

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5725969号  
(P5725969)

(45) 発行日 平成27年5月27日 (2015. 5. 27)

(24) 登録日 平成27年4月10日 (2015. 4. 10)

|                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| (51) Int. Cl.                   | F I             |
| <b>G O 1 H 11/00 (2006. 01)</b> | G O 1 H 11/00   |
| <b>B 2 3 K 26/00 (2014. 01)</b> | B 2 3 K 26/00 M |

請求項の数 6 (全 10 頁)

|              |                               |           |                       |
|--------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2011-110893 (P2011-110893)  | (73) 特許権者 | 390041542             |
| (22) 出願日     | 平成23年5月18日 (2011. 5. 18)      |           | ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ    |
| (65) 公開番号    | 特開2011-247890 (P2011-247890A) |           | アメリカ合衆国、ニューヨーク州 1 2 3 |
| (43) 公開日     | 平成23年12月8日 (2011. 12. 8)      |           | 4 5、スケネクタデイ、リバーロード、1  |
| 審査請求日        | 平成26年5月15日 (2014. 5. 15)      |           | 番                     |
| (31) 優先権主張番号 | 12/786, 031                   | (74) 代理人  | 100137545             |
| (32) 優先日     | 平成22年5月24日 (2010. 5. 24)      |           | 弁理士 荒川 聡志             |
| (33) 優先権主張国  | 米国 (US)                       | (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】 レーザショックピーニング測定システム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

L S P プロセス時に処理材料にもたらされるエネルギーを測定するためのレーザショックピーニング ( L S P ) ( 1 0 0 ) 測定装置であって、当該装置が、  
 前記処理材料 ( 1 0 4 ) から音響エネルギーを受けかつ該音響エネルギーを熱エネルギーに変換するように構成されたエネルギー変換器 ( 1 1 4 ) と、  
 前記エネルギー変換器に結合されかつ前記音響エネルギーに比例した前記熱エネルギーに基づいて電気出力を生成するエネルギー測定装置 ( 1 1 6 ) と  
 を備えており、前記エネルギー変換器が、  
第 1 の音響インピーダンスを有するコンテナ ( 2 0 8 ) と、  
前記コンテナ内の導電性媒体 ( 2 0 6 ) と、  
前記コンテナ内に配置された 1 以上のコイル ( 2 1 2 ) と、  
前記コンテナの第 1 の端部のピストン ( 2 0 4 ) であって、第 1 の音響インピーダンスとは異なる第 2 の音響インピーダンスを有しかつ前記導電性媒体に接触するピストン ( 2 0 4 ) と  
 を備えている、装置。

【請求項 2】

前記ピストン及び処理材料間に結合された音響カプラ ( 1 0 8 ) をさらに含み、前記音響カプラが、第 3 の音響インピーダンスを有する、請求項 1 記載の装置。

【請求項 3】

10

20

第 3 の音響インピーダンスが第 2 の音響インピーダンスと同一である、請求項 2 記載の装置。

【請求項 4】

前記 1 以上のコイルが電流を受けかつ第 1 の方向に電束を生成し、前記ピストンが第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に移動する、請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項記載の装置。

【請求項 5】

前記音響カプラがプランジャ ( 2 0 2 ) を含み、前記プランジャが前記ピストンに結合される、請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項記載の装置。

【請求項 6】

材料のレーザショックピーニング ( 1 0 0 ) を監視する方法であって、  
前記材料上にアブレーティブ層 ( 1 0 6 ) を形成するステップと、  
前記アブレーティブ層 ( 1 0 6 ) にレーザビームを導いて前記材料内に音響波を生成するステップと、

前記材料内の前記音響波を該材料外部の熱エネルギーに変換するステップであって、前記音響波を第 1 の方向に導電性材料に導くとともに、前記導電性材料内に第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に電束を形成することを含むステップと、

前記熱エネルギーを測定するステップと  
を含む方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本明細書に開示した主題は、金属を処理することに関し、より具体的には、レーザ金属処理を監視することに関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

レーザピーニングつまりレーザショックピーニング ( L S P ) は、強力なレーザを使用することによって材料 ( 通常は金属 ) 内に有益な残留圧縮応力を生じさせるプロセスである。本明細書で使用する場合に、処理することになる材料は、「処理材料」と呼ぶことにする。通常は黒色テープ又は塗料であるアブレーティブ皮膜が、レーザからエネルギーを吸収するために処理材料に施工される。次に、レーザによる短エネルギーパルスを集束させてアブレーティブ皮膜を炸裂させて、ショック波 ( 衝撃波 ) を生成する。このプロセスは、複数位置で反復させることができる。通常は水から成る半透明の層が、皮膜上に必要とされかつタンブとして作用して、処理材料内に衝撃波を導く。

【 0 0 0 3 】

L S P プロセスのリアルタイム ( オンライン ) 監視には、通常は圧電センサが使用される。圧電センサは、L S P によって形成された応力 ( 音響 ) 波をその波の強さに比例した電気信号に変換する。電気信号は次に、L S P プロセスを監視するのに使用することができる。しかしながら、圧電センサは、該圧電センサが処理材料と直接接触状態になっているので、破壊されることが多い。これらのゲージの 1 回の使用での破壊により、複数レーザパルスを必要とする場合には必ず複数ゲージの使用が必要となることになる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 4 】

【特許文献 1】米国特許第 5 4 3 8 5 5 3 号明細書

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

本発明の 1 つの態様によると、レーザショックピーニング ( L S P ) プロセス時に処理

10

20

30

40

50

材料にもたらされるエネルギーを測定するためのレーザショックピーニング（ＬＳＰ）測定装置を提供する。本実施形態の装置は、処理材料から音響エネルギーを受けかつ該音響エネルギーを熱エネルギーに変換するように構成されたエネルギー変換器を含む。本実施形態の装置はまた、エネルギー変換器に結合されかつ音響エネルギーに比例した熱エネルギーに基づいて電気出力を生成するエネルギー測定装置を含む。

【０００６】

本発明の別の態様によると、材料のレーザショックピーニングを監視する方法を提供する。本方法は、材料上にアブレーティブ層を形成するステップと、アブレーティブ層にレーザビームを導いて材料内に音響波を生成するステップと、材料内の音響波を該材料外部の熱エネルギーに変換するステップと、熱エネルギーを測定するステップとを含む。

10

【０００７】

本発明のさらに別の態様によると、タービンを提供する。本実施形態のタービンは、タービンのブレード上にアブレーティブ層を形成するステップと、アブレーティブ層にレーザビームを導いて材料内に音響波を生成するステップと、材料内の音響波を該材料外部の熱エネルギーに変換するステップと、熱エネルギーを測定するステップとを含むプロセスによって準備される。

【０００８】

これらの及びその他の利点並びに特徴は、図面と関連させて行った以下の説明から一層明らかになるであろう。

【０００９】

20

本発明と見なされる主題は、本明細書と共に提出した特許請求の範囲において具体的に指摘しかつ明確に特許請求している。本発明の前述の及びその他の特徴並びに利点は、添付図面と関連させて行った以下の説明から明らかである。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】本発明の一実施形態に係るＬＳＰシステムを示す図。

【図２】本発明の一実施形態に係るエネルギー変換器の詳細な実施例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

詳細な説明では、図面を参照しながら実施例によって、本発明の実施形態をその利点及び特徴と共に説明する。

30

【００１２】

上記のように、ＬＰＳ処理において圧電センサを使用することは、センサが１回の使用で破壊されるので、複数センサの使用を必要とする。加えて、音響波を測定することによってＬＰＳプロセスを監視することにより、オペレータには高音響レベルによる不快感が生じる。実際には、一部のＬＰＳプロセスは、１００～１４０ｄＢの範囲の音響レベルを生じる。

【００１３】

本発明の実施形態では、音響波を別のエネルギーの形態に変換して、ＬＰＳ処理に関連する音響レベルを低下させる。加えて、音響波の別の形態への変換は、ＬＰＳプロセスを監視するのに使用するセンサの寿命を延長させることができる。

40

【００１４】

本発明の実施形態では、センサが処理しようとする材料と直接接触状態になっていないので、オンラインＬＰＳ監視において利用するセンサは、再使用するのを可能にすることができる。一実施形態では、このことは、磁場及び導電性媒体の使用により測定エネルギーを音響から熱に変更することによって達成することができる。具体的には、音響波は、処理材料と同一又は同様の音響インピーダンスを有する音響カプラによって、該処理材料から離れる方向に伝達される。この音響波は次に、熱に変換される。例えば、変換は、導電性媒体内で行なうことができる。一実施形態では、磁場を発生するコイルにより、媒体を囲むことができる。

50

## 【 0 0 1 5 】

導電性媒体及びコイルは、外部環境への伝達による音響エネルギー損失を防止するために処理材料とは異なる音響インピーダンスを有する材料で製作されたハウジング又はコンテナの内部に封入することができる。一実施形態では、コンテナの内部における媒体の温度上昇は、該コンテナに接触した熱伝導プレートを加熱する。生じた熱伝導プレートの温度上昇は、センサによって電圧に変換される。

## 【 0 0 1 6 】

別の実施形態では、熱伝導プレートは、省略することができ、媒体の温度変化は、当技術分野では公知の方法を使用して直接測定することができる。例えば、温度変化は、IR検出器又は放射温度計を使用して測定することができる。

10

## 【 0 0 1 7 】

図1は、本発明の一実施形態に係るLSPシステム100を示している。LSPシステム100は、レーザ102と処理材料104を含む。一実施形態では、処理材料104は、金属である。特定の実施形態では、処理材料は、タービンのブレードを形成した金属とすることができる。従って、システム100は、タービンを形成するのに使用することができる。言うまでもなく、システム100は、その他の状況においても同様に利用することができる。

## 【 0 0 1 8 】

処理材料104は、該処理材料104の第1の側面105に取付けたアブレーティブ層106を含むことができる。アブレーティブ層106は、黒色テープ又は塗料で形成することができ、かつレーザ102によって与えられるエネルギーを吸収するために施工される。処理材料104は、第2の側面107上に、該処理材料104と緊密接触状態になった音響カプラ108を含むことができる。音響カプラ108は、処理材料104と同一又はほぼ同じ音響インピーダンスを有することができる。

20

## 【 0 0 1 9 】

作動中に、レーザ102は、アブレーティブ層106に導かれる。次に、短エネルギーパルスを集束させてアブレーティブ材料106を炸裂させて、衝撃波110を生成する。衝撃波110は、処理材料104の内部で反射することが可能である場合には、有害な作用を有する可能性がある。反射波は、参照符号112で示している。反射波112は、その引張性により割れを拡大させかつ処理材料104の寿命を短縮させるおそれがある。

30

## 【 0 0 2 0 】

処理材料104と緊密接触状態で音響カプラ108を配置することにより、反射波112を減少又は排除することができる。具体的には、音響カプラ108の使用により、衝撃波が処理材料104から外部に伝達される。処理材料104から外部に伝達される波は、LSPプロセスのオンライン監視に使用することができる。

## 【 0 0 2 1 】

本発明の一実施形態では、音響カプラ108に結合されたエネルギー変換器114が含まれる。エネルギー変換器114は、音響衝撃波110を別の形態のエネルギーに変換することができる。一実施形態では、エネルギー変換器114は、音響波を熱エネルギーに変換する。

40

## 【 0 0 2 2 】

エネルギー測定装置116が、エネルギー変換器114による変換エネルギー出力を測定することができる。一実施形態では、エネルギー測定装置116は、エネルギー変換器114に接触した熱伝導プレートを含むことができる。生じた熱伝導プレートの温度上昇は、エネルギー測定装置116の一部を形成したセンサによって電気信号（電流又は電圧）に変換される。そのようなエネルギー測定装置116（LSPセンサ）は、該エネルギー測定装置116（LSPセンサ）が従来技術のように衝撃波と直接接触状態になることによって破壊されることがないので、1回よりも多く利用することができる。別の実施形態では、エネルギー測定装置116は、導電性材料の温度変化を直接測定することができる。例えば、IR検出器又は放射温度計として実装されたエネルギー測定装置116は、

50

温度変化を直接測定することができる。

【 0 0 2 3 】

図 2 は、本発明の一実施形態に係るエネルギー変換器 1 1 4 のより詳細な実施例を示している。エネルギー変換器 1 1 4 は、音響カプラ 1 0 8 及びエネルギー測定装置 1 1 6 間に結合される。一実施形態では、エネルギー変換器 1 1 4 は、音響エネルギー（波）を熱エネルギーに変換する。

【 0 0 2 4 】

音響カプラ 1 0 8 は、プランジャ 2 0 2 を含むことができる。プランジャ 2 0 2 は、衝撃波 1 1 0 をエネルギー変換器 1 1 4 に導きかつ伝達する。具体的には、プランジャ 2 0 2 は、衝撃波 1 1 0 をエネルギー変換器 1 1 4 のピストン 2 0 4 に導きかつ伝達する。

10

【 0 0 2 5 】

磁場内で導電体を移動させると、起電力が生成される。導電体は、良好な電気の導体であるあらゆる導電性媒体（流体又は気体のような）で置換えることができる。媒体は、イオン化によって或いは当技術分野で公知のその他の手段によって導電性にすることができる。

【 0 0 2 6 】

一実施形態では、エネルギー変換器 1 1 4 は、コンテナ 2 0 8 の内部に配置された導電性媒体 2 0 6 を含む。導電性媒体 2 0 6 は、ピストン 2 0 4 に伝達される衝撃波 1 1 0 によって移動し始めることができる。

【 0 0 2 7 】

20

より詳細には、L S P 時に発生する衝撃波 1 1 0 は、処理材料及び音響カプラ 1 0 8 を横切って進んだ後に、導電性媒体 2 0 6 の移動を生じさせることができる。音響カプラ 1 0 8 が処理材料と同一の音響インピーダンスを有する材料で形成されている場合には、速度伝達比を増大させることができる。プランジャ 2 0 2 を含むように音響カプラ 1 0 8 を形成することにより、衝撃波を集束させることができる。

【 0 0 2 8 】

一実施形態では、全体的には音響カプラ 1 0 8 は、また具体的にはプランジャ 2 0 2 は、ピストン 2 0 4 に結合することができる。一実施形態では、ピストン 2 0 4 は、音響カプラ 1 0 8 と音響的に同様な材料で製作することができる。ピストン 2 0 4 からの音響波は次に、コンテナ 2 0 8 内で導電性媒体 2 0 6 を横切って進む。コンテナ 2 0 8 は、処理材料 1 0 4 とは異なる音響インピーダンスを有する材料で製作して、波の外部への伝達によるコンテナ 2 0 8 の内部での音響エネルギーの損失が生じないようにすることができる。一実施形態では、コンテナ 2 0 8 は、その外側壁上に配置されたケーシング 2 1 0 を含むことができる。ケーシング 2 1 0 は、あらゆる音響伝達を防止しかつコンテナ 2 0 8 の内部にエネルギーの全てを反射するような異なる音響インピーダンスを有する材料で製作することができる。

30

【 0 0 2 9 】

作動中に、媒体 2 0 6 を囲むコイル 2 1 2 を通して好適な電流を流すことによって、コンテナ 2 0 8 の内部の媒体 2 0 6 内に、磁場を発生させる。一実施形態では、コイル 2 1 2 は、コンテナ 2 0 8 内に配置される。別の実施形態では、コイル 2 1 2 は、コンテナ 2 0 8 を囲む。磁場はまた、永久磁石又は電磁石の使用によって、コイルなしで発生させることができる。

40

【 0 0 3 0 】

導電性媒体 2 0 6 は、コイル 2 1 2 により生成された磁場の起電力によって移動し始める。磁場は、導線 2 3 0 を介してコイルに電流を加える結果として生じる。一実施形態では、磁場により生成された磁束は、該磁束が衝撃波 1 1 0 の移動とは異なる方向になるように整列する。一実施形態では、磁束は、衝撃波 1 1 0 の移動と反対方向に整列する。衝撃波 1 1 0 のエネルギーは、該エネルギーが起電力に変換された状態になるので、減少した状態になる。具体的には、起電力により、媒体 2 0 6 内に渦電流が発生し、従って衝撃波 1 1 0 は、コイル 2 1 2 によって発生した磁束に対向して作用するその起電力により、

50

熱エネルギーに変換された状態になる。従って、媒体 206 の温度の上昇は、生じない。この温度上昇は、衝撃波及びコイル 212 によって発生した磁束の強さに比例する。

【0031】

一実施形態では、コンテナ 208 は、発生した高温に耐えることができる高温材料で形成することができる。上記したように、コンテナ 208 は、音響カブラ 108 とは異なる音響インピーダンスを有する材料で製作して、該コンテナ 208 から逸出する傾向を有する音響波がそのように逸出するのを許容せずかつ該コンテナ 208 内に閉じ込められるようにすることができる。

【0032】

一実施形態では、導電性媒体 206 は、音響カブラ 108 の音響インピーダンスとほぼ同じ又は同一の音響インピーダンスを有する導電性流体、有機/無機流体、或いは気体である。インピーダンス整合は、使用する流体が同じ体積弾性係数/密度値を有する場合に達成することができる。

10

【0033】

エネルギー変換器 114 は、エネルギー測定装置 116 に結合することができる。一実施形態では、エネルギー測定装置 116 は、温度センサとすることができる。そのような実施形態では、エネルギー測定装置 116 は、コンテナ 208 と熱接触状態になった第 1 の熱伝導プレート 220 を含むことができる。一実施形態では、第 1 の熱伝導プレート 220 は、コンテナ 208 に直接接触する。一実施形態では、第 1 の熱伝導プレート 220 は、高熱伝導率を有する材料で製作される。従って、導電性媒体 206 (及びコンテナ 208) の温度上昇は、第 1 の熱伝導プレート 220 を通して伝達される。

20

【0034】

一実施形態では、第 1 の熱伝導プレートは、焦電層 222 に接触する。焦電層 222 は、その両側面を好適な導電性層 224 で被覆することができる。焦電層 222 の温度上昇は、導電性層 224 間における電圧に変換される。従って、焦電層 222 及び導電性層 224 の組合せは、焦電変換器を形成する。

【0035】

一実施形態では、導電性層 224 に対して、導電性ワイヤ 226 を接続し、かつ電圧計 228 によって、電圧差を測定することができる。言うまでもなく、焦電変換器 222 に伝達された温度変化により電圧差(又は発生電流)を測定するあらゆる手段を利用することができる。一実施形態では、電圧出力は、スクリーン上に表示され、また何らかの水又は塗料異常を直接表示するものとして使用することができる。何らかのプロセス不具合は、導電性流体のより低い温度上昇を引き起こす生成衝撃圧力の低下として現われる。

30

【0036】

一実施形態では、エネルギー温度測定装置 116 は、コンパレータ 230 に接続することができる。コンパレータ 230 は、測定温度値をプロセスパラメータとして設定した所定の限界値と比較する。例えば、アブレーティブ塗料の厚さが最適でない或いは水流量が最適でない場合には、生成衝撃波強度が、低く過ぎることになる。このことは、最適でないレーザショックピーニングプロセス及びより低い残留圧縮応力の深さを引き起こすことになる。コンパレータ 230 は、最適プロセスパラメータによる信号との偏差を比較しかつ何らかの偏差が検出された場合には不具合警報を送信する。従って、コンパレータは、正確な位置を検出しかつ修正したパラメータ(水流量、塗料厚さなど)の組で再びレーザショック処理を実行するための信号を送信して、所望のピーニング効果が得られるようにすることができる。従って、プロセス変数のリアルタイム監視を確実にこなうことができる。

40

【0037】

別の実施形態では、熱エネルギーは、焦電変換器により温度を電気出力に変換する代わりに、IR、放射温度計などのような当技術分野で公知の方法を使用して直接測定することができる。

【0038】

50

限られた数の実施形態に関してのみ本発明を詳細に説明してきたが、本発明がそのような開示した実施形態に限定されるものではないことは、容易に理解される筈である。むしろ、本発明は、これまで説明していないが本発明の技術思想及び技術的範囲に相応するあらゆる数の変形、変更、置換え又は均等な構成を組込むように改良することができる。さらに、本発明の様々な実施形態について説明してきたが、本発明の態様は説明した実施形態の一部のみを含むことができることを理解されたい。従って、本発明は、上記の説明によって限定されるものと見なすべきではなく、本発明は、特許請求の範囲の技術的範囲によってのみ限定される。

【符号の説明】

【 0 0 3 9 】

|       |              |    |
|-------|--------------|----|
| 1 0 0 | L S P システム   |    |
| 1 0 2 | レーザ          |    |
| 1 0 4 | 処理材料         |    |
| 1 0 6 | アブレーティブ層     |    |
| 1 0 7 | 第 2 の側面      |    |
| 1 0 8 | 音響カプラ        |    |
| 1 1 0 | 衝撃波          |    |
| 1 1 2 | 反射波          |    |
| 1 1 4 | エネルギー変換器     |    |
| 1 1 6 | エネルギー測定装置    | 20 |
| 2 0 2 | ブランジャ        |    |
| 2 0 4 | ピストン         |    |
| 2 0 6 | 導電性媒体        |    |
| 2 0 8 | コンテナ         |    |
| 2 1 0 | ケーシング        |    |
| 2 1 2 | コイル          |    |
| 2 3 0 | 導線           |    |
| 2 2 0 | 第 1 の熱伝導プレート |    |
| 2 2 2 | 焦電層          |    |
| 2 2 4 | 導電性層         | 30 |
| 2 2 6 | 導電性ワイヤ       |    |
| 2 2 8 | 電圧計          |    |
| 2 3 0 | コンパレータ       |    |

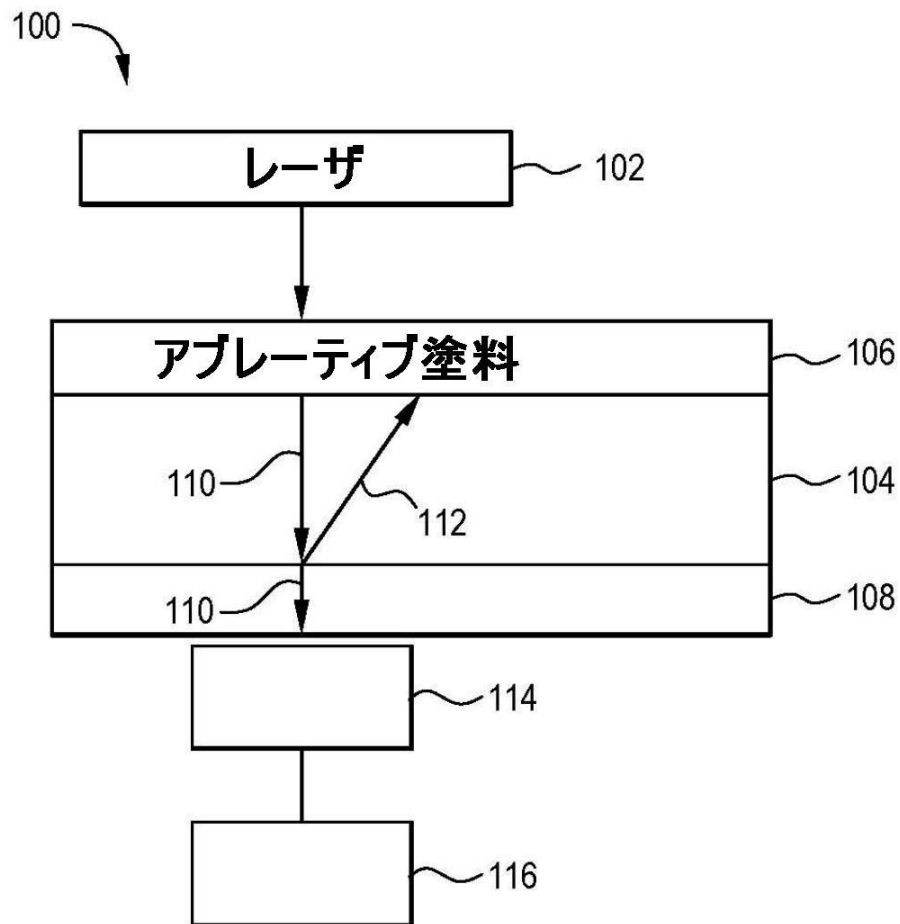
10

20

30

【図 1】

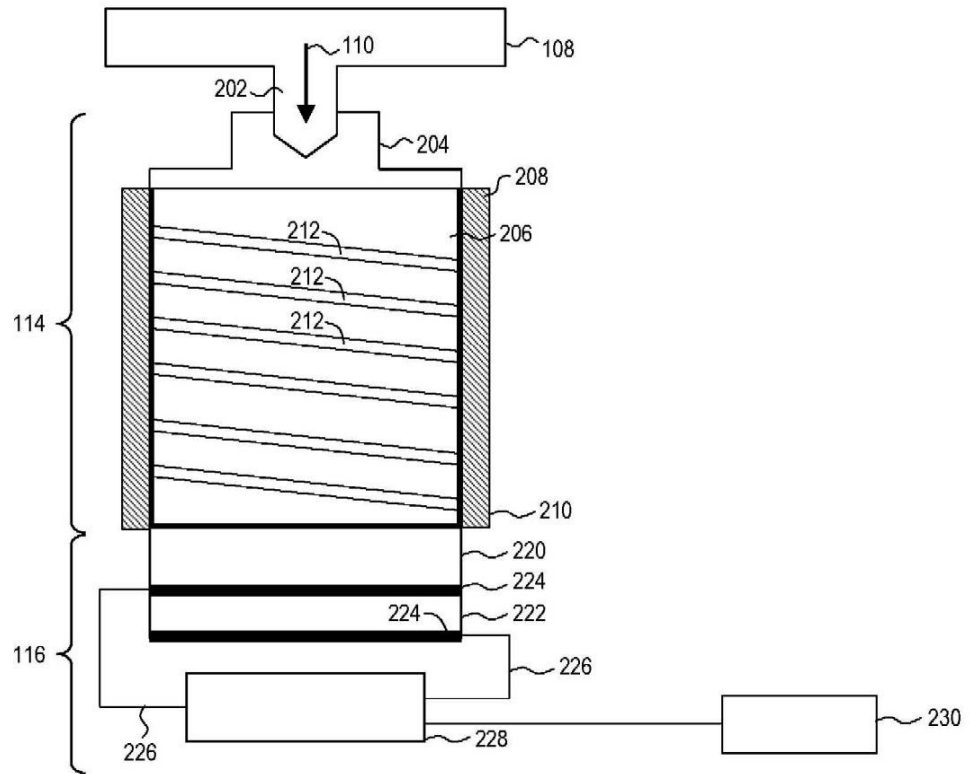
FIG. 1





【図2】

FIG. 2



---

フロントページの続き

(72)発明者 マニユ・マサイ

インド、500016、ホワイトフィールド・ロード、フーディ・ヴィレッジ、フェイズ2、イーピーアイピー、プロット122、ジョン・エフ・ウェルチ・テクノロジー・センター・プライベート・リミテッド(番地なし)

(72)発明者 ガブリエル・デラ・フェラ

アメリカ合衆国、サウスカロライナ州、グリーンヴィル、ガーリントン・ロード、300番、ゼネラル・エレクトリック・カンパニー

審査官 萩田 裕介

(56)参考文献 米国特許出願公開第2009/0084767(US, A1)

特開2005-124386(JP, A)

特開平10-239191(JP, A)

特開昭61-128127(JP, A)

特開昭57-139628(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01H 1/00 - 17/00

B23K 26/00 - 26/70