

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2008-515643

(P2008-515643A)

(43) 公表日 平成20年5月15日 (2008.5.15)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 3 K 26/40 (2006.01)	B 2 3 K 26/40	4 E 0 6 8
B 2 3 K 26/38 (2006.01)	B 2 3 K 26/38 3 2 O	
B 2 3 K 26/04 (2006.01)	B 2 3 K 26/38 3 3 O	
B 2 3 K 26/00 (2006.01)	B 2 3 K 26/04 C	
B 2 3 K 26/08 (2006.01)	B 2 3 K 26/00 N	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 19 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2007-535239 (P2007-535239)
 (86) (22) 出願日 平成17年10月7日 (2005.10.7)
 (85) 翻訳文提出日 平成19年5月30日 (2007.5.30)
 (86) 国際出願番号 PCT/GB2005/003855
 (87) 国際公開番号 W02006/038017
 (87) 国際公開日 平成18年4月13日 (2006.4.13)
 (31) 優先権主張番号 0422318.6
 (32) 優先日 平成16年10月7日 (2004.10.7)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)
 (31) 優先権主張番号 0511966.4
 (32) 優先日 平成17年6月13日 (2005.6.13)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

(71) 出願人 503081302
 パワーレイズ・リミテッド
 イギリス国、アールエイチ 10・9 アール
 エー、ウエスト・サセックス、クローリー
 、ナビアー・ウェイ、リンク 10、イン
 ペリアル・ハウス
 (74) 代理人 100058479
 弁理士 鈴江 武彦
 (74) 代理人 100091351
 弁理士 河野 哲
 (74) 代理人 100088683
 弁理士 中村 誠
 (74) 代理人 100108855
 弁理士 蔵田 昌俊

最終頁に続く

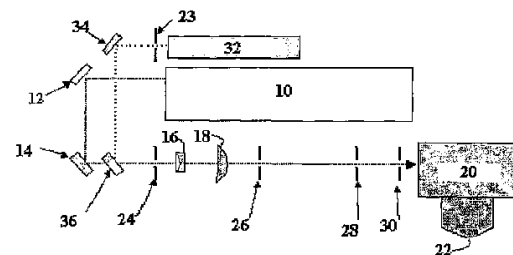
(54) 【発明の名称】 $10^6 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲の放射照度と、 $10 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲の繰返し率とを有するレーザーを使用する硬質材料の加工処理装置及び加工処理方法

(57) 【要約】

【課題】 $10^6 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲の放射照度と、 $10 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲の繰返し率とを有するレーザーを使用する硬質材料の加工処理装置及び加工処理方法

【解決手段】 硬質材料の加工処理装置は、レーザーフライス加工またはレーザー切削用途のために、スキャナ (20) を用いて材料上を走査される高繰返し率の高放射照度レーザーパルスを生成するレーザー (10) を備える。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

$10^6 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲の放射照度と、 $10 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲の繰返し率とを有するパルスビームを出力するように構成されたレーザを備える、硬質材料の加工装置。

【請求項 2】

前記レーザパルスは、 $30 \sim 200 \text{ ns}$ 、より好ましくは $100 \sim 200 \text{ ns}$ の範囲のパルス継続時間を有する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記放射照度は $10^7 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲であり、繰返し率は $10 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲にある、請求項 1 または 2 に記載の装置を備える硬質材料フライス加工装置。

【請求項 4】

前記放射照度は $100 \sim 200 \text{ MW cm}^{-2}$ の範囲であり、前記繰返し率は $40 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲にある、請求項 3 に記載の装置を備える PCD フライス加工装置。

【請求項 5】

前記放射照度は $10^8 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ 、より好ましくは $500 \sim 700 \text{ MW cm}^{-2}$ の範囲であり、前記繰返し率は $10 \sim 50 \text{ kHz}$ 、より好ましくは $10 \sim 30 \text{ kHz}$ 、より好ましくは $10 \sim 20 \text{ kHz}$ の範囲にある、請求項 3 に記載の装置を備える WC フライス加工装置。

【請求項 6】

前記放射照度は $10^6 \sim 10^8 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲であり、前記繰返し率は $10 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲にある、請求項 1 または請求項 2 に記載の装置を備える硬質材料切削装置。

【請求項 7】

前記放射照度は $10^6 \sim 10^8 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲、より好ましくは $100 \sim 120 \text{ MW cm}^{-2}$ 、またはより好ましくは 110 MW cm^{-2} （穿孔時）もしくは 118 MW cm^{-2} （切削時）であり、前記繰返し率は $40 \sim 50 \text{ kHz}$ 以上の範囲にある、請求項 6 に記載の PCD 切削装置。

【請求項 8】

前記放射照度は $10^8 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ 、より好ましくは $100 \sim 200 \text{ MW cm}^{-2}$ の範囲にあり、前記繰返し率は $40 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲にある、請求項 6 に記載の装置を備える WC 切削装置。

【請求項 9】

放射照度が $10^7 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲で、繰返し率が $10 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲のパルスレーザビームを前記材料に照射することを備える、硬質材料のフライス加工方法。

【請求項 10】

放射照度が $10^6 \sim 10^8 \text{ W}$ の範囲で、繰返し率が $10 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲のパルスレーザビームを前記材料に照射することを備える、硬質材料切削方法。

【請求項 11】

前記材料は、WC 基板上に PCD 層を備える、請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記パルスレーザビームは前記 PCD の表面に照射される、請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記ビームは、前記 WC 基板内の一点で集束する、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記焦点は、前記 WC 基板をほぼ半分まで通過している、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記パルスレーザビームは、複数の走査で照射される、請求項 12 ～ 14 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 16】

第 1 の走査では、前記レーザビームは前記 WC 層内の一点で集束し、第 2 の走査では、

10

20

30

40

50

前記ビームは前記 P C D 層の表面で集束する、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

第 1 の走査では、前記レーザビームは前記 W C 層内の一点で集束し、第 2 の走査では、前記ビームは前記 P C D 層内の一点で集束する、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 18】

第 1 の走査では、前記レーザビームは前記 W C 層内の第 1 の点で集束し、第 2 の走査では、前記ビームは前記 W C 層内の第 2 の点で集束し、

前記第 1 および第 2 の点は異なっている、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 19】

前記材料上には負のテーパが形成されている、請求項 10 ~ 16 のいずれか 1 項に記載の方法。 10

【請求項 20】

放射照度が $10^6 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲で、繰返し率が $10 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲のパルスレーザビームを前記材料に照射することを備える硬質材料加工方法。

【請求項 21】

放射照度が $10^6 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲で、パルス継続時間が $30 \sim 200 \text{ ns}$ 、より好ましくは $100 \sim 200 \text{ ns}$ の範囲のパルスビームを出力するように構成されたレーザを備える、硬質材料の加工装置。

【請求項 22】

前記放射照度は $10^7 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲で、前記パルス継続時間は $47 \text{ ns} \sim 160 \text{ ns}$ の範囲にある、請求項 19 に記載の装置を備える硬質材料フライス加工装置。 20

【請求項 23】

前記放射照度は $10^6 \sim 10^8 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲で、前記パルス継続時間は $100 \sim 200 \text{ ns}$ の範囲にある、請求項 19 に記載の装置を備える硬質材料切削装置。

【請求項 24】

前記硬質材料は複合材料を備える、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 25】

前記複合材料は P C D W C 複合体を備える、請求項 22 に記載の装置。

【請求項 26】

所定のスポット径のパルスレーザビームを出力することと、加工物上で前記ビームを走査して、前記材料が蒸発されるが融解プールを形成しない程度まで、隣接するパルスが空間で重なるようにすることと、を備える硬質材料の加工方法。 30

【請求項 27】

W C 基板上に P C D 層を備える硬質材料を切削する方法で、前記 P C D の表面に切削レーザビームを照射することを備える、方法。

【請求項 28】

レーザビームを複数の走査で前記材料に照射することを備える、硬質材料の切削方法。

【請求項 29】

各走査間で前記ビームの焦点を変化させることをさらに備える、請求項 26 に記載の方法。 40

【請求項 30】

前記ビームは、第 1 の走査では前記材料内の一点に、第 2 の走査では前記材料の表面に集光される、請求項 27 に記載の方法。

【請求項 31】

前記材料内に負のテーパを形成することをさらに備える、請求項 27 または 28 に記載の方法。

【請求項 32】

実質的に、図を参照して本明細書に記載されているとおりの、請求項 1 ~ 8 または請求項 19 ~ 24 のいずれか 1 項に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、硬質材料を加工処理する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

多結晶ダイヤモンド（PCD）、天然ダイヤモンドおよび炭化タングステン（WC）などの超硬質材料には数多くの工業用途がある。これらには、極限環境用途における、マイクロエレクトロニクス用の強固な基板だけでなく、機械加工用の工具が含まれる。しかし、これらの材料の加工には問題が多い。

【0003】

PCD切削工具は一般に、非鉄金属、木材およびゴムを加工するのに用いられる。PCDブランクは、特定の形状に切削され、切削工具（多くの場合、1つの工具に複数のPCD切削刃を有する）内に組み込まれた個々のホルダにロウ付けされる。多結晶ダイヤモンド切削工具ブランクは、ダイヤモンドの硬度、耐磨耗性、耐性抵抗および熱伝導性とWCの靱性とを兼ね備えた複合材料と見なすことができる。PCDは、金属マトリックス内でランダムに配向したダイヤモンド粒子の合成の極めて硬い互いに交わって生長した塊体である。これは、選択されたダイヤモンド粒子を、高圧高温で焼結することによって作られる。焼結プロセスはダイヤモンド安定領域内で精密に制御され、極めて硬い耐磨耗性構造体が形成される。これらの特性は、磨耗部品への用途だけでなく、広範囲の材料を加工する切削工具で最もよく利用される。これらの用途では、これらの特性は工具の寿命向上に寄与し、加工の信頼性および高精度の加工公差といったさらなる技術的利点を提供する。

【0004】

しかし、工具の寿命の間にも、刃先は磨耗し（従来の切削工具よりも磨耗速度が遅いとはいえ）、このためPCD切削刃の刃先を研がなければならない。これがなされない場合、寸法公差が大きくなり、切削品質が低下する。

【0005】

PCD切削工具の寿命を延ばす公知の解決策には、ワイヤ電極が放電加工によってダイヤモンドを切削する放電加工機（EDM）が含まれる。この公知の解決策に伴う問題は、速度が遅く、簡単な形状物しか切削できないことである。他の公知の従来技術は、潤滑油を必要としたり、過度に工具を磨耗したりといった問題に見舞われる。

【0006】

さらに、レーザを用いてダイヤモンドを切削する別の方法が提案されている。従来技術には、フラッシュ励起固体レーザ（FPSL）の使用が含まれる。フラッシュランプ励起固体レーザ（FPSL）は、産業界において20年以上にわたり、数100ヘルツで、ミリ秒のパルス継続時間で作動し、高出力であるが低出力密度（放射照度）を与えるのに広く用いられてきた。しかし、この機構では低電力低効率の問題に悩まされる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、特許請求の範囲に明確に記載されている。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

次に、本発明の実施形態を、実施例によって、図を参照しながら説明する。

【0010】

例えば、硬度が $250\text{ kg}\cdot\text{mm}^2$ （ピッカース硬度値）を超える硬度、より好ましくは $500\text{ kg}\cdot\text{mm}^2$ を超える、さらにより好ましくは $1000\text{ kg}\cdot\text{mm}^2$ を超える硬度の材料に加工を施すことができる。詳細には、WCの硬度は $1730\text{ kg}\cdot\text{mm}^2$ であり、PCDの硬度は $5098\text{ kg}\cdot\text{mm}^2$ である。

【 0 0 1 1 】

一般に、本発明は、天然ダイヤモンド、PCD、WCなどの硬質材料を、パルスレーザを用いて、極めて高い繰返し率と放射照度で加工するように構成されたレーザに関する。パラメータの特定の範囲では、極めて効果的な操作で各値が特定されてきた。以下により詳細に説明するとおり、一実施形態では、ダイオード励起固体レーザ(DPSSL)によって所望の性能を実現できることが判明している。

【 0 0 1 2 】

本発明の装置に対する2つの特定の加工用途、すなわち、初期の工具形状を切削することおよび工具の鋭さを維持することが以下に説明される。

【 0 0 1 3 】

硬質材料を形削りまたはフライス加工する装置が図1に示されている。レーザ10は、パルスビームを生成する。パルスビームは、ミラー12、14によって方向変更され、望遠鏡(ビーム拡大器)を備える光学アレイ16、18を通して、目標物(例えば、フライス加工されるPCD材料)を横切ってビームを移動させるスキャナ20に導かれる。ビームは、整形もしくはクリップ開口または絞り24、26、28、30を通過する。さらに、例えば、HeNeアライメントレーザなどのアライメントレーザ32が、ミラー34、36によってパルスビームと同軸になるアライメントビームを生成する。ミラー36はパルスレーザビーム光路内にあるが、位置合わせが終了すると取り外すことができる。HeNeアライメントビームに関連付けて絞り23を使用し、後方反射板を用いる位置合わせを補助する。

【 0 0 1 4 】

レーザフライス加工の方法は、ウェストサセックス州のクローリー(Crawley, West Sussex)にあるパワーレーズ社(Powerlase Limited)から入手可能なStarlase AO2 Nd:YAG Q-switched DPSSLを、1064nmの基本波長で使用している。このパルスレーザは、繰返し率とパルス継続時間がそれぞれ3~50kHzと20~200nsの範囲で、最大220Wの平均出力を提供する。出力ビームパワーは、任意の適切な減衰部(図示せず)を用いて変更され、次にガリレイ望遠鏡16、18を用いて平行ビームとされ、ガルバノメータスキャナ20(ドイツのミュンヘン(Munich, Germany)のスキャンラボ社(Scanlab GmbH)から入手可能なScanlab HurryScan25)に導かれる。スキャナには、25x25mmの作業標的領域を備える、焦点距離が80mmのf-テレセントリック対物レンズが取り付けられている。全ての加工作業は、標準的な周囲環境条件で空気中において実行され、ガスアシストを用いない。

【 0 0 1 5 】

動作においては、システムは、最初に、アライメントレーザ32を用いて位置合わせられ、着脱可能なミラー36が取り外される。次に、パルスレーザ10が作動し、以下により詳細に説明する作動サイクルを実行する。パルスビームが、スキャナ20により目標物を横断して走査される。

【 0 0 1 6 】

スキャナ20は、図7からより詳細に理解できるであろう。図7では、スキャナはステアリングミラー50、52とフラットフィールドレンズ54とを含んでいる。挿入図56から明らかとなり、パルスビームを走査する結果として、重なったレーザパルスを実現して、任意の所望の複雑な切削形状を可能にする。走査速度は、レーザの繰返し率とレーザパルスの空間的な重なり度合いの関数として決定される。パルスの重なり度合いは、目標物のうち任意の特定部分が受ける「熱」量を制御するために利用される。レーザパルスが目標物を照射すると、材料は加熱され、材料の一部が蒸発し、パルス後、目標物は冷却し始める。この冷却プロセスが起こっている間、次のパルスが到達し、重なりがある場合には、材料は最初のパルスよりも早く蒸発点に達し(最初のパルス後の材料温度は周囲環境温度よりも高いため)、この結果、レーザパルスは蒸発により有効になる。しかし、このプロセスには限界がある。過剰な残留熱エネルギーが目標物内に残され(蓄えられ)る

10

20

30

40

50

と、材料は液状体になり、溶融プールが形成される。これは、かなり制御が難しく、従ってフライス加工プロセスでは望ましくない。さらに、重なりを注意深く制御することによって、フライス加工プロセスが終了した後の材料表面の質を制御することができる。重なりが大きいほど、滑らかな仕上がりとなる傾向がある。従って、実験によって所定の設定に対する適切な走査速度を決定し、所望のレベルのフライス加工を達成することができる。

【 0 0 1 7 】

選択された特定の動作パラメータは、2つの特定材料であるPCDとWCに関連して、本明細書で説明される。例えば、レーザを利用して、図2で示される材料などの材料をフライス加工することができる（および、以下により詳細に説明するように、切削する）。この材料は、WC基板210上にPCD層200を含み、切削/フライス加工される刃先230およびテーパ角度240を備える複合材料220を形成している。レーザ切削およびフライス加工プロセスは、PCDを切削工具として使用可能な切削を実現し維持しなければならない。図2は、PCD材料のダイヤモンド側に必要とされる鋭い刃先230を示している。この刃先は、正確に直線で、できる限り半径が小さくなければならない。この鋭い刃先は、切削面250上でのみ必要とされ、PCD部分の他の側では必要とされない。

10

【 0 0 1 8 】

正確な動作パラメータは材料に依存し、熱伝導性、密度、熱容量、蒸発温度、蒸発の比熱および目標面の反射率などの要因、ならびに、以下に述べるとおり、特定の材料の好ましい範囲に依存している。

20

【 0 0 1 9 】

PCDをフライス加工する場合、好ましい放射照度範囲は、 $10^7 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ であり、より好ましくは $100 \text{ MW cm}^{-2} \sim 200 \text{ MW cm}^{-2}$ である。好ましいパルス継続時間は $47 \text{ ns} \sim 160 \text{ ns}$ であり、より好ましくは $120 \text{ ns} \sim 160 \text{ ns}$ である。好ましい繰返し率は、 $10 \text{ kHz} (47 \text{ ns}) \sim 50 \text{ kHz} (160 \text{ ns})$ の範囲であり、より好ましくは $40 \text{ kHz} (120 \text{ ns}) \sim 50 \text{ kHz} (160 \text{ ns})$ である。最大 $9 \text{ mm}^3 / \text{分}$ の除去率は、上述の特定のレーザ装置を用いて達成されるが、高出力のレーザを用いれば除去率を高くすることができる。図3は、繰返し率が $10 \sim 50 \text{ kHz}$ の範囲の放射照度において達成される除去率をより詳細に示している。

30

【 0 0 2 0 】

予測以上に、上述のパラメータの範囲によって、特に良好な性能結果が得られる。これは、レーザフライス加工中に起こる物理学的機構のためである。この物理学的機構では、レーザパルスによって、加工物の表面が蒸気温度まで上昇する最初の融解ステージが生成され、次いで、蒸発が制御されて生じる材料除去ステージが生成される。特に、レーザパルスは、十分に強力で（すなわち、十分な放射照度を有し）、十分なパルス継続時間を有して、材料の温度を融点より高く、材料の蒸気点（沸点近く）まで上昇させなければならない。パルス継続時間におけるこの点から、蒸発が起こり、材料が制御された方法で目標物から除去される。

40

【 0 0 2 1 】

結果的に、研磨によって材料を除去するための管理パラメータは、パルスの放射照度またはパワー密度およびパルス継続時間である。場合によっては、パルス継続時間は、レーザ繰返し率に直接関連する。繰返し率が高い場合にはパルス長は長く、繰返し率が低い場合にはパルス長は短い。従って、上述の実施形態では、上述の繰返し率の範囲は、パルス継続時間との直接的な関係により、管理パラメータを形成する。しかし、他の実施形態では、パルス継続時間自体はレーザの繰返し率とは別個に適切に制御され、所望の加工条件を達成することができる。

【 0 0 2 2 】

パルスエネルギーだけでなく、むしろ放射照度の重要性が生じる。この理由は、目標材料の容積体への伝導損失を低減することにより、実際に加工するためのエネルギーをより

50

少なくし、かつ実際に液状体の融解プールを形成できるようにするために、短い継続時間（ナノ秒程度の）のパルス内にパルスエネルギーを集中させなければならないからである。PCDの場合、上述の特定の範囲の下限を下回る放射照度レベルは、材料の除去に限界があるため、材料を融解する以外はほとんど材料に影響を及ぼさないことが判明している。逆に、パルス放射照度の上限は、目標物への送出ビームを遮断するプラズマ吸収効果によって決定される（レーザ誘導吸収波（LAW））。

【0023】

同様に、レーザの繰返し率が大きくなるにつれて、パルス継続時間は増加するが、放射照度とパルスエネルギーは減少し、このため、最大繰返し率限度は放射照度の低いしきい値によって決定される。同様に、レーザパルス放射照度は、吸収プラズマが上述のように生成されるまで低い繰返し率で増加するため、パルス繰返し率の下限は、LAWの始まりによっても決定される。しかし、さらに別の要因が考慮されなければならない。すなわち、レーザの繰返し率が下がるにつれて、パルス継続時間は減少し、放射照度は増えることである。パルスごとの材料除去は、放射照度が増えるにつれて増加するが（材料はより速く蒸発温度に達するため）、パルス継続時間は減少し、これによってこの増加した除去率が時間短縮に役立つ。さらに、繰返し率が減少すると、パルスごとの除去量は増加するが、パルスが減少するために、全体の除去量は増加しない可能性もある。

10

【0024】

従って、高速の繰返し率は、最速のPCD除去率を達成する主要な要因となることが判明している。レーザ繰返し率が大きくなるほど、フライス加工された領域の底部が滑らかになることも判明している。この結果は、最良のレーザフライス加工条件が決定され、高出力のナノ秒・キロヘルツ操作領域がPCDをフライス加工するのに効果的であることを示している。

20

【0025】

次にWCに注目すると、PCDの場合よりも低い除去率が達成される。低周波数の繰返し率（高いパルス放射照度を有する）によって高い除去率が達成されるのに対して、50 kHzの最高繰返し率は、材料が全く除去されないため、利用可能なパルス放射照度での除去には使用できない場合がある。図4を参照すると、パルス放射照度と除去率との関係が、種々の繰返し率の範囲で示されている。驚くべきことは、放射照度に対する好ましい範囲は、 $10^8 \text{ W cm}^{-2} \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ であり、より好ましくは、パルス継続時間が47 ns～160 ns、より好ましくは120 ns～160 nsに対して500～700 MW cm^{-2} で、繰返し率が10～50 kHz（47～160 ns）、より好ましくは10～30 kHzであり、最高除去率は、10～20 kHz（47～63 ns）の範囲で生じることである。

30

【0026】

これは、上述のように、基本にある物理学的機構に起因している。50 kHzの場合、パルスは相対的に長いが、パルス放射照度は小さく、多くの場合、WCに対する蒸発温度はパルス継続時間内では達成されない。パルス放射照度が最大のときのみ材料除去ステージに到達する。実際、除去率が、通常、50 kHzの繰返し率でゼロまで下がり、パルス放射照度は材料がこの蒸発温度に達するのに十分ではない。そのため、蒸発も、従って材料除去も起こらない。これは、最小のパルス放射照度の境界条件に達していないことを意味している。繰返し率が低い場合のみ、材料が除去される。この場合、パルス放射照度レベルは、パルス継続時間内で蒸発温度に到達するのに十分高くなる。例えば、30 kHzの場合、パルス継続時間は短くなるが、パルス放射照度はかなり大きくなり、パルス継続時間内でより速く材料除去ステージに達する。

40

【0027】

これらの両方の場合とも、レーザ出力パワーは同一になることに留意することは重要である。このことは、レーザ出力パワーを維持し、他のレーザパラメータを変更することによって、材料除去率をかなり大幅に改善することができる。

【0028】

50

次に工具の別の用途に注目し、図5を参照して、切削について以下に説明する。図5は、図1に示したレーザ切削装置と同様の特性のレーザ切削装置を示し、同様の参照符号は同様の部分に係する。主な相違点は、ガスアシスト切削ヘッド40が設けられていることである。

【0029】

レーザ穿孔および切削方法は、ウェストサセックス州のクローリーにあるパワーレーズ社から入手可能な、より高出力のStarlase AO4 Nd:YAG Q-switched DPSSLを、1064nmの基本波長で使用している。このパルスレーザは、3~50kHzの繰返し率の範囲で、20~200nsのパルス継続時間で、最大420Wの平均出力を提供する。出力ビームパワーは、減衰部を用いて変更し、ガリレイ望遠鏡16、18を用いて平行ビームにし、ミラー42によって、AnoradXYZ動作ステージ11(英国、ベアリングストーク、ロックウェルオートメーション(Rockwell Automation, Basingstoke, UK)のアノラッドUK社(Anorad UK)から入手可能)方向に向けられる。このステージでは、目標物をXY方向に移動し、集光ヘッドをZ方向に移動する。Anoradシステムは強固に取り付けられ、450×450mmのXY移動を+/-1μmの精度で、可能な最高速度2m/sで直線駆動する。レーザビームは、100mm~203mmの焦点距離の種々のレンズ46で集光される。例えば、焦点距離が149mmのレンズは、最良の焦点で、200μmの直径スポットを生成する。切削ヘッド40は、同軸のガスジェット48を用いて切削プロセスを補助することを可能にする。ガスジェット48は、圧縮空気、酸素または窒素であってよく、最大10Barの圧力で加工物に供給可能である。

【0030】

採用された切削技術は、「融解燃焼および吹付け(melt burn and blow)」として知られる反応溶融切削を含む。反応溶融切削では、レーザビームが融解プールを生成し、同軸のガスジェットが切削部の底部から液体を噴出する。ガスジェットは、融解された材料と発熱反応し、別の熱源をプロセスに追加し、融解プールの生成、従って切削速度を促進する。この方法によって、酸素または空気のいずれかをガスジェットとして用いて、優れた垂直な刃先品質が提供される。

【0031】

実際には、切削作業は2つの異なったステージを有することが見出されている。穿孔ステージは、パーカッションドリル穴が形成される切削線の最初に生じる。この作業の大部分では、穴はメクラ穴であり、穿孔作業から破片が穴の入口から出て舞い上がり、その結果、穴の回りの材料表面にクズ領域ができる。穿孔の後に、切削ステージが続く。レーザ切削ヘッドが、一定の速度で材料の上方を移動し、一回の走査で材料が切削される。角度のある切削前方部が形成され、これは、レーザビームが吸収される場所である。レーザビームは、材料の厚みを通して導波される。

【0032】

システムの動作は、レーザフライス加工に関しては、原理的に上述の通りであるが、特定の動作パラメータを用いて、特にPCDに関連して、以下により詳細に説明する。

【0033】

詳細には、好ましいパルス繰返し率は、10~50kHz、より好ましくは40~50kHzの範囲であり、パルス継続時間は、好ましくは30~200nsであり、より好ましくは100~200nsである。平均レーザ出力は、300W~1kWであり、より好ましくは350~400Wである。放射照度は、好ましくは $10^6 \sim 10^8 \text{ W cm}^{-2}$ の範囲であり、より好ましくは 100 MW cm^{-2} の大きさ程度であり、最も好ましくは 118 MW cm^{-2} (穿孔時)、 118 MW cm^{-2} (切削時)である。好ましいアシストガスの圧力は、1~10バールの範囲であり、より好ましくは8バールである。図6を参照すると、穿孔中のPCD深さと試験時間との関係が、ある範囲の繰返し率に対して示されている。

【0034】

切削される材料を横断するビームの走査速度の点においては、高速で作動することが好ましい。この理由は、このことによって、生産速度が上がるばかりでなく、熱が横向きに拡散する時間を短くすることができ、より狭い熱影響部（HAZ）を形成するからである。最適な速度範囲は、 $21 \sim 27 \text{ mm/分}$ であり、約 24 mm/分 で最良の刃先品質が得られる。切削速度の限界は、ガスジェットがもはや融解材料を放出することができない時点であり、その時点では、反応性の拡散切削作業は失敗する。

【0035】

図2で示された種類の複合PCD/WC材料の場合、 100 MW cm^{-2} で、PCDの除去率は $7.6 \text{ mm}^3/\text{分}$ であり、一方、WCは除去のしきい値である。切削目的に関しては、これは、WC側の上方への、切削ノズル近くおよび最良の焦点では、放射照度の好ましい範囲は $10^8 \sim 10^9 \text{ W cm}^{-2}$ であり、最も好ましくは 120 MW cm^{-2} であり、より好ましくは $100 \sim 200 \text{ MW cm}^{-2}$ であり、繰返し率は $40 \sim 50 \text{ kHz}$ であり、最も好ましくは 45 Hz であり、パルス継続時間は $41 \text{ ns} \sim 200 \text{ ns}$ であり、より好ましくは $155 \text{ ns} \sim 200 \text{ ns}$ であり、パルスエネルギーは 6.7 mJ であり、酸素ガスアシストは8パールであることを意味している。これらの値は、WCを直接切削する場合にも好ましい。

10

【0036】

しかし、WC側を上向きに切削する場合、反応性溶融ガスの切削プロセスによって条線が生じることが判明している。この問題は、材料を上下逆にしてPCD側が切削ノズルに最も近くなるようすることで克服可能である。最良の焦点位置は、この位置方向で、すなわちWCを半分まで通過して維持される。この結果、アシストガスは、PCD層を通り抜けてWCに到達し、これにより、PCD上にほとんど堆積されず、PCDを大部分クリーンで、クズが無い状態に維持する。この方法によって、大幅に改良され、PCDの条線が減り、切削刃先に直線の鋭い刃先を形成する。PCD層はクズがなく、PCD層とWC層との間には切れ目が形成されない。条線除去することによって、切削刃先の直線性が劣化することが減る。クズが形成されないことによって、使用前にPCD切削ツールを保持器に取り付ける口付けプロセスでの干渉を確実に減少させる。そうでなければ、口付け接合が弱くなる。PCD-WC界面の段差または切れ目を除去することによって、切削工具の初期故障の原因となり得る、材料間の界面の弱さが解消される。なお、条線はいくらか依然として存在しているが、他の層にはクズがなく、条線は、接合するための口付けプロセスにより大きな表面面積を与えることによって、口付けプロセスを補助する。

20

30

【0037】

パラメータ範囲によって極めて良好な動作が与えられる。この理由は、放射照度が大きいほど、レーザパルスは、反応する酸素に対して、融解および蒸発WCを高繰返し率で生成するからである。この燃焼反応は、全ての方向でレーザの焦点から外側に進み、それによって燃焼反応が燃料源（集束レーザビームおよび同軸のガスジェット）から大きく離れて移動するまで条線を引き起こす。この時まで、レーザ切削ヘッドは、燃焼プロセスが再び始まるPCDの新しい部分まで移動している。切削速度が「燃焼反応」速度に対して増加するに伴い、条線の形成は減る。

40

【0038】

成功した切削試験（ 118 MW cm^{-2} ）で用いられたパルス放射照度は、図4に示されているとおり、蒸発によるWC除去のしきい値のちょうど上にある。切削プロセスは、酸素アシストガスが融解でなくWC蒸気と直接反応している状態で、この蒸発によって強化されていると考えられている。これによって、はるかに大きな発熱反応が導かれ、それによって切削が速くなる。

【0039】

好ましい1つの方法においては、切削プロセスは、例えば第1および第2走査など、複数の走査で適用される。この場合、各走査は、切削ノズルの最上部のノズル最近傍のPCD層において、上述の設定を用いてもよい。その場合、第1走査は、PCDの切削に用いられ、第2走査はPCDの切削刃先の品質を向上するために用いられる。

50

【 0 0 4 0 】

好ましい一実施形態においては、異なる走査間の動的集束の変化を用いて、改良された結果を提供する。例えば、第 1 走査では、上述のように、焦点位置は W C 層内に位置していてもよい。しかし、第 2 走査に関しては、焦点は P C D の最上面まで上げることができる。この方法は、特に P C D の切削刃先の品質を向上させることが判明している。第 2 走査に対する焦点位置を、W C 層または P C D 層のいずれかにおいて代替位置まで移動することもできる。

【 0 0 4 1 】

さらなる改良においては、材料の切削刃先に負のテーパが形成されてもよく、これによって、図 8 に示されているとおり、前縁の切削刃先が下側の刃先より突き出る。詳細には、全体に 7 0 で示されている切削ノズルは、P C D / W C 層複合体 7 6 近くに設けられており、P C D 層 7 2 は、最も上でノズルの最も近くにあることが見られよう。P C D 層の前縁の切削刃先 7 4 は W C 層より突き出ており、これにより、一般に で示される負のテーパが形成される。一般に X で示され、W C 層を半分通過した点から、一般に Y で示され、P C D 層の上面の点まで焦点を変更することによって、負のテーパの形成を助けることができることが判明している。テーパの量は、P C D の特性および P C D が加工に用いられる材料（木材、銅、アルミニウムなど）によって変化する。テーパの角度は、典型的には 7 度であるが、通常、1 5 度を超えることはない。

【 0 0 4 2 】

上述の方法によって多くの利点を得られる。従来技術よりも高速度で硬質材料を加工して、工具の磨耗や潤滑といった問題に対処する必要なく、同等の品質を達成することができるが見出された。この技術は、これらの材料を同時加工で切削およびフライス加工することができ、これによって製造設計に新しい柔軟性を提供する。

【 0 0 4 3 】

D P S S L では極めて大きなエネルギー強度が可能であり、ナノ秒 - キロヘルツの動作形態が、多くの難しいレーザ材料加工用途を大幅に改良する。短いパルスは熱効果を抑え、加工品質を向上する。一方、大きいフルエンスは、材料結合および加工効率を向上する。D P S S L はさらに、良好なビーム品質と、高効率と、強固な構造と、長時間のダイオード寿命との組み合わせを提供する。これによって、マクロスケールとミクロスケールの両方での製造が可能となる。P C D のレーザ切削は、代替技術よりも大幅に速い切削速度で D P S S レーザを用いて可能である。

【 0 0 4 4 】

例えば、E D M と比較すると、E D M を用いた対応速度よりも 4 倍速い、2 4 m m / 分のレーザ切削速度が達成される。さらに、レーザおよびスキャナステージを用いると、全方向で切削することができる。

【 0 0 4 5 】

積層構造は、P C D および W C ディスクが E D M と同一品質または F P S S よりも良好な切削品質を達成するような技術を用いて、切削することができる。このような積層構造には、d e B e e r s から入手可能な S y n d i t e（登録商標）や、好ましくは厚さが 0 . 5 m m ~ 3 . 2 m m の範囲にある単一層または複合構造、例えば W C 基板の上に 0 . 5 m m の P C D がある、厚さが 1 . 6、2 . 0 または 3 . 2 m m の複合構造が含まれる。

【 0 0 4 6 】

本明細書で説明した技術は、任意の適切な硬質材料に拡張することができ、また任意のレーザを使用して本明細書で提示した特定のパラメータを達成可能なことに拡張できることは理解されよう。任意の材料加工応用法を利用して、P C D 材料の消えないマーク付けおよび穿孔などの切削およびフライス加工に加えて、例えば微細な孔を用いて、線引きダイヤスや 3 D フライス加工により 3 D 形状を形成することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 7 】

【 図 1 】 レーザフライス加工装置を示す概略ブロック図である。

10

20

30

40

50

【図 2】PCD 複合材料の断面斜視図である。

【図 3】ある範囲のパルス繰返し率における、PCD のレーザービームパルス放射照度に対する除去率のグラフである。

【図 4】ある範囲の繰返し率における、炭化タングステンのパルス放射照度に対する除去率のグラフである。

【図 5】レーザ切削装置を示す概略ブロック図である。

【図 6】ある範囲のパルス繰返し率における、試験時間に対する PCD 切削深さの図である。

【図 7】レーザフライス加工の用途の斜視図である。

【図 8】PCD / WC 複合材料と切削ノズルの側面図である。

10

【図 1】

図 1

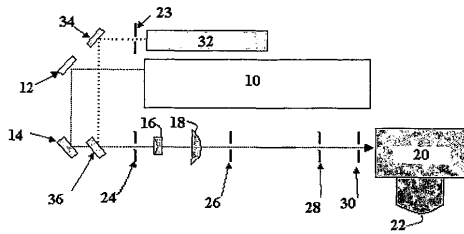


FIG. 1

【図 3】

図 3

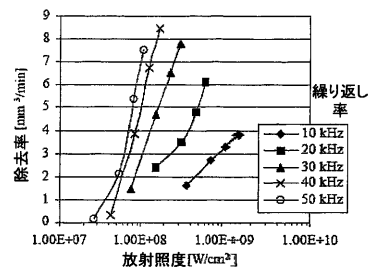


FIG. 3

【図 2】

図 2

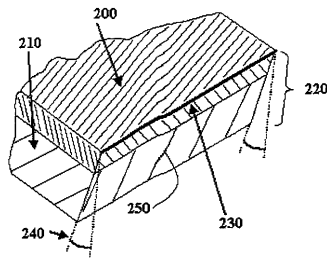


FIG. 2

【図 4】

図 4

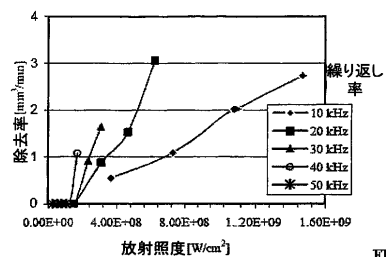


FIG. 4

【図 5】

図 5

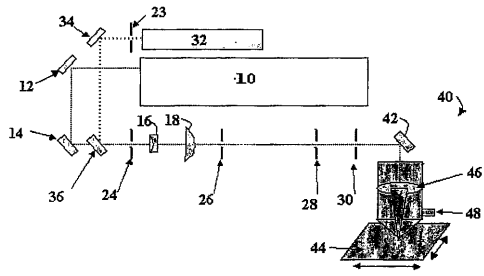


FIG. 5

【図 6】

図 6

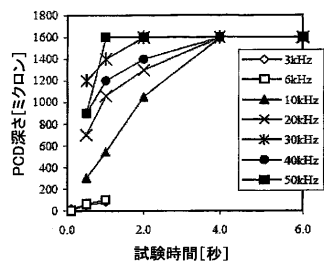


FIG. 6

【図 7】

図 7

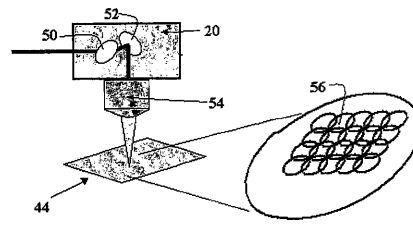


FIG. 7

【図 8】

図 8

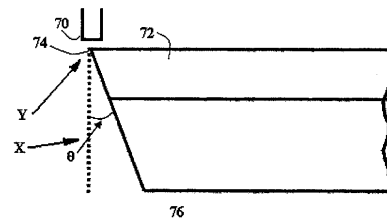


FIG. 8

【国際調査報告】

60700540060



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International application No.
PCT/GB2005/003855

 A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B23K26/40 C04B41/50 B23B27/20 B28D1/22 B23K26/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 B23K C04B B23B B28D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	M. HENRY ET AL: "laser milling - a practical industrial solution for machining a wide variety of materials" 5TH LASER PRECISION MICROMACHINING CONFERENCE 2005, [Online] May 2004 (2004-05), XP002359264 Release and publication Retrieved from the Internet: URL:www.powerlase.com>	1-10, 20-25
Y	page 4, paragraph 4-7; figures 1a-c, 2-5	11, 12
X	US 6 605 798 B1 (B.J. CULLEN) 12 August 2003 (2003-08-12)	27
Y	column 1, line 66 - column 3, line 7; claims 1, 4	11, 12
	----- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 December 2005

Date of mailing of the international search report

10. 05. 2006

Name and mailing address of the ISA/

 European Patent Office, P.O. Box 5818 Patentplan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel: (+31-70) 340-2040, Tx: 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3018

Authorized officer

Jeggy, T

14. 8. 2007

2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/GB2005/003855

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 054 673 A (X. CHEN ET AL) 25 April 2000 (2000-04-25) column 2, lines 22-29 column 3, lines 10-35; figure 2 -----	1-10, 20-25
X	US 2002/104831 A1 (J.J. CHANG ET AL) 8 August 2002 (2002-08-08) paragraphs [0003], [0046] - [0052], [0061] -----	1-3,5,6, 8,9, 20-22
A	US 5 483 038 A (N. OTA ET AL) 9 January 1996 (1996-01-09) abstract; claim 17; figure 2 -----	1,9,10, 20,21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/GB2005/003855**Box II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☒ Claims Nos.: 32
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
see FURTHER INFORMATION sheet PCT/ISA/210
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-25, 32

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/GB2005/003855

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

Continuation of Box II.2

Claims Nos.: 32

The present claim 32 relates to an extremely large number of possible features for the defined apparatus, as this claim defines further features of the apparatus with reference to the description and associated figures. It is therefore impossible to clearly define which feature of the apparatus is defined in this claim.

The applicant's attention is drawn to the fact that claims relating to inventions in respect of which no international search report has been established need not be the subject of an international preliminary examination (Rule 66.1(e) PCT). The applicant is advised that the EPO policy when acting as an International Preliminary Examining Authority is normally not to carry out a preliminary examination on matter which has not been searched. This is the case irrespective of whether or not the claims are amended following receipt of the search report or during any Chapter II procedure. If the application proceeds into the regional phase before the EPO, the applicant is reminded that a search may be carried out during examination before the EPO (see EPO Guideline C-VI, 8.5), should the problems which led to the Article 17(2) declaration be overcome.

International Application No. PCT/ 6B2805/ 003855

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-25,32

An apparatus and method for processing a material comprising a layer of polycrystalline Diamond (PCD) on a tungsten carbide (WC) substrate

2. claims: 26,29

A method of processing hard material such that the material is vaporised and not melt

3. claims: 27-28,30-31

A method of cutting a hard material with variation of the beam focus between laser cutting passes

6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/GB2005/003855

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6605798	B1	12-08-2003	AT 273768 T 15-09-2004
		AU 1674600 A 12-07-2000	
		DE 69919579 01 23-09-2004	
		DE 69919579 T2 15-09-2005	
		EP 1140413 A1 10-10-2001	
		ES 2226471 T3 16-03-2005	
		WO 0037208 A1 29-06-2000	
		JP 3449986 B2 22-09-2003	
		JP 2002532261 T 02-10-2002	
		PT 1140413 T 31-12-2004	
US 6054673	A	25-04-2000	US 6172331 B1 09-01-2001
US 2002104831	A1	08-08-2002	NONE
US 5483038	A	09-01-1996	DE 69313709 01 16-10-1997
		DE 69313709 T2 08-01-1998	
		EP 0567129 A2 27-10-1993	
		JP 6040797 A 15-02-1994	
		RU 2094225 C1 27-10-1997	

フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
	B 2 3 K 26/08	B
	B 2 3 K 26/00	G

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100075672

弁理士 峰 隆司

(74)代理人 100109830

弁理士 福原 淑弘

(74)代理人 100095441

弁理士 白根 俊郎

(74)代理人 100084618

弁理士 村松 貞男

(74)代理人 100103034

弁理士 野河 信久

(74)代理人 100140176

弁理士 砂川 克

(74)代理人 100092196

弁理士 橋本 良郎

(74)代理人 100100952

弁理士 風間 鉄也

(72)発明者 ウェンドランド、ジョゼフ

イギリス国、アールエイチ 10・9 アールエー、ウエスト・サセックス、クローリー、ナピアー・ウェイ、リンク 10、インペリアル・ハウス、パワーレイズ・リミテッド内

(72)発明者 ハリソン、ポール

イギリス国、アールエイチ 10・9 アールエー、ウエスト・サセックス、クローリー、ナピアー・ウェイ、リンク 10、インペリアル・ハウス、パワーレイズ・リミテッド内

(72)発明者 ヘンリー、マシュー

イギリス国、アールエイチ 10・9 アールエー、ウエスト・サセックス、クローリー、ナピアー・ウェイ、リンク 10、インペリアル・ハウス、パワーレイズ・リミテッド内

F ターム(参考) 4E068 AE00 AF00 CA03 CA11 CE03 DA01 DB11