

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **227916**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **414344**

(51) Int.Cl.  
**G01R 33/07 (2006.01)**  
**H01L 43/06 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **12.10.2015**

(54)

**Układ czujnika pola magnetycznego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**24.04.2017 BUP 09/17**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.01.2018 WUP 01/18**

(73) Uprawniony z patentu:

**PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI  
I POMIARÓW PIAP, Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**MACIEJ OSZWAŁDOWSKI, Karczewko, PL**

(74) Pełnomocnik:

**recz. pat. Piotr Adamczyk**

**PL 227916 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ czujnika pola magnetycznego wykorzystujący czujnik Halla (hallotron).

Od ponad stu lat znany jest tzw. efekt Halla, czyli powstawanie różnicy potencjałów w przewodniku znajdującym się w polu magnetycznym jeśli przez ten przewodnik płynie prąd elektryczny. Efekt ten jest obecnie powszechnie wykorzystywany w czujnikach pola magnetycznego, zwanych także czujnikami Halla lub hallotronami. Jednym ze znanych typów hallotronów jest półprzewodnikowy hallotron krzyżowy. Strukturę takiego hallotyonu stanowi cienka warstwa materiału półprzewodnikowego o zarysie krzyża równoramienne. Końce ramion tego krzyża pokryte są cienką warstwą metaliczną, tworząc dwie pary położonych naprzeciwko siebie elektrod. Jedna z tych par to tzw. elektrody prądowe, którymi łączy się hallotron ze źródłem prądu elektrycznego, którego przepływ jest warunkiem koniecznym pojawienia się efektu Halla. Druga para elektrod to tzw. elektrody napięciowe, służące do pomiaru napięcia wyjściowego hallotyonu, na które składa się napięcie Halla oraz napięcie resztkowe hallotyonu. Włączenie w hallotronie przepływu prądu sterowania i poddaniu go działaniu pola magnetycznego powoduje pojawienie się na elektrodach prądowych napięcia Halla. W przypadku idealnej struktury hallotronowej, jest to jedyne napięcie jakie pojawia się między tymi elektrodami. Przez strukturę idealną należy rozumieć taką, w której, w nieobecności pola magnetycznego, elektrody napięciowe, po obu stronach krzyża, leżą na tych samych liniach ekwipotencjalnych i tym samym nie generują napięcia, zwanego napięciem resztkowym hallotyonu. Napięcie resztkowe pojawia się w strukturach, których kształt geometryczny albo jednorodność elektryczna półprzewodnika odbiega od ideału. Ponieważ w realnych hallotronach wspomniane napięcie resztkowe dodaje się do wygenerowanego napięcia Halla, znane są sposoby eliminowania napięcia resztkowego, prowadzących do zwiększenia dokładności pomiaru pola magnetycznego. Jeden z tych sposobów polega na nieznacznej zmianie profilu krzyżowej struktury hallotronowej w pobliżu krzyżowania się obu jej ramion. Dokonuje się tego poprzez „zadrapanie” narzędziem mechanicznym (ostrzem) lub wypalenie drobnego otworu iskrą elektryczną lub laserem. Taka operacja zmienia rozkład potencjału w strukturze hallotronowej, co prowadzi do zmiany napięcia resztkowego. Zmniejszenie napięcia resztkowego uzyskuje się poprzez opisaną ingerencję w strukturę hallotyonu we właściwym miejscu. Inny znany sposób eliminacji napięcia resztkowego polega na dołączeniu do hallotyonu odpowiedniego układu elektrycznego kompensującego napięcie resztkowe. Dokonuje się tego albo już na etapie produkcji hallotyonu, wytwarzając obok struktury hallotronowej także strukturę odpowiedniego scalonego układu kompensującego, albo na etapie produkcji gotowego czujnika pola magnetycznego.

Celem wynalazku było opracowanie prostego układu czujnika, w którym zminimalizowano wpływ na napięcia resztkowe hallotyonu na poziom mierzonego napięcia Halla.

Cel taki spełnia układ według wynalazku, który zawiera krzyżowy hallotron z dwiema elektrodami prądowymi i dwiema pomiarowymi elektrodami napięciowymi oraz źródło prądu elektrycznego mające wejście i wyjście. Układ charakteryzuje się tym, że stanowią go pierwszy i drugi hallotron krzyżowy oraz pierwsze i drugie źródło prądu elektrycznego. W układzie tym pierwsza elektroda napięciowa pierwszego hallotyonu połączona jest z pierwszą elektrodą napięciową drugiego hallotyonu, a druga elektroda napięciowa pierwszego hallotyonu połączona jest z drugą elektrodą napięciową drugiego hallotyonu. Wejście pierwszego źródła prądu elektrycznego połączone jest z drugą elektrodą prądową pierwszego hallotyonu, a wyjście tego źródła połączone jest z pierwszą elektrodą prądową drugiego hallotyonu. Wejście drugiego źródła prądu elektrycznego połączone jest z drugą elektrodą prądową drugiego hallotyonu, zaś wyjście tego źródła połączone jest z pierwszą elektrodą pierwszego hallotyonu.

W jednym z wariantów wynalazku współczynniki termicznej zmiany oporności materiału obu hallotronów są sobie równe.

W innym wariantcie wynalazku struktury obu hallotronów są półprzewodnikowymi strukturami cienkowarstwowymi naniesionymi na wspólne podłoże, zaś elektrody prądowe i elektrody napięciowe stanowią cienkowarstwowe pokrycia metaliczne końcówek ramion hallotronów. Połączenia pierwszych i drugich elektrod napięciowych stanowią cienkowarstwowe pokrycia metaliczne naniesione na podłoże struktur hallotronowych.

Wynalazek pozwala na prostą i taną eliminację napięcia resztkowego czujnika, niezależnie od różnic w parametrach geometrycznych obu zastosowanych w układzie struktur hallotronowych. Wynalazek jest szczególnie użyteczny w przypadku czujników wykorzystujących ultracienkie struktury hallotronowe (o grubości kilku warstw atomowych), na przykład grafenowe. Hallotроны grafenowe wykazują

bardzo duże napięcie resztkowe, a jednocześnie ze względu na tak małą grubość są praktycznie niewidoczne. Bardzo utrudnia to eliminowanie tego napięcia poprzez opisane wyżej korygowanie ich parametrów geometrycznych, zaś wynalazek eliminuje potrzebę takiej metody wpływania na napięcie resztkowe.

Przedmiot wynalazku w przykładzie realizacji został poniżej szczegółowo opisany i przedstawiony schematycznie na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat połączeń elementów układu według wynalazku, zaś fig. 2 przedstawia przykładową strukturę hallotronową zastosowaną w takim układzie.

Przykładowy układ według wynalazku zawiera pierwszy hallotron 1 i drugi hallotron 2. Oba hallotроны 1 i 2 mają postać półprzewodnikowej struktury cienkowarstwowej o zarysie krzyża równoramiennego, naniesionej na podłożu 3. Na końce ramion tych krzyży naniesione są cienkie warstwy metaliczne, stanowiące elektrody prądowe i napięciowe hallotronów 1 i 2. Pierwsza elektroda napięciowa 4 pierwszego hallotronu 1 połączona jest elektrycznie z pierwszą elektrodą napięciową 5 drugiego hallotronu 2 za pomocą cienkiej warstwy metalicznej 6 naniesionej na podłożu 3. Analogiczną warstwę metaliczną 7 połączona jest druga elektroda napięciowa 8 pierwszego hallotronu 1 z drugą elektrodą napięciową 9 drugiego hallotronu 2. W skład układu wchodzi także dwa źródła prądu elektrycznego w postaci regulowanych źródeł prądowych 10 i 11. Każde z tych źródeł ma swoje wejście i wyjście. Pierwsze źródło prądowe 10 włączone jest pomiędzy drugą elektrodą prądową 12 pierwszego hallotronu 1 i pierwszą elektrodą prądową 13 drugiego hallotronu 2, w ten sposób, że prąd elektryczny ze źródła 10 przepływa od pierwszego hallotronu 1 do hallotronu drugiego 2. Ponieważ wejście drugiego źródła prądowego 11 połączone jest z drugą elektrodą prądową 14 drugiego hallotronu 2, a wyjście tego źródła połączone jest z pierwszą elektrodą prądową 15 pierwszego hallotronu 1 prąd elektryczny ze źródła 11 przepływa z drugiego hallotronu 2 do hallotronu pierwszego 1. Gdy źródła prądowe 10 i 11 są włączone to w układzie prąd elektryczny płynie trzema drogami. Środkowa droga, to pętla biegnąca od elektrody 15, poprzez elektrody 12, 13 i 14 i kończąca się na elektrodzie 15. Drogi wyższa i niższa (fig. 1), to pętle biegnące od elektrody 15, odpowiednio poprzez elektrody 4 i 5 oraz 8 i 9 do elektrody 14 i z powrotem do elektrody 15. Przez środkową drogę prądy ze źródeł 10 i 11 płyną w tym samym kierunku, czyli się dodają. Natomiast, przez pozostałe dwie drogi (górną i dolną na fig. 1) prądy płyną w przeciwnych kierunkach, więc się kompensują, przynajmniej częściowo. W szczególnym przypadku, gdy prądy obu źródeł 10 i 11 są sobie równe, górną i dolną drogą nie płynie żaden prąd, ze względu na pełną ich kompensację. Ponieważ elektrody 4 i 8 są połączone elektrycznie przez oporność struktury hallotronowej 1, ich potencjały elektryczne są równe, gdyż inaczej płynąłby między nimi prąd. Zatem przy włączonych źródłach 10 i 11 między elektrodami 4 i 8 brak jest napięcia, mierzonego woltomierzem 16, mimo realnie istniejącego napięcia resztkowego takiej podwójnej struktury hallotronowej. Gdy opisaną wyżej podwójną strukturę hallotronową, podłączoną do działających źródeł 10 i 11, umieści się w polu magnetycznym, to na elektrodach 4 i 8 pojawi się napięcie Halla, którego, wartość będzie równa średniej wartości napięć Halla hallotronów 1 i 2. Należy zaznaczyć, że gabaryty i parametry hallotronów 1 i 2 mogą się różnić kształtem, np. szerokością i długością, bo od tego nie zależy wartość napięcia Halla. Jednak, aby uzyskana w układzie redukcja napięcia resztkowego pozostała niezmienna wraz ze zmianą temperatury otoczenia, to oba hallotроны muszą mieć taki sam termiczny współczynnik zmiany oporności.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Układ czujnika pola magnetycznego zawierający krzyżowy hallotron z dwiema elektrodami prądowymi i dwiema pomiarowymi elektrodami napięciowymi oraz źródło prądu elektrycznego mające wejście i wyjście, **znamienny tym**, że stanowią go pierwszy (1) i drugi (2) hallotron krzyżowy oraz pierwsze (10) i drugie (11) źródło prądu elektrycznego, przy czym pierwsza elektroda napięciowa (4) pierwszego hallotronu (1) połączona jest z pierwszą elektrodą napięciową (5) drugiego hallotronu (2), druga elektroda napięciowa (8) pierwszego hallotronu (1) połączona jest z drugą elektrodą napięciową (9) drugiego hallotronu (2), wejście pierwszego źródła prądu elektrycznego (10) połączone jest z drugą elektrodą prądową (12) pierwszego hallotronu (1), wyjście tego źródła (10) połączone jest z pierwszą elektrodą prądową (13) drugiego hallotronu (2), wejście drugiego źródła (11) połączone jest z drugą elektrodą prądową (14) drugiego hallotronu (1), zaś wyjście tego źródła (11) połączone jest z pierwszą elektrodą (15) pierwszego hallotronu (1).

2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że współczynniki termicznej zmiany oporności materiału obu hallotronów (1, 2) są sobie równe.
3. Układ według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że struktury obu hallotronów (1, 2) są półprzewodnikowymi strukturami cienkowarstwowymi naniesionymi na wspólne podłoże (3), elektrody prądowe (12, 13, 14 i 15) i elektrody napięciowe (4, 5, 8, 9) stanowią cienkowarstwowe pokrycia metaliczne końcówek ramion hallotronów (1, 3), zaś połączenia pierwszych (4, 5) i drugich (8, 9) elektrod napięciowych stanowią cienkowarstwowe pokrycia metaliczne (6, 7) naniesione na podłoże (3) struktur hallotronowych.

## Rysunki

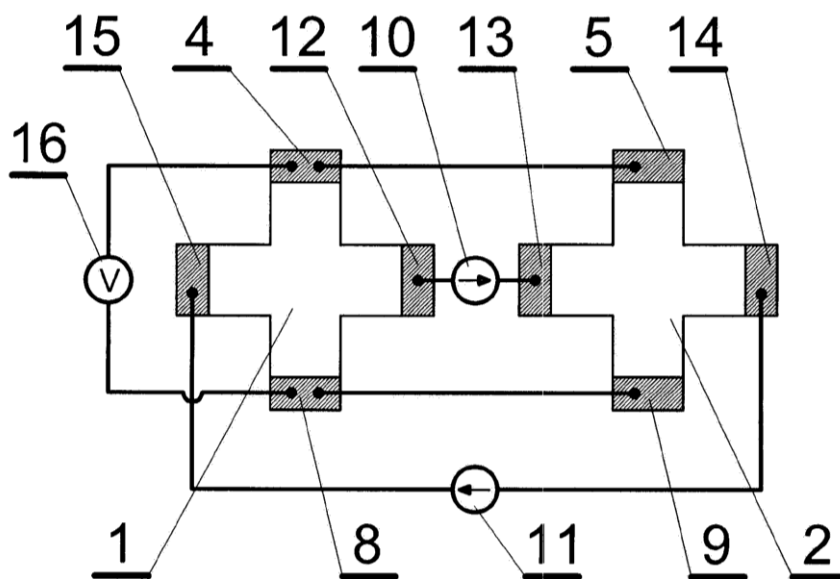


Fig. 1

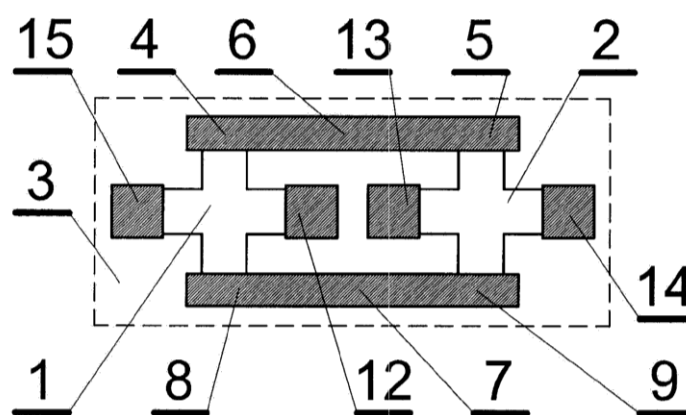


Fig. 2