

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6955552号
(P6955552)

(45) 発行日 令和3年10月27日(2021.10.27)

(24) 登録日 令和3年10月5日(2021.10.5)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 N 23/046 (2018.01)	GO 1 N 23/046
GO 1 T 1/18 (2006.01)	GO 1 T 1/18 C
GO 1 V 5/00 (2006.01)	GO 1 T 1/18 D
	GO 1 V 5/00 Z

請求項の数 15 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2019-511805 (P2019-511805)	(73) 特許権者 311016455 サントル ナショナル ドゥ ラ ルシェ ルシェ シアンティフィック CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENT IFIQUE フランス国, エフ-75794 パリ セ デックス 16, リュ ミシェル-アンジ ユ, 3
(86) (22) 出願日 平成29年5月11日 (2017.5.11)	
(65) 公表番号 特表2019-522803 (P2019-522803A)	(73) 特許権者 512269719 ユニベルシテ デクス マルセイユ フランス国 エフ-13284 マルセイ ユ セテ 07 ブルバー シャルル リ ヴォン 58
(43) 公表日 令和1年8月15日 (2019.8.15)	
(86) 国際出願番号 PCT/EP2017/061262	
(87) 国際公開番号 W02017/194647	
(87) 国際公開日 平成29年11月16日 (2017.11.16)	
審査請求日 令和2年2月19日 (2020.2.19)	
(31) 優先権主張番号 1654188	
(32) 優先日 平成28年5月11日 (2016.5.11)	
(33) 優先権主張国・地域又は機関 フランス (FR)	

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 岩石体積または人工建造物の密度を判断する方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

撮像対象物質の体積密度を判断するための装置であって、
一次電子が生成されることを可能にする第1のドリフト室と、マイクログリッドにより前記第1の室から切り離された第2の増幅室とを有するガス検出器と、
電離粒子経路の計算結果を前記撮像対象物質の体積密度に関する情報に変換するために前記ガス検出器へ結合された計算手段とを含み、前記装置は、
閉回路として動作する、前記検出器内にガスを注入するためのガス分散回路が、前記第1のドリフト室に結合され、前記ガス分散回路は、前記検出器の利得を所望の値に維持するように、前記ガスの流速を制御して前記ガスの流量を調整する手段を含み、
前記第1のドリフト室は、前記一次電子の、前記マイクログリッドにより画定された面の直交した投射を得るために、前記第1の室内で、一様、一定、および制御された電界を得るよう数値シミュレーションにより形状および特徴が判断される第1のバイアス手段を含む、ことを特徴とし、
前記計算手段が、
 - 検出器を通る電離粒子の束を検出し、
 - 前記第1の室において各電離粒子の経路に沿って生成された一次電子のアバランシェ効果から生じ、前記第1の室に直交した前記マイクログリッドを通る前記第2の室における二次電子の、直交(x、y)読み取りトラック上でのインパクトに対応する増幅された電気信号の電圧振幅を、所与の期間の間に測定し、

10

20

- 同じ時間窓においてインパクトを受けた連続的読み取りトラックのグループを構築し、
- 読み取りトラックの各グループに対して、前記グループに対して測定された前記電気信号の解析から、インパクト点の二次元位置 (x , y) および到達時刻を計算し、
- 読み取りトラックの各グループに対して、前記グループの前記インパクト点の位置および時間情報から、電離粒子の方位角および天頂角の軌道を計算し、
- すべての電離粒子の、すべての方位角および天頂角の軌道から、前記所与の期間に対する撮像対象物質の体積密度に関する情報を計算するように構成されている、ことを特徴とする装置。

【請求項 2】

前記第 1 のバイアス手段は、非乱流的または対流的なやり方で前記ガスの拡散を可能にする相互接続された銅トラックと孔とを含むプリント回路基板を含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記第 1 のバイアス手段は、前記ドリフト室の上側部分に位置するドリフト陰極と呼ばれる平面電極とアースとの間に結合され、前記第 1 の室の上側部分に位置する陰極は、前記ドリフト室内において一定で一様な制御される第 1 の電界を生成するために高電位 HV 1 に置かれる、請求項 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記計算手段は、測定電圧が所与の閾値未満である場合に背景雑音を除去するように構成される、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 5】

前記第 2 の室は、第 2 の電界が前記第 2 の室内で生成されることを可能にし、アバランシェ効果が、前記マイクログリッドを通過する前記一次電子上で生成されることを可能にし、二次電子およびイオンがマイクロアバランシェで生成されることを可能にする第 2 のバイアス手段を含む、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 6】

前記第 2 の室内で生成される前記電界と前記第 1 の室内で生成される前記電界との比は少なくとも 10 より高い、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 7】

前記第 1 の室の前記ドリフト空間は前記第 2 の室の高さより数センチメートルだけ高い高さを有する、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 8】

前記第 2 の室の高さは約 100 マイクロメートルである、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 9】

前記ガス検出器は、撮像対象物質の前記体積内に、またはその近傍に置かれる、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 10】

前記導電性読み取りトラックは、前記第 2 の室内の電荷の運動中に電流を誘導により生成する抵抗層により保護される、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 11】

前記抵抗性保護層の下の前記読み取りトラック同士は重畳され、垂直軸に沿った 2 つの異なるレベルにおいて分離される、請求項 10 に記載の装置。

【請求項 12】

前記ガス回路は、前記ガス中に存在する様々な汚染物を濾過する手段と、環境変数を制御する手段とを含む、請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 13】

前記ガスの前記流速を制御する前記手段は、前記ガスの前記流量の測定結果と、前記ガス回路内で測定された圧力測定結果と、前記ガスの前記流量が調整されることを可能にす

10

20

30

40

50

るとともに前記検出器の前記利得が所望の値に維持されることを可能にする温度情報とを受信する、請求項 1 ~ 1 2 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 1 4】

撮像対象物質の体積密度を判断する方法であって、

- 検出器を通過する電離粒子の束を検出し、前記検出器が請求項 1 ~ 1 3 のいずれか一項に記載のガス検出器である、工程と、

- 前記第 1 の室において各電離粒子の経路に沿って生成された一次電子のアバランシェ効果から生じ、前記第 1 の室に直交した前記マイクログリッドを通る前記第 2 の室における二次電子の、直交 (x、 y) 読み取りトラック上でのインパクトに対応する増幅された電気信号の電圧振幅を、所与の期間の間に測定する、工程と、

- 同じ時間窓においてインパクトを受けた連続的読み取りトラックのグループを構築する、工程と、

- 読み取りトラックの各グループに対して、前記グループに対して測定された前記電気信号の解析から、インパクト点の二次元位置 (x、 y) および到達時刻を計算する、工程と、

- 読み取りトラックの各グループに対して、前記グループの前記インパクト点の位置および時間情報から、電離粒子の方位角および天頂角の軌道を計算する、工程と、

- すべての電離粒子の、すべての方位角および天頂角の軌道から、前記所与の期間に対する撮像対象物質の体積密度に関する情報を計算する、工程とを含む方法。

【請求項 1 5】

コンピュータプログラム製品であって、コンピュータプログラムがコンピュータ上で実行されると請求項 1 4 に記載の方法の工程を実行することを可能にする非一時的コード命令を含むコンピュータプログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、岩石体積または人工大建造物の密度をその場で透過により判断する分野に関し、より詳細には、このような密度を判断するためのミュオンの経路および吸収に関する研究に基づく方法および装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

地球物理学では、岩盤および岩石の構造の知識は、岩盤の地図を描き上げることを目的として (例えば天然資源を探索および追跡する目的により)、重力不安定性を監視するかまたはその機械的完全性が潜在的偶然要因に晒されるサイトを実際に監視するかに関わらず、多くの用途において有利である。

【0 0 0 3】

岩盤の特性の特徴付けは、例えば、地震学的撮像、電氣的予想、またはさらには重力測定法などの間接的測定技術を採用する。使用される手法および測定装置に応じて、取得されたデータは、研究および処理後に岩盤の像が取得され得るようにする。

【0 0 0 4】

透過トモグラフィは、物体 (例えば地質構造、芸術作品、産業基盤) の内容積が、物体の外側から採取された遠隔測定結果に基づき再構築され得るようにする既知の撮像技術である。

【0 0 0 5】

欧州特許第 0 0 8 1 3 1 4 号明細書と米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 1 2 8 6 0 4 A 1 号明細書では、穴井戸の内部に置かれた複数の検出器が、局所密度を判断するために、地中に侵入し検出器により傍受されたミュオンの経路を表す電気信号を活用する断層撮影解析を利用する。

【0 0 0 6】

ミュオンは、高エネルギー宇宙陽子と大気との相互作用により生成される荷電粒子で

10

20

30

40

50

ある。ミュオンは、電子より約207倍大きいそれらの大質量と、それらの高速性(0.9997c)と、強い相互作用に対するそれらの鈍感性とのために、物質に対する高い透過力を有する。通常、ミュオンは岩石中を数百メートル伝播し、到達される深さは、それらの初期エネルギーと通過された媒体の密度とに実質的に依存する。したがって、経路に応じて受信されるミュオンの数の解析が、岩盤密度に関する情報を取得することを可能にする。

【0007】

前述の特許出願などの装置は、検出器により生成される電気信号を収集してそれらを解析するために、好適な幾何学形状を有する複数の検出器が設置される必要がある。しかし、それらの使用は、バルクに対する制約をほとんど生じないアクセス可能性を有する区域に限定されたままである。

10

【0008】

さらに、ミュオンの数が深さとともに減少するという事実と、ある深さでは低ミュオン束が長い測定時間を必要とし得るという事実とを考慮する必要もある。前述の米国特許出願公開第2008/0128604A1号明細書などの流体検知器では、測定時間は、検出器中に注入される流体の変動が測定の安定性に影響を与え得るように設定される。したがって、ガス検出器内に使用される流体の質は、良好なシステム性能の達成にとってクリティカルである。

【0009】

測定安定性が達成され得るようにする一方で、岩盤密度が、厳しいバルク制約を生じる密閉環境から特徴付けられ得るようにする既知の解決策は存在しない。本発明はこの必要性を満たす。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】欧州特許第0081314号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2008/0128604号明細書

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の1つの目的は、媒体のトモグラフィ(またはミュオグラフィ: muography)が、通過するミュオンの束およびその経路の測定のおかげでその場で行われ得るようにする装置を提供することである。使用される技術は非破壊的である。この技術は、粒子が通過する物質の量に依存する、自然のミュオンの束の吸収の定量化に基づく。吸収率は、通過される物資の密度がその幾何学形状を所与として導出され得るようにする。

30

【0012】

本実施方法は、岩盤密度と時間に応じたその変動とが測定され得るようにする。透過ベース測定装置を使用することで、本方法は、アクセスするのが困難または危険な場所がいかなる危険性への直接的露出も無しに撮像され得るようにする。

40

【0013】

本発明は、物質の密度の時間経過に伴う局所変動が監視され得るようにする。本発明は、多くの用途を有し得、例えば、重力不安定性を監視するために、天然資源を探索し追跡するために、または、さらには、自然的危険の影響を受け易いあるサイトを監視するために使用され得る。

【0014】

有利には、本発明の装置は、マイクログリッドにより分離された2つの室(すなわち増幅室と呼ばれる第2のチャンバを伴うドリフト室と呼ばれる第1の室)を組み合わせた低バルクのガス検出器を使用する。2つの室は一緒になって、各傍受されたミュオンが検出され識別され得るようにする。

50

【 0 0 1 5 】

一般的に、本発明は、汚染ガスと塵に対し密閉された筐体（２つの室、すなわち変換およびドリフト室と増幅室を含む）内に含まれるガスのイオン化の原理に基づく。ドリフト室を通るミュオン通過はその経路全体に沿って電子-陽イオン対を生成する（１センチメートル当たり約１００個のイオン化）。ドリフト室内に印加される電界は、生成された一次電子を、増幅室への入口を形成するマイクログリッドにより画定された面に直交した第１の室の高さを越えて同マイクログリッドまでドリフトさせる。したがって、増幅室内で測定される信号は、ミュオンの初期経路の、グリッドの面上への射影を追跡することになる。ミュオンの経路を計数することで、単位立体角当たりの解析された体積の局所密度が判断され得るようにする。岩盤内のミュオン束の吸収の測定は、媒体の平均密度が、その方位角、天頂角および仰角により与えられる立体角毎にマッピングされ得るようにする。

10

【 0 0 1 6 】

本発明はまた、ガス検出器（特に、本発明において請求されるようなガス検出器）のガス再調整システムに関する。具体的には、ガス検出器の性能は、使用されるガスの質および安定性に不可避のおよび基本的に関係する。従来、ガス検出器は、開回路モードで働き、ガスの高割合の損失を生じ、それらの自律性を制限し、それらの動作環境を劣化させる。これらの欠点を軽減するために、ほぼ閉モードで動作する新しいガス調整システムが提案される。提供されるガス再調整回路は以下の必要性を満たす：

- 検出器の性能を低下させることなくガス消費を可能な限り低減する必要性；
- ガス放射を低減する必要性（劣悪に換気され限定された空間内で働くための必要条件）；
- 一貫した良質データを取得し、次に解析するために、検出器の利得とガスの質とを直接的に制御し安定化する必要性。

20

【 0 0 1 7 】

１つの好適な実施形態によると、本発明の装置は、撮像対象物質の体積の密度を判断するための装置である。本装置は、電離粒子の束が検出されることを可能にする検出器であって、検出器を通る各電離粒子の経路が計算されることを可能にする、検出器と、電離粒子経路の計算結果を撮像対象物質の体積の密度に関する情報に変換するために検出器へ結合された計算手段とを含む。検出器は、一次電子が生成されることを可能にする第１のドリフト室と、マイクログリッドにより第１の室から切り離された第２の増幅室とを有するガス検出器であり、本装置は、第１の室が、一次電子を、マイクログリッドにより画定された面に対して直交した第１の室の高さを越えてマイクログリッドに向かってドリフトさせるために、前記第１の室の高さに応じて、第１の室内で、一様、一定、および制御された電界を得るように構成された第１のバイアス手段を含む、ことを特徴とする。

30

【 0 0 1 8 】

一実施形態によると、第１のバイアス手段は、ガスを非乱流的または対流的なやり方で第１の室内へ拡散するように構成される。

【 0 0 1 9 】

一実施形態では、第１のバイアス手段は、ガスの拡散を可能にする相互接続された銅トラックと孔とを含むプリント回路基板を含む。

40

【 0 0 2 0 】

一実施形態では、計算手段は、電離粒子毎の経路を判断し、第２の室内で生成された電気信号に基づき電離粒子の束を計算するように構成される。

【 0 0 2 1 】

一実施形態では、第２の室は、アバランシェ効果が、マイクログリッドを通過する一次電子上で生成されることを可能にするとともに、二次電子がマイクロアバランシェで生成されることを可能にする、第２のバイアス手段を含む。

【 0 0 2 2 】

一実施形態によると、第２の室内で生成される電界と第１の室内で生成される電界との

50

比は少なくとも10より高い。

【0023】

一実施形態では、第1の室のドリフト空間は第2の室の高さより数センチメートルだけ高い高さを有する。

【0024】

一実施形態では、第2の室の高さは約100マイクロメートルである。

【0025】

有利には、岩石体積内にまたはその近傍に置かれたガス検出器は、検出器と地面の表面との間に含まれる体積が撮像され得るようにする。

【0026】

一実施形態では、第2の室は、増幅室内の電荷の運動中に誘導により電流を生成する抵抗性保護手段（抵抗層または一組の抵抗性トラックのいずれか）を含む。

【0027】

一実施形態では、抵抗性保護手段の下に位置する読み取りトラック同士は重畳され、垂直軸に沿った2つの異なるレベルにおいて分離される。

【0028】

一実施形態では、本装置はさらに、ガスを筐体中に注入するための回路であって、ガス入口とガス出口間でほぼ閉じられるように構成された回路を含む。

【0029】

一実施形態では、ガス回路は、ガス中に存在する様々な汚染物（例えば、初期ガス内の不純物、検出器の構成材料の脱離、イオン化により空乏化されたガス）を濾過する手段と、ガスの流速を制御する手段と、環境変数を制御する手段とを含む。

【0030】

一実施形態では、ガスの流速を制御する手段は、ガスの流量の測定結果と、ガス回路内で測定された圧力測定結果と、ガスの流量が調整されることを可能にするとともに検出器の利得が所望の値に維持されることを可能にする温度情報とを受信する。

【0031】

本発明はまた、撮像対象物質の体積の密度を判断する方法に関する。本方法は、

- 検出器を通過する電離粒子の束を検出する工程であって、前記検出器は特許請求の範囲で請求されるようなガス検出器である、工程と；

- 検出器の第1の室を通過する電離粒子毎の経路を、前記第1の室を通過する電離粒子の経路に沿って生成され第1の室に対して直交したマイクログリッドに向かってドリフトする一次電子に基づき計算する工程と；

- 第2の室内で増幅された電気信号に基づき電離粒子の束を計算する工程であって、電気信号は、マイクログリッドを通過する一次電子上で生成されたアバランシェ効果から生じる二次電子から生成される、工程と；

- 電離粒子の経路および束の計算結果を撮像対象物質の体積の密度に関する情報に変換する工程と、を含む。

【0032】

本発明はまた、コンピュータ上で実行されると本方法の工程のすべてまたはいくつかは実行されることを可能にするコード命令を含むコンピュータプログラム製品をカバーする。

【0033】

本発明の様々な態様と利点は、以下の図面を参照して与えられる本発明の1つの好適なしかし非限定的な実施形態の以下の説明から明白になる。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】一実施形態による本発明のガス検出器の断面図を概略的に示す。

【図2】一実施形態による図1の検出器の増幅室のクローズアップの断面図を示す。

【図3】本発明の検出器の操作工程の流れ図を示す。

10

20

30

40

50

【図4】電離粒子の経路を再構築することを目的として行われるデータ解析の工程の流れ図を示す。

【図5】本発明のガス再調整回路内のガス流れとデータ流れとを示す。

【図6】一実施形態による本発明の検出器に好適なガス再調整回路を概略的に示す。

【発明を実施するための形態】

【0035】

図1は、一実施形態による本発明のガス検出器の断面図を概略的に示す。

【0036】

本発明のガス検出器(100)は、増幅室(A)と呼ばれる第2の室(112)からマイクログリッド(111)によりその底部において分離されたドリフト室(D)と呼ばれる少なくとも1つの第1の室(110)と、信号を取得しデータを解析および処理するための装置とのインターフェース(120、123)とを含む。

10

【0037】

ガス検出器はまた、ガスがドリフト室(110)内に流れ込ませ得るようにする拡散素子(116a、116b)を有するガス入口(121)およびガス出口(122)を含む。有利には、ガスは、所望の電界値における電子ドリフト速度を最大化するように選択される少なくとも1つの不活性化剤と共に主としてアルゴンで構成された混合ガスである。

【0038】

図5を参照して以下に詳述されるように、検出器内に注入されるガスは、1つの好適な実施形態では、ほぼ閉回路を形成するガス再調整回路から発生する。ガス再調整回路は、ガスの質を最大化することと解析されるデータの一貫性を改善することとを目的として本発明のガス検出器の利得を直接的に濾過、制御、および安定化するという有利性を有する。

20

【0039】

ドリフト室はさらに、ドリフト室の上側部分に位置するドリフト陰極と呼ばれる平面電極(114)とアース(117)との間に結合されたバイアス回路(115a、115b)を含む。一次室の上側部分に位置する陰極は、バイアス回路が、ドリフト室内の一様な第1の電界を生成することを目的として活性化され得るようにする高電位HV1に置かれる。ドリフト室を通過するミュオン(102)からカスケードの一次電子を生成するために、バイアス回路は、ドリフト室内に、イオン化中に形成される電子-イオン対を分離するために十分に強い電界を生成する。事前定義された構成のバイアス回路のために、生成される電界は、一様であり、生成される電子(104、106、108)がマイクログリッドの面上に対し直交して投射され得るようにする。この点は、ミュオンの経路を正確に判断するために必要な測定がなされるかどうかによりクリティカルである。

30

【0040】

ミュオンの経路を解析することができるために、本発明のガス検出器のドリフト室は数センチメートルの高さ「HD」を有する。1つの好適な実施形態では、ドリフト陰極(114)とマイクログリッド(111)間の距離は約5cmである。有利には、ドリフト室の高さは、ミュオンの経路内の特定精度を得るように、そして良好な解析性能を保証するように定義される。したがって、ドリフト室の高さは以下の2つの制約を満たさなければならない、すなわち：(1)判断されるべき経路の質を高めるためにドリフト空間を最大化すること、(2)パルク的に大きく制約される区域に好適なコンパクトな限定されたセンサを得るために体積を最小化すること。

40

【0041】

数ミリメートルの高さのドリフト室(変換室としても知られる)を有するMicroegas(登録商標)検出器などの既知のガス検出器とは異なり、本発明の検出器は、ドリフト室の普通でない高さのために、既知の検出器により対処されない課題を生じる。具体的には、ドリフト室の数センチメートルの高い高さは、設定され制御された一様な電界を得るために特別なバイアス手段が設けられることを必要とする。バイアス系の形状および特徴は、検出器内部の処理間のすべての複雑な相互作用(例えば、流体内のイオンの拡

50

散およびドリフト)を、またはさらには、電界に晒される荷電粒子の経路の計算を、考慮するために、複数の物理的数値シミュレーションにより判断される。したがって、本発明のバイアス系は、ドリフト室の高さに依存する事前定義された構成を有する。バイアス回路は、1つの特別の実施形態では、ガスを非乱流的または対流的なやり方で拡散させるために、非常に高い(約500Mオームの)抵抗の相互接続銅トラックと小さな孔とを含むプリント回路基板の形式で生成される。さらに、バイアス回路は、特に検出器の両側の像内のアーテファクトの影響を最小化する役目を果たす。

【0042】

1つの好適な実施形態では、ドリフト陰極(114)は約-3,000Vの負電位にされ、マイクログリッド(111)は抵抗器(121)によりアースされ、約500V/cmの電界がドリフト室内で生成され得るようにする。

10

【0043】

図2は、図1のガス検出器の増幅室(112)の断面図を示す。増幅室は、マイクログリッド(111)と抵抗性保護手段である電極(113)(抵抗性陽極と呼ばれる)との間に画定される。設定された伝導率(0.5~5M/cm)を有する抵抗性電極は、事前定義されたテンプレートに従って編成される導電性トラックまたはストリップのメッシュで構成される。マイクログリッド内の孔を通過する一次電子(106)はアバランシェ効果(107)が生成されるまで加速される。ストリップの配置(x,y)は、測定可能電気信号が、信号取得装置(120)の従来の電子計器により収集され得るようにする。

20

【0044】

図1と図2に示された検出器では、導電性読み取りストリップ(118x,118y)は、どれだけトラックが抵抗層に近いかに応じて変化する幅の銅トラックであり、その結果、誘起電気信号は様々なレベル間で可能な限り一様である。したがって、抵抗性陽極に近いトラックはこの陽極から遠いトラックより小さな寸法を有しなくてはならない。これらのトラックは、前記抵抗層によりスパークから保護され、垂直「x」および「y」軸に沿って分散される。導電性トラックのこの分散は、これらのトラック内で誘起される電気的パルスの解析を介し、位置が2次元で判断され得るようにする。一実施形態では、メッシュは、例えば「x」軸上の1024個のトラックと「y」軸上の512個のトラックとを含み得る。

30

【0045】

抵抗層の導電ストリップは、ドリフト室の陰極の電位「HV1」よりはるかに低い電位「HV2」にされる。1つの好適な実施形態では、電位「HV2」は、約50kV/cmの電界が増幅室内で生成され得るようにする約500Vである。HV1の値は一次電子のドリフト速度を最適化するように選択される。第2の電界の値HV2は、検出器の利得が調整され得るようにする。しかし、2つの値は、2つの電界の比が、第2の室に向かってマイクログリッドを通過することができる(これは「電子透明性」としても知られる)ようになる一次電子の数に影響を与えるので、独立ではない。劣悪な電子透明性値は測定有効性を低下させる。

40

【0046】

加えて、第2の室(増幅区域)内で生成された電界と第1の室(ドリフト室)内で生成された電界との比は、使用されるガスに依存する。上記比は、少なくとも10より高く、好適には約50である。

【0047】

増幅室はドリフト室の高さ「HD」より非常に低い高さ「HA」を有する。1つの好適な実施形態では、マイクログリッド(111)と抵抗層(113)間の距離は約100マイクロメートルである。

【0048】

柱(119)は通常、マイクログリッドを支持するために読み取り電極の表面全体にわたって分散され、その全長にわたって抵抗性電極から設定距離に保たれ得るようにする。支持柱は、マイクログリッドと抵抗層が電氣的に絶縁され一定距離に維持され得るよう

50

する誘電体で作られる。柱の径は、検出が可能でない不感帯を制限するために可能な限り小さくしなければならない。

【0049】

図3は、本発明の検出器を通過する電離粒子の束の様々な状態を示す。単純化のために、図3は、ミューオンなどの1つの粒子が検出器を通過すると何が発生するかを示すが、原理はミューオンの束に関し同じままである。本発明の原理は、ドリフト室を通る荷電粒子(302)の通路上のガスのイオン化に基づく。その通路上では、ミューオンは、ドリフト室を貫流するガスをイオン化し、一次電子と呼ばれるものを生成する(304)。ドリフト室内に存在する電界に晒される生成された一次電子は、ドリフト室に対し直交するマイクログリッドまでドリフトする(306)。マイクログリッドは増幅室への遷移の区域である(308)。マイクログリッド内の孔を通過した一次電子は次に、アバランシェ効果を介し、増幅室内に存在する電界により増倍される(310)。二次電子と呼ばれるものとイオンとのマイクロアバランシェは、抵抗層内に電流を誘起し(312)、これにより、容量結合を介し下方の導電性読み取りトラック(x, y)内に電気信号を誘起する(314)。信号の解析は、粒子の通過に伴うインパクトの二次元位置(x, y)と到達時刻とが判断され得るようにする。すべての電気信号は次に、取得および処理回路により処理される(120)。信号は最初に増幅される(316)。1つの好適な実施形態では、増幅器は、周知のAPV25タイプのハイブリッド基板の回路である。アナログ信号はその後、アナログ/デジタル変換器によりデジタル化され(318)、デジタルデータは次に、コンピュータにより処理されることができるよう、適応化され(320)格納される(324)。

10

20

【0050】

増幅室内で生成されたアバランシェ効果(310)は、同一であるが反対極性のパルスをグリッド上に生成する(311)。本発明の検出器のデータ解析およびデータ処理装置は、この信号が、検出器を通る電離粒子の通過に関する情報を提供するために使用されるようにする。これらの誘起電気信号は最初に増幅され(313)、次に、背景雑音を除去するために識別され(315)、次に、論理パルスへ変換される(317)。1つの好適な実施形態では、生成されたパルスは、周知の標準化「原子力計装モジュール：Nuclear Instrumentation Module」(NIM)フォーマットのものである。このNIMパルスは、電離粒子の通過の精密な時刻を排他的に捕捉することを可能にすることを目的としてデータの取得をトリガする役目を果たす。これは、取得されたデータ容量が、像の復元に対して興味無いデータを除去することにより最適化され得るようにする。有利には、検出器の有効性は、設定されたサンプリング周波数による取得に関係するデータ損失が例えば最小化されるので、これにより改善される(具体的には、電子基板は、サンプル間の不感時間のために、連続記録には好適ではない)。

30

【0051】

データ取得およびデータ処理回路のすべては有利には、本発明の検出器の唯一のインターフェース(120)を形成する単一電子基板上に位置し得る。

【0052】

一実施形態(不図示)では、例えばシンチレータベースである外部データ取得装置が、電離粒子の経路の解析のためのデータの取得をトリガするために追加され得る。

40

【0053】

図4は、電離粒子の経路の再構築を目的として行われるデータ解析の工程の流れ図を示す。照射された画素の位置から2D位置を直接判断するために正方行列アレイの画素を採用する非特許文献“Operation of a GEM-TPC with Pixel Readout” by Brezina et al., IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 59, no. 6, 1 December 2012に記載のGEM-TPC検出器とは異なり、本発明の原理は、90°だけオフセットされた2つの軸に沿って存在する照射されたトラックの組み合わせを使用することにより精密な2D位置を計算することである。

50

【 0 0 5 4 】

検出器 (1 2 0) のインターフェースへ接続されたハイブリッド基板上で開始される方法 (3 1 6) は、所与の期間内に生成された電気信号の電圧振幅の等時間間隔の測定により始まる。1つの特定実施形態では、それぞれが128個の読み取りトラック (x , y) の測定に専用化された各ハイブリッド基板は、67.5 μ sの間、電圧を25ナノ秒毎に測定する。

【 0 0 5 5 】

測定電圧が所与の閾値未満であれば (4 0 4 、 「いいえ」分岐) 、測定は雑音であると考えられる (4 0 6) 。測定された平均電圧が所与の閾値より高ければ (4 0 4 、 「はい」分岐) 、測定は読み取りトラックへのインパクトを表すと考えられ、保持される (4 0 8) 。通常、閾値は20,000個の電子上の電荷に等価である。

10

【 0 0 5 6 】

本方法は次に、各ハイブリッド基板により示されたインパクトが読み取りトラックに対して直近のインパクトであるかどうか判断され得るようにする (4 1 0) 。上記インパクトが、分離された読み取りトラックに対応すれば、分離されたインパクトであると考えられ、雑音として拒絶される (4 1 2) 。インパクトが連続的読み取りトラック (例えば10個の連続的トラック) に対応すれば、本方法は、インパクトを受けたトラックが「x」軸と「y」軸とに沿ってグループ化され得るようにする (4 1 4) 。

【 0 0 5 7 】

以下の工程 (4 1 6) では、本方法は、各軸「x」と「y」とに沿ったどのグループのトラックが所与の時間窓内にインパクトを受けるかを判断することと、それらを関連付けることとを可能にする。トラック (x , y) のグループ同士の関連性は、粒子の位置に関する情報を提供する点を判断し (4 1 8) 、したがって、この点に対応する粒子がドリフト室を通過した高さを判断し、これにより、その経路が再構築され得るようにする。有利には、本方法は、粒子がドリフト室内に侵入した入射角に応じて点が識別され得るようにする。

20

【 0 0 5 8 】

具体的には、検出器内にほぼ垂直に侵入する粒子に関して、増幅室内の二次電子のマイクロアバランシェは極密集しており、重なり得る。第1の処理操作 (4 2 0) は、垂直軸に対する入射角がほぼ零である点 (20°未満の角度 (+ 10° ~ - 10° の角度範囲)) で検出器の室内に侵入した粒子に対応する)へ適用される。これらの粒子に関して、近隣トラックのグループのすべては単一グループであると考えられ、本方法は、測定の期間にわたるこのグループ内の重心の動きが解析され得るようにする。本方法は次に、粒子の方位経路が、重心の動きの方向と点の位置 (x , y) とに基づき再構築され得るようにする (4 2 2) 。

30

【 0 0 5 9 】

20° ~ 90° の間に含まれる角度範囲内に存在する非零角度で検出器内に侵入する粒子に関して、第2の処理操作が適用される (4 2 4) 。これらの粒子に関して、ドリフト室を通る粒子の通過中に生成された二次電子の様々なマイクロアバランシェが、明瞭に分離されて異なるトラックのグループにインパクトを与える。本方法は、トラックの各グループが、トラックのグループの動きの変動を判断することを目的として測定の期間にわたって解析され得るようにする (4 2 4) 。本方法は次に、粒子の方位経路が、トラックのグループの動きの方向と点の位置 (x , y) とに基づき再構築され得るようにする (4 2 6) 。

40

【 0 0 6 0 】

2つの先行ケースでは、方位経路が知られると、3Dでの経路の計算が、各粒子の天頂角の獲得と共に行われる。一次および二次電子のドリフト速度と移動時間 (電気信号間の分離間隔により与えられる) とを知ると、本方法は、移動される垂直方向距離としたがって各経路の天頂角とを再構築することができる。

【 0 0 6 1 】

50

最後に、天頂および方位角に応じて測定されたミュオン束に基づき、通過された媒体の密度を撮像することが可能になる。具体的には、ミュオン束の減衰は、表面ミュオン束と媒体（例えば岩盤、芸術作品、産業用大建造物）を通過後に測定されたミュオン束との比として定義される。このパラメータは、その平均密度が掛けられた通過された物資の長さ、既知の数学的関係により関係付けられる。

【0062】

撮像対象媒体の表面の幾何学形状の知識は、検出器に到達する前にミュオンにより通過された長さが判断され得るようにする。当業者は「共通源から発生するミュオンの数と束との比が、設定されたサイズの検出器によるミュオンの数とそれらの精密な到達時刻との測定のおかげで計算され、これにより、ある方向から発生するミュオン束（単位面積および時間当たりの粒子の数）が取得され得るようにする」ということを知っている。既知の寸法を有する物体の密度は、次の周知の式により表されるように、自由空間（free-sky）ミュオン束と測定された束との比に比例する： $I / I_0 = \exp(\mu \times d)$ 、ここで、 I_0 は表面束、 μ は密度関連減衰係数、 d は粒子が通過した距離である。表面束 I_0 は、以下のモデルなどの高度、緯度および経度を含むパラメータに応じてミュオン束値を予測することができる理論モデルのおかげで判断される：

[1] T. K. Gaisser, Cosmic Rays and Particle Physics. Cambridge, 1990;

[2] L. N. Bogdanova, M. G. Gavrilov, V. N. Kornoukhov and A. S. Starostin, submitted to Phys. Atom. Nucl. [arXiv:nucl-ex/0601019];

[3] A. Tang, G. Horton-Smith, V. A. Kudryavtsev and A. Tonazzo, submitted to Phys. Rev. E [arXiv:hep-ph/0604078].

【0063】

表面束 I の測定は次に、粒子の経路に沿った平均密度「 d 」が導出され得るようにする。したがって、トポグラフィーに関連する指向性ミュオン束の減衰の測定は、方位角と天頂角に応じて媒体の平均密度が取得され得るようにする。

【0064】

図5は、ガス検出器内のガスの分布および質を制御および調整する方法を示す。ガス検出器の既知のガス分配回路は、開回路モードで動作し、これは、ガスの多大な損失と環境の不必要な汚染の危険性を生じる。さらに、ガス検出器の性能はとりわけ、使用されるガスの質と安定性とに依存する。新しいガス検出器ガス分散装置と関連方法とが提供される。有利には、本装置は、ガス消費が、検出器の性能を低下することなく低下され得るようにするほぼ閉じた回路である。本装置は、ガス中に存在する様々な汚染物を濾過する系であって、ガスの流速を制御するための回路と環境変数（特に、ガス検出器の内圧と温度）を制御するための回路とを伴う系で構成される。有利には、本装置を構築する様々な素子の組み合わせは、ガス検出器の利得が直接制御および安定化され得るようにし、したがって、一貫したデータが、粒子の軌道を確認することを目的として取得され得るようにする。さらに、ガス分散回路は閉回路モードで動作するので、ガス放射は低減される。これは、劣悪換気限定空間において有利でありかつ必要である。

【0065】

図5は、閉回路内のガス流（二重矢印）と、同回路内の様々な測定点において観測されるデータ流れ（単一矢印）とを示す。図6は、このようなガス分散装置の実施形態を示し、この実施形態は本発明のガス検出器に特に好適である。明確化のために、データ流れは図6に示さない。

【0066】

ガスを制御および調整する方法（500）は、回路の入口内へのガスの注入で始まる（502）。図6に示すように、ガスは高圧ガスシリンダ（600）から発生し得、ガスはシリンダから出ると、圧力を規定値（好適には、室内圧力より最大0.1 bar高い）に

10

20

30

40

50

するように圧力調整器(601)を通過する。次に、ガスは粒子フィルタ(602)を通過して濾過される。濾過は、粒子を浮遊状態に保つことにより検出器の内部の汚染が回避され得るようにする。好適な実施形態では、フィルタは、検出器のマイクログリッドの孔の大きさ未満の値である0.22マイクロメートルの粒子フィルタである。次に、ガスは、ガスの流量が手動で制御され得るようにする可変面積流量計(603)を通過して閉回路中に送出される。

【0067】

この流量は、閉回路の入口においてデジタル的に測定され(504、604)、測定結果はPLC(540)へ送信される。次に、ガスは、ガスを流れるように強いるために、圧力勾配が生成され得るようにする可変速度ポンプ(506、606)へ送られる。次に、ガスは任意選択的に、水蒸気用の第2のフィルタ(510、610)が後に続く酸素を保持する第1のフィルタ(508、608)内で濾過され得る、または、酸素および水蒸気フィルタにより自由にされた不純物のために必要とされ得る第2の粒子フィルタ(512、612)へ直接送られ得る、のいずれかである。好適な実施形態では、粒子フィルタは0.22マイクロメートル粒子フィルタである。

【0068】

酸素フィルタは、この分子による一次電子の吸収を最小化する役目を果たし、これにより検出器の性能を高める。

【0069】

水フィルタは、一方では前述のフィルタと同じ理由で、他方では、検出器の利得を著しく低下させ、その腐食を促進するので、水蒸気がドリフト室へ到達するのを防止することができるようにする。

【0070】

粒子フィルタ(512、612)を出ると、ガスの圧力が測定され、その値はPLC(510)へ送信される。次に、ガスは検出器(100)に入る。

【0071】

検出器を出ると、所望の動作圧にされた反戻弁(516、616)は、ガスの圧力が、ガスの放出を可能にすることと、系を過剰圧力から保護することとを目的として、試験され得るようにする(518)。上記放出は、空気のいかなる侵入も防止し、出るガス流が見られ得るようにする気泡管(526、626)内へ行われる。

【0072】

検出器(100)を出たガス流は測定され(520、620)、再循環中のガスの量が判断され得るようにする。測定値はPLC(510)へ送信される。次に、ガスは、ガスの戻りが防止され得るようにするとともに流れを単一方向に強いる制御弁(522、622)へ移る。

【0073】

次に、ガスは流れて入力ポンプ(506、606)へ戻る。

【0074】

PLC(510)は、ガスの流量の測定結果(504、520)、閉回路において観察された圧力の測定結果(514)、およびこの目的のために設置された熱電対からの温度情報(527)を受信し、次にガスの流量を調整することができる(538)。

【0075】

ガスの流速を制御するための回路は、検出器の利得が所望の値に維持され得るようにする。検出器の利得は、検出器から受信されたデータ(530)を使用することにより、調整可能時間間隔(典型的には1h)で定期的に計算され、ユーザにより指定された最適値(532)と比較される。処理ユニット(534)は検出器の利得が判断され得るようにし、この値は事前定義された最適利得値と比較される(536)。これらの値に差異がある場合、回路は、調整(538)が規定流量に対し行われ得るようにし、値がPLC(540)へ送信され得るようにし、ポンプ(506)の速度が自動的に修正され得るようにし、これにより、ガスの流量を調整し、最適利得値が戻され得るようにする。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 6 】

オペレータに P L C (5 0 5) を手動で制御することを許容する別の代替動作モードが存在する。

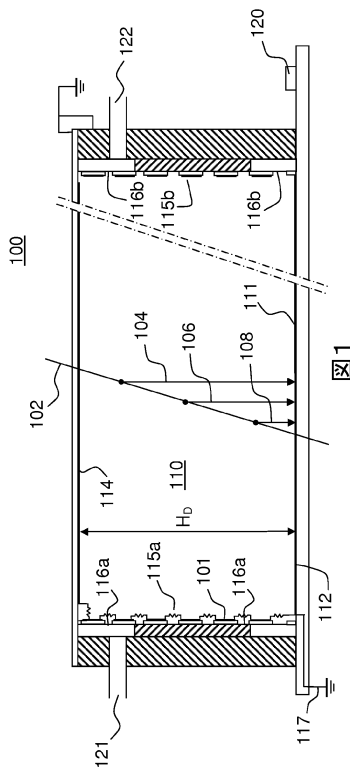
【 0 0 7 7 】

したがって、閉回路モードで動作する提案されたガス検出器ガス分散装置は、ガスの濾過の効果、濾過されたガスの再循環の効果、測定を介した検出器の利得の直接制御の効果、および検出器の内圧などの動作パラメータの適応化の効果を組み合わせる。

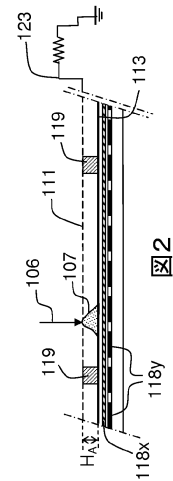
【 0 0 7 8 】

当業者は、変更が本発明の原理から乖離することなく、説明した好適な実施形態に対して行われ得るということを理解することになる。

【 図 1 】



【 図 2 】



【図3】

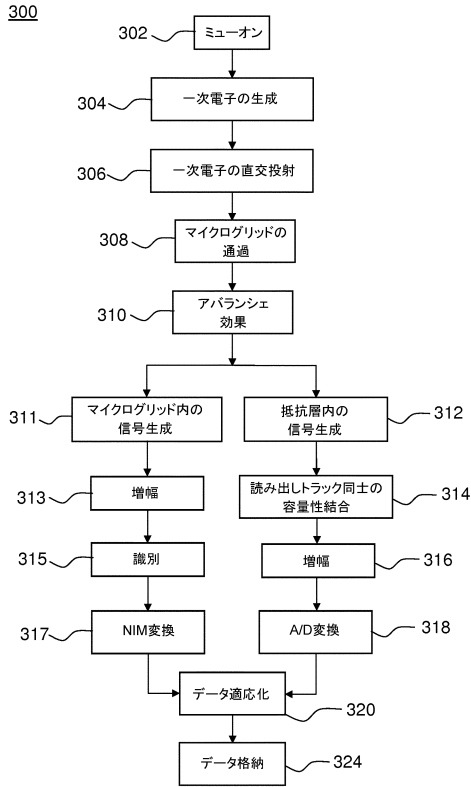


図3

【図4】

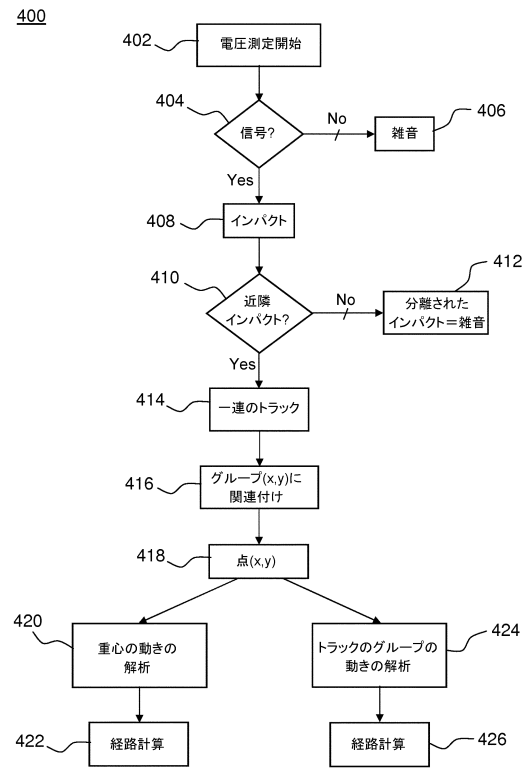


図4

【図5】

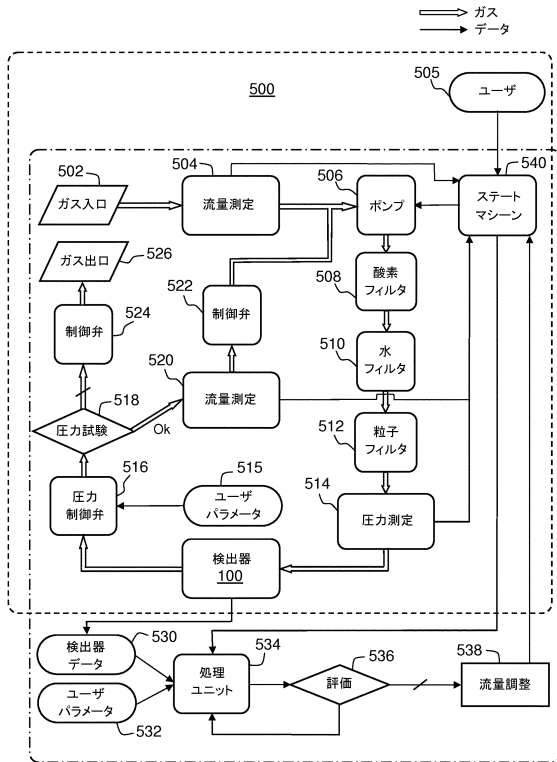


図5

【図6】

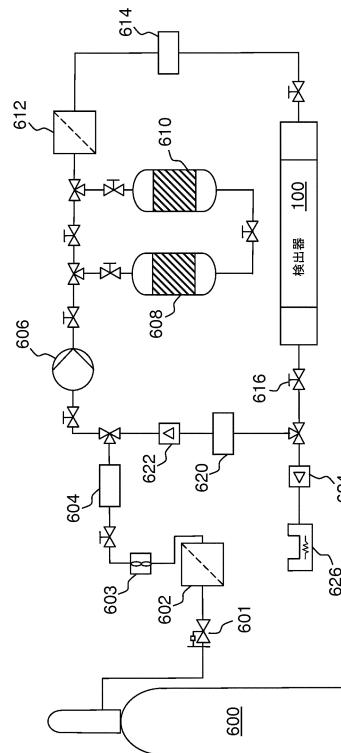


図6

フロントページの続き

(73)特許権者 518399416

ユニベルシテ・ニース・ソフィア・アンティポリス
フランス国、06103・ニース・セデックス・2、ベ・ペ・2135、アブニュ・バルローズ・
28

(73)特許権者 518399427

ユニベルシテ・ダピニオン・エ・デ・ベイ・ドゥ・ボークリューズ
フランス国、84029・アピニオン・セデックス・1、リュ・ルイ・パストゥール・74

(74)代理人 110001173

特許業務法人川口国際特許事務所

(72)発明者 ラザロ・ロッシュ, イグナシオ

フランス国、84400・アプト、ジュイブリ・20

(72)発明者 サラン, ピエール・エリー・マリー

フランス国、06400・カンヌ、アブニュ・ジャン・ドゥ・ラトル・ドゥ・タシニー・2

(72)発明者 ギャッフェ, ステファヌ

フランス国、84000・アピニオン、リュ・デ・ブルエ・19・ア

(72)発明者 セール, トマ

フランス国、13005・マルセイユ、リュ・ジャン・ブリュネル・11

(72)発明者 ドゥシトロ, ジャン・バティスト

フランス国、84490・サン・サトゥルマン・レ・アプト、リュ・ドゥ・ラ・コンブ・17

(72)発明者 イベール, ファニー・カトリーヌ

フランス国、13600・ラ・シオタ、シュマン・ドゥ・ルマグア・パルク・ドゥ・ラ・テセ・キ
ヤレ・マドラス・ア・1.34

審査官 佐藤 仁美

(56)参考文献 米国特許出願公開第2008/0128604 (US, A1)

特開昭59-125087 (JP, A)

特表2008-530581 (JP, A)

特表平06-510162 (JP, A)

特開2007-183137 (JP, A)

I. LAZARO, et.al., , Muon telescope based Micromegas detectors: From design to data ac
quisition, E3S Web conferences, , 2014年, 4, (2014), 01002, URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20140401002>

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

IPC

G01N 23/00 - G01N 23/2276、

G01T 1/00 - G01T 1/16、

G01T 1/167 - G01T 7/12、

G01V 1/00 - G01V 99/00、

H01J 40/00 - H01J 49/48