

# ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РТ-БТИЗ, СФОРМИРОВАННОГО НА ОБЪЕМНОМ КРЕМНИИ

Тхань Н.Ч., Ловшенко И.Ю.,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, Беларусь

Стемпичкий В.Р. – канд. техн. наук, доцент

Представлены результаты моделирования конструктивно-технологических параметров приборных структур асимметричного биполярного транзистора с изолированным затвором (РТ-БТИЗ), сформированного в стандартном кремнии.

**Ключевые слова:** асимметричный биполярный транзистор с изолированным затвором, конструкция, технология изготовления, РТ-БТИЗ, статические и динамические характеристики.

## Введение

Благодаря сочетанию легко управляемого МОП-затвора и низких потерь проводимости БТИЗ является предпочтительным устройством для приложений с высокими токами и напряжениями. Теперь, благодаря последнему поколению РТ-БТИЗ, компромисс между потерями переключения и проводимости сбалансирован, так что IGBT вторгаются в область высокочастотных и высокоэффективных силовых МОП-транзисторов. Эта тенденция стала возможной благодаря значительному улучшению скорости переключения с помощью РТ-БТИЗ последнего поколения при сохранении низких потерь проводимости, характерных для БТИЗ. В большинстве случаев разработчики схем, использующие эти новейшие технологии БТИЗ, могут значительно снизить затраты практически без ущерба для эффективности.

Асимметричный БТИЗ (РТ-БТИЗ) – Это транзистор NPT-БТИЗ, который имеет буферный слой  $N^+$  между толстой подложкой типа  $P^+$  и областью  $N^-$ -дрейфа, которая эпитаксиально выращена сверху. На рис. 1 представлены структуры NPT-БТИЗ и РТ-БТИЗ.

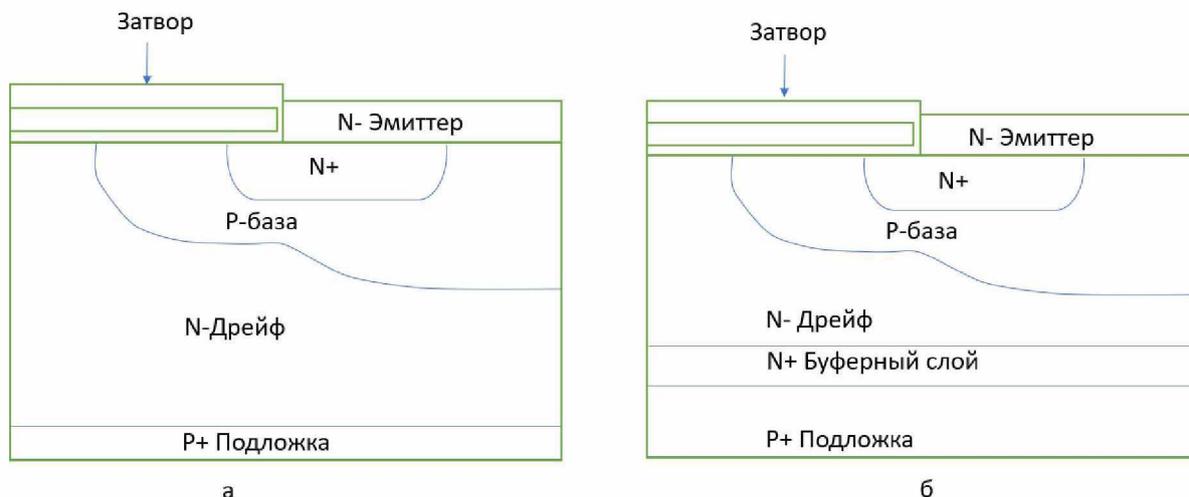


Рисунок 1 - Структура NPT-БТИЗ на объемном кремнии (а), РТ-БТИЗ на объемном кремнии (б)

Во время перехода переключения скорость выключения увеличивается за счет буферного слоя  $N^+$  за счет снижения эффективности ввода неосновных носителей. Часть инжектированных дырок из  $P^+$ -коллектора рекомбинируется в буферной области для улучшения характеристик переключения. Кроме того, за счет снижения коэффициента усиления по току PNP-транзистора в равной степени улучшаются характеристики фиксации. Недостатком этого является увеличение падения напряжения во включенном состоянии. Однако при той же способности устройства блокировать прямое напряжение толщина области n-дрейфа может быть уменьшена, поскольку буферный слой  $N^+$  улучшает способность блокирования прямого напряжения. В результате этого падение напряжения во включенном состоянии может быть уменьшено. Таким образом, с точки зрения скорости переключения и прямого падения напряжения РТ-БТИЗ имеет лучшие компромиссные характеристики по сравнению с NPT-БТИЗ [1].

Исследуемая конструкция и технология производства РТ-IGBT

В традиционном разрешенном напряжении РТ-БТИЗ используется пластина, которая формируется путем эпитаксиального  $N^-$ -дрейфа на подложке  $P^+$ . Поскольку толщина  $N^-$ -дрейфа слоя тонкая, для стабильного производства толщина коллекторного слоя  $P^+$  должна превышать 200 мкм [2]. На рис. 2 представлена исследуемая конструкция РТ-БТИЗ с длиной канала = 2,4 мкм.

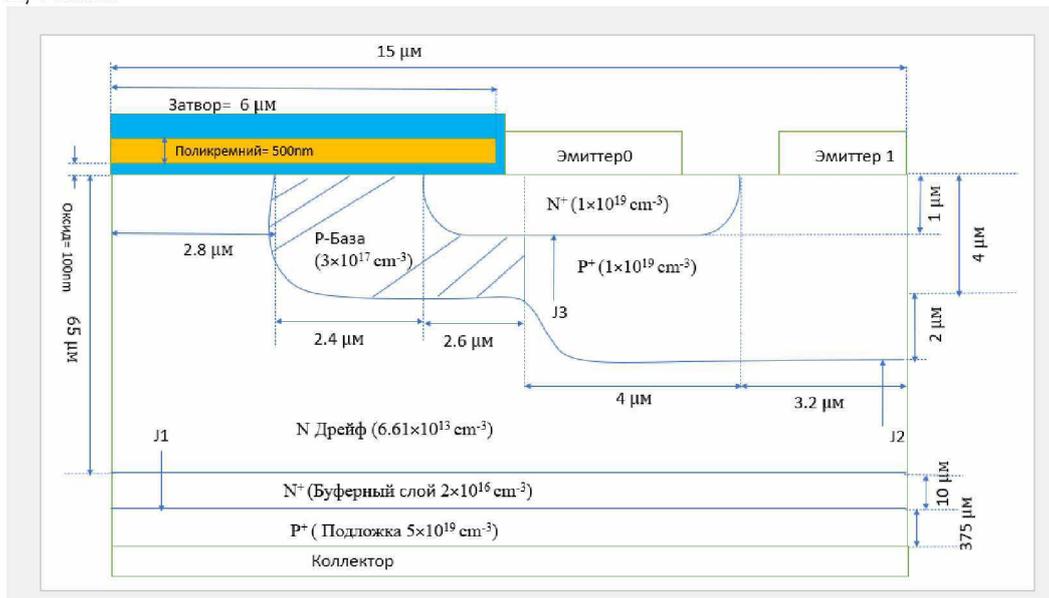


Рисунок 2 - Конструкция РТ-БТИЗ на объемном кремнии с длиной канала = 2,4 мкм.

Структуру РТ-БТИЗ обычно изготавливают путем выращивания дрейфовой области  $N^-$ -типа поверх подложки  $P^+$ . Первоначальный рост области дрейфа  $N^-$ -типа выполняется с большей концентрацией легирования для создания  $N^+$ -буферного слоя. Остальная часть области дрейфа  $N^-$ -типа затем выращивается с низкой концентрацией легирования до толщины, необходимой для поддержания прямого запирающего напряжения. В центре окна поликремниевого затвора формируется глубокая область  $P^+$  для подавления запирающего паразитного тиристора в обеих структурах БТИЗ. Его глубина выбрана таким образом, чтобы легирующая примесь  $P^-$ -типа не проникала в полупроводник ниже электрода затвора за счет латеральной диффузии [3]. Для этой цели моделирование и проектирование технологии изготовления РТ-БТИЗ и соответствующее моделирование устройства были выполнены с помощью модуля ATHENA (программа Suprem) и модуля ATLAS в программном пакете Silvaco [4].

Исходным материалом для структуры РТ-БТИЗ является высокочистая, бездислокационная и сильно легированная примесями кремниевая пластина  $N^-$ -типа с кристаллографической ориентацией  $\langle 100 \rangle$ , протяженностью 15 мкм, глубиной 8 мкм. Данная область является  $N^-$ -базой, которая является основой для формирования активной структуры. Данная область легированная фосфором до концентрации  $6,61 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ . Операция заключается в формировании глубокой области  $P^-$ -базы. Это реализуется путем имплантации

бора с высокой энергией имплантации  $E = 150$  кэВ и дозой  $D = 0.22 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup> и последующим отжигом (температура  $T = 1150$  °С и продолжительность  $t = 113$  мин). Максимальная концентрация примеси в P<sup>+</sup>-базы  $1 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>. На рис.3 представлен результат формирования P<sup>+</sup>-базы области РТ-БТИЗ.

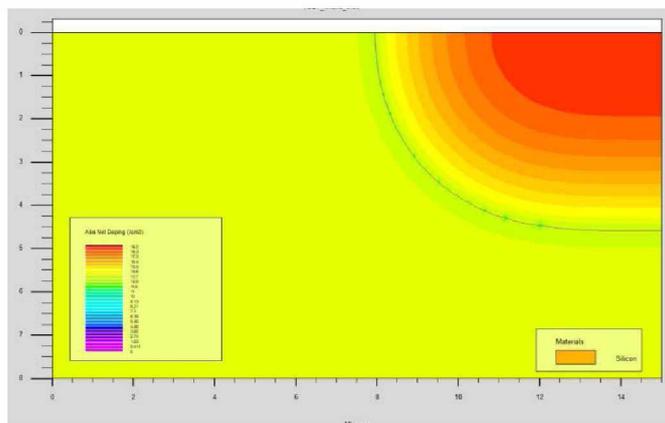


Рисунок 3 - Сформированный карман P<sup>+</sup>-базы РТ-БТИЗ

Формирование P<sup>+</sup>-базы БТИЗ. Карманы P-типа сформированы ионной имплантацией бора с энергией 150 кэВ и дозой  $0,17 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>. Проведен отжиг пластины в течении 105 при температуре 1150 °С. Максимальная концентрация примеси в P-базе  $3,0 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>. На рис.4 представлен результат формирования P<sup>+</sup>-базы области РТ-БТИЗ.

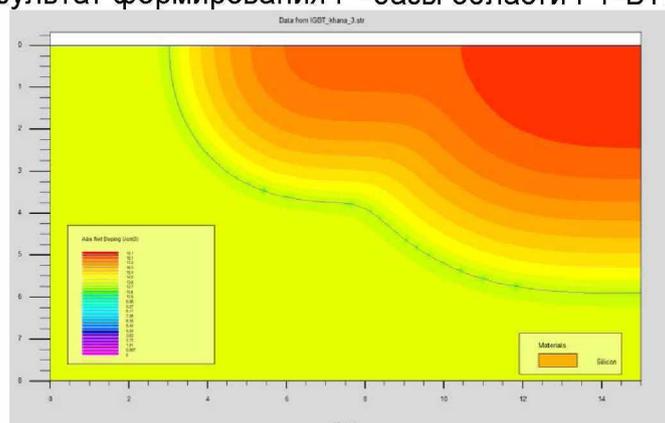


Рисунок 4 - Сформированный карман P<sup>+</sup>-базы РТ-БТИЗ

Формирование N<sup>+</sup>-эмиттера РТ-БТИЗ. Карман n-типа сформирован ионной имплантацией фосфора с энергией 100 кэВ и дозой  $0,15 \cdot 10^{16}$  см<sup>-2</sup>. Проведен отжиг пластины в течении 15 минут при температуре 1150 °С. Максимальная концентрация примеси в N<sup>+</sup>-базе  $1 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>. На рис.5 представлен результат формирования N<sup>+</sup>-эмиттера области РТ-БТИЗ.

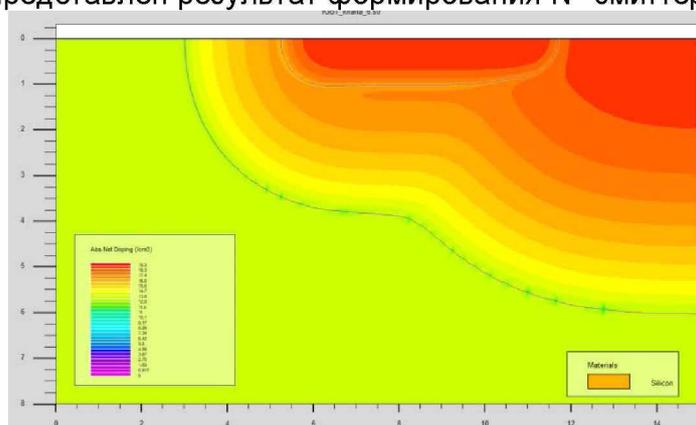


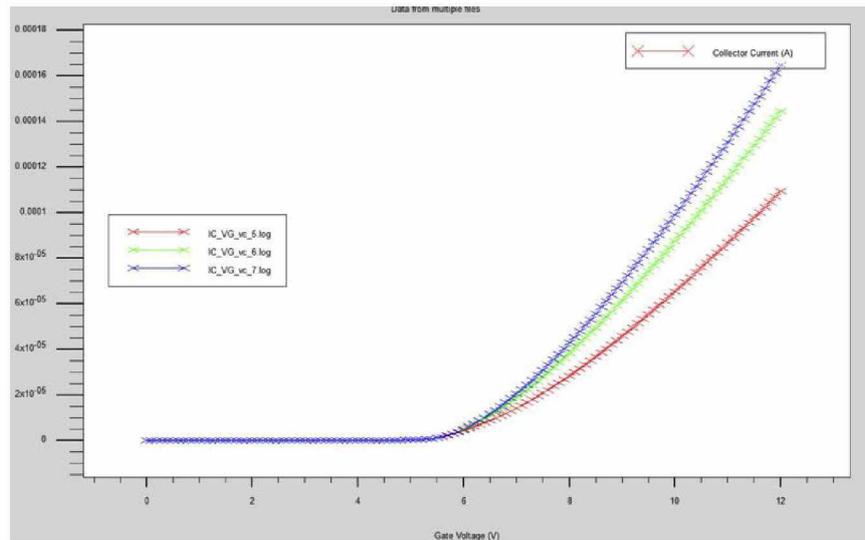
Рисунок 5 - Сформированный карман N<sup>+</sup>-эмиттер РТ-БТИЗ

Два рп-перехода (N+-эмиттер/P-база и P-база/N-дрейфа) определяют размер канала РТ-БТИЗ. Каждое соединение соответствует соответствующей маске граничного вентиля. Поскольку оба конца канала определяются с помощью структуры вентиля, такой как маска, обеспечивается точное выравнивание вентиля и канала. Также точно контролируется длина канала.

### Результаты моделирования ВАХ РТ-IGBT.

Моделирование технологического маршрута формирования и электрических характеристик приборных структур РТ-БТИЗ выполнялось с использованием программного комплекса компании SILVACO [4].

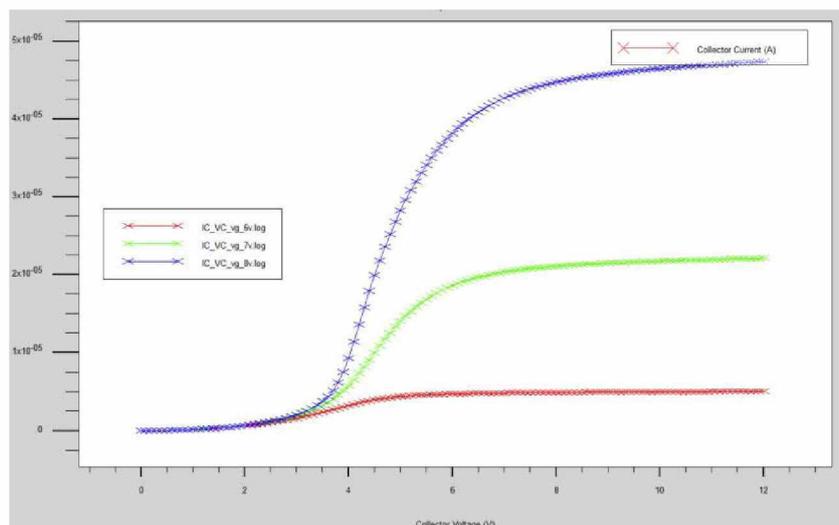
Зависимости тока коллектора  $I_c$  от напряжения на затворе  $V_g$  при напряжении на коллекторе  $V_c$  (5,6,7 В) представлены на рис. 6. Пороговое напряжение составляет около 6В.



1 –  $V_c = 5V$ ; 2 –  $V_c = 6V$ ; 3 –  $V_c = 7V$

Рисунок 6 - Зависимости тока коллектора  $I_c$  от напряжения на затворе  $V_g$

Семейство зависимостей тока коллектора  $I_c$  от напряжения на коллекторе  $V_c$  при разных значениях напряжения на затворе  $V_g$  (6, 7, 8В) представлено на рис.7



1 –  $V_c = 5V$ ; 2 –  $V_c = 6V$ ; 3 –  $V_c = 7V$

Рисунок 7 - Зависимости тока коллектора  $I_c$  от напряжения на затворе  $V_c$

Рассчитанная динамическая характеристика при значении напряжения на коллекторе  $V_c=6V$  приведены на рис. 8.

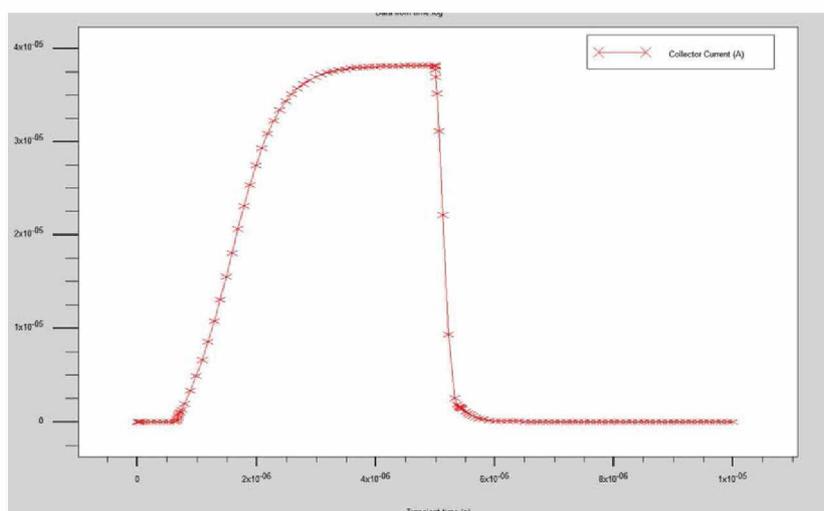


Рисунок 8 - Динамические характеристики РТ- БТИЗ

Характеристика прямой пробы РТ-БТИЗ приведена на рис.9. Напряжения составляет около 900В.

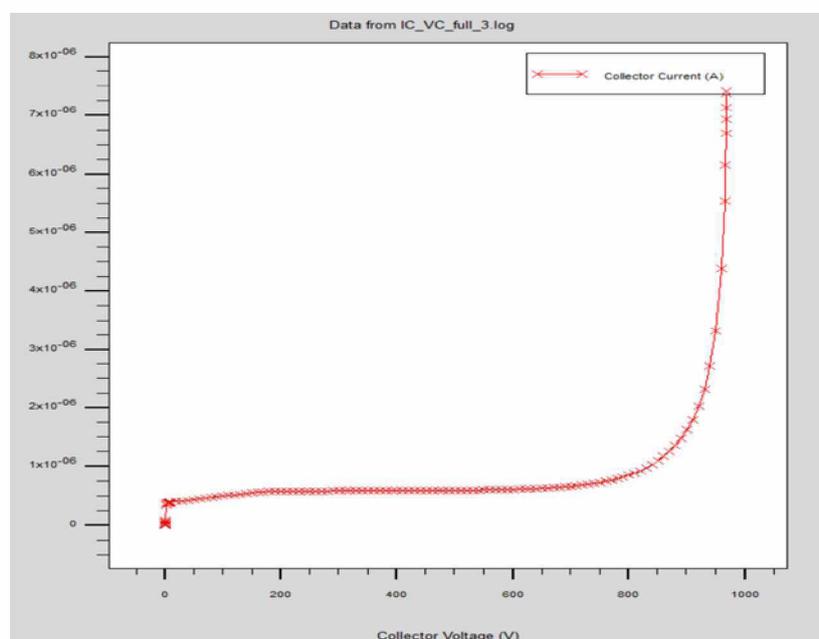


Рисунок 9 - Зависимость тока коллектора  $I_c$  от напряжения на коллекторе  $V_c$  при пробой

### **Заключение**

В статье представлены и обсуждаются результаты технологического моделирования технологии изготовления транзисторной структуры РТ-БТИЗ с использованием программного комплекса Silvaco. Представленные результаты были использованы в качестве входных параметров для расчета и оптимизации электрических характеристик исследуемого РТ-БТИЗ транзистора.

### **Список использованных источников:**

1. *Khanna V.K.* The Insulated Gate Bipolar Transistor IGBT. Theory and Design. IEEE, 2003.
2. *Mochizuki K., Ishii K., Takeda M.* Examination of Punch Through IGBT(PT-IGBT)for High Voltage and High Current Applications. IEEE, 2003.
3. *Baliga B.J.* Fundamentals of Power Semiconductor Devices, 2008.
4. SILVACO. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://silvaco.com/>. – Дата доступа: 06.12.2016.