

К. ф.-м. н. Л. Ф. ВИКУЛИНА

Дата поступления в редакцию
27.01 1998 г.

Оппонент к. ф.-м. н. И. А. РАДЗИЕВСКИЙ

Украина, г. Одесса

МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Описаны принципы действия и приведены основные электромагнитные характеристики новых полупроводниковых приборов — магниточувствительных транзисторов.

The main operation principles are described and the key characteristics of new semiconductor devices — magnetosensitive transistors are given.

Полупроводниковые транзисторы давно используются в качестве элементов, чувствительных к внешним воздействиям. Наиболее распространенными из них являются фототранзисторы, у которых сила протекающего тока зависит от интенсивности падающего света [1]. В настоящем сообщении описываются магнитотранзисторы, у которых сила протекающего тока зависит от внешнего магнитного поля.

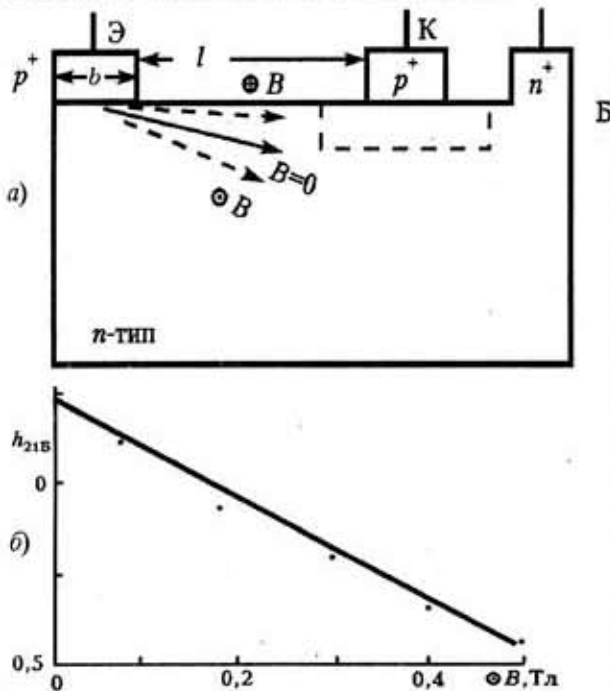


Рис. 1. а) Схематическое изображение одноколлекторного магнитотранзистора $p-p-p$ -типа. Э — эмиттер; К — коллектор; Б — база; пунктиром обозначена область объемного заряда коллекторного $p-n$ -перехода; б) зависимость коэффициента передачи тока h_{21B} от величины магнитной индукции $\odot B$ для магниторезистора $n-p-n$ -типа.

Схематическое изображение магнитотранзистора (МТ) представлено на рис. 1, а, где пунктиром обозначена область объемного заряда коллекторного $p-n$ -перехода. В магнитном поле с направлением индукции $\odot B$ сила Лоренца отклоняет носители к поверхности базы, и их путь к коллектору сокращается, а при противоположном — удлиняется, что приводит к изменению коэффициента передачи тока h_{21B} и силы тока, протекающего через МТ. Однако в случае направления индукции $\odot B$ магниточувствительность уменьшается вследствие возрастания рекомбинации носителей заряда на поверхности базы.

В работе [2] проведен расчет зависимости h_{21B} от величины магнитной индукции и получена формула, которую приближенно можно записать в виде $h_{21B} \approx \alpha (1 \pm \mu B C)$, (1)

где μ — подвижность носителей заряда;

α и C — постоянные, определяемые геометрическими размерами и электрофизическими параметрами полупроводника.

На рис. 1, б показана теоретическая (прямая линия) и экспериментальная (точки) зависимость $h_{21B}(B)$ для $n-p-n$ -МТ из кремния p -типа с $\rho = 20$ кОм·см. Размеры эмиттера и коллектора $0,6 \times 0,6$ мм, расстояние между ними $l = 0,8$ мм, сила тока $I_{\text{Э}} = 1,5$ мА, напряжение $U_{\text{К}} = 15$ В, направление поля $\odot B$. Как видно из рисунка, совпадение рассчитанной по (1) зависимости с экспериментальными значениями достаточно хорошее. Для направления индукции $\odot B$ реальное увеличение h_{21B} меньше вследствие того, что в расчете учитывается рекомбинация инжектированных носителей на поверхности базы.

Наибольшая магниточувствительность наблюдается при включении МТ как двухполюсника (цепь «эмиттер — коллектор») с отключенной базой. В этом случае ток, протекающий через транзистор, определяется как $I = I_{\text{КБО}} / (1 - h_{21B})$, где $I_{\text{КБО}}$ — обратный ток коллектора. В обычных условиях обратный ток коллекторного $p-n$ -перехода мал, величина h_{21B} при микрорежимах также мала, и магниточувствительность невелика. Поэтому для увеличения $I_{\text{КБО}}$ либо в коллектор вводятся шунтирующие его каналы, либо в качестве базы используется полупроводник, близкий к полупроводнику коллектора. На рис. 2 показана зависимость $I(B)$ при различном напряжении на МТ при двухполюсном включении. С ростом напряжения и тока магниточувствительность увеличивается, что объясняется увеличе-

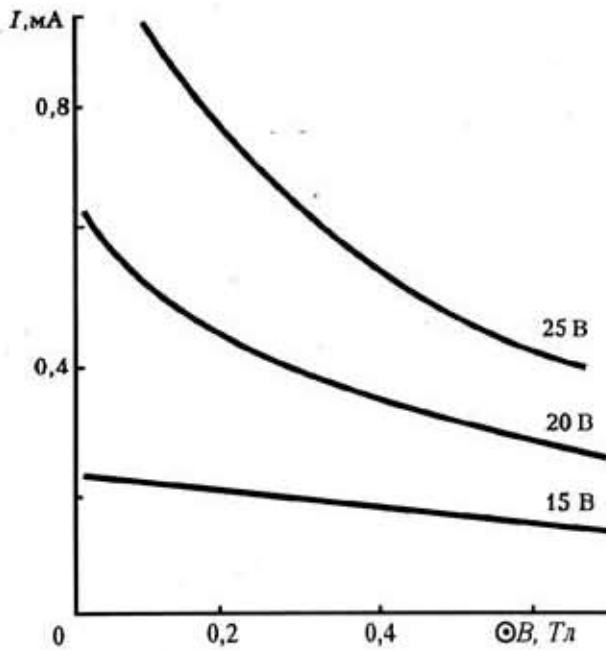


Рис. 2. Зависимость силы тока, протекающего через магнитотранзистор, от величины магнитной индукции при различном напряжении

нием h_{21B} с ростом тока [1]. При токе 0,6 мА магниточувствительность МТ порядка $2 \cdot 10^4$ В/(А·Тл).

Конструкция двухколлекторного магнитотранзистора (ДМТ) показана на рис. 3, а. ДМТ, например $p-n-p$ -типа, работает следующим образом. При отсутствии магнитного поля ($B=0$) инжектированные из эмиттера дырки распределяются поровну между коллекторами (сплошные линии на рис. 3, а) и их токи равны. В магнитном поле $\odot B$ (пунктирные линии) поток носителей отклоняется в сторону коллектора K_1 , его ток увеличивается, а ток коллектора K_2 уменьшается. Кроме эффекта перераспределения носителей между коллекторами, в ДМТ действует также и эффект изменения длины пути носителей. Как видно из рисунка, он состоит в том, что траектория движения носителей, попадающих в K_1 , уменьшается, т. е. сокращается эффективная длина базы, что приводит к дополнительному росту тока. Для коллектора K_2 этот эффект, наоборот, приводит к дополнительному уменьшению тока. При противоположном направлении магнитного поля $\otimes B$ ток K_2 растет, а ток K_1 уменьшается.

Очевидно, что при $B=0$ в симметричной схеме разность потенциалов между коллекторами $U=0$, с ростом индукции магнитного поля B напряжение U увеличивается. Таким образом, напряжение U является функцией величины магнитного поля, а по его знаку можно определить направление B . Как следует из схемы (рис. 3), величину U можно определить как

$$U = R_H(I_{K_1} - I_{K_2}) = R_H I_{\text{Э}}(h_{21B_1} - h_{21B_2}), \quad (2)$$

где h_{21B_1} , h_{21B_2} — коэффициенты передачи тока каждой из двух половин ДМТ;

R_H — сопротивление нагрузки.

Расчеты показывают [3], что в слабых магнитных полях ($\mu B \ll 1$)

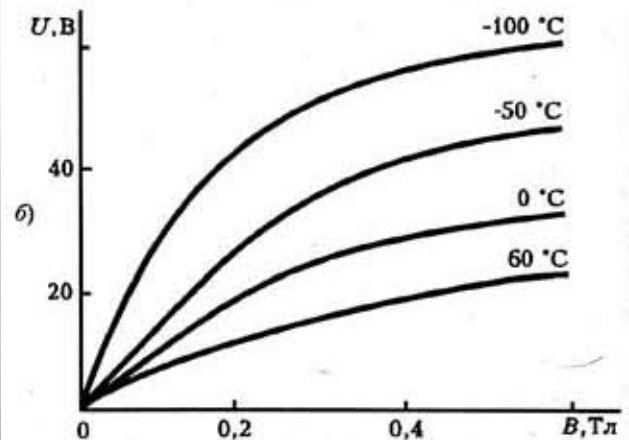
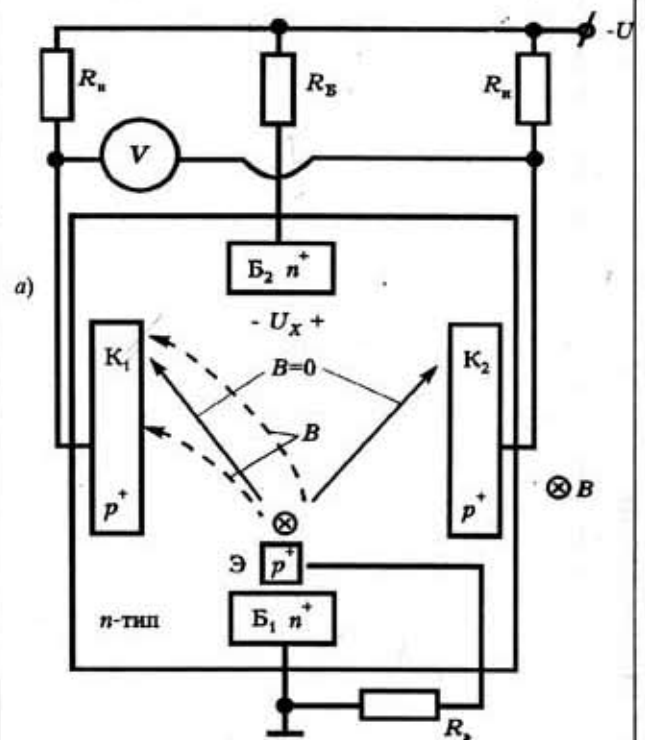


Рис. 3.

- а) Схематическое изображение двухколлекторного магнитотранзистора (Э — эмиттер; K_1 и K_2 — коллекторы; B_1 и B_2 — базовые контакты);
 б) зависимость напряжения на двухколлекторном магнитотранзисторе от величины магнитной индукции при различной температуре

$$h_{21B_1} - h_{21B_2} = \chi \frac{BE}{4b\tau} [a^4 - (a-b)^4], \quad (3)$$

где $2a$ — расстояние между коллекторами;

$2b$ — ширина эмиттера;

τ — время;

E — напряженность электрического поля в базе;

$\chi = q / 2kT$

q — заряд;

L — постоянная Больцмана;

T — температура.

Следует отметить, что при протекании тока основных носителей между базовыми контактами B_1 и B_2 в магнитном поле в ограниченной базе возникает эдс Хол-

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 Z_1 и Z_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