

изменением тока управляющего электрода. Они отличаются от незапираемых конструкцией.

Параметры тиристоров. Основными параметрами тиристоров являются:

- напряжение включения $U_{\text{вкл}}$;
- отпирающий ток управления $I_{\text{у.вкл}}$;
- ток выключения $I_{\text{выкл}}$;
- остаточное напряжение $U_{\text{пр}}$;
- время включения $t_{\text{вкл}}$;
- время выключения $t_{\text{выкл}}$;
- время задержки $t_{\text{з}}$;

максимальные скорости нарастания прямого напряжения $(du/dt)_{\text{max}}$ и прямого тока $(di/dt)_{\text{max}}$.

Тиристоры широко применяются в управляемых выпрямителях, преобразователях постоянного напряжения в переменное (инверторах), стабилизаторах напряжения,

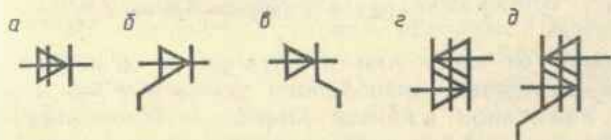


Рис. 2.11. Условные обозначения тиристоров:

а — диристора; б — триристора с управлением по аноду; в — триристора с управлением по катоду; г — симметричного диристора; д — симметричного триристора

в качестве бесконтактных переключателей, в электроприводах, устройствах автоматики, телемеханики, вычислительной техники и т. д.

Условные графические обозначения тиристоров показаны на рис. 2.11.

2.4. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Полевой транзистор (ПТ) — это полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей заряда одного знака, протекающим через проводящий канал, и который управляется электрическим полем.

Управляющий электрод, изолированный от канала, называют затвором. По способу изоляции затвора полевые транзисторы делятся на три типа:

1) с управляющим $p-n$ -переходом, или с $p-n$ -затвором;

2) с металлополупроводниковым затвором, или с затвором Шоттки;

3) с изолированным затвором.

Полевые транзисторы с $p-n$ -затвором. В полевом транзисторе с $p-n$ -затвором (рис. 2.12) канал n -типа

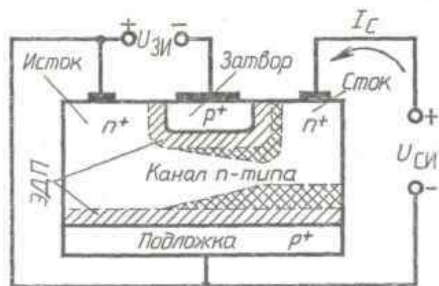


Рис. 2.12. Структура и схема подключения к источникам питания ПТ с $p-n$ -затвором и каналом n -типа

изолирован от подложки и затвора $p-n$ -переходами, которые вследствие выполнения условия $p^+ \gg n$ образуются, в основном, в канале. При $U_{зи} = 0$ толщина канала наибольшая, и его сопротивление минимальное. Если на затвор подать по отношению кисточнику отрицательное напряжение $U_{зи}$, то $p-n$ -переходы расширятся, толщина канала уменьшится, а его сопротивление возрастет. Следовательно, если между истоком и стоком включить источник напряжения $U_{си}$, то силой тока I_c , протекающего через канал, можно управлять путем изменения сопротивления канала с помощью напряжения, подаваемого на затвор. На этом принципе и основана работа ПТ с $p-n$ -затвором.

Основными статическими характеристиками ПТ с $p-n$ -затвором являются передаточные (сток-затворные) и выходные (стоковые) характеристики (рис. 2.13).

Напряжение затвора, при котором канал полностью перекрывается, а ток стока уменьшается до десятых долей микроампера, называют *напряжением отсечки* и обозначают $U_{зи\text{отс}}$.

Ток стока $I_{c\text{нач}}$ при $U_{зи} = 0$ называют *начальным током стока*.

Выходные характеристики содержат крутую, или омическую, и пологую области. Пологая область называется также областью насыщения или областью перекрытия канала.

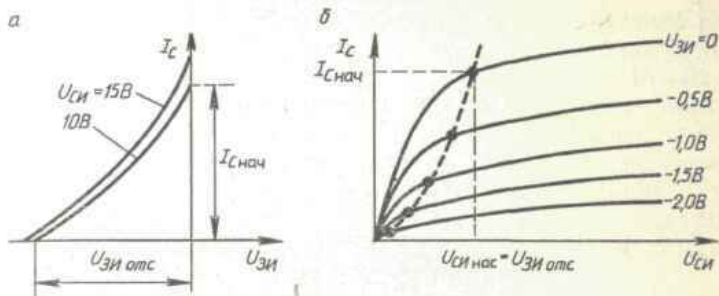


Рис. 2.13. Статические передаточные (а) и выходные (б) характеристики ПТ с $p-n$ -затвором и каналом n -типа

Ток стока, протекая через канал, создает на его определенном сопротивлении падение напряжения, которое увеличивает обратные напряжения канал-затвор и канал-подложка, что приводит к уменьшению толщины канала. Наибольшего значения обратные напряжения достигают у границы со стоком, и в этой области сужение канала оказывается максимальным (рис. 2.12). При некотором значении напряжения $U_{си}$ происходит смыкание обоих $p-n$ -переходов в области стока и перекрытие канала. Такое напряжение стока называют напряжением перекрытия или *напряжением насыщения* ($U_{си\text{ нас}}$). При подаче на затвор обратного напряжения происходит дополнительное сужение канала, и его перекрытие наступает при меньшем значении напряжения $U_{си\text{ нас}}$.

Полевые транзисторы с затвором Шоттки. В ПТ с затвором Шоттки управление сопротивлением канала осуществляется изменением под действием напряжения затвора толщины выпрямляющего перехода, образованного на границе между металлом и полупроводником. По сравнению с $p-n$ -переходом выпрямляющий переход металл — полупроводник позволяет существенно уменьшить длину канала: до 0,5...1 мкм. При этом значительно уменьшаются и размеры всей структуры ПТ, вследствие чего ПТ с барьером Шоттки способны работать на более высоких частотах — до 50...80 ГГц.

Полевые транзисторы с изолированным затвором. Эти транзисторы имеют структуру металл — диэлектрик — полупроводник и называются кратко МДП-транзисторами. Если в качестве диэлектрика используется оксид кремния, то их называют также МОП-транзисторами.

Существуют две разновидности МДП-транзисторов: с индуцированным и со встроенным каналами.

В МДП-транзисторах с индуцированным каналом *p*-типа (рис. 2.14) области стока и истока *p*-типа обра-

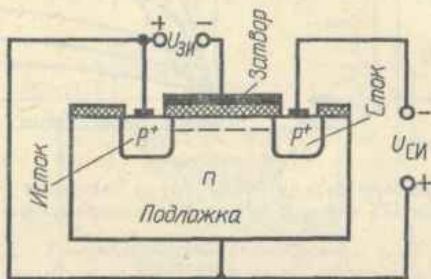


Рис. 2.14. Структура и схема подключения к источникам питания МДП-транзистора с индуцированным каналом *p*-типа

зуют с *n*-областью подложки два встречно включенных ЭДП, и при подключении к ним источника любой полярности ток в цепи будет отсутствовать. Если же на затвор относительно истока и подложки подать отрицательное напряжение, то при достаточном значении этого напряжения в приповерхностном слое полупроводника, расположенном под затвором, произойдет инверсия типа электропроводности и *p*-области стока и истока окажутся соединенными каналом *p*-типа. Такое напряжение затвора называют пороговым и обозначают $U_{зи\text{пор}}$. С увеличением отрицательного напряжения затвора увеличивается глубина проникновения инверсионного слоя в полупроводник, что соответствует увеличению толщины канала и уменьшению его сопротивления.

Передаточные и выходные характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом *p*-типа представлены на рис. 2.15. Падение напряжения на сопротивлении ка-

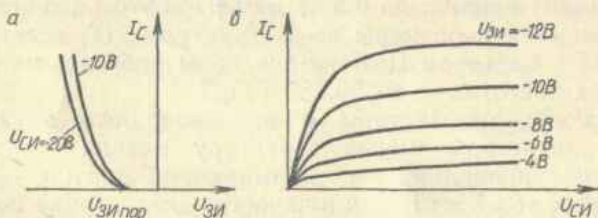


Рис. 2.15. Статические характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом *p*-типа

нала уменьшает напряжение между затвором и каналом и толщину канала. Наибольшее сужение канала будет у стока, где напряжение $U_{сз}$ оказывается оказывается ($U_{сз} = U_{си} - U_{зи}$).

В МДП-транзисторах со встроенным каналом между областями стока и истока уже в стадии изготовления создается тонкий приповерхностный слой (канал) с таким же типом электропроводности, какую имеют сток и исток. Поэтому в таких транзисторах ток стока $I_{сн\text{оч}}$ называется начальным, протекает и при $U_{зи} = 0$.

Статические выходные и передаточные характеристики МДП-транзистора со встроенным каналом р-типа показаны на рис. 2.16.

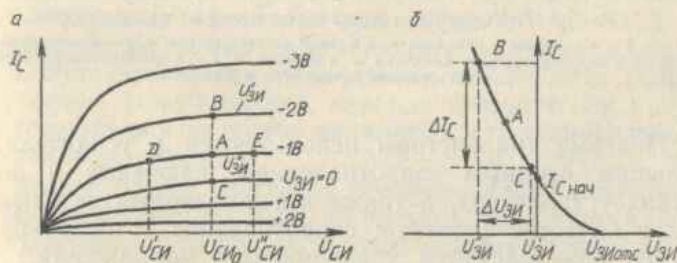


Рис. 2.16. Статические характеристики МДП-транзистора со встроенным каналом р-типа

Дифференциальные параметры ПТ. Кроме рассмотренных выше параметров, свойства ПТ характеризуются дифференциальными параметрами: крутизной передаточной характеристики, или крутизной ПТ; дифференциальным сопротивлением и статическим коэффициентом усиления.

Крутизна ПТ $S = di_c/du_{зи}$ при $i_{си} = \text{const}$ характеризует усилительные свойства транзистора и для мало-мощных транзисторов обычно составляет несколько мА/В.

Дифференциальное сопротивление $r_i = du_{си}/di_c$ при $U_{зи} = \text{const}$ представляет собой сопротивление канала ПТ переменному току.

Крутизну ПТ можно определить по статическим выходным или передаточным характеристикам (рис. 2.16) на основании выражения

$$S = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{ЗИ}} \right|_{U_{СИ} = \text{const}} = \frac{I_C(B) - I_C(C)}{U_{ЗИ}^B - U_{ЗИ}^C}$$

а дифференциальное сопротивление — по выходным характеристикам в соответствии с выражением

$$r_i = \left. \frac{\Delta U_{си}}{\Delta I_c} \right|_{U_{зи} = \text{const}} = \frac{U_{си}'' - U_{си}'}{I_c(E) - I_c(D)}$$

Статический коэффициент усиления $\mu = dU_{си}/dU_{зи}$ при $I_c = \text{const}$ обычно рассчитывается по формуле $\mu = S r_i$.

Условные графические обозначения полевых транзисторов показаны на рис. 2.17.

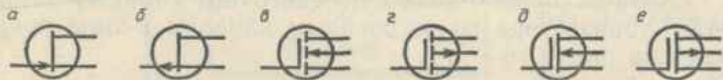


Рис. 2.17. Условные обозначения полевых транзисторов:

а, б — с р-п-затвором и каналами п- и р-типов соответственно; в, г — с изолированным затвором и индуцированными каналами п- и р-типов; д, е — с изолированным затвором и встроенными каналами п- и р-типов

Полевые транзисторы используются в усилителях с большим входным сопротивлением, ключевых и логических устройствах, а также в управляемых аттенюаторах в качестве элемента, сопротивление которого изменяется под действием управляющего напряжения.

2.5. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Оптоэлектронным называют полупроводниковый прибор, излучающий или преобразующий электромагнитное излучение или чувствительный к этому излучению в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра, либо использующий подобное излучение для внутреннего взаимодействия его элементов.

По принципу действия и выходному эффекту оптоэлектронные полупроводниковые приборы подразделяются на излучающие, приемники излучения и оптопары, или оптроны.

Излучающие полупроводниковые приборы. Излучающим называют полупроводниковый прибор, предназначенный для непосредственного преобразования электрической (или световой) энергии в энергию светового излучения. Излучающие полупроводниковые приборы подразделяются на четыре группы: светоизлучающие диоды, лазеры, электролюминесцентные порошковые и пленочные излучатели.