

УДК 681.586.69

## Проект биполярно-полевого транзистора (IGBT) 50 А 1800 В, изготовленного на пластинах высокоомного бестигельного кремния с ориентацией (100)

Е. В. ЧЕРНЯВСКИЙ<sup>1</sup>, В. П. ПОПОВ<sup>1</sup>, Ю. С. ПАХМУТОВ<sup>2</sup>, Ю. Н. МИРГОРОДСКИЙ<sup>3</sup>, Л. Н. САФРОНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики полупроводников Сибирского отделения РАН, проспект Академика Лаврентьева, 13, Новосибирск 630090 (Россия)

E-mail: evgen@isp.nsc.ru

<sup>2</sup>ОАО “Ангстрем”, Южная промзона, Зеленоград, Москва 103460 (Россия)

<sup>3</sup>Технологический центр МИЭТ, Зеленоград, Москва 103460 (Россия)

### Аннотация

Предложен проект высоковольтного IGBT-транзистора. Транзистор изготавливается на высокоомной подложке с применением NPT-технологии. Проведено численное моделирование технологии изготовления и статических вольт-амперных характеристик. Показана возможность увеличения рабочего напряжения до 1800 В.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время отрасль силовой электроники бурно развивается. В качестве основного элемента в мощных ключах используются биполярно-полевые транзисторы с изолированным затвором (IGBT) [1–3]. Настоящая работа посвящена проекту IGBT 50 А 1800 В.

### КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА

В настоящее время для изготовления высоковольтных IGBT используются пластины эпитаксиального кремния. Однако при повышении блокируемого напряжения разработчики сталкиваются с необходимостью увеличивать толщину эпитаксиального слоя, что технологически очень сложно. Один из путей повышения напряжения IGBT – использование высокоомных кремниевых пластин.

Существует два подхода к созданию высоковольтных IGBT. Они заключаются в использовании двух конструкций: Punch Through (PT) [4, 5] и Non Punch Through (NPT) [6]. В

конструкции NPT более эффективно регулируется время выключения IGBT путем создания рекомбинационных центров в области коллектора. В конструкции PT существует возможность уменьшить ширину высокоомной N-базы за счет введения N<sup>+</sup>-буфера в область коллектора. Как видно, у обоих подходов есть свои преимущества. Для проекта выбрана конструкция NPT IGBT, поскольку она позволяет более эффективно регулировать время выключения, что приводит к меньшим динамическим потерям и большей области безопасной работы.

Для изготовления IGBT 50 А 1800 В используются пластины бестигельного зонно-плавленого (БЗП) кремния с ориентацией (100) диаметром 100 мм, толщиной 320 мкм, удельное сопротивление 120 Ом · см. Активная площадь IGBT по проекту составляет 0.4 см<sup>2</sup>. Элементарная ячейка квадратная, размером 20×20 мкм. Период повторения элементарной ячейки – 40 мкм. Вид элементарной ячейки представлен на рис. 1. Суммарное число P<sup>+</sup>-эмиттеров составляет 26 000. Ширина канала W N-канального МОП-транзистора равна 3.1 м.

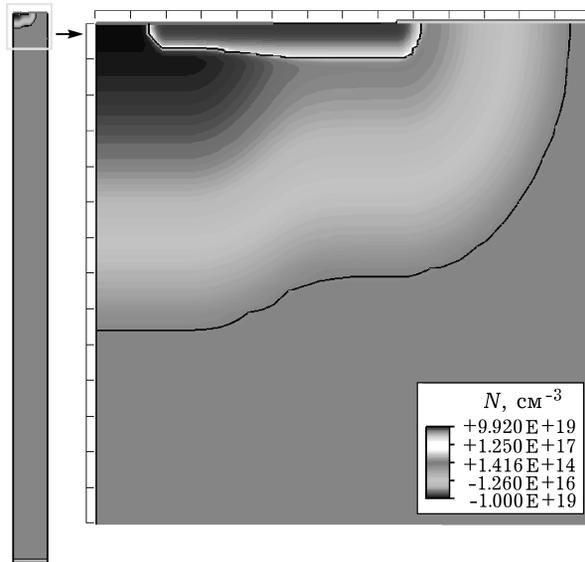


Рис. 1. Структура элементарной ячейки IGBT.

Для металлизации эмиттера и контакта к затвору используется алюминий толщиной 3 мкм. Контакты к эмиттеру и затвору привариваются алюминиевой проволокой с планарной стороны. Специальных площадок для приварки токовыводящих контактов к эмиттеру не предусмотрено, и контакты развариваются в любом месте по площади эмиттера. Коллектор металлизирован трехслойной структурой Ti–Ni–Ag. Такая конструкция коллектора позволяет производить посадку кристалла в корпус на олово-свинцовый припой.

Для предотвращения пробоя по периметру кристалла применяются охранные диффузионные кольца. В качестве последних используются диффузионные Р-кольца, изготовленные по технологии RESURF [7]. В качестве металлических обкладок на конденсаторах используется алюминий эмиттера, а в качестве диэлектрика – пассивирующий оксид из фосфорно-силикатного стекла (ФСС). Данная технология опробована нами на МОП-управляемом тиристоре (МСТ).

По этим параметрам построена модель IGBT, для которой были выполнены расчеты тока во включенном состоянии и утечек в блокирующем состоянии. Данная модель соответствует прибору, имеющему полосчатую топологию и в силу симметрии включающему половину полосы. Результаты моделирования ВАХ представлены на рис. 2. Рассчитанные токи имеют размерность А/мкм, а для определения полного тока надо рассчи-

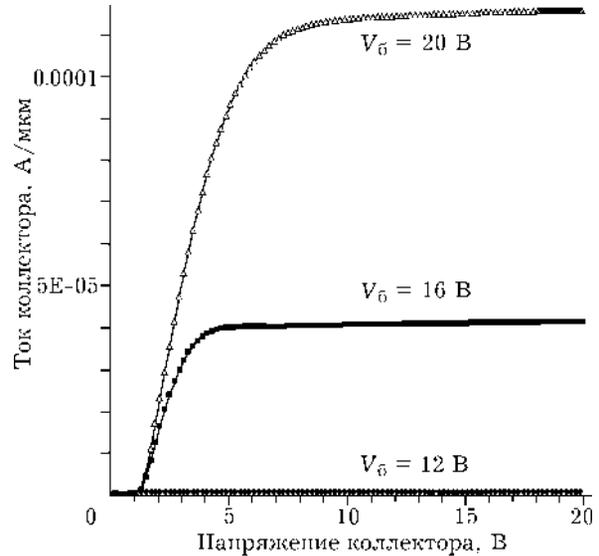


Рис. 2. Зависимость тока коллектора от напряжения на коллекторе.

танную величину умножить на удвоенную суммарную длину полосок.

По результатам численного моделирования можно оценить характеристики проектируемого IGBT. Например, при напряжении  $V_g = 16$  В (см. рис. 2) на затворе (базе) напряжение насыщения  $V_{нас} = 4$  В. Отсюда ток коллектора  $I_{колл} = 3.5 \cdot 10^{-5}$  А/мкм. Полный ток описанного IGBT составит 210 А. Следует заметить, что в данной модели не учитываются падения напряжения на контактах.

Так же по данной модели производился расчет блокируемого напряжения при напряжении на затворе  $V_g = 0$  В. Результаты рас-

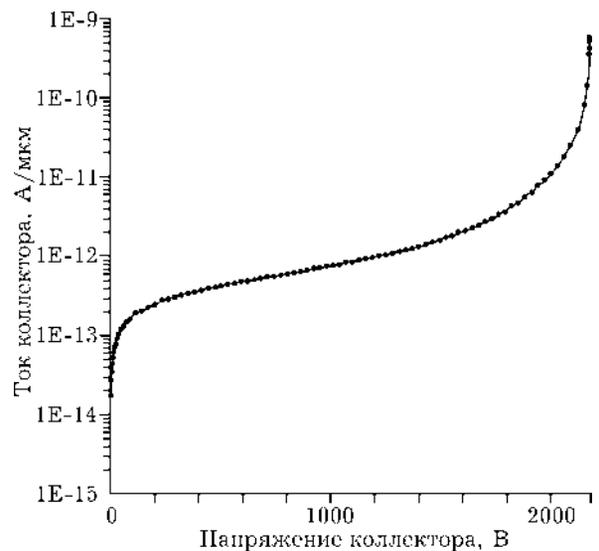


Рис. 3. Зависимость тока утечки от напряжения на коллекторе.  $V_g = 0$ .

четов приведены на рис. 3. Видно, что при напряжении коллектора выше 1900 В начинается экспоненциальный рост тока утечки. Рассчитанный по этому графику ток утечки прибора составит  $I_{ут} = 18$  мкА.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше данные показывают возможность создания IGBT 50 А 1800 В на основе пластин высокоомного бестигельного кремния. Согласно результатам численного моделирования, возможность создания такого IGBT реальная. Статические характеристики IGBT следующие: ток  $I_{max} = 200$  А, падение напряжения в открытом состоянии  $U_d = 4$  В при  $V_g = 16$  В. Выбранная конструкция NPT IGBT обладает меньшими динамическими потерями и большей областью безопасной работы. Новизной здесь является использование

пластин БЗП-кремния, что позволяет отказаться от эпитаксиальных пластин кремния. Это существенно удешевляет проект. По нашему мнению, данный проект заслуживает скорейшей реализации на российских предприятиях микроэлектронной промышленности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Yoshikazu Takahashi, Takerharu Koga, Humiaki Kirihata and Yasukazu Seki, *IEEE Trans. Electron Dev.*, ED-43 (1996) 2276.
- 2 F. Bauer, N. Kaminski, S. Linder and H. Zeller, *Proc. of Int. Conf. ISPSD 2000*, 2000, p. 193.
- 3 T. Laska, M. Munzer, F. Pfirch *et al.*, *Ibid*, 2000, p. 271.
- 4 T. H. Kim, C. M. Yun and S. S. Kim, *Proc. of Int. Conf. ISPSD 1999*, 1999, p. 185.
- 5 H. Iwamoto, M. Tabata, H. Takahashi *et al.*, *PCIM Proc.*, 1999 p. 227.
- 6 J. Fugger, F. Hirler, T. Laska and W. Scholz, *Proc. of Int. Conf. ISPSD 1996*, 1996, p. 169.
- 7 J. A. Appels and H. M. J. Vaes, *IEDM Tech. Dig.*, 1979, p. 238.