読むと、より良好に理解されるであろう。

30

【図面の簡単な説明】**【0013】**

【図1】本開示の特定の態様による、ターピンシステムのブロック図。

【図2】本開示の特定の態様による、高温ガス経路構成要素を形成する方法の実施を描いたフローチャート。

【図3】本開示の特定の態様による、高温ガス経路構成要素の一部の断面図。

【図4】本開示の特定の態様による、構成要素の表面内のチャンネル形成後の図3の高温ガス経路構成要素の一部の断面図。

40

【図5】本開示の特定の態様による、構成要素の内部領域にチャンネルを接続する孔を形成した後の図4の高温ガス経路構成要素の一部の断面図。

【図6】本開示の特定の態様による、固体充填材料でチャンネルが充填された、図4の高温ガス経路構成要素の一部の断面図。

【図7】本開示の特定の態様による、構成要素の外部表面上に構造層コーティングを施工した後の図6の高温ガス経路構成要素の一部の断面図。

【図8】本開示の特定の態様による、トップコーティング層の施工後の図7の高温ガス経路構成要素の一部の断面図。

【図9】本開示の特定の態様による、構造層コーティング及びトップコーティングを通る冷却孔形成後の図8の高温ガス経路構成要素の一部の断面図。

50

【図10】本開示の特定の態様による、チャンネルから充填材料を除去した後の図9の高温ガス経路構成要素の一部の断面図。

【発明を実施するための形態】

【0014】

1つ又はそれ以上の特定の実施形態を以下で説明する。これらの実施形態の簡潔な説明を行うために、本明細書では、実際の実施態様の全ての特徴については説明しないこととする。何れかの技術又は設計プロジェクトと同様に、このような何らかの実際の実装の開発において、システム及びビジネスに関連した制約への準拠など、実装毎に異なる可能性のある開発者の特定の目標を達成するために、多数の実装時固有の決定を行う必要がある点は理解されたい。更に、このような開発の取り組みは、複雑で時間を要する可能性があるが、本開示の利点を有する当業者にとっては、設計、製作、及び製造の日常的な業務である点を理解されたい。

10

【0015】

更に、各実施例又は実施形態は、本発明の特定の態様の説明を容易にするために提供されており、本発明の範囲を限定するものと解釈すべきではない。実際に、本発明の範囲又は技術的思想から逸脱することなく、種々の修正形態及び変形形態を本発明において実施できることは、当業者であれば理解されるであろう。例えば、1つの実施形態の一部として例示され又は説明される特徴は、別の実施形態と共に使用して更に別の実施形態を得ることができる。従って、本発明は、そのような修正及び変形を特許請求の範囲及びその均等物の技術的範囲内に属するものとして保護することを意図している。

20

【0016】

本開示は、一般に、タービン構成要素に関し、詳細には、それぞれの構成要素の冷却を促進するために、マイクロチャンネルのような冷却特徴要素と共に形成される高温ガス経路構成要素に関する。詳細には、本開示の態様は、タービンで用いるための高温ガス経路構成要素におけるマイクロチャンネルを形成する方法に関する。この点を考慮して、以下の検討では、このような冷却システムを利用できる代表的なタービンシステムの一般的概念、並びにこのようなタービンシステムの好適な構成要素における冷却マイクロチャンネル形成の検討を行う。

【0017】

ここで図面を参照すると、図1は、タービンシステム10のブロック図である。図示のタービンシステム10は、燃料噴射器12、燃料供給部14、及び燃焼器16を含む。図示のように、図示のように、燃料供給部14は、天然ガスなどの液体燃料及び/又はガス燃料をガスタービンシステム10に燃料噴射器12を通じて燃焼器16内に送る。燃料噴射器12は、燃料を噴射して圧縮空気と混合させるよう構成される。燃焼器16は、燃料空気混合気を点火して燃焼させ、次いで、高温加圧排出ガスをタービン18に送る。理解されるように、タービン18は、固定ベーン又はブレードを有する1つ又はそれ以上のステータと、ステータに対して回転するブレードを有する1つ又はそれ以上のロータとを含む。排出ガスがタービンロータブレードを通過し、これによりタービンを回転駆動させる。タービンロータとシャフト19との間のカップリングは、シャフト19の回転を引き起こすことになり、該シャフト19はまた、図示のようにガスタービンシステム10全体にわたって複数の構成要素に結合される。最終的に、燃焼プロセスの排気は、排気出口20を介してガスタービンシステム10から出ることができる。

30

【0018】

圧縮機22は、シャフト19により回転駆動されるロータに堅固に装着されたブレードを含む。空気が回転ブレードを通過すると空気圧が増大し、これにより適正な燃焼のための十分な空気が燃焼器16に提供される。圧縮機22は、吸気口24を介してガスタービンシステム10に空気を吸い込むことができる。更に、シャフト19は負荷26に結合することができ、該負荷は、シャフト19の回転によって動力を供給することができる。理解されるように、負荷26は、発電プラント又は外部の機械的負荷など、ガスタービンシステム10の回転出力の動力を用いることが可能な何らかの好適な装置とすることができ

40

50

る。例えば、負荷 26 は、発電機、航空機のプロペラ、その他を含むことができる。吸気口 24 は、低温吸気口などの好適な機構を介してガスタービンシステム 10 に空気 30 を引き込む。次いで、空気 30 は、燃焼器 16 に圧縮空気 32 を提供する圧縮機 22 のブレードを通って流れる。詳細には、燃料噴射器 12 は、圧縮空気 32 及び燃料 14 を燃料空気混合気 34 として燃焼器 16 に噴射することができる。或いは、圧縮空気 32 及び燃料 14 は、混合及び燃焼のために燃焼器に直接噴射することができる。

【0019】

上記の検討から理解されるように、タービンシステム 10 は、燃焼プロセスによって生成される高温ガスの経路内の様々な構成要素、すなわち高温ガス経路構成要素を含むことができる。本明細書で使用される場合、高温ガス経路構成要素は、システム 10 を通過するガスの高温流に少なくとも部分的に曝される、システム 10 の何れかの構成要素である。例えば、バケット組立体（ブレード又はブレード組立体としても知られる）、ノズル組立体（ベーン又はベーン組立体としても知られる）、シュラウド組立体、移行部品、保持リング、及び圧縮機排出構成要素は、全て高温ガス経路構成要素である。しかしながら、本開示における高温ガス経路構成要素という用語の使用は、上記の実施例に限定されず、高温のガス流に少なくとも部分的に曝される何れかの構成要素とすることができる点は理解されたい。更に、本開示の高温ガス経路構成要素は、ガスタービンシステムの構成要素に限定されず、高温流に曝される可能性がある機械装置の何れかの要素又はその構成要素とすることができる点は理解されたい。

【0020】

高温ガス経路構成要素は、高温ガス流に曝されると該高温ガス流によって加熱され、高温ガス経路構成要素が故障するか又は性能が劣化する温度にまで達する場合がある。従って、タービンシステム 10 が高い温度の高温ガス流で作動して、これによりシステム 10 の効率及び性能を向上させることができるようにするために、高温ガス経路構成要素の冷却システムを利用することができる。

【0021】

一般に、本開示の冷却システムは、タービンシステム 10 の高温ガス経路構成要素の一部又は全ての表面に形成された、一連の小チャンネル又はマイクロチャンネルを含む。高温ガス経路構成要素はまた、構造コーティング及び／又はトップコーティングのような、1つ又はそれ以上のカバー層を備えることができる。冷却流体は、プレナムからチャンネルに提供することができ、また冷却流体は、チャンネルを通って流れて、構成要素のカバー層すなわちスキンを冷却することができる。このような手法は、本明細書で検討するように、他の手法よりも高い冷却密度（単位表面積又は容積当たりなど）又はより高い冷却効果を提供するようカスタマイズ又は調整することができる。

【0022】

この点を考慮すると、図 2 は、本発明の手法による高温ガス経路で使用する構成用を形成する方法 50 を図示している。この実施例では、マイクロチャンネルが形成されることになる部品 54 を最初に鋳造する（ブロック 52）。例えば、中空スパーのような鋳造される部品 54 は、複雑な内部及び外部チャンネルなしで形成することができる。図 3 を参照すると、基材層 100 を有する鋳造部品 54 の一部が図示されており、ここでは一方の表面 102 が部品の外部又は外向きの面であり、反対側の表面 104 が部品 54 の内部又は内向きの面である。

【0023】

基材 100 は通常、基材 100 の外部表面 102 内にチャンネル 110 を形成する前に鋳造される。全目的において引用により全体が本明細書に組み込まれる、同一出願人による米国特許第 5,626,462 号で検討されるように、基材 100 は、あらゆる好適な材料から形成することができる。部品 54 の目的とする用途に応じて、基材は、ニッケル基、コバルト基、及び鉄基超合金を含むことができる。ニッケル基超合金は、相及び相の両方を含有するものとすることができます、例えば、このようなニッケル基超合金は相及び相の両方を含有し、且つ相が容量で超合金の少なくとも 40% を占める。

10

20

30

40

50

このような合金は、高温強度及び高温クリープ抵抗を含む望ましい特性の組み合わせであるので有利であることが知られている。基材の材料はまた、NiAl金属間化合物合金を含むことができ、この合金はまた、航空機で使用されるタービンエンジン用途での使用に有利である高温強度及び高温クリープ抵抗を含む優れた特性の組み合わせを有することが分かっている。ニオブ基合金については、原子パーセントでNb - (27 - 40)Ti - (4.5 - 10.5)Al - (4.5 - 7.9)Cr - (1.5 - 5.5)Hf - (0 - 6)Vを備えた合金を含む、Nb/Ti合金など、優れた酸化抵抗を有する被覆ニオブ基合金を用いることができる。基材材料はまた、ニオブ含有金属間化合物、ニオブ含有炭化物、又はニオブ含有ホウ化物など、少なくとも1つの2次相を含有するニオブ基合金を含むことができる。このような合金は、延性相(すなわち、ニオブ基合金)及び強化相(すなわち、ニオブ含有金属間化合物、ニオブ含有炭化物、又はニオブ含有ホウ化物)を含有する点で、複合材料と類似している。本開示の構成要素基材100は、上述の材料に限定されず、あらゆる高温ガス経路構成要素で使用されるあらゆる材料とすることができます。
。

【0024】

図2及び4を参照すると、チャンネル10(例えば、マイクロチャンネル)は、部品54の外部表面102内に形成される(ブロック56)。特定の実施形態によれば、チャンネル110は、冷却流体がチャンネル1109を通って流れることができるように設計又は構成される。これにより、冷却流体の流れは、基材10又は基材100の外部表面102上に配置された1つ又はそれ以上の層(以下でより詳細に検討する)から冷却媒体に熱を伝達することなどにより、対流冷却で部品54の隣接領域又は近接領域を冷却することができる。
。

【0025】

チャンネル110は、外部表面102内でチャンネル110の所望のサイズ、配置、及び/又は構成を達成するよう、プログラムされ又は自動処理されるプロセス(ロボット制御によるプロセス)の誘導又は制御によって形成又は機械加工することができる。例えば、チャンネル110は、例えば、レーザ機械加工(例えば、レーザ孔加工)、研磨液体ジェット(例えば、研磨マイクロ水ジェット(AμWJ))、電解加工(ECM)、プランジ電解加工(プランジECM)、放電加工(EDM)、回転電極による放電加工(フライスEDM)、又は適正なサイズ及び許容誤差をチャンネルに提供できる他のあらゆるプロセスを使用することにより外部表面102内に形成することができる。
。

【0026】

特定の実施形態において、チャンネル110は、約0.5mmから約1mmまでなど、約0.2mmから約2mmまでの範囲の深さを有することができる。更に、特定の実施形態において、チャンネル110は、約0.5mmから約1mmまでなど、約0.2mmから約2mmまでの範囲の幅を有することができる。更に、チャンネル110についての幅及び/又は深さは、実質的に一定とすることができます、或いは、チャンネル110にわたって変わる(増大、減少、先細、及びその他など)ことができる。

【0027】

例えば、1つの実施において、チャンネル110の幅及び/又は深さは、チャンネル110を通る冷却媒体の流れの方向でチャンネル110の長さに沿って減少することができる。或いは、チャンネル110の幅及び/又は深さは、チャンネル110を通る冷却媒体の流れの方向でチャンネル110の長さに沿って増大することができる。更に、各チャンネル110の幅及び/又は深さは、他のチャンネル110から独立して変わることができます、すなわち、一部のチャンネル110は、冷却媒体の流れの方向で幅及び/又は深さが増大することができ、他のチャンネルは減少することができ、及び/又は増大又は減少の範囲は、チャンネル間で異なることができる。理解されるように、他の実施形態では、チャンネル110の一部又は全ては、幅及び/又は深さが実質的に一定とすることができます。
。

【0028】

加えて、チャンネル110は、例えば、方形、矩形、橢円形、三角形、又はチャンネル

10

20

30

40

50

110を通る冷却媒体の流れを促進する他の何れかの幾何形状など、あらゆる好適な幾何形状断面を有することができる。種々のチャンネル110は、一定の幾何形状を備えた断面を有することができ、他のチャンネル110は、別の幾何形状を備えた断面を有することができる。加えて、特定の実施形態において、チャンネル110の表面（すなわち、側壁及び／又は床部）は、実質的に平滑な面とすることができますが、他の実施形態では、チャンネル表面の全て又は一部は、突出部、凹部、表面起伏、又はチャンネルの表面が平滑ではないような他の特徴要素を含むことができる。例えば、チャンネル110の表面上に存在できる表面特徴要素は、限定ではないが、フィン型突出部、円筒形突出部、又はターピュレータ、或いはこれらの組み合わせ、並びに他の何れかの好適な幾何形状を含むことができる。存在するあらゆる表面特徴要素の寸法は、それぞれのチャンネル110によって提供される冷却を最適化するよう選択できる点は理解されたい。10

【0029】

更に、チャンネル110は、全体的に直線状のチャンネルとすることができますが、或いは、全体的に湾曲又は蛇行したチャンネルとすることができます。例えば、チャンネル110の全て又は一部は、基材100の外部表面102に対して複雑な曲線として、又は3次元構成の一部として設けることができる。実際に、チャンネル110の構成は、部品54に対して、該部品54の特定部分が他よりも高密度の冷却チャンネル110を含むように製造されるよう特異的にすることができます。すなわち、チャンネルの構成は、使用時に部品54の期待される熱プロファイルを考慮して調整することができます。従って、ブレードの先端、プラットフォーム、及び後縁は、一般的にはあまり熱に曝されることのないブレードの他の部分又は他の構成要素よりも高密度の冷却チャンネル110を有して作製することができる。これにより必要とされる場所だけに冷却材を利用することができます、及び／又は他の冷却手法と比べて冷却流を低減可能にすることができます。理解されるように、チャンネル110は、冷却媒体が高温ガス流に対してあらゆる方向でチャンネル110を通って流れるように配向することができます。例えば、冷却媒体は、高温ガス流に対して全体的に上流側、下流側、及び／又は直交方向で、或いは、高温ガス流に対して他の何れかの好適な方向でチャンネル110の一部又は全てを通って流れることができる。20

【0030】

一部の実施形態において、チャンネル110の各々は、単一の離散的チャンネルとすることができます。しかしながら、他の実施形態において、チャンネル110の各々又はチャンネル110の何れかの部分は、単一のチャンネル110から分岐して複数チャンネル分岐110を形成することができます。更に、チャンネル110は、一部の実施形態において、高温ガス経路構成要素（すなわち、部品54）の周囲全体に配置することができます、或いは、高温ガス経路構成要素の周囲の一部だけに配置することができる点は理解されたい。しかしながら、チャンネル110の各々は、一般に他の何れかのチャンネル110と交差しないようにすることができる点は更に理解されたい。30

【0031】

図2及び図5を参照すると、ブロック58において、1つ又はそれ以上の孔116を開け又は穿孔し、チャンネル110の一部又は全てをスパーの内部スペースのような部品により定められる内部領域118に接続することができます。図示するように、孔116は、基材層100を通って全体的に延びることができます、また、チャンネル110を内部スペース118に流体接続し且つチャンネル110の一部又は全てを内部スペース118を介して互いに流体接続することができます。例えば、各チャンネル110は、孔116の少なくとも1つに流体接続することができます。部品54の製造が完了し、チャンネル110が構造コーティング層及び／又は他の層（以下で検討する）により覆われると、孔116は、内部スペース118を介して冷却媒体の流れをチャンネル110に提供可能にすることができます。例えば、構造コーティング層がそれぞれのチャンネル110を覆って所定位置にあると、それぞれの孔116を介した1つ又はそれ以上のチャンネル110への内部スペース118のそれぞれの流体接続によって、少なくとも1つの冷却回路が部品54内に定められ又は部品54の表面上に設けることができる。冷却媒体は、孔116及びチャンネル4050

ル 110 内の圧力よりも全体的に高い圧力でこれらの特徴要素により定められる冷却回路を通過することができる。この圧力差により、冷却回路内に含まれる冷却媒体の一部は、孔 116 内に流入して流れ、孔 116 からチャンネル 110 を通過するようになる。冷却媒体は、以下でより詳細に検討するように、ここから 1 つ又はそれ以上の出口孔（例えば、冷却孔 140）を介してチャンネル 110 から出て、これにより部品 54 の内部から外部への流れ回路を完成させることができる。

【0032】

更に、孔 116 の一部又は全ては、以下で検討するように、それぞれのチャンネル 110 の上に設けられる構造コーティング 130 及び / 又はトップコーティング 134 に衝突冷却を提供するよう構成することができる。例えば、孔 116 は、外部表面 102 及び / 又は構造コーティング 130 及び / 又はトップコーティング 134 に対して基材 100 内にほぼ垂直に向けることができる。従って、冷却媒体が孔 116 を通って流れ、チャンネル 110 に提供されると、冷却媒体は、孔 116 から出て構造コーティング 130 及び / 又はトップコーティング 134 上に衝突し、これによりこれらの層の 1 つ又は両方を衝突冷却することができる。冷却媒体がチャンネル 110 を通って流れた後、該冷却媒体は、チャンネル 110 から直接（部品 54 の先端又は縁部にてなど）及び / 又はチャンネル 110 を覆うあらゆる層を貫通する排気通路（例えば、冷却孔 140）を通って排出することができる。各チャンネル 110 は、排気通路の 1 つ又はそれ以上に接続することができる点を理解されたい。更に、排気通路は、チャンネル 110 に対してあらゆる角度に配向することができる点を理解されたい。

10

20

【0033】

図 2 から図 6 を参照すると、各チャンネル 110 は、1 つ又はそれ以上の固体充填材料 120 を充填することができ（ブロック 60）、該充填材料は、後続の段階中に、浸出、溶解、溶融、酸化、エッティング、及びその他などにより化学的に除去することができる。例えば、モリブデン及びタングステン固体充填材料の場合、これらの材料は、700 を上回って加熱されると昇華する高い蒸気圧の酸化物を有する。特定の実施形態において、充填材料 120 は、元素又は合金金属材料から形成された固体ワイヤーフィラーハーである。1 つの実施形態において、充填材料は、アニールされた金属ワイヤーなどの変形可能材料であり、チャンネル 110 内に機械的に圧入されたときに、変形してチャンネル 110 の形状に共形にされる。本明細書で使用される用語「ワイヤー」は、それぞれのチャンネル 110 の断面形状に共形になる、又は機械的に変形されて共形になることができる連続した固体材料片を意味する点を理解されたい。従って、本明細書で使用されるワイヤーは、円形の断面を有する必要はないが、代わりに、方形又は矩形断面、或いは、それぞれのチャンネル 110 内に適合し充填することができる他の何れかの幾何形状断面を有することができる。他の実施形態では、金属又は金属合金材料を粉体として提供してもよく、上述のワイヤーの実施形態と同様に、チャンネル 110 内に圧入されて該チャンネル 110 と共形になり、チャンネル 110 を実質的に充填するようになる。このような 1 つの実施形態において、金属又は金属合金粉体は、バインダー又はキャリアなしで提供される。1 つの実施形態において、金属又は金属合金ワイヤー又は粉体は、チャンネル 110 内に機械的に圧入され、実質的に又は完全にチャンネル 110 を充填する。チャンネル 110 から外に突出する（すなわち、過充填の）固体金属充填材のあらゆる部分は、以下で検討するように、コーティングの施工前に研磨又は機械加工により除去することができ、部品 54 の露出面及び充填材料 120 が切れ目のない平滑な面を形成するようになり、その後に層及びコーティングを施工することができる。固体金属充填材を形成するのに用いることができる好適な材料は、限定ではないが、銅、アルミニウム、モリブデン、タングステン、ニッケル、石炭、モネル、ニクロム、及びその他を含むことができる。

30

40

【0034】

チャンネル 110 への充填材料 120 の施工後、基材 100 の外部表面 102 は、外部表面 102 を過ぎて形成又は延びる充填材料 120 の一部を含む、外部表面 102 を機械加工、グリットプラスティング、洗浄、及び / 又は研磨することなどにより、清浄化さ

50

れてコーティングの準備を整えることができる。

【0035】

基材100の外部表面102が好適に清浄化され準備されると、図7及び8に示すように、1つ又はそれ以上の表面コーティングを充填材料120上の外部表面102に施工することができる(図2、ロック64)。コーティング130は、あらゆる好適な材料とすることができます、基材100の外部表面102に接合される。特定の構成において、コーティング130は、工業用構成要素において、0.1から1ミリメートルまでなど、0.1から2.0ミリメートルまでの範囲、或いは、0.1から0.5ミリメートルの範囲の厚みを有する。航空機用構成要素において、この範囲は通常、0.1から0.25ミリメートルである。しかしながら、特定の部品54の要件に応じて、他の厚みを利用することができます。10

【0036】

コーティング130は、様々な技術を用いて堆積させることができる。特定のプロセスにおいて、コーティング130は、イオンプラズマ堆積法を実施することにより、基材100の外部表面102の少なくとも一部の上に堆積される。例示的なカソードアークイオンプラズマ堆積装置及び方法は、全ての目的において引用により全体が本明細書に組み込まれる、同一出願人の米国特許出願公開第20080138529号、Weaver他、「カソードアークイオンプラズマ堆積の方法及び装置」において提供されている。要約すると、イオンプラズマ堆積は、真空チャンバ内の真空環境にコーティング材料から形成されたカソードを配置する段階と、真空環境内に基材100を提供する段階と、カソードに電流を供給し、カソード表面からコーティング材料の腐食又は蒸発を生じるカソード表面上にカソードアークを形成する段階と、基材表面102上にカソードからのコーティング材料を堆積させる段階と、を含む。20

【0037】

非限定的な1つの実施例において、イオンプラズマ堆積プロセスは、プラズマ蒸着プロセスを含む。コーティング130の非限定的な実施例は、米国特許第5,626,462号を参照して以下で詳細に検討するように、金属コーティング、ボンドコート、及び熱障壁コーティングを含む。特定の高温ガス経路構成要素54において、コーティング130は超合金を含む。例えば、基材100が相及び相の両方を含有するニッケル基超合金を用いて形成される場合、コーティング130は、米国特許第5,626,462号を参照して以下で詳細に検討するように、これらと同じ材料を含むことができる。30

【0038】

他のプロセス構成において、コーティング130は、溶射プロセスを実施することにより、基材100の外部表面102の少なくとも一部の上に堆積される。例えば、溶射プロセスは、高速酸素燃料溶射法(high velocity oxygen fuel spraying (HVOF))又は高速空気燃料溶射法(high velocity air fuel spraying (HVAF))を含むことができる。非限定的な1つの実施例において、NiCrAlYコーティングは、HVOF又はHVAFにより堆積される。他の例示的なプロセス構成において、低圧プラズマ溶射(LPPS)プロセスを利用することができる。40

【0039】

より一般的には、米国特許第5,626,462号で検討されるように、コーティング130を形成するのに使用される材料は、あらゆる好適な材料とすることができます。冷却タービン構成要素の場合、コーティング130を形成する材料は、約1150の温度に耐え得る必要があるが、熱障壁コーティング(TBC)では約1320にまで達する可能性がある。コーティング130は通常、基材100の外部表面102に適合し、これに接合されるよう適応される。この接合は、コーティング130が基材100上に堆積されたときに形成することができる。この接合法は、堆積方法、堆積中の基材100の温度、堆積表面が堆積源に対して偏位しているかどうか、及び他のパラメータを含む、多くのパラメータにより堆積中に影響を受ける可能性がある。接合法はまた、後続の熱処理又は他50

の処理によって影響される可能性がある。加えて、堆積前の基材 100 の表面モルホロジー、化学的特性、及び清浄性は、金属結合が生じる程度に影響を及ぼす可能性がある。コーティング 130 と基材 100 との間の強い金属結合を形成することに加えて、この結合が、本明細書で説明される相変化及び相互拡散に関して経時的及び高温で安定を維持することが望ましい。適合可能であることによって、ニッケル基合金翼形部支持壁及びニッケル基翼形部外板に対しておよそ 1,150 の高温、或いは、ニオブ基合金のような更に高温の材料が利用される場合のおよそ 1300 の高温に曝されることを考慮しても、接合の強度及び延性が相互拡散又は他のプロセスによって経時的（例えば、最大 3 年）にあまり劣化しないように、これらの要素間の接合が熱力学的に安定であることが望ましい。

【0040】

10

米国特許第 5,626,462 号で検討されるように、基材 100 を形成する材料が相及び'相の両方を含有するニッケル基超合金又は NiAl 金属間化合物合金である場合、コーティング 130 を形成するのに使用される材料は、これらと同じ材料を含むことができる。このようなコーティング 130 及び基材 100 の材料の組み合わせは、動作環境の最高温度が既存のエンジンの最高温度（例えば、1650 未満）と同様である場合のような用途に好適である。基材 100 を形成するのに使用される材料がニオブ基合金である場合、コーティング 130 を形成するのに使用される材料はまた、同じニオブ基合金を含む、ニオブ基合金を含むことができる。

【0041】

20

金属合金コーティング 130 の使用が望ましくない温度、環境、又は他の制約が課せられる用途など、他の用途に対して米国特許第 5,626,462 号で検討されるように、コーティング 130 は、金属間化合物 (Is) / 金属合金 (M) 相複合材及び金属間化合物 (Is) / 金属間化合物 (Im) 相複合材の一般式の複合材のように、金属合金単独よりも優れた特性を有する材料を用いて形成することができる。金属合金 M は、特定の実施形態において翼形部支持壁に使用されるものと同じ合金と/or が可能である。更に、良好な複合材を得るために、2 つの材料は適合可能である必要がある。複合材に関して本明細書で使用される用語「適合可能」とは、複合材の強度、延性、韌性、及び他の重要な特性を実質的に損なう冶金反応を受けることなく、材料が、所望の初期相分布を形成することができ、1,150 又はそれ以上の使用温度を上回って上述のような長い時間期間にわたり当該分布を維持できることを意味する。このような適合性はまた、相安定性に関しても表現することができる。すなわち、複合材の分離相は、これらの相が分離し且つ区別して存在し、これらの別個の独自性及び特性を保持しており、相互拡散により单一の相又は複数の異なる相にならないように、長い時間期間にわたるある温度での作動中の安定性を有している。適合性はまた、Is / M 又は Is / Im 複合材層の間の相間境界界面の形態安定性に関しても表現することができる。このような不安定性は、何れかの層の連続性を崩壊させる畳み込みによって顕在化する場合がある。また、所与のコーティング 130 内では、複数の Is / M 又は Is / Im 複合材を使用してもよく、このような複合材は 2 つの材料又は 2 つの相の組み合わせに限定されない点に留意されたい。このような組み合わせの使用は、単に例証に過ぎず、実施可能な組み合わせを網羅したものではなく、又はこれに限定されるものではない。従って、M / Im / Is、M / Is1 / Is2（ここで Is1 及び Is2 は異なる材料）及び他の多くの組み合わせが可能である。

30

【0042】

40

米国特許第 5,626,462 号で検討されるように、基材 100 は相及び'相両方の混合物を含有するニッケル基超合金を含み、Is は、Ni₃[Ti, Ta, Nb, V], NiAl, Cr₃Si, [Cr, Mo]_xSi, [Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V]C, Cr₃C₂ 及び Cr₇C₃ 金属間化合物及び中間相を含むことができ、M は、相及び'相両方の混合物を含有するニッケル基超合金を含むことができる。相及び'相両

50

方の混合物を含有するニッケル基超合金において、元素 Co、Cr、Al、C、及び B は、合金成分としてほぼ常に存在し、Ti、Ta、Nb、V、W、Mo、Re、Hf、及び Zr の様々な組み合わせも同様である。従って、ニッケル基超合金で通常見られる 1 つ又はそれ以上の材料に対応して説明される例示的な Is 材料の成分は、基材 100 を形成するのに用いることができ、従って、本明細書で説明される相及び相互拡散の安定性を達成するよう適応することができる。基材 100 が NiAl 金属間合金を含む場合の追加の実施例として、Is は、 $Ni_3[Ti, Ta, Nb, V]$, NiAl, Cr_3Si , [Cr, Mo]_xSi, [Ta, Ti, Nb, Hf, Zr, V]C, Cr_3C_2 及び Cr_7C_3 金属間化合物及び中間相を含むことができ、IM は、 Ni_3Al 金属間合金を含むことができる。同様に、NiAl 金属間合金において、元素 Co、Cr、C、及び B は通常、合金成分として存在し、Ti、Ta、Nb、V、W、Mo、Re、Hf、及び Zr の様々な組み合わせも同様である。そのため、NiAl 合金で通常見られる 1 つ又はそれ以上の材料に対応して説明される例示的な Is 材料の成分は、基材 100 を形成するのに用いることができ、従って、本明細書で説明される相及び相互拡散の安定性を達成するよう適応することができる。10

【0043】

米国特許第 5,626,462 号で検討されるように、基材 100 は、少なくとも 1 つの 2 次相を含有するニオブ基合金を含む、ニオブ基合金を含み、Is は、ニオブ含有金属間化合物、ニオブ含有炭化物、又はニオブ含有ホウ化物を含むことができ、M は、ニオブ基合金を含むことができる。このような Is / M 複合材は、合金のチタンとニオブ（チタン / ニオブ）との原子比が 0.2 から 1 の範囲にあり、Is 相が、ニオブ基シリサイド、 $Cr_2[Nb, Ti, Hf]$ 、及びニオブ基アルミナイトからなる群を含み、ここでニオブ、とりわけニオブ、チタン、及びハフニウムは、 $Cr_2[Nb, Ti, Hf]$ の原子単位の主成分であるような、チタン含有ニオブ基合金の M 相を含むことができる。これらの化合物は全て、共通する成分としてニオブを有し、従って、米国特許第 5,626,462 号で記載された相及び相互拡散の安定性を達成するよう適応することができる。20

【0044】

図 8 の図示の実施形態のような、特定の実施形態において、セラミックコーティング又は熱障壁コーティング（TBC）のようなトップコーティング 134 は、コーティング 130 の上に施工することができる。例えば、トップコーティング 134 は、イットリア安定化ジルコニアとすることことができ、物理的気相成長プロセス又は溶射プロセスによって構造コーティング 130 に施工することができる。或いは、トップコーティング 134 は、IV、V、及び VI 族元素から形成された酸化物、又は、ランタン、ニオブ、ガドリウム、イッテルビウム及び同様のものなどのランタニド系列元素により修飾された酸化物のような他の耐火性酸化物によって修飾されたジルコニアの薄層などのセラミックとすることができます。従って、トップコーティング 134 は、存在する場合に、特定の熱的な利点を部品 54 に提供することができ、及び / 又は特定の仕上げ又は表面起伏上の利点を提供することができる。30

【0045】

図 2 から 9 を参照すると、何れか及び全ての構造コーティング 130 及び / 又はトップコーティング 134 が施工されると、1 つ又はそれ以上の冷却孔 140 が、構造コーティング 130 及び / 又はトップコーティング 134 を通って孔加工（ロック 66）又はパンチ加工され、充填チャンネル 110 の 1 つ又はそれ以上に到達する。冷却孔 140 は、部品 54 が使用中であるときに排気ポート又は排気孔として機能し、チャンネル 110 を通って循環する冷却流体がチャンネル 110 及び部品 54 から流出し、加熱されたガス中又は部品表面上に分散させてフィルム冷却として使用可能にすることができる。理解されるように、冷却孔 140 は、あらゆる断面（例えば、円形、方向、矩形、三角形、橢円形、及びその他）又はサイズ、及び冷却流体がチャンネル 110 から流出するのに好適な向きを有することができる。40

【0046】

図示の実施において、充填材料 120 は、浸出、溶解、溶融、酸化、エッティング、及びその他などによりチャンネル 110 から化学的に除去する(図 2、ブロック 68)ことができる。例えば、1つの実施形態において、充填材料 120 は、好適な溶液又は化合物を用いてチャンネル 110 から浸出又は溶解させることができる。充填材料 120 が固体銅金属ワイヤーのような固体金属充填材である1つの実施形態において、固体金属充填材は、濃硝酸(例えば、67%、50%、40%、及びその他)洗浄液を用いて除去される。他の実施形態では、高濃度苛性ソーダを用いて固体金属充填材を溶解することができる。充填材料の残留物は、冷却孔 140 及び/又は内部スペース 118 を介して部品 54 から出ることができ、その両方は、チャンネル 110 と流体連通している。充填材料 120 が除去されると、チャンネル 110 はクリアにされ、チャンネルの床部及び側壁と、図 10 に示すように存在する場合には構造コーティング 130 の内面とによって定められる。

【0047】

図 2 を参照すると、図示の実施形態において、チャンネル 110 の内部表面にコーティングを施工し、チャンネル 110 を通過する冷却流体の熱及び/又は作用などから、使用中にチャンネル 110 を保護することができる(ブロック 70)。このような1つの実施形態において、耐酸化性コーティングをチャンネル 110 の内部表面に施工して基材 100 のチャンネル表面を保護し、及び/又は外部表面 102 に施工することができる。例えば、1つの実施において、チャンネル 110 の内部表面をコーティング又は修正し、耐酸化性及び/又は耐高温腐食性を向上させることができる。チャンネル 110 の内部表面に耐酸化性コーティングを施工する好適な技術は、蒸気相又はスラリークロム化、蒸気相アルミナイジング、パックアルミナイジング、化学気相堆積アルミナイジング、又はスラリーアルミナイジング、或いは、蒸発、スパッタリング、イオンプラズマ堆積、溶射、及び/又はコールドスプレーを介したオーバーレイ堆積を含む。例示的な耐酸化オーバーレイコーティングは、M Cr Al Y ファミリー(M = { Ni, Co, Fe })の材料、並びに Ni Al X ファミリー(X = { Cr, Hf, Zr, Y, La, Si, Pt, Pd })から選択された材料を含む。このような1つの実施形態において、耐酸化コーティングはまた、好適な表面の熱障壁ボンドコートとして機能することができる。

【0048】

続いて、部品 54 を熱処理し(ブロック 72)、部品 54 に施工された種々の層及びコーティングを配置及び/又は仕上げることができる。熱処理後、最終部品は、検討するように、タービンシステム 10 の組立体において使用される前に、品質管理プロセスの一部として検査することができる。

【0049】

本明細書で説明されるように、高温ガス経路構成要素の表面又はその近傍に位置するチャンネル 110 及び孔 116 を利用することにより、本開示の冷却システムは、高い熱伝導率及び比較的均一な温度プロファイルで部品 54 のような高温ガス経路構成要素の冷却を可能にする。従って、本開示の冷却システムは、高温ガス経路構成要素の寿命を延ばし、該構成要素をより高い温度の高温ガス流と共に利用し、よってタービンシステム 10 の性能及び効率を高めることができるようにすることができる。更に、本開示の特定の実施形態によれば、タービン 10 の構成部分のバルク基材 100 の温度低下をタービン 10 の作動中に達成することができる。例えば、特定の実施において、基材バルク温度は、約 1300 °F から約 1800 °F の間とすることができます。

【0050】

本明細書は、最良の形態を含む実施例を用いて本発明を開示し、更に、あらゆる当業者があらゆるデバイス又はシステムを実施及び利用すること並びにあらゆる包含の方法を実施することを含む本発明を実施することを可能にする。本明細書で提供される代表的な実施例及び実施形態は、互いに組み合わせができる特徴要素、並びに本発明の範囲内に依然として含まれる追加の実施形態を形成するための他の開示された実施形態又は実施例の特徴要素と組み合わせができる特徴要素を含む。本発明の特許保護される範囲は、請求項によって定義され、当業者であれば想起される他の実施例を含むことができる

。このような他の実施例は、請求項の文言と差違のない構造要素を有する場合、或いは、請求項の文言と僅かな差違を有する均等な構造要素を含む場合には、本発明の範囲内にあるものとする。

【符号の説明】

【0051】

10	タービンシステム	10
12	燃料噴射器	
14	燃料	
16	燃焼器	
18	タービン	
19	シャフト	
20	排出出口	
22	圧縮機	
24	吸気口	
26	負荷	
30	空気	
32	圧縮空気	
34	燃料 - 空気混合気	
50	方法	
52	鋳造部品	20
54	部品	
56	チャンネルを形成	
58	チャンネルと内部領域とを接続する孔を形成	
60	充填材料でチャンネルを充填する	
64	表面コーティングを施工する	
66	冷却孔を穿孔する	
68	充填材料を除去する	
70	コーティングを施工	
72	熱処理部品	
100	基材	30
102	外部表面	
104	内部表面	
110	チャンネル	
116	孔	
118	内部スペース	
120	充填材料	
130	構造層 / コーティング	
134	トップコーティング	
140	冷却孔	

【図1】

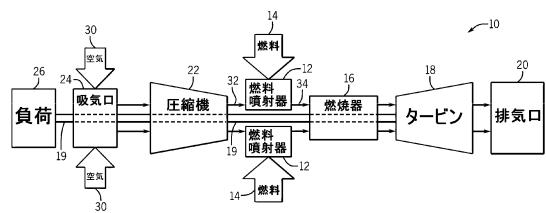


FIG. 1

【図2】

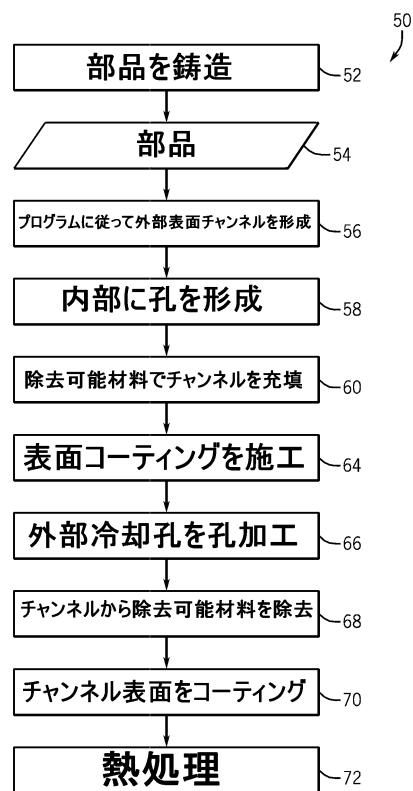


FIG. 2

【図3】

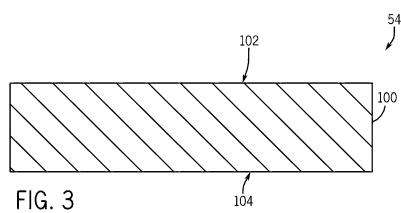


FIG. 3

【図5】

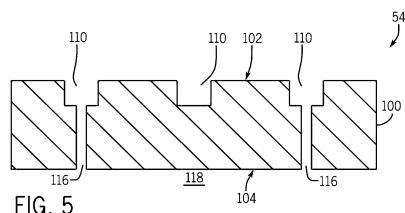


FIG. 5

【図4】

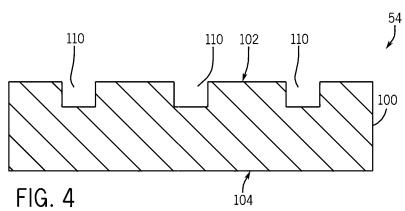


FIG. 4

【図6】

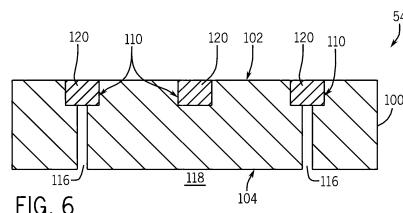


FIG. 6

【図7】

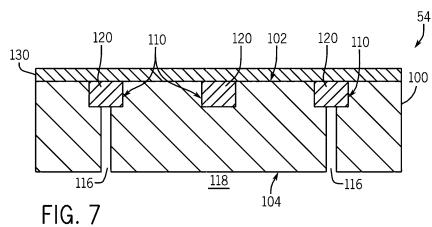


FIG. 7

【図9】

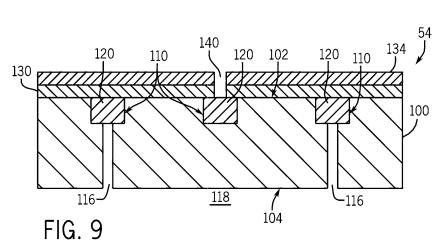


FIG. 9

【図8】

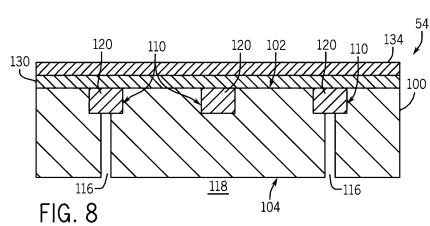


FIG. 8

【図10】

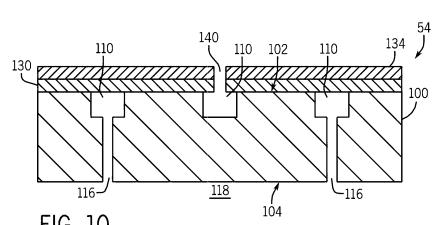


FIG. 10

フロントページの続き

- (72)発明者 ロナルド・スコット・バンカー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59、ワン・リサ
ーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ
- (72)発明者 ピン・ウェイ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59、ワン・リサ
ーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ
- (72)発明者 アン・メリンド・リッター
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59、ワン・リサ
ーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ
- (72)発明者 ドン・マーク・リブキン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59、ワン・リサ
ーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ
- (72)発明者 ラウル・バシリオ・リバク
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59、ワン・リサ
ーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ
- (72)発明者 ローレンス・バーナード・クール
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59、ワン・リサ
ーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ
- (72)発明者 デニス・マイケル・グレイ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカユナ、ビルディング・ケイ1-3エイ59、ワン・リサ
ーチ・サークル、ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ・グローバル・リサーチ

審査官 佐藤 健一

- (56)参考文献 特開2005-090512(JP, A)
米国特許第06214248(US, B1)
特開2002-201962(JP, A)
特開2004-115846(JP, A)
特開2002-317641(JP, A)
特表2001-514090(JP, A)
米国特許第05640767(US, A)
米国特許第05075966(US, A)
特開2008-200836(JP, A)
特開平10-263936(JP, A)
特表2000-506790(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F01D 5/08、12-18、22-24、28-32
F01D 9/00-11/10
F01D 25/00
F02C 7/00、16、18
DWPPI (Thomson Innovation)