

УДК 621.38.049.776.2-032.577(047.1)(476)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВОГО ДИОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ ПЛЕНКИ

Н. Л. Лагунович, д. ф.-м. н. В. М. Борздов, д. т. н. А. С. Турцевич

ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»,
Белорусский государственный университет
Республика Беларусь, г. Минск
office@bms.by

В данной работе выполнено моделирование структуры диода площадью 4×1 мкм, рассчитаны конструктивные параметры этой структуры (поверхностное сопротивление R_s , глубина залегания p - n -перехода X_j) для трех вариантов эпитаксиальной пленки. Рассчитаны прямая и обратная ветви вольт-амперной характеристики структур, полученных при моделировании.

Ключевые слова: моделирование, диод, вольт-амперная характеристика.

Применение моделирования [1] в процессе производства полупроводниковых приборов не исключает полностью изготовления экспериментальных образцов, но позволяет снизить их количество. В данной работе приводятся результаты моделирования структуры кремниевого диода площадью 4×1 мкм, расчетные значения параметров этой структуры (поверхностное сопротивление R_s , глубина залегания p - n -перехода X_j) для трех типов эпитаксиальных пленок: 17,0КЭФ2,0 (кремний, легированный фосфором, электронного типа проводимости, толщиной $d=17,0$ мкм с удельным сопротивлением $\rho_v=2,0$ Ом·см); 25,0КЭФ6,0; 25,0КЭФ20,0. Рассчитаны прямая и обратная ветви вольт-амперной характеристики диодов.

Моделирование технологического процесса и электрических характеристик диода осуществлялось при помощи программного комплекса фирмы Synopsys [2]. Краткий технологический маршрут изготовления рассматриваемого диода включает в себя следующие операции: 1) выращивание эпитаксиальной пленки n -типа проводимости на подложке с таким же типом проводимости с удельным сопротивлением $\rho_v=0,01$ Ом·см; 2) формирование оксида толщиной $D=700$ нм и вытравливание в нем окна для формирования области p -типа; 3) формирование оксида толщиной $D=150$ нм перед ионным легированием бором; 4) формирование области p -типа диода при помощи ионного легирования бором и его последующей разгонки; 5) формирование омического контакта к области p -типа методом ионного легирования бором; 6) утонение подложки до 180 мкм; 7) напыление металла для формирования контактов к области p -типа на планарной стороне пластины и к области n -типа на непланарной стороне пластины.

В табл. 1 приведены параметры структуры диода, полученные при его моделировании. Глубину залегания p - n -перехода X_j определяли после разгонки области p -типа. Из табл. 1 видно, что полученные в результате расчетов значения параметров структуры имеют отклонения от нормы не более $\pm 10\%$.

Расчетные значения прямого напряжения на диоде $U_{\text{прямое}}$ указаны в табл. 2. Для диода на эпитаксиальной пленке 17,0КЭФ2,0 $U_{\text{прямое}}=0,86$ В; для диода на эпитаксиальной пленке 25,0КЭФ6,0 $U_{\text{прямое}}=0,88$ В; диода на эпитаксиальной пленке 25,0КЭФ20,0 $U_{\text{прямое}}=0,88$ В.

В процессе расчетов рассматривалась структура, в составе которой учитывалась полная толщина эпитаксиальной пленки и 3 мкм толщины подложки (вместо 180 мкм, получаемых при утонении пластины). Такое ограничение обусловлено максимально допустимым в программе для технологического моделирования TSuprem4 [2] количеством узлов сетки (40000), на которые разбивается моде-

лируемая структура, и количеством времени расчета. Вклад сопротивления подложки толщиной 180 мкм с $\rho_V=0,01$ Ом·см в общее сопротивление структуры база/эпитаксиальный слой/подложка составляет примерно 1 Ом, прямое падение напряжения на котором при токе 100 мА составляет примерно 0,1 В.

Таблица 1

Расчетные значения параметров диодов, полученных с применением трех типов эпитаксиальной пленки

Тип эпитаксиальной пленки	Толщина остаточного оксида, $D_{ост}$, нм	Поверхностное сопротивление, R_s , Ом/кв	Глубина залегания $p-n$ -перехода, X_j , мкм
17,0КЭФ2,0	419	42,7	9,76
25,0КЭФ6,0	419 (450)*	42,4 (40)*	10,44 (9,5)*
25,0КЭФ20,0	419	44,2	11,24

* Типовые значения эпитаксиальной пленки типа 25,0КЭФ6,0.

Таблица 2

Расчетные значения прямого напряжения и напряжения пробоя диодов, полученных с применением трех типов эпитаксиальной пленки

Тип эпитаксиальной пленки в структуре диода	Прямое падение напряжения, $U_{прямое}$, В, при 100 мА	Напряжение пробоя, $U_{проб}$, В, при 10 мкА
17,0КЭФ2,0	0,86	124
25,0КЭФ6,0	0,88	270
25,0КЭФ20,0	0,88	266

Расчетные значения прямого падения напряжения на диоде определялись при токе $2,264 \times 10^{-5}$ А, поскольку моделировалась структура площадью 4×1 мкм. Радиус активной области $p-n$ -перехода диода, как прибора, равен 75 мкм, тогда площадь активной структуры $\pi \cdot (75)^2 \approx 17671,5$ (мкм²). Ток $2,264 \times 10^{-5}$ А через прибор площадью 4 мкм² соответствует току 100 мА через прибор площадью 17671,5 мкм². При обратном смещении $p-n$ -перехода диода ток $2,264 \times 10^{-9}$ А через прибор площадью 4 мкм² соответствует току 10 мкА через прибор площадью 17671,5 мкм². В табл. 2 приведены значения напряжения пробоя диода $U_{проб}$ при токе $2,264 \times 10^{-9}$ А.

Полученные расчетные значения хорошо согласуются с экспериментальными данными.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Антонетти П., Антониадис Д., Даттон Р., Оулдхем У. МОП-СБИС. Моделирование элементов и технологических процессов. – Москва: Радио и связь, 1988.
2. <http://www.synopsys.com>.

N. L. Lagunovich, V. M. Borzdov, A. S. Turtsevich

Simulation of the manufacturing process and electric characteristics of the silicon diode at various parameters of the epitaxial film.

The paper presents the simulation of the diode structure with the area of 4×1 μm . The design parameters of this structure (sheet resistance R_s , $p-n$ -junction depth X_j) were calculated for three types of epitaxial films. The direct and reverse branches of the volt-ampere characteristics of the simulated structures were calculated.

Keywords: *simulation, diode, volt-ampere characteristic.*