

Д. ф.-м. н. А. В. КАРИМОВ, д. ф.-м. н. Д. Р. ДЖУРАЕВ,
к. ф.-м. н. Д. М. ЁДГОРОВА, к. т. н. А. З. РАХМАТОВ,
О. А. АБДУЛХАЕВ, Б. М. КАМАНОВ, А. А. ТУРАЕВ

Узбекистан, г. Ташкент, ФТИ НПО «Физика-Солнце», ОАО «Foton»
E-mail: karimov@uzsci.net, foton@globalnet.uz

Дата поступления в редакцию
25.08.2010 г.

Оппонент к. т. н. Я. Я. КУДРИК
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОГРАНИЧИТЕЛЯ ТОКА НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Установленная взаимосвязь между током стабилизации и внешним сопротивлением, соединяющим исток с затвором, представляет интерес при разработке источников и ограничителей тока.

Для повышения надежности работы устройств интегральной оптики требуются различные приборы типа биполярного и полевого транзисторов. Особенно остро стоит вопрос о стабилизации параметров излучателей, которые, являясь очень чувствительными к изменению рабочего режима, требуют специальных электронных схем [1]. В частности, для создания точных измерительных устройств необходимы источники тока, а для полупроводниковых лазеров и светодиодов — специальные ограничители тока. Использование для этих целей полевых транзисторов, в отличие от биполярных, позволяет упростить схемы [2, с. 206]. В настоящей статье анализируется работа ограничителя тока на полевом транзисторе с управляющим $p-n$ -переходом.

Исследуемый полевой транзистор изготовлен на основе эпитаксиальной структуры, полученной выращиванием слоя n -типа проводимости на подложке кремния p -типа, которая представляет собой затворную область. Длина канала составляет 25 мкм, ширина — 560 мкм, ширина контактов стока и истока — 12 мкм. Градиент концентрации носителей по толщине канала возрастает в направлении границы $p-n$ -перехода. Максимальный ток стока равен 6,31 мА, а напряжение отсечки канала составляет 2,4 В. Ограничитель тока в виде двухполосника получается при соединении вывода истока с выводом затвора через внешнее сопротивление, обеспечивающее режим автоматического смещения (рис. 1). Как было показа-

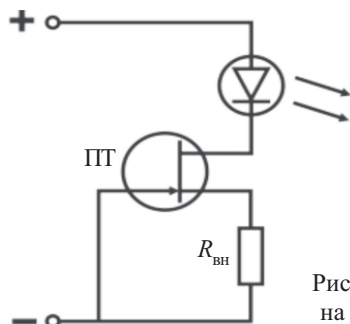


Рис. 1. Ограничитель тока на полевом транзисторе

но в [3], такой режим по механизму насыщения тока стока отличается от режима включения с общим истоком или с фиксированным напряжением через делитель напряжения. Здесь эффективными становятся процессы модуляции канала, а динамическое сопротивление канала сильно возрастает, т. к. при автоматическом смещении происходит сжатие канала как поперечной, так и продольной составляющими электрического поля.

Как следует из схемы ограничителя (рис. 1), ток $I_{СИ}$, протекающий по цепи «канал — сопротивление, подключенное к истоку», создает напряжение, определяемое как $U_{R_{вн}} = R_{вн} I_{СИ}$, т. е. в режиме насыщения тока стока вольт-амперные кривые для заданного напряжения и соответствующего значения внешнего сопротивления $R_{вн}$, создающего это напряжение, будут совпадать (рис. 2). Такой стабилизатор, кроме

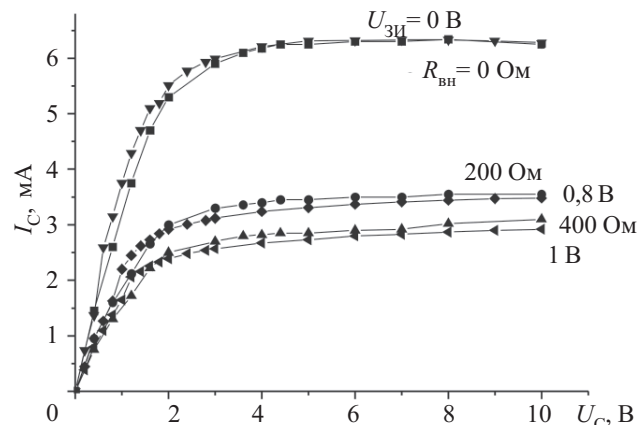


Рис. 2. Зависимости тока стока от напряжения при различных запирающих напряжениях $U_{ЗИ}$ затвора и соответствующих им значениях сопротивления $R_{вн}$

величины стабилизируемого тока, характеризуется напряжением насыщения, наклоном характеристики на участке стабилизации и напряжением пробоя. Если в полевом транзисторе ток стока управляется величиной напряжения затвора, подаваемого от источника, то в рассматриваемом двухполоснике ток, протекающий по каналу, управляется величиной сопротивления. Увеличение значения $R_{вн}$ приводит к уменьшению тока стока.

Максимальная величина тока стабилизации равна максимальному току полевого транзистора при нулевом смещении. Действительно, из результатов из-

мерений следует, что при нулевом значении $R_{\text{вн}}$ ток стабилизации $I_{\text{ст}}$ равен максимальному току полевого транзистора (см. таблицу).

По мере увеличения внешнего сопротивления ток стабилизации уменьшается. Например, при сопротивлении 200 Ом получаем ток 3,45 мА, создаваемый запирающим напряжением –0,8 В, а при сопротивлении 400 Ом ток соответствует напряжению –1,0 В. Такую зависимость тока стабилизации от сопротивления можно объяснить тем, что управляющее внешнее сопротивление вместе с каналом полевого транзистора создает подобие делителя напряжения, который запирает канал. В результате на сопротивлении пропорционально его величине падает напряжение, и ток стока становится управляемым величиной сопротивления. Совпадение соответствующих кривых ВАХ на рис. 2 можно объяснить тем, что в обоих режимах на затворе имеем одно и то же напряжение.

Зависимость тока стабилизации $I_{\text{ст}}$ от значений $R_{\text{вн}}$

$R_{\text{вн}}, \text{Ом}$	$I_{\text{ст}}, \text{мА}$	$R_{\text{вн}}, \text{Ом}$	$I_{\text{ст}}, \text{мА}$
0	6,31	1000	1,27
100	4,40	1500	0,966
200	3,45	2000	0,80
400	2,45	3000	0,53
700	1,70	4000	0,44

Известно, что в области насыщения тока стока его зависимость от напряжения затвора является степенной функцией, определяемой выражением [4]

$$I_{\text{СИ}} = I_{\text{СИ max}} \left(1 - \frac{U_{\text{ЗИ}}}{U_{\text{отс}}} \right)^m,$$

откуда, принимая во внимание, что $U_{\text{ЗИ}} = U_{R_{\text{вн}}} = I_{\text{СИ}} R_{\text{вн}}$, можно определить зависимость тока стабилизации от внешнего сопротивления, соединяющего вывод истока с выводом затвора

$$R_{\text{вн}} = \frac{U_{\text{отс}}}{I_{\text{СИ}}} \left(1 - \sqrt[m]{\frac{I_{\text{СИ}}}{I_{\text{СИ max}}}} \right).$$

Отметим, что в полевых транзисторах с управляющим $p-n$ -переходом в зависимости от технологии получения полевого транзистора m может принимать значения от 1,5 до 2,2 [4, 5]. Оценка показателя степени m из зависимости $\ln I/R$ от $\ln I$ для рассматриваемого полевого транзистора с максимальным током стока, равным 6,31 мА, дает значение $m=1,84$. Такая

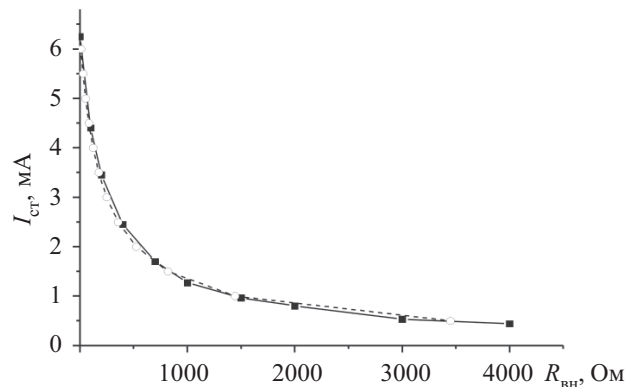


Рис. 3. Экспериментальные (■) и расчетные (○) данные зависимости тока стабилизации от $R_{\text{вн}}$

зависимость близка к квадратичной. Соответственно, на основании полученной зависимости для задаваемого значения тока стабилизации можно определить значение требуемого внешнего сопротивления $R_{\text{вн}}$. Данные расчетов, проведенных в предположении квадратичной зависимости тока от напряжения, как видно из рис. 3, хорошо согласуются с экспериментальными данными зависимости внешнего сопротивления $R_{\text{вн}}$ от тока стабилизации.

Таким образом, на основе исследования стоковых характеристик полевого транзистора установлена взаимосвязь между током стабилизации и внешним сопротивлением, соединяющим вывод истока с выводом затвора.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Колосов В. Организация систем вторичного электропитания для современной цифровой электронной аппаратуры // www.electronics.ru/issue/1998/1/15 [Kolosov V. // www.electronics.ru/issue/1998/1/15]
2. Кобболд Р. Теория и применения полевых транзисторов. — Л.: Энергия, 1975. [Kobbold R. Teoriya i primeneniya polevykh tranzistorov. Leningrad. Energiya. 1975]
3. Ёдгорова Д. М. Механизм насыщения тока стока полевого транзистора с $p-n$ -переходом // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2006. — № 5. — С. 58—60. [Yodgorova D. M. // Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature. 2006. N 5. P. 58]
4. Игумнов Д. В., Громов И. С. Эксплуатационные параметры и особенности применения полевых транзисторов. — М.: Радио и связь, 1981. [Igumnov D. V., Gromov I. S. Ekspluatatsionnye parametry i osobennosti primeneniya polevykh tranzistorov. Moscow. Radio i svyaz'. 1981]
5. Шишков А. И. Экспериментальное исследование характеристики прямой передачи полевого транзистора // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника. — 1973. — Т. 16, № 9. — С. 94—98. [Shishkov A. I. // Izvestiya VUZov. Radioelektronika. 1973. Vol. 16, N 9. P. 94]