

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРИБОРЫ

УДК 621.382

Захарова П. Р.

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ БСИТ - ТРАНЗИСТОРА СРЕДНЕЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОСТИ

Zakharova P. R.

RESEARCH AND THE ANALYSIS OF CHANGE OF PARAMETERS IN THE CHANNEL OF AVERAGE HIGH-VOLTAGE BIPOLAR STATIC INDUCTION TRANSISTOR

Пробивное напряжение и сопротивление являются определяющими характеристиками в технологии формирования структуры силового прибора. В данной статье проведено исследование и анализ зависимостей сопротивления канальной области кристалла от его конструктивно-технологических и температурных параметров для Биполярного со статической индукцией транзистора (далее БСИТ-транзистора) средней высоковольтности.

Ключевые слова: пробивное напряжение, сопротивление канала, технология, конструктивные параметры, кремниевая подложка

When developing a technology of power device's structure generation the breakdown voltage and the resistance of silicon substrate are constitutive parameters. Modern generation methods allow to create a structure based on fragile materials which behavior directly depends on the breakdown voltage and the resistance of chosen materials in the depth of structure. In this paper the work on determination the crystal's channel resistance dependence of its structural parameters for the average high-voltage BSIT is done.

Key words: breakdown voltage, structural resistance, generation technology, structural parameters, silicon substrate

Во второй половине 80-х годов прошлого века, когда в производстве полевых транзисторов, включая и МОП МТ, произошел качественный прорыв, появилась возможность технологической реализации мощных СИТ- и БСИТ-транзисторов. Биполярный со статической индукцией транзистор (далее БСИТ) представляет собой технологическую разновидность СИТ-транзистора с нормально-закрытым каналом, но с более сложной геометрической формой затвора. БСИТ стали производить по новой технологии, позволяющей изготавливать многоячеечные структуры с вертикальным каналом. При этом сток и исток разнесены по разные стороны кристалла и каждый такой прибор представляет собой параллельное соединение от нескольких тысяч до нескольких сотен тысяч элементарных ячеек — транзисторных структур, создаваемых методами полупроводниковой технологии в едином технологическом цикле на одном монокристалле.

Одними из основных параметров силового прибора является его пробивное напряжение и сопротивление канала. Цель данной работы — показать взаимосвязь сопротивления БСИТ от его конструктивно-технологических параметров.

Сопротивление БСИТ –транзистора в открытом состоянии складывается из нескольких компонентов показанных на рисунке 1:

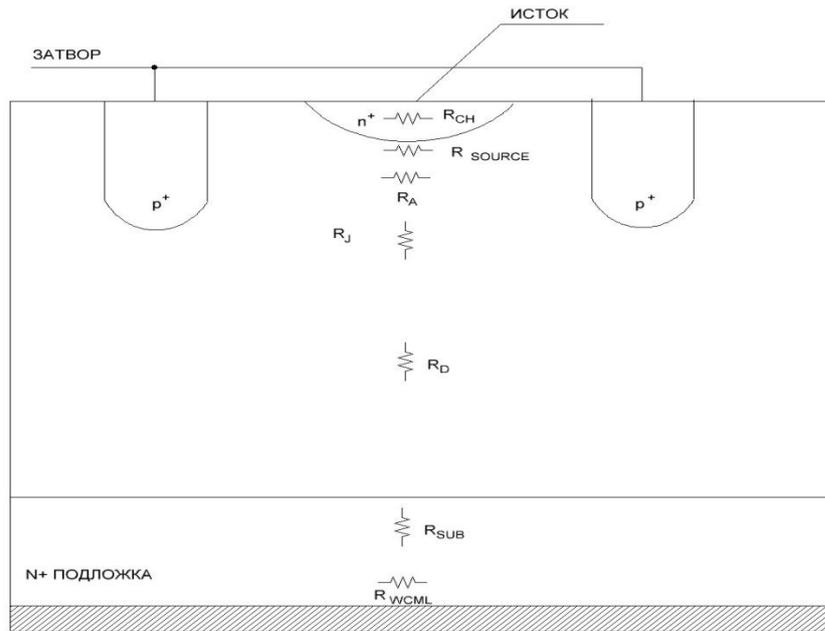


Рисунок 1 - Структура БСИТ

На рисунке 1 продемонстрировано соотношение каждой компоненты сопротивления в $R_{DS(on)}$ для структур, имеющих различное пробивное напряжение. Как видно из рисунка, доминирует сопротивление эпитаксиальной пленки и компоненты сопротивления между областями истока.

$$R_{DS(on)} = R_{SOURCE} + R_{CH} + R_A + R_J + R_D + R_{SUB} + R_{wcml}, \quad (1.1)$$

- где R_{SOURCE} - сопротивление области истока;
- R_{CH} - сопротивление канала;
- R_A - сопротивление в области накопления;
- R_J - сопротивление между затворными областями;
- R_D - сопротивление дрейфовой области;
- R_{SUB} - сопротивление подложки;
- R_{ext} - сопротивление внешних выводов.

При низких пробивных напряжениях преобладающим является сопротивление канала и сопротивление внешних выводов. Вклад подложки становится существенным для устройств с низким пробивным напряжением. Представим сопротивление транзистора в другой форме:

$$R_{DS(on)} = R_{ch} + R_{bulk} + R_{ext} \quad (1.2)$$

- где R_{ch} - сопротивление канала под затвором,
- R_{bulk} - сопротивление объемной области прибора,
- R_{ext} - сопротивление подложки, выводов и ножек корпуса.

Нами получены соотношения между сопротивлениями, входящими в структуру с значением пробивного напряжения (см. рис.2)

Из рисунка 2 видно, что сопротивления R_{ch} , и R_{ext} не зависят от напряжения, а сопротивление R_{bulk} сильно зависит от приложенного напряжения.

В таблице 1 показано процентное соотношение вкладов каждого сопротивления в величину сопротивления открытого канала для трех значений пробивного напряжения.

Таблица 1 - Процентное соотношение величин, составляющих сопротивление открытого канала для элементарной ячейки кристалла БСИТ

Составляющая	Предельное напряжение сток – исток, В		
	40	150	500
R_{ch}	50%	23%	2.4%
R_{bulk}	35%	70%	97%
R_{ext}	15%	7%	<1%

В соответствии с физикой работы полупроводниковых приборов можно сделать два вывода, справедливых для всех БСИТ приборов:

1. $R_{DS(on)}$ возрастает вместе с увеличением напряжения пробоя БСИТ структуры;
2. При минимальном значении сопротивления $R_{DS(on)}$ требуется высокое напряжение пробоя.

Величина сопротивления R_{bulk} в высоковольтных приборах имеет важное значение потому, что для областей стока используются толстые слаболегированные эпитаксиальные слои, необходимые для предотвращения появления сильных электрических полей (и преждевременного пробоя) в приборе.

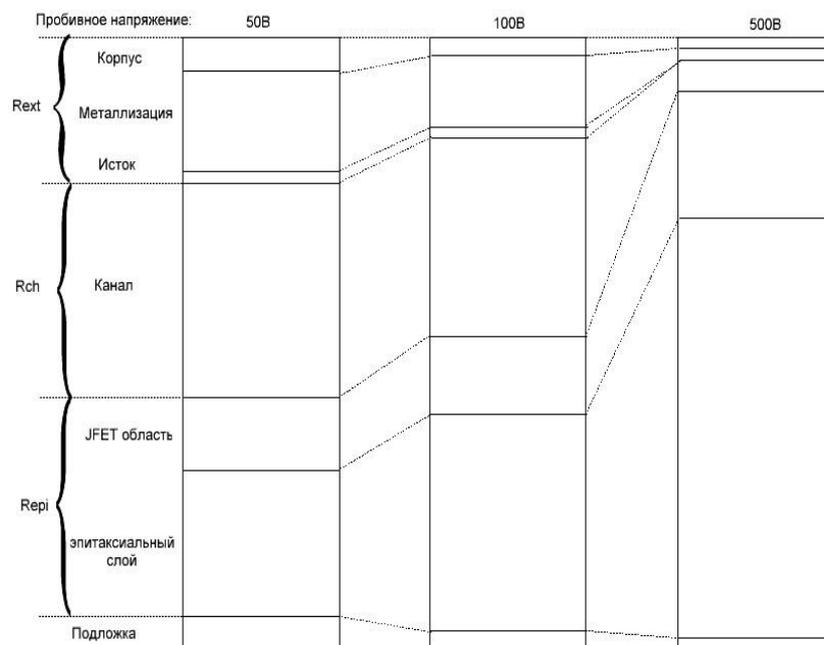


Рисунок 2 - Соотношение между сопротивлениями, входящими в структуру с различным значениями пробивного напряжения

Были получены и исследованы зависимости сопротивления и напряжения пробоя в канале БСИТ для разных площадей кристаллов (рис. 3). Анализ показал, что поскольку эпитаксиальные слои изготавливаются с большими значениями толщины и удельного сопротивления, объемная компонента сопротивления быстро возрастает и начинает преобладать над остальными составляющими. Однако существует способ обойти это препятствие.

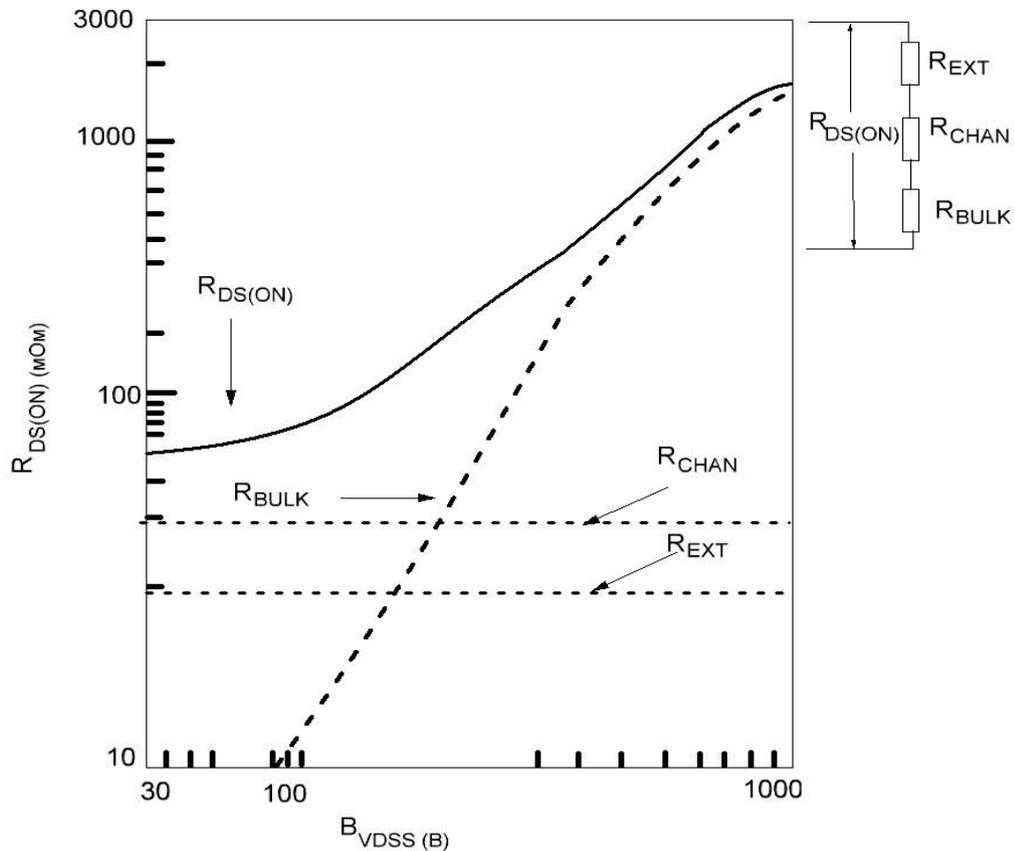


Рисунок 3 - Компоненты, составляющие сопротивление при открытом канале БСИТ

График для $R_{DS(on)}$ на рисунке 3 приведен для относительно небольшого кристалла. Включая параллельно большое количество ячеек, можно получить малое значение $R_{DS(on)}$ на кристалле большей площади (рис. 4). А при использовании кристалла большей площади увеличивается себестоимость прибора. И поскольку площадь кристалла увеличивается экспоненциально, а не линейно с ростом напряжения пробоя, выбор подходящей себестоимости производства имеет существенное значение.

Например, чтобы уменьшить величину $R_{DS(on)}$ вдвое, площадь нового кристалла должна быть увеличена в четыре-пять раз. Хотя цена и не возрастет при этом экспоненциальным образом, она будет существенно выше. С увеличением площади растет не только цена, но и паразитные емкости прибора. Поэтому уменьшение площади прибора является актуальной задачей с точки зрения уменьшения паразитных емкостей транзистора.

Как было показано выше, сопротивление транзистора состоит из нескольких сопротивлений отдельных частей БСИТ-транзистора

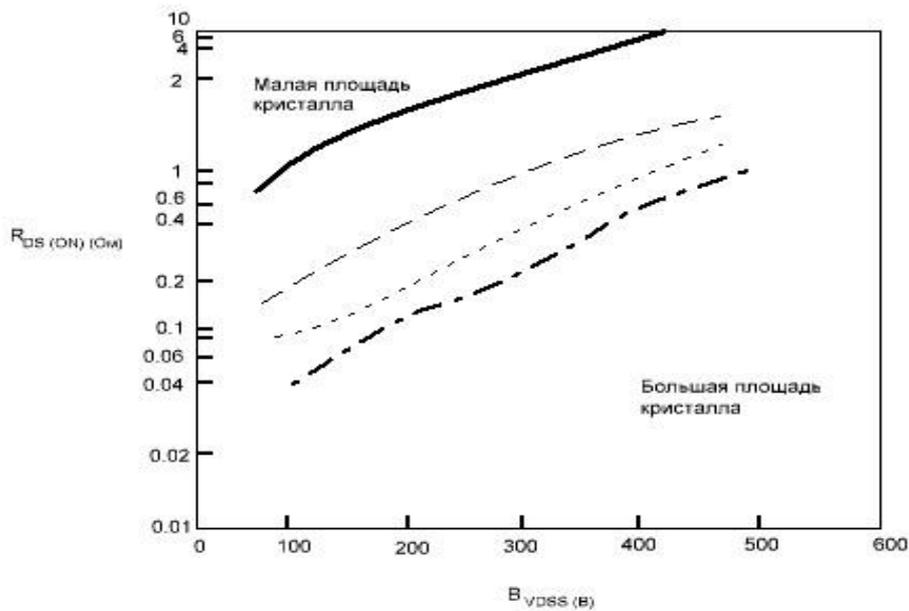


Рисунок 4 - Взаимосвязи сопротивления и напряжения пробоя в открытом канале БСИТ для разных площадей кристалла

Рассмотрим подробнее от чего зависит каждая часть сопротивления в открытом состоянии (см. рисунок 1).

1. Сопротивлением p^+ истоковой области можно пренебречь.
2. R_{ch} - сопротивление канала дается так:

$$R_{ch} = \frac{L}{Z\mu_{nx}C_{ox}(V_{GS} - V_{th})}$$

Для линейной геометрии ячейки сопротивление на единицу площади равно:

$$R_{ch,sp} = \frac{L(L_G + 2m)}{2\mu_{nx}C_{ox}(V_{GS} - V_{th})}$$

где μ_{ns} - средняя электронная подвижность в канале.

3. R_A - сопротивление в области накопления на единицу площади равно:

$$R_{A,sp} = \frac{0.6(L_G - 2x_p)(L_G + 2m)}{2\mu_{nx}C_{ox}(V_{GS} - V_{th})}$$

где μ_{nA} - средняя электронная подвижность в области накопления под затвором.

4. R_j - сопротивление между затворными областями, представляет собой сопротивление дрейфовой области между p - областями. Предполагая равномерное распределение тока в этой области и для линейной геометрии на единицу площади сопротивление равно:

$$R_{j,sp} = \frac{\rho_D(W_0 + x_p)(L_G + 2m)}{(L_G - 2x_p - 2W_0)}$$

5. R_D - сопротивление дрейфовой области. Ток в дрейфовой области растекается под углом 45 градусов к вертикали, образуя трапецию.

6. Сопротивление растекания дрейфовой области в единицу площади записывается так:

$$R_{D,sp} = \frac{\rho_D(L_G + 2m)}{2} \ln\left(\frac{a+t}{a}\right)$$

где $a = L_G - 2x_p$ при угле 45 градусов.

7. R_{sub} - сопротивление подложки:

$$R_{sub,sp} = \rho_s t_s,$$

где ρ_s и t_s - сопротивление и толщина подложки соответственно.

Если рассматривать зависимости сопротивления в открытом состоянии от расстояния между р-областями, то можно сделать вывод, что для приборов средней высоковольтности основной вклад в сопротивление дает область между затвором и дрейфовой областью. Сопротивлением области канала, накопления и подложки можно пренебречь.

Если рассматривать влияние высокой температуры на работу биполярного транзистора, то можно сделать вывод, что повышенная температура вызывает местный перегрев, повышение плотности тока биполярного транзистора вокруг периметра эмиттера и, в итоге, выход из строя прибора. БСИТ-транзисторы не обладают этим недостатком, поскольку работают на эффекте переноса основных носителей заряда. Подвижность основных носителей заряда в кремнии уменьшается с ростом температуры среды. Эта обратная зависимость заставляет носители двигаться медленнее по мере роста температуры кристалла. При этом сопротивление канала растет, что предотвращает концентрацию носителей вокруг горячих точек. Следовательно, в БСИТ структуре попытка образования горячих точек приводит к локальному увеличению сопротивления и заставляет носители стремиться к более холодным частям кристалла.

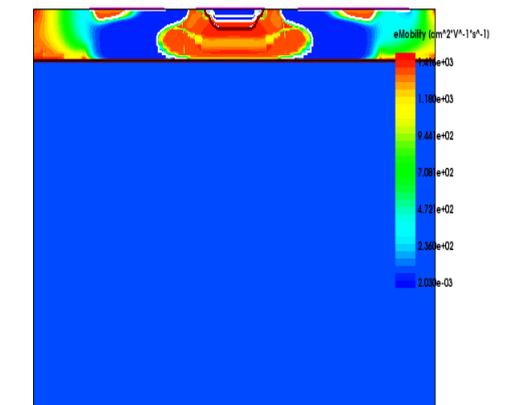


Рисунок 5 - Расчет сопротивления в канале БСИТ с помощью пакета TCAD фирмы Synopsys

Благодаря такому распределению тока БСИТ-транзистор имеет положительный температурный коэффициент сопротивления. Положительный температурный коэффициент сопротивления означает, что работа БСИТ-транзистора стабильна при колебаниях температуры и тем самым обеспечивается защита от перегрева и вторичного пробоя. Другим достоинством такой характеристики является возможность параллельного

включения БСИТ-транзисторов без опасения, что один прибор заберет на себя ток от других. Если один прибор начинает перегреваться, его сопротивление увеличивается и ток распределяется между другими, более холодными транзисторами.

Библиографический список:

1. Дудар Н.Л. Моделирование кремниевого транзистора со статической индукцией: Сборник тезисов докладов научно-технической конференции БГУИР №2. – Минск, 2005 г.
2. Отечественные транзисторы: БСИТ, СИТ, БТИЗ. - М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. - 64 с.
3. Барыбин А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы.- М.: Физматлит, 2006.-424с.