

Нов еднопреходен магнитотранзистор използваш ефекта на Хол

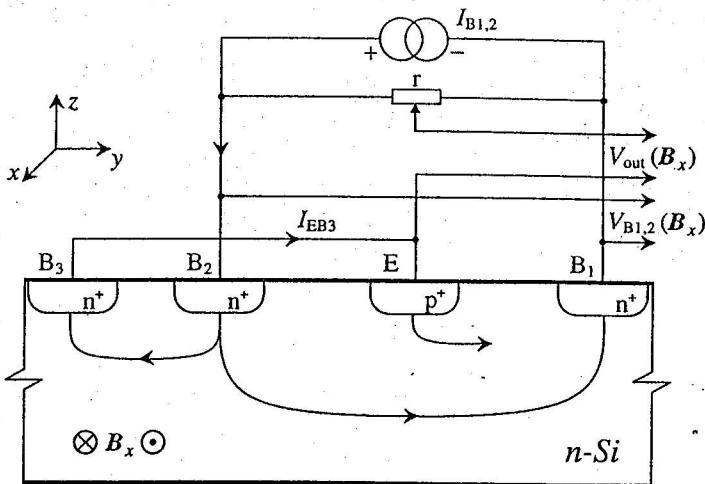
Чавдар Станоев Руменин и Димитър Иванов Николов
Българска Академия на Науките,
Институт по Управление и Системни Изследвания,
София-1113, п.к.79, ул. "Акад. Г.Бончев", бл.2
e-mail: roumenin@jusi.bas.bg

Summary

A novel unijunction magnetic field sensor using Hall effect principle. The well known to date unijunction magnetotransistors operate mainly on the basis of magnetoconcentration and the magnetodiode effect. Until recently the role of the Hall phenomenon in these transducers has been assumed insignificant, because of the bipolar conductivity. In this new type unijunction magnetotransistor, the Hall effect is used for the first time. The structure is planar that facilitate the integrated realization of the new sensor. In the device, the magnetic field is parallel to chip surface. The main advantage of the new microtransducer is the overcoming the unresolved so far problem in this type of sensors related to the technological reproducibility of the surface recombination rates, which play a crucial role in the magnetosensitivity. The powerful control of various regions of its S-type I-V curves namely by the clearly and well-defined Hall effect makes it possible to design different sensors with improved output characteristics.

Структура и принцип на действие на новия еднопреходен магнитотранзистор

a) На фиг.1 е показано напречното сечение на новия микросензор и траекторията на токоносителите при различните режими на работа. По същество конфигурацията $B_2 - E - B_1$ представлява добре известният еднопреходен транзистор, описан в [1-6]. Новостта на предложения преобразувател включва разполагането на допълнителен трети омичен контакт B_3 , извън областта между бази B_1 и B_2 . Освен това B_3 е непосредствено свързан с емитера E и чрез тримера г се схема изходния сигнал $V_{out}(B_x)$. Структурата е реализирана чрез стандартна планарно-епитаксиална технология като съдържа p^+ -емитер E и три базови n^+ -контакти B_1 , B_2 и B_3 , разположени върху горната повърхност на n -тип Si подложка. Захранването се подава от генератор на постоянен ток между базовите контакти B_1 и B_2 .



фиг.1. Напречно сечение на новия еднопреходен магнитотранзистор и траекторията на токоносителите.

б) Принципът на действие на новия еднопреходен магнитотранзистор е следният:

В отсъствие на външно магнитно поле $B = 0$ и ток $I_{B1,2} \neq 0$, траекторията на токоносителите първоначално е перпендикулярна на силно легираниите контакти B_1 и B_2 (тези n^+ -омични области представляват еквипотенциални повърхности), след което става успоредна на горната повърхност на чипа, фиг.1. С нарастването на тока $I_{B1,2}$ се увеличава положителният потенциал върху емитера E , свързан на късо с базов контакт B_3 . Този процес продължава докато p^+ - n прехода се окаже включен в права посока. Тогава съпротивлението му рязко намалява. В резултат върху волт-амперната характеристика на емитерния преход възниква отрицателно S тип съпротивление, съпроводено с образуване на токов шнур в областта между E и B_1 . Поради това настъпва преразпределение на токовете от базов контакт B_2 : едната компонента е през обема на структурата до B_1 , а другата през обема до B_3 , отпусвания емитерен p^+ - n преход до B_1 . Рязкото намаляване на пада на напрежение върху емитерния преход като следствие от горното преразпределение, води до възникването на участъка с отрицателно диференциално съпротивление от S-тип върху волт-амперната характеристика на емитера. За отпусване на p^+ - n прехода е необходимо да е изпълнено следното важно условие: при увеличаване на захранващото напрежение $V_{B1,2}$, нарастването на потенциала V_B , респективно V_{EB} да е по-бързо отколкото повишаването на потенциала върху долната страна на емитера E .

Ако към структурата се приложи магнитно поле B_x , вследствие на Лоренцовата дефлексия, върху горната повърхност на чипа, съдържаща контактите, възниква напрежение на Хол от тока $I_{B1,2}$. Следва да се отбележи, че приборната конструкция $B_3 - B_2 - E - B_1$ е по същество четириизводния сензор на Хол, описан за първи път в [7,8], като на фиг.1 B_1 и B_2 са токовите контакти, а B_3 и E са съответно Холовите терминални H_1 и H_2 . В нашия случай напрежението на Хол може да се регистрира между контакти B_3 и E , фиг.1. В зависимост от полярността на външното магнитно поле B_x , респективно знака на напрежението на Хол, вследствие на непосредствената връзка $E - B_3$ следва да се очаква:

1. Запушване на емитерния p^+ -п преход, като Хол сигналът се генерира едновременно върху B_3 и E , и по стойност е около половината от ефективното Хол напрежение [6-8];

2. Възможност за отпушване на емитерния p^+ -п преход.

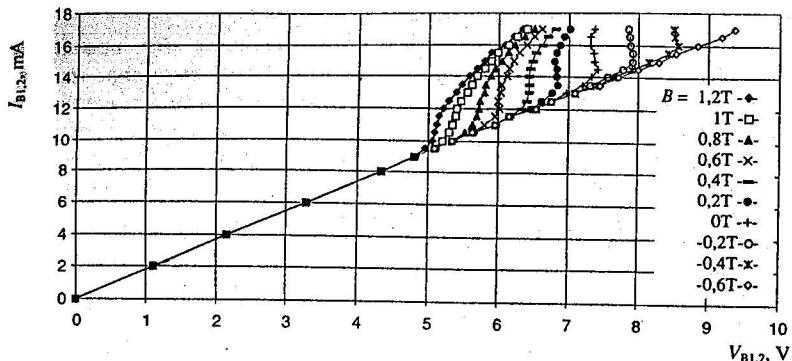
Ако вследствие на електрическия режим p^+ -п прехода е вече отпушен, чрез напрежението на Хол става възможно модулирането на тока и потенциалите върху контактите в структурата от фиг.1. Два от възможните сензорни изхода са показани на фиг.1 – напрежението $V_{B1,2}(B_x)$ и напрежението $V_{out}(B_x)$.

Тъй като в основата на описания сензорен механизъм е добре дефинирания и възпроизвдим ефект на Хол, следва да се очаква повторяемост на магниточувствителните характеристики на този еднопреходен транзистор. При това ролята на повърхността (скоростите на повърхностна рекомбинация) е сведена до минимум. Следователно новият магнитопреобразувател е с електрически управляема и възпроизвдима магниточувствителност.

Резултати

Образците са реализирани със стандартната планарно-епитаксиална технология. Подложката е от п- тип Si със специфично съпротивление $\rho = 7,5 \Omega \cdot cm$, ($n_d \sim 10^{15} cm^{-3}$) и дебелина около $300 \mu m$. Размерите на отворите в маската за създаване на p^+ - и n^+ - областите са $30 \mu m \times 150 \mu m$, като дълбоината им е $1,5 \mu m$. Магнитното поле е в диапазона $-2,5 T \leq B \leq +2,5 T$ и се генерира от електромагнит от тип на Вайс с програмируемо управление.

На фиг.2 е показано изменението на зависимостта $I_{B1,2}(V_{B1,2})$, под действие на магнитното поле, при отпушен емитерен преход. Вижда се, че характеристиките са от S- тип, като при едната полярност на полето B_x (с насоченост \otimes) се получава сгъстяване на фамилията волт-амперни криви и намаляване на напрежението, при което p^+ -п прехода се отпушва. При другата полярност на магнитното поле се получават противоположни резултати.

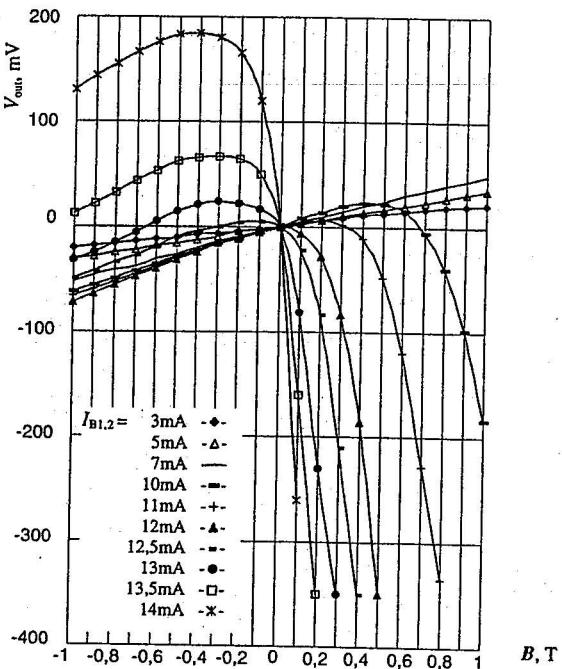


фиг.2 Магнитно управление на зависимостта $I_{B1,2}(V_{B1,2})$, при ток $I_E > 0$.

На фиг.3 е показана изходната характеристика $V_{out}(B_x)$, фиг.1, при различни стойности на захранващия ток $I_{B1,2}$. Изходният сигнал $V_{out}(B_x)$ се съмна между средната точка на тримера г и база B_3 . Когато емитерния p^+ -п переход е запущен, полученият изходен сигнал е линеен. Именно това е случаят, при който се генерира около половината от стойността на напрежението на Хол върху контакти B_3 и Е. Както се вижда от фиг.3 с нарастването на тока $I_{B1,2}$ наклонът на зависимостта $V_{out}(B_x)$ се увеличава пропорционално, т.е. магниточувствителността се обуславя на ефекта на Хол. При отпускане на емитерния переход и с увеличаване на инжекцията се наблюдава силно нарастване на проводимостта в областта Е - B_1 . Това се вижда от изходния сигнал $V_{out}(B_x)$ в четвърти квадрант, фиг.3. За стойностите на магнитното поле с насоченост \otimes , напрежението на Хол допълнително поляризира в права посока емитера Е, което води до рязко увеличаване на изхода $V_{out}(B_x)$. При това след определена стойност на магнитното поле, свързана с тока $I_{B1,2}$ сигналът $V_{out}(B_x)$ е линейна функция от индукцията B . Този резултат може да се интерпретира с факта, че резултиращото напрежение върху емитерния p^+ -п переход е по-голямо от височината на потенциалната бариера V_{bi} между p^+ - и п- слоевете. Когато $V_E > V_{bi}$ връзката между напрежението V_E и тока I_E на p^+ -п прехода е линейна [9]. Тъй като напрежението на Хол е линейна функция на полето B_x [6], сумирането му с напрежението V_E на право поляризирания емитерен p^+ -п преход води до пропорционално нарастване на изхода $V_{out}(B_x)$ от индукцията B .

Преобразователната ефективност на новия еднопреходен магнитотранзистор, съгласно получените резултати е висока. Например, от зависимостта на фиг.2 се вижда, че магниточувствителността S на сензора в диапазона $-0,2T \leq B \leq +0,2T$ е около $3mV/mT$ при захранващ ток $15,2mA$, и $S=1,8mV/mT$ при захранващ ток $I_{B1,2}=13,5mA$, фиг.3. Нелинейността NL на изходния сигнал $V_{out}(B_x)$ при $-0,2T \leq B \leq +0,2T$ е около 1%. Температурният

кофициент на магниточувствителността е $T.C. = -0,4\%/\text{ }^{\circ}\text{C}$. Експериментално е установено, че ролята на скоростта на повърхностна рекомбинация не е определяща за работата на сензора. Използваната схема от фиг.1, включваща тримера г неутрализира влиянието на магниторезистивната компонента $MR \sim B^2$ върху изходния сигнал $V_{\text{out}}(B_x)$, както и нулира неминуемия офсет на изхода.



фиг.3 Зависимост на изходния сигнал V_{out} от магнитното поле B_x , при различни стойности на захранващия ток $I_{B1,2}$.

Изводи

Установено е съответствие между предложенияя принцип на действие на новия еднопреходен магнитотранзистор и получените резултати.

Магниточувствителността е полярна и е по-висока в сравнение със съществуващите образци от този клас микросензори.

Новият преобразувател за магнитно поле може да се използва в различни системи, реализиращи: ключови устройства; в схемите за управление (регулатор) на DC двигатели; в магнитометрията за измерване посоката и

силата на магнитното поле; в безконтактната автоматика; безконтактните електромери и сонди и др.

Литература

1. Л. С. Гасанов, Кремниевый однопереходный магнетотранзистор, ФТП, 12 (5) (1978) 990-993.
2. J. Brini, Semiconductors: critical exponents of the unijunction transistor transition, *J. Phys. Lett.*, 41 (1980) L-87 – 90.
3. S. L. Agrawal and R. Swami, Theoretical analysis of a magnetounijunction transistor, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 14 (1981) 283-291.
4. J. Brini and G. Kamarinos, The unijunction transistor used a high sensitivity magnetic sensor, *Sensors and Actuators*, 2 (1981/82) 149-154.
5. В. И. Стафеев, Э. И. Каракушан, Магнетодиоды, Наука, Москва, 1975, Гл. 9 и цитираната към нея литература.
6. Ch. S. Roumenin, Solid State Magnetic Sensors, ELSEVIER, Amsterdam, 1994, Ch. 6.
7. Ч. С. Руменин, Датчик на Хол, Пат. № 41974/06.05.1986г.
8. Ch. S. Roumenin, Parallel-field Hall microsensors – An overview, *Sensors and Actuators*, A 30 (1992) 77-87.
9. S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, Wiley-Interscience, New York, 1981.