

**КОСТИЦЫНА Ксения Олеговна**

студентка, Поволжский государственный технологический университет,  
Россия, г. Йошкар-Ола

*Научный руководитель – доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры Поволжского государственного технологического университета, кандидат технических наук Сушенцов Николай Иванович*

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ IGBT (БТИЗ) ТРАНЗИСТОРА

**Аннотация.** В статье рассматривается IGBT (БТИЗ) транзистор, а также процесс его изготовления и сферы применения.

**Ключевые слова:** культура, социально-культурная среда, социально-культурный кластер, социально-культурное развитие.

IGBT (БТИЗ) транзистор – биполярный транзистор с изолированным затвором (по-английски «insulated gate bipolar transistor»), это компонент, управление которым, как полевым транзистором, осуществляют напряжением, а протекание тока по силовым выводам коллектора и эмиттера обусловлено, как у

биполярного транзистора, движением носителей зарядов обоих типов. Является полностью управляемым полупроводниковым прибором, в основе которого трёхслойная структура. Его включение и выключение осуществляются подачей и снятием положительного напряжения между затвором и истоком [1].

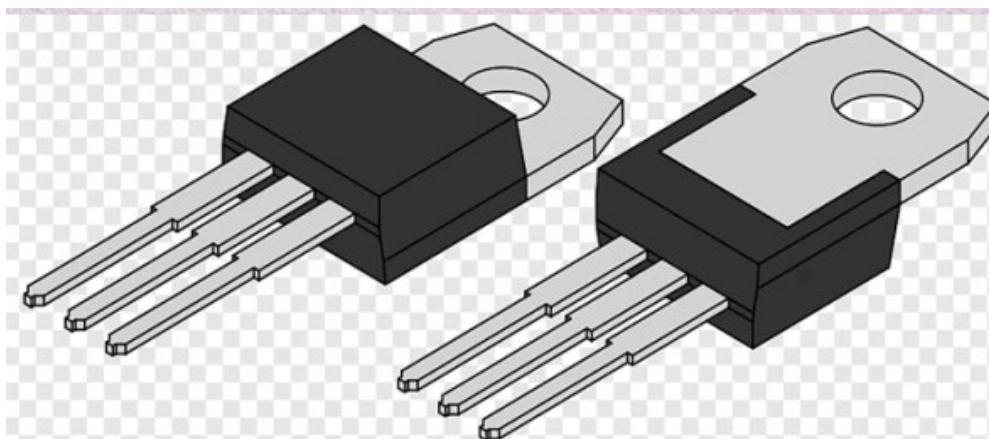


Рис. 1. Биполярный транзистор

Управление IGBT-транзистором осуществляется напряжением как полевого транзистора, во включенном состоянии имеют некоторое напряжение насыщения цепи коллектор-эмиттер; сравнительно медленное выключение («токовый хвост», как рудимент, доставшийся в наследство от биполярных транзисторов). Подробнее про внутреннюю структуру IGBT-транзисторов изложено в энциклопедии об устройствах на полевых транзисторах [3].

Технологически транзистор IGBT получают из транзистора MOSFET путем добавления еще

одного биполярного транзистора структуры PNP. Эквивалентная крутизна IGBT значительно превышает крутизну MOSFET, и ее значением можно управлять на этапе изготовления IGBT. Еще одним достоинством IGBT является значительное снижение (по сравнению с MOSFET) последовательного сопротивления силовой цепи в открытом состоянии. Благодаря этому снижаются тепловые потери на открытом транзисторе [2].

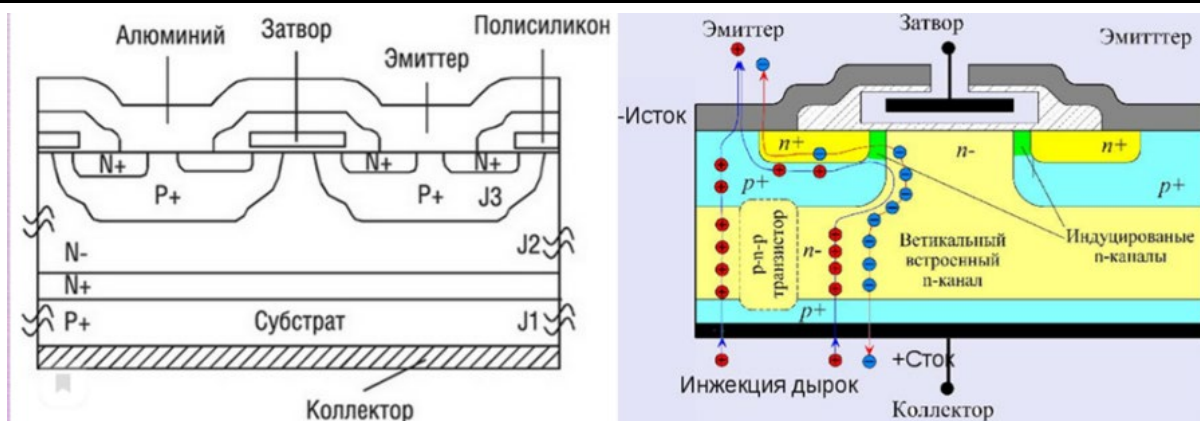


Рис. 2

IGBT называется ПТ (punch-through) или асимметричным, если имеется N+ буферный слой между P+ подложкой и N- областью дрейфа. В противном случае он называется NPT (non-punchthrough) или асимметричным IGBT. N+ буферный слой увеличивает скорость выключения транзистора путем уменьшения инжекции неосновных носителей заряда и увеличения скорости рекомбинации при переключении транзистора. Кроме того, вероятность «зашелкивания» также уменьшается за счет уменьшения коэффициента усиления по току PNP-транзистора. Основная проблема состоит в том, что увеличивается падение напряжения на открытом транзисторе. Однако толщину дрейфовой области N- можно уменьшить путем подачи напряжения прямого смещения. В результате уменьшится падение напряжения на открытом транзисторе. Следовательно, ПТ-IGBT имеют более удачные характеристики по сравнению с NPT-IGBT в отношении скорости переключения и прямого падения напряжения. В настоящее время большинство серийных IGBT выпускается по ПТ-IGBT технологии. Возможности прямого и обратного запираания IGBT приблизительно равны, поскольку определяются толщиной и удельным сопротивлением одного и того же дрейфового слоя N-. Обратное напряжение для ПТ-IGBT транзистора, который содержит буферный слой N+ между подложкой P+ и областью дрейфа N-, уменьшается до десятков вольт из-за наличия высоколегированных областей с обеих сторон зоны J1.

Ряд IGBT, изготавливаемых без буферного слоя N+, называются NPT (non-punch through) IGBT, в то время как транзисторы, у которых присутствует данный слой, называются ПТ (punch-through) IGBT. При правильном выборе степени легирования и толщины буферного слоя его присутствие может значительно увеличить производительность

транзисторов. Несмотря на физическое сходство, работа IGBT больше напоминает работу мощного биполярного транзистора, чем мощного MOSFET. Это происходит из-за того, что слой подложки P+ (инжекционный слой) отвечает за инжекцию неосновных носителей заряда в область дрейфа N-, что приводит к модуляции удельного сопротивления.

Технологически транзистор IGBT получают из транзистора MOSFET путем добавления еще одного биполярного транзистора структуры PNP. Эквивалентная крутизна IGBT значительно превышает крутизну MOSFET, и ее значением можно управлять на этапе изготовления IGBT. Еще одним достоинством IGBT является значительное снижение (по сравнению с MOSFET) последовательного сопротивления силовой цепи в открытом состоянии. Благодаря этому снижаются тепловые потери на открытом транзисторе.

По результатам исследований было выяснено, что у IGBT отсутствует участок вторичного пробоа, характерный для обычных биполярных транзисторов. Быстродействие IGBT ниже, чем у MOSFET, но выше, чем у биполярных транзисторов, поэтому их используют на частотах порядка 100 кГц. Ограничение скорости переключения IGBT кроется в конечном времени жизни неосновных носителей в базе PNP-транзистора. Накопленный в базе PNP-транзистора заряд вызывает характерный «хвост» тока при закрывании IGBT. Причина этого заключается в том, что как только имеющийся в составе IGBT-транзистора MOSFET закрывается, в силовой цепи начинается рекомбинация неосновных носителей заряда, которая предшествует возникновению «хвоста». Этот «хвост» служит причиной основных тепловых потерь и требует введения так называемого «мертвого времени» в схемах управления мостовыми и полумостовыми инверторами.

Поскольку база PNP-транзистора сделана не доступной извне, то меры по уменьшению «хвоста» можно принять только на этапе изготовления транзистора [2].

Традиционно IGBT используют там, где необходимо работать с высокими токами и напряжениями. Прогресс в IGBT-технологии шел по линии увеличения рабочих напряжений и токов, а также роста эффективности преобразования за счет снижения потерь мощности на кристалле, как в статическом, так и в динамическом режимах.

### Литература

1. IGBT-транзисторы // IGBT-транзистор – гибридный прибор. URL: <https://fresh-web-studio.github.io/artemdobnikov/math/igbt.html> (дата обращения: 01.07.2024).
2. Москатов Е.А. Книга «Электронная техника. Начало» // Биполярные транзисторы с изолированными затворами. URL: [https://moskatov.narod.ru/Books/The\\_electronic\\_technics/IGBT.html](https://moskatov.narod.ru/Books/The_electronic_technics/IGBT.html) (дата обращения: 27.07.2024).
3. Энциклопедия устройств на полевых транзисторах. Дьяконов В.П. и др. СОЛОН-Пресс. 2002. 512 с.

**KOSTITSYNA Ksenia Olegovna**

Student, Volga Region State Technological University, Russia, Yoshkar-Ola

*Scientific Advisor – Associate Professor of the Department of Design and Production of Radioelectronic Equipment of the Volga State University of Technology,  
Candidate of Technical Sciences Sushentsov Nikolay Ivanovich*

## TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING IGBT (IGBT) TRANSISTOR

**Abstract.** *The article discusses the IGBT transistor, as well as its manufacturing process and scope of application.*

**Keywords:** *culture, socio-cultural environment, socio-cultural cluster, socio-cultural development.*