

Sposób kompensacji napięcia resztkowego w czujniku Halla oraz układ miernika pola magnetycznego do stosowania tego sposobu

Przedmiotem wynalazku jest sposób kompensacji napięcia resztkowego w czujniku Halla. Ponadto, przedmiotem wynalazku jest także układ miernika pola magnetycznego do stosowania tego sposobu.

Podczas pomiarów pola magnetycznego, na zaciskach napięciowych czujników Halla, w tym także czujników o strukturze grafenowej, pojawia się napięcie wyjściowe, na które składa się napięcie Halla oraz napięcie resztkowe hallotronu, przy czym napięcie Halla powstaje w wyniku przepływu prądu przez umieszczony w polu magnetycznym hallotron, zaś pasożytnicze napięcie resztkowe (*napięcie niezrównoważenia, offset*) jest efektem niejednorodnej struktury warstwy półprzewodnikowej hallotronu.

Tak więc pomiary natężenia pola magnetycznego za pośrednictwem czujników Halla są obarczone błędem pomiaru napięcia Halla, wynikającym z obecności w trakcie pomiarów zmiennego - w zależności od temperatury otoczenia i zmieniającej się w czasie jakości struktury hallotronu - napięcia resztkowego. Koniecznym jest więc zastosowanie takiej metody pomiaru, która uniezależni otrzymany wynik od asymetrii oporności elektrycznej na stykach wyjściowych hallotronu.

Ze znanych sposobów kompensacji napięcia resztkowego można między innymi wymienić ingerencję mechaniczną w strukturę hallotronu, co prowadzi - poprzez zmianę rozkładu potencjału - do pewnego ograniczenia napięcia resztkowego.

Znany z publikacji patentowej nr PL 227916 B1 hallotronowy czujnik grafenowy składa się z dwóch połączonych ze sobą hallotronów krzyżowych oraz dwóch źródeł prądowych, przy czym obydwie hallotроны mają identyczne współczynniki termiczne zmiany oporności. W takim układzie napięcie Halla ma wartość równą średniej wartości napięć obydwu hallotronów bez napięć resztkowych.

Z kolei w publikacji patentowej nr EP 0 548 391 B1 zestaw hallotronowy zawiera co najmniej dwa elementy Hala, które są usytuowane ortogonalnie względem siebie, tak aby napięcie resztkowe mogło się kompensować (przeciwna polaryzacja).

Co więcej, z publikacji patentowej nr US 7,119,538 B1 znany jest także zestaw czterech hallotronów.

W ten sposób powstają niezależne systemy pomiarowe w obrębie jednego czujnika – obwód sterowania i obwód pomiarowy. Poprzez zastosowanie elektronicznego analizatora kontrolującego przepływ prądu przez poszczególne połączenia elektryczne możliwym staje się wyznaczenie przybliżonej wartości napięcia resztkowego i jego równoważenie. Rozwiązania tego typu zakładają jednak identyczne zachowanie zestawu czujników, a jak zostało już wspomniane, asymetria oporności elektrycznej międzyelektrodowej będzie również wynikała z braku jednorodności warstwy grafenowej.

Ponadto z publikacji patentowej nr PL 193791 B1 (PCT/EP00/0013) znany jest czujnik Halla, którego cztery elektrody, w swej części zwróconej do jego centralnie usytuowanej części aktywnej, mają kształt schodkowy, lub też kształt będący wycinkiem koła, lub też kształt eliptyczny, lub też kształt paraboliczny, hiperboliczny, trapezowy lub też posiadają prostokątny występ - zakłócający wpływ elektrod na oddziaływanie efektu prądów wirowych obniżających napięcie resztkowe.

Kolejnym sposobem kompensacji napięcia resztkowego, przedstawionym publikacji patentowej nr US 7,119,538, jest wykorzystywanie systemów wzmacniaczy różnicowych.

W innej znany publikacji patentowej nr US 10,001,529 B2 został opisany sposób kompensacji napięcia resztkowego, według którego dostarcza się modulowany sygnał bramkowy do pierwszej bramki grafenowego czujnika Halla GHS, w której

modulowany sygnał zmienia się wraz z częstotliwością modulacji między pierwszym napięciem, wytwarzającym pierwszy stan przewodności w GHS-ie, i drugim napięciem, które wytwarza drugi stan przewodności w GHS-ie, przy czym drugi stan przewodności ma taką samą przewodność jak pierwszy stan przewodności. Po dostarczeniu prądu odchylenia (prądu podkładu) przez pierwszą oś czujnika GHS oraz uzyskaniu wynikowego sygnału napięcia wyjściowego z drugiej osi czujnika GHS, uzyskuje się modulowane napięcie Halla i przesunięte napięcie, w którym napięcie Halla jest modulowane na częstotliwości modulacji, przy czym wyodrębnienia amplituda napięcia Halla nie obejmuje napięcia resztkowego. Według patentu sensor pola magnetycznego pracuje w układzie tranzystora grafenowego. Pod typowym cztero-elektrodowym sensorem pola magnetycznego znajduje się dodatkowa elektroda zwana bramką. Polaryzując bramkę odpowiednio dobranym napięciem można przesunąć punkt pracy sensora tak aby zmieniał się charakter przewodnictwa sensora z dziurowego na elektronowe i odwrotnie. Wraz ze zmianą rodzaju przewodnictwa zmienia się znak napięcia Halla z dodatniego na ujemny lub odwrotnie. Przy tym znak napięcia niezrównoważenia nie ulega zmianie. Pozwala to w łatwy sposób oddzielić napięcie niezrównoważenia od sygnału mierzonego. Sposób ciekawy, ale mający swoje wady, mniejsza czułość i niesymetryczny kształt krzywej charakterystyki sensora w okolicy przejścia.

Rozwiązania tego typu zakładają jednak identyczne zachowanie zestawu czujników, a jak zostało już wspomniane, asymetria oporności elektrycznej międzyelektrodowej będzie również wynikała z braku jednorodności warstwy grafenowej. W następstwie silnej zależności wielkości napięcia resztkowego od jednorodności struktury hallotronu, występuje znaczny rozrzut cech w różnych egzemplarzach czujnika, pochodzących z tej samej serii produkcyjnej. Dodatkowo, pod tym wpływem znajdują się czułość i dokładność pomiaru. Z tego powodu kompensowanie napięcia resztkowego i prawidłowy szacunek otrzymywanych z czujników sygnałów wymaga zastosowania kosztownych technologii.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że utrzymując stałe napięcie zasilania na prądowych elektrodach zasilających czujnika Halla, pomiar prowadzi się dwutorowo:

- mierząc wartość prądu przepływającego przez czujnik Halla, przy czym wartość mierzonego prądu jest wyrażona w funkcji napięcia resztkowego $U_R=f(I)$,
 - mierząc napięcie $U_{(H+R)}$ na stykach pomiarowych czujnika Halla,
- po czym, po odpowiedniej obróbce analogowo-cyfrowej, uzyskuje się docelowy sygnał $U_H=f(B)$.

Korzystnym jest gdy stałe napięcie zasilania czujnika Halla, zawiera się w przedziale od 3 do 12 V.

Korzystnym jest także gdy indukcja pola magnetycznego, którym oddziaływa się na czujnik Halla wynosi 400 mT, przy zmiennej temperaturze w zakresie 30 - 300°C.

Ponadto korzystnym jest gdy mierzy się pole, którego indukcja magnetyczna zawiera się w przedziale ± 1 Tesla (T).

Układ miernika pola według wynalazku polega na tym, że do elektrody zasilającej czujnika Halla oraz do wejścia wzmacniacza pomiarowego jest przyłączone wyjście liniowego stabilizatora napięcia, przy czym jego wejście sterujące jest zwarte z wejściem sterującym wzmacniacza pomiarowego, przy czym elektrody pomiarowe czujnika Halla są przyłączone do wzmacniacza różnicowego, którego wyjście jest z kolei przyłączone do wejścia wzmacniacza korekcyjnego.

Korzystnym jest gdy czujnik Halla ma warstwę sensorową z grafenu, zwłaszcza z grafenu metalurgicznego HSMG.

Ponadto korzystnym jest gdy wyjście wzmacniacza korekcyjnego jest przyłączone do wejścia wzmacniacza końcowego, przy czym druga elektroda zasilająca czujnika Halla oraz wejście sterujące wzmacniacza końcowego mają wyrównane potencjały.

Zaproponowana metoda pomiaru uniezależnia otrzymany wynik od asymetrii oporności elektrycznej na elektrodach czujnika Halla. Metoda ta zakłada utrzymywanie stałego napięcia zasilającego czujnik, a prąd niezbędny do prawidłowego wyznaczenia wartości pola jest mierzony i wprowadzany jako sygnał pomiarowy.

Wynalazek zostanie bliżej omówiony na podstawie schematu przykładowego wykonania układu miernika pola magnetycznego z grafenowym czujnikiem Halla, przy czym poszczególne elementy schematu przedstawiają:

1 - liniowy stabilizator napięcia;

2 - czujnik Halla;

3 - wzmacniacz pomiarowy;

4 - wzmacniacz różnicowy;

5 - wzmacniacz korekcyjny;

6 - wzmacniacz końcowy;

R. - rezystor;

P1, P2 - potencjometry.

Przykład

Na prądowe elektrody zasilające czujnika Halla 2, z warstwą sensorową z grafenu metalurgicznego HSMG, podaje się napięcie stałe za pośrednictwem liniowego stabilizatora napięcia 1, przy czym wyjście i drugie wejście stabilizatora napięcia 1 są przyłączone do wzmacniacza pomiarowego 3 prądu przepływającego przez czujnik Halla 2 pod wpływem mierzonego pola magnetycznego, Mierzony prąd jest wyprowadzany z wyjścia wzmacniacza pomiarowego 3 jako sygnał $U_R=f(I)$.

Stabilizator napięcia 1 utrzymuje zadaną wartość napięcia na elektrodach zasilających czujnika Halla 2. Wartość tego napięcia może być regulowana potencjometrem P1, w zależności od oporności czujnika Halla 2. Stałe napięcie na elektrodach zasilających czujnika Halla 2 jest utrzymywane dzięki modyfikacji prądu czujnika Halla 2, przy czym ten sam prąd przepływa jednocześnie przez rezystor pomiarowy R. Odkładające się na rezystorze R proporcjonalne do prądu napięcie jest przetwarzane we wzmacniaczu pomiarowym 3, tak aby na wyjściu otrzymać odniesiony do masy sygnał napięciowy oddający wiernie wartość prądu czujnika Halla 2. Napięcie to może zostać zamienione w przetworniku, na sygnał cyfrowy i podane do układu mikroprocesorowego wyliczającego mierzoną wartość indukcji pola magnetycznego.

Z kolei pojawiające się na napięciowych stykach pomiarowych czujnika Halla 2 napięcie Halla (U_H) wraz ze stałym, dzięki takiemu rozwiązaniu, napięciem resztkowym (U_R) jest podawane na wzmacniacz różnicowy 4, zapewniający dużą

rezystancję wejściową i odnoszący mierzone napięcie do poziomu masy. W kolejnym stopniu toru pomiarowego można skompensować dodane do sygnału pomiarowego napięcie resztkowe. Służy do tego wzmacniacz korekcyjny 5 wraz z potencjometrem P2.

Tak więc sygnał ze wzmacniacza różnicowego 4 trafia do sterowanego napięciem wzmacniacza korekcyjnego 5. Następnie, pozbawione nieźrównoważenia napięcie Halla (U_H) trafia do wzmacniacza końcowego 6, na którego wyjściu pojawia się jako docelowy sygnał pomiarowy $U_H=f(B)$. Tak obrobione analogowo sygnały pomiarowe prądu sterującego i napięcia Halla mogą być podane do układu cyfrowego, który obliczy wartość indukcji pola magnetycznego.

Czujnik Halla 2 został umieszczony w polu magnetycznym, którego indukcja wynosiła 400 mT, w zmiennej temperaturze w zakresie 30 -300°C. Czujnik Halla 2 został zasilony napięciem stałym o wartości 5 V DC. Zarejestrowano wartości napięcia Halla (U_H) i wartości prądu (I_p) płynącego przez czujnik grafenowy 2 dla zadanych wartości temperatur. Wyniki pomiarów zawarto w tabeli.

Temp.°C	30	50	100	150	200	250	300
U_H [mV]	15,0	15,3	16,3	17,4	18,5	19,8	21,2
I_p [μA]	638	651	693	738	786	840	903

Obrobione analogowo sygnały pomiarowe prądu sterującego i napięcia Halla (U_H) są dalej przesyłane do układu cyfrowego, który oblicza wartość indukcji (B) pola magnetycznego.

Ponieważ jest możliwe kontrolowanie zmian prądu pomiarowego, sposób zasilania czujnika Halla 2 umożliwia również kompensację zmian termicznych oporu i ilości nośników w grafenie, które obniżają czułość grafenowego czujnika Halla 2.



mgr inż. Marek PASSOWICZ
RZECZNIK PATENTOWY