

ла  $U_x$ . Холловское поле отклоняет инжектированные носители в ту же сторону, что и сила Лоренца. Это увеличивает магниточувствительность ДМТ, но линейность зависимости  $U = f(B, E)$  сохраняется, т. к.  $U_x$  пропорциональна  $BE$ . Экспериментальные образцы ДМТ были изготовлены из германия, кремния и антимонида индия. Линейная зависимость  $U(IBE)$  хорошо подтверждается для слабых магнитных полей и низких уровней инжекции. В сильных магнитных полях действие эффекта перераспределения носителей между коллекторами другое (все носители идут в один коллектор), и магниточувствительность уменьшается. С ростом уровня инжекции увеличение концентрации инжектированных носителей вблизи эмиттера приводит к уменьшению сопротивления этой области и уменьшению  $E$ , поэтому зависимость  $U(I_x)$  становится слабее.

На рис. 3, б приведена типичная зависимость  $U(B)$  для кремниевого ДМТ при различных температурах. (Транзисторы изготовлены из  $n$ -кремния,  $\rho=200$  Ом·см,  $a=75$  мк,  $b=30$  мк, длина коллекторов 200 мк.) Поскольку время жизни неосновных носителей в кремнии с увеличением температуры растет, выходное напряжение ДМТ [2, 3] уменьшается.

Совместное действие указанных выше физических эффектов в базе ДМТ (изменение эффективной

длины базы, перераспределение инжектированных носителей между коллекторами и эдс Холла) обеспечивает достижение магниточувствительности  $5 \cdot 10^5$  В/(А·Тл), что в 5–10 раз выше чувствительности одноколлекторного МТ. Следовательно, ДМТ не является простой суммой двух одноколлекторных МТ, и его следует рассматривать как самостоятельный прибор.

Магнитотранзисторы находят широкое применение в качестве бесконтактных магнитоуправляемых переключателей тока. На их основе создаются бесколлекторные электродвигатели постоянного тока, устройства синхронизации скорости вращения электродвигателей, схемы электронного зажигания автомобилей, безындукционные головки считывания магнитных записей и множество других устройств.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. Полупроводниковые приборы. — М.: Высш. шк., 1987.
2. Викулина Л. Ф., Кладова Э. Магниточувствительные свойства латеральных транзисторов // Радиотехника и электроника. — 1985. — Т. 30, № 8. — С. 1668–1670.
3. Викулина Л. Ф., Козел В. В. Чувствительность двухколлекторных магнитотранзисторов // Радиотехника и электроника. — 1985. — Т. 30, № 4. — С. 824–826.

К. ф.-м. и Л. Ф. ВИКУЛИНА

Украина, г. Одесса

Дата поступления в редакцию  
12.12.1997 г.

Оппонент к. т. н. Б. С. КОЛОСНИЦЫН

## ПОЛЕВЫЕ МАГНИТОТРАНЗИСТОРЫ

*Описаны конструкции транзисторов с магниточувствительностью, на один-два порядка превышающей чувствительность датчика Холла из аналогичного материала.*

*The transistors construction with magneto-sensitivity, that is on one or two orders higher than Hall generator sensitivity from the analogous material have been outlined.*

Датчик Холла является одним из первых типов полупроводниковых элементов, получивших практическое применение. Он представляет собой длинную полупроводниковую пластину с токовыми контактами на концах и двумя холловскими электродами, расположенными с двух сторон пластины в перпендикулярном направлении.

Для увеличения чувствительности датчиков Холла необходимо уменьшать их толщину [1, с. 5]. Однако на этом пути существуют ограничения, обусловленные как технологическими проблемами получения тонких образцов, так и тем, что при малых толщинах растет рассеивание носителей заряда на поверхности, что приводит к снижению их подвиж-

ности. Эти трудности могут быть уменьшены применением полевого эффекта для изменения толщины токопроводящей области полупроводника [2]. Полевой магнитотранзистор ПМТ отличается от обычного лишь тем, что в его канале имеются дополнительные боковые омические контакты для вывода эдс Холла.

Недостатком ПМТ является технологическая сложность изготовления холловских электродов к каналу. Этому недостатка лишена конструкция ПМТ, в которой в качестве датчика Холла использован затвор полевого транзистора.

На рис. 1 показана структура ПМТ, содержащая два транзистора, область затвора которых является общей. За счет падения напряжения на сопротивлениях истока  $R_n$  на затвор подается запирающее напряжение  $U_3$ . Сопротивление каналов вместе с нагрузочными резисторами  $R_n$  образуют мост, в диагональ которого включен вольтметр. В отсутствие магнитного поля мост сбалансирован и  $U=0$ . При протекании тока через контакты  $3_1$  и  $3_2$  затвора в магнитном поле, как и в любом полупроводнике, возникает эдс Холла. Одна половина эдс ( $-U_x/2$ ) приложена к левому каналу и уменьшает  $U_3$ , другая ( $+U_x/2$ ) приложена к правому каналу и увеличивает  $U_3$ . Вследствие этого сопротивление

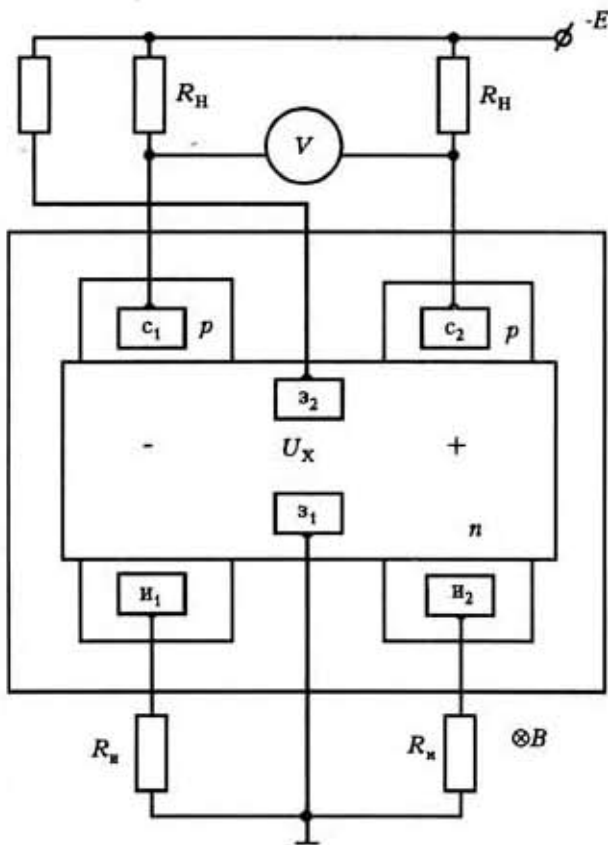


Рис. 1. Структура двухканального полевого магнетранзистора с датчиком Холла в качестве затвора

левого канала уменьшается, а правого увеличивается, что приводит к разбалансу моста, и  $U$  растет с увеличением магнитного поля.

Изменения падения напряжения на сопротивлениях  $R_n$  равны

$$\Delta U_1 = \Delta I_{k1} R_n \text{ и } \Delta U_2 = \Delta I_{k2} R_n.$$

Как и в любом полевом транзисторе,

$$\Delta I_k = g \Delta U_z,$$

где  $g$  — крутизна характеристики.

Напряжение, показываемое вольтметром,

$$U = \Delta U_1 - \Delta U_2 = 2 R_n \Delta I_k = 2 g R_n \Delta U_z = g R_n U_x,$$

т. к.  $\Delta I_{k1} = -\Delta I_{k2}$  и  $2 \Delta U_z = U_x$ .

Следовательно, в рассмотренной конструкции ПМТ эдс Холла усиливается в  $g R_n$  раз. В обычных полевых транзисторах  $g = 5 - 10 \text{ мА/В}$ , а  $R_n$  порядка  $10 - 20 \text{ кОм}$ . Значит, коэффициент усиления может составить  $50 - 200$ . Таким образом, описанная конструкция ПМТ работает так же, как два обычных полевых транзистора. Разница заключается лишь в том, что возникающая в общем затворе эдс Холла изменяет потенциалы левой и правой частей затвора в противоположных направлениях, что приводит к соответствующему изменению токов и напряжений между стоками.

В отличие от одноканального, в двухканальном ПМТ транзисторы действуют и как усилительные элементы, вследствие чего магниточувствительность

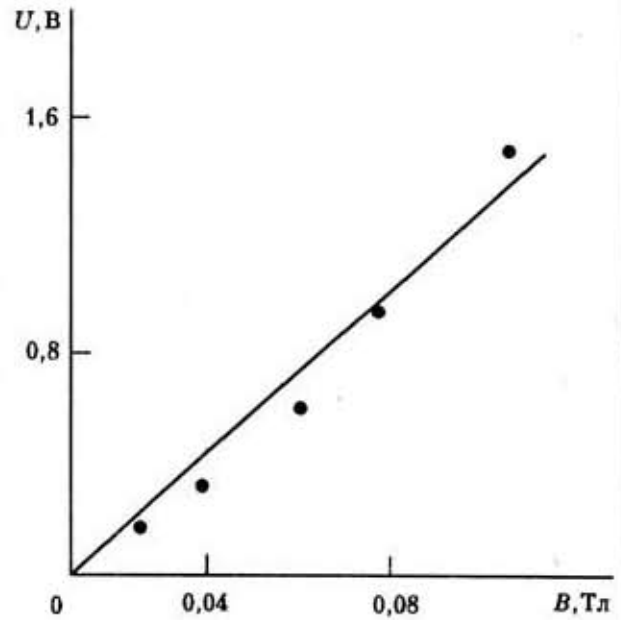


Рис. 2. Зависимость выходного сигнала от индукции магнитного поля

повышается на один — два порядка. Кроме того, рассмотренная конструкция ПМТ обладает и большей термостабильностью выходного сигнала, поскольку температурные изменения токов двух каналов взаимно компенсируются.

Экспериментальная проверка изложенных выше положений на образцах ПМТ, показанного на рис. 1, в сравнении с образцами одноканального ПМТ, изготовленными из того же материала и с аналогичными размерами канала, подтвердила их большую магниточувствительность и лучшую термостабильность. Датчик Холла из кремния имеет магниточувствительность около  $45 \text{ В/(А·Тл)}$ , что при токе питания  $5 \text{ мА}$  и индуктивности  $0,1 \text{ Тл}$  соответствует выходному сигналу  $22,5 \text{ мВ}$ .

На рис. 2 показана экспериментально установленная зависимость выходного напряжения двухканального ПМТ от индукции. Здесь выходной сигнал равен  $1,4 \text{ В}$ , т. е. почти в 70 раз больше. При больших магнитных полях чувствительность несколько увеличивается за счет роста сопротивления каналов (эффект магнитосопротивления) и соответствующего увеличения напряжения на стоках, что приводит к росту крутизны характеристики.

В аналогичной конструкции ПМТ может быть также использована структура, где полупроводниковый затвор отделен от каналов слоем диэлектрика.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Викулин И. М., Викулина Л. Ф., Стафеев В. И. Гальваноманнитные приборы. — М.: Радио и связь, 1983.
2. Мазуров М. Е. Электронные устройства с датчиками Холла и магнитосопротивлениями. — ЦНИИПИ, 1965.