

(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2019-508256

(P2019-508256A)

(43) 公表日 平成31年3月28日(2019.3.28)

(51) Int.Cl.

**B23K 26/352** (2014.01)  
**B23K 26/00** (2014.01)  
**B23K 26/04** (2014.01)

F 1

B 2 3 K 26/352  
B 2 3 K 26/00  
B 2 3 K 26/04

テーマコード(参考)

4 E 1 6 8

N

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 37 頁)

(21) 出願番号 特願2018-546883 (P2018-546883)  
(86) (22) 出願日 平成29年3月8日 (2017.3.8)  
(85) 翻訳文提出日 平成30年9月27日 (2018.9.27)  
(86) 國際出願番号 PCT/GB2017/050621  
(87) 國際公開番号 WO2017/153750  
(87) 國際公開日 平成29年9月14日 (2017.9.14)  
(31) 優先権主張番号 1603991.9  
(32) 優先日 平成28年3月8日 (2016.3.8)  
(33) 優先権主張国 英国(GB)

(71) 出願人 500277939  
ユニバーシティ オブ ダンディー  
UNIVERSITY OF DUNDEE  
イギリス、ディーティー1 4エイチエヌ  
、ダンディー  
(74) 代理人 100083806  
弁理士 三好 秀和  
(74) 代理人 100095500  
弁理士 伊藤 正和  
(74) 代理人 100111235  
弁理士 原 裕子  
(74) 代理人 100195257  
弁理士 大渕 一志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】セラミック表面における光電子収量及び／又は二次電子収量を低減する方法並びに対応する装置及び製品

## (57) 【要約】

セラミック表面の光電子収率(P E Y)及び／又は二次電子収率(S E Y)を低減する方法は、表面に構造の周期的な配置を作成するために、一連のレーザパルスを含むパルス状のレーザ放射を表面に照射することを含んでいる。

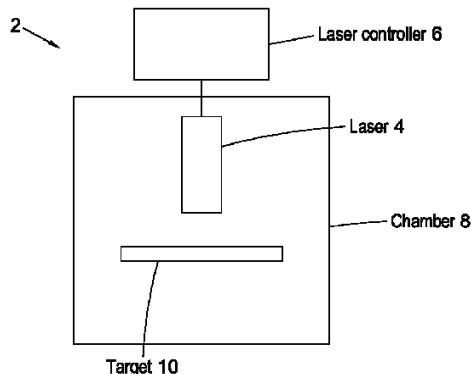


Fig. 1

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

セラミック表面の光電子収量(PEY)及び/又は二次電子収量(SEY)を低減する方法であって、前記表面に構造の周期的な配置を作成する一連のレーザパルスを含むパルス状のレーザ放射を前記表面に照射することを含む方法。

**【請求項 2】**

前記パルスの出力密度は、0.1 TW/cm<sup>2</sup>から3 TW/cm<sup>2</sup>の範囲にあり、0.5 TW/cm<sup>2</sup>から1.5 TW/cm<sup>2</sup>の範囲にあってもよい請求項1に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記パルスの出力密度は、0.1 GW/cm<sup>2</sup>から3 GW/cm<sup>2</sup>の範囲にあり、0.2 GW/cm<sup>2</sup>から1 GW/cm<sup>2</sup>の範囲にあってもよい請求項1に記載の方法。 10

**【請求項 4】**

前記レーザ放射の照射は、前記表面が、2.5未満であり、2.0未満でもよく、1.6以下でもよく、1.4以下でもよく、0.2から2.0の範囲にあってもよく、0.5から1.6の範囲にあってもよく、1.0から1.4の範囲にあってもよいSEYの値を有するように前記表面の特性を変えるようなものである請求項1から3のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 5】**

前記レーザパルスは、前記表面の材料の熱緩和時間より短い持続時間有する請求項1から4のいずれか一項に記載の方法。 20

**【請求項 6】**

前記レーザパルスのパルス持続時間は、300フェムト秒(fs)から1ナノ秒(ns)の範囲にあり、1nsから100nsの範囲にあってもよい請求項1から5のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 7】**

前記パルス持続時間は、1psから100psの範囲にあってもよく、1psから50psの範囲にあってもよく、5psから500psの範囲にあってもよい。

**【請求項 8】**

前記表面の前記構造の周期的な配置は、互いに実質的に平行な周期的な一連のピーク及びトラフを含み、前記ピークは、頂部は実質的に平坦であってもよく、及び/又は頂部が丸くてもよく、頂部が実質的に尖っていないなくても及び/又は尖った領域を有していてもよい請求項1から7のいずれか一項に記載の方法。 30

**【請求項 9】**

前記ピークの少なくともいくつかについて前記ピークからトラフまでの距離、及び/又はピークからトラフまでの距離の平均値又は中央値は、1μmから100μmの範囲にあり、20μmから80μmまでの範囲にあってもよく、30μmから60μmの範囲にあってもよい請求項1から8のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 10】**

前記構造の周期的な配置は、クロスハッチされた配置を含み、又はピーク及びトラフの実質的に平行なラインの配置が実質的にクロスハッチなしで配置された請求項1から9のいずれか一項に記載の方法。 40

**【請求項 11】**

前記構造の周期的な配置は、前記レーザ放射を提供するレーザ源の単一パスによって作成された請求項1から10のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 12】**

前記レーザ放射は、前記表面において、5μmから100μmの範囲にあり、又は1μmから100μmの範囲にある焦点スポット径を有するパルス状のレーザビームを含む請求項1から11のいずれか一項に記載の方法。

**【請求項 13】**

前記パルス状の放射は、10kHzから1MHzの範囲にあるパルス繰り返し率を有す

50

る請求項 1 から 1 2 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記レーザ放射の平均出力は、3 Wから8 Wの範囲にあってもよく、又は1 Wから10 Wの範囲にあってもよく、又は0.3 Wから2 Wの範囲にあってもよく、又は1 Wから5 Wの範囲にあってもよく、又は0.1 Wから1 Wの範囲にあってもよく、又は0.1 Wから2 Wの範囲にあってもよく、又は0.3 Wから5 Wの範囲にあってもよい請求項 1 から 1 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記レーザ放射を前記表面に照射することは、前記表面をパルス状のレーザビームで走査することを含み、前記走査の走査速度は1 mm / sから200 mm / sの範囲にある請求項 1 から 1 4 のいずれか一項に記載の方法。 10

【請求項 1 6】

前記表面のパルス状のレーザビームの走査が2から10回にわたり繰り返され、又は1回行われる請求項 1 から 1 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記表面への前記レーザ放射の入射は、0度から30度までの範囲にあり、又は90度から60度までの範囲にある請求項 1 から 1 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記放射の波長は、100 nmから2000 nmの範囲にあり、355 nm又は532 nm又は1064 nmであってもよい請求項 1 から 1 7 のいずれか一項に記載の方法。 20

【請求項 1 9】

前記構造の周期的な配置は、第1の方向に配置された第1の一連のピーク及びトラフと、第2の異なる方向に配列された第2の一連のピーク及びトラフとを含む請求項 1 から 1 8 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 2 0】

前記第1の一連のピーク及びトラフ及び前記第2の一連のピーク及びトラフは、前記構造の周期的な配置がクロスハッチ配列を含むように交差する請求項 1 から 1 9 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 2 1】

前記レーザ放射は、前記表面への前記レーザ放射の照射がさらなる構造を作成し、前記さらなる構造が前記構造の周期的な配置よりも小さくなるようなものである請求項 1 から 2 0 のいずれか一項に記載の方法。 30

【請求項 2 2】

前記さらなる構造が、さらなる周期的な構造を含み、ナオリップルを含んでもよい請求項 1 から 2 1 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 2 3】

前記さらなる構造は、レーザ誘起表面周期構造(LIPPS)を含む請求項 1 から 2 2 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 2 4】

前記さらなる構造は、10 nmから1 μmの範囲にある周期性を有し、100 nmから1 μmの範囲にある周期性を有してもよい請求項 1 から 2 3 のいずれか一項に記載の方法。 40

【請求項 2 5】

前記さらなる構造は、前記構造の周期的な配置の少なくとも一部を覆い、及び/又は前記構造の周期的な配置の前記トラフ及び/又は前記ピークに形成された請求項 1 から 2 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 2 6】

前記表面は、積層構造の一部を形成する請求項 1 から 2 5 のいずれか一項に記載の方法。 50

【請求項 2 7】

前記表面は、粒子加速器、入射キッカーシステム、ビームライン、導波管、例えば無線周波数導波管、宇宙船、又は真空チャンバの一部を形成する請求項1から26の少なくとも一項に記載の方法。

#### 【請求項28】

前記表面は装置の構成部品の表面を含み、前記表面に構造の周期的な配置を作成するように、前記表面に前記レーザ放射を照射し、次いで前記構成部品を前記装置に設置することを含み、又は、前記装置における位置で前記構成部品の表面にレーザ放射を照射することを含む請求項1から27のいずれか一項に記載の方法。

#### 【請求項29】

前記レーザ放射の照射の後で前記表面の少なくとも一部に金属層を形成することをさらに含む請求項1から28のいずれか一項に記載の方法。 10

#### 【請求項30】

前記レーザ放射の照射の後で前記表面を脱脂、洗浄又は平滑化すること、及び／又は前記レーザ放射の照射の後で前記表面に対して表面炭素還元プロセスを行うことの少なくとも一つを含む請求項1から29のいずれか一項に記載の方法。

#### 【請求項31】

セラミック表面の光電子収量(PEY)及び／又は二次電子収量(SEY)を低減する装置であって、

パルス状のレーザ放射を表面に照射するレーザ源と、

セラミック表面に構造の周期的な配置を作成するように、レーザ放射を一連のレーザパルスとして照射するように前記レーザ源を制御するように構成されたレーザコントローラと 20

を含む装置。

#### 【請求項32】

構造の周期的な配置を含むレーザ処理セラミック表面。

#### 【請求項33】

前記構造の周期的な配置の少なくとも一部を覆う金属層をさらに含む請求項32に記載のレーザ処理セラミック表面。 30

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、光電子収量(photoelectron emission: PEY)及び／又は二次電子収量(secondary electron emission: SEY)を低減するためにセラミック表面を処理する方法及び装置に関する。 40

#### 【背景技術】

#### 【0002】

光電子放出(photoelectron emission: PEE)は、光子と表面との相互作用による電子の放出を指す。二次電子放出(secondary electron emission: SEE)は、一次電子と表面との相互作用による表面からの二次電子の放出を指す。光電子収量(PEY)を用いて PEE を特徴付けることができ、二次電子収量(SEY)を用いて SEE を特徴付けることができる。PEY 及び SEY は、それぞれ単一の入射光子又は電子当たりの放出電子の平均数と見なすことができる。 50

#### 【0003】

PEE 及び SEE 効果は、例えば粒子加速器において、ビームライン、導波管、例えば無線周波数導波管、検出器、宇宙船、及び真空チャンバのような、多種多様な装置において重大な困難を引き起こすことがある。PEE 及び SEE 効果は、特定のタイプの装置及び用途に依存して、望ましくない電子雲の蓄積、望ましくない圧力上昇、ビーム損失及び不安定性、ビーム寿命の低下、望ましくない熱負荷、電力損失、損傷、装置寿命の短縮、騒音の増加、感度の低下を様々にもたらすことがある。

## 【0004】

99.5%よりも純粋な酸化アルミニウム（アルミナ）、例えば加速器ビーム輸送（入射キッカーシステム（Injection Kicker System））のキッカーに使用される純度99.7%のアルミナのようなセラミック材料についてSEY又はPEYの低減は特に困難であるが、これは、例えばSEY値がいくつかの実際的な用途（例えば、2未満、又は1.6未満、場合によっては1.4未満）に望まれるものよりもかなり高い（例えば8以上）ことがあるからである。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は一般に酸化アルミニウム又はアルミナと呼ばれているが、当該技術分野ではアルミナ酸化物とも呼ばれている。

## 【0005】

PEY及びSEYを低減するための改善された又は少なくとも代替の方法を提供することが望ましい。

10

## 【発明の概要】

## 【0006】

本発明の第1の態様では、セラミック表面の光電子収量（PEY）及び/又は2次電子収量（SEY）を低減する方法が提供され、この方法は、表面に構造の周期的な配置を作成するために表面にレーザ放射を照射することを含んでいる。

## 【0007】

レーザ放射は、一連のレーザパルスを含むパルス状のレーザ放射を含むことができる。セラミック材料、例えばセラミック表面は、イオン結合及び/又は共有結合によって結合された金属及び非金属原子、例えばイオン結合及び共有結合の混合物を含んでもよい。

20

## 【0008】

例えばパルスによるレーザ放射の出力密度は、TW/cm<sup>2</sup>の範囲にあってもよく、0.1TW/cm<sup>2</sup>から3TW/cm<sup>2</sup>の範囲にあってもよい。出力密度は、0.5TW/cm<sup>2</sup>から1.5TW/cm<sup>2</sup>の範囲にあってもよい。

20

## 【0009】

あるいは、例えばパルスによるレーザ放射の出力密度は、GW/cm<sup>2</sup>の範囲にあってもよく、0.1GW/cm<sup>2</sup>から3GW/cm<sup>2</sup>の範囲にあってもよい。出力密度は、0.2GW/cm<sup>2</sup>から1GW/cm<sup>2</sup>の範囲にあってもよい。

## 【0010】

TW/cm<sup>2</sup>の範囲又はGW/cm<sup>2</sup>の範囲の出力密度を有するレーザパルスを用いることにより、所望の電子仕事関数特性を有する表面を提供する構造の周期的な配置を得てもよい。例えば、二次電子収量（SEY）の所望の値又は値の範囲を有する表面を得てもよい。

30

## 【0011】

方法は、表面が、2.5未満であり、2.0未満でもよく、1.6以下でもよく、1.4以下でもよく、0.2から2.0の範囲でもよく、0.5から1.6の範囲でもよく、1.0から1.4の範囲でもよいSEYの値を有するように表面の特性を変えてよい。

## 【0012】

レーザパルスは、表面の材料の熱緩和時間より短い持続時間を有してもよい。レーザパルスは、実質的にレーザパルスの照射の全体を通じて、表面の材料の電子及び原子格子が実質的に異なる温度を有するような持続時間を有してもよい。レーザパルスは、表面の材料が実質的に溶融及び/又は流動することなく蒸発又は気化又は除去の少なくとも一つであるような持続時間を有してもよい。レーザパルスは、表面の一部の材料が、表面の残りの材料の実質的な溶融及び/又は流動なしに、蒸発し又は気化し又は除去された少なくとも一つであるような持続時間を有してもよい。

40

## 【0013】

レーザパルスのパルス持続時間は、300フェムト秒(f s)から1ナノ秒(n s)の範囲にあってもよい。

## 【0014】

レーザパルスのパルス持続時間は、1nsから100nsの範囲にあってもよい。

50

## 【0015】

表面の構造の周期的な配置は、互いに実質的に平行な周期的な一連のピーク及びトラフを含んでもよく、頂部が実質的に平坦でもよく、及び／又は頂部が丸くてもよく、及び／又は頂部が実質的に尖っていなくても及び／又は尖った領域を有してもよい。ピークは、実質的に、トップハット形状及び／又は切頭ピラミッド形状、例えば、断面形状においてトップハット形状及び／又は切頭ピラミッド形状を有してもよい。したがって、例えば、電子仕事関数及び／又は所望の電子トラッピング特性の所望の値を得てもよい。ピークは、長手方向に延びていてもよく、尾根と呼ばれてもよい。

## 【0016】

ピークの少なくともいくつかについてのピークからトラフまでの距離及び／又はピークからトラフまでの距離の平均値又は中央値は、 $1 \mu m$ から $100 \mu m$ の範囲にあってもよく、 $20 \mu m$ から $80 \mu m$ の範囲にあってもよく、範囲内 $30 \mu m$ から $60 \mu m$ にあってもよい。

10

## 【0017】

構造の周期的な配置は、クロスハッチ配置又は実質的にクロスハッチなしのピーク及びトラフ（例えば、尾根及び谷）の実質的に平行なラインの配置を含むことができる。構造の周期的な配置は、例えば、レーザ放射を提供するレーザ源の単一パスによって作成してもよい。

## 【0018】

セラミック表面は、少なくとも一つの下層上にあってもよく、レーザ放射は、下層を露光するように表面の材料を実質的に除去又は移動させないようなものであってもよい。

20

## 【0019】

独立して提供されてもよい本発明のさらなる態様では、表面にレーザ形成された構造の周期的な配置を含むセラミックレーザー処理表面が提供され、次の少なくとも一つであり、

構造の周期的な配置は互いに実質的に平行な周期的な一連のピークとトラフとを含み、構造の周期的な配列はクロスハッチされた周期的な一連のピーク及びトラフを含み、さらに任意に、

ピークは、頂部が実質的に平坦であってもよく、及び／又は頂部が丸くてもよく、及び／又は頂部が実質的に尖っていなくても及び／又は尖った領域を有してもよく、及び／又はピークは、実質的に、トップハット形状及び／又は切頭ピラミッド形状、例えば、断面形状においてトップハット形状及び／又は切頭ピラミッド形状を有してもよく、及び／又は、

30

ピークの少なくともいくつかについてのピークからトラフまでの距離及び／又はピークからトラフまでの距離の平均値又は中央値は、 $1 \mu m$ から $100 \mu m$ の範囲にあってもよく、 $20 \mu m$ から $80 \mu m$ の範囲にあってもよく、範囲内 $30 \mu m$ から $60 \mu m$ にあってもよい。

## 【0020】

独立して提供されてもよい本発明のさらなる態様では、セラミック表面の光電子収量（P E Y）及び／又は二次電子収量（S E Y）を低減するための装置であって、

40

パルス状のレーザ放射を表面に照射するレーザ源と、

レーザ源を制御して一連のレーザパルスとしてレーザ放射を照射し、それにより表面に構造の周期的な配置を形成するように構成されたレーザコントローラとを含むものが提供される。パルスの出力密度は、 $T W / c m^2$ の範囲又は $G W / c m^2$ の範囲であってもよい。パルスの出力密度は、 $0.1 T W / c m^2$ から $3 T W / c m^2$ の範囲にあってもよい。パルスの出力密度は、 $0.1 G W / c m^2$ から $3 G W / c m^2$ の範囲にあってもよい。

## 【0021】

本発明のさらなる態様では、セラミック表面の光電子収量（P E Y）及び／又は二次電子収量（S E Y）を低減する方法であって、

50

セラミック表面に構造の周期的な配置の作成するように表面にレーザ放射を照射することを含み、

レーザ放射は一連のレーザパルスを含むパルス状のレーザ放射を含み、レーザパルスのパルス持続時間は、300 fsから1 nsの範囲、又は1 nsから100 nsの範囲内にある。

#### 【0022】

表面は、ターゲットの表面であってもよい。

#### 【0023】

パルス持続時間は、1 psから100 psの範囲内にあってもよい。パルス持続時間は、1 psから50 psの範囲にあってもよい。パルス持続時間は、5 psから500 psの範囲にあってもよい。10

#### 【0024】

レーザ放射は、表面に焦点スポット径が5 μmから100 μmの範囲又は1 μmから100 μmの範囲にあるパルス状のレーザビームを含んでもよい。

#### 【0025】

パルス放射は、10 kHzから1 MHzの範囲のパルス繰返し率を有してもよく、10 kHzから200 kHzの範囲のパルス繰返し率を有してもよい。レーザ放射の平均出力は、3 Wから8 Wの範囲にあってもよく、又は1 Wから10 Wの範囲にあってもよい。レーザ放射の平均出力は、0.3 Wから2 Wの範囲にあってもよく、又は1 Wから5 Wの範囲にあってもよく、又は0.1 Wから1 Wの範囲にあってもよく、又は0.1 Wから2 Wの範囲にあってもよく、又は範囲は0.3 Wから5 Wにあってもよい。20

#### 【0026】

表面にレーザ放射を照射することは、表面をパルス状のレーザビームで走査することを含んでもよく、走査の走査速度は、1 mm/sから100 mm/sの範囲にあってもよく、又は10 mm/sから50 mm/sの範囲にあってもよい。

#### 【0027】

表面のパルス状のレーザビームによる走査は、2から10回繰り返されてもよいし、1回行われてもよい。

#### 【0028】

表面へのレーザ放射の入射角は、0度から30度の範囲にあってもよい。表面へのレーザ放射の入射角は、90度から60度の範囲にあってもよい。30

#### 【0029】

放射の波長は、100 nmから2000 nmの範囲にあってもよく、355 nm又は532 nm又は1064 nmであってもよい。

#### 【0030】

構造は、ピーク及びトラフを含んでもよい。構造の周期的な配置は、周期的な一連のピーク及びトラフを含んでもよい。ピークとトラフは、互いに実質的に平行であってもよい。

#### 【0031】

構造の周期的な配置は、第1の方向に配置された第1の一連のピーク及びトラフと、第2の異なる方向に配置された第2の一連のピーク及びトラフとを含んでもよい。第1及び第2の方向は、実質的に直交していてもよい。第1の一連のピーク及びトラフ及び第2の一連のピーク及びトラフは、構造の周期的な配置がクロスハッチ配置を含むように交差してもよい。40

#### 【0032】

周期的な配置の周期は、0.5 μmから100 μmの範囲にあってもよい。周期的な構造の隣接するピーク（又はトラフ）の分離は、0.5 μmから100 μmの範囲にあってもよい。クロスハッチされた配置のハッチ距離は、0.5 μmから100 μmの範囲にあってもよく、10 μmから100 μmの範囲にあってもよい。

#### 【0033】

10

20

30

40

50

レーザ放射は、表面へのレーザ放射の照射が、さらなる構造を生成することを含むようなものであってもよい。さらなる構造は、構造の周期的な配置の構造よりもよい。

#### 【0034】

その特徴は特に重要であるので、独立して提供され得る本発明の第2の態様では、セラミック表面の光電子収量(PEY)及び/又は二次電子収量(SEY)を低減する方法が提供され、

表面に構造の周期的な配置を作成するように表面にレーザ放射を照射することを含み、  
レーザ放射は、一連のレーザパルスを含むパルス状のレーザ放射を含み、レーザ放射は構造上のさらなる構造及び構造の周期的な配列を生成するようなものである。

10

#### 【0035】

さらなる構造は、さらなる周期的な構造を含んでもよい。さらなる構造はリップルを含んでもよい。さらなる構造は、ナノリップルを含んでもよい。さらなる構造は、さらなる周期的な構造であってもよい。さらなる構造は、例えばレーザ波長の範囲にある周期性を有するレーザ誘起表面周期構造(LIPPS)を含んでもよい。さらなる構造は、10nmから1μmの範囲にあり、100nmから1μmの範囲にあってもよい周期性を有してもよい。

#### 【0036】

さらなる構造は、構造の周期的アレイの少なくとも一部を覆ってもよい。さらなる構造は、構造の周期的な配置のトラフ及び/又はピークに形成されてもよい。

20

#### 【0037】

セラミック表面及び/又はターゲットは、アルミナを含んでもよい。例えば、加速器ビーム輸送(入射キッカーシステム)のキッカーに使用される99.5%超の純粋なアルミニ酸化物である。

#### 【0038】

セラミック表面及び/又はターゲットは、任意の適切な磁性、導電性又は誘電性セラミック材料を含んでもよい。

#### 【0039】

表面及び/又はターゲットは、スピネル構造を有するセラミック材料、例えば式M(Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)を有するスピネル構造、Mが共有結合カチオンであるものを含んでもよい。

30

#### 【0040】

Mは、マンガン(Mn)、ニッケル(Ni)、コバルト(Co<sup>2+</sup>)、亜鉛(Zn<sup>2+</sup>)、銅(Cu<sup>2+</sup>)、マグネシウム(Mg<sup>2+</sup>)のグループから選択された共有結合カチオンであってもよい。あるいは、Mは、一価カチオン、例えばリチウム(Li<sup>+</sup>)又はさらに空孔又は複数の空孔、例えば正電荷のそのような欠如が追加の三価の鉄カチオン(Fe<sup>3+</sup>)によって補償され得る場合を表してもよい。

#### 【0041】

表面及び/又はターゲットは、フェライト材料、例えば六方晶フェライト材料、例えば構造M(Fe<sub>1.2</sub>O<sub>1.9</sub>)を有する材料を含んでもよい。Mは、バリウム(Ba)、ストロンチウム(Sr)、鉛(Pb)のグループから選択してもよい。

40

#### 【0042】

表面及び/又はターゲットは、ガーネットフェライト材料であって、例えばケイ酸塩ミネラルガーネットの構造を有し、例えば化学式M<sub>3</sub>(Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)を有し、Mはイットリウム又は希土類イオンであってもよいものを含んでもよい。

#### 【0043】

表面及び/又はターゲットは、厚膜又は薄膜の抵抗器又は電極、又はそのような厚膜抵抗器又は薄膜抵抗器又は電極として又はその一部として使用するのに適することがある材料を含んでもよい。表面及び/又はターゲットは、金属酸化物材料、例えば酸化鉛(PbO)、二酸化ルテニウム(RuO<sub>2</sub>)、ルテニウム酸ビスマス(Bi<sub>2</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)のグループから選択された材料を含んでもよい。表面及び/又はターゲットは、重なり合うエ

50

ネルギーバンドを有するセラミック材料を含んでもよい。

【0044】

表面及び／又はターゲットは、セラミック導体を含んでもよい。例えば、表面及び／又はターゲットは、酸化インジウム( $\text{In}_2\text{O}_3$ )及び／又は酸化スズ( $\text{SnO}_2$ )又は酸化インジウムスズ( $\text{ITO}$ )を含んでもよい。

【0045】

表面及び／又はターゲットは、加熱要素、又はそのような加熱要素として、又はその一部として使用するのに適することがある材料を含んでもよい。表面及び／又はターゲットは、炭化ケイ素( $\text{SiC}$ )、ニケイ化モリブデン( $\text{MoSi}_2$ )、亜クロム酸ランタン( $\text{LaCr}_2\text{O}_4$ )、ジルコニア( $\text{ZrO}_2$ )のグループから選択された材料を含んでもよい。10

【0046】

表面及び／又はターゲットは、サーミスタ又はそのようなサーミスタとして又はその一部として適することがある材料を含んでもよい。表面及び／又はターゲットは、スピネル鉄材料、コバルトスピネル材料及びマンガンスピネル材料からなるグループから選択された材料を含んでもよい。

【0047】

表面及び／又はターゲットは、超伝導体材料、例えばイットリウムバリウム銅酸化物( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ )、ビスマス・ストロンチウム・カルシウム・銅酸化物材料(例えば $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_6$ 、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 又は $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ )、ビスマス・ストロンチウム・カルシウム・銅酸化物材料(例えば $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_6$ 、 $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 、 $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ 、又は $\text{TlBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{11}$ )又は水銀・バリウム・カルシウム・銅酸化物材料(例えば、 $\text{HgBa}_2\text{CuO}_4$ 、 $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_6$ 、又は $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ )であってよい。

【0048】

表面及び／又はターゲットは、ペロブスカイト材料を含んでもよい。表面及び／又はターゲットは、非化学量論的鉛、ストロンチウム又はカルシウム置換を含むチタン酸バリウム( $\text{BaTiO}_3$ )又はチタン酸バリウムを含んでもよい。

【0049】

表面は、積層構造の一部、例えば積層ターゲット、例えばアルミナ及び少なくとも一つの他の材料を含むものを形成してもよい。

【0050】

レーザ放射の平均又はピークフルエンス又は他の特性は、アブレーション閾値を上回り、及び／又は表面の熱閾値の範囲にあり、及び／又はアブレーション閾値の105%以内にあり、102%以内にあってもよく、101%以内にあってもよい。

【0051】

パルスは、各パルスについて、表面にプラズマが形成されるようなものであってよい。プラズマは、表面の下地材料と実質的に同じ密度を有してもよい。

【0052】

表面は、粒子加速器、入射キッカーシステム、ビームライン、導波管、例えば無線周波数の導波管、検出器、検出器装置、又は宇宙船の一部を形成してもよい。

【0053】

表面は、真空チャンバの表面の一部を含むか又は形成してもよい。

【0054】

表面は、装置の構成部品の表面を含んでもよい。装置は、粒子加速器、ビームキッカー磁石(構成部品は、例えばセラミックプレートコンデンサ又はセラミックライナパイプを含んでもよい。)、ビームライン、導波管、例えば無線周波数の導波管、検出器、検出器装置、宇宙船から選択されてもよい。方法は、表面に構造の周期的な配置を作成するために表面にレーザ放射を照射し、次いで装置に構成部品を設置することを含んでもよく、又

10

20

30

40

50

は方法は、装置における位置で構成部品の表面にレーザ放射を照射することを含んでもよい。

**【0055】**

方法は、Nd : YVO<sub>4</sub> 又は Nd : YAG 又は Yb : KYW 又は Yb : KGW レーザを含む固体レーザであってもよいパルス固体バルクレーザ、又は Yb、Tm 又は Nd ドープパルス固体ファイバーレーザであってもよいパルスファイバーレーザを使用して放射を照射することを含んでもよい。

**【0056】**

方法は、レーザ放射の照射した後に表面の少なくとも一部に金属層を形成することを含んでもよい。

10

**【0057】**

方法は、周期的な構造を金属層で実質的に覆うことを含んでもよい。金属層は、任意の適切なプロセス、例えばコーティングプロセスを用いて形成してもよい。

**【0058】**

金属層は、金又は任意の他の適切な金属、例えば銀、銅又はアルミニウムを含んでもよい。金属層は元素金属、例えば元素の金、銀、銅又はアルミニウムを含んでもよく、又は金属合金又は金属化合物を含んでもよい。

20

**【0059】**

金属層は、0.1 nm から 100 nm の範囲にある厚さを有してもよく、1 nm から 50 nm の範囲にあってもよく、1 nm から 20 nm の範囲にあってもよい。金属層は、実質的に一定の厚さを有してもよい。金属層は、例えば金属層の形成前と実質的に同じ断面プロファイルを有する表面を維持するために、表面の形態を維持するような厚さを有してもよい。例えば、金属層は、金属層の形成前と同じように、表面にレーザ形成されたトラフ及びピークの実質的に同じ分布を維持するように、及び / 又は表面特徴の間の間隙を完全に埋めないような厚さを有してもよく、表面特徴は例えばトラフ及び / 又はピーク、又は他のレーザ形成がされてもよい。

**【0060】**

この方法は、レーザ放射の照射の後に表面を脱脂、洗浄又は平滑化すること、及び / 又はレーザ放射の照射の後に表面に対して表面炭素還元プロセスを行うことの少なくとも一つを含んでもよい。

30

**【0061】**

独立して提供されてもよい本発明のさらなる態様では、表面の光電子収量 (PEY) 及び / 又は二次電子収量 (SEY) を低減するための装置であって、

パルス状のレーザ放射を表面に照射するレーザ源と、

表面に構造の周期的な配置を作成するように、200 フェムト秒 (fs) から 1000 ps の範囲のパルス持続時間を有する一連のレーザパルスとしてレーザ放射を照射するようにレーザ源を制御するように構成されたレーザコントローラと

を含んでいる。

40

**【0062】**

独立して提供されてもよい本発明のさらなる態様では、セラミック表面の光電子収量 (PEY) 及び / 又は二次電子収量 (SEY) を低減するための装置であって、

パルス状のレーザ放射を表面に照射するレーザ源であって、他の態様による方法を実行するように動作するように構成されたレーザ源を含んでいる。

**【0063】**

独立して提供されてもよい本発明のさらなる態様では、他の態様による方法を用いて形成された表面の構造の周期的な配置を含むレーザ処理されたセラミック表面が提供される。

**【0064】**

表面は、構造の周期的な配置の少なくとも一部、及び / 又は表面を実質的に全て覆ってもよい金属層をさらに含んでもよい。したがって、セラミック表面の外側部分の少なくと

50

も一部が金属を含んでもよく、全部が金属を含んでもよい。

【0065】

独立して提供されてもよい本発明のさらなる態様において、セラミック表面のレーザ形成された構造の周期的な配置と、セラミック表面のさらなるレーザ形成された構造とを含むレーザ処理されたセラミック表面が提供される。

【0066】

さらなる構造は、さらなる周期的な構造を含んでもよい。さらなる構造はリップルを含んでもよい。さらなる構造は、ナノリップルを含んでもよい。さらなる構造は、さらなる周期的な構造であってもよい。さらなる構造は、レーザ誘起表面周期構造（LIPPS）を含んでもよい。さらなる構造は、10nmから1μmの範囲にある周期性を有してもよく、100nmから1μmの範囲にある周期性を有してもよい。

10

【0067】

構造は、ピーク及びトラフを含んでもよい。構造の周期的な配置は、周期的な一連のピーク及びトラフを含んでもよい。ピークとトラフは、互いに実質的に平行であってもよい。

【0068】

構造の周期的な配置は、第1の方向に配置された第1の一連のピーク及びトラフと、第2の異なる方向に配置された第2の一連のピーク及びトラフとを含んでもよい。第1及び第2の方向は、実質的に直交していてもよい。第1の一連のピーク及びトラフ及び第2の一連のピーク及びトラフは、構造の周期的な配置がクロスハッチ配置を含むように交差してもよい。

20

【0069】

周期的な配置の周期は、0.5μmから100μmの範囲にあってもよい。周期的な構造の隣接するピーク（又はトラフ）の分離は、0.5μmから100μmの範囲にあってもよい。クロスハッチされた配置のハッチ距離は、0.5μmから100μmの範囲にあってもよい。

30

【0070】

さらなる構造は、さらなる周期的な構造を含んでもよい。さらなる構造はリップルを含んでもよい。さらなる構造は、ナノリップルを含んでもよい。さらなる構造は、さらなる周期的な構造であってもよい。さらなる構造は、レーザ誘起表面周期構造（LIPPS）を含んでもよい。さらなる構造は、10nmから1μmの範囲にある周期性を有してもよく、100nmから1μmの範囲にある周期性を有してもよい。

【0071】

さらなる構造は、構造の周期的アレイの少なくとも一部を覆ってもよい。さらなる構造は、構造の周期的な配置のトラフに形成されてもよい。

【0072】

表面は、アルミナを含んでもよい。表面は、例えばアルミナ又は他のセラミック及び少なくとも一つの他の材料を含む積層ターゲットのような積層構造の一部を形成してもよい。

40

【0073】

独立して提供されてもよい本発明のさらなる態様では、光熱相互作用及び／又は光アブレーション相互作用によって表面を改質するために、レーザ放射を表面に照射することによってセラミック表面を改質する方法が提供される。

【0074】

独立して提供されてもよい本発明の別の態様では、表面にレーザ放射を照射することによって得られる光熱相互作用及び／又は光アブレーション相互作用によって改質されたセラミック表面が提供される。

【0075】

独立して提供されてもよい本発明のさらなる態様では、他の態様のいずれかによるセラミック表面を有するか、又は他の態様のいずれかによって形成されたセラミック表面を有

50

する構成部品を含む粒子加速器、入射キッカーシステム、ビームキッカー磁石、ビームライン、導波管、検出器、宇宙船、又は真空チャンバが提供される。

#### 【0076】

本発明のさらなる態様では、本明細書で説明され、及び／又は図示されるように、方法、表面、表面を含む構造、装置、構成部品、粒子加速器、入射キッカーシステム、ビームキッカー磁石、ビームライン、導波管、検出器、宇宙船、又は真空チャンバが提供される。

#### 【0077】

本発明の任意の一つ以上の態様における任意の特徴は、任意の適切な組み合わせで本発明の任意の他の一つ以上の態様に適用してもよい。

10

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0078】

本発明の実施形態は、添付図面を参照して以下にさらに説明される。

【図1】光電子放出（P E E）及び／又は二次電子放出（S E E）効果を低減するために、例えば光電子収量（P E Y）及び／又は二次光電子収量（S E Y）を低減するために、表面のレーザ処理に使用されるシステムの概略図である。

【図2】一実施形態によるサンプルの一次電子エネルギーの関数としてのS E Yのプロットである。

【図3】図2のサンプルの裏面の一次電子エネルギーの関数としてのS E Yのプロットである。

20

【図4】さらなる実施形態によるサンプルの一次電子エネルギーの関数としてのS E Yのプロットである。

【図5】さらなる実施形態によるサンプルの一次電子エネルギーの関数としてのS E Yのプロットである。

【図6】さらなる実施形態によるサンプルの一次電子エネルギーの関数としてのS E Yのプロットである。

【図7】さらなる実施形態によるサンプルの一次電子エネルギーの関数としてのS E Yのプロットである。

【図8】さらなる実施形態によるサンプルの一次電子エネルギーの関数としてのS E Yのプロットである。

30

【図9】さらなる実施形態によるサンプルの一次電子エネルギーの関数としてのS E Yのプロットである。

【図10a】実施形態によるサンプルの表面の走査型電子顕微鏡（S E M）画像である。

【図10b】実施形態によるサンプルの表面の走査型電子顕微鏡（S E M）画像である。

【図10c】実施形態によるサンプルの表面の走査型電子顕微鏡（S E M）画像である。

【図11a】さらなる実施形態によるサンプルの表面のS E M画像である。

【図11b】さらなる実施形態によるサンプルの表面のS E M画像である。

【図11c】さらなる実施形態によるサンプルの表面のS E M画像である。

【図11d】さらなる実施形態によるサンプルの表面のS E M画像である。

40

【図11e】さらなる実施形態によるサンプルの表面のS E M画像である。

【図11f】さらなる実施形態によるサンプルの表面のS E M画像である。

【図11g】さらなる実施形態によるサンプルの表面のS E M画像である。

【図11h】さらなる実施形態によるサンプルの表面のS E M画像である。

【図11i】さらなる実施形態によるサンプルの表面のS E M画像である。

【図11j】さらなる実施形態によるサンプルの表面のS E M画像である。

【図12】サンプルの全反射率、全透過率及び吸収量を示すグラフである。

【図13】さらなる実施形態によるサンプルの一次電子エネルギーの関数としてのS E Yのプロットである。

【図14】コンディショニング及びサンプルの空気への暴露後のデータを含む、サンプルの一次電子エネルギーの関数としてのS E Yのプロットである。

50

【図15a】実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図15b】実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16a】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16b】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16c】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16d】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16e】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16f】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16g】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16h】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16i】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16j】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16k】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16l】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16m】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図16n】さらなる実施形態によるサンプルの表面のSEM画像である。

【図17a】光熱相互作用(PTI)及び光アブレーション相互作用(PAI)メカニズムの概略図である。

【図17b】光熱相互作用(PTI)及び光アブレーション相互作用(PAI)メカニズムの概略図である。

【図18】金の層でコーティングする前後の両方について、アルミナセラミックのサンプルの一次エネルギーの関数としての測定SEYのプロットである。

【図19】図18の主題であるサンプルの表面のSEM画像である。

【図20】図18の主題であるサンプルの表面のSEM画像である。

【発明を実施するための形態】

#### 【0079】

図1は、光電子放出(PEE)及び/又は二次電子放出(SEE)効果を低減するために、例えば光電子収量(PEY)及び/又は二次電子収量(SEY)を低減するために、表面のレーザ処理に使用するシステムを示している。

#### 【0080】

図1のシステム2は、レーザコントローラ6に接続されたレーザ4を含み、レーザコントローラ6は、所望の特性のパルス状のレーザ放射ビームを放射するように、レーザ4の動作を制御するために使用される。レーザ4は、レーザコントローラ6に制御されたレーザ4の動作によってターゲットの表面に周期構造が形成されるように、ターゲット8と位置合わせされる。

#### 【0081】

実施形態では、レーザは、パルスNd:YVO<sub>4</sub>又はNd:YAG又はYb:KYW又はYb:KGW固体バルクレーザ、又はパルスファイバーレーザ、任意にYb、Tm又はNdでドープされたパルス固体ファイバーレーザの一つであればよい。別の実施形態では、任意の他の適切なレーザを使用することができます。図1の実施形態では、パルス状のレーザ放射の波長は532nmであるが、他の任意の適切な波長、例えば1064nm又は355nmを使用することができます。

#### 【0082】

コントローラは、専用のコントローラ、又は適切にプログラムされたコンピュータを備えることができる。コントローラは、ソフトウェア、ハードウェア、又はハードウェアとソフトウェアの任意の適切な組み合わせで実装されてもよい。いくつかの実施形態では、コントローラは、より多くのASIC(特定用途向け集積回路)又はFPGA(フィールドプログラマブルゲートアレイ)又は他の適切な回路を含むことができる。

#### 【0083】

図1の実施形態では、ターゲット8及びレーザ4は空気中に配置され、表面のレーザ処

10

20

30

40

50

理は空气中で行われる。ターゲット 8 及びレーザ 4 は、関連するポンプ及び／又はガス供給源を有する密閉可能な及び／又はポンピング可能なチャンバ 10 内に配置することができ、表面のレーザ処理は、真空中又は所望の気体状態、例えば選択された反応性ガス又は不活性ガスの存在下で行ってもよい。チャンバ 10 は、いくつかの実施形態では省略される。

#### 【0084】

図 1 の実施形態では、ターゲットはアルミナを含むセラミックターゲットであり、例えば、例えば 99.5% 又は 99.5% 超の純度のアルミナである。他の実施形態では、他のセラミックターゲットを使用してもよい。例えば、ターゲットは、任意の適切な磁性、導電性又は誘電性セラミック材料を含んでもよい。

10

#### 【0085】

例えば、ターゲットは、スピネル構造を有するセラミック材料、例えば M が共有結合力チオノンである式  $M(Fe_2O_4)$  を有するスピネル構造を含んでもよい。M は、マンガン ( $Mn^{2+}$ )、ニッケル ( $Ni^{2+}$ )、コバルト ( $Co^{2+}$ )、亜鉛 ( $Zn^{2+}$ )、銅 ( $Cu^{2+}$ )、 $Mn^{2+}$ )、マグネシウム ( $Mg^{2+}$ ) のグループから選択された共有結合力チオノンであってもよい。あるいは、M は、一価カチオノン、例えばリチウム ( $Li^+$ ) 又はさらに空孔又は複数の空孔、例えば正電荷のそのような欠如が追加の三価の鉄カチオノン ( $Fe^{3+}$ ) によって補償され得る場合を表してもよい。

#### 【0086】

あるいは、いくつかの実施形態では、セラミックターゲットは、フェライト材料、例えば六方晶フェライト材料、例えば構造  $M(Fe_{12}O_{19})$  を有する材料を含んでもよい。M は、バリウム ( $Ba$ )、ストロンチウム ( $Sr$ )、鉛 ( $Pb$ ) のグループから選択してもよい。

20

#### 【0087】

他の実施形態では、セラミックターゲットは、ガーネットフェライト材料であって、例えばケイ酸塩ミネラルガーネットの構造を有し、例えば化学式  $M_3(Fe_5O_{12})$  を有し、M はイットリウム又は希土類イオノンであってもよいものを含んでもよい。

#### 【0088】

いくつかの実施形態では、セラミックターゲットは、厚膜又は薄膜の抵抗器又は電極、又はそのような厚膜抵抗器又は薄膜抵抗器又は電極として又はその一部として使用するのに適することがある材料を含んでもよい。実施形態において、セラミックターゲットは、金属酸化物材料、例えば酸化鉛 ( $PbO$ )、二酸化ルテニウム ( $RuO_2$ )、ルテニウム酸ビスマス ( $Bi_2Ru_2O_7$ ) のグループから選択された材料を含んでもよい。セラミックターゲットは、重なり合うエネルギー・バンドを有するセラミック材料を含んでもよい。

30

#### 【0089】

他の実施形態では、ターゲットはセラミック導体を含んでもよい。例えば、ターゲットは、酸化インジウム ( $In_2O_3$ ) 及び／又は酸化スズ ( $SnO_2$ ) 又は酸化インジウムスズ ( $ITO$ ) を含んでもよい。

40

#### 【0090】

実施形態では、セラミックターゲットは、加熱要素、又はそのような加熱要素として、又はその一部として使用するのに適することがある材料を含んでもよい。実施形態において、ターゲットは、炭化ケイ素 ( $SiC$ )、ニケイ化モリブデン ( $MoSi_2$ )、亜クロム酸ランタン ( $LaCr_2O_4$ )、ジルコニア ( $ZrO_2$ ) のグループから選択された材料を含んでもよい。

#### 【0091】

実施形態では、セラミックターゲットは、サーミスタ又はそのようなサーミスタとして又はその一部として適することがある材料を含んでもよい。実施形態において、ターゲットは、スピネル鉄材料、コバルトスピネル材料及びマンガンスピネル材料からなるグループから選択された材料を含んでもよい。

50

## 【0092】

実施形態では、セラミックターゲットは、超伝導体材料、例えばイットリウムバリウム銅酸化物 ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ )、ビスマス・ストロンチウム・カルシウム・銅酸化物材料(例えば  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_6$ 、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$  又は  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ )、ビスマス・ストロンチウム・カルシウム・銅酸化物材料(例えば  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_6$ 、 $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ 、 $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ 、又は  $\text{TlBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{11}$ )又は水銀・バリウム・カルシウム・銅酸化物材料(例えば、 $\text{HgBa}_2\text{CuO}_4$ 、 $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_6$ 、又は  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ )であってもよい。

## 【0093】

10

実施形態では、ターゲットは、ペロブスカイト材料を含んでもよい。実施形態では、ターゲットは、非化学量論的鉛、ストロンチウム又はカルシウム置換を含むチタン酸バリウム ( $\text{BaTiO}_3$ ) 又はチタン酸バリウムを含んでもよい。

## 【0094】

20

動作中には、所望の特性を有するパルス状のレーザ放射は、レーザコントローラ 6 によって制御されたレーザ 4 によって、表面に構造周期的な配置を作成するように、ターゲット 8 の表面を横切って走査される。例えば、平行な列に配置されたピーク及びトラフを形成するために、レーザビームは、ピークによって分離された平行なトラフを形成するよう表面を横切る平行に離間された経路に沿って走査される。表面でレーザビームを適切に走査することによって、他の任意の適切な構造の構成を形成することができる。

## 【0095】

レーザの動作パラメータ、及びそのようなパラメータをリンクする特定の式は、以下のように表すことができる。

## 【0096】

波長 ( ) [ m ]

レーザの繰返し率 ( ) [ Hz ]

レーザのパルス長 ( ) [ s ]

レーザの平均出力 ( $P_{avg}$ ) [ W ] 一期間  $t$  のエネルギー流量を表す。

1 パルスあたりのエネルギー ( $E_p$ ) [ J ]

レーザのフルエンス ( $F$ ) [ J / cm<sup>2</sup> ]

30

ターゲット上のビームスポット径 ( $r$ ) [ m ]

ターゲット上のビームスポット面積 ( $A = r^2$ ) [ m<sup>2</sup> ]

ターゲットの表面がレーザビームによって走査された回数 ( $N$ ) 無次元

ターゲットの表面がレーザビームによって走査された速度 ( $V$ ) [ m / s ]

ターゲットの表面の各スポット当たり照射されたパルスの数 ( $n$ ) [ 無次元 ]

パルス間の時間間隔 一周期 ( $t$ ) [ s ]

ピーク出力 ( $P_{peak}$ ) [ W ] - 単一パルス内のエネルギー流量を定義する。

出力密度又は強度 ( $I$ ) [ W / cm<sup>2</sup> ]

## 【0097】

## 【数1】

40

$$t = \frac{1}{\gamma}$$

## 【数2】

$$n = \frac{(2r)\gamma}{V}$$

【数3】

$$E_p = \frac{P_{avg}}{\gamma}$$

【数4】

$$F = \frac{E_{pulse}}{A}$$

【数5】

$$P_{peak} = \frac{E_{pulse}}{\tau}$$

10

【数6】

$$I = \frac{P_{peak}}{A}$$

20

【0098】

適切な動作パラメータは、所望の特性、例えばパルスの所望の出力密度のパルス状のレーザ放射を得るために、例えば上記の式及び表現に基づいて選択することができる。

【0099】

表1は、アルミナの様々なサンプルの表面に所望の構造の周期的な配置を作成するよう、図1の装置のレーザの動作パラメータを提供している。

【0100】

表面のレーザ処理は、PSCAのサンプルについてはアルゴン雰囲気中で、表1の他の全てのサンプルについては空气中で行った。

【0101】

【表1】

サンプル名	PSCA	PS2L1R	PS2C1R	PS2L2R	PS2C2R	PS4L1R	PS1C1R
波長 (nm)	532	532	532	532	532	532	532
持続時間 $\tau$	10 ps	10 ps	10 ps	10 ps	10 ps	10 ps	10 ps
繰返し率 (kHz)	200	200	200	200	200	200	200
出力 (W)	2	2	2	2	2	4	1
レーザ焦点 スポット径 ( $\mu\text{m}$ )	12	12	12	12	12	12	12
パルスエネルギー ( $\mu\text{J}$ )	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	20.00	5.00
フルエンス (J/cm <sup>2</sup> )	8.84	8.84	8.84	8.84	8.84	17.68	4.42
構造 (クロス/ライン)	クロス	ライン	クロス	ライン	クロス	ライン	クロス
ハッチ距離 ( $\mu\text{m}$ )	24	24	24	24	24	24	24
走査速度 (mm/s)	6	6	6	6	6	6	6
パス	1	1	1	2	2	1	1
パス当たり スポット当たりの パルス	400	400	400	400	400	400	400
レーザ処理された 領域の幅 (mm)	14	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
レーザ処理された 領域の長さ (mm)	14	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
処理時間 (分)	45.37	26.74	53.48	53.48	106.96	26.74	53.48

## 【0102】

表1のサンプルは3mmの厚さを有し、サンプルのレーザ処理領域は14mm×14mm（サンプルがPSCAの場合）又は15.2mm×15.2mm（他のサンプルの場合）であった。各サンプルは、99.7%以上の純度を有する酸化アルミニウム（アルミナ）であり、これは特定の粒子加速器用途に用いられる等級である。

## 【0103】

表1の各サンプルの二次電子収量（SEY）を、サンプル上の三つ又は四つの異なるスポットの異なる一次電子エネルギーについて測定した。帯電効果を避けるために、各測定点の間に低エネルギー電子（36eV）を表面に衝突させた。一つのデータ点を測定するための最大照射線量は約 $1 \times 10^{-12}\text{C}$ であった。したがって、一つのスペクトルを測定するための総線量は約 $1 \times 10^{-11}\text{C}$ であった。

## 【0104】

図2は、レーザ処理表面の3つの異なるスポットにおけるサンプルのPSCAの一次電子エネルギーの関数としてのSEYのプロットである。図3は、比較のために、レーザ処理されていないサンプルの裏側の3つの異なるスポットにおける、サンプルのPSCAについての一次電子エネルギーの関数としてのSEYのプロットである。

## 【0105】

PSCAのサンプルの表面のレーザ処理は、SEYの約8から9（未処理裏面の場合）からレーザ処理表面の約2.2への減少をもたらしたことが分かる。

## 【0106】

図4から図9は、サンプルのPS1C1R、PS2C1R、PS2C2R、PS2L1R、PS2L2R及びPS4L1Rそれぞれの一次電子エネルギーの関数としてのSEYのプロットである。

10

20

30

40

50

## 【0107】

表1の様々なサンプルの近似した最大SEY値を以下の表2にまとめる。

## 【0108】

## 【表2】

サンプル	レーザ処理表面について得られた最大SEY値
PSCA	2.2
PS1C1R	2.2
PS2C1R	1.6
PS2C2R	1.7 (異常値 1.9)
PS2L1R	1.9
PS2L2R	2.2
PS4L1R	2.5

10

## 【0109】

表1のサンプルの走査型電子顕微鏡(SEM)画像を得て、サンプルの表面のレーザ処理によって形成された構造を示す。

## 【0110】

図10aは、サンプルのPSCAのレーザ処理表面のSEM画像である。

20

## 【0111】

図10bは、PS2L1Rのサンプル(左上の画像)、PS2L2Rのサンプル(左下の画像)、PS2C1Rのサンプル(右上の画像)及びPS2C2Rのサンプル(右下の画像)のレーザ処理表面のSEM画像を示している。

## 【0112】

図10cは、PS4L1Rのサンプル(左側画像)及びPS1C1Rのサンプル(右側画像)のレーザ処理表面のSEM画像を示している。

## 【0113】

図11aから図11eは、レーザビームの出力密度がそれぞれ0.74TW/cm<sup>2</sup>、0.88TW/cm<sup>2</sup>、0.95TW/cm<sup>2</sup>、2TW/cm<sup>2</sup>、1.3TW/cm<sup>2</sup>についてのレーザ処理表面のSEM画像であり、サンプルをアルゴン雰囲気中でレーザ処理されている。図11fから図11jは、レーザビームの出力密度がそれぞれ0.3TW/cm<sup>2</sup>、0.4TW/cm<sup>2</sup>、2TW/cm<sup>2</sup>、0.6TW/cm<sup>2</sup>及び1TW/cm<sup>2</sup>についてのレーザ処理表面のSEM画像であり、サンプルは空気中でレーザ処理されている。他の動作パラメータは、表1のサンプルのPSCAと実質的に同じであった。

30

## 【0114】

(アルゴン雰囲気下で処理された)サンプルのPSCAの通常の拡大されていない図ではサンプルの表面は黒く見えるが、表1の他のサンプルの通常の拡大されていない図ではサンプルの表面は白色に見えるか、又はサンプルのPSCAの表面より少なくともかなり淡く見える。

40

## 【0115】

酸化アルミニウムのサンプルの分光特性の測定も行った。図12は、レーザ加工の前に、CERNによってキッカーマ磁石に使用された(Ceeraと呼ばれる、約99.7%の純度を有する)酸化アルミニウムのサンプル及び(ホワイトCeeraと呼ばれる)別のサンプルの酸化アルミニウムの全反射率、全透過率及び吸収率を示すグラフである。このスペクトルは、532nmにおけるいくらかの吸収率及び1064nmにおける非常に低い吸収率を示している。反射率は、人間の目に見えるサンプルの異なる色に従うサンプルについて異なる。両方のサンプルの厚さは3mmであった。これらの測定値から、532nm、又は利用可能な他のレーザ波長である515nmでのレーザ処理が適切であることが判明した。

50

## 【0116】

表1のサンプルのレーザ処理された表面について測定された最大SEY値は、1.6から2.2の間で変化することが、上に概説した結果から分かる。SEYが最も低いサンプルはPS2C1Rであり、最大値は1.6である。サンプルの反射率とSEYとの間には実質的なリンクはないようである。いくつかのサンプルは200eVの電子エネルギーで異常値を有し、これは表面の不均一性に起因するかもしれない。

## 【0117】

サンプルがアルミナであるいくつかの他の実施形態では、サンプルの表面に所望の構造の周期的な配置を作成するように、以下のように動作パラメータを表3から選択してもよい。動作パラメータの値は、他の興味のあるセラミック材料の場合にも表3から選択してもよい。

## 【0118】

## 【表3】

波長 (nm)	パルス 幅範囲	焦点 スポット 径	繰返し率 (kHz)	平均 出力 (W)	走査速度 (mm/s)	繰返し 数	ハッチ 距離 (mcm)	出力密度 (強度)
355 nm, 532 nm 又は 1064 nm	500fs - 1ns	1μm - 100μm	10kHz - 200 kHz	1-10	1-100	1-10	10-100	0.1TW/cm <sup>2</sup> から 3TW/cm <sup>2</sup>

## 【0119】

アルゴン中のレーザ処理について、0.1TW/cm<sup>2</sup>から3TW/cm<sup>2</sup>の出力密度の範囲で良好な結果が得られ、532nmの波長について0.5TW/cm<sup>2</sup>から1.5TW/cm<sup>2</sup>の出力密度の範囲で特に良好な結果が得られてもよい。しかしながら、高度に組織化された構造化は、空気又はアルゴンのいずれかでのレーザ加工に対して達成される。

## 【0120】

表1から表3及び図2から図12に関連して上述した結果は、TW/cm<sup>2</sup>の範囲のレーザビーム出力密度を用いて得られた。別の実施形態では、セラミック表面のレーザパターニングは、GW/cm<sup>2</sup>の範囲のレーザビーム出力密度を使用して得られる。

## 【0121】

表4は、図1の装置のレーザの動作パラメータを提供し、GW/cm<sup>2</sup>のレーザビーム出力密度を使用して、アルミナのサンプル(NSCAのサンプルと呼ぶ)の表面に所望の構造の周期的な配置を作成する。表面のレーザ処理は、NSCAのサンプルについてアルゴン雰囲気中で行った。

## 【0122】

10

20

30

【表4】

サンプル名	NSCA
波長 (nm)	532
持続時間 $\tau$	10 ns
繰返し率 (kHz)	20
出力 (W)	3.46
レーザ焦点スポット径 ( $\mu\text{m}$ )	60
パルスエネルギー ( $\mu\text{J}$ )	173.0
フルエンス ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )	6.12
構造 (cross/line)	クロス
ハッチ距離 ( $\mu\text{m}$ )	70
走査速度 ( $\text{mm}/\text{s}$ )	20
パス	10
パス当たりスポット当たりのパルス	60
レーザ処理領域の幅 (mm)	14
レーザ処理領域の長さ (mm)	14
処理時間 (分)	46.67

10

20

## 【0123】

表4は、 $\text{TW}/\text{cm}^2$  の範囲のレーザ出力密度で処理された特定のサンプルの動作パラメータを提供した表1と同じフォーマットである。

## 【0124】

表1のNSCAのサンプルは3mmの厚さを有し、サンプルのレーザ加工領域は14mm × 14mmであった。サンプルは、99.7%以上の純度を有する酸化アルミニウム(アルミナ)であり、これは特定の粒子加速器用途に用いられる等級である。

## 【0125】

表4のNSCAのサンプルの二次電子収量(SEY)を、サンプルの3つの異なるスポットにおける異なる一次電子エネルギーについて測定した。帯電効果を避けるために、各測定点の間で低エネルギー電子(36eV)を表面に衝突させた。一つのデータ点を測定するための最大照射線量は約 $1 \times 10^{-12}\text{C}$ であった。したがって、一つのスペクトルを測定するための総線量は約 $1 \times 10^{-11}\text{C}$ であった。

30

## 【0126】

図13は、サンプルのNSCAについてレーザ処理された表面の3つの異なるスポットにおける一次電子エネルギーの関数としてのSEYのプロットである。

## 【0127】

SEY測定の実施後、500eVの電子で $1 \times 10^{-2}\text{C}/\text{mm}^2$ の総線量までサンプルに衝突することによって、より低いSEY値が得られるようにNSCAのサンプルをコンディショニングし、次に一晩にわたりサンプルを空気に暴露した。

40

## 【0128】

図14は、サンプルのNSCAについて500eVの電子を用いて空気に暴露した後でレーザ処理された表面の3つの異なるスポットにおける一次電子エネルギーの関数としてのSEYのプロットである。比較のために図13のSEY結果も図14に含まれている。

## 【0129】

コンディショニング及び空気曝露後に得られた図14のSEY結果は、最大SEYが増加を示すことが判明し、反応性の表面を示唆している。コンディショニング及び空気曝露後のSEYスペクトルの測定値は再現性が良くなかったが、その理由はセラミックのバルクに電荷を注入することであるかも知れない。

50

## 【0130】

N S C A のサンプルの表面の帯電を確認するために、コンディショニング及び空気曝露後に X P S スペクトルを得るための X 線光電子分光測定を行った。X P S スペクトルは、アルミニウム（15 原子%）と酸素（79 原子%）が主な元素であり、炭素汚染が低く（1 原子%）、フッ素が一部（5 原子%）存在することを示した。

## 【0131】

図 15 a 及び図 15 b は、サンプルの N S C A のレーザ処理された表面の異なる倍率レベルでの S E M 画像である。

## 【0132】

図 16 a から図 16 d は、レーザビームの出力密度がそれぞれ 0 . 2 5 G W / c m<sup>2</sup>、0 . 3 5 G W / c m<sup>2</sup>、0 . 4 5 G W / c m<sup>2</sup>、及び 0 . 5 5 G W / c m<sup>2</sup> であるレーザ処理表面の S E M 画像であり、サンプルは空気中でレーザ処理された。図 16 e から図 16 n は、レーザビームの出力密度がそれぞれ 0 . 6 G W / c m<sup>2</sup>、0 . 6 5 G W / c m<sup>2</sup>、0 . 7 G W / c m<sup>2</sup>、0 . 7 5 G W / c m<sup>2</sup>、0 . 8 G W / c m<sup>2</sup>、0 . 8 5 G W / c m<sup>2</sup>、0 . 9 G W / c m<sup>2</sup>、0 . 9 5 G W / c m<sup>2</sup>、1 G W / c m<sup>2</sup>、及び 1 . 5 G W / c m<sup>2</sup> であり、サンプルをアルゴン雰囲気中でレーザ処理した。他の動作パラメータは、表 4 のサンプルの N S C A と実質的に同じであった。

## 【0133】

サンプルがアルミナであるいくつかの他の実施形態では、以下のように動作パラメータを表 5 から選択して、サンプルの表面に所望の構造の周期的な配置を作成してもよい。動作パラメータの値は、他の興味のあるセラミック材料の場合には表 5 から選択してもよい。

## 【0134】

## 【表 5】

波長 (nm)	パルス幅範囲	焦点スポット径	繰返し率 (KHz)	平均出力 (W)	走査速度 (mm/s)	繰返し数	ハッチ距離 (mcm)	出力密度 (強度)
355 nm, 532 nm 又は 1064 nm	1ns - 100ns	20μm - 100μm	10kHz - 200 kHz	3-8	10-50	1-10	10-100	0.002GW/cm <sup>2</sup> から 3GW/cm <sup>2</sup>

## 【0135】

出力密度の範囲が 0 . 1 G W / c m<sup>2</sup> から 3 G W / c m<sup>2</sup> で良好な結果が達成され、出力密度の範囲が 0 . 2 G W / c m<sup>2</sup> から 1 G W / c m<sup>2</sup> で 5 3 2 n m の波長に対して特に良好な結果が得られた。しかし、高度に組織化された構造化は、空気又はアルゴンのいずれかでのレーザ加工に対して達成される。

## 【0136】

実施形態の特徴は、T W / c m<sup>2</sup> 又は G W / c m<sup>2</sup> の範囲の出力密度を有するレーザ放射を表面に照射することによって、セラミック表面に周期構造を形成することができるこである。理論に縛られることを望むことはなく、保護の範囲を限定することなく、少なくともいくつかの実施形態に関連して起こり得るプロセスに関する以下のコメントが提供される。

## 【0137】

レーザ工学は、実施形態による周期構造の形成を提供する最も包括的な方法論を提供する。精密レーザ工学は、金属内の自由電子、絶縁体内の振動、そして実際に半導体内の両方のタイプの励起を励起することが期待されている。レーザが材料を設計するメカニズムは次の事項を含んでいる。

10

20

30

40

50

## 【0138】

(i) 光熱相互作用 (P T I) 短い滞留時間提供するレーザビーム(例えば、ナノ秒のパルス幅を有するレーザ)を使用して一般的に達成される。

(ii) 光アブレーション相互作用 (P A I) 超短滞留時間提供するレーザビーム(例えば、ピコ秒又はフェムト秒パルス幅を有するレーザ)を使用して想定される。

## 【0139】

表4及び5及び図13から図16に関連して説明した実施形態に関するレーザ処理は、P T I領域ですることができる。表1から表3及び図2から図11に関連して説明した実施形態に関するレーザ処理は、P A I領域ですることができる。

## 【0140】

P T I領域では、集束されたレーザビームは、空間的に閉じ込められた強い熱源として働く。ターゲット物質は急速に加熱され、最終的には気化する。保護範囲の制限を示唆することを望まないが、ターゲット物質は沸騰して蒸発したと呼ぶことができる。このアプローチの利点は、比較的多量のターゲット材料の迅速な除去を可能にすることである。しかしながら、周辺の熱影響部(H A Z)の損傷及び処理後のいくらかのリキャスト材料の存在は、精密レーザ材料工学のための熱閉じ込めの点で限界をもたらす。

10

## 【0141】

P A I領域では、レーザは材料内の光で多光子吸収を駆動する。これは、材料から電子を取り除き、材料はクーロン反発のために爆発する。P A Iは、単純に加熱するのではなく、物質を保持する分子結合又は原子結合を直接破壊することを含むため、本質的に「熱い」プロセスではない。材料は非常に短い時間枠内で除去されるので、アブレーションされた材料は周囲の材料に熱が広がる前に大部分のエネルギーを持ち去る。これらの影響により、H A Zが著しく縮小することがある。また、これはきれいなプロセスであり、リキャスト材料を最小限に抑えることができるため、手の込んだ後処理の必要性が排除される。P A I領域は、線形の光吸収が低く、したがって既存の技術では設計が困難な高バンドギャップ材料を含む、非常に広範囲の材料に適合する。P A Iメカニズムは「波長中性」、すなわち、材料がレーザ波長で通常は透過性であっても、非線形吸収を低減することができると考えられる。

20

## 【0142】

P A Iメカニズムは、セラミック表面の電子仕事関数のカスタム設計を根本的に可能にするであろう。セラミックは、通常、金属イオンと非金属原子とで構成され、硬度、脆さ、耐熱性などの特性を与える、部分的にイオン性で部分的に共有結合による結合で結合されている。したがって、これらの材料における光物質相互作用メカニズムにおいて重要な役割を果たすことがあり、最終的にはレーザ精密構造化プロセスの問題とセラミック表面の表面電位の設計に寄与するがあるパラメータを正確に特定することは重要性があることがある。

30

## 【0143】

P T I及びP A Iメカニズムは、それぞれ図17a及び図17bに概略的に示されている。

40

## 【0144】

実施形態のさらなる特徴は、例えばピコ秒範囲以下のパルス持続時間を使用した、表面に照射されるパルス放射の特性が、形成される周期構造がより高いエネルギーのパルス放射及び/又は例えばナノ秒範囲の持続時間のパルスのようなより長い持続時間を用いて形成されたものより、より浅い深さであってもよく、及び/又はより緩やかに傾斜してもよいようなものであるということである。

## 【0145】

やはり、理論に縛られることを望むことはなく、保護の範囲を限定するものではないが、少なくともいくつかの実施形態に関連して起こることがあるプロセスに関する以下のさらなるコメントが提供される。

50

## 【0146】

非常に高い強度（又は高照度）での照射では、濃い、強く吸収する物質の問題に直面し、最初の数十nmにおいて約 $10^{20} \text{ W/cm}^3$ の速度でエネルギーが解放される。このエネルギーの一部は、一度無作為化され、材料のバルクに伝導され、一部は加熱された層の熱膨張によって指向性運動エネルギーに変換される。二つの領域は、この点で区別される。

#### 【0147】

1. ナノ秒パルス状レーザ相互作用であり、材料の膨張及びアブレーションによって支配される。ここでは、加熱された層の熱圧力は、下にあるターゲット材料の著しい圧縮を引き起こすのに十分である。

#### 【0148】

2. ピコ秒パルス状レーザ相互作用（熱伝導が支配的であるが、これはパルス持続時間の間の流体力学的運動は無視できるためである（ここでレーザパルスはナノ秒よりも1000倍以上短くてよい）。ピコ秒領域では、処理された層の流体力学的膨張が開始される前に、高密度材料の強い加熱が起こってもよい。この領域で生成されたプラズマは、固体ターゲットそれ自体と本質的に同じ密度を有してもよい。これによって、冷却すると、照射パラメータに応じて、ナノ構造で覆われた1マイクロメートルから50マイクロメートルの範囲の微細構造が形成される。

#### 【0149】

いくつかの実施形態によれば、ピコ秒持続時間パルス放射を用いると、場合によっては、表面を適切なパターンのレーザビームで走査することによって得られるより大きなスケールのピーク及びトラフに加えて、表面にナノリップル又は他の小規模構造の形成を引き起こすことができる。このようなナノリップル又は他の小規模構造は、より大きな周期的なピーク及びトラフ構造によって得られる減少に加えて、場合によってはSEY又はSEYをさらに減少させてもよい。また、いくつかの場合には、ナノ秒パルスではなくピコ秒に関連するナノリップル又は他の小規模構造及び/又は浅いピーク及びトラフが、例えば、表面の改善された又は誘導の低減のような代替の電気的特性を提供してもよく、及び/又は表面にナノ又はマイクロスケールで増加した領域を提供することができる。

#### 【0150】

やはり、理論に縛られることを望むことはなく、保護の範囲を限定することなく、さらなるコメントは以下の通りである。

#### 【0151】

表面粗さが増すにつれて、最大SEYはより多くの谷を特徴とする（例えば、統計的に含む）表面について減少することがあり、より多くの丘が広がる（例えば、統計的に含む）表面で有意に増加することがある。この観察は、異なる形態学的特徴及び表面電子仕事関数(EWF)に起因して、丘及び谷構造がSEYのそれぞれ増加及び減少に増減に非常に有効であることを示している。

#### 【0152】

総SEYは、表面に入射した一次電子(PE)に対する放出された真の二次電子(SE)及び反射電子(BSE)の両方の比率を示してもよい。

#### 【0153】

例：空気にさらされたサンプルの表面は、吸着したガスや炭化水素によって容易に汚染され、SEYが増加することがある。

#### 【0154】

汚染によって引き起こされた高いSEYは、電子増倍を生じさせ、最終的にはマイクロ波デバイスの性能を低下させ、大規模粒子加速器における破壊的電子クラウド不安定性を低下させるであろう。

#### 【0155】

SEYの増加は、電子仕事関数(EWF)の減少を示す。

#### 【0156】

粗さが増すにつれて、SEY<sub>max</sub>は丘によって隔てられた表面について顕著な増加を

10

20

30

40

50

有する。この現象は、丘構造がSE放出において積極的な役割を果たすであろうことを示唆している。また、SEYmaxは、主に谷で特徴付けられる表面によって急速に減少し、これはSEYmaxが減少する支配的な要因であろう。

#### 【0157】

谷構造の場合、SEは側壁との衝突によって効果的に捕獲することができ、したがってSEYは減少する。それにもかかわらず、丘構造については、側壁の負の効果とは別に、SE放出にいくつかの正の効果がある。例えば、いくつかのPEは、丘を有する局所的な表面に斜めに当たり、通常の入射より多くのSEを誘導する。さらに、SEは丘の側壁に再突入することがあり、その結果としてさらにSEが発生する。ほとんどの再入射するSEは、表面ポテンシャル障壁を克服し、真空に逃げる低エネルギーで多くの真のSEを生成する高エネルギーのBSEであろう。

10

#### 【0158】

異なる表面形態によって誘導される電子仕事関数(EWF)の変化も、SEY変動の原因となることがある。仕事関数は、表面のピークで減少し、表面の粗さが増加するにつれて表面の谷で増加する。構造化作業における丘と谷は、表面のピークと谷とみなすことができる。丘構造によって導入されたより粗い表面は、しばしば電子仕事関数(EWF)がより低く、したがってSEYは自然に増加する。しかし、EWFは谷構造で表面を粗くすることによって強化され、最終的にSEYが減少する。

20

#### 【0159】

周期構造を形成するレーザ処理後のセラミック表面上に金属層を形成することにより、SEYの有意な減少がもたらされることが分かった。図18は、厚さ10nmの金層で被覆する前と後の両方で、上述のサンプル名PS2C1R及びPS2C1Rを有するアルミニナセラミックのサンプルの一次エネルギーの関数として測定されたSEYのプロットである。両方のサンプルについてSEYの有意な減少が見られることが分かる。

20

#### 【0160】

図19及び20は、金層でコーティングした後のPS2C1R及びPS2C1Rアルミニナサンプルの表面のSEM画像を示している。

30

#### 【0161】

別の実施形態では、任意の他の適切な厚さの任意の他の適切な金属をセラミック表面の金属層に使用することができる。

30

#### 【0162】

金又は他の金属の層は、任意の適切な堆積プロセス、例えば、スパッタリングプロセス、蒸発堆積プロセス又はレーザ堆積プロセスなどの任意の適切な化学的又は物理的蒸着プロセスを使用して形成することができる。一例として、コーティングを形成するためにエドワーズ(RTM)308コーティングユニットを用いてもよい。任意の他の適切な堆積装置を使用してもよい。

40

#### 【0163】

別の実施形態では、セラミック表面、又はセラミック表面に堆積された金属層には、レーザ放射の照射の後で脱脂、洗浄又は平滑化プロセス及び/又は表面炭素還元プロセスが施されることがあり、それによってSEYが低減することがある。NGL(RTM)脱脂製品を使用した洗浄を使用してもよい。代替実施形態では、任意の適切な脱脂、洗浄、平滑化又は表面炭素還元プロセスを使用してもよい。一部の実施形態では、脱脂剤は、サンプルの形態を実質的に変化させないが、炭素又は炭素含有化合物の層、混合物又は他の材料又は他の望ましくない及び/又は外来の化合物、混合物又は材料、例えば金属酸化物、グリース又は汚れを表面から除去してもよい。例えば、いくつかの実施形態では、表面形態を実質的に変化させることなく、例えば銅(I)及び銅(II)酸化物及び/又は他の物質のような表面物質を除去するために、99.7%の氷酢酸(任意の他の適切な濃度を使用することができる)を使用してもよい。

#### 【0164】

以上、本発明を純粹に例示によって説明してきたが、本発明の範囲内で詳細の変更を行

50

うことができることは理解されよう。説明の各特徴、及び（適切な場合には）図面は、独立して、又は他のそのような特徴と適切に組み合わせて提供されてもよい。

【図 1】

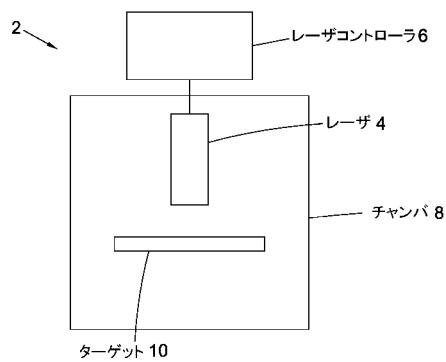


Fig. 1

【図 2】

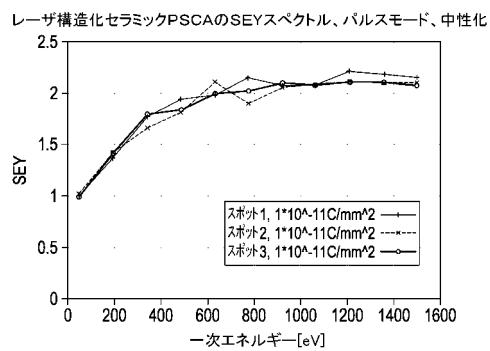


Fig. 2

【図3】

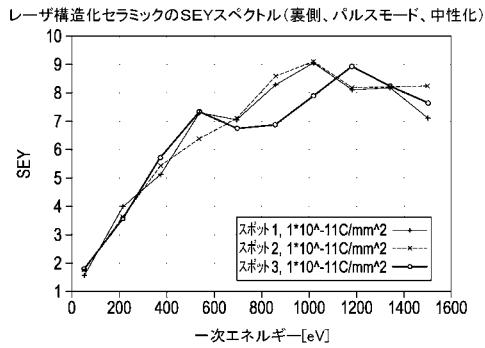


Fig. 3

【図5】

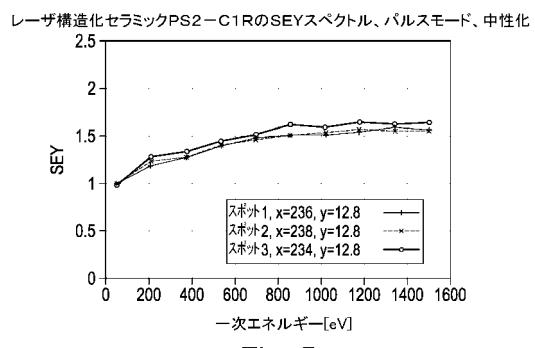


Fig. 5

【図4】

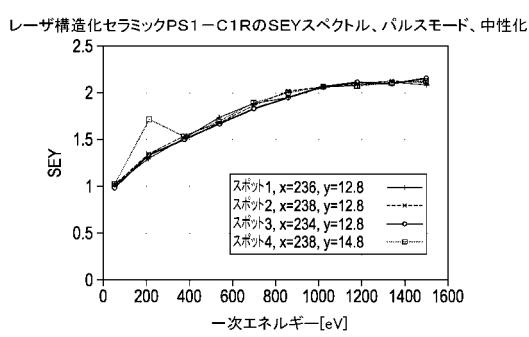


Fig. 4

【図6】

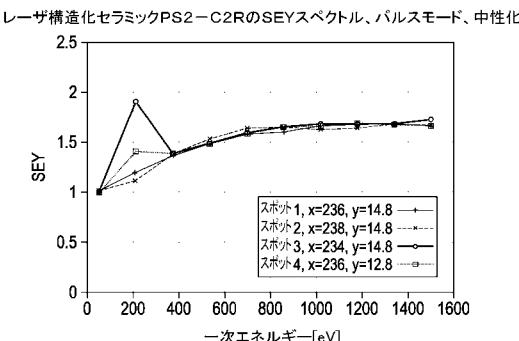


Fig. 6

【図7】

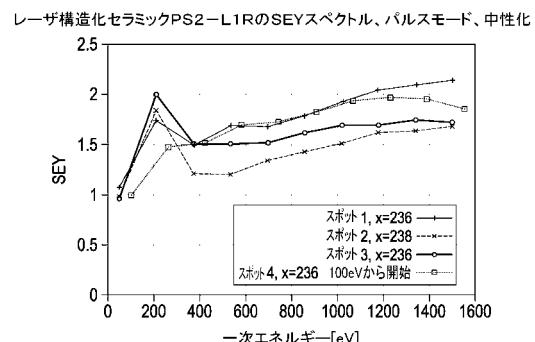


Fig. 7

【図 8】

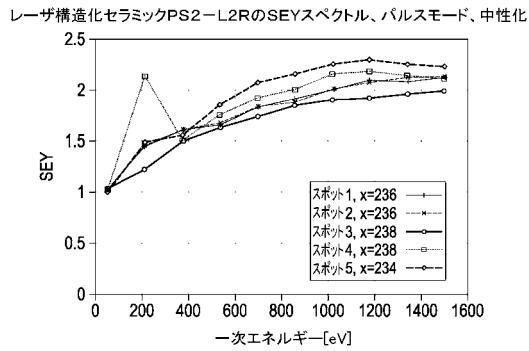


Fig. 8

【図 9】

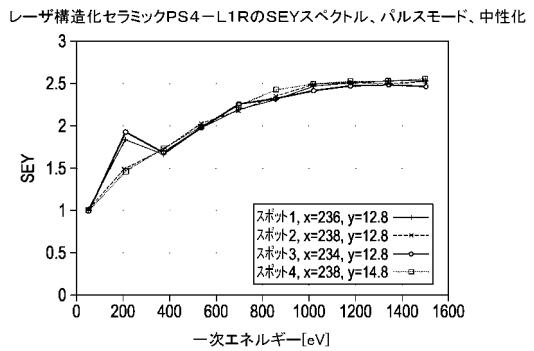


Fig. 9

【図 10a】

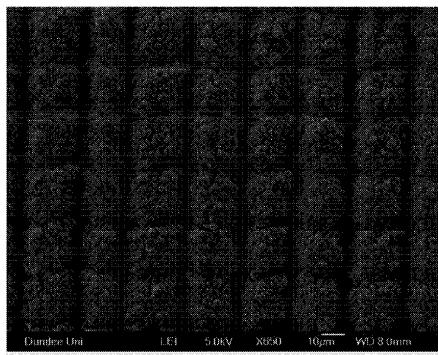


Fig. 10a

【図 10b】

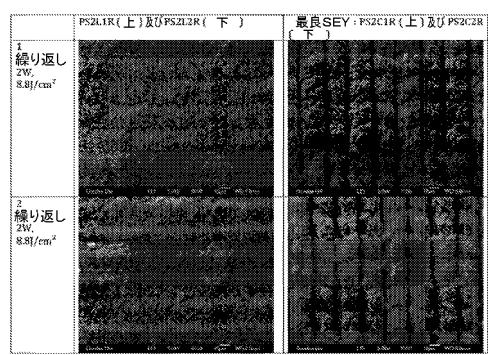


Fig. 10b

【図 10c】

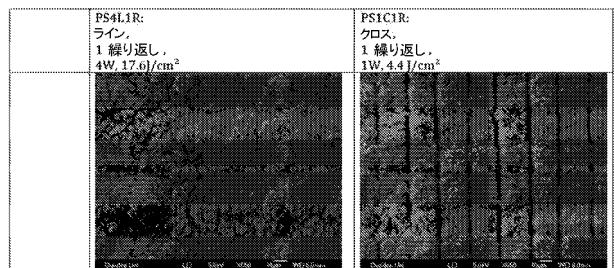


Fig. 10c

【図 11 a】

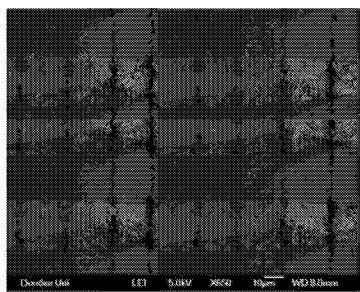
アルゴン - 0.74 TW/cm<sup>2</sup>

Fig. 11a

【図 11 c】

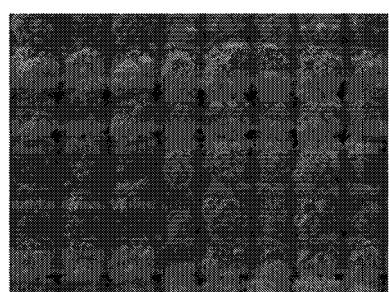
アルゴン - 0.95 TW/cm<sup>2</sup>

Fig. 11c

【図 11 b】

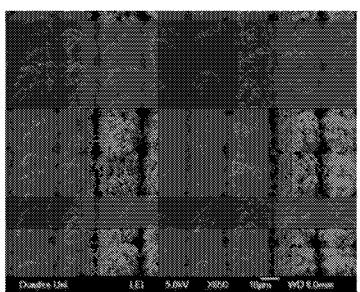
アルゴン - 0.88 TW/cm<sup>2</sup>

Fig. 11b

【図 11 d】

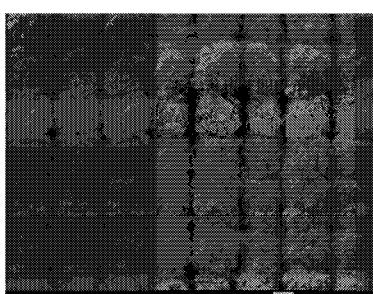
アルゴン - 2 TW/cm<sup>2</sup>

Fig. 11d

【図 11 e】

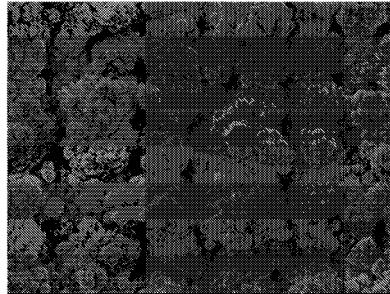
アルゴン - 1.3 TW/cm<sup>2</sup>

Fig. 11e

【図 11 f】

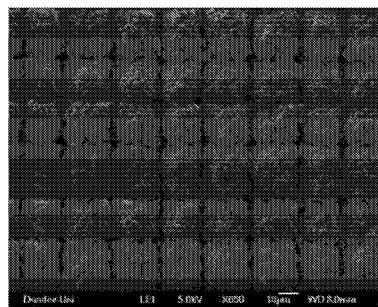
空気 – 0.3 TW/cm<sup>2</sup>

Fig. 11f

【図 11 g】

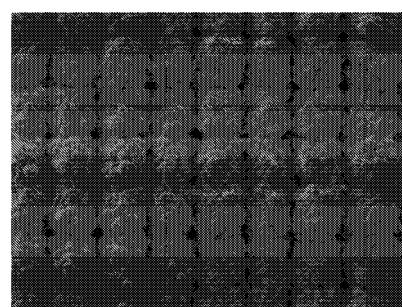
アルゴン – 0.4 TW/cm<sup>2</sup>

Fig. 11g

【図 11 h】

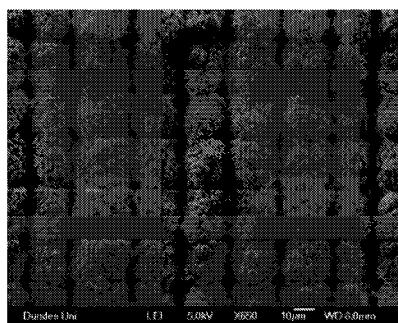
アルゴン – 2 TW/cm<sup>2</sup>

Fig. 11h

【図 11 i】

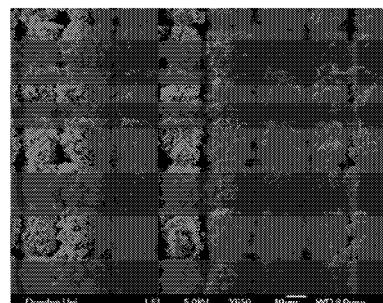
空気 – 0.6 TW/cm<sup>2</sup>

Fig. 11i

【図 1 1 j】

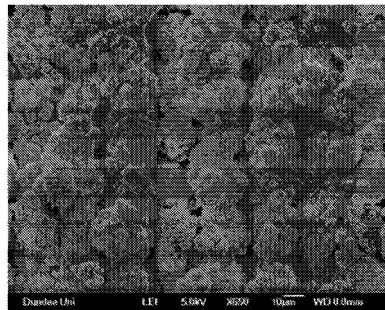
空気 - 1 TW/cm<sup>2</sup>

Fig. 11j

【図 1 2】

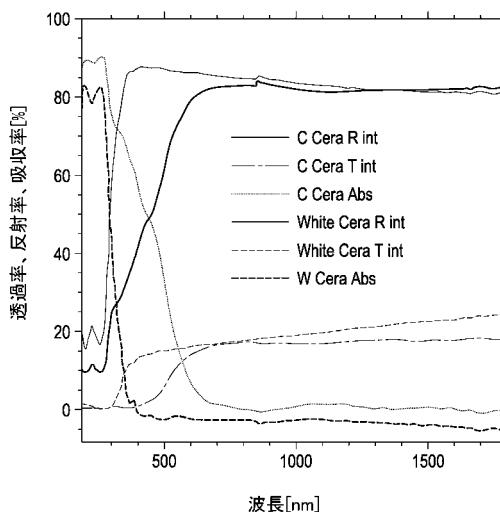


Fig. 12

【図 1 3】

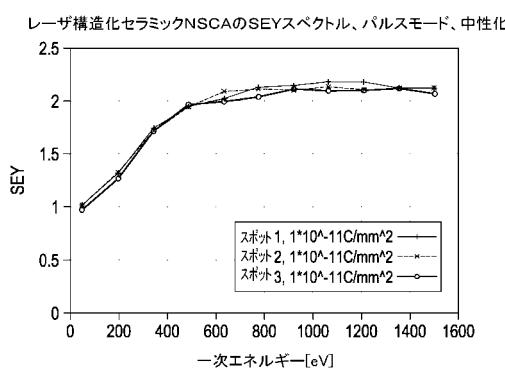


Fig. 13

【図 1 4】

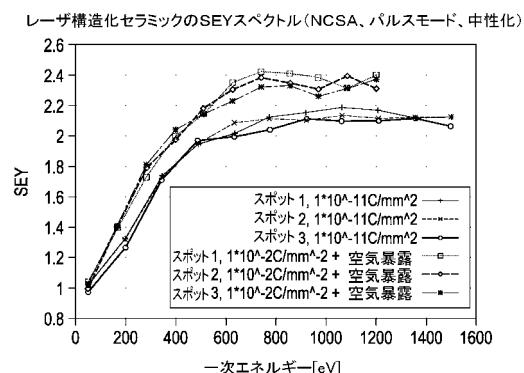


Fig. 14

【図 1 5 a】

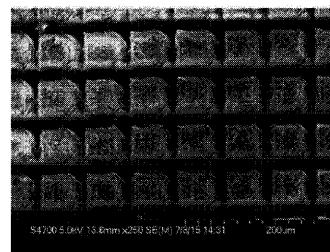


Fig. 15a

【図 15 b】

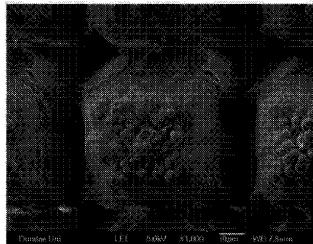


Fig. 15b

【図 16 a】

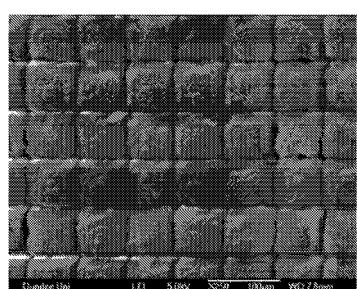
空気 – 0.25 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16a

【図 16 b】

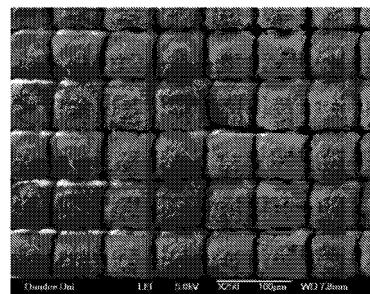
空気 – 0.35 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16b

【図 16 c】

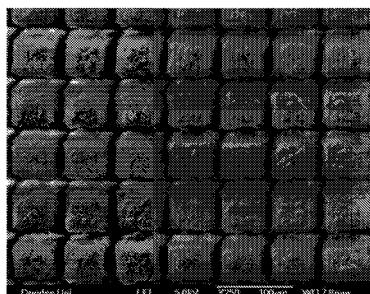
空気 – 0.45 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16c

【図 16 d】

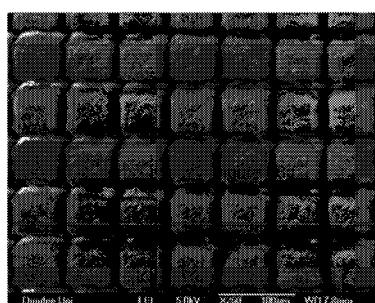
空気 – 0.55 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16d

【図 16 f】

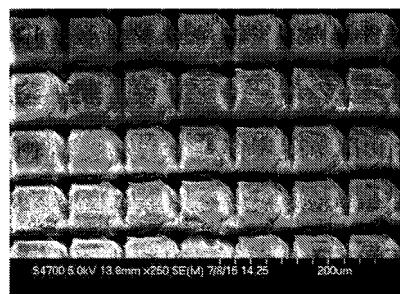
アルゴン – 0.65 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16f

【図 16 e】

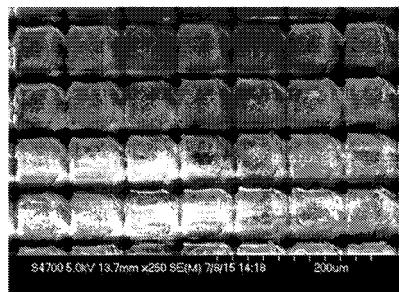
アルゴン – 0.6 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16e

【図 16 g】

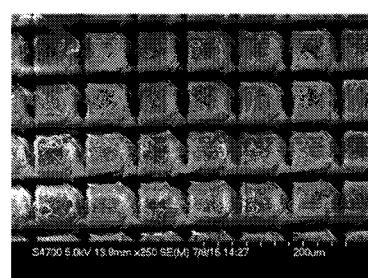
アルゴン – 0.7 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16g

【図 16 h】

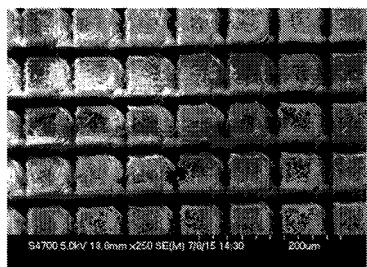
アルゴン - 0.75 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16h

【図 16 j】

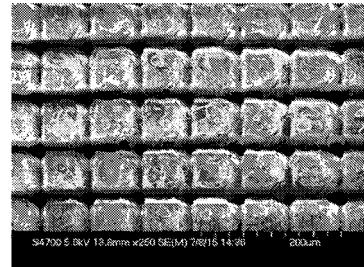
アルゴン - 0.85 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16j

【図 16 i】

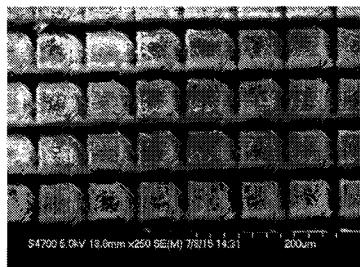
アルゴン - 0.8 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16i

【図 16 k】

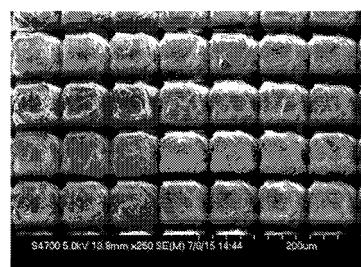
アルゴン - 0.9 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16k

【図 16 l】

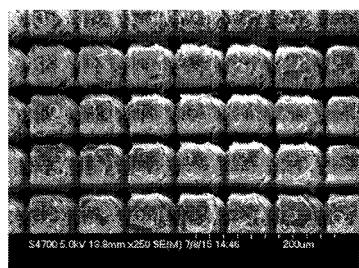
アルゴン - 0.95 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16l

【図 16 n】

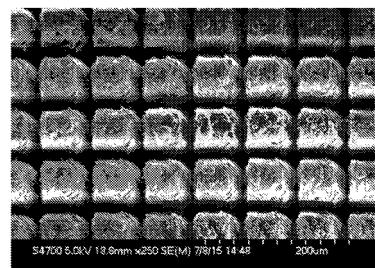
アルゴン - 1.5 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16n

【図 16 m】

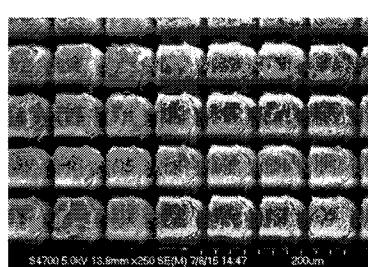
アルゴン - 1 GW/cm<sup>2</sup>

Fig. 16m

【図 17 a】

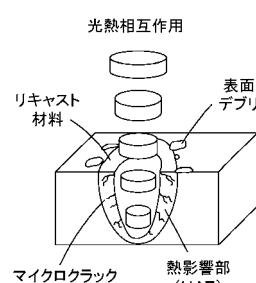


Fig. 17a

【図 17 b】

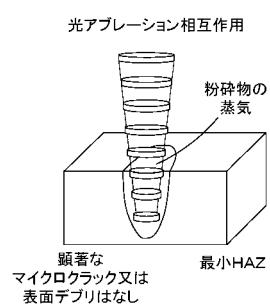


Fig. 17b

【図 18】

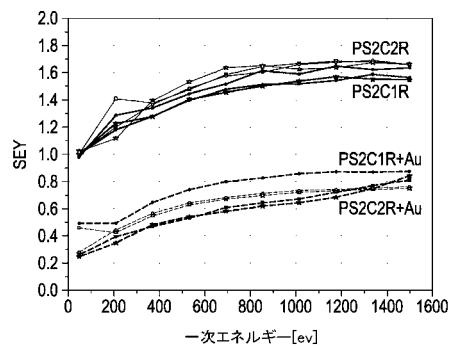


Fig. 18

【図 19】

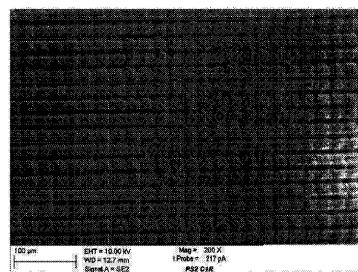


Fig. 19

【図 20】

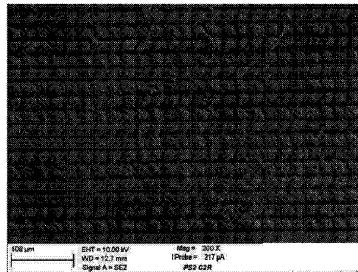


Fig. 20

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No PCT/GB2017/050621																					
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. B23K26/00 B23K26/0622 B23K26/082 B23K26/352 ADD. B23K103/04 B23K103/10 B23K103/12 B23K103/14 B23K101/32 B23K101/36 B23K103/00																							
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																							
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B23K																							
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 practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data																							
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding-right: 10px;">Category*</th> <th style="padding-right: 10px;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="padding-right: 10px;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>US 2014/185065 A1 (L. SHAH ET AL) 3 July 2014 (2014-07-03)</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>paragraphs [0004] - [0007], [0040], [0139], [0164], [0167], [0168], [0184]; figures -----</td> <td>2,3,5, 9-12, 14-16,30</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>US 2013/020297 A1 (M. C. GUPTA ET AL) 24 January 2013 (2013-01-24)</td> <td>1,4,6-8, 13, 17-29, 32,33</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>paragraph [0123]; claims; figures -----</td> <td>2,3,5, 9-12, 14-16,30</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>JP 2002 287191 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO LTD) 3 October 2002 (2002-10-03)</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>abstract paragraphs [0024], [0041]; figures -----</td> <td>1-30 -/-</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	US 2014/185065 A1 (L. SHAH ET AL) 3 July 2014 (2014-07-03)	31	Y	paragraphs [0004] - [0007], [0040], [0139], [0164], [0167], [0168], [0184]; figures -----	2,3,5, 9-12, 14-16,30	X	US 2013/020297 A1 (M. C. GUPTA ET AL) 24 January 2013 (2013-01-24)	1,4,6-8, 13, 17-29, 32,33	Y	paragraph [0123]; claims; figures -----	2,3,5, 9-12, 14-16,30	X	JP 2002 287191 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO LTD) 3 October 2002 (2002-10-03)	31	A	abstract paragraphs [0024], [0041]; figures -----	1-30 -/-
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																					
X	US 2014/185065 A1 (L. SHAH ET AL) 3 July 2014 (2014-07-03)	31																					
Y	paragraphs [0004] - [0007], [0040], [0139], [0164], [0167], [0168], [0184]; figures -----	2,3,5, 9-12, 14-16,30																					
X	US 2013/020297 A1 (M. C. GUPTA ET AL) 24 January 2013 (2013-01-24)	1,4,6-8, 13, 17-29, 32,33																					
Y	paragraph [0123]; claims; figures -----	2,3,5, 9-12, 14-16,30																					
X	JP 2002 287191 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO LTD) 3 October 2002 (2002-10-03)	31																					
A	abstract paragraphs [0024], [0041]; figures -----	1-30 -/-																					
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> 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 application or patent 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 referring 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  30 June 2017	Date of mailing of the international search report  13/07/2017																						
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Jeggy, Thierry																						

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No PCT/GB2017/050621
---

**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 2007/199927 A1 (B. GU ET AL) 30 August 2007 (2007-08-30) paragraphs [0159], [0169] - [0174]; claim 20; figures -----	31
A		1

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No
PCT/GB2017/050621

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 2014185065	A1	03-07-2014	JP	5774277 B2		09-09-2015
			JP	2010516472 A		20-05-2010
			JP	2014133263 A		24-07-2014
			US	2009268265 A1		29-10-2009
			US	2013194592 A1		01-08-2013
			US	2014185065 A1		03-07-2014
			WO	2008091898 A1		31-07-2008
<hr/>						
US 2013020297	A1	24-01-2013		NONE		
<hr/>						
JP 2002287191	A	03-10-2002	JP	4578710 B2		10-11-2010
			JP	2002287191 A		03-10-2002
<hr/>						
US 2007199927	A1	30-08-2007	US	2007199927 A1		30-08-2007
			US	2011062127 A1		17-03-2011
<hr/>						

---

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,R0,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ

(72)発明者 アップルバンド、アミン

イギリス国 ディーディー1 4エイチエヌ ダンディー ネザーゲート ユニバーシティー オブ ダンディー スクール オブ サイエンス アンド エンジニアリング

F ターム(参考) 4E168 AB01 AD18 CB18 DA02 DA03 DA04 DA32 DA45 DA46 DA47  
FB02 FB03 FB06 JA15 KA04