

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **240246**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **431047**

(22) Data zgłoszenia: **04.09.2019**

(51) Int.Cl.

**G01N 29/24 (2006.01)**

**G01N 29/22 (2006.01)**

**G01H 1/04 (2006.01)**

**H03H 9/02 (2006.01)**

(54) **Głowica ultradźwiękowa w postaci falowodu do pomiaru współczynnika dwójłomności akustycznej z półprzepuszczalnym lustrem akustycznym**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**08.03.2021 BUP 05/21**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**07.03.2022 WUP 10/22**

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW  
TECHNIKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK,  
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**JACEK SZELAŻEK, Warszawa, PL  
ZBIGNIEW RANACHOWSKI, Warszawa, PL  
SŁAWOMIR MACKIEWICZ, Warszawa, PL  
TOMASZ KATZ, Warszawa, PL  
TOMASZ DĘBOWSKI, Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Anna Grzelak**

**PL 240246 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest głowica ultradźwiękowa do pomiaru współczynnika dwójłomności akustycznej z półprzepuszczalnym lustrem akustycznym, generująca i odbierająca dwie fale poprzeczne o wzajemnie prostopadłych do siebie polaryzacjach. W szczególności głowica służyć może do pomiaru współczynnika dwójłomności akustycznej w materiale badanym. Współczynnik dwójłomności akustycznej jest miarą różnicy prędkości dwóch fal poprzecznych propagujących się prostopadle do powierzchni materiału, zwanych dalej falami SH, o wzajemnie prostopadłych kierunkach polaryzacji. Wyznaczony z pomiarów współczynnik dwójłomności akustycznej może znaleźć zastosowanie w ultradźwiękowych badaniach anizotropii czy tekstury materiałów oraz w pomiarach naprężeń wewnętrznych w badanych materiałach.

Najpowszechniejszym sposobem pomiaru współczynnika dwójłomności jest użycie typowej, normalnej pojedynczej głowicy ultradźwiękowej na fale poprzeczne sprzężonej z próbką badanego materiału za pomocą lepkiego ośrodka sprzęgającego, korzystnie żywicy syntetycznej, i wykonanie pomiaru prędkości w jednym położeniu głowicy, a po ręcznym obrocie głowicy o 90 stopni wokół jej osi wykonanie drugiego pomiaru prędkości w tym samym miejscu. Wadą takiego rozwiązania jest długi czas pomiaru współczynnika dwójłomności związany z koniecznością obrotu głowicy i oczekiwaniem na ustalenie się własności fizycznych warstwy ośrodka sprzęgającego w każdym z dwóch położení głowicy. Inną wadą tego rozwiązania może być niedokładny ręczny obrót głowicy o kąt 90 stopni, skutkujący przemieszczeniem położenia środka głowicy na powierzchni materiału badanego w trakcie obrotu, co spowoduje, że dwie prędkości fal poprzecznych zmierzone będą pod różnymi kątami lub nie w tej samej objętości materiału. W tym przypadku wymagane jest zastosowanie płaskiego szablonu z otworem dopasowanym do głowicy ultradźwiękowej, który zamocowany jest do powierzchni badanego materiału, i w którym umieszczana jest i obracana głowica ultradźwiękowa.

Poprzeczne fale akustyczne SH o częstotliwościach ultradźwiękowych można wzbudzać i odbierać za pomocą przetworników piezoelektrycznych lub przetworników elektromagneto-akustycznych, zwanych dalej EMAT. Przetworniki piezoelektryczne oferowane są przez większość producentów ultradźwiękowej aparatury pomiarowej.

Z publikacji R. E. Schramm, J. Szelażek, A. V. Clark „Naprężenia własne w indukcyjnie nagrzewanych kołach kolejowych: pomiary ultradźwiękowe i niszczące”, wydanej w 1995 roku jako Raport Nr 28 Narodowego Instytutu Standardów i Techniki w Boulder, USA, znane jest urządzenie z przetwornikiem EMAT na fale poprzeczne wyposażone w jedną nadawczo-odbiorczą cewkę. W opisanym rozwiązaniu zmiana kierunku polaryzacji fal dokonywana jest przez ręczny obrót urządzenia.

Z patentu US6311558 znana jest podobna głowica, w której obrót cewki został zmechanizowany.

Z patentu US6523411 znana jest głowica z przetwornikiem EMAT do pomiaru współczynnika dwójłomności akustycznej wyposażona w dwie prostopadłe do siebie cewki nadawczo-odbiorcze pozwalające na wzbudzenie i odbiór dwóch fal poprzecznych typu SH o wzajemnie prostopadłych kierunkach polaryzacji, a więc nie wymagająca obracania.

Z polskiego opisu patentowego PL167941 znane jest urządzenie z przetwornikami EMAT wyposażone w trzy cewki ułożone obok siebie w jednej płaszczyźnie, z których jedna nadaje falę poprzeczną typu SH a dwie pozostałe działają jako cewki odbiorcze, przy czym kierunki polaryzacji fal dla cewek odbiorczych są wzajemnie prostopadłe, a kierunek polaryzacji fali nadawanej tworzy z nimi kąty 45 stopni.

Z publikacji J. Szelażek, „Postępy w ultradźwiękowych badaniach materiałów”, wydanej w serii Prace IPPT-PAN, Nr 4, 2001 rok przez Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie, znane jest ultradźwiękowe urządzenie pracujące z zastosowaniem fal poprzecznych, wyposażone w 6 przetworników piezoelektrycznych o różnych wielkościach i kierunkach polaryzacji ułożonych obok siebie w jednej płaszczyźnie, pozwalające na nadawanie i odbiór fal poprzecznych typu SH o dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach polaryzacji.

Z polskiego opisu patentowego PL389634 znane jest urządzenie mozaikowe z zastosowaniem fal poprzecznych typu SH. Przetworniki piezoelektryczne wykonujące drgania ścinania ułożone są obok siebie w postaci mozaiki, w której część połączonych elektrycznie ze sobą przetworników ma kierunek polaryzacji drgań prostopadły do pozostałych, również połączonych ze sobą elektrycznie.

Znane i opisane wyżej urządzenia z przetwornikami piezoelektrycznymi jak i elektromagneto-akustycznymi typu EMAT nie pozwalają na wykonanie wymaganych bardzo dokładnych pomiarów

prędkości fal poprzecznych SH w materiałach i konstrukcjach w warunkach ich eksploatacji przemysłowej. Urządzenia z rozłożonymi obok siebie przetwornikami o wzajemnie prostopadłych kierunkach drgań pozwalają na wykonanie pomiarów prędkości fal SH o dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach polaryzacji, ale fale wzbudzone są w różnych obszarach badanego materiału, mogących się od siebie znacznie różnić. Urządzenia wymagające obrotu, oprócz błędów związanych z niedokładnością ustawienia kąta oraz zmianą położenia na powierzchni badanego materiału, zmieniają przy każdym poruszeniu warunki sprzężenia akustycznego z materiałem. W przypadku głowic z przetwornikami piezoelektrycznymi jest to grubość lepkiej warstwy sprzęgającej, której ustalenie się wymaga dodatkowo czasu i spowalnia cały proces pomiarowy. W przypadku głowic typu EMAT chropowatość powierzchni jest źródłem niestabilności generacji i detekcji fal akustycznych związanych z wahaniami natężenia pola magnetycznego, zależnego od szerokości szczeliny między cewką przetwornika a powierzchnią badanego elementu.

Głowica do pomiaru współczynnika dwójłomności akustycznej z półprzepuszczalnym lustrem akustycznym według wynalazku wyróżnia się tym, że posiada dwa przetworniki na drgania ścinania o tej samej częstotliwości i rozmiarach poprzecznych, które ustawione są prostopadle do siebie na prostopadłościennym słupku stanowiącym falowód akustyczny pod kątem 45 stopni do umieszczonego w nim półprzepuszczalnego lustra akustycznego tak, że po przejściu jednej a odbiciu drugiej fali poprzecznej ich główne osie wiązek są równoległe i padają na powierzchnię badanego materiału prostopadle w tym samym punkcie i w taki sposób, że ich kierunki polaryzacji obrócone są względem siebie o kąt 90 stopni. Korzystnym jest, jeżeli kierunek polaryzacji fali odbitej od lustra jest równoległy do powierzchni lustra zaś kierunek polaryzacji fali przechodzącej przez lustro leży w płaszczyźnie wyznaczonej przez kierunek padania fali i normalną do powierzchni lustra, a grubość warstwy lustra jest dobrana tak, na podstawie modelu teoretycznego przejścia fali ultradźwiękowej przez warstwę opartego na znanych prawach liniowej teorii sprężystości, aby współczynnik odbicia fali odbitej był równy współczynnikowi przepuszczania fali przechodzącej. W ten sposób, przy założeniu, że oba przetworniki głowicy wytwarzają fale o jednakowej amplitudzie, uzyskuje się jednakowe amplitudy fali odbitej i fali przechodzącej przez lustro. Tym samym obie fale SH wprowadzane do badanego materiału mają jednakowe amplitudy.

Przedmiot wynalazku uwidoczniono w przykładzie wykonania na załączonym rysunku, na którym fig. 1 przedstawia urządzenie w przekroju poprzecznym.

#### P r z y k ł a d  w y k o n a n i a  1

Jak przedstawiono na fig. 1, głowica do pomiaru współczynnika dwójłomności akustycznej z półprzepuszczalnym lustrem akustycznym składa się z falowodu w postaci prostopadłościannu o przekroju 25 x 20 mm i wysokości 40 mm wykonanego z tworzywa sztucznego powszechnie stosowanego na falowody głowic ultradźwiękowych – REXOLITE 1422. Falowód przecięty został pod kątem 45 stopni w stosunku do swojej osi podłużnej a w miejscu przecięcia wklejona została folia 6 wykonana z ołowiu o grubości 0,05 mm stanowiąca półprzepuszczalne lustro akustyczne. W położeniach 1 i 2 do powierzchni falowodu przyklejone zostały przetworniki piezoelektryczne fal poprzecznych o średnicy 10 mm i częstotliwości rezonansowej 2 MHz. Przetworniki zorientowane zostały w taki sposób, że kierunek drgań przetwornika 1 jest równoległy do osi podłużnej falowodu, zaś kierunek drgań przetwornika 2 leży w płaszczyźnie wyznaczonej przez oś falowodu oraz normalną do płaszczyzny lustra. Przetworniki obciążone zostały masą tłumiącą 7 wykonaną z mieszaniny żywicy epoksydowej i proszku korundowego. Dodatkowa masa tłumiąca 8 przyklejona jest do powierzchni falowodu naprzeciwko przetwornika 1 i służy do wytłumienia zbędnych impulsów ultradźwiękowych odbitych lub przechodzących przez lustro 6. Linia ciągłą 3 pokazano drogi i kierunki propagacji fal ultradźwiękowych wytwarzanych przez przetwornik 1, zaś linią przerywaną 4 drogi i kierunki propagacji fal ultradźwiękowych wytwarzanych przez przetwornik 2.

Powierzchnia czołowa głowicy sprzęgana jest akustycznie z badanym materiałem 12 za pomocą ośrodką o dużej lepkości 11. Przewody 15 od elektrod przetworników 1 i 2 połączone są ze sobą i doprowadzone do uziemionej elektrody gniazda wejściowego jednokanałowego aparatu ultradźwiękowego 10 zaś przewody 13 i 14 elektrod do przełącznika 9 i dalej do czynnej elektrody gniazda wejściowego aparatu. W przypadku zastosowania dwukanałowego aparatu ultradźwiękowego każdy z przetworników może być osobno połączony z odpowiednim gniazdem wejściowym aparatu.

### Przykład wykonania 2

Jak opisano w przykładzie wykonania 1 z tym, że: a) rozmiary przekroju falowodu głowicy wynoszą 15 x 12 mm zaś jego wysokość 30 mm, b) w miejscu przecięcia falowodu pod kątem 45 stopni wklejona została folia 6 wykonana z aluminium o grubości 0,006 mm, c) w położeniach 1 i 2 do powierzchni falowodu przyklejone zostały przetworniki piezoelektryczne fal poprzecznych o średnicy 6 mm i częstotliwości rezonansowej 8 MHz.

### Przykład wykonania 3

Jak opisano w przykładzie wykonania 1 z tym, że: a) falowód głowicy w postaci prostopadłościanu o przekroju 25 x 20 mm i wysokości 40 mm wykonany został z polimetakrylanu metylu (PMM), b) w miejscu przecięcia falowodu pod kątem 45 stopni wklejona została folia 6 wykonana ze stali nierdzewnej 18/8 o grubości 0,025 mm, c) w położeniach 1 i 2 do powierzchni falowodu przyklejone zostały przetworniki piezoelektryczne fal poprzecznych o średnicy 12 mm i częstotliwości rezonansowej 1 MHz.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Głowica ultradźwiękowa w postaci falowodu do pomiaru współczynnika dwójłomności akustycznej z półprzepuszczalnym lustrem akustycznym **znamienna tym**, że falowód wykonany jest z materiału o niskiej impedancji akustycznej, **znamienna tym**, że w falowodzie pod kątem 45 stopni umieszczone jest półprzepuszczalne lustro akustyczne (6) wykonane z folii wykonanej z metalu lub stopu metalu, oraz zawiera 2 przetworniki piezoelektryczne, przy czym przetwornik (2) umieszczony jest w osi falowodu natomiast przetwornik (1) umieszczony jest pod kątem 90 stopni na ścianie falowodu.
2. Głowica ultradźwiękowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że folia metalowa wykonana jest z ołowiu, stali, miedzi lub aluminium.
3. Głowica ultradźwiękowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że półprzepuszczalne lustro akustyczne (6) ma grubość – g, zawierającą się w przedziale określonym wzorem:

$$0,2 \frac{V_T}{f} > g > 0,002 \frac{V_T}{f}$$

gdzie:

$V_T$  – prędkość fali ultradźwiękowej typu poprzecznego w materiale lustra akustycznego, wyrażona w mm/ $\mu$ s,

f – częstotliwość drgań ścinania przetworników piezoelektrycznych, wyrażona w MHz.

4. Głowica ultradźwiękowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że częstotliwości drgań ścinania przetworników (1) i (2) są jednakowe i leżą w zakresie od 1 do 10 MHz.

Rysunek

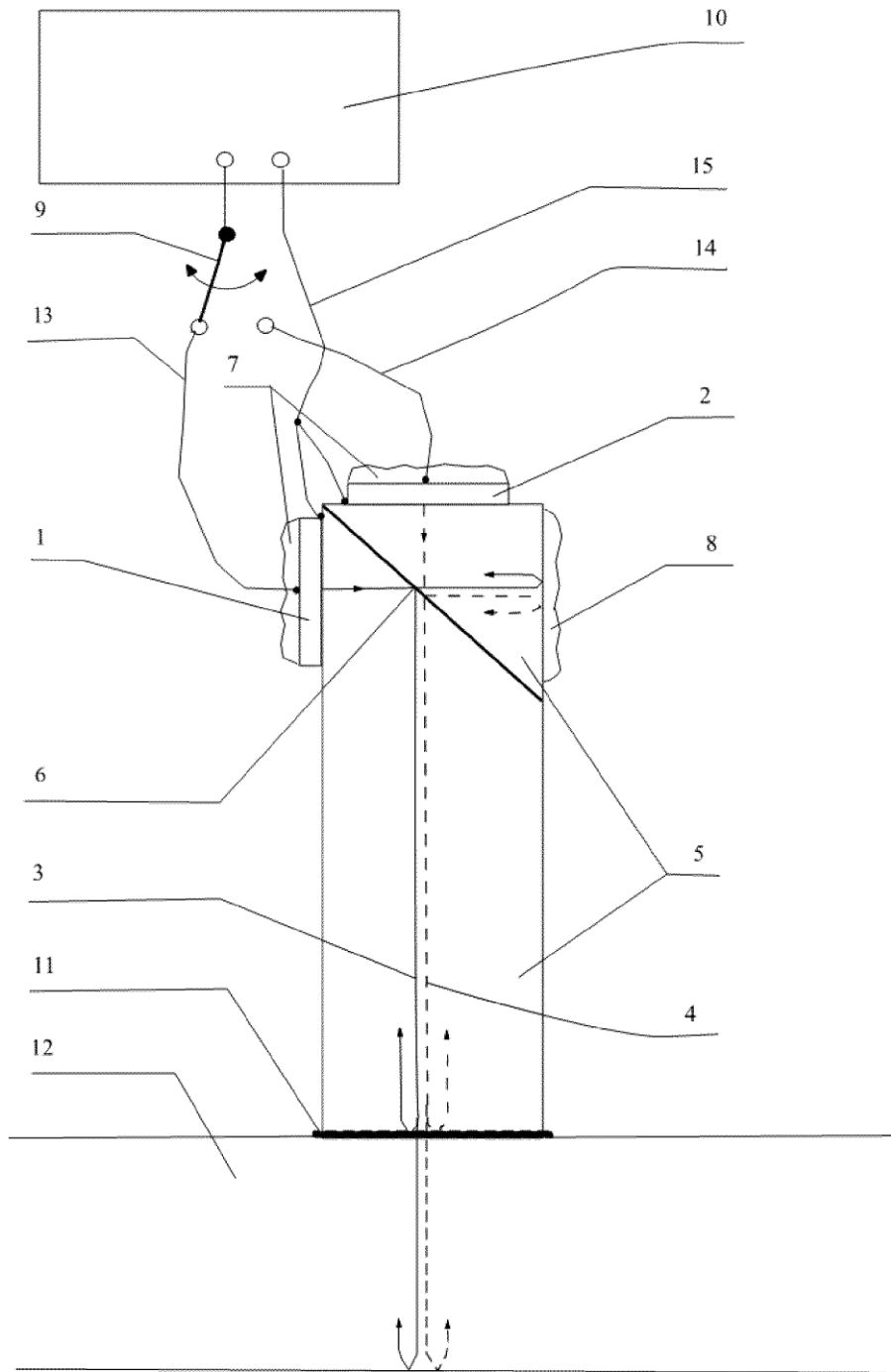


Fig. 1