

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **229667**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **421219**

(51) Int.Cl.

**H02N 2/18 (2006.01)**

**H01L 41/113 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **06.04.2017**

(54)

**Przetwornik piezoelektryczny**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**15.01.2018 BUP 02/18**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.08.2018 WUP 08/18**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**RYSZARD KACPRZYK, Wrocław, PL**

**AGNIESZKA GRYGORCEWICZ, Wrocław, PL**

**PL 229667 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest piezoelektryczny przetwornik nacisku bądź fal ciśnienia o niskiej częstotliwości na napięcie zmienne, znajdujący zastosowanie między innymi w textronice, czyli w wearable electronics i pozwalający na przykład na wytwarzanie tkanin o właściwościach piezoelektrycznych.

Materiały piezoelektryczne przetwarzają energię elektryczną w mechaniczną i odwrotnie. Odształcenia sprężyste piezoelektryka wywołuje w nim powstanie wewnętrznego pola elektrycznego – efekt piezoelektryczny prosty lub umieszczenie materiału w polu elektrycznym prowadzi do zmiany jego wymiarów – efekt piezoelektryczny odwrotny. Jednym z mechanizmów prowadzących do efektu piezoelektrycznego jest niejednorodne odształcenie dielektryka w obecności zawartego w nim ładunku przestrzennego. Niejednorodne odształcenie może wystąpić w warunkach niejednorodnego nacisku lub niejednorodnych właściwości mechanicznych struktury (rozkładu współczynnika elastyczności). Ilustracją opisanego mechanizmu jest płaska, warstwowa struktura dielektryczna, zawierająca warstwy dielektryka o małej i dużej wartości współczynnika elastyczności (warstwę „miękką” i „twardą”), z ładunkiem o stałej gęstości, rozłożonym na granicy warstw. Można pokazać, że wartość współczynnika piezoelektrycznego  $d_{33}$  [pC/N], charakteryzującego właściwości piezoelektryczne struktury warstwowej w warunkach obciążenia przyłożonego w kierunku prostopadłym do płaszczyzny struktury jest określona zależnością  $d_{33} \cong K \frac{q_s}{Y_1}$  w której  $q_s$  jest gęstością ładunku wprowadzonego na granicę warstw,  $Y_1$  – współczynnikiem elastyczności warstwy miękkiej, zaś  $K$  – stałą zależną od właściwości elektrycznych obu warstw oraz ich grubości. Dwukrotnie wyższą wartość współczynnika  $d_{33}$  zapewnia struktura zawierająca dwie (zewnątrzne) warstwy „twarde” i jedną (wewnętrzną) miękką, z ładunkami o tej samej gęstości i przeciwnym znaku, rozłożonymi na granicach warstw. Aby struktura mogła wykazywać właściwości piezoelektryczne przez okres technicznej użyteczności musi w tym okresie utrzymać wprowadzony ładunek. Stałość ładunku na granicy faz zapewnia zastosowanie materiałów (warstw) elektretowych. W naturze nie ma materiałów elastycznych (o niskiej wartości współczynnika sprężystości), wykazujących jednocześnie dobre właściwości elektretowe. W ostatnich latach jako materiały elektretowe o niskiej wartości współczynnika elastyczności wykorzystano warstwy dielektryków spienionych wytworzono tzw. folie elektro-mechaniczne (EMFiT – cellular films) oraz struktury warstwowe, zawierające warstwę miękką w postaci dielektryka włóknistego (na przykład włóknina polipropylenowa). Problem wytworzenia warstwy „miękkiej” wykazującej dobre właściwości elektretowe pozostaje nadal otwarty.

Znany jest z polskiego opisu patentowego PL 166542 przetwornik, piezoelektryczny, który składa się z dwóch sprężystych płytek neutralnych stanowiących warstwy zewnętrzne, których przeciwne: końce złączone są trwale za pomocą, dwóch płytek stanowiących warstwą środkową, w jednym końcu sztywną płytką niepiezoelektryczną, a w drugim – płytką piezoelektryczną o aktywności cięć ścinania i kierunku polaryzacji elektrycznej, równoległym do długości sprężystych płytek neutralnych. Płytką piezoelektryczną, będącą unimorfem piezoelektrycznym, pokryta jest obustronnie elektrodami przyłączonymi do zacisków.

Znany jest z polskiego opisu patentowego PL 173075 piezoelektryczny przetwornik akustycznych fal powierzchniowych, który składa się z szeregu płytek drgań ścinania o na przemian przeciwnych zwrotach polaryzacji elektrycznej, zamocowanych na powierzchni ciała stałego i połączonych równoległe z generatorem elektrycznym. Szerokość każdej płytki zawarta jest w przedziale  $\lambda/2$ ;  $\lambda/4$ , zaś odległość między płytkami jest mniejsza od  $\lambda/4$ , gdzie  $\lambda$  jest długością akustycznej: fali powierzchniowej.

Znany jest z polskiego opisu patentowego PL 175673 przetwornik warstwowy piezoelektryczny przeznaczony do pracy w ośrodku gazowym, który składa się ze wzbudnika drgań, transformatora drgań i płyty promieniującej. Strona wyjściowa transformatora ma kształt rury, do czoła której przymocowana jest promieniująca płyta z porowatego tworzywa o impedancji akustycznej mniejszej od impedancji akustycznej przetwornika, najkorzystniej wykonana z pumeksu.

Znany jest z polskiego opisu patentowego PL 222289 przetwornik piezoelektryczny, który zawiera warstwę piezoelektryczną z naniesionymi na jej górnej i dolnej powierzchni wieloma elementarnymi elektrodami, niezależnie łączonymi przez programowalny multiprzelącznik z generatorem lub analizatorem. Elektrody górne i dolne mają postać prostoliniowych odcinków paskowych usytuowanych równoległe i w równych odstępach od siebie. W rzucie prostopadłym do płaszczyzny warstwy piezoelektrycznej elektrody górne są ukierunkowane prostopadle do elektrod dolnych a powierzchnie ich obrysów – pokrywają się.

Celem wynalazku jest rozszerzająca obszar zastosowania przetworników piezoelektrycznych nowa postać polimerowego przetwornika piezoelektrycznego.

Przetwornik piezoelektryczny utworzony z polimeru oraz przymocowanych do niego przyległych elektrod według wynalazku charakteryzuje się tym, iż ma postać utworzonej z polimeru o właściwościach elektretowych rurki w przekroju poprzecznym o kształcie spłaszczonej elipsy, która ma, wytworzony formowaniem, bipolarny (o przeciwnych znakach) ładunek powierzchniowy (elektryczny), rozmieszczony przy naprzeciwległych spłaszczonych powierzchniach wewnętrznych rurki, przy czym po obu naprzeciwległych stronach rurki, do jej zewnętrznej powierzchni w obszarze nad zgromadzonym powierzchniowo ładunkiem elektrycznym, przymocowane są elektrody. Rurka w odstępach po długości ma utworzone zamykające punktowo jej, prześwit zgrzeiny. Rurka wytwarzana jest polimeru o dobrych właściwościach elektretowych, na przykład z politetrafluoroetyleny.

Rozwiązanie według wynalazku polega na wykorzystaniu elastycznej rurki polimerowej do wytworzenia trzy warstwowej piezo-aktywnej struktury dielektryk „twardy” – dielektryk „miękki” – dielektryk „twardy”, z ładunkiem przeciwnego znaku na interfazach. Warstwy „twarde” tworzy ścianka polimeru bazowego, z którego wykonano rurkę, warstwę miękką tworzy układ mechaniczny – szczelina powietrzna wraz z odkształcającą, się częścią polimeru (ścianki); ładunek wnoszony jest na interfaź, to jest na wewnętrzną powierzchnię szczeliny powietrznej, w trakcie formowania, za pomocą wyładowań niezupełnych, występujących w silnym stałym polu, elektrycznym.

Przez formowanie rurki należy rozumieć wytworzenie bipolarnego rozkładu ładunku, elektrycznego. Formowanie przeprowadza się w silnym polu elektrycznym, po umieszczeniu rurki w środowisku wypełnionym cieczą dielektryczną o dużej wytrzymałości elektrycznej. Ładunek elektryczny rurki stanowi efektywny ładunek powierzchniowy o niezerowej gęstości, w którego skład wchodzi również polaryzacja wolno-relaksacyjna jak i moment od ładunku przestrzennego, który rozłożony jest w objętości ścianki rurki.

Przetwornik według wynalazku można wytwarzać w wymiarach poprzecznych w zakresie od milimetrów do nanometrów oraz w dowolnych długościach. Elipsoidalna rurka o wymiarach mikrometrycznych, na przykład o dłuższej średnicy w wymiarze 50–100 mikrometrów, może stanowić włókno przędzy. Tkanina z przędzy (przetwornika) według wynalazku może mieć wbudowane w nią obszary piezo-aktywne albo być w całości wielkowymiarowym przetwornikiem piezoelektrycznym – tkanina w całości wytworzona z przetworników według wynalazku.

Dotychczasowe rozwiązania w zakresie przetworników piezo-aktywnych, działających w oparciu o struktury niejednorodne z warstwą elektretową bazują na warstwach spienionych (cellular films) lub włóknistych. Materiały polimerowe o dobrych właściwościach elektretowych jak na przykład PTFE nie dawały się dotychczas spienić, w związku z czym nie były stosowane w piezoelektryce. Rozwiązanie według wynalazku umożliwi zastosowanie do jego wytworzenia co do zasady wszystkie znane i już stosowane struktury piezoelektryczne polimerów. Przetwornik według wynalazku stanowi niejako produkt wyjściowy do wytwarzania wytworów piezoaktywnych. Jest alternatywą technologiczną dla polimerów wykorzystywanych do chwili obecnej, na przykład dla polipropylenu, który posiada nie najlepsze właściwości elektretowe, jak i znanych polimerów, które: sprawiają problemy technologiczne w zakresie ich przetwarzania (na przykład PTFE), przez co nie dają możliwości ich wykorzystania w znanych konstrukcjach przetworników. Kształt przetwornika według wynalazku stanowi rozszerzenie możliwości technologicznych efektu piezoelektrycznego.

Przedmiot, wynalazku został uwidoczniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia przetwornik w przekroju poprzecznym a fig. 2 przetwornik w widoku z boku.

Przetwornik piezoelektryczny w przykładzie wykonania według wynalazku ma postać utworzonej z polimeru o właściwościach elektretowych rurki (R) w przekroju poprzecznym o kształcie spłaszczonej elipsy. Korzystnie polimer z którego wytworzona jest rurka (R) stanowi politetrafluoroetylen (PTFE). Korzystnie rurka (R) może być także wykonana z polipropylenu, polisulfonu oraz innych termoplastów wykazujących dobre właściwości elektretowe, to znaczy właściwości które zapewniają długotrwałe magazynowanie ładunku elektrycznego. Rurka (R) może mieć wymiary z zakresu nanometrów do milimetrów. Rurka (R) ma, wytworzony formowaniem, bipolarny ładunek powierzchniowy, o przeciwnych znakach przy naprzeciwległych spłaszczonych powierzchniach wewnętrznych, rurki (R). Po obu naprzeciwległych stronach rurki (R), na jej zewnętrznej powierzchni, w obszarze nad zgromadzonym powierzchniowo ładunkiem elektrycznym, umieszczone są metalowe elektrody (E). Elektrody (E) stanowią elektrody paskowe z folii miedzianej. Rurka (R) w odstępach po długości ma utworzone zamykające punktowo jej prześwit zgrzeiny (Z). Pomiedzy zgrzeinami (Z) utworzone są

zamknięte szczeliny powietrzne. Zgrzeiny (Z) zabezpieczają wnętrze rurki (R) przed wnikaniem do jej wnętrza płynów, na przykład w postaci wilgoci czy wody.

Przetwornik według wynalazku wytwarza się poprzez poddanie rurki (R) wykonanej na przykład z PTFE ściśnięciu (trwałemu odkształceniu), a następnie formowaniu, to jest działaniu wyładowań niezupełnych występujących w silnym stałym polu elektrycznym. Po uformowaniu, na powierzchnię zewnętrzną rurki nanosi się metalowe elektrody (E), na przykład elektrody paskowe z folii miedzianej. Wytworzony powyższym sposobem przetwornik poddano pomiarom współczynnika  $d_{33}$ . Wyniki pomiarów wykazały wartość  $d_{33}$  na poziomie 20–30 pC/N. Takie same wyniki uzyskano dla próbek tkanin utkanych z przetwornikiem według, wynalazku. Przykładowo, odkształconą rurkę (R) o średnicy  $3 \pm$  mm i grubości ścianki ca 250  $\mu$ m, wykonaną z PTFE, można formować umieszczając ją w oleju transformatorowym, przy napięciu przyłożonym do elektrod (E) umieszczonych na jej powierzchni (patrz rys. 1) na poziomie 15–20 kV.

W przetworniku według wynalazku po przyłożeniu siły F, działającej prostopadle do powierzchni elektrod E ułożonych na zewnętrznej powierzchni rurki R pojawi się na nich ładunek elektryczny i towarzyszące mu napięcie U. Napięcie U wykorzystywane jest jako sygnał wyjściowy przetwornika.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Przetwornik piezoelektryczny utworzony z polimeru oraz przymocowanych do niego, przylegających elektrod, **znamienny tym**, że ma postać utworzonej z polimeru o właściwościach elektretowych rurki (R) w przekroju poprzecznym o kształcie zbliżonym do spłaszczonej elipsy, która ma, wytworzony za pomocą formowania bipolarny, o przeciwnych znakach, ładunek powierzchniowy rozłożony na naprzeciwległych, spłaszczonych powierzchniach wewnętrznych rurki (R), przy czym po obu naprzeciwległych stronach rurki (R), do jej zewnętrznej powierzchni w obszarze nad zgromadzonym powierzchniowo ładunkiem elektrycznym przymocowane są elektrody (E).
2. Przetwornik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że rurka (R) w odstępach po długości ma utworzone zamykające punktowo jej prześwit zgrzeiny (Z).
3. Przetwornik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że rurka (R) wytworzona jest z polimeru od dobrych właściwościach elektretowych.
4. Przetwornik według zastrz. 1 albo 3, **znamienny tym**, że polimer stanowi politetrafluoroetylen.

Rysunki

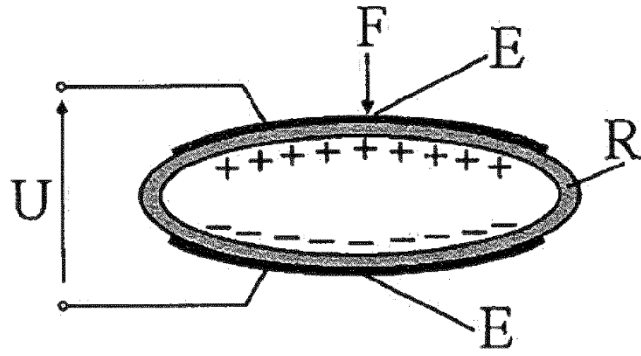


Fig. 1

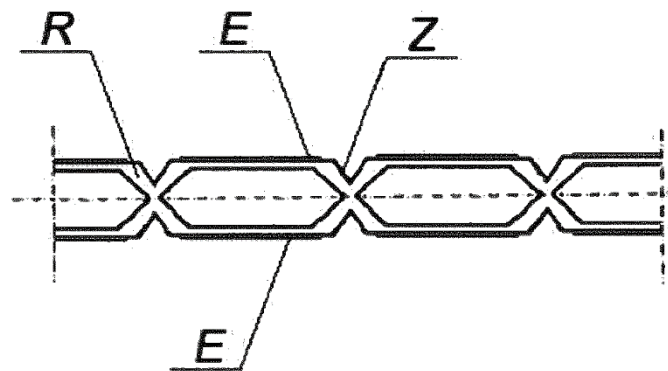


Fig. 2

