



УКРАЇНА

(19) UA (11) 76132 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01R 33/06
H01L 43/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

1

(21) 2003076517

(22) 11.07.2003

(24) 17.07.2006

(46) 17.07.2006, Бюл. № 7, 2006 р.

(72) Большакова Інеса Антонівна, Голяка Роман Любомирович

(73) Большакова Інеса Антонівна, Голяка Роман Любомирович

(56) Popovic R.S. Hall effect devices. Bristol, Philadelphia and New York. 1991. P. 61

Burger F., Besse P.A., Popovic R.S. New fully integrated 3-D silicon Hall sensor for precise angular positions measurements. Sensor and actuators. A 67.1998. PP.72-76

SU 1377787, 29.02.1988

RU 2053521, 27.01.1996

US 4875011, 17.10.1989

US 6542068, 01.04.2003

EP 1091425, 11.04.2001

EP 0106943, 02.05.1984

(57) 1. Вимірювальний перетворювач магнітного поля, який містить сформовані на підкладці та перехрещені між собою дві прямокутні напівпровідникові області вертикальних перетворювачів Холла, які утворюють хрестоподібну геометричну

2

фігуру із зоною перехрещення та чотирма рівновеликими взаємно перпендикулярними плечами, а на поверхні напівпровідникових областей сформовані вісім контактів - по одному струмовому та одному потенційному контакту до кожного плеча, причому струмові контакти розміщені на периферії плечей і є рівновіддаленими від зони перехрещення, а потенційні контакти розміщені між струмовими контактами та зоною перехрещення і також є рівновіддаленими від останньої, який **відрізняється** тим, що в зоні перехрещення додатково сформована напівпровідникова область горизонтального перетворювача Холла, причому двома його струмовими контактами є два струмові контакти одного з вертикальних перетворювачів Холла, а двома його потенційними контактами є два потенційні контакти іншого вертикального перетворювача Холла.

2. Вимірювальний перетворювач магнітного поля за п. 1, який **відрізняється** тим, що товщина напівпровідникової області горизонтального перетворювача Холла відмінна від товщини напівпровідникових областей вертикальних перетворювачів Холла.

Винахід відноситься до напівпровідникових сенсорів магнітного поля, які використовують ефект Холла.

Відомий вимірювальний перетворювач магнітного поля (горизонтальний перетворювач Холла), який містить сформовану в напівпровідниковому шарі робочу область прямокутної форми та чотири виводи - по одному на кожній стороні напівпровідникової області. Два навпроти розміщені виводи є струмовими, а дві інші - потенційними [1]. Вихідна напруга такого перетворювача, яка формується між його потенційними виводами, є пропорційною нормальній до площини напівпровідникової області проекції B_z вектора індукції магнітного поля. Недоліком цього перетворювача є неможливість вимірювати магнітне поле, вектор індукції якого є

паралельним до площини напівпровідникової області, що обмежує його функціональні можливості.

Відомий вимірювальний перетворювач магнітного поля (вертикальний перетворювач Холла), який містить сформований на підкладці напівпровідникову область прямокутної форми, на поверхні якої розміщено п'ять контактів. Три контакти є струмовими, а два - потенційними. Перші два струмові контакти розміщені на периферії напівпровідникової області і є рівновіддаленими від третього струмового контакту, який розміщено в центрі напівпровідникової області. Перший потенційний контакт розміщено між першим та третім струмовими контактами, а другий потенційний контакт - між другим та третім струмовими контактами. Потенційні контакти є також рівновіддаленими від третього струмового контакту [2, 3].

(13) C2

(11) 76132

(19) UA

Струм живлення такого перетворювача протікає в напівпровідниковій області по двох взаємно протилежних напрямках. Перший напрямок - між першим та третім струмовими контактами, а другий - між другим та третім струмовими контактами. Вихідним сигналом вертикального перетворювача Холла є різниця напруг між потенційними виводами. Ця різниця напруг є пропорційною до проекції (наприклад B_x) вектора індукції магнітного поля, яка є паралельною до площини напівпровідникової області та перпендикулярною до напрямку проходження струму живлення перетворювача в цій області.

Для забезпечення можливості вимірювання обох ортогональних проекцій (B_x та B_z) вектора індукції магнітного поля, які лежать в паралельній площині до площини напівпровідникової області, формують вимірювальний перетворювач магнітного поля на основі двох вертикальних перетворювачів Холла [3]. Останні об'єднані таким чином, що їхні напівпровідникові області пересікаються, утворюючи хрестовидну геометричну фігуру з чотирма рівновеликими плечами та прямими кутами між останніми. На поверхні напівпровідникових областей вимірювального перетворювача сформовано дев'ять контактів. В кожному з чотирьох плеч хрестовидної фігури розміщено по одному периферійному струмовому та одному потенційному контакту. В зоні перехрещення напівпровідникових областей вертикальних перетворювачів Холла сформовано розміщено один центральний струмовий контакт. Периферійні струмові контакти розміщені на периферії напівпровідникових областей і є рівновіддаленими від центрального струмового контакту. Потенційні контакти розміщені між периферійними струмовими контактами та центральним струмовим контактом і, також, є рівновіддаленими від останнього.

Недоліком такого вимірювального перетворювача магнітного поля є неможливість вимірювати магнітне поле, вектор індукції якого є перпендикулярним до площини напівпровідникової області (B_z). Частково цей недолік можна подолати шляхом об'єднання вимірювального перетворювача магнітного поля на основі двох вертикальних перетворювачів Холла з одним або декількома горизонтальними перетворювачами Холла [3]. Останні забезпечують вимірювання перпендикулярної до площини вимірювального перетворювача проекції B_z вектора індукції магнітного поля. Однак, недоліком такої об'єднаної конструкції є її низька просторова роздільна здатність та її складність. Низька просторова роздільна здатність обумовлена тим, що вертикальні та горизонтальний перетворювачі не можуть бути суміщеними між собою в єдину просторову область. Це є причиною неможливості вимірювання всіх трьох проекцій B_x , B_y та B_z вектора індукції магнітного поля в єдиній просторовій точці, а отже - низької точності результатів вимірювання. Складність конструкції вимірювального перетворювача, в свою чергу, обумовлює значні його розміри та низьку надійність роботи.

В основу винаходу поставлене завдання створити вимірювальний перетворювач магнітного поля, в якому введення нових елементів та зв'язків

дозволяє підвищити точність вимірювання та спростити його конструкцію.

Поставлене завдання досягається тим, у вимірювального перетворювача магнітного поля, який містить сформовані на підкладці та перехрещені між собою дві прямокутні напівпровідникові області вертикальних перетворювачів Холла, які утворюють хрестовидну геометричну фігуру з зоною перехрещення та чотирма рівновеликими взаємно перпендикулярними плечами, а на поверхні напівпровідникових областей сформовано вісім контактів - по одному струмовому та одному потенційному контакту до кожного плеча, причому струмові контакти розміщені на периферії плеч і є рівновіддаленими від зони перехрещення, а потенційні контакти розміщені між струмовими контактами та зоною перехрещення і також є рівновіддаленими від останньої, згідно винаходу, в зоні перехрещення сформовано напівпровідникову область горизонтального перетворювача Холла, причому двома його струмовими контактами є два струмові контакти одного з вертикальних перетворювачів Холла, а двома його потенційними контактами є два потенційні контакти іншого вертикального перетворювача Холла. Другою відмінною ознакою вимірювального перетворювача є те, що товщина напівпровідникової області горизонтального перетворювача Холла відрізняється від товщини напівпровідникових областей вертикальних перетворювачів Холла.

Введення нових елементів та відповідних зв'язків дозволяє створити вимірювальний перетворювач магнітного поля, який, по-перше, забезпечує вимірювання трьох ортогональних проекцій (компонент) вектора індукції магнітного поля в єдиній просторовій точці, тобто характеризується високою точністю вимірювання, і по-друге, характеризується простотою конструкції.

На фіг.1,2 зображена схема вимірювального перетворювача магнітного поля, де 1 - підкладка; 2, 3, 4 та 5 - чотири плеча хрестовидної фігури, яка утворена перехрещенням двох напівпровідникових областей вертикальних перетворювачів Холла; 6, 7, 8 та 9 - струмові контакти; 10, 11, 12 та 13 - потенційні контакти; 14 - напівпровідникова область горизонтального перетворювача Холла.

Плечі 2, 4 та контакти 6, 8, 10, 12 формують перший вертикальний перетворювач Холла, а плечі 3, 5 та контакти 7, 9, 11, 13 - другий вертикальний перетворювач Холла. Перший перетворювач призначений для вимірювання проекції B_x вектора індукції магнітного поля, а другий - для вимірювання проекції B_y . Принцип вимірювання магнітного поля перетворювачів Холла полягає у формуванні різниці напруг на потенційних виводах при відхиленні носіїв заряду в напівпровідниковій області під дією сили Лоренца.

Функціонування вимірювального перетворювача магнітного поля згідно винаходу передбачає два режими живлення. Перший режим забезпечує функціонування вертикальних перетворювачів Холла, а другий - горизонтального.

Перший режим живлення передбачає таке підключення струмових контактів вертикальних перетворювачів Холла, при якому струми в їх напівпровідникових областях протікають по взаємно

протилежних напрямках. Для цього струмові контакти обох вертикальних перетворювачів Холла об'єднують в єдину схему. А саме, контакти 6 та 8 першого вертикального перетворювача Холла з'єднують разом та під'єднують до першого, наприклад плюсового, виводу джерела живлення, а контакти 7 та 9 другого вертикального перетворювача Холла, також з'єднані разом, під'єднують до другого, відповідно мінусового, джерела живлення. Таким чином, в першому вертикальному перетворювачі Холла струми течуть зверху вниз (струм I_2 в плечі 2) та знизу вверх (струм I_4 в плечі 4), в другому - зліва направо (струм I_3 в плечі 3) та справа наліво (струм I_5 в плечі 5). При ідеальній симетрії структури перетворювача мають місце рівності:

$$\vec{I}_2 = -\vec{I}_4; \vec{I}_3 = -\vec{I}_5.$$

Вихідні сигнали вертикальних перетворювачів Холла формуються на потенційних виводах у виді різниці напруг, яка є пропорційною добутку значення струму живлення перетворювача на відповідну проекцію вектора індукції магнітного поля:

$V_x = V(12) - V(10) = K_x \cdot I \cdot B_x / W$ - для першого перетворювача та

$V_y = V(13) - V(11) = K_y \cdot I \cdot B_y / W$ - для другого перетворювача,

де $V(11)$, $V(12)$, $V(13)$ та $V(14)$ - напруги на потенційних виводах 11, 12, 13, 14, відповідно; V_x , V_y та K_x та K_y - вихідні сигнали та коефіцієнти перетворення, відповідно, першого та другого перетворювачів; I - робочий струм, W - ширина напівпровідникових областей.

З фізичної точки зору виникнення різниці напруг на потенційних виводах вертикальних перетворювачів Холла пояснюється тим, що внаслідок протилежних напрямків протікання струму в обох плечах перетворювача, відхилення носіїв заряду в цих плечах також має протилежний напрям. Зокрема, якщо в плечі 2 першого перетворювача носії відхиляються в напрямку від підкладки до поверхні напівпровідникової області, то плечі 4 цього перетворювача - в напрямку від поверхні до підкладки.

У високоградієнтному магнітному полі, різниця напруг, яка формується на потенційних виводах вертикальних перетворювачів Холла, є інформативною величиною усередненого значення індукції поля. Враховуючи, що всі потенційні виводи вертикальних перетворювачів Холла є рівновіддаленими від його центру (зони перехрещення), виміряне усереднене значення індукції відповідає просторовій точці центру вимірювального перетворювача.

Другий режим живлення передбачає використання лише однієї пари струмових контактів, зокрема контактів 6 та 8 першого вертикального перетворювача. Тоді, вивід 6 під'єднують до першого виводу джерела струму, а вивід 8 - до другого. Це забезпечує прямолінійну траєкторію носіїв заряду в напівпровідниковій області 14 горизонтального перетворювача Холла.

Вихідний сигнал горизонтального перетворювача Холла у виді різниці напруг, яка є пропорційною добутку значення струму живлення перетворювача на проекцію B_z вектора індукції магнітного

поля, формуються на потенційних виводах 11 та 13 другого вертикального перетворювача Холла:

$$V_z = V(13) - V(11) = K_z \cdot I \cdot B_z / d_2,$$

де K_z - коефіцієнт перетворення; d_2 - товщина напівпровідникової області горизонтального перетворювача Холла.

З фізичної точки зору виникнення різниці напруг на потенційних виводах 11 та 13 пояснюється тим, що відхилення носіїв заряду в напівпровідниковій області 14 горизонтального перетворювача Холла при дії на них проекції вектора індукції магнітного поля B_z відбувається в напрямку від плеча 5 до плеча 3, чи навпаки.

Як і вертикальні перетворювачі, горизонтальний перетворювач Холла вимірює значення індукції магнітного поля в просторовій точці центру вимірювального перетворювача. Таким чином, вимірювальний перетворювач згідно винаходу дозволяє вимірювати всі три проекції B_x , B_y та B_z вектора індукції магнітного поля в єдиній просторовій точці.

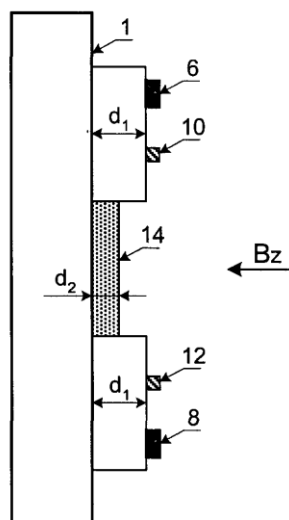
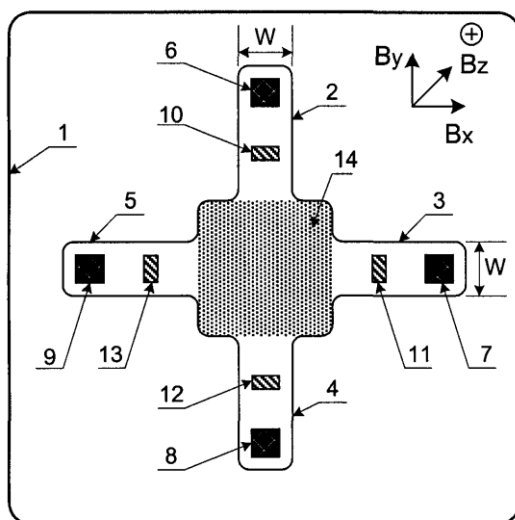
У відповідності до другої відмінної ознаки вимірювального перетворювача згідно винаходу є можливість змінювати товщину d_2 напівпровідникової області горизонтального перетворювача Холла. Це дозволяє сформувати вимірювальний перетворювач з однаковими значеннями чутливості до всіх трьох проекцій вектора індукції магнітного поля: $V_x/B_x = V_y/B_y = V_z/B_z$. Враховуючи, що чутливість вертикальних перетворювачів Холла є зворотно пропорційною до ширини напівпровідникових областей W , а горизонтального перетворювача - до товщини його напівпровідникової області d_2 , рівність вказаних значень чутливостей забезпечується відповідним вибором співвідношення W/d_2 . Важливим є те, що на відміну від товщини d_1 напівпровідникових областей вертикальних перетворювачів Холла, товщина d_2 напівпровідникової області горизонтального перетворювача, може змінюватися після формування виводів. Зокрема, зменшення товщини d_2 бути реалізовано шляхом часткового травлення напівпровідникового шару.

Підвищення точності вимірювального перетворювача згідно винаходу по відношенню до аналогів [2, 3] обумовлюється тим, що горизонтальний перетворювач Холла знаходиться в центрі (зоні перехрещення) вертикальних перетворювачів Холла. Це забезпечує високу просторову суміщеність всіх перетворювачів (двох вертикальних та одного горизонтального), а отже всі три проекції B_x , B_y та B_z вектора індукції магнітного поля вимірюються в єдиній просторовій точці. При вимірюванні високоградієнтних полів це дає зменшення похибки вимірювання вектора індукції магнітного поля в декілька раз.

Спрощення конструкції вимірювального перетворювача згідно винаходу по відношенню до аналогів [2, 3] обумовлюється рядом обставин. По-перше, функція вимірювання трьох проекцій магнітного поля реалізується одним перетворювачем, а не набором вертикальних та горизонтальних перетворювачів. По-друге, значно зменшується кількість виводів вимірювального перетворювача. У вимірювального перетворювача згідно винаходу є лише 8 виводів, а в аналогів - 9 виводів у вертика-

льних перетворювачах Холла та принаймні 4 виводи у горизонтального перетворювача Холла. У випадку використання чотирьох горизонтальних перетворювачів Холла для усереднення просторового розподілу поля, в аналога [3] передбачається $9+4 \cdot 4=23$ виводи. В останньому випадку має місце майже трикратне зменшення кількості виводів.

Особлива ефективність вимірювального перетворювача згідно винаходу має місце при необхідності зменшення розмірів вимірювального зонда на його основі. Саме виводи та контактні площадки до них обумовлюють розмір конструкції в цілому. Традиційні сучасні технології виготовлення дозволяють реалізувати розміри напівпровідникових областей перетворювача порядку декількох мікрометрів. Проте, розмір кожної контактної площадки типово становить сто мікрометрів і більше.



Отже, суттєве зменшення кількості контактних площадок у вимірювального перетворювача є ключовим моментом подальшої мініатюризації вимірювальних зондів.

Крім того, зменшення кількості виводів вимірювального перетворювача згідно винаходу дозволяє зменшити кількість проводів між вимірювальним зондом та схемою обробки сигналу, а також, підвищити надійність експлуатації перетворювача.

Джерела інформації:

1. R.S. Popovic, Hall Effect Devices, Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New York, 1991. P.61.

2. Там же.

3. F. Burger, P.-A. Besse, R.S. Popovic. New fully integrated 3-D silicon Hall sensor for precise angular-position measurements. Sensors and Actuators. A 67. 1998. PP. 72-76.