

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **235392**
(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **412838**

(22) Data zgłoszenia: **24.06.2015**

(51) Int.Cl.
G01B 11/16 (2006.01)
G01M 5/00 (2006.01)
G01D 5/353 (2006.01)

(54) **Sposób ciągłego pomiaru profilu przemieszczeń obiektów budowlanych
oraz czujnik do realizacji tego sposobu**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
02.01.2017 BUP 01/17

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
13.07.2020 WUP 09/20

(73) Uprawniony z patentu:

**SHM SYSTEM SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ
SPÓŁKA KOMANDYTOWA, Libertów, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

ŁUKASZ BEDNARSKI, Kielce, PL
RAFAŁ MAREK SIENKO, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Andrzej Kacperski

PL 235392 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób ciągłego pomiaru profilu przemieszczeń obiektów budowlanych oraz czujnik do realizacji tego sposobu, dla wielokrotnych, automatycznych pomiarów profilu przemieszczeń ośrodka za pomocą elementów światłowodowych, w szczególności w konstrukcjach inżynierskich, elementach konstrukcji inżynierskich, konstrukcjach geotechnicznych.

Światłowodowe elementy pomiarowe są to włókna światłowodowe przeznaczone do pomiaru odkształceń i temperatury. W przypadku pomiarów dyskretnych jest to włókno światłowodowe z naniesioną siatką Bragga, w przypadku pomiarów ciągłych (w przybliżeniu w każdym miejscu włókna) są to np. zwykłe telekomunikacyjne włókna światłowodowe, które analizowane są przy wykorzystaniu w szczególności zjawiska rozpraszania Rayleigha, Ramana lub Brillouina.

Znany jest z opisu zgłoszeniowego wynalazku US 2007/0065077 A1 sposób określania położenia i kształtu oraz urządzenie służące do realizacji tego sposobu. Rozwiązanie wykorzystywane jest do określania profilu przemieszczeń (kształtu) monitorowanej konstrukcji, względnego położenia obiektów, analizy modalnej układów mechanicznych, a także w małoinwazyjnych technikach chirurgicznych oraz monitoringu biometrycznym. Znane urządzenie opiera się na światłowodowej technice pomiarowej wykorzystującej siatki Bragga rozmieszczone w liczbie przynajmniej stu wzdłuż pojedynczych rdzeni światłowodowych. Dla analizy dwuwymiarowej odpowiedni jest światłowód z dwoma rdzeniami, a dla trójwymiarowej przynajmniej z trzema (w przypadku światłowodu trzyrdzeniowego przyjmuje się równomierne rozmieszczenie rdzeni wokół osi układu co 120°). Urządzenie przymocowane do opomiarowanego elementu (bądź zatopione w jego wnętrzu) określa jego deformacje na podstawie lokalnych pomiarów odkształceń wynikających ze zginania elementu pomiarowego zawierającego w sobie rdzenie światłowodowe, dzięki czemu możliwe jest, poprzez sumowanie, zrekonstruowanie rzeczywistej krzywizny opomiarowanego elementu. Analiza odbywa się w sposób dyskretny na podstawie pomiarów quasi-ciągłych (siatki Bragga rozmieszczone w określonych odstępach wzdłuż długości rdzenia światłowodowego) oraz nie uwzględnia efektów powodowanych oddziaływaniem temperatury. Nie jest także możliwa analiza profilu przemieszczeń spowodowanych zarówno zginaniem jak i oddziaływaniem siły osiowej.

Znany jest z opisu zgłoszeniowego wynalazku US 2010/0215311 A1 sposób oraz urządzenie do określania położenia oraz kształtu za pomocą wielordzeniowego światłowodu, stosowane przede wszystkim do wyznaczania względnego położenia. Przedstawiono rozwiązanie wykorzystujące trzy rdzenie rozmieszczone równomiernie w przekroju światłowodu, biegnące równolegle wzdłuż jego długości. W przewodzie światłowodowym wykorzystuje się wiele pojedynczych czujników odkształceń opartych na zasadzie działania siatek Bragga, rozpraszania Rayleigha lub innych. Sposób i urządzenie umożliwiają za pomocą odpowiedniego pakietu funkcji określanie krzywizn, kierunków płaszczyzn zginania oraz skręcania światłowodu umieszczonego swobodnie w zewnętrznym płaszczu ochronnym. Płaszcz ten w żaden sposób nie jest połączony ze światłowodem, dlatego deformacje światłowodu w postaci skręcania lub odkręcania nie są niczym ograniczone wzdłuż jego długości. Procedura wyznaczania profili przemieszczeń światłowodu w przestrzeni trójwymiarowej (jego kształtu) odbywa się przy założeniu, że jeden koniec ma ustalone (znane) położenie, natomiast drugi porusza się swobodnie. Z założenia tego bezpośrednio wynika fakt, że na przemieszczenia światłowodu nie oddziałuje siła osiowa. Ponadto rozwiązanie pozwala na wyznaczenie kształtu wyłącznie w sposób dyskretny (quasi-ciągły) na długości światłowodu oraz nie uwzględnia kompensacji wyników z uwagi na oddziaływanie temperatury.

Znane jest także z opisu zgłoszeniowego wynalazku nr US 2014/0320846 A1 urządzenie do wyznaczania położenia i/lub kształtu obiektu w przestrzeni trójwymiarowej, stosowane w przemyśle konstrukcyjnym, kosmicznym i medycznym. Średnie odkształcenia wzdłuż długości światłowodu określone są na podstawie zarejestrowanych, całkowitych zmian długości optycznej. Urządzenie wykorzystuje światłowód wielordzeniowy: w przekroju światłowodu trzy rdzenie splecione ze sobą na kształt helisy rozmieszczone są w zewnętrznej części co 120° , natomiast jeden rdzeń zlokalizowany jest w osi przekroju. Dane pomiarowe pochodzące z rdzenia centralnego odnoszone są do uśrednionych wartości pochodzących z rdzeni zewnętrznych. Rdzeń centralny jest podatny na oddziaływanie temperatury oraz zmiany siły osiowej (zmiany napięcia), jednak w przeciwieństwie do rdzeni zewnętrznych, nie doświadcza zmian długości będących wynikiem oddziaływania momentu skręcającego wokół osi profilu. Fakt ten umożliwia wprowadzenie kompensacji pomiaru ze względu na oddziaływanie albo siły podłużnej i temperatury, albo momentu skręcającego, albo wszystkich powyższych oddziaływań. Realizowanie pomiaru odbywa się z wykorzystaniem praw rozpraszania Rayleigha, przez co eliminuje konieczność

stosowania siatek Bragga i umożliwia ciągłą analizę profilu przemieszczeń wzdłuż całej długości danego segmentu pomiarowego z wysoką rozdzielczością.

Ponadto znane jest z opisu US 2008/0204706 A1 rozwiązanie, które zakłada użycie światłowodów zamocowanych do pomiaru odkształceń rdzenia oraz światłowodów swobodnych do korekcji odkształceń z uwagi na zmiany temperatury oraz odkształceń osiowych rdzenia. Światłowody kompensacyjne umieszczane są w nacięciach wykonanych na obwodzie rdzenia, zatem światłowody swobodne będą umieszczone w miejscach poddawanych bardzo dużym odkształceniom, które wywoływane są w czasie zginania rdzenia. Zginanie rdzenia jest podstawowym oddziaływaniem, które nadaje rdzeniowi kształt, a to znaczy, że będzie to podstawowy sposób pracy rdzenia. Umieszczenie światłowodów swobodnych w najbardziej odkształcanej części rdzenia będzie powodowało wadliwą pracę swobodnych światłowodów, nie jest bowiem możliwe konstrukcyjne zapewnienie takiego nadmiaru światłowodu swobodnego, aby był nieczuły na odkształcenia spowodowane zginaniem. Odkształcenia te są wielokrotnie większe od odkształceń termicznych. Drugim ujawnionym rozwiązaniem jest zastąpienie naciętego rdzenia czujnika zestawem niezależnych prętów światłowodowych, z których cztery to pręty pomiarowe a trzy to pręty rozdzielające. W rozwiązaniu tym światłowody swobodne zostały zastąpione jednym środkowym prętem światłowodowym, wokół którego rozłożonych jest pozostałych sześć prętów tworzących wymagany kształt czujnika.

Środkowy pręt światłowodowy ma być prętem kompensującym temperaturę lecz jednocześnie nie można traktować tego pręta jako swobodnego, ponieważ poddawany jest oddziaływaniu sił osiowych. Odkształcenia osiowe pręta kompensacyjnego można skompensować za pomocą wzoru podanego w opisie wynalazku, zgodnie z założeniem, że cały przekrój rdzenia jest wykonany z jednego kawałka materiału (wymagana jest zgodność odkształceń wszystkich prętów budujących czujnik – zasada płaskich przekrojów). W przypadku ujawnionego rozwiązania tylko sześć zewnętrznych prętów jest ze sobą połączonych, a pręt wewnętrzny jest prętem ruchomym względem zewnętrznych. To oznacza, że światłowod umieszczony wewnątrz pręta środkowego nie może zostać wykorzystany do kompensacji termicznej, ponieważ dokonuje on pomiaru odkształceń środkowego pręta, które zależą zarówno od temperatury, jak i sił osiowych działających na pręt środkowy. Ponadto środkowy pręt nie jest połączony mechanicznie z sześcioma prętami zewnętrznymi, nie jest więc możliwe zastosowanie wskazanej formuły matematycznej, przy ruchomym rdzeniu środkowym ogólna formuła jest niemożliwa do wyznaczenia.

Wszystkie znane rozwiązania opierają się o założenie, że element pomiarowy, którym jest wielordzeniowy element światłowodowy, jest elementem swobodnym. To znaczy, że unieruchomiony może być tylko jeden koniec elementu pomiarowego natomiast cały element pomiarowy jest swobodny. Przy takim założeniu, element pomiarowy wraz ze światłowodami znajdującymi się wewnątrz, może swobodnie zmieniać swoją długość pod wpływem temperatury. Znane rozwiązania nie obejmują jednak wpływu zmian temperatury w przypadku, gdy ruch elementu pomiarowego zostaje ograniczony, skrzepowany przez ośrodek, w którym jest on umieszczony, a którego przemieszczenia należy wyznaczyć. Ośrodkiem ograniczającym ruch światłowodowego elementu pomiarowego może być np. grunt lub beton. W takim przypadku, pomimo zmiany temperatury ośrodka, światłowodowy element pomiarowy nie może swobodnie zmienić swojej długości. Sygnał pomiarowy otrzymywany z czujników światłowodowych jest tak samo czuły na temperaturę, jak i na odkształcenia, uniemożliwia to w takim przypadku prawidłową interpretację danych pomiarowych, a tym samym prawidłowe wyznaczenie profilu badanego ośrodka.

Zagadnieniem technicznym wymagającym rozwiązania jest opracowanie nowego sposobu wyznaczania profilu przemieszczeń ośrodka o zmiennej w czasie temperaturze, czyli przemieszczeń obiektów budowlanych oraz czujnika do realizacji tego sposobu. Ośrodkiem takim jest np. grunt lub beton, który podlega dobowym, miesięcznym, rocznym zmianom temperatury. Rozwiązanie musi dawać możliwość wyznaczania wpływu temperatury za pomocą swobodnego czujnika światłowodowego nieobciążonego odkształceniami ośrodka.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że czujnik pomiarowy umieszcza się wewnątrz badanego ośrodka, przy czym czujnik zawiera rdzeń, z zespolonymi z nim światłowodowymi elementami pomiarowymi do wyznaczania odkształceń rdzenia, oraz światłowodowy element pomiarowy do wyznaczania temperatury, umieszczony swobodnie w osiowym kanale rdzenia, a następnie za pomocą połączonego z czujnikiem urządzenia pomiarowego wykonuje się pomiary parametrów światłowodowych elementów pomiarowych zespolonych z rdzeniem oraz umieszczonych swobodnie w kanale rdzenia dla poszczególnych chwil czasowych, po czym wyznacza się na tej podstawie profil przemieszczeń czujnika pomiarowego i w konsekwencji badanego ośrodka, z uwzględnieniem kompensaty wpływów

termicznych otoczenia wskazanych na podstawie pomiaru z wykorzystaniem światłowodowych elementów pomiarowych umieszczonych swobodnie w kanale rdzenia.

Światłowodowy element pomiarowy usytuowany w kanale rdzenia jest odpowiedzialny za wyznaczenie temperatury, a dzięki temu, że umieszczony jest w osi obojętnej przekroju poprzecznego rdzenia czujnika, nie jest narażony na odkształcenia wywoływane zginaniem lub skręcaniem czujnika pomiarowego. Sygnały pomiarowe ze światłowodowych elementów pomiarowych odczytywane są za pomocą odpowiedniego znanego urządzenia elektronicznego i przeliczane są na profil przemieszczeń badanego ośrodka.

Istota rozwiązania czujnika według wynalazku polega na tym, że czujnik zawiera rdzeń i zespolone z nim światłowodowe elementy pomiarowe do wyznaczania odkształceń rdzenia, przy czym rdzeń ma na swojej powierzchni geometryczne elementy przeznaczone do wklejania światłowodowych elementów pomiarowych zaś w swojej osi obojętnej ma wykonany kanał, w którym umieszczony jest swobodnie światłowodowy element pomiarowy do wyznaczania temperatury.

W korzystnym rozwiązaniu rdzeniem jest pręt o długości odpowiednio dobranej do długości badanego ośrodka, wykonany z odkształcalnego materiału, w szczególności z włókna szklanego, metalu lub tworzywa sztucznego.

Kanał rdzenia wypełniony jest substancją zmniejszającą tarcie pomiędzy światłowodowym elementem pomiarowym do wyznaczania temperatury a ściankami kanału.

Czujnik może mieć rdzeń, którego przekrój poprzeczny jest kołem lub prostokątem. Rdzeń jest symetryczny względem osi przechodzących przez punkty mocowania światłowodów.

Sposób i czujnik według wynalazku pozwala na wielokrotne, automatyczne i bezobsługowe wyznaczenie zmieniającego się w czasie profilu przemieszczeń różnego typu ośrodków, a w szczególności gruntu, konstrukcji (np. mostów), czy wybranych elementów konstrukcyjnych obiektów budowlanych (np. wyznaczanie kształtu ugięcia belek). Sposób i czujnik według wynalazku pozwala na realizację pomiarów zarówno w zakresie małych, jak i dużych przemieszczeń. Sposób i czujnik według wynalazku pozwala na wyznaczanie przemieszczeń pochodzących zarówno od efektów działania zginania, jak i rozciągającej lub ściskającej siły podłużnej oraz na automatyczną kompensację wpływów powodowanych zmianą na długości urządzenia pomiarowego temperaturą.

Czujnik realizujący sposób według wynalazku przedstawiony jest w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 – przedstawia czujnik o przekroju kołowym, fig. 2 – przedstawia czujnik o przekroju kwadratowym, fig. 3 – przedstawia czujnik o przekroju kołowym, z geometrycznymi elementami przeznaczonymi do wklejania światłowodowych elementów pomiarowych, fig. 4 – przedstawia czujnik o przekroju kwadratowym, z geometrycznymi elementami przeznaczonymi do wklejania światłowodowych elementów pomiarowych.

Czujnik pomiarowy składa się z rdzenia 1 i odpowiednio rozmieszczonych i zespolonych z rdzeniem 1 światłowodowych elementów pomiarowych 2 do wyznaczania odkształceń rdzenia 1. Rdzeń 1 w swojej osi obojętnej posiada kanał 3, w którym umieszczony jest swobodnie światłowodowy element pomiarowy do wyznaczania temperatury 4.

Czujnik może mieć rdzeń, którego przekrój poprzeczny jest kołem (fig. 1 i fig. 3) lub prostokątem (fig. 2 i fig. 4). W obu wariantach rdzeń ma na swojej powierzchni geometryczne elementy E przeznaczone do wklejania światłowodowych elementów pomiarowych.

Sposób według wynalazku wykorzystuje fakt, że czujnik pomiarowy przyjmuje kształt profilu przemieszczeń ośrodka, w którym został umieszczony. Poprzez wyznaczenie kształtu czujnika pomiarowego następuje wyznaczenie kształtu profilu przemieszczeń badanego ośrodka.

Czujnik pomiarowy umieszcza się wewnątrz badanego ośrodka, przy czym czujnik zawiera rdzeń 1, z zespolonymi z nim światłowodowymi elementami pomiarowymi 2 do wyznaczania odkształceń rdzenia 1, oraz światłowodowy element pomiarowy 4 do wyznaczania temperatury, umieszczony swobodnie w osiowym kanale 3 rdzenia.

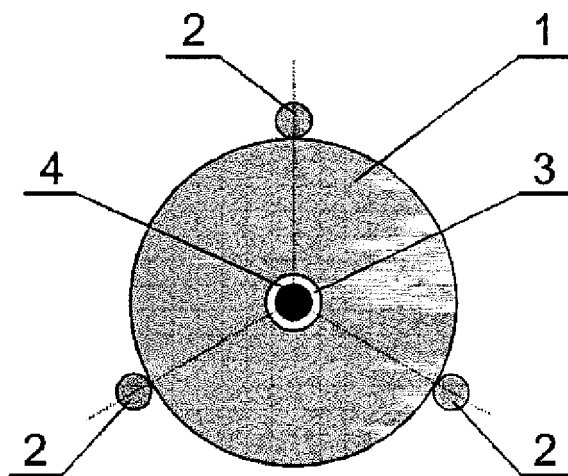
Następnie za pomocą połączonego z czujnikiem urządzenia pomiarowego wykonuje się pomiary parametrów światłowodowych elementów pomiarowych 2 zespolonych z rdzeniem 1 oraz pomiary parametrów światłowodowych elementów pomiarowych 4 umieszczonych swobodnie w kanale 3 rdzenia 1, dla poszczególnych chwil czasowych. Na tej podstawie wyznacza się profil przemieszczeń czujnika pomiarowego i w konsekwencji badanego ośrodka, z uwzględnieniem kompensaty wpływów termicznych otoczenia wskazanych na podstawie pomiaru z wykorzystaniem światłowodowych elementów pomiarowych 4 umieszczonych swobodnie w kanale 3 rdzenia 1.

Sposób ciągłego pomiaru profilu przemieszczeń obiektów budowlanych według wynalazku prowadzony jest za pomocą znanego urządzenia pomiarowego wykorzystującego jedno ze znanych zjawisk optycznych, w szczególności rozpraszanie Rayleigha lub Brillouina.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób ciągłego pomiaru profilu przemieszczeń obiektów budowlanych, wykorzystujący światłowodową technikę pomiarową, polegający na pomiarze odkształceń światłowodowych elementów pomiarowych zespolonych z rdzeniem czujnika oraz umieszczonego swobodnie w kanale rdzenia, za pomocą urządzenia pomiarowego wykorzystującego jedno ze znanych zjawisk optycznych, w szczególności rozpraszanie Rayleigha lub Brillouina, **znamienny tym**, że czujnik pomiarowy umieszcza się wewnątrz badanego ośrodka, przy czym czujnik zawiera rdzeń, z zespolonymi z nim światłowodowymi elementami pomiarowymi do wyznaczania odkształceń rdzenia, oraz światłowodowy element pomiarowy do wyznaczania temperatury, umieszczony swobodnie w osiowym kanale rdzenia, a następnie za pomocą połączonego z czujnikiem urządzenia pomiarowego wykonuje się pomiary parametrów światłowodowych elementów pomiarowych zespolonych z rdzeniem oraz umieszczonych swobodnie w kanale rdzenia dla poszczególnych chwil czasowych, po czym wyznacza się na tej podstawie profil przemieszczeń czujnika pomiarowego i w konsekwencji badanego ośrodka, z uwzględnieniem kompensaty wpływów termicznych otoczenia wskazanych na podstawie pomiaru z wykorzystaniem światłowodowych elementów pomiarowych umieszczonych swobodnie w kanale rdzenia.
2. Czujnik do pomiaru profilu przemieszczeń obiektów budowlanych, wykorzystujący światłowodową technikę pomiarową, **znamienny tym**, że zawiera rdzeń (1) i zespolone z nim światłowodowe elementy pomiarowe (2) do wyznaczania odkształceń rdzenia (1), przy czym rdzeń ma na swojej powierzchni geometryczne elementy (E) przeznaczone do wklejania światłowodowych elementów pomiarowych (2) zaś w swojej osi obojętnej ma wykonany kanał (3), w którym umieszczony jest swobodnie światłowodowy element pomiarowy do wyznaczania temperatury (4).
3. Czujnik według zastrz. 2, **znamienny tym**, że rdzeniem (1) jest pręt o długości odpowiednio dobranej do długości badanego ośrodka, wykonany z odkształcalnego materiału, w szczególności z włókna szklanego, metalu lub tworzywa sztucznego.
4. Czujnik według zastrz. 2 lub 3 **znamienny tym**, że kanał (3) wypełniony jest substancją zmniejszającą tarcie pomiędzy światłowodowym elementem pomiarowym do wyznaczania temperatury (4) a ściankami kanału (3).
5. Czujnik według zastrz. 2, **znamienny tym**, że przekrój poprzeczny rdzenia (1) jest kołem.
6. Czujnik według zastrz. 2, **znamienny tym**, że przekrój poprzeczny rdzenia (1) jest prostokątem.
7. Czujnik według jednego z zastrz. od 2 do 6, **znamienny tym**, że rdzeń (1) jest symetryczny względem osi przechodzących przez punkty mocowania światłowodów.

Rysunki

*fig.1*

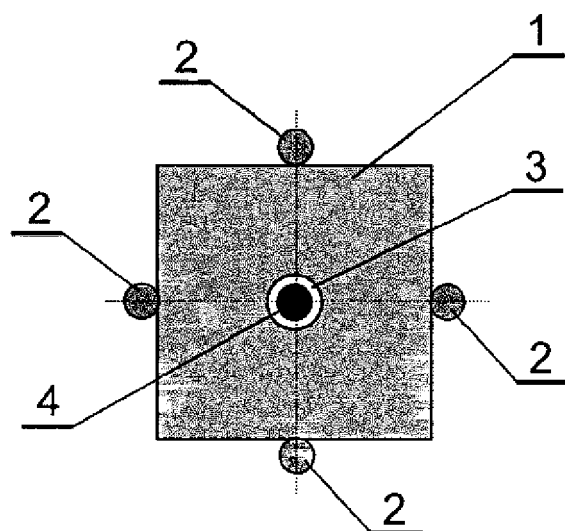


fig.2

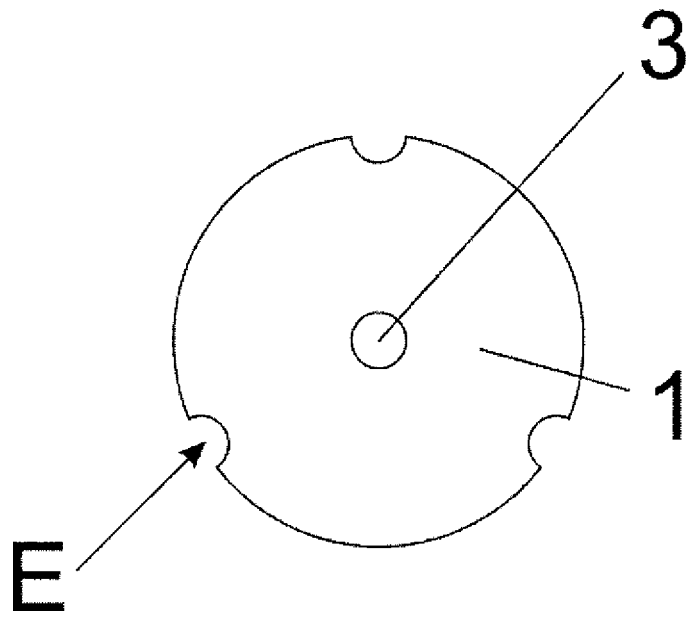


fig. 3

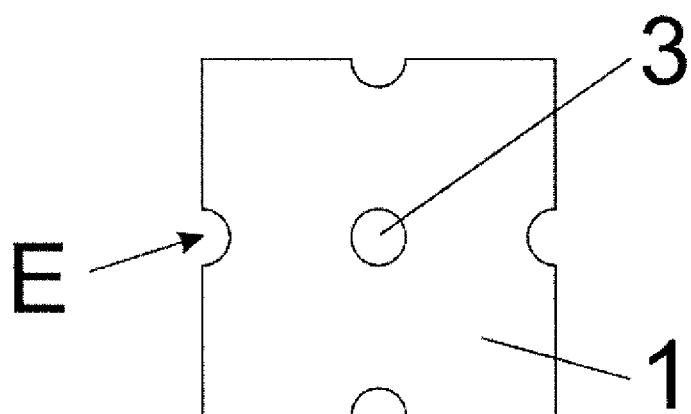


fig. 4