



(21) Numer zgłoszenia: **428766**

(22) Data zgłoszenia: **31.01.2019**

(51) Int.Cl.

G01B 7/00 (2006.01)

G01B 7/24 (2006.01)

G01L 1/00 (2006.01)

G01R 33/07 (2006.01)

H01L 43/04 (2006.01)

H01L 43/06 (2006.01)

(54) **Sposób pomiaru wartości natężenia pola magnetycznego, wartości i kierunku odkształcenia oraz czujnik do pomiaru natężenia pola magnetycznego, wartości i kierunku odkształcenia**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

10.08.2020 BUP 17/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

11.01.2021 WUP 01/21

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
IM. HENRYKA NIEWODNICZAŃSKIEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK, Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**YEVHEN ZABILA, Kraków, PL
MICHAŁ KRUPIŃSKI, Sosnowiec, PL
ARKADIUSZ ZARZYCKI, Kraków, PL
MARCIN PERZANOWSKI,
Tomaszów Mazowiecki, PL
ALEXEY MAXIMENKO, Kraków, PL
PIOTR HOREGLAD, Przemyśl, PL
PIOTR STRĄCZEK, Mogilany, PL
MARTA MARSZAŁEK, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Andrzej Kacperski

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru wartości natężenia pola magnetycznego, wartości i kierunku odkształcenia oraz czujnik do pomiaru natężenia pola magnetycznego, wartości i kierunku odkształcenia. Rozwiązania te przeznaczone są do pomiaru i kontroli położenia ruchomych lub odkształcanych elementów.

Znane sposoby i czujniki pomiaru wartości natężenia pola magnetycznego i wartości odkształcenia przeznaczone są do oddzielnego pomiaru każdej z tych wartości. Wykorzystywany jest w nich efekt piezoelektryczny i zjawisko Halla.

Z opisu patentowego PL 205 355 znany jest cienkowarstwowy, heterozłączowy czujnik pola magnetycznego oparty na wykorzystaniu zjawiska Halla i Gaussa. Czujnik ten w temperaturze pokojowej może być stosowany jako czujnik pomiarowy, natomiast w temperaturze niższej od temperatury pokojowej jako czujnik sygnałowy. W czujniku podłoże stanowi monokrystaliczny fosforek indu (InP) o orientacji krystalograficznej $\langle 001 \rangle$, a warstwę aktywną niedomieszkowana warstwa arsenku galowego – indowu ($\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$) o koncentracji nośników $1 \times 10^{20} \pm 10^{21} \text{ m}^{-3}$. Warstwa aktywna ma kształt krzyża równoramienneego, w którym stosunek długości ramienia do jego szerokości wynosi 0,5.

Celem wynalazku jest wprowadzenie zintegrowanego sposobu pomiaru pola magnetycznego i wartości odkształcenia oraz zintegrowanego czujnika umożliwiającego jednoczesny pomiar tych dwóch wielkości i kierunku odkształcenia.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że

- za pomocą jednego czujnika przeprowadza się jednoczesny pomiar zarówno wartości natężenia pola magnetycznego oraz wartości i kierunku odkształcenia, przy czym
- otrzymany sygnał stanowiący sumę odpowiedzi czujnika na pole magnetyczne i odkształcenie rozdziela się metodą kompensacji przesunięcia,
- przepuszczając prąd elektryczny ze źródła wzdłuż obydwu przekątnych czujnika po kolei, raz w jedną, raz w drugą stronę, przeprowadza się osiem pomiarów wartości sygnału dostarczanego przez element funkcjonalny, dla każdego z czterech możliwych kierunków przepływu prądu mierzy się dwie wartości wyjściowego sygnału odpowiadającego dwóm możliwym konfiguracjom miernika napięcia,
- uśrednia się wartości zmierzonych napięć z ośmiu konfiguracji uzyskując składową sygnału proporcjonalną od natężenia pola magnetycznego, która nie zależy od sygnału tensometrycznego, i tym samym wyodrębnia się część sygnału odpowiadająca natężeniu pola magnetycznego,
- w dalszej obróbce sygnałów odejmuje się składową magnetyczną od całkowitego sygnału mierzonego dla obydwu przekątnych czujnika uzyskując sygnał związany wyłącznie z odkształceniami.

Istota rozwiązania urządzenia według wynalazku polega na tym, że czujnik zawiera jeden element funkcjonalny dla jednoczesnego pomiaru natężenia pola magnetycznego oraz wartości i kierunku odkształcenia, przy czym element funkcjonalny ma postać cienkiej przewodzącej warstwy materiału, korzystnie z wysoką stałą Halla, osadzonej na powierzchni giętkiego dielektryka, element przewodzący ma warstwowe podłoże dielektryczne, obrys przewodzącej warstwy ma kształt symetryczny, z czterema kontaktami elektrycznymi usytuowanymi symetrycznie.

W przypadku zastosowania podłoża dwuwarstwowego dwie ścieżki usytuowane są jedna pod drugą, tak by płynący przez nie prąd tworzył dwie pętle z identycznymi jak najmniejszymi polami przekrojów, przy czym w każdej z pętli płynący prąd ma inną skrętność.

W przypadku zastosowania podłoża trójwarstwowego dwie ścieżki usytuowane są pod elementem funkcjonalnym zaś pola przekrojów ich pętli zredukowane są do zera.

W przypadku zastosowania podłoża czterowarstwowego ścieżki usytuowane są jedna pod drugą a każda ze ścieżek oddzielona jest od kolejnej cienką warstwą giętkiego dielektryka.

Rozwiązanie według wynalazku, zarówno sposobu jak i czujnika, przedstawione jest poniżej, z odwołaniem do rysunków, na których poszczególne figury przedstawiają:

fig. 1 – uproszczony schemat czujnika;

fig. 2 – widok czujnika z boku;

fig. 3 – przykładowe obrysy i kształty elementu funkcjonalnego czujnika;

fig. 4 (a) schemat elektryczny czujnika jako równoważny układ oporników; (b,c) podukłady elektryczne składające się razem na układ (a);

- fig. 5 – (a) przykładową charakterystykę hallowską czujnika; (b) powiększenie charakterystyki dla zakresu pól ± 3 T, pokazujące liniowy przebieg dla niewielkich pól magnetycznych;
- fig. 6 – przykładową charakterystykę hallowską czujnika wygiętego wzdłuż osi leżącej pod kątem 45° względem osi X; wygięcie w jedną stronę powoduje pojawienie się dodatniego offsetu Δ (a), podczas gdy wyginanie w drugą daje offset ujemny (b);
- fig. 7 – konfiguracje pomiarowe na przykładzie elementu funkcjonalnego w kształcie krzyża. Strzałka pokazuje kierunek przepływu prądu elektrycznego. Oznaczenia przy ramionach krzyża informują o polaryzacji połączeń źródła prądu oraz woltomierza;
- fig. 8 – zmianę napięcia Halla dla elementu funkcjonalnego w postaci warstwy bizmutu o grubości 20 nm zmierzona dla stałego prądu o natężeniu 1 mA;
- fig. 9 – zależność oporu warstwy bizmutu o grubości 20 nm dla różnych odkształceń;
- fig. 10 – przykładową realizację przewodzących ścieżek zasilających czujnik i służących do odczytu sygnału na jednowarstwowym dielektrycznym podłożu. Element funkcjonalny czujnika znajduje się po prawej stronie w miejscu skrzyżowania czterech ścieżek;
- fig. 11 – konfigurację ścieżek na giętkim podłożu dielektrycznym; paskowany krzyż oznacza umiejscowienie elementu funkcjonalnego czujnika, linie ciągłe przedstawiają ścieżki znajdujące się na górnej stronie giętkiej płytki; (a) giętkie dwuwarstwowe podłoże z przewodzącymi ścieżkami umieszczonymi po obu stronach polimerowej folii; (b) trójwarstwowe podłoże ze ścieżkami umieszczonymi w parach jedna pod drugą; (c) czterowarstwowe podłoże ze ścieżkami umieszczonymi jedna pod drugą;
- fig. 12 – przykładową realizację dwuwarstwowego giętkiego podłoża czujnika ze ścieżkami służącymi do zasilania i odczytu sygnału wraz z metalizowanymi przelotkami i warstwami izolatora po obu stronach podłoża.

Fig. 1 przedstawia uproszczony schemat czujnika. Kwadrat, reprezentujący element funkcjonalny czujnika, to cienka przewodząca warstwa materiału, preferencyjnie z wysoką stałą Halla, osadzona na powierzchni giętkiego dielektryka, takiego jak na przykład folia polimerowa. Element funkcjonalny powinien być wykonany w postaci cienkiej warstwy, gdyż czułość magnetyczna sensora jest odwrotnie proporcjonalna do grubości warstwy elementu aktywnego oraz jednocześnie zapewnia wysoką elastyczność. W wierzchołkach kwadratu do warstwy podłączone są źródło prądu oraz miernik napięcia.

Widok czujnika z boku przedstawiono na fig. 2. Poszczególne oznaczenia wskazują: 1 – elastyczne podłoże z dielektryka, 2 – przewodzącą warstwę, 3 – kontakty, z którymi łączą się kable lub ścieżki płytki drukowanej, 4 – ochronną warstwę izolatora zabezpieczającą powierzchnię czujnika.

Obrys przewodzącej warstwy nie musi ograniczać się do kwadratu i może być dowolnym symetrycznym kształtem, takim jak na przykład wielokąt, koło, koło z nacięciami, romb, elipsa, gwiazda, lub krzyż z kontaktami elektrycznymi podłączonymi tak, jak to przykładowo pokazano na fig. 3 za pomocą czarnych kropek. Niezależnie od kształtu elementu funkcjonalnego, zawsze można go opisać równoważnym schematem elektrycznym oporników przedstawionym na fig. 4a. Układ ten można rozpatrywać również jako złożenie dwóch podukładów przedstawionych na fig. 4b oraz fig. 4c.

Podukład przedstawiony na fig. 4b odpowiedzialny jest za pomiar składowej hallowskiej sygnału, zależnej od wartości natężenia pola magnetycznego. Ani zmiana oporu rezystorów R1–R4, ani zmiany oporu kabli przyłączeniowych nie mają istotnego wpływu na wartość wskazań takiego elementu.

Drugi podukład, przedstawiony na rysunku 4c, odpowiedzialny jest za pomiar sygnału zależnego od deformacji czujnika. Podukład ten stanowi pełny mostek tensometryczny. W tym przypadku pole magnetyczne jednocześnie zmienia opór wszystkich oporników w mostku, co sprawia, że wyjściowy sygnał pozostaje bez zmian. Natomiast w przypadku zginania elementu funkcjonalnego, opór poszczególnych rezystorów w mostku zmienia się, a wartości sygnału zależą od stopnia deformacji oraz kierunku zginania. W szczególnym przypadku zginania w kierunkach X lub Y opory w obydwu częściach mostka zmieniają się w sposób proporcjonalny do siebie, co sprawia że wyjściowy sygnał pozostaje stały. Element funkcjonalny nie jest zatem czuły na zginanie w tych kierunkach. Natomiast zginanie czujnika pod dowolnym, różnym od zera kątem względem kierunków X i Y prowadzi do niesymetrycznej zmiany wartości poszczególnych oporników w mostku. W szczególności, przy zginaniu pod kątem $+45^\circ$ odpowiedź z mostka będzie miała znak dodatni, podczas gdy zginanie pod kątem -45° da ujemne wartości sygnału. Taka 4 ujemne. Średnia arytmetyczna napięć z 8 konfiguracji prowadzi zatem do wyodrębnienia części sygnału odpowiadającej natężeniu pola magnetycznego.

Dalsza obróbka sygnałów polega na odjęciu składowej magnetycznej od całkowitego sygnału mierzonego dla obydwu przekątnych czujnika. W ten sposób uzyskuje się sygnał związany wyłącznie z odkształceniami.

Wzory stosowane do uzyskania sygnału zależnego od natężenia pola magnetycznego (V_{Hall}) oraz sygnału zależnego od deformacji (V_{Deform}):

$$V_{Hall} = \frac{V_A + V_D + V_F + V_G - V_B - V_C - V_E - V_H}{8}$$

$$V_{Deform} = \frac{V_A + V_B + V_G + V_H - V_C - V_D - V_E - V_F}{8}$$

Znak wartości sygnału V_{Deform} zależy od kierunku deformacji. Jeżeli podczas odkształcenia czujnika wzdłuż jednej przekątnej sygnał będzie dodatni, to przy odkształceniu wzdłuż drugiej przekątnej uzyskiwać on będzie ujemne wartości. Ta cecha pozwala na przeprowadzenie pomiaru odkształcenia w zadanym kierunku w zależności od sposobu montażu czujnika. Dodatkowo, przy znajomości parametrów mechanicznych podłoża, możliwe jest uzyskanie informacji o wartości naprężeń działających na czujnik.

Dodatkowo układ pomiarowy wyposażony jest we wzmacniacz pomiarowy oraz układ stabilizacji prądu, nie przedstawione na rysunku. Wzmacniacz pomiarowy pozwala dostosować poziom sygnału do zakresu pomiarowego woltomierza, a stabilizator prądu zapewnia stałą wartość prądu elektrycznego dla każdej z 8 konfiguracji pomiarowych.

Dla omawianego prototypu zastosowanie powyższych rozwiązań pozwoliło na uzyskanie w temperaturze pokojowej nominalnej czułości magnetycznej wynoszącej $5 \Omega/T$, podczas gdy stała tensometry wyniosła $\alpha = 12$. Zmierzone charakterystyki magnetyczne oraz odkształceniowe zaprezentowane są na fig. 8 oraz fig. 9.

Konstrukcja giętkiego podłoża z odpowiednim ułożeniem ścieżek przewodzących ma istotny wpływ na działanie czujnika, w szczególności na jego odporność na zakłócenia generowane przez zmienne pola magnetyczne.

Najprostszą konfiguracją ścieżek na giętkim dielektrycznym podłożu jest wykonanie ich na jednej powierzchni podłoża w układzie przedstawionym na fig. 10. Wadą takiego rozwiązania jest generowanie zmiennoprądowych sygnałów w każdym z uzwojeń tworzonych poprzez równoległe do siebie przewodniki.

W przypadku wolnozmiennych lub słabych pól magnetycznych takie zakłócenia są bardzo słabe i nie wpływają znacząco na dokładność pomiaru. W przypadku szybkozmiennych pól magnetycznych o dużych zmianach natężenia sygnał generowany w ścieżkach staje się porównywalny z sygnałem generowanym przez element funkcjonalny, co prowadzi do zakłóceń w pomiarach i znacząco wpływa na ich dokładność. Podobna sytuacja może również wystąpić w przypadku wibracji mechanicznych czujnika umieszczonego w stałym polu magnetycznym.

Charakterystyka czujnika pozwala na pomiar zarówno wartości deformacji jak i kierunku zginania.

Przebadano czujnik w jego przykładowej realizacji. Czujniki wykonane zostały z warstwy bizmutu o grubościach w zakresie od 20 nm do 100 nm i kształtach przedstawionych na fig. 11 oraz fig. 3. Rozmiary elementu funkcjonalnego zmieniane były od $0,25 \text{ mm}^2$ do 100 mm^2 . Charakterystyka hallowaska prototypowego czujnika wykonanego z warstwy bizmutu o grubości 20 nm, o kształcie krzyża, z rozmiarem obszaru aktywnego 1 mm^2 przedstawiona jest na fig. 5.

Charakterystyka ta jest reprezentatywna dla wszystkich wykonanych prototypów i jest nieliniowa w wysokich polach (patrz fig. 5a), natomiast w polach $\pm 3 \text{ T}$ (patrz fig. 5b) odchylenie od liniowości nie przekracza 2,6%. W przypadku gdy wysoka precyzja pomiaru nie jest wymagana, w polach poniżej 3 tesli może być stosowana liniowa aproksymacja charakterystyki. W przeciwnym przypadku wymagana jest dodatkowa kalibracja.

Czułość pomiaru pól magnetycznych nie zmienia się pod wpływem elastycznych odkształceń, które powodują jedynie przesunięcie charakterystyki wzdłuż osi pionowej (wprowadzają offset). Przesunięcie to jest proporcjonalne do deformacji i zależy od kierunku zginania, a jego znak pozwala wyznaczyć ten kierunek.

Przykładowa charakterystyka czujnika wygiętego wzdłuż osi leżącej pod kątem 45° względem osi X przedstawiona jest na fig. 6. Równoczesny pomiar dwóch wartości: sygnału Halla oraz przesunięcia (offsetu), pozwala na jednoczesne określenie wartości natężenia pola magnetycznego, wartości odkształcenia oraz kierunku deformacji czujnika.

W praktyce jednoczesny pomiar omówionych wyżej wartości jest trudny z uwagi na to, że mierzony sygnał jest sumą odpowiedzi czujnika na pole magnetyczne oraz odkształcenie. Do rozdzielenia

tych sygnałów zastosowano technikę kompensacji przesunięcia. Aby uzyskać wiarygodny pomiar natężenia pola magnetycznego i wartości odkształcenia przeprowadza się osiem pomiarów wartości sygnału dostarczanego przez elementu funkcjonalny. Układ odczytu sygnału, nie pokazany na rysunku, umożliwia przełączanie kierunku stałego prądu elektrycznego przepływającego przez element funkcjonalny. Zestaw przełączników pozwala na podłączanie do wybranych kontaktów czujnika źródła prądu oraz woltomierza wraz ze zmianą ich polaryzacji.

Układy scalone tworzą macierz przełączników analogowych sterowanych 3-bitowym kodem cyfrowym i realizują 8 możliwych konfiguracji podłączeń woltomierza i źródła prądu. W ten sposób prąd elektryczny przepuszczany jest wzdłuż obydwu przekątnych czujnika po kolei, raz w jedną, raz w drugą stronę. Dla każdego z 4 możliwych kierunków przepływu prądu mierzone są dwie wartości wyjściowego sygnału odpowiadającego dwóm możliwym konfiguracjom miernika napięcia. Wszystkie 8 konfiguracji pomiarowych obrazujących kierunek przepływu prądu oraz polaryzację woltomierza zostało przedstawione na fig. 7.

Uśredniając wartości zmierzonych napięć uzyskuje się składową sygnału proporcjonalną od natężenia pola magnetycznego. Wartość ta nie zależy od sygnału tensometrycznego, ponieważ dla 4 konfiguracji przesunięcie napięcia (offset) jest dodatnie, a dla pozostałych w zaproponowanym rozwiązaniu ten rodzaj zakłóceń jest znacząco redukowany poprzez zastosowanie jednej z konfiguracji ścieżek przedstawionych na fig. 11.

W przypadku zastosowania podłoża dwuwarstwowego korzystną konfigurację ścieżek zaprezentowano na fig. 11a. Okręgami na rysunku oznakowano przelotki, łączące ze sobą ścieżki znajdujące się po przeciwnych stronach dielektrycznego podłoża. W rozwiązaniu tym dwie ścieżki zostały umieszczone jedna pod drugą. Druga para ścieżek ukształtowana została w taki sposób, żeby płynący przez nie prąd i_2 tworzył dwie pętle z identycznymi polami przekrojów ($S_1 = S_2$). W każdej z pętli płynący prąd ma inną skrętność. Ścieżki powinny być poprowadzone tak, aby pola S_1 i S_2 były jak najmniejsze. W takim układzie sygnały zakłóceń generowane w każdej pętli będą miały przeciwne znaki, co prowadzi do ich wzajemnego wygaszenia.

Jeszcze odporniejszą na zakłócenia jest konstrukcja przedstawiona na fig. 11b, gdzie zastosowano trójwarstwowe podłoże dielektryczne. Pozwala ono poprowadzić obie ścieżki pod elementem funkcjonalnym. W tym przypadku pola przekrojów S_1 oraz S_2 przedstawione na fig. 11a są zredukowane do zera. Dzięki takiemu rozwiązaniu wyeliminowane zostaną zakłócenia pochodzące od zewnętrznego pola magnetycznego, wciąż jednak może wystąpić krótkotrwała generacja zakłóceń przy przełączeniu kierunków prądu przepuszczanych przez element funkcjonalny.

Aby wyeliminować również i to źródło zakłóceń, należy zastosować czterowarstwową płytkę ze ścieżkami poprowadzonymi jedna pod drugą, tak jak zostało to przedstawione na fig. 11c. Liniami ciągłymi oznaczono najwyższą położoną górną warstwę przewodzącą, a przerywanymi niżej położone ścieżki. Każda ze ścieżek oddzielona jest od kolejnej cienką warstwą giętkiego dielektryka, a otwory w podłożu (przelotki), zaznaczone na rysunku okręgami, służą do połączenia odpowiednich warstw umieszczonych na różnych poziomach wielowarstwowej płytki.

Ścieżki na fig. 12 umieszczone są jedna nad drugą tak, by nie tworzyły dodatkowego uzwojenia, w którym mógłby indukować się dodatkowy sygnał. W tym przypadku nie da się poprowadzić dwóch pozostałych ścieżek tak, by nie krzyżowały się z innymi i biegły jedna pod drugą. Dlatego zostały one ułożone w dwie pętle z identycznym polem powierzchni lecz przeciwnym kierunkiem prądu. W zmiennym polu magnetycznym sygnał wyindukowany w każdej z takich ścieżek będzie miał przeciwny znak, na skutek czego będzie skompensowany i nie wniesie dodatkowego wkładu do mierzonego sygnału. W przypadku zasilania czujnika stałym prądem ostatnie dwie ścieżki służą do podłączenia prądowego. W takim przypadku stabilizator zasilacza utrzymuje stałą wartość prądu, eliminując dodatkowo ewentualne zakłócenia generowane w okablowaniu sensora.

Fig. 12 przedstawia podłoże 5, obszar 6 pomiędzy kontaktami na którym montowany jest element funkcjonalny, dolną ścieżkę 7, górną ścieżkę 8, kontakty 9 złącza elektrycznego.

Jak przedstawiono powyżej, zgodnie z wynalazkiem jeden element funkcjonalny służy do jednoczesnego pomiaru natężenia pola magnetycznego oraz wartości deformacji.

Rozwiązano problem giętkości czujnika, w tym jego elementu funkcjonalnego. Element funkcjonalny według wynalazku wykonany jest w postaci cienkiej warstwy, która może być wielokrotnie zginana z małymi promieniami zgięcia. Zastosowane rozwiązanie oferuje niezakłócony pomiar pola magnetycznego nawet przy dużych deformacjach. Zaproponowany układ ścieżek służących do zasilania i odczytu sygnału czujnika zapewnia eliminację wpływu zmiennych pól magnetycznych i zakłóceń.

Jedno z możliwych zastosowań zintegrowanego czujnika polega na zamontowaniu go na chwytaku sterowanym komputerowo. Czujnik umieszczono na zakrzywionej powierzchni silikonowej rurki przyklejonej do końca chwytaka tak, by przy ściskaniu był deformowany wzdłuż jednej przekątnej. W takim układzie odkształcenie rurki wraz z czujnikiem jest proporcjonalne do siły, z którą chwytak ściska przedmioty. Na drugim ramieniu chwytaka umieszczono magnes, którego pole oddziałuje na czujnik. Mierzona indukcja pola magnetycznego zmienia się wraz z odległością pomiędzy ramionami chwytaka, co pozwala na kontrolę ich położenia. W ten sposób program kontrolujący chwytak może wyznaczać rozmiary dotykanych przedmiotów, mierzyć ich sprężystość oraz kontrolować siłę, z którą są one ścisane.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pomiaru wartości natężenia pola magnetycznego oraz wartości i kierunku odkształcenia, z wykorzystaniem pomiaru sygnału Halla oraz pomiaru przesunięcia, **znamienny tym**, że
 - za pomocą jednego czujnika przeprowadza się jednoczesny pomiar zarówno wartości natężenia pola magnetycznego oraz wartości i kierunku odkształcenia, przy czym
 - otrzymany sygnał stanowiący sumę odpowiedzi czujnika na pole magnetyczne i odkształcenie rozdziela się metodą kompensacji przesunięcia
 - przepuszczając prąd elektryczny ze źródła wzdłuż obydwu przekątnych czujnika po kolei, raz w jedną, raz w drugą stronę, przeprowadza się osiem pomiarów wartości sygnału dostarczanego przez element funkcjonalny, dla każdego z czterech możliwych kierunków przepływu prądu mierzy się dwie wartości wyjściowego sygnału odpowiadającego dwóm możliwym konfiguracjom miernika napięcia
 - uśrednia się wartości zmierzonych napięć z ośmiu konfiguracji uzyskując składową sygnału proporcjonalną od natężenia pola magnetycznego, która nie zależy od sygnału tensometrycznego, i tym samym wyodrębnia się część sygnału odpowiadająca natężeniu pola magnetycznego
 - w dalszej obróbce sygnałów odejmuje się składową magnetyczną od całkowitego sygnału mierzonego dla obydwu przekątnych czujnika uzyskując sygnał związany wyłącznie z odkształceniami.
2. Czujnik do pomiaru natężenia pola magnetycznego i wartości odkształcenia, z wykorzystaniem pomiaru sygnału Halla oraz pomiaru przesunięcia, zawierający układ ścieżek zasilania i odczytu sygnałów, **znamienny tym**, że zawiera jeden element funkcjonalny dla jednoczesnego pomiaru natężenia pola magnetycznego oraz wartości i kierunku odkształcenia, element funkcjonalny ma postać cienkiej przewodzącej warstwy materiału, korzystnie z wysoką stałą Halla, osadzonej na powierzchni giętkiego dielektryka, element przewodzący ma warstwowe podłoże dielektryczne, obrys przewodzącej warstwy ma kształt symetryczny, z czterema kontaktami elektrycznymi usytuowanymi symetrycznie.
3. Czujnik według zastrz. 2, **znamienny tym**, że w przypadku zastosowania podłoża dwuwarstwowego dwie ścieżki usytuowane są jedna pod drugą, tak by płynący przez nie prąd i_2 tworzył dwie pętle z identycznymi jak najmniejszymi polami przekrojów ($S_1 = S_2$), przy czym w każdej z pętli płynący prąd ma inną skrętność.
4. Czujnik według zastrz. 2, **znamienny tym**, że w przypadku zastosowania podłoża trójwarstwowego dwie ścieżki usytuowane są pod elementem funkcjonalnym zaś pola przekrojów ich pętli S_1 oraz S_2 zredukowane są do zera.
5. Czujnik według zastrz. 2, **znamienny tym**, że w przypadku zastosowania podłoża czterowarstwowego ścieżki usytuowane są jedna pod drugą a każda ze ścieżek oddzielona jest od kolejnej cienką warstwą giętkiego dielektryka.

Rysunki

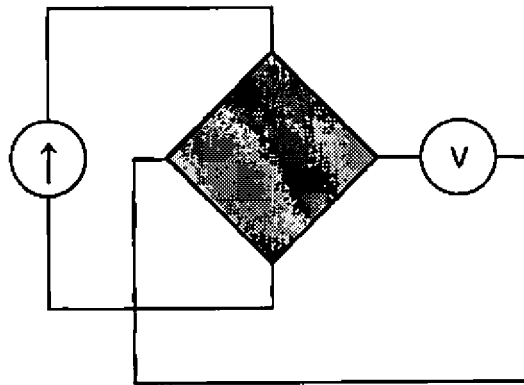


Fig. 1

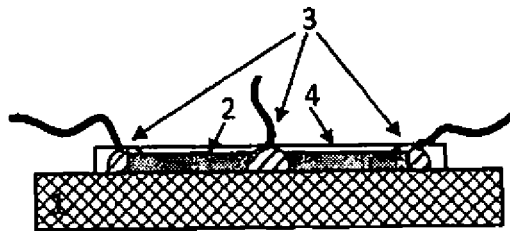


Fig. 2

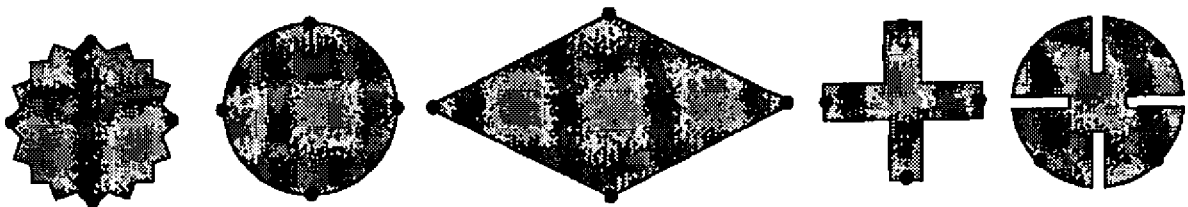


Fig. 3

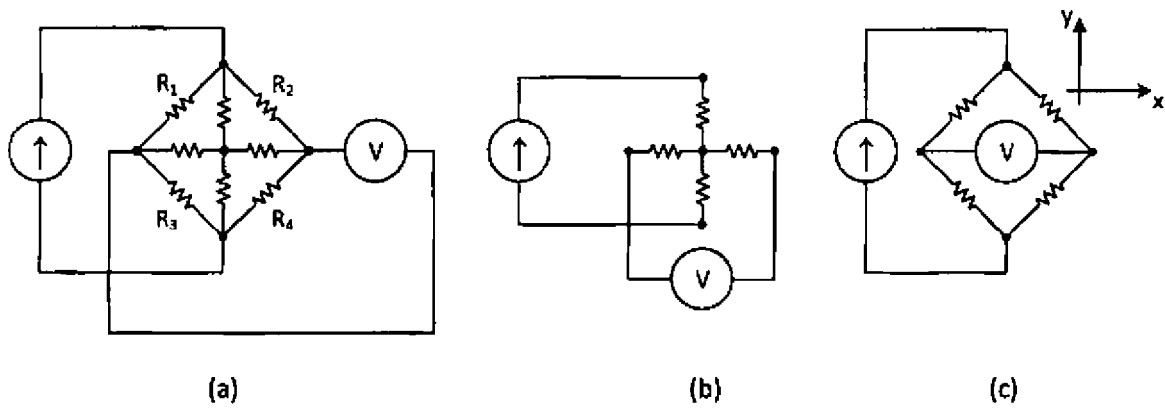


Fig. 4

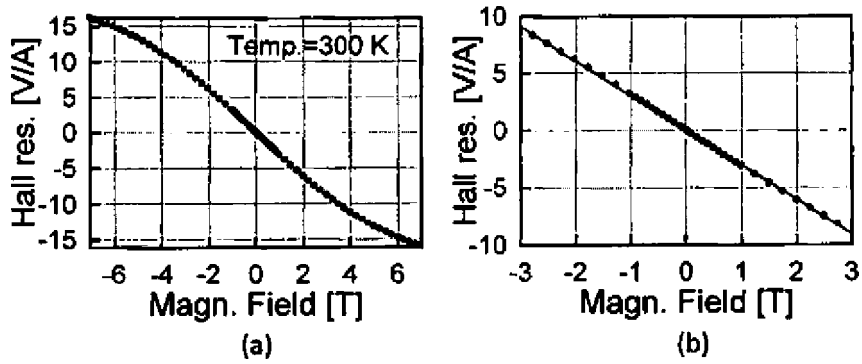


Fig. 5

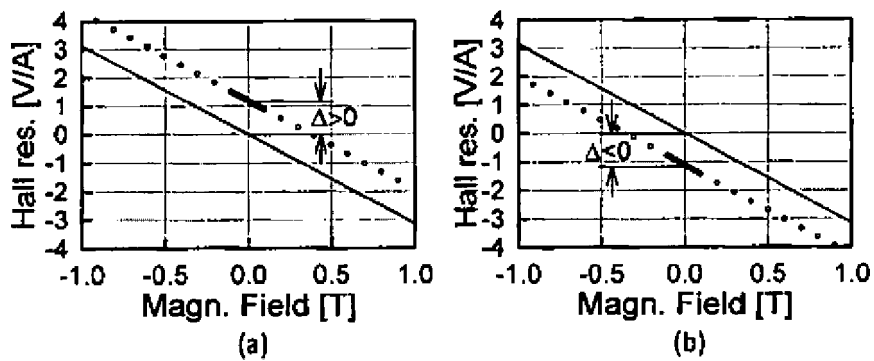


Fig. 6

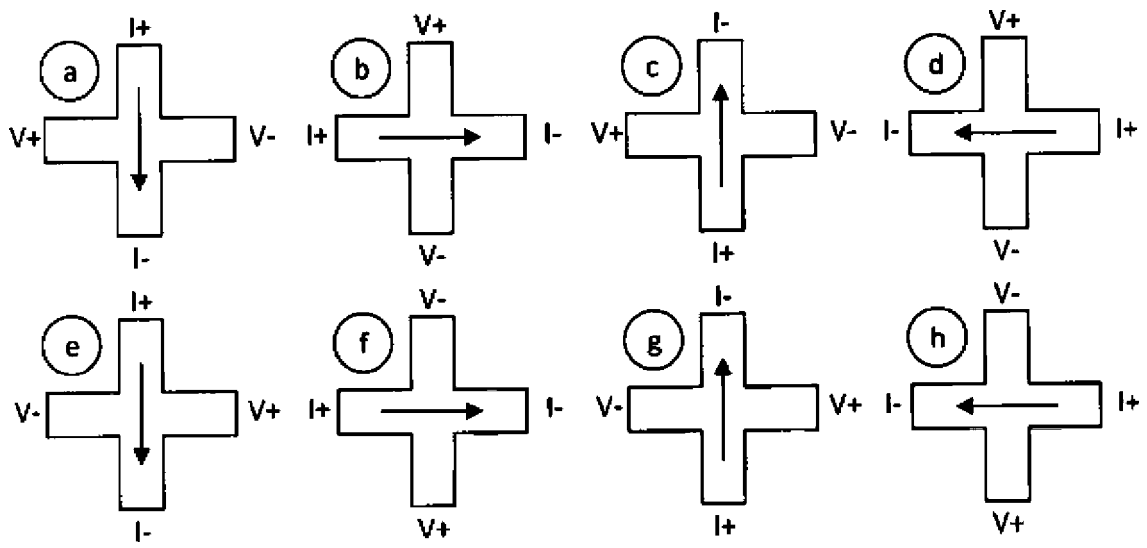


Fig. 7

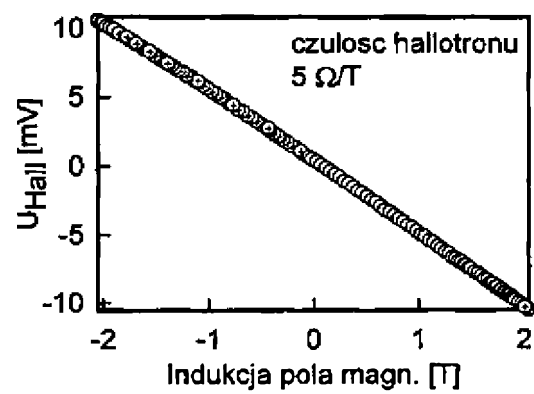


Fig. 8

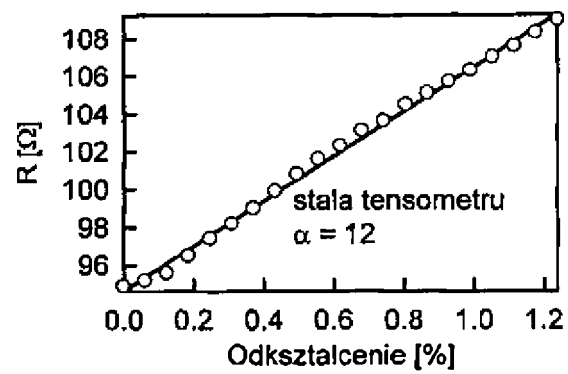


Fig. 9

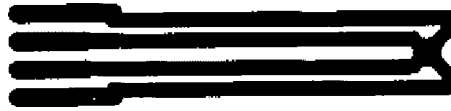


Fig. 10

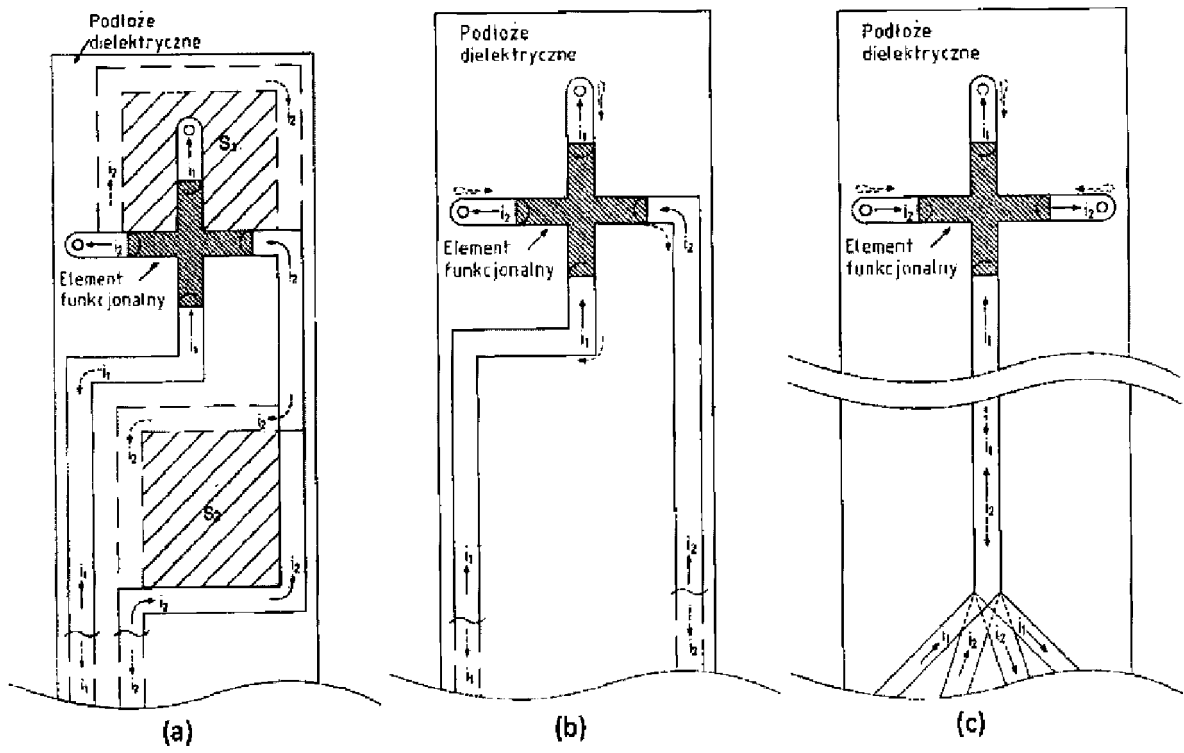


Fig. 11

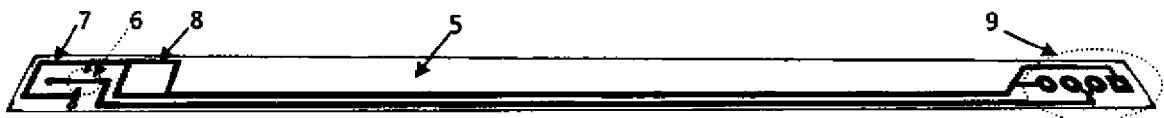


Fig. 12