

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4565093号  
(P4565093)

(45) 発行日 平成22年10月20日 (2010.10.20)

(24) 登録日 平成22年8月13日 (2010.8.13)

(51) Int.Cl.		F I	
GO 1 N 29/04	(2006.01)	GO 1 N 29/08	
GO 1 N 29/14	(2006.01)	GO 1 N 29/14	
GO 1 N 29/24	(2006.01)	GO 1 N 29/24	
HO 4 R 23/00	(2006.01)	HO 4 R 23/00	3 3 0

請求項の数 5 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2004-318920 (P2004-318920)	(73) 特許権者	301021533
(22) 出願日	平成16年11月2日 (2004.11.2)		独立行政法人産業技術総合研究所
(65) 公開番号	特開2006-132952 (P2006-132952A)		東京都千代田区霞が関1-3-1
(43) 公開日	平成18年5月25日 (2006.5.25)	(72) 発明者	津田 浩
審査請求日	平成19年5月8日 (2007.5.8)		茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
		(72) 発明者	李 政律
			茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
		審査官	鹿戸 俊介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可動式FBG超音波センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

構造体の健全性評価に用いる可動式FBG超音波センサであって、  
光ファイバに形成されたFBG超音波センサのグレーティングが、被検体よりも音速の低い材料から成る取付具に接着されて成り、該取付具を被検体の表面上において移動させて超音波検出を可能とすることを特徴とする可動式FBG超音波センサ。

【請求項2】

構造体の健全性評価に用いる可動式FBG超音波センサであって、  
光ファイバに形成されたFBG超音波センサのグレーティングの両端から両側方に離れた箇所のみが、被検体よりも音速の低い材料から成る取付具に接着されて成り、該取付具を被検体の表面上において移動させて超音波検出を可能とすることを特徴とする可動式FBG超音波センサ。

【請求項3】

構造体の健全性評価に用いる可動式FBG超音波センサであって、  
光ファイバに形成されたFBG超音波センサのグレーティングが中空容器で覆われて成り、

前記中空容器は、被検体よりも音速の低い材料で形成されており、該中空容器の両端は、グレーティングの両端から両側方に離れた箇所において前記中空容器の両端にシールドされており、

該中空容器を被検体の表面上において移動させて超音波検出を可能とすることを特徴と

する可動式 F B G 超音波センサ。

【請求項 4】

前記グレーティングは、前記取付具の平坦な表面に沿って接着されており、前記グレーティングの向きが、前記被検体の超音波の変位の向きと同じとなるように前記被検体に当接して使用されるものであることを特徴とする請求項 1 又 2 記載の可動式 F B G 超音波センサ。

【請求項 5】

前記取付具の平坦な表面は、前記取付具が前記被検体に当接する面に対して、平行である、垂直である、又は所定の角度で傾斜していることを特徴とする請求項 4 記載の可動式 F B G 超音波センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバセンサを用いたひずみ計測、および超音波・A E 検出装置の技術分野に関するものであり、特に、F B G をセンサとする超音波計測装置を用いて超音波を検出する際に、被検体の表面を移動させて、高い感度で超音波を検出するための可動式 F B G 超音波センサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、構造物の信頼性を向上させることを目的に健全性評価装置を構築することが期待されている。構造物の健全性を評価する際、ひずみ計測とき裂などの欠陥を検出することは非常に重要である。これまでひずみは金属の変形に伴う電気抵抗変化を利用した抵抗式ひずみゲージを用いて計測されることが多かった。またき裂などの欠陥を検出する手法としては欠陥発生に伴う弾性波放出 (A E) の検出と超音波を利用した非破壊検査が行われている。

【0003】

例えば、橋梁、輸送機、建築物などの構造物におけるひずみ評価、上記構造物の破壊発生に伴う弾性波放出 (A E) 検出、上記構造物への超音波を利用した非破壊検査、ひずみ、超音波・A E 計測を組み合わせた構造物の健全性評価モニタリング装置に適用することができる。

【0004】

超音波を利用した構造物の非破壊検査では、き裂の存在は超音波の伝搬特性に影響を与えることを利用して、被検査体に超音波を伝搬させ、その応答波形の特徴から欠陥の有無を検査するものである。その際、超音波の検出感度が高いほど、欠陥検出能が高くなる。このため、超音波検出感度の高いセンサの開発が望まれている。

【0005】

これまで A E の検出センサ、および超音波を用いた非破壊検査における超音波検出センサには圧電素子センサが利用されてきた。しかし圧電素子センサの場合、電気式センサであることから電磁波障害の影響を受けることや一個のセンサにつき、一本のケーブルを必要とすることから配線が複雑になるなど実用化において問題があった。

【0006】

近年、圧電素子のこれらの欠点を改善することができる光ファイバセンサの一種である F B G センサによる超音波検出が注目されている。F B G (ファイバ・ブラッグ・グレーティング) を構造物の健全性評価におけるひずみ、および超音波・A E 検出用センサとして利用することが期待されている。F B G 超音波センサは電磁波障害を受けないことや、一本の光ファイバに複数のセンサと取り付けることが可能なことなどの特長があり、実用化において多くの利点を有する。

【0007】

F B G 超音波センサを利用した超音波・A E 検出法は用いる光源の種類により二種類に大別することができる。ひとつは広帯域光源を利用するタイプ、もうひとつはレーザ光源

10

20

30

40

50

、つまり単一波長光源を利用するタイプである。本発明者は、特願2003-172321では広帯域光源を利用してひずみ計測と超音波・AEを検出する装置を提案し、特願2004-145880ではレーザ光源を利用した超音波・AE検出装置を提案している。  
【0008】

レーザ光源を利用した超音波計測に関してはこれまでにいくつかの論文報告がされている(非特許文献1参照)。これらの研究においてはセンサとなるFBGの反射率が半減する波長に波長可変レーザの発振波長を設定し、FBG超音波センサからの反射光強度がセンサのブラッグ波長に伴い変化することを利用して超音波を検出した実験が報告されている。

【0009】

これまでにFBG超音波センサを用いて超音波を計測した実験例が報告され(たとえば非特許文献1参照)、さらにFBG超音波センサを用いた超音波計測から材料の損傷状態を評価することができることが報告されている(非特許文献2)。

【非特許文献1】D. C. Betz等、Smart Materials and Structures, 12(2003)122-128

【非特許文献2】H. Tsuda等、Smart Materials and Structures, 13(2004)719-724

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

超音波を利用した構造体の健全性評価においては、構造体の健全部に隣接して損傷部が存在する場合があります、FBG超音波センサを被検体である構造体の表面にスポット的に固定して測定しても損傷部を見落とされることが生じる。よって、健全性評価の精度を高めるためにも、FBG超音波センサを被検体の表面に対して可動とすることが望ましい。

【0011】

しかし、FBG超音波センサを可動とするためには、FBG超音波センサのグレーディングを取付け、被検体の表面を移動するための取付具を含むFBG超音波センサのグレーディングの取付構造が重要である。

【0012】

FBG超音波センサのグレーディングを取付具に取付け、この取付具は被検体の表面に沿って移動するものであるが、この取付具の材料によっては、超音波がグレーディングに伝播することなく健全性評価が不可能となるか、健全性評価の精度が極端に低下してしまう。さらに、FBG超音波センサのグレーディングを取付具へ取り付けのために接着剤をグレーディングに塗布したりすると、超音波検出の測定精度が低下するという問題が生じる。

【0013】

本発明は、このような問題を解決し、超音波検出感度が高く、精度の高い健全性評価が可能な可動式FBG超音波センサを実現するものである。特に、FBG超音波センサのグレーディングを取付具へ接着することによる超音波検出感度に対する影響に着目するとともに、取付具の材料による超音波検出感度への影響に着目し、FBG超音波センサのグレーディングを取付具への取り付けの構造(具体的には接着構造)、及び取付具の材料の選択において工夫することにより、超音波検出感度を向上させ、健全性評価の精度を高めることを課題とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明は上記課題を解決するために、光ファイバに形成されたFBG超音波センサのグレーディングが、被検体よりも音速の低い材料から成る取付具に接着されて成り、該取付具を被検体の表面上において移動させて超音波検出を可能とすることを特徴とする可動式FBG超音波センサを提供する。

【0015】

本発明は上記課題を解決するために、光ファイバに形成されたFBG超音波センサのグレーディングの両端から両側方に離れた箇所のみが、被検体よりも音速の低い材料から成

10

20

30

40

50

る取付具に接着されて成り、該取付具を被検体の表面上において移動させて超音波検出を可能とすることを特徴とする可動式 F B G 超音波センサを提供する。

【 0 0 1 6 】

本発明は上記課題を解決するために、光ファイバに形成された F B G 超音波センサのグレーティングが中空容器で覆われて成る可動式 F B G 超音波センサであって、前記中空容器は、被検体よりも音速の低い材料で形成されており、該中空容器の両端は、グレーティングの両端から両側方に離れた箇所において前記中空容器の両端にシールドされており、該中空容器を被検体の表面上において移動させて超音波検出を可能とすることを特徴とする可動式 F B G 超音波センサを提供する。

【 0 0 1 7 】

前記グレーディングは、前記取付具の平坦な表面に沿って接着されており、前記グレーディングの向きが、前記被検体の超音波の変位の向きと同じとなるように前記被検体に当接して使用されるものであることを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

前記取付具の平坦な表面は、前記取付具が前記被検体に当接する面に対して、平行である、垂直である、又は所定の角度で傾斜していることを特徴とする。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 9 】

本発明に係る可動式 F B G 超音波センサは、F B G 超音波センサのグレーティングを取付具に取り付け、しかも取付具を被検体よりも音速の低い材料で形成することで、被検体に固定しなくても F B G 超音波センサの超音波検出ができ、被検体の各部分の健全性評価を簡単に行うことができる。

【 0 0 2 0 】

そして、本発明に係る可動式 F B G 超音波センサにおいて、特に、F B G 超音波センサのグレーティングを取付具に取り付ける構造として、その両端から両側方に離れた箇所のみを接着する構成とすれば、被検体に固定しなくても F B G 超音波センサの超音波検出感度を向上させ、健全性評価の精度をより一層、高めることができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 1 】

本発明に係る可動式 F B G 超音波センサを実施するための最良の形態を、実施例に基づいて図面等を参照として、以下に説明する。

【 実施例 1 】

【 0 0 2 2 】

図 1、本発明に係る可動式 F B G 超音波センサ 5 を、被検体 9 の測定へ適用した状態における超音波検出装置 1 の全体構成を示す図である。超音波検出装置 1 は、波長可変レーザ光源 2 と、波長可変レーザ光源 2 に光ファイバ 3 で接続された光サーキュレータ 4 と、光サーキュレータ 4 に接続された可動式 F B G 超音波センサ 5 と、光サーキュレータ 4 に光ファイバ 3 で接続された光電変換器 6 とから成る。

【 0 0 2 3 】

波長可変レーザ光源 2 の出力波長は、可動式 F B G 超音波センサ 5 の反射率 - 波長関係の変化率が最大となる波長、通常は、反射率が半減する波長付近に設定している。超音波検出装置 1 は、超音波を発生させるための信号発生器 1 4 と、この信号発生器 1 4 に電線 1 4 ' を介して接続した超音波発振子 1 6 を有する。

【 0 0 2 4 】

この超音波発振子 1 6 は、被検体 9 上に置かれ、信号発生器 1 4 で発生した駆動信号を電線 1 4 ' を介して被検体 9 上に置いた超音波発振子 1 6 に入力し、超音波を発生させ、被検体に伝えることが可能である。

【 0 0 2 5 】

超音波検出装置 1 の全体構成は以上のとおりであるが、本発明は、グレーディング 8 (ブラッグ格子) を取付具 1 1 へ取り付けて成る可動式 F B G 超音波センサ 5 の構成を特徴

10

20

30

40

50

とするものである。

【0026】

グレーティング8を取付具11に取り付ける具体的な手段としては、本実施例では、接着剤で取付具11に接着する(貼り付ける)構成とする。この場合、本実施例1では、図1や図2(a)に示すように、グレーティング8の両端から両側方に離れた箇所のみを被検体9に接着剤10で接着する構造(これを「ブリッジ接着」と名づけた。)とする。

【0027】

なお、グレーティング8を取付具11に取り付ける別の手段としてグレーティング8全体を、図2(b)に示すように、取付具11へ直に接着剤10で接着する(これを「完全接着」と名付けた。)構造としてもよい。

10

【0028】

ところで、被検体9を伝搬する超音波が可動式FBG超音波センサ5に伝達させる必要がある。そのために、グレーティング8を取り付ける取付具11は、被検体9よりも音速の低い材料を媒体とする必要がある。

【0029】

本実施例1では、取付具11として、例えば、被検体9がアルミ板の場合は、アルミ板よりも音速の低いアクリル板15を採用し、このアクリル板15上にグレーティング8を、図2(a)に示すようにブリッジ接着して可動式FBG超音波センサ5を構成した。

【0030】

以上の構成から成るこの実施例の作用を図3により説明する。図3は、超音波発振子16と可動式FBG超音波センサ5を被検体上に配置し、超音波による損傷検知に適用した例である。

20

【0031】

使用に際しては、超音波発振子16を、被検体9上に置き、パルス発生器14で発生した駆動信号を電線14'を介して超音波発振子16に入力し、超音波を発生させ、被検体に伝える。

【0032】

そして、可動式FBG超音波センサ5に、波長可変レーザ光源2からレーザ光が光サーキュレータ4を介して入射され、可動式FBG超音波センサ5からの反射光は光サーキュレータ4を介して光電変換器6に送られ、そこで光強度が電圧信号に変換される。

30

【0033】

検査する場合は、超音波発振子16と可動式FBG超音波センサ5を直線上に配置し、超音波発振子16を、矢印方向に移動するとともに、その移動に対応して可動式FBG超音波センサ5は、その取付具11を被検体9の表面に当接してなぞるように矢印方向に同時に移動する。このとき超音波発振子16と被検体9、および取付具11と被検体9の間には両者間の超音波伝搬効率を高めるために、水などの液体をカップラントとして入れる(カップラントを入れることは超音波検出技術として周知手段である)。これにより、可動式FBG超音波センサ5を移動させながら超音波の検出が可能となる。

【0034】

なお、本実施例のFBG超音波センサ5において、前述のとおり、ブリッジ接着(グレーティング8の両端から両側方に離れた箇所のみを取付具11に接着剤10で接着する構造)を採用すると、FBG超音波センサの超音波検出感度を向上させることができる。この点について以下、簡単に説明する。

40

【0035】

従来、FBG超音波センサ17は、図4(a)で示すように、被検体9へ直に貼り付けて測定する方法が取られてきた。その際、グレーティング8全体を、被検体9へ直に接着剤10で接着する(完全接着)構造が採用されていた。

【0036】

これに対して、本発明者は、図4(b)に示すように、グレーティング8の両端から両側方に離れた箇所のみを被検体9に接着剤10で接着する(ブリッジ接着)構造のFBG

50

超音波センサ 18 を発明し、すでに出願している。このようなブリッジ接着によると、超音波検出感度が向上する点は、すでに上記別出願において、実験データをあげて詳細に説明しているため、ここではその説明は省略するが、その理論的根拠は、概略次のとおりと考えられる。

【0037】

即ち、完全接着によると、グレーティング 8 は、残留応力の影響を受けて大きな複屈折が生じ、F B G 超音波センサ 17 の反射波長域を拡げ、その結果、反射率 - 波長関係の勾配が低下し、超音波に対する感度が低下する。これに対して、ブリッジ接着の場合は、グレーティング 8 は接着されていないので、複屈折の影響はない。このため反射率 - 波長関係の勾配は複屈折による低下を受けず、超音波に対する感度が低下しないと考えられる。

10

【0038】

つまり、ブリッジ接着は、グレーティング 8 へ複屈折の影響をもたらさない取り付け構造であり、接着によりグレーティング 8 に生じる複屈折をなくすことにより超音波検出感度を高めることができるものと考えられる。本発明の可動式 F B G 超音波センサ 5 は、このようなブリッジ接着を採用することで、F B G 超音波センサ 18 の超音波検出感度を向上させることができる。

【0039】

(実験例 1)

実施例 1 の効果を確認するために、実施例 1 の可動式 F B G 超音波センサ 5 を用いて、図 3 に示すような実験システムを用いて超音波検出の実験を行った。この実験例 1 では、取付具 11 はアクリル板で、このアクリル板上に、グレーティング 8 を挟むように接着剤 10 でブリッジ接着するが、接着間距離であるブリッジ間隔  $s$  は、グレーティング長 10 mm に対して 1.2 mm とした。

20

【0040】

この実験では、被検体 9 はアルミ板として、被検体 9 に図 1 に示すものと同様な超音波発振子 16 で超音波を付与する。そして、超音波発振子 16 から、図 3 において横方向に一直線上に離れた箇所、可動式 F B G 超音波センサ 5 を置いた。

【0041】

なお、比較のために、従来超音波検出に多用されている圧電素子を置いて、超音波応答信号の検出実験を行った。

30

【0042】

この実験の結果は、図 5 に示すとおりである。図 5 では、超音波を発生させた圧電超音波発振子への送信信号、そして可動式 F B G 超音波センサと圧電センサの応答信号をそれぞれ示している。この実験の結果、本実施例 1 のように、アクリル板の移動付具を介しても、可動式 F B G 超音波センサの応答は S/N 比が非常に高いことが確認された。

【0043】

(実験例 2)

可動式 F B G 超音波センサの有効性を実証するために行った実験例 2 を説明する。本実験例 2 では、実施例 1 の可動式 F B G 超音波センサ 5 の超音波を利用した損傷検出の有効性を衝撃損傷を有する直交積層繊維強化複合材料を被検体として調べた。図 6 は、その実験概要を説明する図である。

40

【0044】

この実験例 2 では、被検体 9 である直交積層繊維強化複合材料板 19 は、試験片端部から Y 軸方向に 60 mm 離れた箇所を中心とする衝撃損傷部 20 を有する。衝撃損傷部 20 では繊維軸方向割れや層間はく離が観察され、Y 軸方向に約 1.2 mm の大きさの損傷が広がっている。尚、試験片の強化繊維は図面中の X、および Y 軸方向に配列されている。

【0045】

被検体 9 に、図 1 に示す手段と同様な超音波発振子 16 で超音波を付与する。そして、超音波発振子 16 と可動式 F B G 超音波センサ 5 を直線上に置き、Y 軸方向に超音波発振子 16 とともに可動式 F B G 超音波センサ 5 を平行に移動させて、それぞれの地点にお

50

る可動式 F B G 超音波センサが検出した超音波応答波形を収録した。

【 0 0 4 6 】

図 7 に可動式 F B G 超音波センサ 5 が検出した超音波の到達時間すなわち、応答波形の開始時間と Y 軸の位置との関係を示す。図 7 に示すように衝撃損傷部 2 0 が存在した箇所においては健全部よりも応答開始時間が早くなっている。理論的考察からも衝撃損傷部 2 0 を通過する超音波は健全部を通過するよりも超音波の到達時間は早くなることが考えられる。

【 0 0 4 7 】

理由は以下の通りである。材料中の超音波伝搬速度はその材料の剛性（ヤング率）と密度の関数で表される。密度が一定の場合、ヤング率に伴い超音波伝搬速度は高くなる。被検体の場合、密度は位置に依存しないことから、超音波伝搬速度はヤング率の関数で与えられる。衝撃損傷部 2 0 では層間はく離が生じて、X 軸方向、および Y 軸方向の強化繊維層が分離している。

【 0 0 4 8 】

超音波伝搬方向、この場合、X 軸方向におけるヤング率は衝撃損傷部 2 0 における X 軸方向の強化繊維層が最も高く、つづいて健全部、損傷部 2 0 における Y 軸方向の強化繊維層の順序になる。このため損傷部 2 0 の領域（損傷領域）の X 軸方向の強化繊維層を伝搬した超音波が最も高速になる。したがって超音波が健全部を通過するよりも損傷部を通過したときに、応答開始時間が早くなると考えられる。

【 0 0 4 9 】

可動式 F B G 超音波センサの超音波検出の位置分解能はセンサのグレーティング部の直径（130 μm 程度）であることから、従来多用されてきた圧電素子（市販品では通常、6 mm 以上）よりも高くなる。このような可動式センサは超音波を測定したい任意の場所での計測を可能にすることから、固定式のセンサと比較して非常に利便性に優れており従来超音波検出に多用されてきた圧電素子の代替センサとして利用されることが期待される。

【 実施例 2 】

【 0 0 5 0 】

図 8 は、本発明の実施例 2 を説明する図である。この実施例 2 の可動式 F B G 超音波センサ 1 3 は、取付具 1 1 として中空容器 2 1 を用いてグレーティング 8 を覆い、グレーティング 8 の両端から両側方に離れた部分で中空容器 2 1 の両端をシールド剤 1 2 など

【 0 0 5 1 】

でシールドした構造である。

この実施例 2 の取付具 1 1 である中空容器 2 1 は、実施例 1 と同様に、超音波をグレーティング 8 に伝達するように、被検体 9 よりも音速の低い材料を媒体とする必要があり、例えば、被検体 9 がアルミ板の場合は、アルミ板よりも音速の低いアクリル材から成る容器を採用する。

【 0 0 5 2 】

この可動式 F B G 超音波センサ 1 3 は、グレーティング 8 の両端から離れた位置でグレーティング 8 の形成された光ファイバ 7 が支持されグレーティング 8 に接着剤が塗布されないから、前述のとおり、超音波の感度を低下させることがない。

【 0 0 5 3 】

使用に際しては、実施例 1 と同様に、超音波発振子と一緒に、この可動式 F B G 超音波センサ 1 3 の中空容器 2 1 を被検体 9 の表面に沿ってなぞるように移動することで、超音波を測定し被検体の損傷部を検出することができる。

【 0 0 5 4 】

実施例 2 の可動式 F B G 超音波センサ 1 3 は、グレーティング 8 を中空容器 2 1 で覆って保護した状態で、シールド剤 1 2 でシールドした部分がブリッジ接着される構成となる。従って、中空容器 2 1 の長さを適宜選択すれば、ブリッジ間隔が容易に設定でき、しかも、中空容器 2 1 でグレーティング 8 を取り囲むことにより可動式 F B G 超音波センサ 1

10

20

30

40

50

3を、破損や環境から保護する機能を有することとなる。

【実施例3】

【0055】

図9は、本発明に係る可動式FBG超音波センサの実施例3を説明する図である。この実施例3は、実施例1とほぼ同じ構造であるが、その特徴とする構成は、超音波発振子から発振され被検体9に伝搬される超音波の変位方向と、光ファイバ7に形成されたグレーディング8の向きとを平行とした点である。

【0056】

ここで、「グレーディング8の向き」とは、グレーディング8を構成する光ファイバの軸方向である。グレーディング8は光ファイバの導光路であるコア部にファイバ軸方向に周期的に屈折率の異なる領域を設けた構造を取ることで、「グレーディング8の向き」とは、換言すれば、ファイバ7のうちグレーディング8が形成される部分の長軸方向でもある。

【0057】

実施例3について、より具体的な構成は、グレーディング8が、取付具11の平坦な表面に沿って接着されており、グレーディング8の向きと被検体9の超音波の変位方向と同じとなるように被検体9に当接して使用されるものである。

【0058】

そして、取付具11のFBGが貼り付けられている表面と、取付具11が被検体9に当接する面との関係として、次の3つの例がある。

(1) FBGが貼り付けられている表面が、取付具11が被検体9に当接する面に対して、平行である(図9(a)参照)。

(2) FBGが貼り付けられている表面が、取付具11が被検体9に当接する面に対して、垂直である(図9(b)参照)。

(3) FBGが貼り付けられている表面が、取付具11が被検体9に当接する面に対して、所定の角度で傾斜している(図9(c)参照)。

【0059】

実施例3においてこのような構成としたことによる作用効果を説明する。超音波には変位(振動)方向があり、超音波の変位方向とFBGセンサのグレーディングの向きが平行になっているときに、FBGセンサの超音波検出感度は最大になる、加えてFBGセンサのファイバ被検体9の面に垂直な場合は、超音波が被検体のどの方向から伝搬してきても感度は変わらない等の効果が生じる。

【0060】

例えば、図9(a)に示したように、被検体9の面内方向(図中の矢印方向)に変位方向を持つ超音波に対して、同図(a)に示すように、グレーディング8の向きを、超音波の変位方向の向きと同じにして取り付けた可動式FBG超音波センサ11の構成とすることにより、超音波検出感度を最大にすることができる。

【0061】

また、図9(b)に示すものは、被検体9の面外方向(図中の矢印方向)に変位方向を持つ超音波に対して、グレーディング8の向きを、被検体9の面に垂直な方向であって、超音波の変位方向の向きと同じにして取り付けた可動式FBG超音波センサ11の構成としたものである。

【0062】

本発明者は、FBGセンサの超音波検出においては、超音波伝搬方向が検出感度に大きな影響を及ぼすという知見を得ているが、同図(b)に示す構成とすることにより、超音波が被検体のどの方向から伝搬してきても感度は変わらず、取り付け方は伝搬方向に依存しないという、実用上、きわめて大きな効果が生じる。

【0063】

また、ある角度の変位方向を持つ超音波に対し、図9(c)に示すように、取付具11の角度を持つ面にグレーディング8の向きを、超音波の変位方向の向きと同じにして

10

20

30

40

50

取り付けた F B G 超音波センサ 1 1 の構成とすることにより、超音波検出感度を最大にすることができる。

【 0 0 6 4 】

以上、本発明に係る可動式 F B G 超音波センサの発明を実施するための最良の形態を、超音波検出のみを例に挙げて説明したが、弾性波放出（アコースティック・エミッション：A E）も超音波と同じ周波数帯域を有することから、本発明は、A E 検出にも適用できることは言うまでもない。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 6 5 】

本発明に係る可動式 F B G 超音波センサは、超音波検出感度がよく、移動可能であるために、被検体の任意の箇所超音波検出が可能のため、構造体の健全性評価において非常に利用価値があるセンサになる。また、このように移動可能なセンサ形態の実現により従来、超音波検出センサとして多用されてきた圧電センサと同様な取り扱い易さになる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 6 】

【図 1】本発明の前提をなす可動式 F B G 超音波センサを被検体へ取り付けて測定する超音波検出装置の全体構成を示す図である。

【図 2】F B G 超音波センサの取付構造を説明する図であり（a）はブリッジ接着であり、（b）は完全接着をそれぞれ示している。

【図 3】本発明の可動式 F B G 超音波センサの実施例 1 の使用例、及び、実施例 1 を利用した実験例 1 を説明する図である。

【図 4】完全接着とブリッジ接着を説明する図であり、いずれも従来例、先行発明に関するものである。

【図 5】本発明の可動式 F B G 超音波センサの実施例 1 の実験例の結果を示す図である。

【図 6】本発明の可動式 F B G 超音波センサの実験例 2 の概要を説明する図である。

【図 7】本発明の実験例 2 の実験結果を説明する図である。

【図 8】本発明の可動式 F B G 超音波センサの実施例 2 を説明する図である。

【図 9】本発明の可動式 F B G 超音波センサの実施例 3 を説明する図である。

【符号の説明】

【 0 0 6 7 】

- 1 超音波検出装置
- 2 波長可変レーザー光源
- 3 光ファイバ
- 4 光サーキュレータ
- 5 可動式 F B G 超音波センサ
- 6 光電変換器
- 7 F B G 超音波センサの光ファイバ
- 8 グレーティング
- 9 被検体
- 10 接着剤
- 11 取付具
- 12 シールド剤
- 13 F B G 超音波センサ
- 14 信号発生器
- 14' 電線
- 15 アクリル板
- 16 超音波発振子
- 17 F B G 超音波センサ
- 18 F B G 超音波センサ
- 19 直交積層繊維強化複合材料

10

20

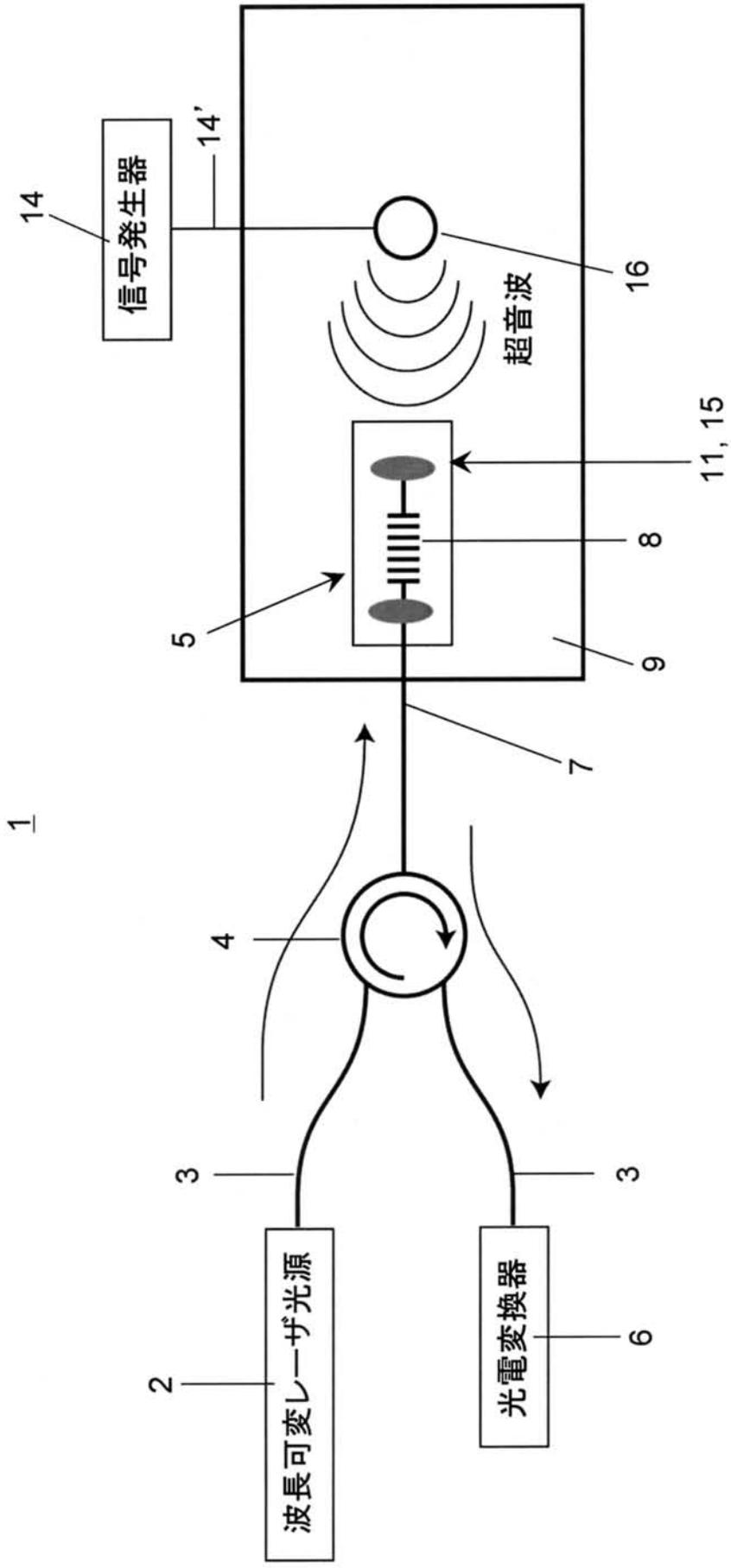
30

40

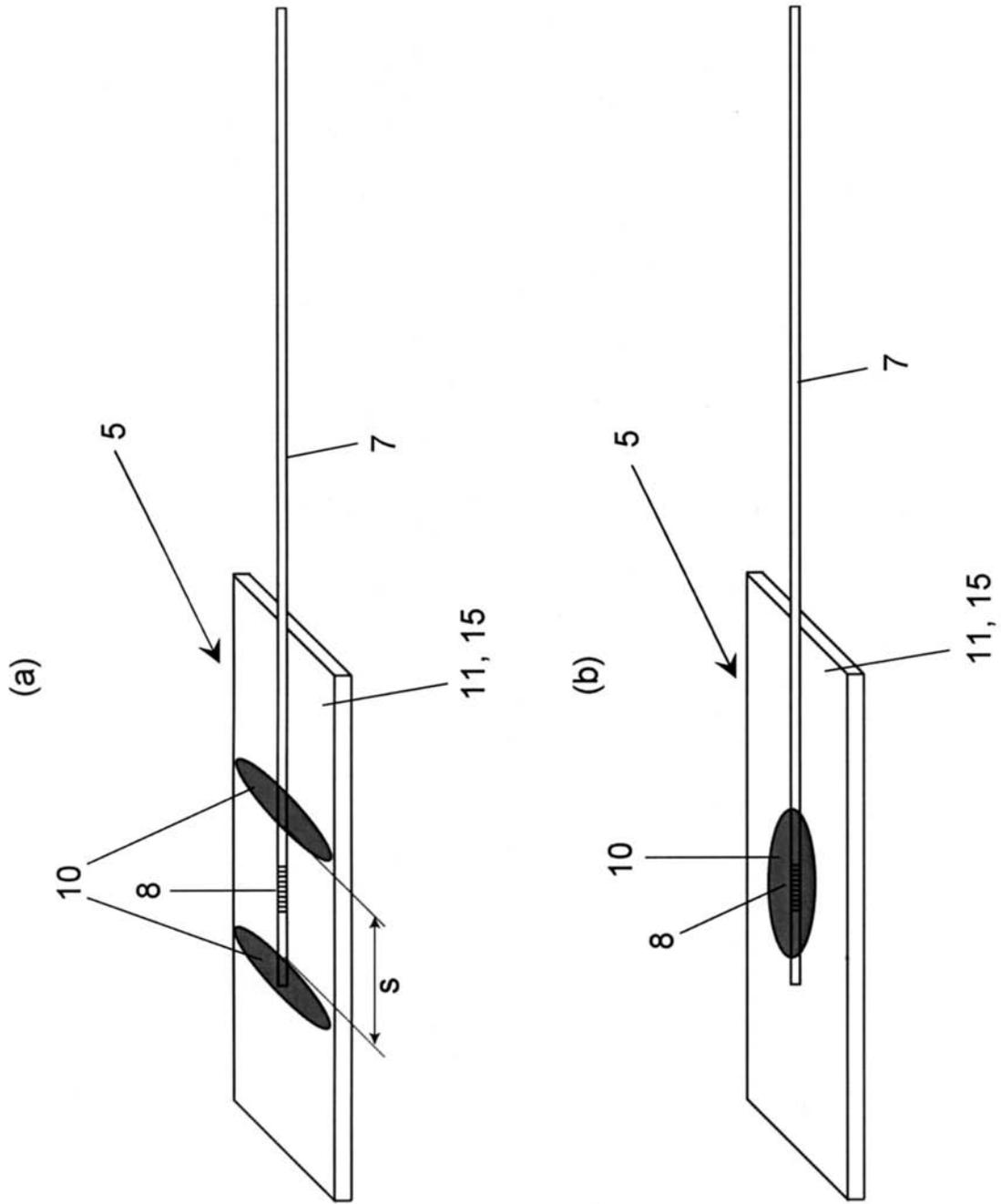
50

- 2 0 衝擊損傷部
- 2 1 中空容器

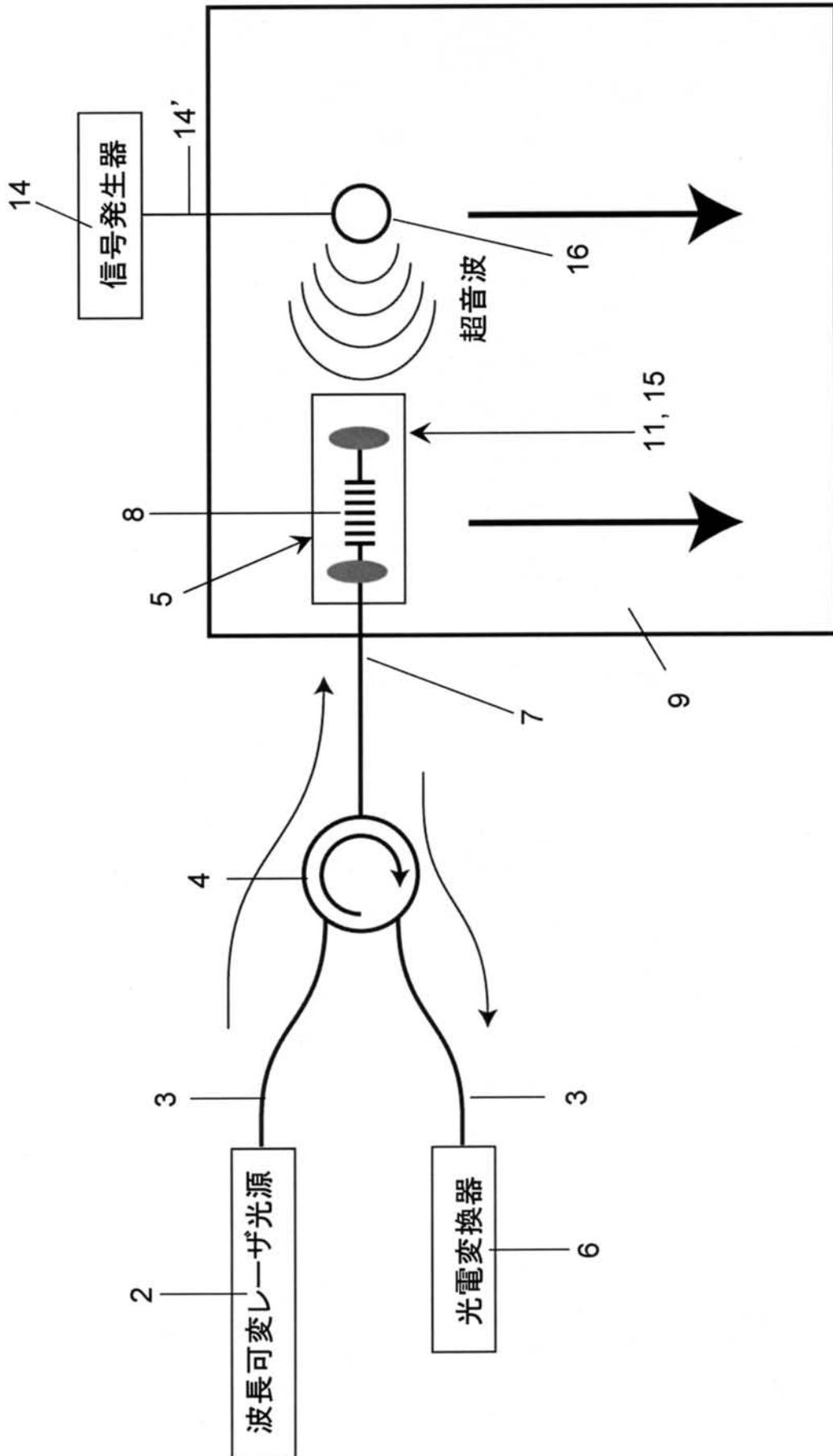
【図1】



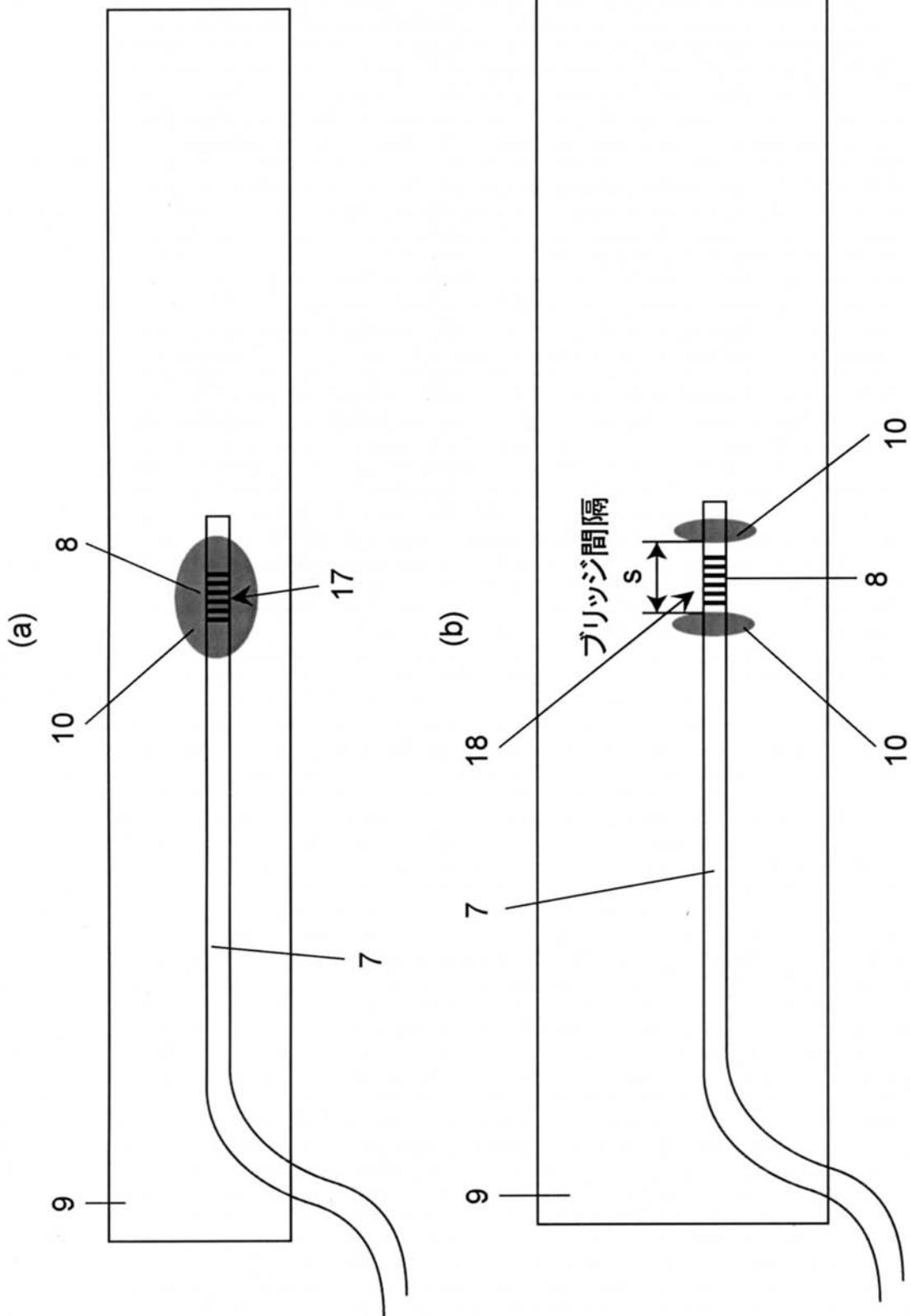
【図2】



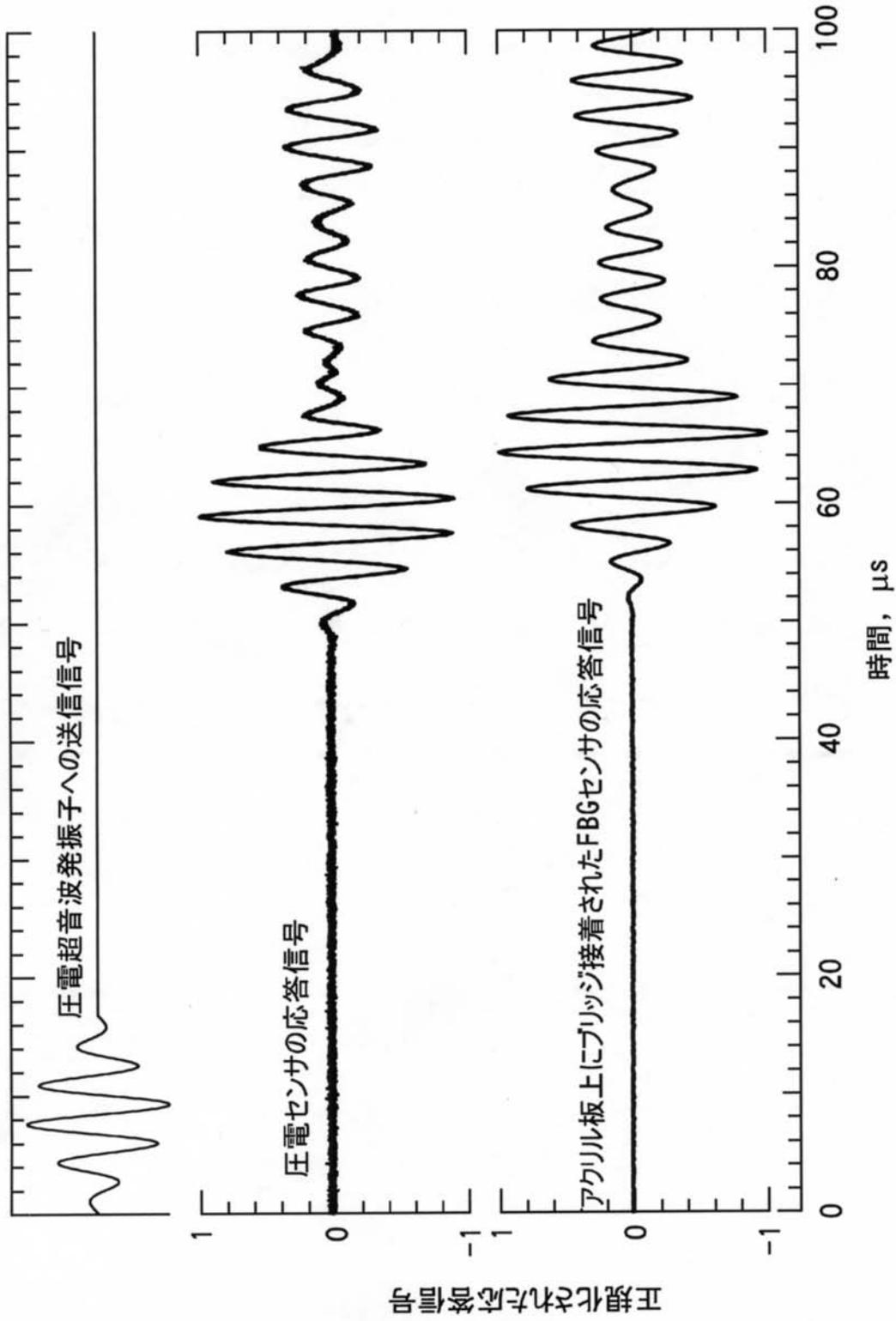
【 図 3 】



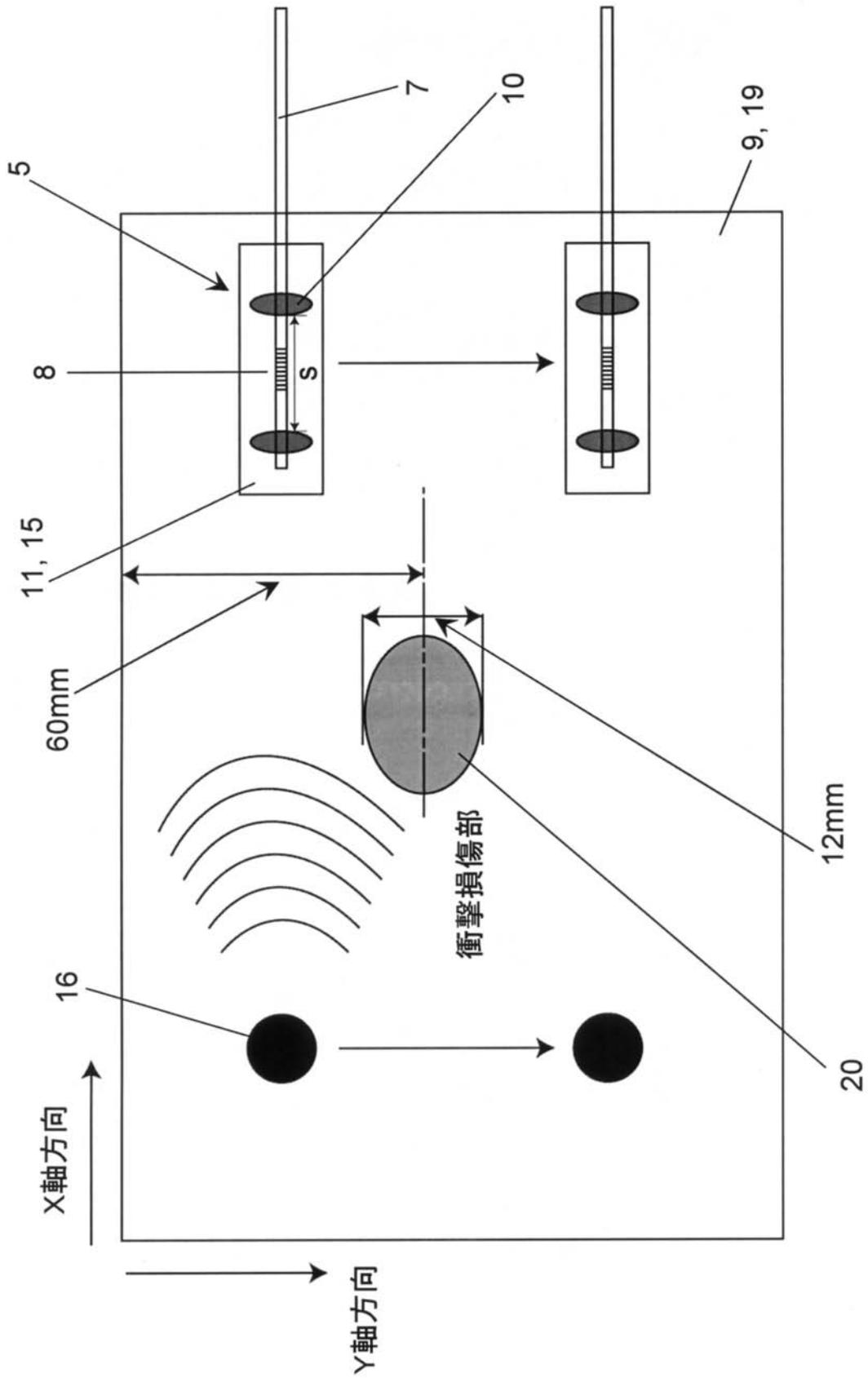
【図4】



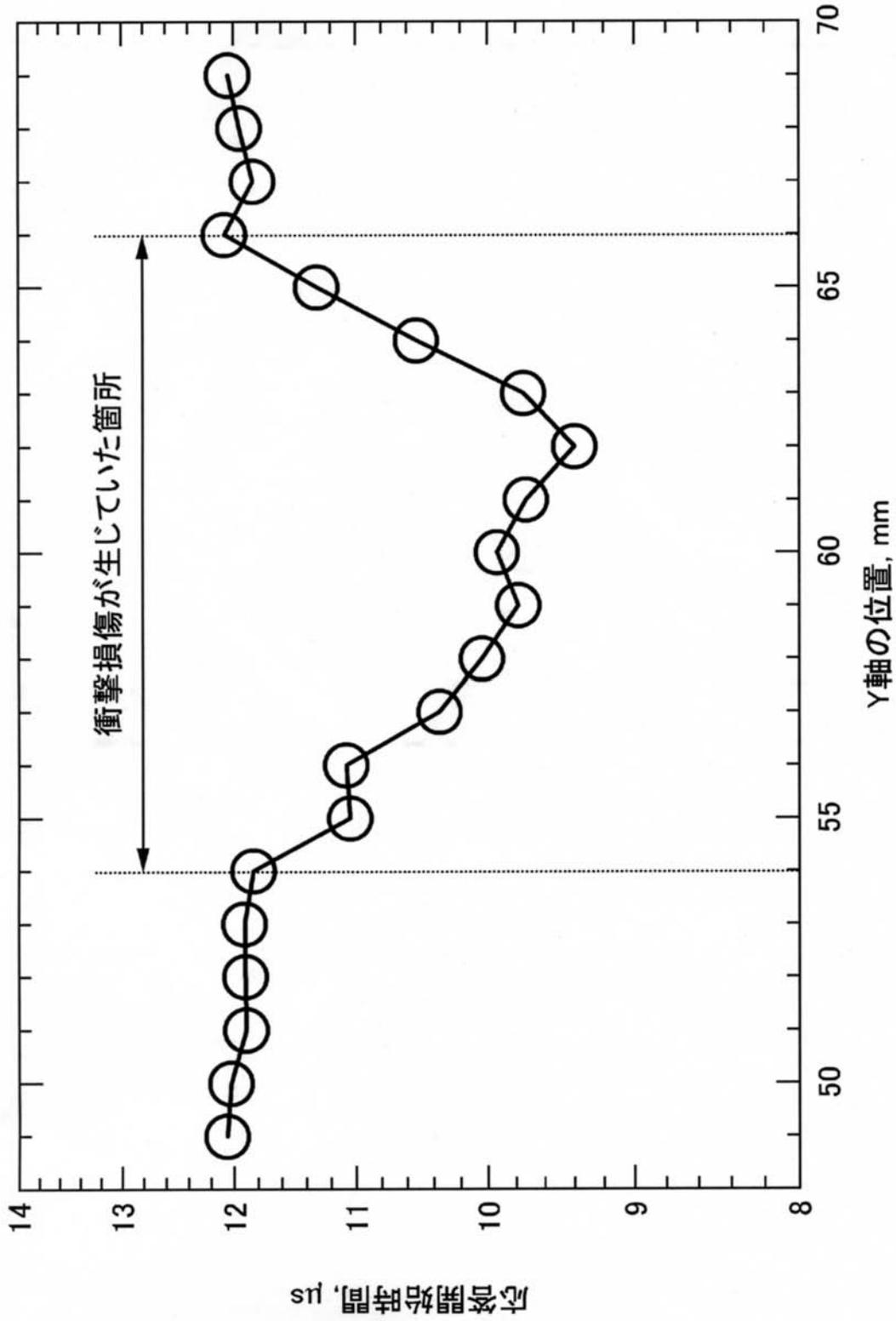
【図5】



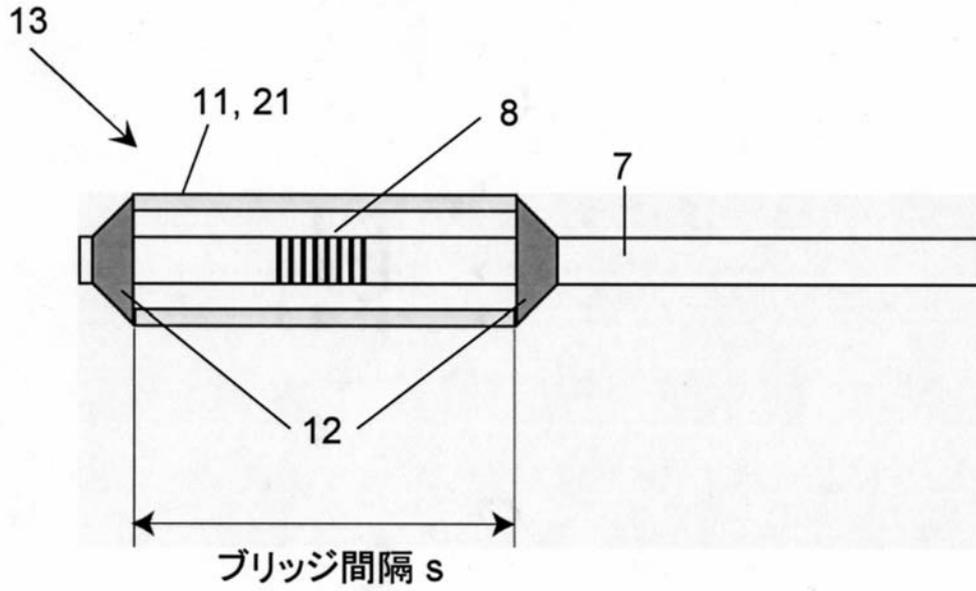
【図6】



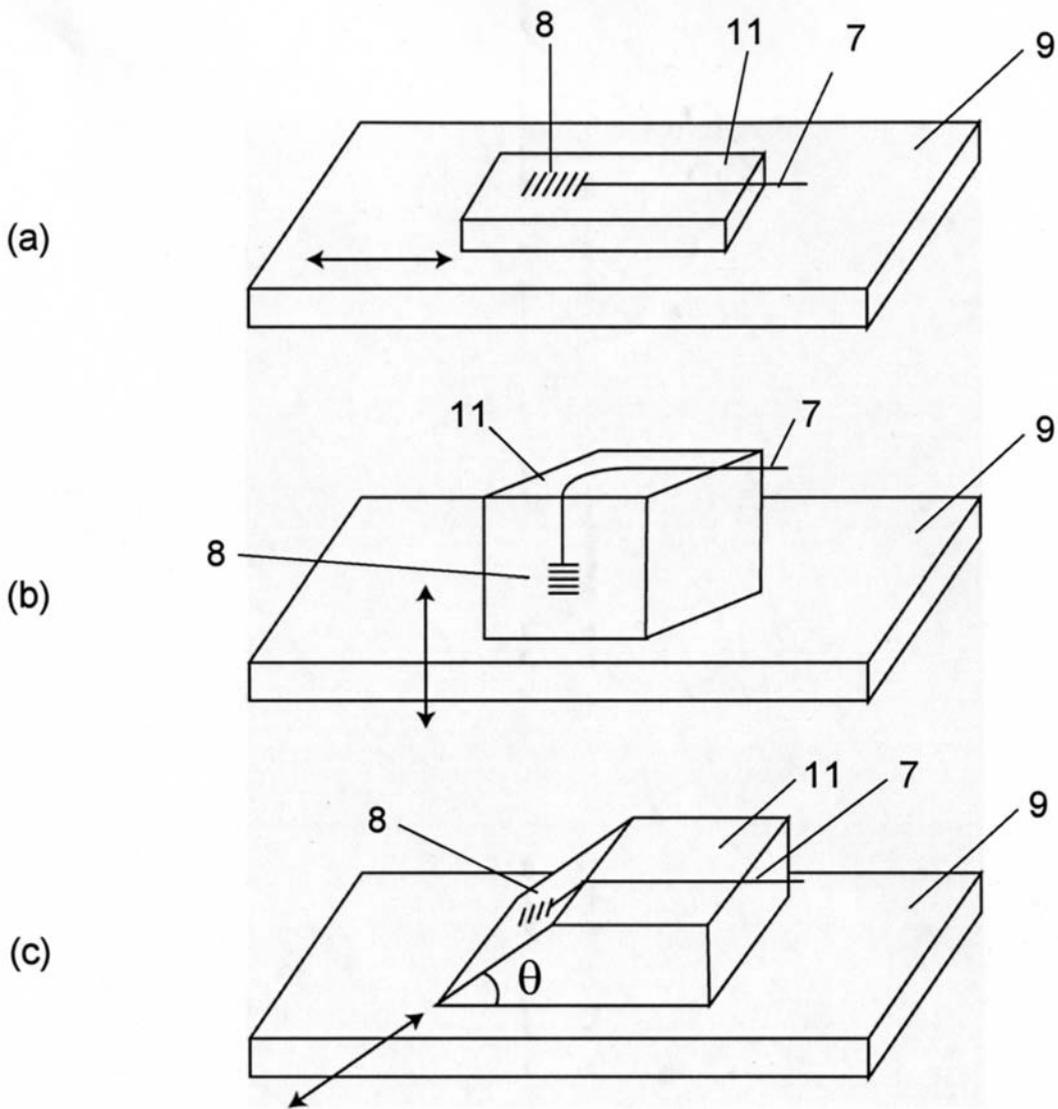
【図7】



【図8】



【図9】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2002-326884(JP,A)  
特開2002-162211(JP,A)  
特開2000-346831(JP,A)  
特開2001-296283(JP,A)  
特表2001-508535(JP,A)  
津田浩,FBGセンサで超音波を測る,超音波テクノ,日本,日本工業出版,2004年 7月  
20日,第16巻/第4号,26-30

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G01N 29/00-29/52

H04R 23/00

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)