



УКРАЇНА

(19) UA (11) 74628 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01R 33/06
H01L 43/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) БАГАТОПОЗИЦІЙНИЙ 3-D СЕНСОР МАГНІТНОГО ПОЛЯ

1

(21) 2003098632

(22) 22.09.2003

(24) 16.01.2006

(46) 16.01.2006, Бюл. № 1, 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

Долгий С.А., Кукушкин А.А., Куликов Ю.В., Николаевский Г.Н., Паршутов В.Т., Яшута М.И. Гальваномагнитный трехкомпонентный датчик индукции магнитного поля // Приборы и техника эксперимента.-1979.-№5.-С.202

2

RU 2053521, 27.01.1996

US 5942895, 24.08.1999

US 4875011, 17.10.1989

WO 0002266, 13.01.2000

(57) Багатопозиційний 3-D сенсор магнітного поля, який містить декілька однакових вимірювальних перетворювачів, кожний з яких містить підкладку з сформованими на ній напівпровідниковою областю та контактами до неї, причому підкладки перетворювачів розміщені в різних площинах, який **відрізняється** тим, що містить шість перетворювачів, які утворюють шість сторін куба, причому напівпровідникові області кожного перетворювача розміщені по периметру кожної підкладки, а контакти - в центральній частині кожної підкладки.

Винахід стосується напівпровідникових сенсорів магнітного поля, які використовують ефект Холла.

Відомий вимірювальний перетворювач магнітного поля, який містить сформовані на підкладці напівпровідникову область та чотири контакти - по одному на кожній стороні напівпровідникової області. Два навпроти розміщені контакти є струмовими, а дві інші - потенційними [R.S. Popovic, Hall Effect Devices, Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New York, 1991. P.61.]. Базуючись на ефекті Холла такий перетворювач дозволяє вимірювати індукцію магнітного поля.

Проте, його недоліком є неможливість вимірювати градієнт магнітного поля та три ортогональні

проекції \vec{B} вектора \vec{B} індукції цього поля. Крім того, низькою є просторова роздільна здатність такого перетворювача, яка обумовлена наявністю по периметру напівпровідникової області перетворювача контактів (контактних площадок). Останні не дозволяють достатньо наблизити чутливу зону перетворювача, якою є ділянка напівпровідникової області біля потенційних контактів, до поверхні джерела досліджуваного магнітного поля.

Частково проблема вимірювання градієнту магнітного поля вирішується вимірювальним перет-

ворювачем, який містить сформовані на підкладці напівпровідникову область з збільшеною кількістю контактів, переважно з декількома парами потенційних контактів [R.S. Popovic, Hall Effect Devices, Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New York, 1991. P.61.]. Проте вимірювання магнітного поля, як і його градієнту, є можливим лише по одній проекції індукції поля. Як і в попереднього перетворювача, низькою залишається просторова роздільна здатність останнього.

Відомий 3-D сенсор магнітного поля, який містить три однакових вимірювальних перетворювачів, кожний з яких містить підкладку з сформованими на ній напівпровідниковою областю та контактами до неї, причому підкладки перетворювачів розміщені у трьох взаємно ортогональних площинах [Долгий С.А., Кукушкин А.А., Куликов Ю.В., Николаевский Г.Н., Паршутов В.Т., Яшута М.И. Гальваномагнитный трехкомпонентный датчик индукции магнитного поля. // Приборы и техника эксперимента. №5. 1979. С.200-2002.]. Такий 3-D сенсор магнітного поля дозволяє вимірювати проекції B_x , B_y , B_z вектора індукції. Проте, з допомогою останнього є неможливим вимірювати градієнт магнітного поля, що обмежує функціональні можливості 3-D сенсора. Крім того, як і у вище описаних перетво-

(13) C2

(11) 74628

(19) UA

рювачах, низькою є просторова роздільна здатність такого 3-D сенсора.

В основі винаходу поставлене завдання створити багатопозиційний 3-D сенсор магнітного поля, в якому введення нових елементів та зв'язків дозволяє розширити його функціональні можливості, підвищити просторову роздільну здатність та точність вимірювання.

Поставлене завдання досягається тим, що багатопозиційний 3-D сенсор магнітного поля, який містить декілька однакових вимірювальних перетворювачів, кожний з яких містить підкладку з сформованими на ній напівпровідниковою областю та контактами до неї, причому підкладки перетворювачів розміщені в різних площинах, згідно винаходу, містить шість перетворювачів, які утворюють шість сторін куба, причому напівпровідникові області перетворювачів розміщені по периметру підкладок, а контакти - в центральній частині підкладок.

Введення нових елементів та відповідних зв'язків дозволяє створити багатопозиційний 3-D сенсор магнітного поля, чутливі зони вимірювальних перетворювачів якого розміщені вздовж ребер та у вершинах куба, утвореного підкладками цих перетворювачів. При цьому контакти (контактні площадки) розміщені в центральних частинах підкладок.

Така конструкція дозволяє сформувати набір сенсорів, чутливі зони яких розміщені в різних площинах. Принципово важливою перевагою є те, що, на відміну від аналога, в кожному з сформованих таким чином сенсорів чутливі зони знаходяться в безпосередній близькості одна до іншої, наприклад на ребрі чи вершині куба. Це забезпечує високу просторову роздільну здатність вимірювання трьох проекцій B_x , B_y , B_z вектора індукції магнітного поля, що є основою високої точності подаль-

шого розрахунку цього вектора \vec{B} . Крім того, чутливі зони сенсорів можуть бути максимально наближеними до об'єкту дослідження, що також підвищує просторову роздільну здатність та точність вимірювання при дослідженні при поверхневих магнітних полів.

Особливу ефективність можна отримати, використовуючи в ролі чутливих зон частини напівпровідникових областей, які знаходяться у вершинах куба. В кожній з восьми вершин куба напівпровідникові області трьох суміжних ортогонально розвернутих перетворювачів формують кутовий 3-D сенсор. Таким чином, в одному кубі багатопозиційного 3-D сенсора магнітного поля реалізується вісім кутових 3-D сенсорів, з допомогою яких є можливим вимірювати градієнт вектора магнітного поля по трьох просторових координатах.

Конструкція багатопозиційного 3-D сенсора магнітного поля наведена на Фіг.1, а можливий варіант схеми одного з шести взаємно тотожних вимірювальних перетворювачів, підкладки яких утворюють шість сторін куба, - на Фіг.2. На останньому позначено: 1 - підкладка; 2 - область напівпровідникового шару; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 та 10 - контакти. Розміщення точок вимірювання зображено на Фіг.3.

При кожному вимірюванні використовуються три рядом розміщені контакти. З них два крайні контакти використовуються як струмові контакти, а середній - як потенційний контакт. Через струмові контакти пропускають струм живлення, а на потенційному вимірюють вихідну напругу. В такому використанні ці контакти та напівпровідникова область між ними служать Холлівським півелементом. Напруга на потенційному контакті півелементу V_P складається з холлівської V_H та омичної V_R напруг $V_P = V_H + V_R$.

Інформативною складовою вихідної напруги є лише холлівська напруга V_H , яка обумовлена відхиленням траєкторії рухомих носіїв заряду в напівпровідниковій області під дією сили Лоренца. Значення холлівської напруги V_H є пропорційне значенню струму I через напівпровідниковий шар та проекції вектора індукції магнітного поля на нормаль до площини перетворювача

$$V_H = K \cdot I \cdot B \cdot \cos \alpha,$$

де K - коефіцієнт пропорційності;

B - модуль вектора індукції магнітного поля;

$\cos \alpha$ - кут між вектором індукції магнітного по-

ля та нормаллю до площини перетворювача.

Омична напруга V_R , яка обумовлена падінням напруги на напівпровідниковій області в точці під'єднання до неї потенційного контакту, повинна компенсуватися. Для цього використовують вимірювальну схему на основі резистивного подільника напруги з коефіцієнтом поділу n , який під'єднано до струмових контактів. На виході подільника напруги формується опорна напруга $V_{REF} = V_I / n$, де V_I - падіння напруги на струмових контактах. Вихідна напруга V_{OUT} перетворювача вимірюється як різниця напруг $V_{OUT} = V_P - V_{REF}$.

Значення коефіцієнту поділу вибирають з умови $n = V_I / V_R$ і визначають при відсутності магнітного поля ($V_H = 0$) так, щоб вихідна напруга була рівною нулю

$$V_{OUT}(B=0) = V_R - V_I / n = 0.$$

Таким чином, вихідна напруга перетворювача V_{OUT} стає чисельно рівною холлівській напрузі $V_{OUT} = V_H$ і не залежить від омичної напруги V_R .

Як вище відзначалось, найвищу ефективність вимірювання з допомогою багатопозиційного 3-D сенсора магнітного поля можна отримати, використовуючи в ролі чутливих зон частини напівпровідникових областей, які знаходяться у вершинах куба S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 , S_6 , S_7 , S_8 (Фіг.1, Фіг.3). Режим живлення і вимірювання такого варіанту реалізації багатопозиційного 3-D сенсора розглянемо на прикладі одного з шести взаємно тотожних вимірювальних перетворювачів, підкладка якого розміщена між вершинами S_1 , S_2 , S_3 та S_4 (Фіг.2).

Через напівпровідникову область вимірювального перетворювача пропускають струм, під'єднуючи до струмових контактів перетворювача джерело живлення, здебільшого, джерело постійного струму. Одну пару розміщених навпроти струмових контактів (зокрема, контакти 3 та 5) під'єднують до першого виводу джерела живлення, а другу пару розміщених напроти контактів (контакти 4 та 6, відповідно) під'єднують до другого виводу джерела живлення.

Чутливими зонами вимірювального перетворювача є частини напівпровідникової області поблизу потенційних контактів 7, 8, 9 та 10, тобто кутові ділянки перетворювача S1, S2, S3, S4. У відповідності до вище розглянутого способу формування вихідних напруг V_{OUT} отримують чотири вихідні напруги, які є пропорційними проекції вектора індукції B_x в кутових ділянках перетворювача $V_{OUT}(B_{XS1})$, $V_{OUT}(B_{XS2})$, $V_{OUT}(B_{XS3})$, $V_{OUT}(B_{XS4})$.

Інші п'ять вимірювальних перетворювачів багатопозиційного 3-D сенсора функціонують аналогічно, формуючи вихідні напруги:

$V_{OUT}(B_{XS5})$, $V_{OUT}(B_{XS6})$, $V_{OUT}(B_{XS7})$, $V_{OUT}(B_{XS8})$;
 $V_{OUT}(B_{YS4})$, $V_{OUT}(B_{YS3})$, $V_{OUT}(B_{YS7})$, $V_{OUT}(B_{YS8})$;
 $V_{OUT}(B_{YS1})$, $V_{OUT}(B_{YS2})$, $V_{OUT}(B_{YS6})$, $V_{OUT}(B_{YS5})$;
 $V_{OUT}(B_{ZS2})$, $V_{OUT}(B_{ZS6})$, $V_{OUT}(B_{ZS7})$, $V_{OUT}(B_{ZS3})$;
 $V_{OUT}(B_{ZS1})$, $V_{OUT}(B_{ZS5})$, $V_{OUT}(B_{ZS8})$, $V_{OUT}(B_{ZS4})$.

Таким чином, в кожній з восьми вершин куба знаходяться перетворювачі, вихідні напруги є пропорційними трьома проекціям вектора індукції магнітного поля:

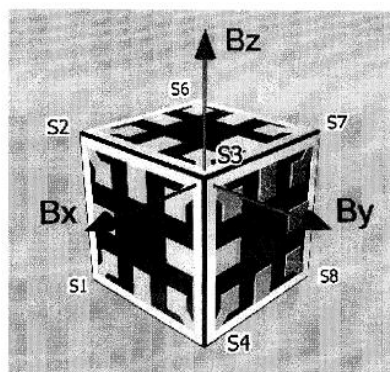
вершина S1 – $V_{OUT}(B_{XS1})$, $V_{OUT}(B_{YS1})$, $V_{OUT}(B_{ZS1})$;
 вершина S2 – $V_{OUT}(B_{XS2})$, $V_{OUT}(B_{YS2})$, $V_{OUT}(B_{ZS2})$;
 вершина S3 – $V_{OUT}(B_{XS3})$, $V_{OUT}(B_{YS3})$, $V_{OUT}(B_{ZS3})$;
 вершина S4 – $V_{OUT}(B_{XS4})$, $V_{OUT}(B_{YS4})$, $V_{OUT}(B_{ZS4})$;
 вершина S5 – $V_{OUT}(B_{XS5})$, $V_{OUT}(B_{YS5})$, $V_{OUT}(B_{ZS5})$;
 вершина S6 – $V_{OUT}(B_{XS6})$, $V_{OUT}(B_{YS6})$, $V_{OUT}(B_{ZS6})$;
 вершина S7 – $V_{OUT}(B_{XS7})$, $V_{OUT}(B_{YS7})$, $V_{OUT}(B_{ZS7})$;
 вершина S8 – $V_{OUT}(B_{XS8})$, $V_{OUT}(B_{YS8})$, $V_{OUT}(B_{ZS8})$.

Чутливі зони вимірювальних перетворювачів можуть розміщатися на як завгодно малій відстані від вершин куба багатопозиційного 3-D сенсора.

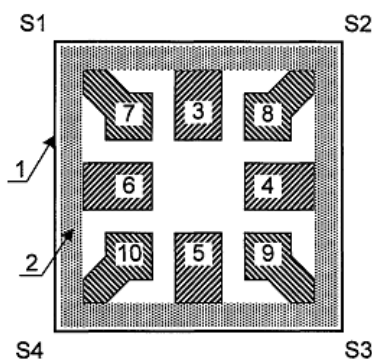
Отже, ортогонально розвернені чутливі зони в кожному з восьми кутових 3-D сенсорах є добре суміщеними в просторі. В залежності від технології виготовлення перетворювачів (технологія твердотільних інтегральних схем, тонкоплівкова технологія, технологія об'ємних структур тощо), відстань між чутливими зонами перетворювачів в кутах багатопозиційного 3-D сенсора може знаходитися в межах від 0,01 ÷ 1 мм. Зокрема, використовуючи традиційну технологію тонкоплівкових перетворювачів Холла на напівпровідникових матеріалах групи $A_{III}B_V$, ця відстань може не перевищувати 0,1 мм.

Унікальною особливістю багатопозиційного 3-D сенсора згідно винаходу є те що він містить вісім розподілених по трьох просторових координатах кутових 3-D сенсорів. Це розширює функціональні можливості останнього, забезпечуючи вимірювання градієнту магнітного поля в трьохвимірному просторі. Причому відстані між кутовими 3-D сенсорами (вершинами кубу) може бути як завгодно малою. Типово ця відстань знаходиться в межах від одного до декількох міліметрів.

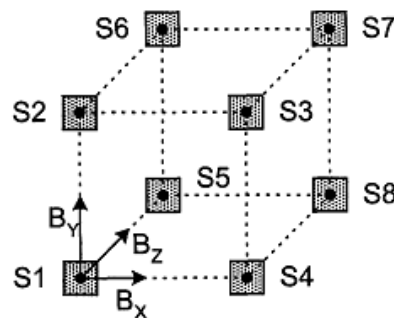
Мінімальні відстані між чутливими зонами в кожному кутовому 3-D сенсорі ($\approx 0,1$ мм) та між розподіленими по трьох просторових координатах кутовими 3-D сенсорами (≈ 1 мм) забезпечує високу просторову роздільну здатність вимірювального перетворювача магнітного поля згідно винаходу. Крім того, конструкція такого перетворювача дозволяє наблизити його активні частини безпосередньо до поверхні досліджуваного магнітного об'єкту. Все це забезпечує підвищення принаймні на порядок точність вимірювання високоградієнтних при поверхневих магнітних полів.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3