

## Паралелно-полеви магнитотранзистор с "плаващи" колектори

н.с. Дойчо Димитров Дойчев

Институт по управление и системни изследвания - БАН

*A new operating mode of bipolar magnetotransistors (BMT) is suggested and investigated experimentaly. It is achieved without reverse biasing of the collector junctions and by using the current between the two "floating" collectors as an information signal. The output current is a linear and polar function of the magnetic field.*

**Въведение.** До настоящия момент е създадена широка гама магниточувствителни сензори, обхващаща различни по своя принцип на действие прибори и устройства. В частност добре известните преобразуватели на магнитно поле - магниторезистори, магнитодиоди, Хол-пластини, магнитотранзистори (МТ), токово-доменни магнитометри и др. регистрират полета с подходящи за индустрията сензорни характеристики в милитесловия диапазон. Развитието на МТ е типичен пример на синтеза на модерните микроелектронни технологии с повишенните изисквания на контролно-измервателната техника. Независимо от безспорния успех на МТ, все още не са решени задоволително проблемите свързани с офсета, неговата температурна зависимост, температурния коефициент на магниточувствителността, шума и др. [1-4].

В настоящата статия са представени експерименталните резултати от изследването на нов начин за работа на диференциалните магнитотранзисторни сензори. Той се характеризира с полярно управление чрез магнитно поле на създадени от емитерния ток върху колекторите инжекционни потенциали. Информационен сигнал за стойността и посоката на магнитното поле е токът при непосредствено свързване на колекторите.

Подробен анализ на новия режим на работа на диференциалния магнитотранзистор е направен в [5]. Тук ще споменем само главните му особености:

- работи се без традиционния източник  $E_{CC}$ , който поляризира в обратна посока колекторните преходи;
- липсват товарните резистори на колекторите, поради което те са наречени "плаващи";
- при прилагане на магнитно поле между двата колектора се появява напрежение поради промяна на инжекционните им потенциали [5]:

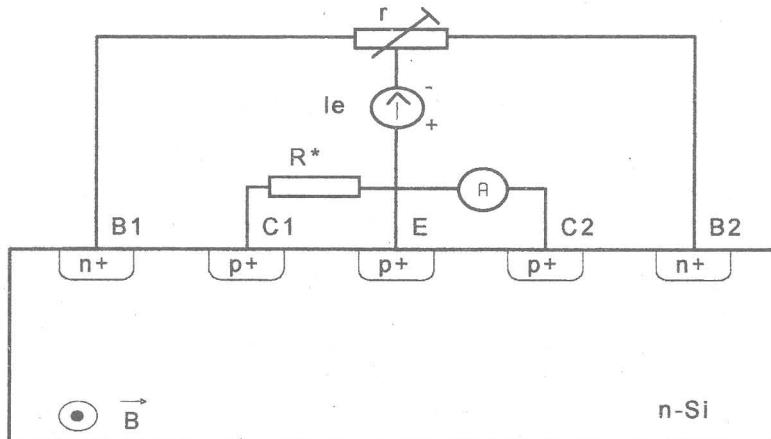
$$V_{C1,2inj}(B) = V_{C1,inj}(B) + V_{C2,inj}(B) \quad (1)$$

- при свързване на колекторите помежду им протича ток, който е линейно и полярно зависим от приложеното магнитно поле [5]:

$$I_{C1,2inj}(B) = V_{C1,2inj}(B)/(r_0 + R^*) \quad (2)$$

където  $r_0$  е разпределеното съпротивление на базовата област, а  $R^*$  е сумарното съпротивление във външната верига.

*Експериментални резултати.* Изследвани са експериментално характеристиките на латерален  $p^+$ -n-p<sup>+</sup> биполярен магнитотранзистор (БМТ), напречното сечение и схемата на свързване на който са показани на фиг.1.

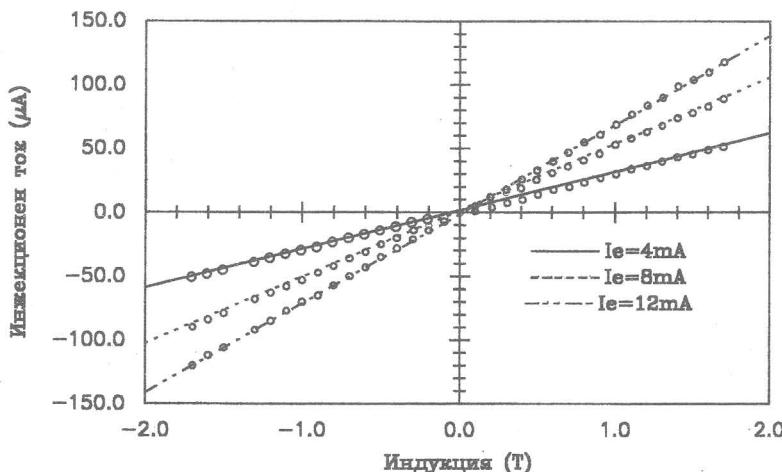


Фиг.1

Образците са реализирани чрез стандартна планарна технология върху n-Si пластини с дебелина 300 $\mu m$ , специфично съпротивление 7.5 $\Omega \cdot cm$  ( $N_D \approx 10^{15} cm^{-3}$ ) и кристалографска ориентация (111). Някои технологични и конструктивни особености са следните: примесната концентрация на силно легиранияте p+ и n+ бласти е около  $10^{19} cm^{-3}$ , а дълбочината им е около 2 $\mu m$ , размерите на правоъгълните емитер E и колекторите C1 и C2, и базовите контакти B1 и B2 са  $30 \times 150 \mu m$  (по маска), като базовата ширина  $|EC| = W_B$  съставлява 50 $\mu m$ . Чиповете са монтирани в подходящи немагнитни корпуси.

Характерна особеност на схемата на свързване на диференциалния БМТ (фиг.1) е отсъствието на традиционния източник на захранване, поляризиращ в обратна посока двата p+-n колекторни прехода. Използва се само един токоизточник, включващ емитерния p+-n преход в права посока. Експерименталните резултати са получени чрез използването на съвременна измервателна апаратура. Постоянното магнитно поле  $B$  в интервала  $-2T \leq B \leq +2T$  се създава от електромагнит от тип на Вайс (с водно охлаждане на бобините), захранван с регулируем токоизточник. Определянето на температурния коефициент на магниточувствителността е съществено със соленоид, в който се разполагат изследваните образци, генериращ магнитно поле в диапазона  $-0.05T \leq B \leq +0.05T$ .

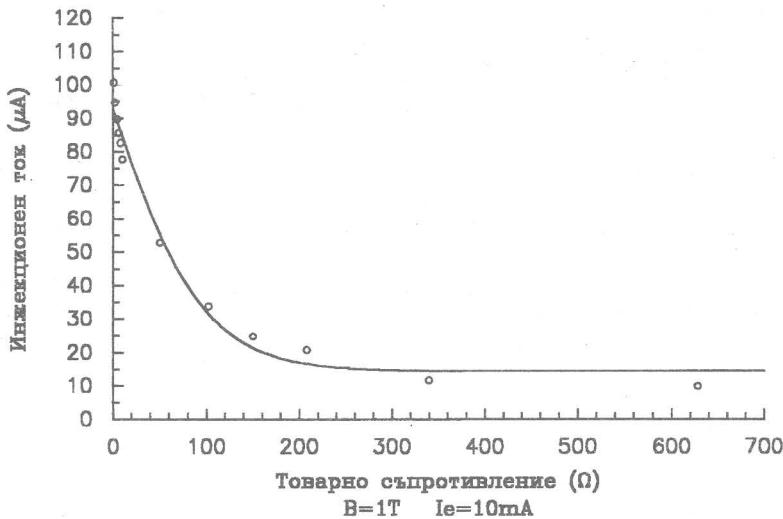
Проведените експерименти еднозначно показват, че функцията  $I_{C1,2inj}(B)$  е полярна и линейна от индукцията  $B$ . Фиг.2 илюстрира линейната зависимост на изходния сигнал  $I_{C1,2ihj}(B)$  на сензора от магнитното поле.



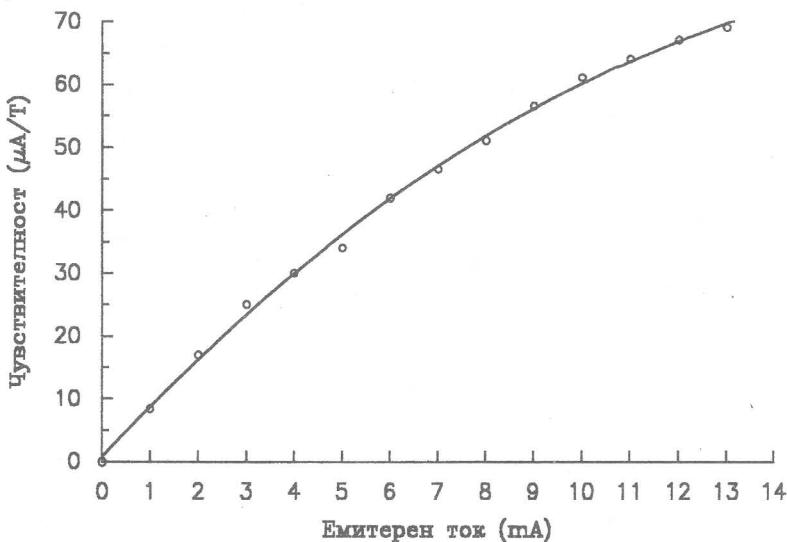
Фиг.2

На фиг.3 са представени резултатите за влиянието на товарния резистор  $R^*$  върху полезния сигнал. Констатира се съществено редуциране на тока  $I_{C1,2inj}(B)$  от стойността на  $R^*$ . На фиг.4 е показана зависимостта на абсолютната токова магниточувствителност SA от захранващия ток  $I_e$ . До стойности  $I_e=4\text{mA}$  параметърът SA монотонно нараства, като при  $I_e=10\text{mA}$  се наблюдава тенденция към насищане.

Получените данни са една предпоставка за оптимизация на работния режим на магнитосензора за конкретни приложения.



Фиг.3



Фиг. 4

Проведени са изследвания за определяне на температурния коефициент Т.С. на магниточувствителността на БМТ в диапазон  $10 \leq T \leq 90^{\circ}\text{C}$ , функциониращ в новия магнитоинжекционен режим. Деградацията на преобразувателната ефективност е  $0.4\%/\text{C}$ . Неочаквано беше установено експериментално, че в изследвания температурен интервал и в рамките на експерименталната грешка отсъства температурен дрейф на офсета. Освен това при еmitterен ток  $I_{eb} = \text{const}$  напрежението  $V_{eb}$  е линейна функция от температурата  $T$ , като например при  $I_{eb} = 2\text{mA}$  коефициентът  $K_{eb}$  съставлява  $-1.28 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ , аналогично на резултатите от [6].

**Дискусия.** Предложеният и експериментално доказан нов начин на работа на магнитотранзисторите, в отличие от конвенционалния способ на включване на този клас сензори, има следните съществени предимства: отсъства колекторно захранване; изходът е нискоомен(по ток), което повишава шумоустойчивостта на полезнния сигнал при предаването му на разстояние; отсъствието на високи по стойност колекторни резистори намалява допълнителния топлинен шум в работния честотен диапазон; не е съществено качеството на трите p+-n прехода в структурата от фиг.1, тъй като всички те са право поляризириани и се опростява технологичната реализация на приборите; температурно стабилен офсет в широк температурен диапазон; и запазване на мултисензорните свойства на магнитотранзисторите за едновременно измерване на магнитно поле и температура.

Нерегистрираният от нас температурен дрейф на офсета("нулата") в новия работен режим може да се обясни с отсъствието на какъвто и да е ток при поле  $B=0$  между непосредствено свързаните колектори C1 и C2 (обратните колекторни токове са с противоположна посока). При класическото включване на БМТ, колкото е по-голям токът в двата обратнополяризириани колектора при  $B=0$ , толкова е по-съществен температурния дрейф на изходния сигнал. Освен това температурното поведение на двата колекторни прехода е независимо, докато в нашия случай токът  $I_{c1,2}$  е общ за C1 и C2. Съществува и една друга особеност на предложения работен режим. По принципът външното магнитно поле  $B$  нарушива електрическата и топлинната симетрия в класическите БМТ, което води до генериране на паразитен термосигнал, неотличим от магниточувствителния. В микросензора от фиг.1 няма условия за топлинна асиметрия, създадена от колекторните токове, просто изходният ток е един и същ за C1 и C2.

## Литература

1. Таков, Т., В. Минчев, Полупроводникови датчици, Техника, София , 1986.

2. Roumenin, Ch. S., Solid State Magnetic Sensors, Elsevier, Amsterdam, 1994.
3. Roumenin, Ch. S., Sensors and Actuators, A 24, 1990, 83.
4. Baltes, H.P., R.S.Popovic, Proc.IEEE, 74, 1986,1107.
5. Таков, Т., Ч. Руменин, Ц. Ценева, П. Николова, Д. Дойчев, Б. Соколов, Нов режим на работа на магнитотранзисторни сензори, Доклади на БАН, т.49, София, 1996.
6. Roumenin, Ch.S., P.T.Kostov, Sensors and Actuators, 8, 1985, 307.