

**Выводы**

Упругая деформация базы простого однопереходного тензотранзистора может изменять значения напряжений переключения благодаря эффектам модуляции инжекции и отклонения, соответственно.

Основным определителем тензочувствительности однопереходного тензотранзистора с управляющим *p-n*-переходом является эффект отклонения и обусловленная им деформационная зависимость коэффициента переноса составного биполярного транзистора. Тензочувствительность однопереходного тензотранзистора с управляющим *p-n*-переходом более чем на порядок выше аналогичной характеристики простого однопереходного тензотранзистора.

Предложенный преобразователь давления с частотным выходом представляет практический интерес с точки зрения высокой чувствительности, возможности работы в условиях повышенного уровня электромагнитных помех и относительно низкой стоимости.

**ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ**

1. Викулин И. М., Викулина Л. Ф., Стафеев В. И. Гальваномагнитные приборы.— М.: Радио и связь, 1983.
2. Бойко И. И., Жадько И. П., Козловский С. И., Романов В. А. Оптимизация параметров чувствительного элемента на основе поперечной тензоэдс в кремниевых преобразователях давления // В сб.: Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.— Киев: Наукова думка, 1993.— Вып. 27.— С. 94—98.
3. Бойко И. И., Романов В. А. Электрические и фотоэлектрические свойства полупроводников с анизотропной электропроводностью // ФТП.— 1977.— Т. 11, № 5.— С. 817—835.
4. Baltes H. P., Popovic R. S. Integrated semiconductor magnetic field sensors // Proc. IEEE Trans.— 1986.— Vol. 74, N 8.— P. 1107—1132.
5. Бабичев Г. Г., Козловский С. И., Романов В. А., Шаран Н. Н. Кремниевый однопереходный тензотранзистор // ЖТФ.— 2002.— Т. 47, № 4.— С. 66—71.
6. Babichev G. G., Kozlovskiy S. I., Romanov V. O., Sharan M. M. Silicon strain sensitive unijunction transistor with controlling *p-n*-junction //Sensors and Actuators A.— 2002.— Vol. 100, N 1—2.— P. 236—243.

Д. т. н. Л. Ф. ВИКУЛИНА, В. А. МИНГАЛЁВ

Украина, г. Одесса, Академия связи Украины, СКБ «Молния»  
E-mail: phys@usat.ukrtel.net

Дата поступления в редакцию  
24.03 2004 г.

Оппонент д. ф.-м. н. Ш. Д. КУРМАШЕВ  
(ОНУ им. И. И. Мечникова, г. Одесса)

**МОСТОВЫЕ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЕНСОРЫ**

*Чувствительность сенсоров на порядок выше известных за счет того, что все элементы моста реагируют на действие магнитного поля.*

Магниточувствительные транзисторы широко применяются в измерительной технике и автоматике [1, 2]. Простейшим транзистором такого типа является одноколлекторный биполярный транзистор (ОМТ) в двухполюсном включении (рис. 1). В отсутствие магнитного поля инжектированные из эмиттера дырки движутся по кратчайшей траектории к коллектору (прямая  $O$ ). Магнитное поле указанного направления отклоняет инжектированные дырки в сторону *s*-области с высокой скоростью рекомбинации на поверх-

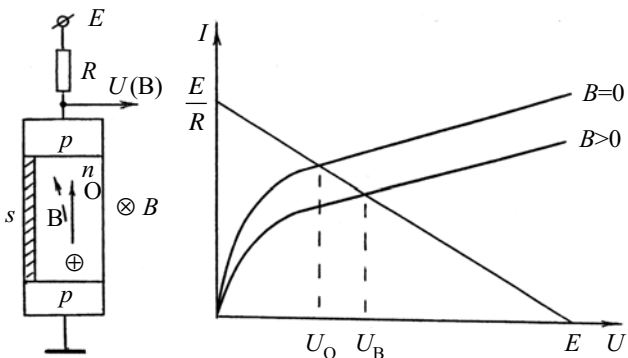


Рис. 1. Одноколлекторный магнитотранзистор и его выходные характеристики

ности *n*-базы (пунктир  $B$ ), что уменьшает количество доходящих до *p*-коллектора дырок и его ток, а соответственно, и падение напряжения на нагрузочном резисторе. Выходной сигнал  $\Delta U = U_B - U_0$  растет с увеличением индукции магнитного поля  $B$ .

Если вместо нагрузочного резистора использовать второй ОМТ с противоположным расположением *s*-области (рис. 2), то чувствительность сенсора возрастает более чем в 2 раза — вследствие того, что одновременно с ростом сопротивления одного ОМТ в магнитном поле уменьшается сопротивление другого ОМТ.

Добавив в схему еще два параллельно включенных ОМТ, получим измерительный мост, достоинством которого является, во-первых, то, что выходной сиг-

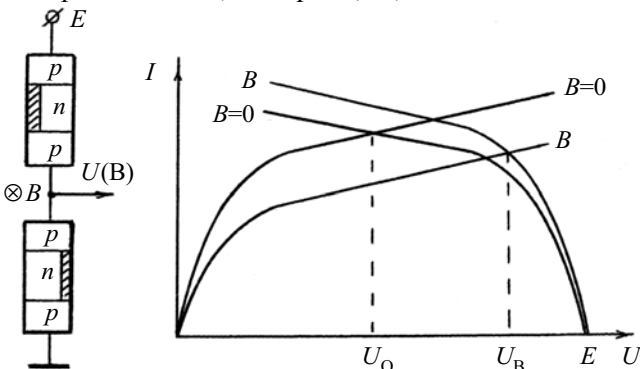


Рис. 2. Схема включения двух магнитотранзисторов и их характеристики

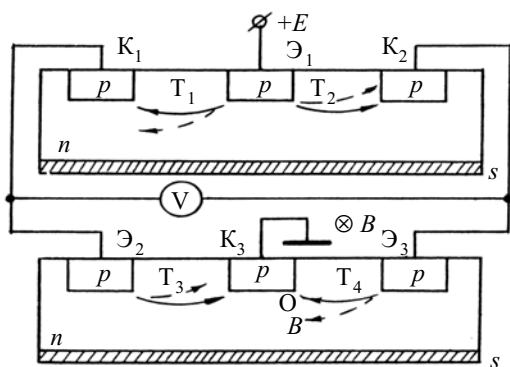


Рис. 3. Магниточувствительный мост из четырех одноколлекторных магнитотранзисторов

нал в диагонали моста при  $B=0$  равен нулю, и, во-вторых, отсутствует дрейф нуля от температуры.

Практическая реализация такого сенсора показана на рис. 3. Каждая пара ОМТ изготовлена в отдельной пластине  $n$ -полупроводника, причем в верхней паре общим для двух ОМТ является  $p$ -эмиттер ( $\mathcal{E}$ ), а в нижней —  $p$ -коллектор ( $K$ ). В отсутствие магнитного поля траектории движения инжектированных дырок (сплошные линии при  $B=0$ ), токи и сопротивления всех четырех ОМТ равны, и выходной сигнал  $U=0$ . При включении магнитного поля инжектированные из эмиттеров дырки в транзисторах  $T_2$  и  $T_3$  отклоняются от  $s$ -области в сторону коллекторов (пунктирные траектории), и их сопротивление уменьшается, а в  $T_1$  и  $T_4$ , наоборот, дырки отклоняются к  $s$ -области, и их сопротивление увеличивается. Происходит разбаланс моста, и  $U$  растет с увеличением  $B$ .

Опытные образцы сенсоров изготавливались из высокоомного кремния с удельным сопротивлением  $20 \text{ кОм}\cdot\text{см}$  как материала, имеющего наибольшее значение длины диффузионного смещения инжектированных носителей заряда. Размеры эмиттеров и коллекторов  $0,6 \times 0,6 \text{ мм}$ , расстояние между ними  $0,8 \text{ мм}$ , технология создания электродов — обычная для кремниевых полупроводников. При напряжении питания моста  $E=30 \text{ В}$  и потребляемом токе  $1,3 \text{ мА}$  магниточувствительность  $\gamma=U/(IB)$  достигает  $3 \cdot 10^5 \text{ В}/(\text{А}\cdot\text{Тл})$ , что на порядок выше, чем у одиночных ОМТ [1].

Аналогичный измерительный мост можно реализовать и из двух двухколлекторных магнитотранзисторов (ДМТ) с противоположным типом проводимости, показанных на рис. 4. Принцип действия каждого ДМТ, например  $p-n-p$ -типа, заключается в том, что в отсутствие магнитного поля инжектированные из эмиттера дырки распределяются поровну между

коллекторами, их токи равны и разность потенциалов между коллекторами  $U=0$ . Магнитное поле отклоняет дырки в сторону одного из коллекторов, его ток увеличивается, а второго — уменьшается. Если в цепях коллекторов включены нагрузочные резисторы, то  $U$  растет с увеличением  $B$ .

Включение вместо нагрузочных резисторов второго ДМТ  $n-p-n$ -типа также позволяет увеличить магниточувствительность и устранить дрейф нуля моста от температуры. В этом случае при указанном направлении магнитной индукции токи коллекторов  $K_2$  увеличиваются, а коллекторов  $K_1$  — уменьшаются, и напряжение в диагонали моста  $U$  также растет с увеличением  $B$ . При смене направления  $B$  меняется и знак  $U$ .

Экспериментальные образцы ДМТ  $p-n-p$ - и  $n-p-n$ -типа изготавливались из кремния с удельным сопротивлением  $200 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , длина коллекторов  $200 \text{ мкм}$ , расстояние между ними  $150 \text{ мкм}$ , эмиттер  $30 \times 30 \text{ мкм}$ . При напряжении питания  $E=90 \text{ В}$ , токе моста  $5 \text{ мА}$  магниточувствительность достигает  $10^6 \text{ В}/(\text{А}\cdot\text{Тл})$ , что на порядок больше, чем у датчика на одном ДМТ.

\*\*\*

Таким образом, созданы мостовые конструкции полупроводниковых магниточувствительных сенсоров, имеющие на порядок большую чувствительность за счет того, что все четыре элемента моста реагируют на действие внешнего магнитного поля.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Викулина Л. Ф. Магниточувствительные транзисторы // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 1998.— № 1.— С. 25—27.
2. Викулина Л. Ф., Глауберман М. А. Физика сенсоров температуры и магнитного поля.— Одесса: Маяк, 2000.

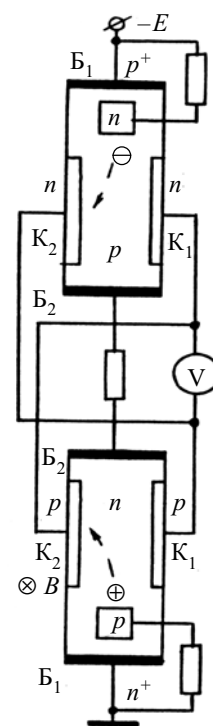


Рис. 4. Мостовая схема из двух двухколлекторных магнитотранзисторов с противоположной проводимостью