

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2013年3月21日(21.03.2013)



(10) 国際公開番号  
WO 2013/039036 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01N 21/73 (2006.01) H05H 1/24 (2006.01)  
H05H 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/073068
- (22) 国際出願日: 2012年9月10日(10.09.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2011-198903 2011年9月12日(12.09.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): イマジニアリング株式会社 (IMAGINEERING, Inc.) [JP/JP]; 〒6500047 兵庫県神戸市中央区港島南町7丁目4番4 Hyogo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 池田 裕二 (IKEDA Yuji) [JP/JP]; 〒6500047 兵庫県神戸市中央区港島南町7丁目4番4 イマジニアリング株式会社内 Hyogo (JP). 笹岡 亮治 (TSURUOKA Ry-oji) [JP/JP]; 〒6500047 兵庫県神戸市中央区港島南町7丁目4番4 イマジニアリング株式会社内 Hyogo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

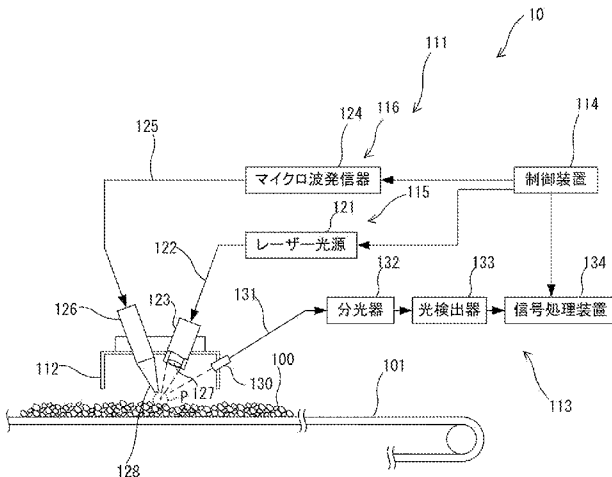
添付公開書類:

- 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: ANALYZER AND ANALYSIS METHOD

(54) 発明の名称: 分析装置及び分析方法

[図1]



- 114 CONTROLLER
- 121 LASER-LIGHT SOURCE
- 124 MICROWAVE EMITTER
- 132 SPECTROSCOPE
- 133 LIGHT DETECTOR
- 134 SIGNAL-PROCESSING DEVICE

(57) Abstract: The purpose of the present invention is to cause scattering of a pulverulent substance to be analyzed to be minimized in an analyzer over a period during which the substance is analyzed, the analyzer adapted for analyzing a plasma-state substance by analyzing light emitted therefrom. The present invention is an analyzer characterized in being provided with a plasma-generating means for generating plasma inside a space and maintaining the plasma using energy from electromagnetic waves radiating from a radiation antenna; and an optical analysis means for analyzing the plasma-state substance by analyzing plasma light emitted from the substance positioned in a plasma region, the analysis being performed during a plasma-maintaining period in which the plasma-generating means maintains the plasma using energy from electromagnetic waves. The plasma-generating means radiates electromagnetic waves from the radiation antenna using continuous waves during the plasma-maintaining period.

(57) 要約: 本発明の目的は、プラズマ状態の分析対象物質から発せられる光を分析して分析対象物質を分析する分析装置において、粉状の物質を分析対象物質とする場合に、分析対象物質の分析期間における分析対象物質の飛散を抑制することである。本発明は、空間中においてプラズマを生成し、放射アンテナから放射する電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ生成手段と、前記プラズマ生成手段が電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ維持期間に、プラズマ領域に位置するプラズマ状態の分析対象物質から発せられるプラズマ光を分析して、前記分析対象物質を分析する光分析手段とを備え、前記プラズマ生成手段は、前記プラズマ維持期間中に前記放射アンテナから電磁波を連続波で放射することを特徴とする分析装置である。

ラズマ生成手段と、前記プラズマ生成手段が電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ維持期間に、プラズマ領域に位置するプラズマ状態の分析対象物質から発せられるプラズマ光を分析して、前記分析対象物質を分析する光分析手段とを備え、前記プラズマ生成手段は、前記プラズマ維持期間中に前記放射アンテナから電磁波を連続波で放射することを特徴とする分析装置である。

WO 2013/039036 A1

## 明 細 書

**発明の名称**：分析装置及び分析方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、プラズマから発せられる光を分析することにより分析対象物質を分析する分析装置及び分析方法に関するものである。

### 背景技術

[0002] 従来より、プラズマから発せられる光を分析することにより分析対象物質を分析する分析装置及び分析方法が知られている。例えば特開2009-70586号公報には、この種の分析装置が開示されている。

[0003] 具体的に、特開2009-70586号公報には、レーザー誘起ブレイクダウン分光法 (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) を利用した計測装置が記載されている。この計測装置は、レーザー光を用いたブレイクダウンにより生じる電子を契機として、マイクロ波のエネルギーを用いたプラズマ生成を行うプラズマ生成装置を備えている。プラズマ生成装置では、マイクロ波発振器からマイクロ波パルスが発振され、そのマイクロ波パルスがアンテナから放射される。これにより、レーザー光によりプラズマが生成されるプラズマ生成領域では、プラズマがマイクロ波のエネルギーを吸収し、プラズマが拡大する。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開2009-70586号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、従来の分析装置では、プラズマを維持するために、分析対象物質が存在するプラズマ領域に放射アンテナからマイクロ波パルスが繰り返し放射される。プラズマ領域では、マイクロ波のエネルギーが脈動した状態で与えられ、マイクロ波パルスにより衝撃波が生じる。従って、粉状の物質を

分析する場合に、その物質が衝撃波により飛散し、正確な分析を行うことが困難であった。

[0006] 本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的は、プラズマ状態の分析対象物質から発せられる光を分析して分析対象物質を分析する分析装置において、粉状の物質を分析対象物質とする場合に、分析対象物質の分析期間における分析対象物質の飛散を抑制することにある。

### 課題を解決するための手段

[0007] 第1の発明は、空間中においてプラズマを生成し、放射アンテナから放射する電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ生成手段と、上記プラズマ生成手段が電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ維持期間に、プラズマ領域に位置するプラズマ状態の分析対象物質から発せられる光を分析して、前記分析対象物質を分析する光分析手段とを備え、前記プラズマ生成手段は、前記プラズマ維持期間中に前記放射アンテナから電磁波を連続波で放射する分析装置である。

[0008] 第1の発明では、プラズマ生成手段が、電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ維持期間に電磁波を連続波（CW）で放射する。分析対象物質が存在するプラズマ領域では、電磁波のエネルギーが電磁波パルスのように脈動することなく安定的に与えられる。従って、プラズマ維持期間にプラズマ領域で電磁波に起因する衝撃波が生じることが抑制される。

[0009] 第2の発明は、第1の発明において、前記プラズマ維持期間に前記プラズマ領域に前記分析対象物質を移動させる。

[0010] 第3の発明は、第1又は第2の発明において、前記プラズマ生成手段は、電圧値が一定のパルス信号を受けて前記放射アンテナから電磁波を放射し、前記光分析手段は、前記プラズマ維持期間のうち、前記プラズマ光の発光強度の変動量が所定値以下の発光強度一定期間内で分析期間を設定し、前記分析期間のプラズマ光の発光強度に基づいて前記分析対象物質を分析する。

[0011] 第4の発明は、第1乃至第3の何れか1つの発明において、前記分析対象物質は、粉状の物質であり、前記プラズマ生成手段では、前記プラズマ維持

期間の電磁波の出力が、前記分析対象物質が飛散しない値に設定されている。

[0012] 第5の発明は、第4の発明において、前記プラズマ生成手段では、電磁波の放射前のプラズマ光の発光強度の最大値より、前記プラズマ維持期間のプラズマ光の発光強度の最大値の方が大きくなるように、前記プラズマ維持期間の電磁波の出力が設定されている。

[0013] 第6の発明は、第1乃至第5の何れか1つの発明において、前記光分析手段は、前記プラズマ維持期間のプラズマ光を分析して、前記分析対象物質中に含まれる成分の混合比を算出する。

[0014] 第7の発明は、第1乃至第6の何れか1つの発明において、前記プラズマ生成手段は、マイクロチップレーザーから出力したレーザー光により生成されたプラズマを電磁波のエネルギーにより維持する。

[0015] 第8の発明は、第1乃至第6の何れか1つの発明において、前記プラズマ生成手段は、スパーク放電により生成されたプラズマを電磁波のエネルギーにより維持する。

[0016] 第9の発明は、空間中においてプラズマを生成し、放射アンテナから放射する電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ生成ステップと、前記電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ維持期間に、プラズマ領域に位置するプラズマ状態の分析対象物質から発せられるプラズマ光を分析して、前記分析対象物質を分析する光分析ステップとを備え、前記プラズマ維持期間中は、前記放射アンテナから電磁波を連続波で放射する分析方法である。

[0017] 第10の発明は、第9の発明において、前記プラズマ維持期間に、前記プラズマ領域に前記分析対象物質を移動させる移動ステップを備えている。

### 発明の効果

[0018] 本発明では、プラズマ維持期間において、プラズマ領域に電磁波のエネルギーが安定的に与えられるので、電磁波に起因する衝撃波が生じることが抑制される。光分析手段が分析を行う分析期間は、プラズマ維持期間に存在し

ている。そのため、粉状の物質を分析対象物質とする場合に、分析期間にプラズマ領域内の分析対象物質が飛散することを抑制することができる。プラズマ領域内の分析対象物質を物質の移動がほとんどない状態で分析することができる。

### 図面の簡単な説明

[0019] [図1]図1は、実施形態1の分析装置の概略構成図である。

[図2]図2は、実施形態1のパルス発振信号と電磁波駆動信号との時間関係を示すタイムチャートである。

[図3]図3は、実施形態1のプラズマ生成装置により生成されたプラズマから発せられる光の発光強度の時系列変化を示すグラフである。

[図4]図4は、実施形態1のプラズマ生成装置により生成されたプラズマから発せられる光に対して、波長に応じた発光強度の時間積算値を示すスペクトル図である。

[図5]図5は、実施形態2の分析装置の概略構成図である。

### 発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施形態は、本質的に好ましい例示であって、本発明、その適用物、あるいはその用途の範囲を制限することを意図するものではない。

#### 《実施形態1》

[0021] 実施形態1の分析装置10は、粉状の物質を分析対象物質100として、その分析対象物質100の成分分析を行う装置である。分析装置10は、例えば不純物の検出に利用される。分析装置10は、図1に示すように、分析対象物質100を移動させるベルトコンベア101に対して設置されている。分析装置10は、プラズマ生成装置111、キャビティー112、光分析装置113及び制御装置114を備えている。

[0022] キャビティー112は、マイクロ波の共振構造を有する容器である。キャビティー112は、下側が開放された略円筒状に形成されている。キャビティー112は、メッシュ状の部材により構成されている。キャビティー11

2は、後述する放射アンテナ128からキャビティー112の内部空間へ放射されたマイクロ波が外部へ漏れないように、メッシュの大きさが設定されている。キャビティー112の上面には、レーザー用プローブ123及びアンテナ用プローブ126が取り付けられている。また、制御装置114は、プラズマ生成装置111及び光分析装置113を制御する。

－プラズマ生成装置の構成－

[0023] プラズマ生成装置111は、空間中においてプラズマを生成し、放射アンテナ128から放射するマイクロ波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ生成手段を構成している。プラズマ生成装置111は、空間中の物質に瞬間的にエネルギーを与えて、その物質をプラズマ状態にした初期プラズマを生成し、その初期プラズマにマイクロ波を所定の時間に亘って照射してプラズマ状態を維持する。

[0024] プラズマ生成装置111は、図1に示すように、レーザー発振装置115と電磁波放射装置116とを備えている。レーザー発振装置115は、レーザー光源121、光ファイバー122、及びレーザー用プローブ123を備えている。電磁波放射装置116は、マイクロ波発振器124、マイクロ波伝送線路125、及びアンテナ用プローブ126を備えている。

[0025] レーザー光源121は、制御装置114からレーザー発振信号を受けると、初期プラズマを生成するためのレーザー光を発振する。レーザー光源121は、光ファイバー122を介してレーザー用プローブ123に接続されている。レーザー用プローブ123の先端には、光ファイバー122を通過したレーザー光を集光させる集光光学系127が設けられている。レーザー用プローブ123は、その先端がキャビティー112の内部空間に望むようにキャビティー112に取り付けられている。集光光学系127の焦点は、キャビティー112の下側の開口より少しだけ下側に位置している。レーザー光源121から発振されたレーザー光は、レーザー用プローブ123の集光光学系127を通過して、集光光学系127の焦点に集光される。

[0026] なお、レーザー光源21には、例えば、マイクロチップレーザーが用いら

れる。集光光学系 127 には、例えば、凸レンズが用いられる。

[0027] レーザー発振装置 115 では、集光光学系 127 の焦点に集光されたレーザー光のエネルギー密度が分析対象物質 100 のブレイクダウン閾値以上になるようにレーザー光源 121 の出力が設定されている。すなわち、レーザー光源 121 の出力は、焦点に存在する分析対象物質 100 がプラズマ化するのに必要な値以上に設定されている。

[0028] マイクロ波発振器 124 は、制御装置 114 からマイクロ波駆動信号を受けると、その電磁波駆動信号のパルス幅の時間に亘ってマイクロ波を連続的に出力する。電磁波駆動信号は、電圧値が一定のパルス信号である。マイクロ波発振器 124 におけるマイクロ波の出力は、粉状の分析対象物質 100 が飛散しないように、100ワット以下の出力値（例えば、80ワット）に設定されている。マイクロ波発振器 124 は、マイクロ波伝送線路 125 を介してアンテナ用プローブ 126 に接続されている。アンテナ用プローブ 126 には、マイクロ波伝送線路 125 を通過したマイクロ波を放射するための放射アンテナ 128 が設けられている。アンテナ用プローブ 126 は、放射アンテナ 128 の先端が集光光学系 127 の焦点を向くように取り付けられている。放射アンテナ 128 は、マイクロ波による強電界領域が集光光学系 127 の焦点を含んで形成されるように設けられている。

[0029] なお、マイクロ波発振器 124 は、2.45GHz のマイクロ波を出力する。マイクロ波発振器 124 では、半導体発振器がマイクロ波を生成する。なお、他の周波数帯域のマイクロ波を発振する半導体発振器を使用してもよい。

#### — 光分析装置の構成 —

[0030] 光分析装置 113 は、プラズマ生成装置 111 がマイクロ波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ維持期間に、プラズマ領域 P 内に位置するプラズマ状態の分析対象物質 100 から発せられるプラズマ光を分析して、分析対象物質 100 を分析する光分析手段を構成している。光分析装置 113 は、プラズマ維持期間のうち後述する分析期間のプラズマ光の発光強度

の時間積分値を用いて、分析対象物質100を分析する。光分析装置113は、光学プローブ130、光ファイバー131、分光器132、光検出器133、及び信号処理装置134を備えている。

[0031] 光学プローブ130は、キャビティー112の内部空間のプラズマ光を導出するための装置である。光学プローブ130は、筒状のケーシングの先端部に、比較的広い範囲の光を取り込み可能なレンズを取り付けたものである。光学プローブ130は、プラズマ領域Pの全体から発せられるプラズマ光をレンズに導入できるように、キャビティー112の側面に取り付けられている。

[0032] 分光器132は、光ファイバー131を介して光学プローブ130に接続されている。分光器132には、光学プローブ130に入射したプラズマ光が取り込まれる。分光器132は、回折格子又はプリズムを用いて、入射したプラズマ光を波長に応じて異なる向きに分散させる。

[0033] なお、分光器132の入口には、プラズマ光を分析する分析期間を区切るためのシャッターが設けられている。シャッターは、制御装置114により、分光器132に光が入射することを許容する開状態と、分光器132に光が入射することを禁止する閉状態との間で切り替えられる。なお、光検出器133の露光タイミングを制御できる場合には、光検出器133を制御して分析期間を区切るようにしてもよい。

[0034] 光検出器133は、分光器132により分散された光のうち所定の波長帯域の光を受光するように配置されている。光検出器133は、制御装置114から出力された指令信号に応答して、受光した波長帯域の光を波長毎に電気信号に光電変換して出力する。光検出器133には、例えば電荷結合素子 (Charge Coupled Device) が用いられる。光検出器133から出力された電気信号は、信号処理装置134に入力される。

[0035] 信号処理装置134は、光検出器133から出力された電気信号に基づいて、波長毎に発光強度の時間積算値を算出する。信号処理装置134は、シャッターが開状態になっている分析期間に分光器132に入射したプラズマ

光に対して、波長毎の発光強度の時間積分値（発光スペクトル）を算出する。信号処理装置 134 は、波長毎の発光強度の時間積算値から、発光強度が強い波長成分を検出し、検出した波長成分に対応する物質を分析対象物質 100 の成分として同定する。

－分析装置の動作－

[0036] 分析装置 10 が分析対象物質 100 の成分分析を行う分析動作について説明する。分析動作は、ベルトコンベア 101 の動作中に行われる。分析動作では、プラズマ生成装置 111 によるプラズマ生成維持動作と、光分析装置 113 による光分析動作とが連動して行われる。

[0037] まず、プラズマ生成維持動作について説明する。プラズマ生成維持動作は、プラズマ生成装置 111 がプラズマを生成して維持する動作である。プラズマ生成装置 111 は、制御装置 114 の指示に従って、レーザー光源 121 を駆動して初期プラズマを生成し、マイクロ波発振器 124 を駆動して初期プラズマにマイクロ波を照射してプラズマ状態を維持するプラズマ生成維持動作を行う。

[0038] 具体的に、制御装置 114 は、レーザー光源 21 へレーザー発振信号（短パルスの信号）を出力する。レーザー光源 121 は、レーザー発振信号を受けると、パルス状のレーザー光を 1 発だけ発振する。レーザー光源 121 から発振されたレーザー光は、集光光学系 127 により分析対象物質 100 の表層に集光される。分析対象物質 100 には、瞬間的に高密度のエネルギーが与えられる。

[0039] 分析対象物質 100 の表層では、レーザー光の照射領域のエネルギー密度が上昇して分析対象物質 100 のブレイクダウン閾値を超える。そうすると、レーザー光の照射領域の物質が電離し、プラズマ状態になる。すなわち、分析対象物質 100 を原料とするプラズマ（初期プラズマ）が生成される。

[0040] 続いて、制御装置 114 は、図 2 に示すように、レーザー発振信号の立ち下がりの直後に、マイクロ波発振器 124 へマイクロ波駆動信号を出力する。マイクロ波発振器 124 は、マイクロ波駆動信号を受けると、マイクロ波

の連続波（CW）を放射アンテナ128へ出力する。マイクロ波は、放射アンテナ128からキャビティー112の内部空間へ放射される。マイクロ波は、マイクロ波駆動信号のパルス幅の時間に亘って放射アンテナ128から放射される。なお、レーザー発振信号の立ち下がり時点から電磁波駆動信号の立ち上がり時点までの時間Xは、初期プラズマが消滅する前にマイクロ波の放射が開始されるように設定されている。

[0041] キャビティー112の内部空間では、集光光学系127の焦点を中心とする領域が強電界領域（キャビティー112の内部空間において電界強度が相対的に強い領域）となる。初期プラズマは、マイクロ波のエネルギーを吸収して拡大し、ボール状のマイクロ波プラズマになる。キャビティー112の内部空間では、分析対象物質100の表層部を含むように、マイクロ波プラズマが存在するプラズマ領域Pが形成される。マイクロ波プラズマは、マイクロ波の放射期間Yに亘って維持される。マイクロ波の放射期間Yはプラズマ維持期間となる。

[0042] その後、電磁波駆動信号の立ち下がりタイミングにおいて、マイクロ波発振器124がマイクロ波の出力を停止すると、マイクロ波プラズマが消滅する。マイクロ波の放射期間Yは、例えば、数十マイクロ秒から数十秒である。マイクロ波発振器124は比較的長い時間に亘ってマイクロ波を出力する場合であっても、マイクロ波プラズマが熱プラズマにならないように、マイクロ波の出力値が所定値（例えば、80ワット）に設定されている。

[0043] ここで、初期プラズマの生成からマイクロ波プラズマの消滅までの期間において、プラズマから発せられるプラズマ光の発光強度の時系列変化を見ると、図3に示すように、まず初期プラズマの発光強度のピークが瞬間的に見られ、発光強度がゼロ近くの極小値まで低下する。そして、発光強度が極小値となった後、マイクロ波プラズマの発光強度が増加する発光強度増加期間が見られ、その発光強度増加期間に引き続き、マイクロ波発光強度がほぼ一定値になる発光強度一定期間（プラズマ光の発光強度の変動量（増加量）が所定値以下の期間）が見られる。

- [0044] なお、本実施形態 1 のプラズマ生成装置 1 1 1 では、図 3 に実線で示すように、マイクロ波の放射前のプラズマ光の発光強度の最大値より、プラズマ維持期間のプラズマ光の発光強度の最大値の方が大きくなるように、プラズマ維持期間のマイクロ波の出力が設定されている。これにより、分析対象物質 1 0 0 の飛散を防止しつつ、プラズマ光から大きな発光強度が得られるので、分析対象物質 1 0 0 の分析をより正確に行うことができる。ただし、十分な発光強度が得られるのであれば、図 3 に破線で示すように、マイクロ波の放射前のプラズマ光の発光強度の最大値の方が、プラズマ維持期間のプラズマ光の発光強度の最大値より大きくなるように、プラズマ維持期間のマイクロ波の出力を設定してもよい。
- [0045] 光分析動作は、光分析装置 1 1 3 がプラズマ状態の分析対象物質 1 0 0 から発せられる光（プラズマ光）を分析する動作である。光分析装置 1 1 3 は、制御装置 1 1 4 の指示に従って、プラズマ光を分光分析して分析対象物質 1 0 0 の成分分析を行う光分析動作を行う。また、光分析装置 1 1 3 では、プラズマ維持期間のうち前記発光強度一定期間内で分析期間が設定され、分析期間のプラズマ光の発光強度に基づいて分析対象物質が分析される。制御装置 1 1 4 は、発光強度安定期間の全体が分析期間に設定されるように、その分光器のシャッターを制御すると共に、光検出器 1 3 3 が光電変換を行う期間を制御する。なお、発光強度安定期間の一部を分析期間に設定してもよい。
- [0046] ところで、初期プラズマの生成時には、レーザー光による衝撃波により分析対象物質 1 0 0 が飛散する。しかし、ベルトコンベア 1 0 1 が動作しているので、分析対象物質 1 0 0 が飛散した箇所は、発光強度一定期間の開始時点ではプラズマ領域 P を通過している。発光強度一定期間の開始時点でプラズマ領域 P に存在している分析対象物質 1 0 0 は、プラズマ維持期間にプラズマ領域 P に入っている。プラズマ維持期間にプラズマ領域 P に入った分析対象物質 1 0 0 は、飛散による影響を受けておらず、物質の移動がほとんどない状態である。

- [0047] 光分析装置 113 では、図 3 に示す発光強度一定期間（分析期間）中だけ、プラズマ領域 P に位置するプラズマ状態の分析対象物質 100 から発せられるプラズマ光が、光学プローブ 130、光ファイバー 131 を順番に通過して分光器 132 に入射する。
- [0048] 分光器 132 では、入射したプラズマ光が波長に応じて異なる向きに分散される。そして、所定の波長帯域のプラズマ光が光検出器 133 に到達する。光検出器 133 では、受光した波長帯域のプラズマ光が波長毎に電気信号に光電変換される。信号処理装置 134 では、光検出器 133 の出力信号に基づいて、波長毎に発光強度一定期間（分析期間）における発光強度の時間積算値が算出される。信号処理装置 134 は、図 4 に示すような、波長に応じた発光強度の時間積算値を示すスペクトル図を作成する。信号処理装置 134 は、波長毎の発光強度の時間積算値から、発光強度のピークが現れる波長を検出し、検出した波長に対応する物質（原子又は分子）を分析対象物質 100 の成分として同定する。
- [0049] 信号処理装置 134 は、例えば 379.4 mm に発光強度のピークが現れた場合は、分析対象物質 100 の成分としてモリブデンを同定する。例えば 422.7 mm に発光強度のピークが現れた場合は、分析対象物質 100 の成分としてカルシウムを同定する。例えば 345.2 mm に発光強度のピークが現れた場合は、分析対象物質 100 の成分としてコバルトを同定する。例えば 357.6 mm に発光強度のピークが現れた場合は、分析対象物質 100 の成分としてクロムを同定する。
- [0050] なお、信号処理装置 134、図 4 に示すようなスペクトル図を分析装置 10 のモニターに表示してもよい。分析装置 10 の使用者はこのスペクトル図を見ることにより、分析対象物質に含まれる成分を同定することができる。
- 実施形態 1 の効果—
- [0051] 本実施形態 1 では、プラズマ維持期間において、プラズマ領域 P にマイクロ波のエネルギーが安定的に与えられるので、マイクロ波に起因する衝撃波が生じることが抑制される。光分析装置 113 が分析を行う分析期間は、プ

ラズマ維持期間に存在している。そのため、粉状の物質を分析対象物質 100 0とする場合に、分析期間にプラズマ領域 P 内の分析対象物質 100 0が飛散することを抑制することができる。プラズマ領域 P 内の分析対象物質 100 0を物質の移動がほとんどない状態で分析することができる。

[0052] また、本実施形態 1 では、粉状の物質をそのまま分析できる。ここで、従来は、粉状の物質を分析対象物質 100 0とする場合に、粉状の物質をバイндаで固めたペレットの状態で行われていた。しかし、本実施形態 1 では、粉状の物質をそのまま分析できるので、バイндаに起因するノイズが発光強度に表れることなく、ノイズを除去するフィルタを省略することができる。

[0053] また、本実施形態 1 では、プラズマ維持期間のマイクロ波プラズマの強度がそれほど強くない。従って、放射アンテナ 128 を構成する金属がほとんど励起されることなく、そのような金属に起因するノイズを抑制することができる。

－実施形態 1 の変形例－

[0054] 変形例では、信号処理装置 134 が、分析対象物質 100 0における複数成分の混合比を算出する。実施形態 1 のプラズマ生成装置 111 が維持するプラズマは、レーザー光だけで生成するプラズマに比べて大きい。従って、大きい領域のプラズマ光を取り込むことで、その領域の成分の混合比の算出が可能になる。

[0055] 信号処理装置 134 は、複数の物質に対して、発光強度と含有量の間係を示す検量線のデータを記憶している。信号処理装置 134 は、発光強度のピークが現れる波長に対応する物質を複数検出し、検量線のデータに基づいて、検出した物質の含有量を算出する。信号処理装置 134 は、発光強度のピークが現れる波長に対応する物質の含有量の比率を算出して、分析対象物質に含まれる成分の混合比を算出する。

[0056] 変形例によれば、例えば分析装置 10 が薬品の品質管理に使用する場合に、薬品における特定成分の混合比が所定の範囲内にあるか否かを検出するこ

とができる。信号処理装置 134 は、例えば、薬品粉末に含まれる A 成分及び B 成分の各々に対応する波長の発光強度から、A 成分及び B 成分の含有量をそれぞれ算出する。そして、信号処理装置 134 は、A 成分の含有量と B 成分の含有量から、A 成分に対する B 成分の混合比（含有量の重量比）を算出する。

[0057] なお、信号処理装置 134 は、電磁波放射装置 116 の放射アンテナ 128 におけるマイクロ波の反射波のエネルギーに基づいて、発光強度から得られる物質の含有量を補正してもよい。反射波が大きければ大きいほど、マイクロ波プラズマの維持に投入されるマイクロ波のエネルギーは少なくなり、発光強度は小さくなる。信号処理装置 134 は、マイクロ波の反射波のエネルギーが大きいほど、発光強度から計算される物質の含有量を大きな値に補正する。

#### 《実施形態 2》

[0058] 実施形態 2 は、初期プラズマを生成する手段が実施形態 1 とは異なる。

[0059] 実施形態 2 では、初期プラズマを生成するのに、図 5 に示すように、スパークプラグ 223（放電器）が用いられる。制御装置 114 は、初期プラズマを生成する際に、パルス電圧生成器 121 にスパーク生成信号を出力する。そうすると、パルス電圧生成器 121 は、高電圧パルスをスパークプラグ 223 に出力し、スパークプラグ 223 の電極 150 間の放電ギャップでスパーク放電が生成される。スパーク放電の経路では、初期プラズマが生成される。なお、高電圧パルスは、ピーク電圧が例えば 6 kV ~ 40 kV 程度のインパルス状の電圧信号である。

[0060] 実施形態 2 では、放射アンテナ 128 がスパークプラグ 223 に埋設されている。制御装置 114 は、スパーク生成信号の立ち下がりの直後に、マイクロ波発振器 124 へマイクロ波駆動信号を出力する。マイクロ波発振器 124 は、実施形態 1 と同様に、放射アンテナ 128 からマイクロ波を連続波で出力する。その結果、スパーク放電により生成された初期プラズマは、マイクロ波のエネルギーを吸収して拡大する。なお、放射アンテナ 128 をス

パークプラグ 2 2 3 とは別途に設けてもよい。

《その他の実施形態》

- [0061] 上記実施形態は、以下のように構成してもよい。
- [0062] 上記実施形態において、分析装置 1 0 が粉状の物質以外のもの（例えば金属片）を分析対象物質 1 0 0 としてもよい。
- [0063] また、上記実施形態において、分析装置 1 0 をベルトコンベア 1 0 1 がいない状態で使用する場合は、分析装置 1 0 が、プラズマ維持期間にプラズマ領域 P に分析対象物質 1 0 0 を移動させる移動機構を備えていてもよい。
- [0064] また、上記実施形態において、レーザー光源 2 1 として、Nd : YAG レーザー光源を用いてもよいし、液体レーザー光源、ガスレーザー光源、半導体レーザー光源、または、自由電子レーザー光源を用いてもよい。
- [0065] また、上記実施形態において、初期プラズマを生成する手段は、レーザー光源 1 2 1 やスパークプラグ 2 2 3 以外に、グロープラグなどの熱電子生成器などであってもよい。
- [0066] また、上記実施形態において、分析装置 1 0 は、不純物の検出、薬品の品質管理以外にも使用できる。例えば、食品に含まれるミネラルの含有量の算出、毒物の検出、金属合金やセラミック中の不純物の検出、放射性物質の検出などの安全管理にも適用できるし、環境光学、エネルギー光学、宇宙工学、地質学、生命化学の分野にも適用できる。

**産業上の利用可能性**

- [0067] 以上説明したように、本発明は、プラズマから発せられる光を分析することにより分析対象物質を分析する分析装置及び分析方法について有用である。

**符号の説明**

- [0068]
- |       |                    |
|-------|--------------------|
| 1 0   | 分析装置               |
| 1 1 2 | キャビティー             |
| 1 1 1 | プラズマ生成装置（プラズマ生成手段） |
| 1 1 3 | 光分析装置（光分析手段）       |

- 1 1 4 制御装置
- 1 1 5 レーザー発振装置
- 1 1 6 電磁波放射装置
- 1 2 3 レーザー用プローブ
- 1 2 6 アンテナ用プローブ
- 1 3 0 光学プローブ

## 請求の範囲

- [請求項1] 空間中においてプラズマを生成し、放射アンテナから放射する電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ生成手段と、  
前記プラズマ生成手段が電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ維持期間に、プラズマ領域に位置するプラズマ状態の分析対象物質から発せられるプラズマ光を分析して、前記分析対象物質を分析する光分析手段とを備え、  
前記プラズマ生成手段は、前記プラズマ維持期間中に前記放射アンテナから電磁波を連続波で放射することを特徴とする分析装置。
- [請求項2] 請求項1において、  
前記プラズマ維持期間に前記プラズマ領域に前記分析対象物質を移動させる  
ことを特徴とする分析装置。
- [請求項3] 請求項1又は請求項2において、  
前記プラズマ生成手段は、電圧値が一定のパルス信号を受けて前記放射アンテナから電磁波を放射し、  
前記光分析手段は、前記プラズマ維持期間のうち、前記プラズマ光の発光強度の変動量が所定値以下の発光強度一定期間内で分析期間を設定し、前記分析期間のプラズマ光の発光強度に基づいて前記分析対象物質を分析する  
ことを特徴とする分析装置。
- [請求項4] 請求項1から請求項3の何れか1項において、  
前記分析対象物質は、粉状の物質であり、  
前記プラズマ生成手段では、前記プラズマ維持期間の電磁波の出力が、前記分析対象物質が飛散しない値に設定されている  
ことを特徴とする分析装置。
- [請求項5] 請求項4において、

前記プラズマ生成手段では、電磁波の放射前のプラズマ光の発光強度の最大値より、前記プラズマ維持期間のプラズマ光の発光強度の最大値の方が大きくなるように、前記プラズマ維持期間の電磁波の出力が設定されている

ことを特徴とする分析装置。

[請求項6] 請求項1から請求項5の何れか1項において、  
前記光分析手段は、前記プラズマ維持期間のプラズマ光を分析して、前記分析対象物質中に含まれる成分の混合比を算出することを特徴とする分析装置。

[請求項7] 請求項1から請求項6の何れか1項において、  
前記プラズマ生成手段は、マイクロチップレーザーから出力したレーザー光により生成されたプラズマを電磁波のエネルギーにより維持することを特徴とする分析装置。

[請求項8] 請求項1から請求項6の何れか1項において、  
前記プラズマ生成手段は、スパーク放電により生成されたプラズマを電磁波のエネルギーにより維持することを特徴とする分析装置。

[請求項9] 空間中においてプラズマを生成し、放射アンテナから放射する電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ生成ステップと、  
前記電磁波のエネルギーによりプラズマを維持するプラズマ維持期間に、プラズマ領域に位置するプラズマ状態の分析対象物質から発せられるプラズマ光を分析して、前記分析対象物質を分析する光分析ステップとを備え、

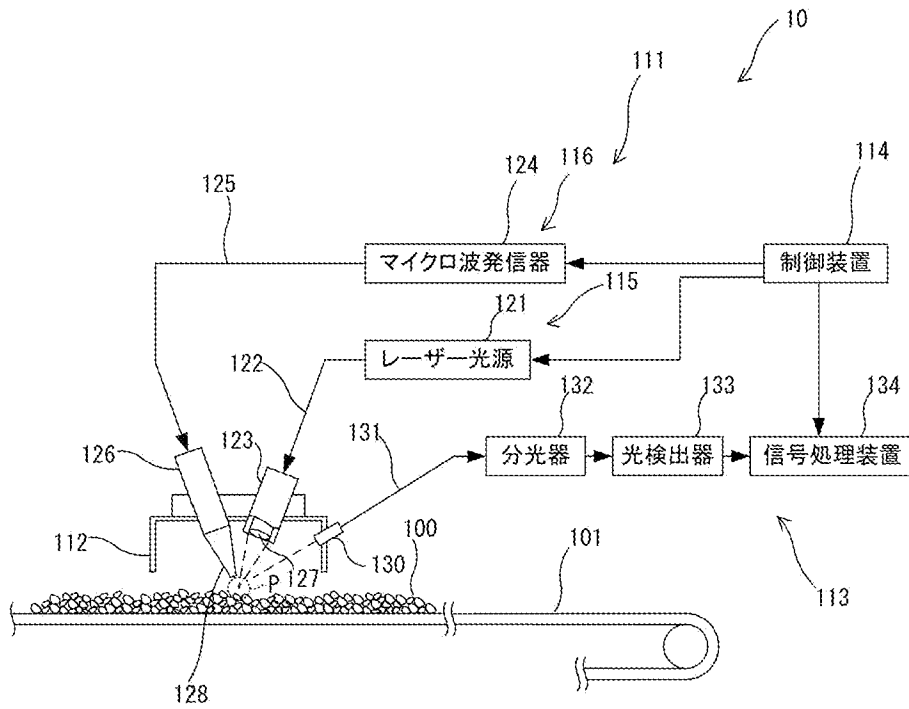
前記プラズマ維持期間中は、前記放射アンテナから電磁波を連続波で放射する

ことを特徴とする分析方法。

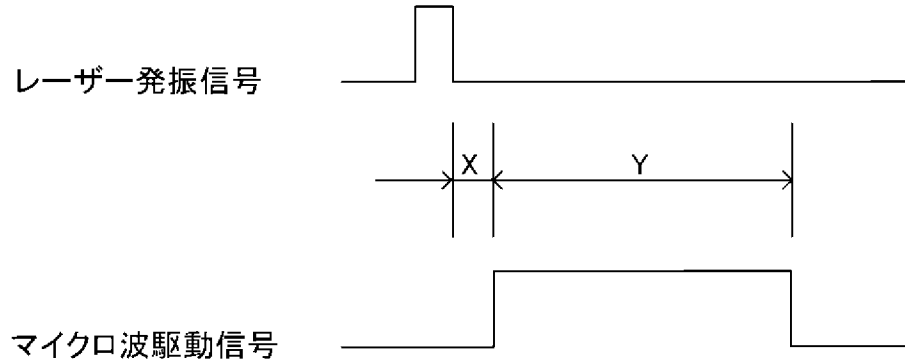
[請求項10] 請求項9において、

前記プラズマ維持期間に、前記プラズマ領域に前記分析対象物質を移動させる移動ステップを備えていることを特徴とする分析方法。

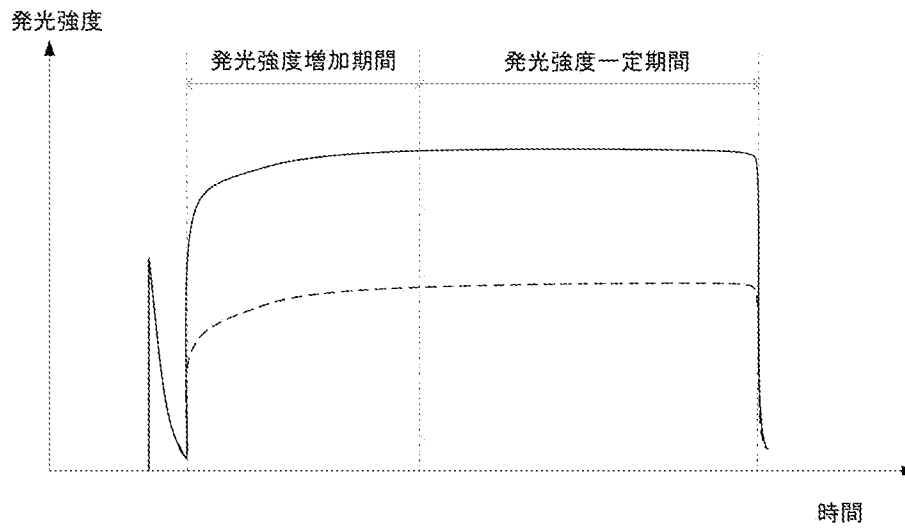
[図1]



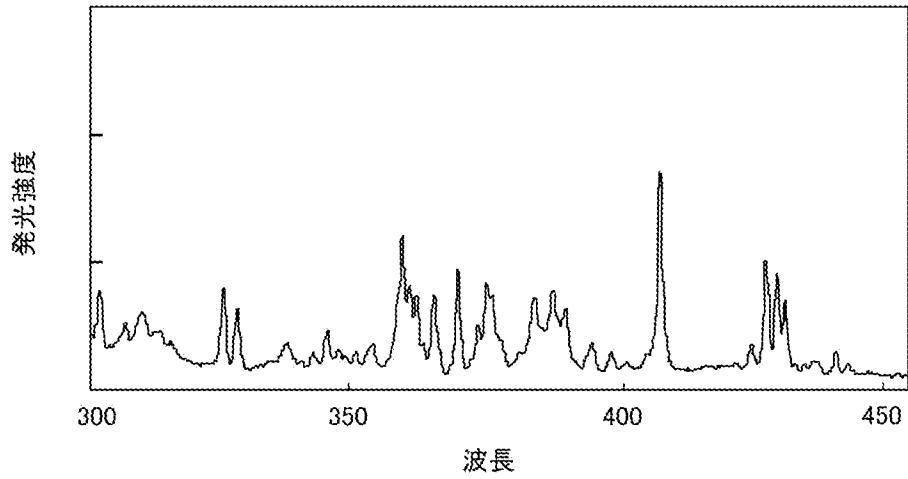
[図2]



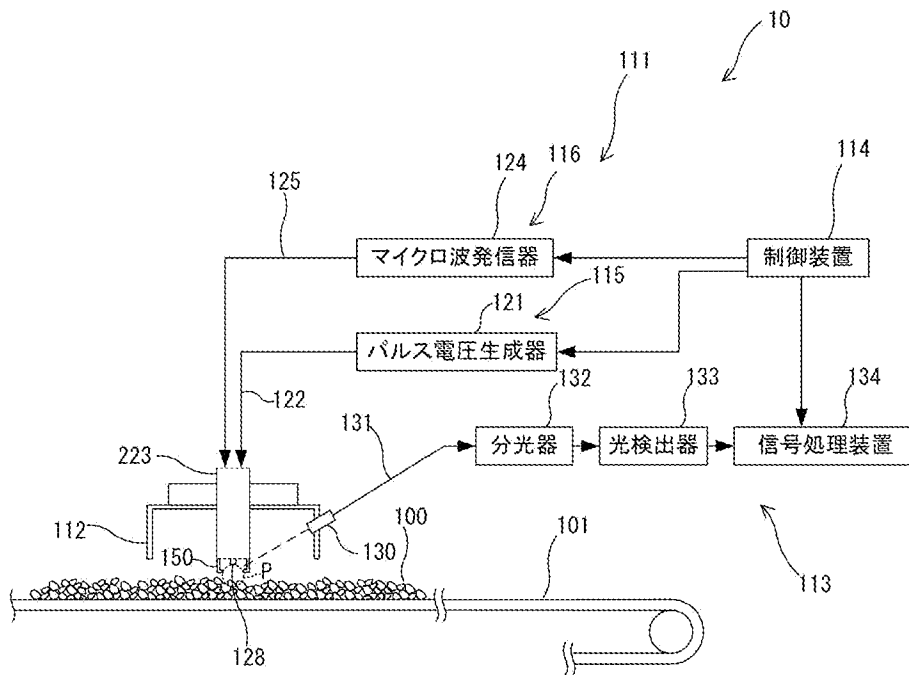
[図3]



[図4]



[図5]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/073068

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/73(2006.01)i, H05H1/00(2006.01)i, H05H1/24(2006.01)i

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)

G01N21/62-21/74, G01N27/68, H05H1/00-1/54

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2010-025869 A (Imagineering, Inc.), 04 February 2010 (04.02.2010), paragraphs [0011], [0030] to [0031], [0040], [0063] to [0064], [0076] to [0077]; fig. 1 (Family: none)	1, 3-4, 6, 8-9 2, 5, 7, 10
Y	JP 2001-159610 A (NKK Corp.), 12 June 2001 (12.06.2001), paragraph [0022] (Family: none)	2, 10
Y	Masashi KANEKO et al., "Microwave Assist Breakdown Bunkoho no Kenkyu", Preprints of Meeting on Automotive Engineers, 20 May 2009 (20.05.2009), no.18-09, pages 1 to 4	5, 7

 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 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

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
13 November, 2012 (13.11.12)Date of mailing of the international search report  
27 November, 2012 (27.11.12)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2012/073068

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	WO 2012/036138 A1 (Imagineering, Inc.), 22 March 2012 (22.03.2012), paragraphs [0100] to [0111]; fig. 7 to 10 (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G01N21/73(2006.01)i, H05H1/00(2006.01)i, H05H1/24(2006.01)i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G01N21/62-21/74, G01N27/68, H05H1/00-1/54

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2012年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2012年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2012年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  
 JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2010-025869 A (イマジニアリング株式会社) 2010.02.04, 段落【0011】、【0030】-【0031】、【0040】、【0063】-【0064】、【0076】-【0077】、第1図 (ファミリーなし)	1, 3-4, 6, 8-9 2, 5, 7, 10
Y	JP 2001-159610 A (日本鋼管株式会社) 2001.06.12, 段落【0022】 (ファミリーなし)	2, 10

C欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー  
 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献  
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 13.11.2012	国際調査報告の発送日 27.11.2012
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 上田 泰 電話番号 03-3581-1101 内線 3292

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	金子昌司 他, マイクロ波アシストブレイクダウン分光法の研究, 自動車技術会 学術講演会 前刷集, 2009.05.20, No.18-09, pp.1-4	5,7
P, X	WO 2012/036138 A1 (イマジニアリング株式会社) 2012.03.22, 段落 【0100】 - 【0111】, 第7-10 図 (ファミリーなし)	1-10