

Модулация на инжекционния потенциал
в един клас латерални магнитотранзистори

инж. Цветелина Петрова Ценева,
Технически Университет-София, ФЕТТ

Abstract. The features of the novel magnetoinjection mode of operation in a parallel-field dual-collector drift-aided magnetotransistor, which electric field in the base region has been created by the use of a substrate contact, has been studied experimentally and analysed. These magnetotransistor sensors are characterized by higher and electric-controlled transduction efficiency. This fact together with the substantial advantages of the new mode of operation with „floating“ collectors (low-resistance output, high noise-immunity, low requirements as to fabrication technology and biasing circuitry, etc.) increases the application of the device of this class.

1. Въведение. Голямото разнобразие от твърдотелни преобразуватели на магнитно поле е следствие от развитието на микроелектронните технологии и от все по-големите изисквания, поставяни към тях от съвременната контролно-измервателна техника [1,2]. Сред тях особено място заемат биполярните магнитотранзистори (БМТ) поради уникалните характеристики и възможности, които притежават: висока преобразувателна ефективност и разделителна способност, линейност на изхода, добри честотни характеристики, голямо отношение сигнал/шум, микронни размери, възможности за интегрална реализация, измерване на трите ортоонални векторни компонента, изграждане на мултисензори за магнитно поле, температура и светлина, и др. [2-5]. Ето защо те са обект на подчертан научен и индустриален интерес. Изследователската дейност е насочена към усъвършенстване на съществуващите и създаване на нови приборни конструкции на БМТ; изследване и подобряване на параметрите им; анализ, симулация и оптимизация на принципа им на действие и др. [2,3].

Пример в това отношение е неотдавна предложеният и експериментално изследван нов работен режим на магнитотранзисторните сензори, при който отсъства традиционното обратно поляризиране на колекторните преходи [6]. В настоящия доклад са анализирани особеностите на този режим в една оригинална разновидност диференциален БМТ с паралелно-полева активизация и електрично поле в базовата област.

2. Принцип на действие на изследвания БМТ. На фиг.1 са представени напречното сечение и експерименталната схема на включване на изследвания латерален $p^+ - n - p^+$ магнитотранзистор. Вижда се характерното за новия режим отсъствие на колекторно захранване. Към емитера и контакта към подложката са включени два токоизточника, задаващи стабилни по стойност токове I_{EB} и I_{SB} . Чрез тримера r се нулира неминуемо съществуващия в този клас прибори офсет.

Използваният оригинален режим на работа се характеризира с генериране на инжекционни потенциали $V_{C_{1,inj}}$ от емитерния ток върху „плаващите“ колектори [6]. При положение, че веригата между C_1 и C_2 е отворена, прилагането на магнитно поле \mathbf{B} води до възникване на междуколекторно напрежение:

$$\Delta V_{C_{1,2,inj}}(\mathbf{B}) = V_{C_1,inj}(\mathbf{B}) - V_{C_2,inj}(\mathbf{B}).$$

То е резултат от полярната и линейна промяна $\Delta V_{C,inj}(\mathbf{B})$ потенциалите $V_{C,inj}(0)$ [6]:

$$\Delta V_{C_{1,2,inj}}(\mathbf{B}) = \Delta V_{C_1,inj}(\mathbf{B}) + \Delta V_{C_2,inj}(\mathbf{B}).$$

Протичащият между непосредствено свързаните колектори ток $\Delta I_{C_{1,2,inj}} = \Delta V_{C_{1,2,inj}} / (r_o + R_L)$ се използва като полезен сигнал за посоката и стойността на магнитното поле \mathbf{B} . С r_o и R_L са означени еквивалентните вътрешно и товарно съпротивления [6].

Характерна особеност на изследвания магнитотранзистор с електрическо поле в базата е оригиналния начин, по който то се създава - а именно чрез използването на контакта към подложката S като трети базов контакт. Действието на тока от основни носители I_{SB} е аналогично на това на междубазовия ток в конвенционалните транзистори от този т. нар. тип „drift-aided“ БМТ [2]. Протичането му води до увеличаване на инжекционните потенциали $V_{C,inj}(0)$ и (по подобие с еднопреходните БМТ) до появата във волт-амперната характеристика $I_{EB}(V_{EB})$ на участък с отрицателно диференциално съпротивление при ток $I_{SB} \neq 0$ [7]. При прилагане на външно магнитно поле \mathbf{B} , вследствие на протичането на I_{SB} се усилва „индирайктната“ дефлексия на инжеектираните от емитера неосновни носители. Ъгълът, на който те се отклоняват се увеличава с $\theta_{H,maj} = \mu_n B$, в сравнение със случая, когато $I_{SB} = 0$ [2]. В резултат магнитната модулация на инжекционните потенциали, респективно междуколекторния ток $\Delta I_{C_{1,2,inj}}$ се увеличават, т.е. постига се електрическо управление на магниточувствителността на прибора.

3. Образци и експериментални резултати. Изследваните образци са реализирани чрез стандартна планарна технология върху $n\text{-Si}$ пластини с дебелина около 300\AA , специфично съпротивление

~7.5 Ωcm ($N_D \sim 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) и кристалографска ориентация <111>. Силнолегиряните p^+ - и n^+ - области (фиг.1), формирани чрез дифузия са с дълбочина 2 μm и примесна концентрация ~ 10^{19} cm^{-3} . Размерите на правоъгълните емитор E , колектори C_1 и C_2 , и базови контакти B_1 и B_2 са $30 \times 150 \mu\text{m}^2$ (по маска). Разстоянията между емитора E и C_1 (респ. C_2), както и между колекторите и съседните им базови контакти съставляват 50μm. Омичният контакт към гърба на подложката S е формиран чрез евтектика. Структурите са монтирани в подходящи немагнитни корпуси.

Експериментите са проведени при използването на съвременна контролно-измервателна апаратура, като постоянното магнитно поле се генерира от електромагнит от тип на Вайс (с водно охлаждане), захранван от регулируем токоизточник.

Подробно е изследвана зависимостта на междуколекторния ток $\Delta I_{C1,2,inj}$ от магнитната индукция B при различни стойности на токовете $I_{EB} = (1 \div 10) \text{ mA}$ и $I_{SB} = (0 \div 4) \text{ mA}$. На фиг.2 са представени три семейства преобразувателни характеристики $\Delta I_{C1,2,inj}(B)$ за $I_{EB} = 1; 4$ и 10 mA и $I_{SB} = 0; 1; 2; 3$ и 4 mA . Резултатите показват, че зависимостта е полярна и линейна в целия интервал магнитни полета $-1.4 \text{ T} \leq B \leq +1.4 \text{ T}$, като токовете I_{EB} и I_{SB} влияят върху нейния наклон $\gamma = S_A^n$, но не и върху вида ѝ.

На фиг.3 е синтезирана цялата експериментално получена информация за абсолютната токова магниточувствителност S_A^n . Вижда се, че при $I_{SB} = \text{const}$ параметърът S_A^n се повишава с увеличение на I_{EB} , като тази зависимост е най-силно изразена при по-големи токове I_{SB} . Резултатите за $S_A^n(I_{EB})$ при $I_{SB} = 0$ корелират с тези от [6], където е изследван аналогичен образец без ускоряващо поле в базата. При константен ток I_{EB} , (фиг.3), се установява и повишаване на магниточувствителността с увеличаване на I_{SB} . Зависимостта $S_A^n(I_{SB})/I_{EB} = \text{const}$ при ниски нива на инжекция ($I_{EB} < 1 \text{ mA}$) в първо приближение е линейна. При по-големи емитерни токове се наблюдава по-силно нарастващо на магниточувствителността в началния участък на характеристиките ($I_{SB} < 1 \text{ mA}$) с последваща тенденция към намаляване стръмността на кривите, като тази нелинейност е все по-силно изразена при увеличаване на I_{EB} . Установява се, че в интервала $2 \text{ mA} \leq I_{SB} \leq 4 \text{ mA}$ зависимостите $S_A^n(I_{SB})$ могат да се апроксимират с прости линии с приблизително еднакъв наклон. На практика това означава, че при работа в този участък магниточувствителността може да се модулира по линеен закон посредством I_{SB} , независимо от тока I_{EB} .

Наблюдаваната сложна зависимост на преобразувателната ефективност от работния режим, фиг.3, е резултат от синергетичното действие на няколко сензорни ефекта: Лоренцовото отклонение,

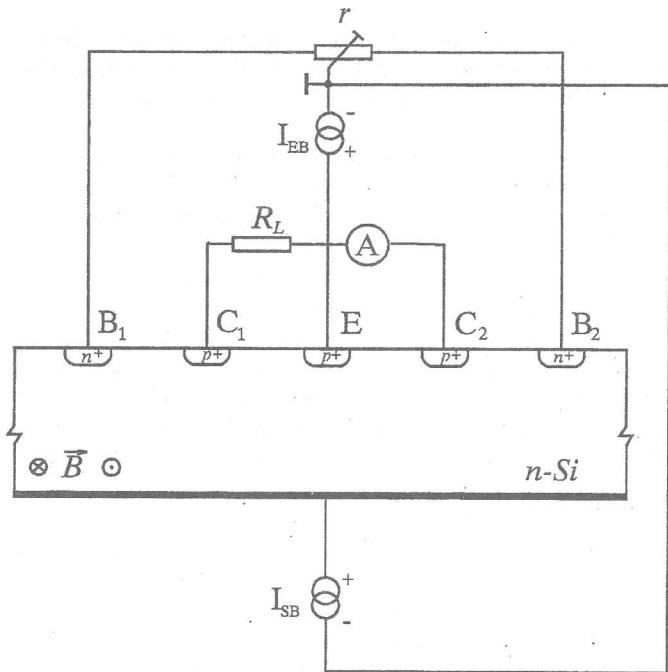
ефекта на Хол в базовата област, магниторезистивния ефект и др.[8]. Основната причина за нелинейността на характеристиките $S_A^D(I_{SB})$ при $I_{EB} > 1\text{mA}$ е редуцирането на дрейфовата скорост v_p на неосновните носители в условията на неравновесна биполярна проводимост в близките до колекторите базови области.

4. **Заключение.** В отличие с практиката на водещите лаборатории, където подобряването на параметрите на приборите, в това число и на микросензорите се осъществява чрез използване на специални и високотехнологични операции, в предложенията от нас подход повишаването на магниточувствителността и разширяване на функционалните възможности на латералните БМТ е осъществено без каквото и да е усложняване на процеса на изготвяне или добавяне на нови скъпоструващи процедури. По наше мнение това е съществено придимство, тъй като целта се постига чрез разширяване на обхвата на традиционните режими и оригинално използване на вече съществуващи приборни конструкции. За разлика от редица модификации латерални „drift-aided“ БМТ, при които за създаване на електричното поле в базата се формират допълнителни p^+ - и n^+ -области или джобове, използваната от нас приборна конструкция се отличава със своята простота, което е предпоставка за по-добро качество и надежност на дискретните БМТ. Характерно за предложенията подход е и редуцирането на паразитните термомагнитни и термоелектрични ефекти. Това е резултат от по-хомогенното температурно разпределение, тъй като токът, генериращ полето на Хол пропада в обема на прибора, а не в приповърхностната област. Режимът с „плаващи“ колектори показва и в новите условия своята ефективност като сензорен механизъм и е основа за разнообразни практически приложения.

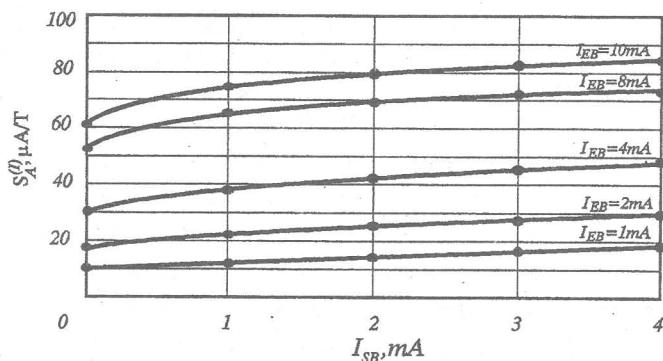
Изследванията са проведени в „Лабораторията по сензори и интелигентни сензорни системи“ на ИУСИ-БАН и са финансиирани от фонд „Научни изследвания“ при МОНТ.

Литература

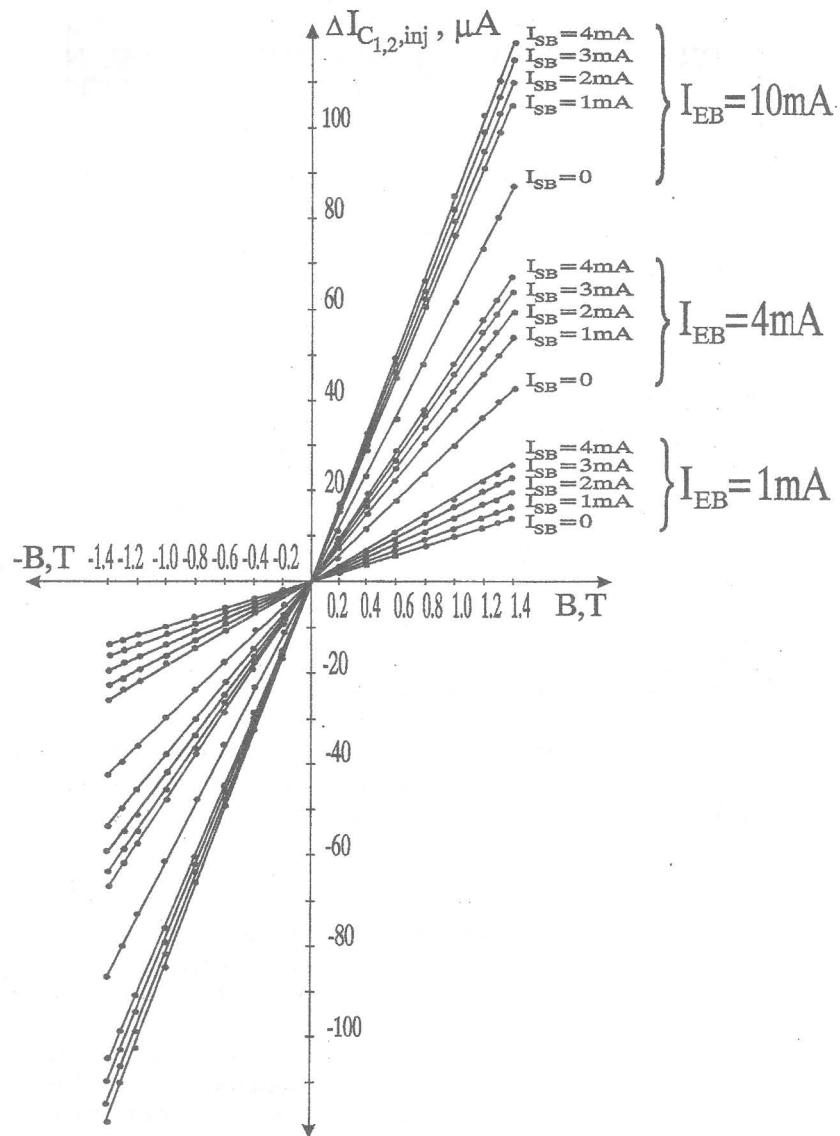
1. Таков, Т., В. Минчев, Полупроводникови датчици, Техника, София, 1986.
2. Roumenin, Ch. S., Solid State Magnetic Sensors, ELSEVIER, Amsterdam, 1994.
3. Baltes, H. P., R. S. Popovic, Proc. IEEE, 74(1986) 1107-1132.
4. Roumenin, Ch. S., Sensors and Actuators, A, 24(1990) 83-105.
5. Roumenin, Ch. S., Sensors and Actuators, A, 46-47(1995) 273-279.
6. Takov, T., Ch. S. Roumenin, Tz. Tzeneva, P. Nikolova, D. Dojchev, B. Sokolov, Compt. redus de l'Acad. Bulg. Sc., 49(12) (1996), (под печат).
7. Roumenin, Ch. S., Sensors and Actuators, 14(1988) 177-190.
8. Руменин, Ч. С., Б. Божков, Год. на ВУЗ (Техн. Физика), 22(2)(1985) 33-48.



фиг.1 Напречно сечение и схема на вклъчване на изследвания латерален магнитотранзистор



фиг.3. Зависимост на абсолютната токова магниточувствителност $S_A^{(I)}$ от стойностите на токовете I_{sb} и I_{eb} в режим с "плаващи" колектори



фиг.2. Зависимост на междуколекторния ток $\Delta I_{C1,2,\text{inj}}$ от магнитната индукция B при различни стойности на токовете I_{EB} и I_{SB} .