

(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  
2009年9月11日(11.09.2009)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2009/110529 A1

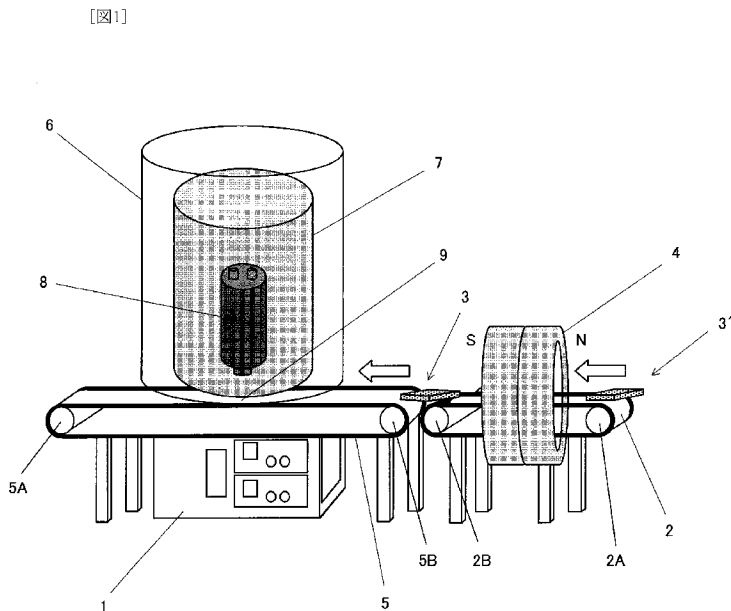
- (51) 国際特許分類:  
G01N 27/72 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/054125
- (22) 国際出願日: 2009年3月5日(05.03.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2008-054360 2008年3月5日(05.03.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人 豊橋技術科学大学(National University Corporation TOYOHASHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒4418580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 田中 三郎 (TANAKA, Saburo) [JP/JP]; 〒4418580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 国立大学法人 豊橋技術科学大学内 Aichi (JP). 廿日出好 (HAT-SUKADE, Yoshimi) [JP/JP]; 〒4418580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 国立大学法人 豊橋技術科学大学内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 清水 守 (SHIMIZU, Mamoru); 〒1010053 東京都千代田区神田美土代町1-1番地1-2ニチヨビル Tokyo (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, 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: NONDESTRUCTIVE TEST EQUIPMENT EMPLOYING SQUID MAGNETIC SENSOR

(54) 発明の名称: S Q U I D磁気センサを用いる非破壊検査装置



(57) Abstract: Provided is nondestructive test equipment employing an SQUID magnetic sensor and capable of detecting magnetic particles in an insulator or a magnetizable member of an electronic device destructively and exactly. The nondestructive test equipment employing an SQUID magnetic sensor comprises a magnet (4) for horizontal magnetization which applies a magnetix field to an article (3') under test in the longitudinal direction, a testing section (9) for setting an article (3) under test which is magnetized horizontally in the longitudinal direction by the magnet (4) for horizontal magnetization, conveyers (2, 5) for conveying the article (3) under test which is magnetized horizontally, and a gradiometer (8) for detecting particles which are magnetized horizontally along with a magnetizable member, i.e. the article (3) under test magnetized horizontally.

(57) 要約: 電子デバイスなどの絶縁物中や帯磁可能な部材中の磁性パーティクルを非破壊で、かつ的確に検出することができるSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置を提供する。SQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、被検査物3'の長手方向に磁場を印加する水平帯磁用磁石4と、この水平帯磁用磁石4により長手方向に水平磁化された被検査物3がセットされる検査部9と、前記水平磁化された被検査物3を搬送するベルトコンベア2、5と、前記水平磁化された被検査物3である磁化可能な部材とともに水平磁化されたパーティクルを検出するグラジオメータ8とを具備する。

WO 2009/110529 A1

## 明 細 書

### SQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置

#### 技術分野

[0001] 本発明は、被検査物の非破壊検査を行うSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置に関するものである。

#### 背景技術

[0002] 金属材料や導電性複合材料などを用いた構造物における非破壊検査においては、渦電流を誘導して亀裂を検出する渦流探傷法、超音波を用いる超音波試験法、X線を用いるX線試験法がこれまでに実用化されており、さらにSQUID(超伝導量子干渉素子; Superconducting Quantum Interference Device)磁気センサを用いる非破壊検査方法も提案されている(下記特許文献1参照)。

特許文献1:特開平07-077516号公報

特許文献2:特許第3152074号公報

#### 発明の開示

[0003] 上記した従来の渦流探傷法では、高い感度を得るのに高周波数の渦電流を誘導する必要があるため、試料表面近くのコンマ数mm程度の範囲しか検査が行えないという問題点がある。また、SQUID磁気センサなどと比較すると、感度が不十分である。また、従来の超音波試験法は、一様な金属材料に対しては優れた検査法であるが、内部が複雑な構造となっている複合材料は界面で超音波が反射したり散乱したりするため、精密な検査が行えない。従来のX線試験法も優れた検査法であるが、X線は一般的に扱いつらく、被爆の問題から特別な施設や資格を必要とするため、汎用性が低い。

[0004] 一方、SQUID磁気センサを用いた非破壊検査手法は、低周波数帯域においても大変高い感度を有するSQUID磁気センサを用いるため、渦流探傷法よりもはるかに深部および微小な欠陥の検出が可能となる。また、超音波試験法よりは内部の複雑構造の影響を受け難く、複合材料への適用が可能であることも証明されている。さらに、X線試験法のような危険性も少なく、特別な施設や資格の必要性もない。

また、検査直前に線状体のような長尺被検査物を垂直方向に磁化するための磁界発生手段を設けるようにした非破壊検査装置が提案されている(上記特許文献2参照)が、これは線状体のような長尺被検査物を均一に磁化するものであり、電子デバイスなどに混在する磁化された部材を検出するには適しないものであった。

[0005] 特に、電子デバイスなどの絶縁物中や帯磁可能な部材中の磁性パーティクルを非破壊で、かつ的確に検出することが強く要請されているが、かかる非破壊検査装置は未だ提案されていないのが現状である。

本発明は、上記状況に鑑みて、電子デバイスなどの絶縁物中や帯磁可能な部材中の磁性パーティクルを非破壊で、かつ的確に検出することができるSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置を提供することを目的とする。

[0006] 本発明は、上記目的を達成するために、

[1] SQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、被検査物の長手方向に磁場を印加する水平帯磁用磁石と、この水平帯磁用磁石により長手方向に水平磁化された被検査物がセットされる検査部と、前記水平磁化された被検査物を搬送するベルトコンベアと、前記水平磁化された被検査物である磁化可能な部材とともに水平磁化されたパーティクルを検出するグラジオメータとを具備することを特徴とする。

[0007] [2] 上記[1]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記ベルトコンベアは、前記被検査物に磁場を印加する帯磁ステージとなる第1のベルトコンベアと、この第1のベルトコンベアとは別個に配置され、前記被検査物が検査される検査ステージとなる第2のベルトコンベアとを具備することを特徴とする。

[0008] [3] 上記[1]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記磁場の印加後に前記ベルトコンベアへ付着した異物の除去を行うためのクリーニング手段を配置することを特徴とする。

[0009] [4] 上記[1]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記磁化可能な部材が磁化されない部材中に配置されることを特徴とする。

[0010] [5] 上記[4]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記磁化されない部材が絶縁部材であることを特徴とする。

- [0011] [6] 上記[5]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記絶縁部材がセラミックスであることを特徴とする。
- [0012] [7] 上記[1]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記磁化可能な部材が活物質が塗布された導電箔であることを特徴とする。
- [0013] [8] 上記[7]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記導電箔が銅箔又はアルミニウム箔であることを特徴とする。
- [0014] [9] 上記[1]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記パーティクルは前記磁化可能な部材上または部材中に位置することを特徴とする。
- [0015] [10] 上記[4]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記パーティクルが前記磁化されない部材中に位置することを特徴とする。
- [0016] [11] 上記[1]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記パーティクルが磁性体であることを特徴とする。
- [0017] [12] 上記[11]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記磁性体が鉄、ニッケル、若しくはコバルト、又は鉄、ニッケル、若しくはコバルトの何れかを含有する合金であることを特徴とする。
- [0018] [13] 上記[1]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記水平帯磁用磁石が永久磁石であることを特徴とする。
- [0019] [14] 上記[1]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記グラジオメータの位置は固定のまま、前記水平磁化された被検査物をX方向に移動させることにより1次元走査を行うことを特徴とする。
- [0020] [15] 上記[1]記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記被検査物の移動方向に直交する方向に複数個のグラジオメータを配置して、前記被検査物の幅方向の検査も同時に行うことを特徴とする。

#### 図面の簡単な説明

- [0021] [図1]本発明の実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置の模式図である。
- [図2]本発明の第1実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で1次元走査評価をするために提供される被検査物を示す図である。

[図3]本発明の第1実施例における被検査物の着磁の状態を示す図である。

[図4]本発明の第1実施例における被検査物の1次元走査を示す図である。

[図5]本発明の第2実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で1次元走査評価をするために提供される被検査物とその1次元走査評価結果を示す図である。

[図6]本発明の第2実施例の具体例を示す図である。

[図7]本発明の第3実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で1次元走査評価をするために提供される被検査物とその1次元走査評価結果を示す図である。

[図8]本発明の第4実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で2次元走査評価をするために提供される被検査物の着磁の状態を示す図である。

[図9]本発明の第4実施例を示す被検査物の2次元走査(X軸およびY軸方向走査)を行うSQUID磁気センサ(グラジオメータ)を用いる非破壊検査装置の模式図である。

[図10]本発明の第4実施例を示す被検査物の走査結果を示す図である。

[図11]本発明の第5実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で2次元走査評価をするために提供される磁性パーティクルが存在しない場合のセラミック電子デバイス(被検査物)のグラジオメータによる検査結果を示す図である。

[図12]本発明の第5実施例を示す磁性パーティクルが存在する場合のセラミック電子デバイス(被検査物)のグラジオメータによる検査結果を示す図である。

[図13]本発明の第5実施例を示すセラミック内部にパーティクルが存在する被検査物を示す図である。

[図14]本発明のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で測定されるリチウム電池電極板を示す図である。

[図15]本発明の他の実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で検査するために提供される被検査物を示す図である。

[図16]本発明の2段コンベアと1段コンベアとによる検査信号の比較を示す図である。

[図17]本発明の他の実施例を示す複数のSQUID磁気センサ(グラジオメータ)を

用いる非破壊検査装置の模式図である。

発明を実施するための最良の形態

- [0022] SQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、被検査物の長手方向に磁場を印加する水平帯磁用磁石と、この水平帯磁用磁石により長手方向に水平磁化された被検査物がセットされる検査部と、前記水平磁化された被検査物を搬送するベルトコンベアと、前記水平磁化された被検査物である磁化可能な部材とともに水平磁化されたパーティクルを検出するグラジオメータとを具備する。
- [0023] 本発明によれば、以下のような効果を奏することができる。
- [0024] (1)被検査物中に混在するパーティクルを非破壊で、かつその位置情報を含めて的確に検出することができる。
- [0025] (2)被検査物への磁場の印加は第1のコンベア上で行われ、その被検査物の検査は第1のコンベアとは別個に配置される第2のコンベアで行われるようにしたので、検査ステージにおける磁気ノイズを除去し、正確な検査を行うことができる。
- [0026] (3)水平磁化された被検査物中に強く磁化される鉄などの強磁性体があっても、被検査物が高温超電導SQUID磁気センサを通過したときに発生する磁界は強磁性体の両端部と磁化された異物(パーティクル)のみで発生するので、磁化された異物(パーティクル)を高精度に検出することができる非破壊検査が可能となる。この場合、異物(パーティクル)が磁性体の両端部付近に存在する場合はその検出が困難になるが、あらかじめ異物(パーティクル)を含まない被検査物の信号パターンを記憶して、異物(パーティクル)を含む被検査物の信号から差し引くことによって、異物の信号を検出することができる。

実施例

- [0027] 以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。
- [0028] 図1は本発明の実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置の模式図である。
- [0029] この図において、1は制御装置、2は第1のコンベア(着磁ステージ)、2Aは第1のコンベア2の駆動側の電動機付き駆動プーリー、2Bは第1のコンベア2の従動プーリー、3' は着磁前の被検査物、4は着磁前の被検査物3' を長手方向に磁化させるた

めの水平帯磁用磁石(トンネル状の永久磁石)、5は第1のコンベア(着磁ステージ)2とは別個に配置される第2のコンベア(検査ステージ)、5Aは第2のコンベア5の駆動側の電動機付き駆動プーリー、5Bは第2のコンベア5の従動プーリーであり、着磁された被検査物3は第1のコンベア(着磁ステージ)2とは別個に配置される第2のコンベア5によって搬送され、第2のコンベア5上で検査される。6は磁気シールド、7はSQUID冷却容器、8はSQUID磁気センサ(グラジオメータ)、9は磁化された被検査物3が検査される検査部である。磁気シールド6には電磁波の影響を避けるため、アルミニウムなど導電性の材料で構成した電磁シールドを設けるようにしてもよい。

[0030] このように、着磁前の被検査物3' は、第1のコンベア2によって、長手方向に永久磁石のS極とN極が配置されたトンネル状の水平帯磁用磁石4内を搬送され、連続的に着磁される。着磁された被検査物3は、第2のコンベア5によってSQUID磁気センサ8の検査部9へと搬送される。なお、トンネル状の水平帯磁用磁石4は、電磁石により構成するようにしてもよい。また、一端にS極、他端にN極を持つ半円トンネル状の永久磁石あるいは電磁石を構成し、その中に被検査物3を通過させて、コンベア2を停止させることなく連続的に着磁するようにしてもよい。

[0031] このように、第1のコンベア(着磁ステージ)2と第2のコンベア(検査ステージ)5とを分割するように構成することが望ましい。このような構成とすることで、コンベアへの異物の付着によるコンベア自体への着磁の影響を最小にすることができるので、磁気ノイズが除去され、正確な検査を行うことができる。

[0032] なお、上記した第1のコンベア及び第2のコンベアとしては、ここでは図示しないがモータで駆動されるエンドレスベルトコンベアを使用しているが、これに代えて、回転寿司で使用されているような水平面を搬送するコンベアを使用したり、駆動方式としては、静電式ベルトコンベアなどを用いるようにしてもよい。

[0033] また、第1のコンベアと第2のコンベアに分離しない単一のベルトコンベアで構成する場合には、特に水平帯磁用磁石とグラジオメータとをクリーンブース内に配置して、コンベアへの異物の付着及び着磁を防止したり、水平帯磁用磁石とグラジオメータとの間に粘着ローラなどのクリーニング手段を配置して、コンベアへ付着した異物の除去を行うなどして、異物の付着による計測時の磁気ノイズの発生を抑えるように配慮

することが望ましい。

- [0034] 図2は本発明の第1実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で1次元走査評価をするために提供される被検査物を示す図であり、図2(a)は被検査物を示す図面代用写真、図2(b)は被検査物の上面図、図2(c)は被検査物の正面図、図3はその被検査物の着磁の状態を示す図、図4はその被検査物の1次元走査を示す図であり、図4(a)はその被検査物の1次元走査結果を示す図、図4(b)は1次元走査状態を示す上面図、図4(c)はその正面図である。
- [0035] この第1実施例では、図2に示すように、磁化可能な帯状部材である真鍮板11'（幅10mm、長さ54mm）上にステンレスパーティクル(SUS304直径φ0.3mm球)12'が位置している。図3に示すように、このステンレスパーティクル12'を有する着磁前の真鍮板11'を表面磁束密度0.15Tの永久磁石2個13, 14を用いて磁化する。次いで、図4(b)及び(c)に示すように、着磁されたステンレスパーティクル12を有する真鍮板11が第2のコンベア15上を搬送され、位置が固定されたグラジオメータ16により1次元走査される。その走査結果は図4(a)の通りであり、図4(a)のA部およびC部は着磁された真鍮板11の端部の走査結果に対応し、図4(a)のB部は着磁されたステンレスパーティクル12の走査結果に対応している。すなわち、ここでは、ステンレスパーティクル12は、真鍮板11の端部であるA部からは真鍮板11の長手方向に26mmの位置、真鍮板11の端部であるC部からは真鍮板11の長手方向に28mmの位置に存在していることを検出することができる。つまり、真鍮板11はステンレスパーティクル12の存在位置を計測する目盛りの機能を有していることが留意されるべきである。
- [0036] 比較のため、ステンレスパーティクルが存在しない場合の被検査物の1次元走査結果も同時に示している。このように、本発明の第1実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で1次元走査を行ったところ勾配磁界(Gradient Magnetic Field)が顕著に現れ、ステンレスパーティクル12が存在することが位置情報を含めて的確に計測される。
- [0037] なお、異物(パーティクル)が磁性体の両端部付近に存在する場合はその検出が困難になるが、あらかじめ異物(パーティクル)を含まない被検査物の信号パターンを記



憶して、異物(パーティクル)を含む被検査物の信号から差し引くことによって、異物の信号を検出することができる。

[0038] 図5は本発明の第2実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で1次元走査評価をするために提供される被検査物とその1次元走査評価結果を示す図であり、図5(a)はその被検査物の着磁の様子を示す図、図5(b)はその被検査物とその検査結果を示す模式図、図6はその具体例を示す図であり、図6(a)は実際の測定結果を示す図、図6(b)はパーティクルとしてのタングステンカーバイド(直径90  $\mu\text{m}$ )が付着している真鍮板である着磁された被検査物を示す図である。

[0039] 図5(a)に示すように、第1のベルトコンベア21により着磁前の被検査物22'が搬送され、トンネル状の水平帯磁用磁石23を通り抜けることにより着磁される。図5(b)に示すように、被検査物22が着磁された真鍮板とその上に付着しているパーティクルとしてのタングステンカーバイド(直径90  $\mu\text{m}$ )24からなる場合、被検査物22の両端部およびパーティクルとしてのタングステンカーバイド24の位置で勾配磁界が検出される。

[0040] 具体例を示すと、スタンドオフ:3.6mm、速度:2.7mm/分、磁界:0.2Tの場合、図6(b)に示すように、タングステンカーバイド(直径90  $\mu\text{m}$ )24が付着した着磁された被検査物22は、被検査物22の先端部のS極では、図6(a)のA部のような勾配磁界が見られ、被検査物22のパーティクルとしてのタングステンカーバイド(直径90  $\mu\text{m}$ )24の位置では、図6(a)のB部のような勾配磁界が見られ、被検査物22の後端部のN極では、図6(a)のC部のような勾配磁界が計測される。このように、グラジオメータを用いた計測により、図5(b)と同様の勾配磁界を示した。

[0041] 図7は本発明の第3実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で1次元走査評価をするために提供される被検査物とその1次元走査評価結果を示す図であり、図7(a)は測定結果を示す図、図7(b)はパーティクルとしてのニッケル(50  $\mu\text{m}\square$ )が付着している真鍮板からなる着磁された被検査物を示す図である。

[0042] 具体例を示すと、帯磁方向:水平帯磁、約0.2T、スタンドオフ:3.3mm、速度:6m/分、磁束換算計数:3.4nT/Vを条件として、図7(b)に示すように、ニッケル(50  $\mu\text{m}\square$ )32が付着している真鍮板31からなる着磁された被検査物をSQUID磁気

センサ(グラジオメータ)で検査すると、図7(a)に示すように、勾配磁界が現れた。つまり、A部が真鍮板31の始端部、B部がニッケル32、C部が真鍮板31の終端部に対応する勾配磁界となっている。

[0043] 図8は本発明の第4実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で2次元走査評価をするために提供される被検査物の着磁の状態を示す図、図9はその被検査物の2次元走査(X軸およびY軸方向走査)を行うSQUID磁気センサ(グラジオメータ)を用いる非破壊検査装置の模式図、図10はその検査物の走査結果を示す図であり、図10(a)は被検査物上にパーティクルが存在しない場合を、図10(b)は被検査物上にパーティクルが存在する場合のそれぞれの結果を示す図である。

[0044] この実施例では、図8に示すように、着磁前の被検査物41'を表面磁束密度0.15Tの2個の永久磁石42, 43を用いて着磁する。図9に示すように、着磁後の被検査物41の移動方向に直交する方向(Y軸方向)にも相対的にグラジオメータ44を走査することにより、着磁後の被検査物41に付着し磁化されたパーティクル45を、長さ方向(X軸方向)と共に幅方向(Y軸方向)に対しても同時に検査することができるように構成した。

[0045] すると、図10(a)に示すように、被検査物41上に磁性パーティクルが存在しない場合には、その被検査物41の走査結果には格別の勾配磁界は見られないが、パーティクル(SUS304)45が存在する場合には、図10(b)に示すようにその位置に強力な勾配磁界が見受けられ、被検査物41上のパーティクル45の存在が計測される。

[0046] なお、上記実施例では、着磁後の被検査物41の移動方向に直交する方向の走査を行うようにしたので、被検査物41のどの位置にパーティクルが存在しても的確に検査することができる。

[0047] 図11は本発明の第5実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で2次元走査評価をするために提供される磁性パーティクルが存在しない場合のセラミック電子デバイス(被検査物)のグラジオメータによる検査結果を示す図、図12は磁性パーティクルが存在する場合のセラミック電子デバイス(被検査物)のグラジオメータによる検査結果を示す図、図13はセラミック内部にパーティクルが存在する被検査物を示す図であり、図13(a)は被検査物の上面図、図13(b)は被検査物の側面

図を示す。

- [0048] 図13において、51は絶縁部材であるセラミックに封入される電子デバイス(被検査物)、52はこの電子デバイス(被検査物)51内に設けられた磁化可能な部材、53はその磁化可能な部材52の内部に存在するパーティクルとしてのCo(直径0.1mm)である。セラミック電子デバイス(被検査物)51の場合の典型例としては、この磁化可能な部材は、磁化可能な物質が混入しているセラミック部材(すなわち、絶縁物であるセラミック部材が磁化可能な物質の混入によって磁化可能となったもの)であるが、これらに限られるものではない。
- [0049] このように、パーティクル53が絶縁物であるセラミック電子デバイス内や磁化可能となったセラミック部材の内部に存在する場合でも、図12に示すように、グラジオメータにより計測するとパーティクル53の位置では顕著な勾配磁界54が見受けられ、パーティクルの存在が計測される。
- [0050] 図14は本発明のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で測定されるリチウム電池電極板を示す図である。
- [0051] 図14に示すような、リチウム電池電極板として用いられる活物質コーティング銅箔(正極)61や、Al箔(正極)62、Cu箔(負極)63、またはセパレータ(樹脂シート)64等の上にパーティクルが存在するような場合にも、上記した計測方法により、パーティクルの存在を計測することができる。特に、絶縁物であっても鉄粉などの磁化可能な物質が混入している部材であれば十分に磁化可能であり、パーティクルの存在が計測できる。
- [0052] 図15は本発明の他の実施例を示すSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置で検査するために提供される被検査物を示す図である。
- [0053] この図において、磁化された被検査物71には、例えば、絶縁部材であるセラミックからなる長形状の磁化されない部材72中に帯状の磁化された部材73が位置しており、この帯状の磁化された部材73上または帯状の磁化された部材73上ではなく磁化されない部材72中に磁化されたパーティクル(異物)74が存在している。
- [0054] このように、磁化されたパーティクル74が磁化されない部材72中に存在する場合でも、図4と同様に、磁化されたパーティクル(異物)74の存在を的確に検出すること

ができる。

[0055] 次に、被検査物を搬送するベルトコンベアの配置について説明する。

[0056] 図16は本発明の2段コンベアと1段コンベアとによる検査信号の比較を示す図(ベルト使用開始から200時間経過後の信号の比較)であり、図16(a)は2段コンベアの場合を示す図、図16(b)は1段コンベアの場合を示す図である。

[0057] ここで試験の条件としては、帯磁方向:水平帯磁、約0.1T、センサーベルト表面間距離:5.5mm、コンベア速度:2.7m/分、磁束換算係数:3.4nT/Vとした。

[0058] 単一のコンベアで被検査物の着磁とSQUID磁気センサ(グラジオメータ)による検査の両方を行う1段コンベアに対して、本発明においては、被検査物に磁場を印加するステージとなる第1のベルトコンベア2(図1参照)と、この第1のベルトコンベア2とは別個に配置される、被検査物の検査ステージとなる第2のベルトコンベア5(図1参照)とを配置する、所謂2段コンベアとするようにしている。

[0059] 1段コンベアの場合は、図16(b)に示すように、ベルト使用開始から200時間経過後の時点では検査ステージにおける磁気ノイズが見受けられた。つまり、コンベアに付着した異物によるノイズがおおよそ0.2Vであり、それが背景ノイズになっている。これに対して、2段コンベアの場合は、図16(a)に示すように、同じくベルト使用開始から200時間経過後でも殆ど磁気ノイズは見受けられなかった。つまり、コンベアに付着した異物によるノイズはおおよそ0.02V程度であり、背景ノイズが低く、検査を良好に行うことができる。両者を比較すると、2段コンベアの場合は、1段コンベアに比して背景のノイズの大きさを1/10倍程度に小さくできる利点がある。

[0060] この点について詳述すると、磁気ノイズは、環境あるいはコンベアローラーなど回転部にある金属粉がベルトコンベアに付着して、帯磁用磁石の下をベルトコンベアが通過するとき同時に磁化されることによって発生する。

[0061] その場合の帯磁した金属粉は例えば数10 $\mu$ m以下の微粒子であり、コンベアベルト等に付着すると通常の清掃や洗浄では除去し難い。

[0062] このように、微粒子は、除去し難いので、被検査物に磁場を印加するステージとなる第1のベルトコンベア2と、この第1のベルトコンベア2とは別個に第2のベルトコンベア5を配置するようにすると、第2のベルトコンベア5は着磁に関与しないので、第2の

ベルトコンベア5上に異物が付着したとしても磁化されず、正確な検査を行うことができる。

[0063] このように、2段コンベアを用いた計測装置とすることによって、磁気ノイズが低減され、パーティクルの有無とその位置のより正確な検査を行うことができる。

[0064] また、本発明においては、上記した2段コンベアが有効であるが、1段コンベアの構成とする場合には、特に、被検査物のゴミの付着および着磁を防止し、被検査物の検査時のゴミによる磁気ノイズを低減するために、水平帯磁用磁石と前記グラジオメータとをクリーンブース内に配置したり、クリーニング手段を設けることが望ましい。

[0065] 図17は本発明の他の実施例を示す複数個のSQUID磁気センサ(グラジオメータ)を用いる非破壊検査装置の模式図である。

[0066] この実施例では、セットされた着磁後の被検査物81の移動方向に直交する方向に複数個のSQUID磁気センサ(グラジオメータ)82~85を配置して、セットされた着磁後の被検査物81に付着した磁化されたパーティクル86~89の幅方向の検査も同時に行うことができる。

[0067] 上記したように、磁化可能な部材としては、磁性体や、磁化可能な部材が塗布されたり混入された金属体、半導体または絶縁体も含まれる。また、磁化可能な部材の形状は長尺体(矩形体)に限定するのではなく、四角形状や円形状、楕円形状であってもよい。

[0068] なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づき種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

#### 産業上の利用可能性

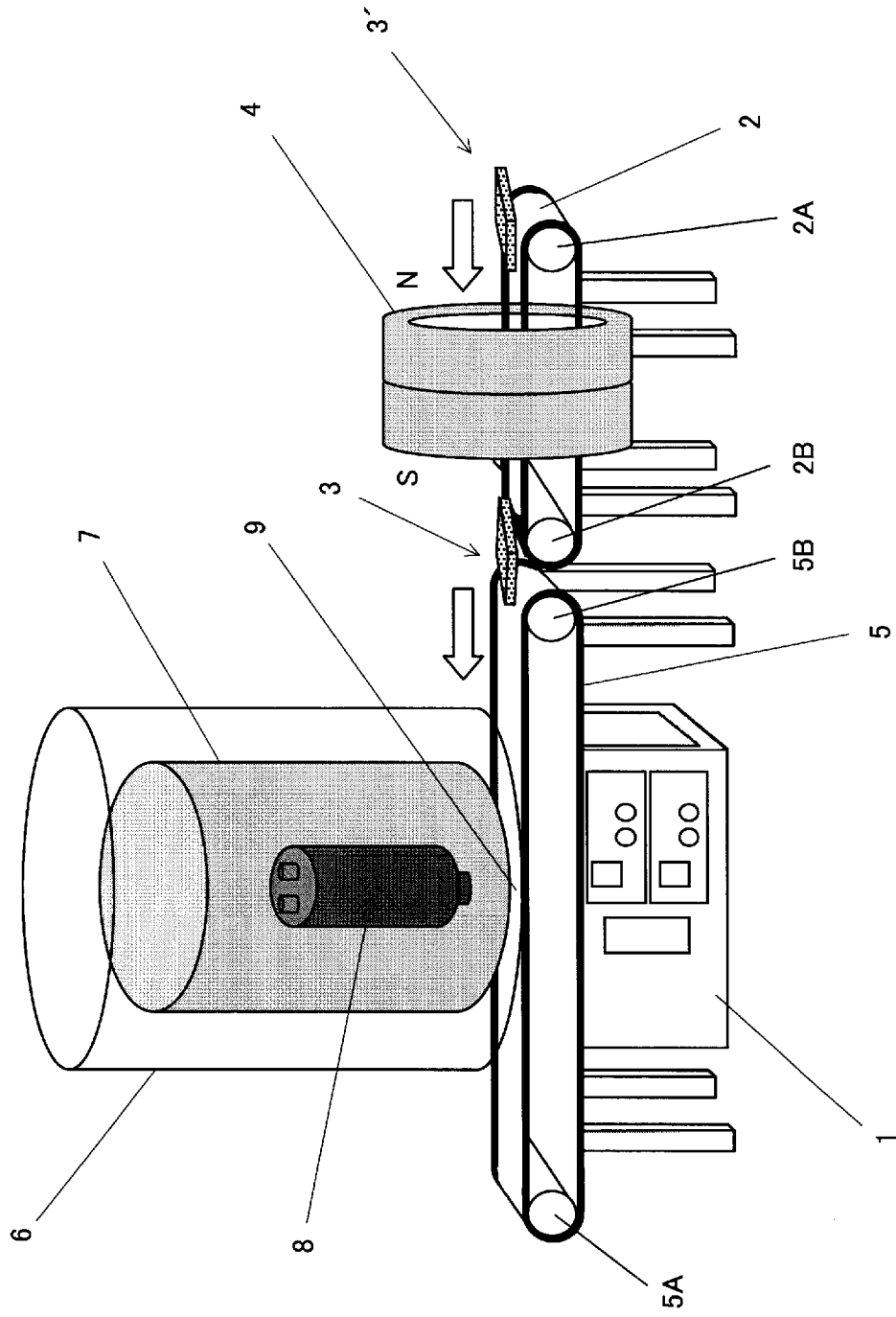
[0069] 本発明のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置は、被検査物に付着したり、内在したりしている磁化されたパーティクルを非破壊で、かつその位置情報を含めて的確に検出することができる検査装置として利用可能である。

## 請求の範囲

- [1] (a)被検査物の長手方向に磁場を印加する水平帯磁用磁石と、  
(b)該水平帯磁用磁石により長手方向に水平磁化された被検査物がセットされる検査部と、  
(c)前記水平磁化された被検査物を搬送するベルトコンベアと、  
(d)前記水平磁化された被検査物である磁化可能な部材とともに水平磁化されたパーティクルを検出するグラジオメータとを具備することを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [2] 請求項1記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記ベルトコンベアは、前記被検査物に磁場を印加する帯磁ステージとなる第1のベルトコンベアと、該第1のベルトコンベアとは別個に配置され、前記被検査物が検査される検査ステージとなる第2のベルトコンベアとを具備することを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [3] 請求項1記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記磁場の印加後に前記ベルトコンベアへ付着した異物の除去を行うためのクリーニング手段を配置することを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [4] 請求項1記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記磁化可能な部材が磁化されない部材中に配置されることを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [5] 請求項4記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記磁化されない部材が絶縁部材であることを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [6] 請求項5記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記絶縁部材がセラミックスであることを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [7] 請求項1記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記磁化可能な部材が活物質が塗布された導電箔であることを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。

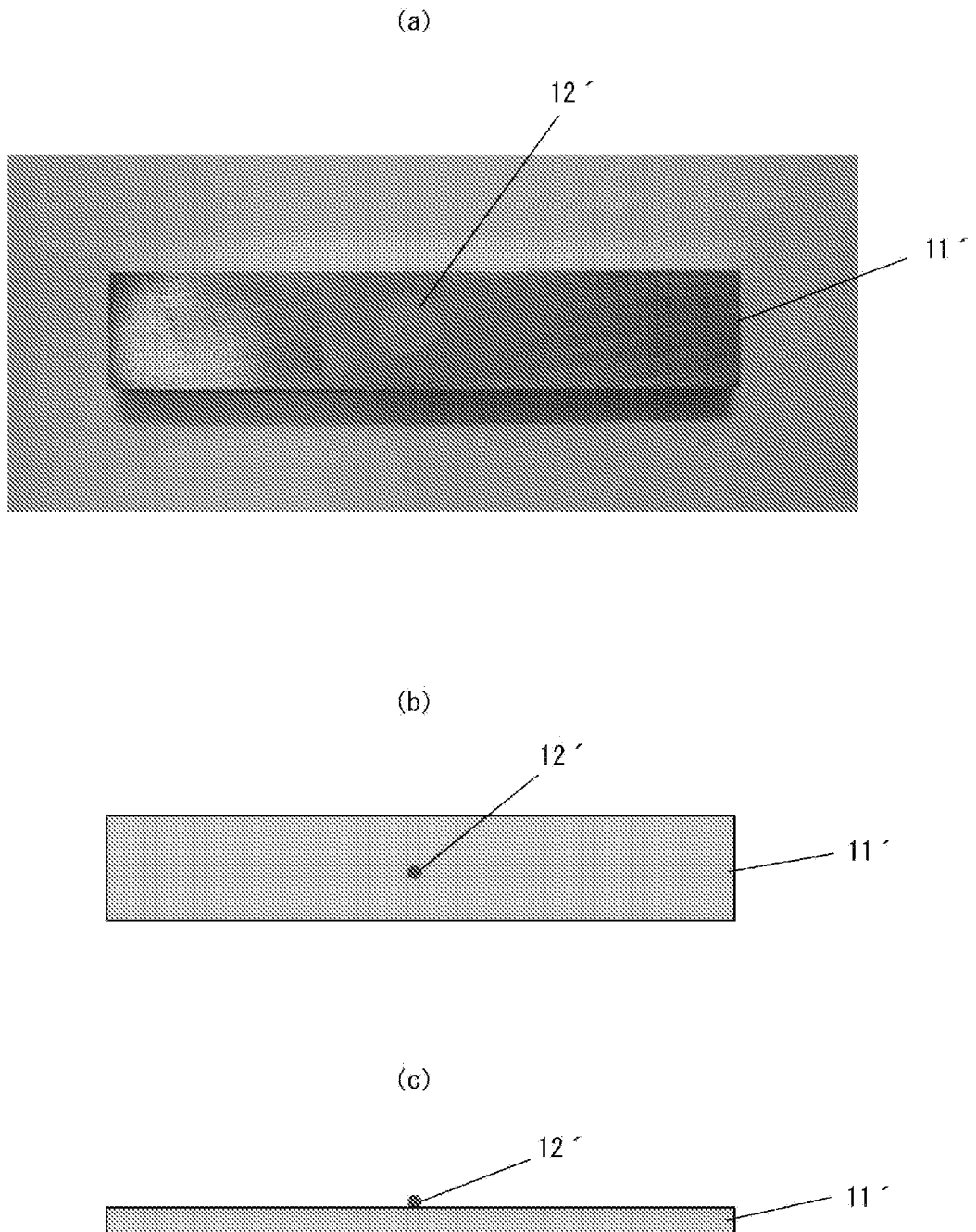
- [8] 請求項7記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記導電箔が銅箔又はアルミニウム箔であることを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [9] 請求項1記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記パーティクルは前記磁化可能な部材上または部材中に位置することを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [10] 請求項4記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記パーティクルが前記磁化されない部材中に位置することを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [11] 請求項1記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記パーティクルが磁性体であることを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [12] 請求項11記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記磁性体が鉄、ニッケル、若しくはコバルト、又は鉄、ニッケル、若しくはコバルトの何れかを含有する合金であることを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [13] 請求項1記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記水平帯磁用磁石が永久磁石であることを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [14] 請求項1記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記グラジオメータの位置は固定のまま、前記水平磁化された被検査物をX方向に移動させることにより1次元走査を行うことを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。
- [15] 請求項1記載のSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置において、前記被検査物の移動方向に直交する方向に複数個のグラジオメータを配置して、前記被検査物の幅方向の検査も同時に行うことを特徴とするSQUID磁気センサを用いる非破壊検査装置。

[図1]

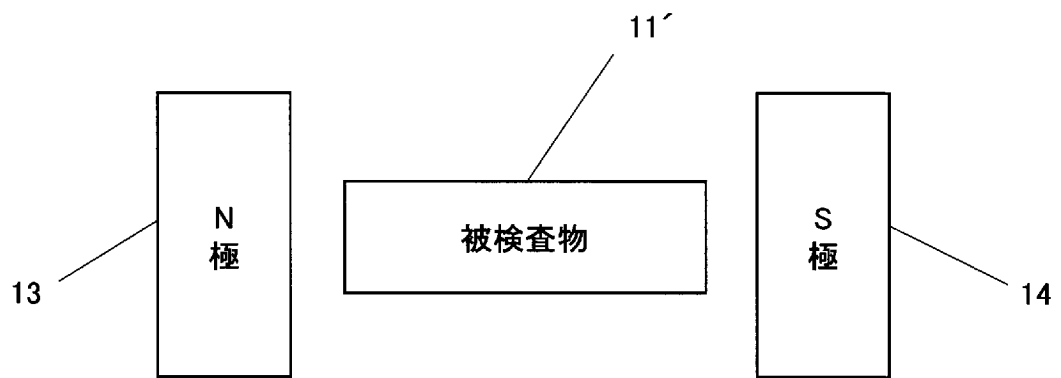




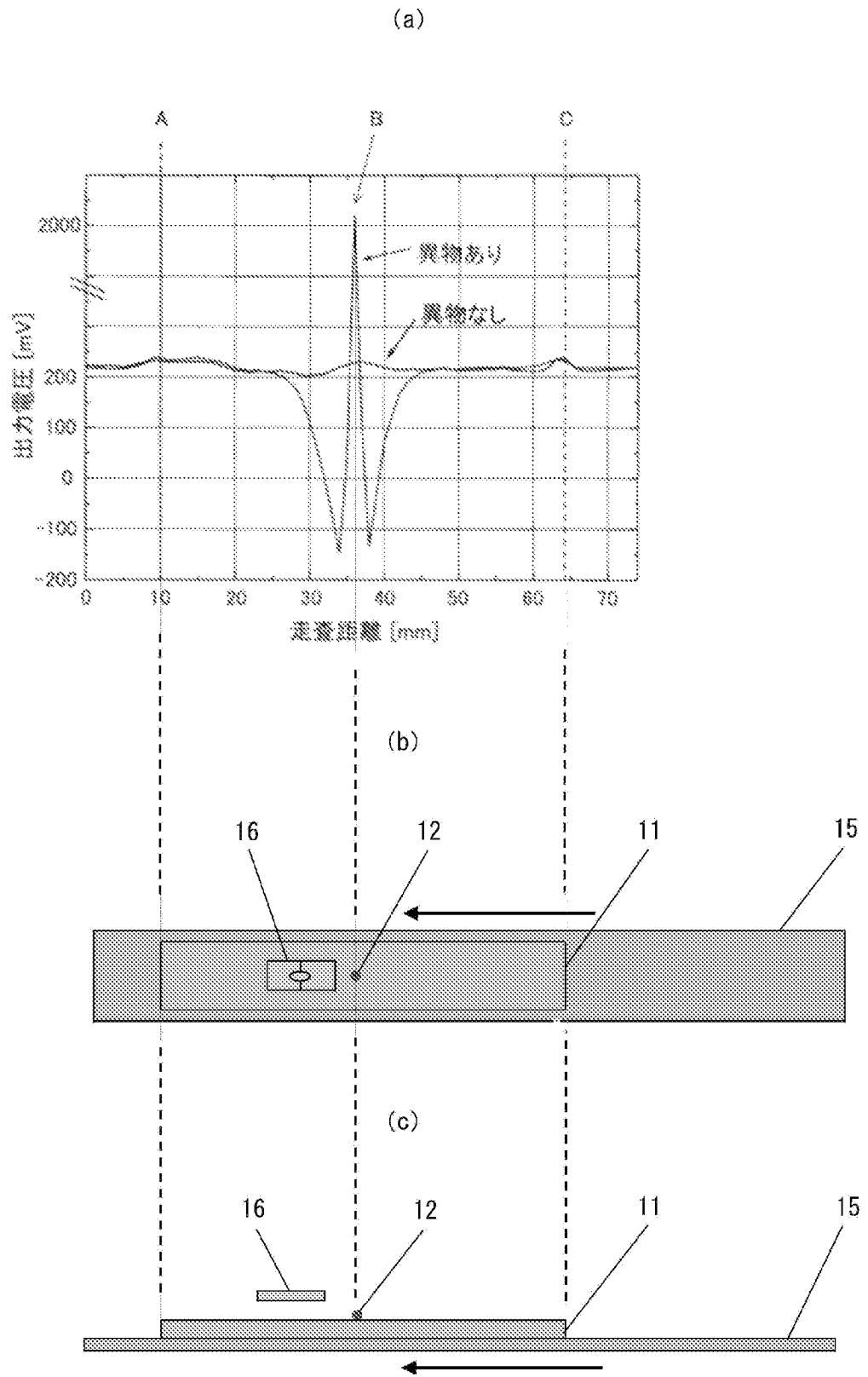
[図2]



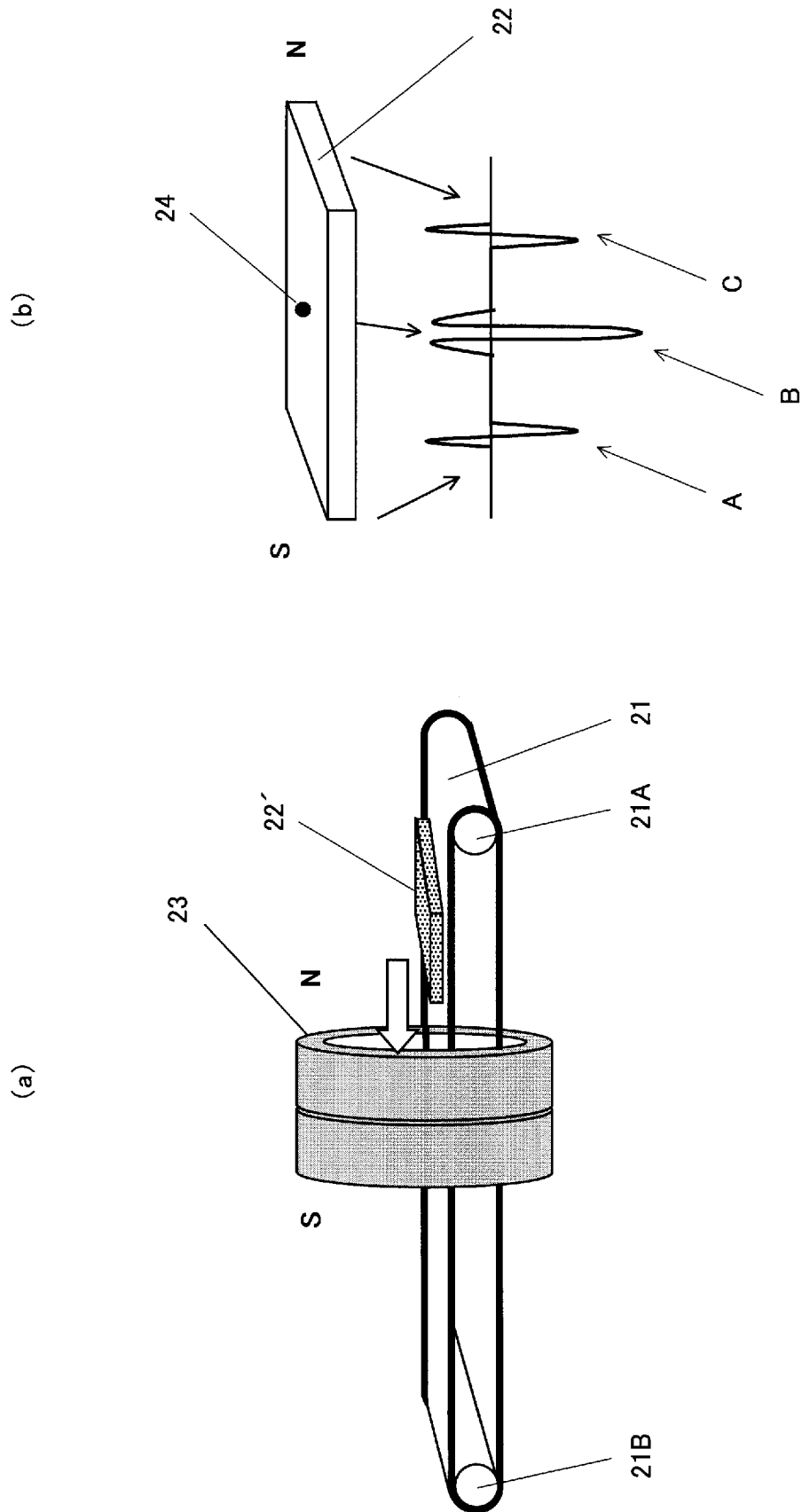
[図3]



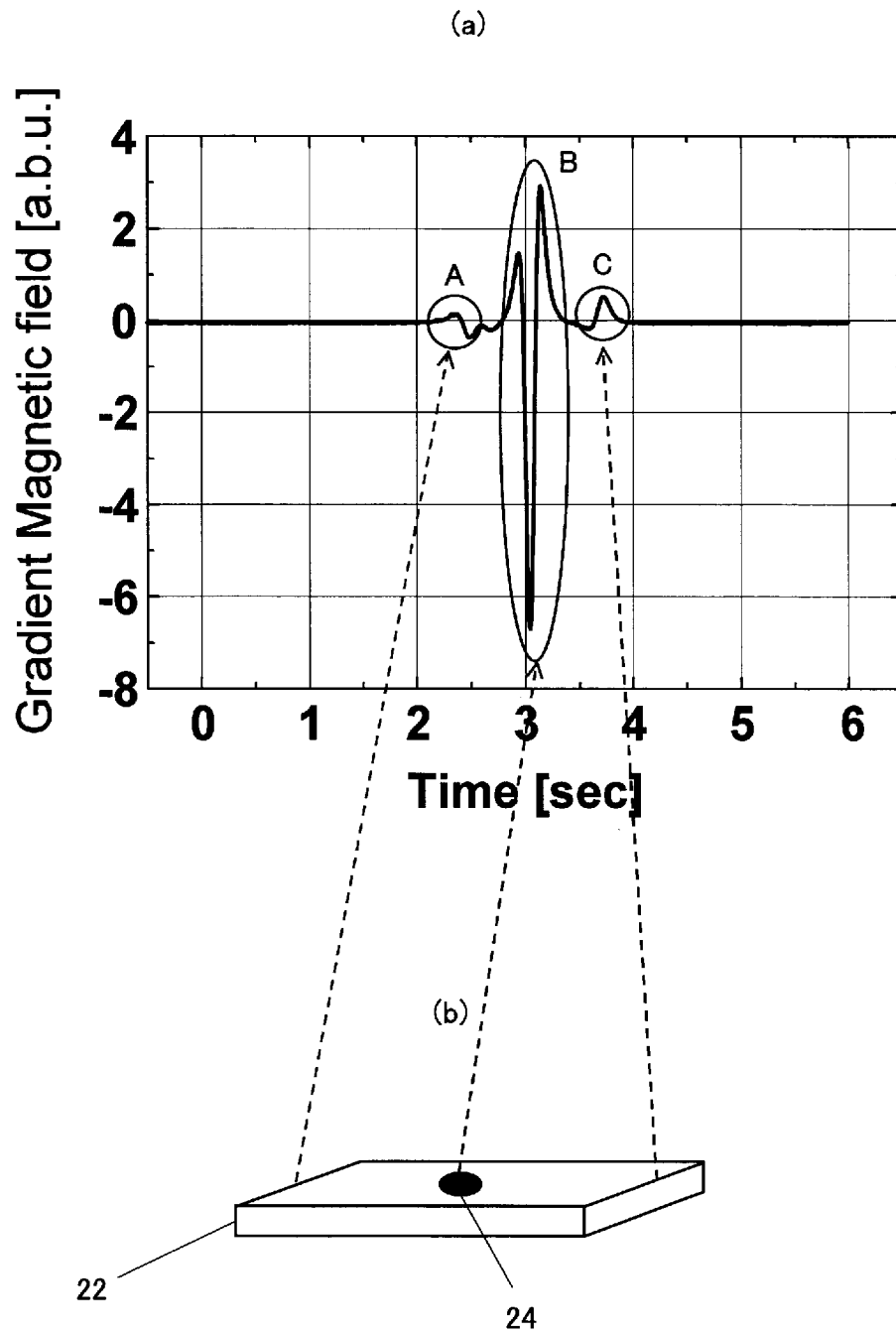
[図4]



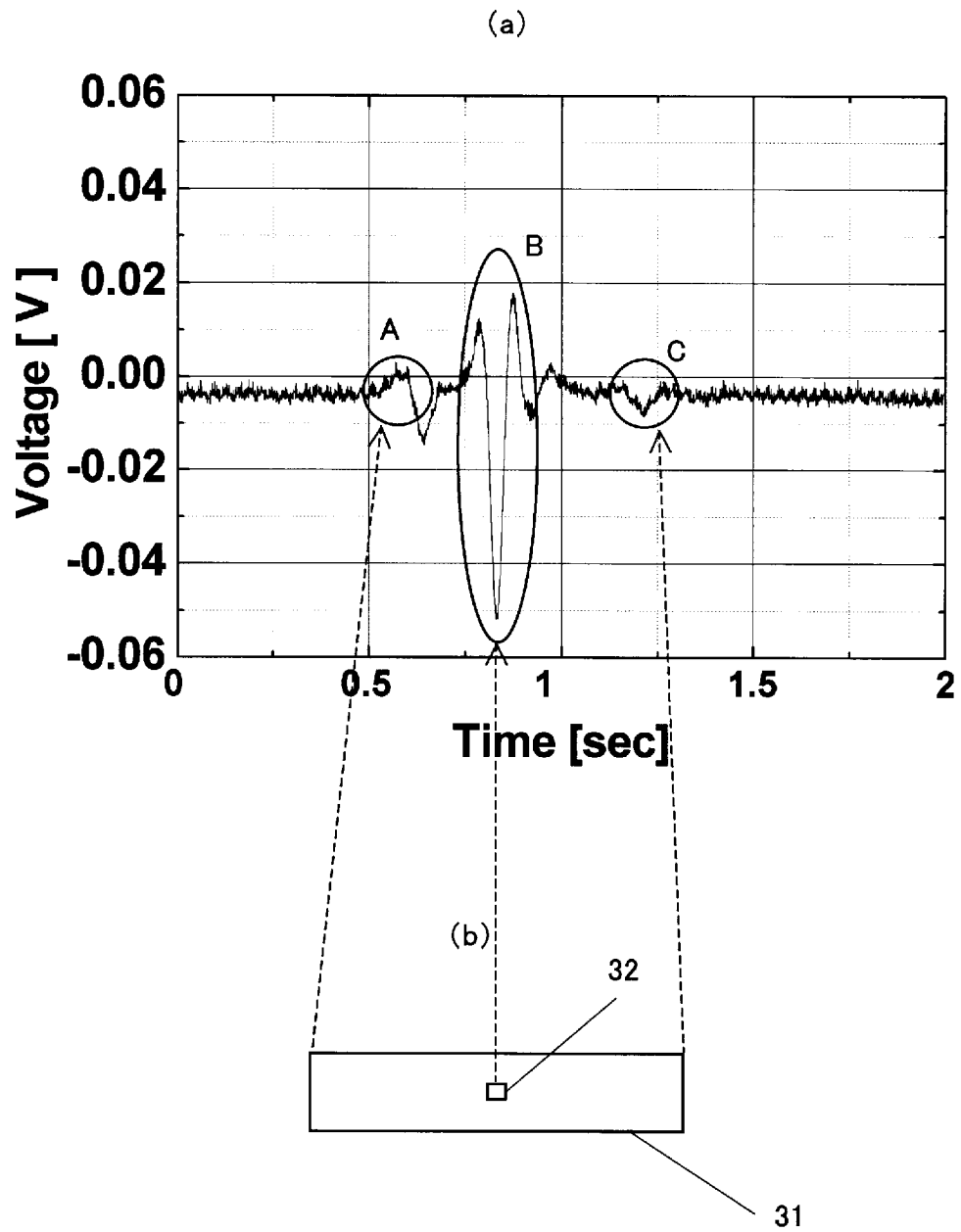
[図5]



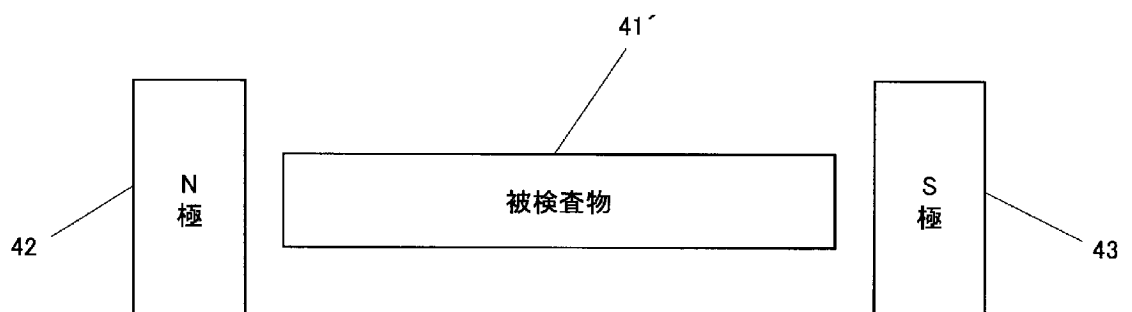
[図6]



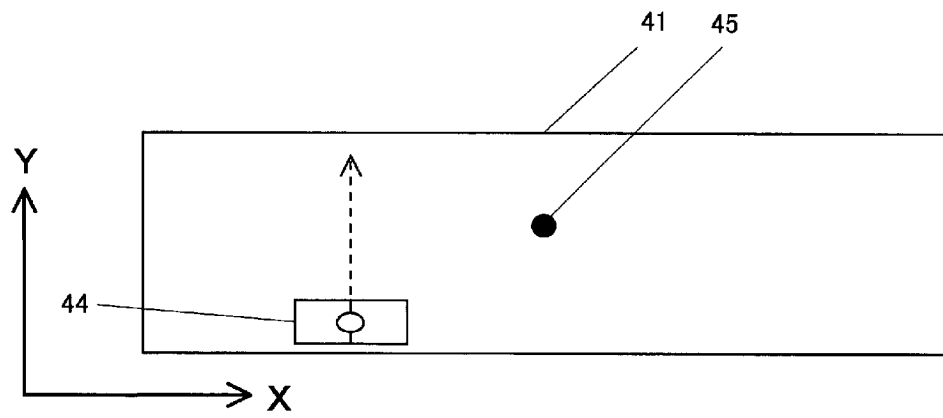
[図7]



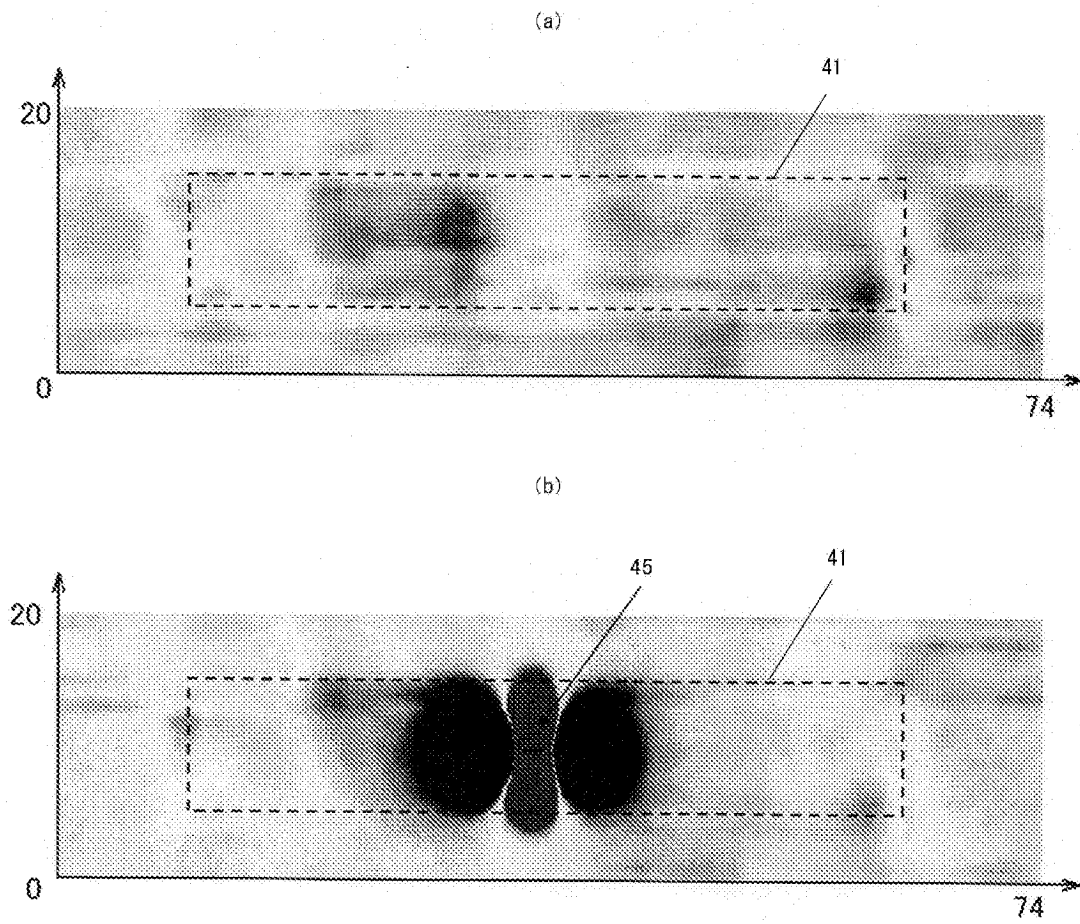
[図8]



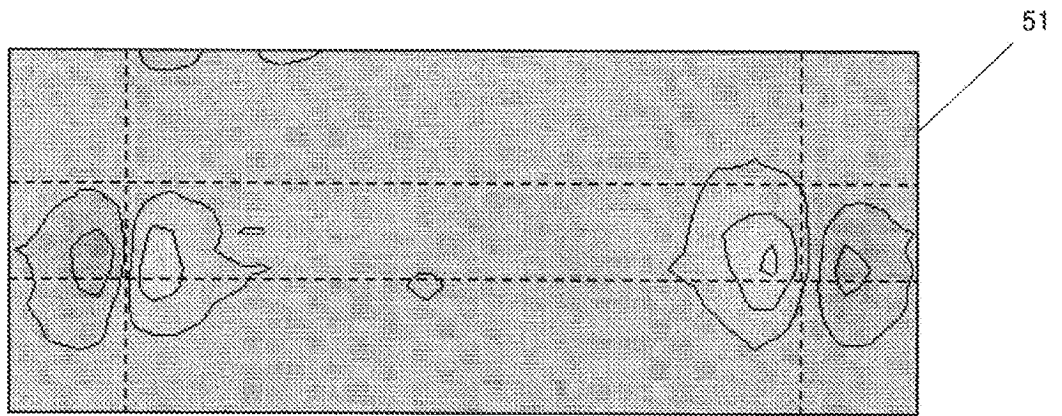
[図9]



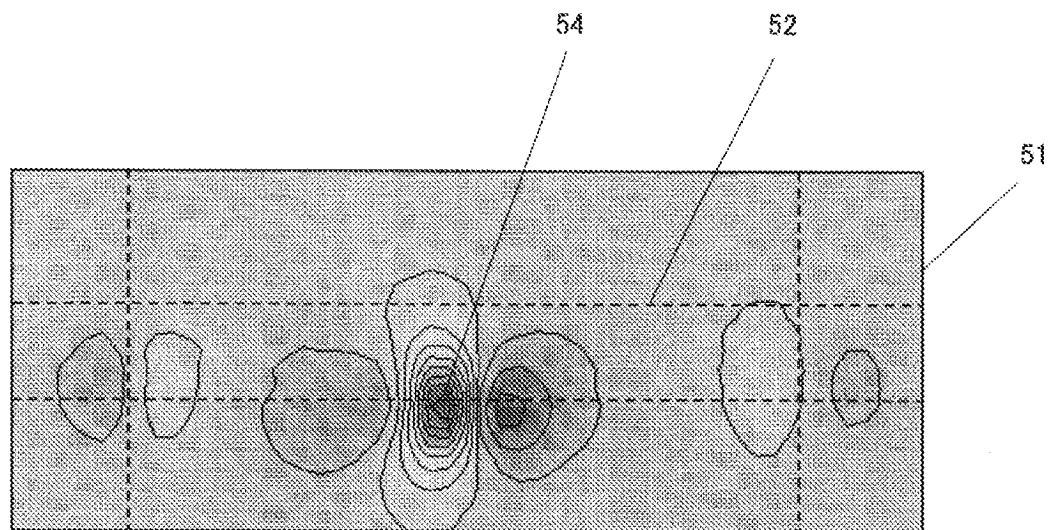
[図10]



[図11]

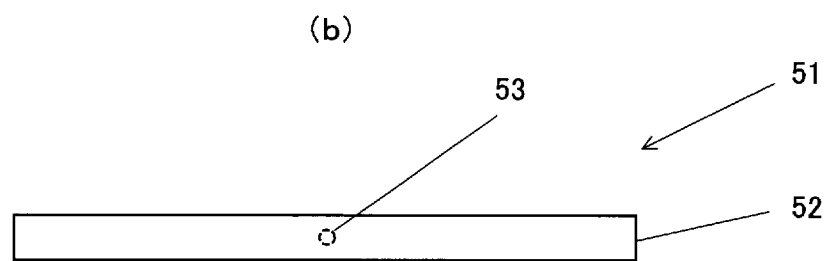
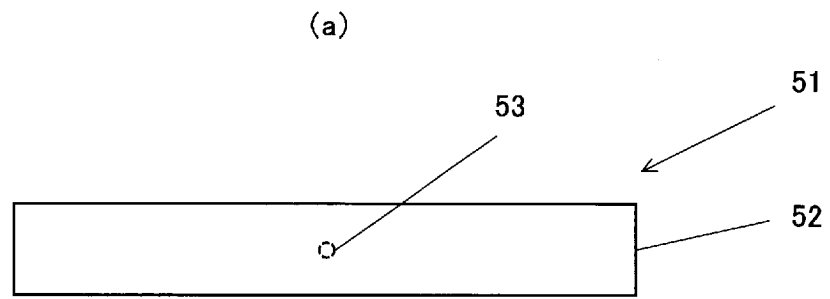


[図12]

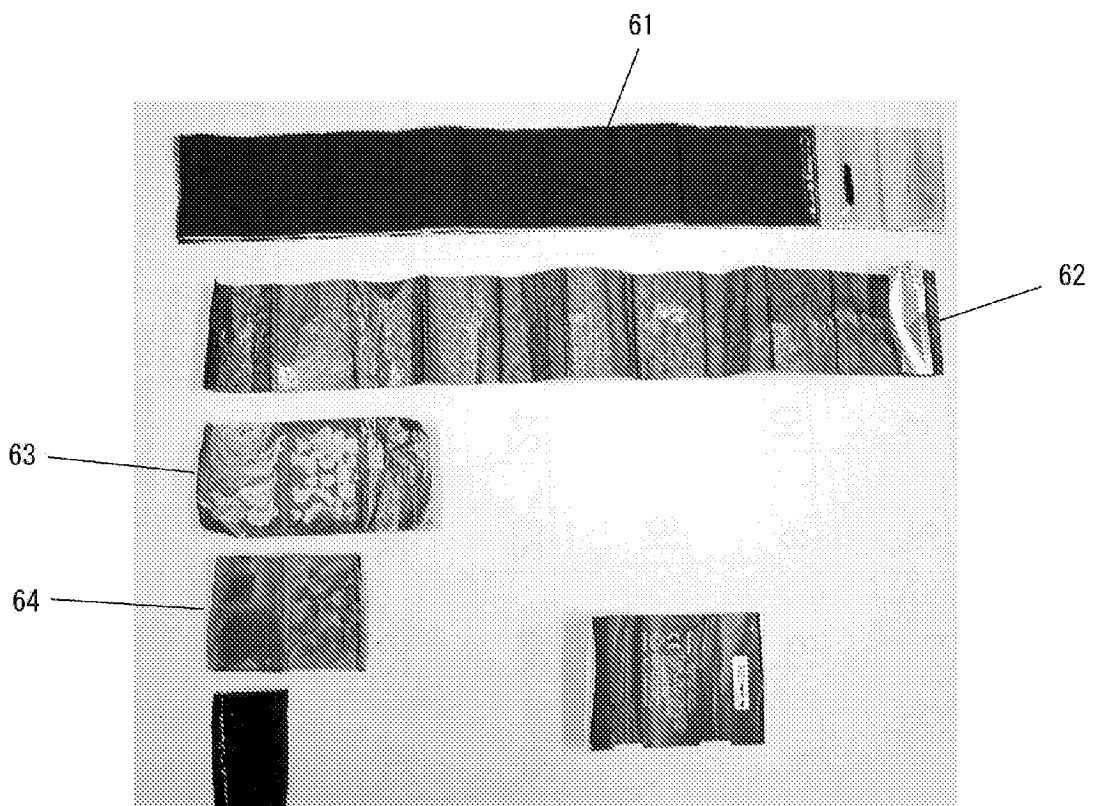




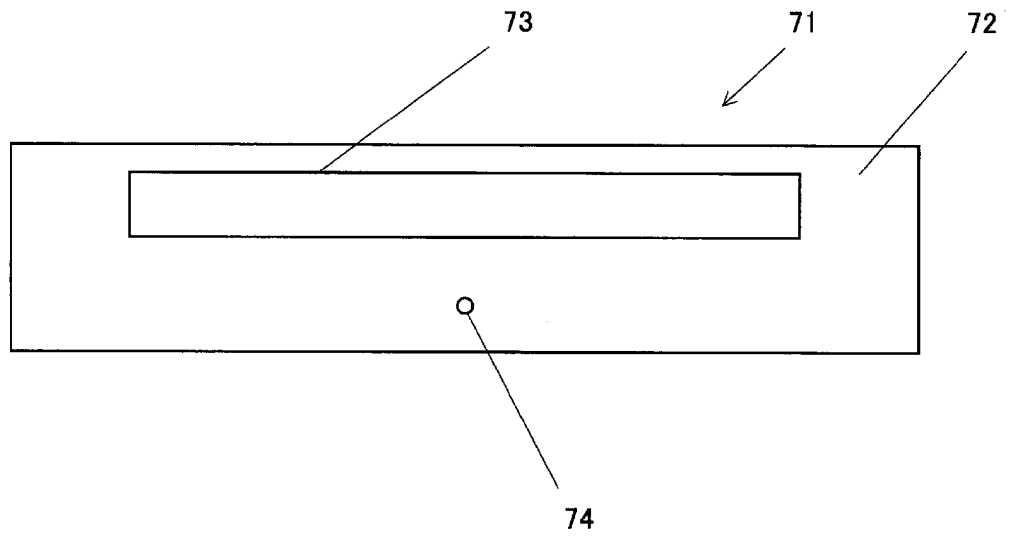
[図13]



[図14]

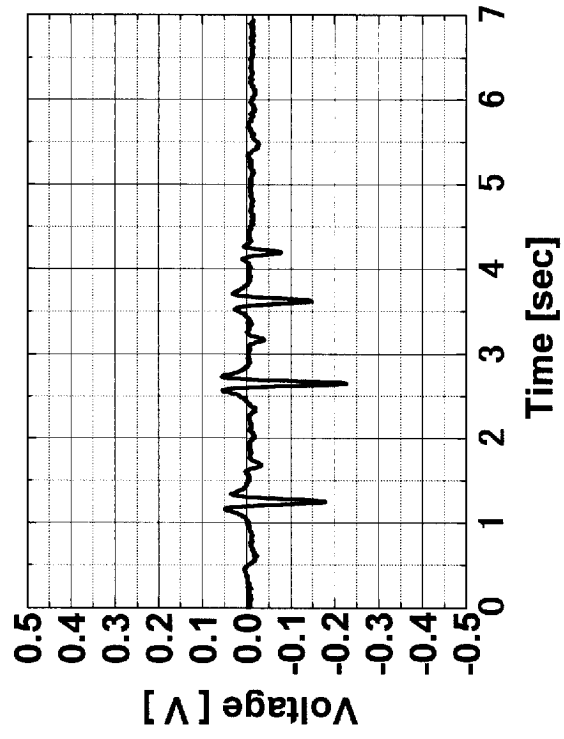


[図15]

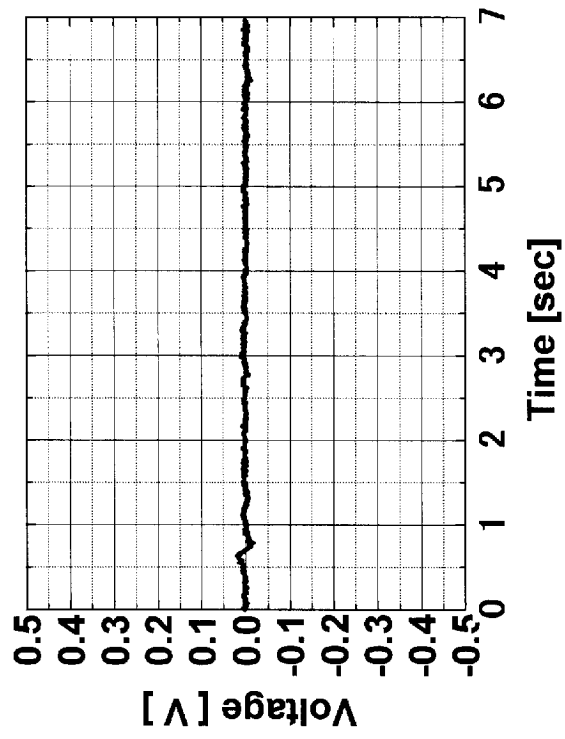


[図16]

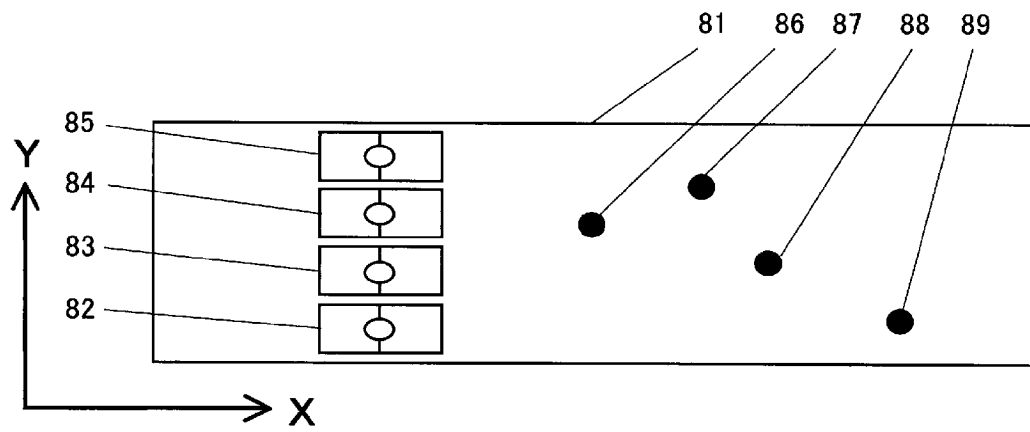
(b)



(a)



[図17]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2009/054125

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
G01N27/72 (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)  
G01N27/72-27/90, G01V3/00-3/40

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-351804 A (Sumitomo Denko Haitekkusu Kabushiki Kaisha), 22 December, 2005 (22.12.05), Par. Nos. [0015], [0017], [0039]; Fig. 1 (Family: none)	1, 3-15
Y	JP 11-72479 A (YKK Corp.), 16 March, 1999 (16.03.99), Par. Nos. [0019], [0020] & US 6218830 B1                      & EP 899589 A2 & TW 397876 B                        & CN 1210270 A	1, 3-15
Y	JP 2005-183142 A (Mitsubishi Chemical Corp.), 07 July, 2005 (07.07.05), Par. Nos. [0006], [0037], [0052] (Family: none)	1, 3-15

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 25 March, 2009 (25.03.09)	Date of mailing of the international search report 07 April, 2009 (07.04.09)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/054125

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-194425 A (Nisshin Plant Engineering Co., Ltd.), 28 July, 1998 (28.07.98), Par. No. [0006] (Family: none)	3
Y	JP 5-255768 A (NKK Corp.), 05 October, 1993 (05.10.93), Par. No. [0011] (Family: none)	3
Y	JP 10-038854 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 13 February, 1998 (13.02.98), Claim 9; Par. Nos. [0001], [0019] (Family: none)	15

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01N27/72(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. G01N27/72-27/90, G01V3/00-3/40

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	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009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)

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 請求の範囲の番号
Y	JP 2005-351804 A (住友電工ハイテックス株式会社) 2005.12.22, 【0015】、【0017】、【0039】、【図1】 (ファミリーなし)	1、3-15
Y	JP 11-72479 A (ワイケイケイ株式会社) 1999.03.16, 【0019】、【0020】 & US 6218830 B1 & EP 899589 A2 & TW 397876 B & CN 1210270 A	1、3-15
Y	JP 2005-183142 A (三菱化学株式会社) 2005.07.07, 【0006】、【0037】、【0052】 (ファミリーなし)	1、3-15

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

の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

25.03.2009

国際調査報告の発送日

07.04.2009

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)

田中 洋介

2W

4405

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 請求の範囲の番号
Y	JP 10-194425 A (日清プラントエンジニアリング株式会社) 1998. 07. 28, 【0006】 (ファミリーなし)	3
Y	JP 5-255768 A (日本鋼管株式会社) 1993. 10. 05, 【0011】 (ファミリーなし)	3
Y	JP 10-038854 A (工業技術院長) 1998. 02. 13, 【請求項9】、【0001】、【0019】 (ファミリーなし)	15