

- [1] Климов А.И., Коблов А.Н., Мишин Г.И. и др. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. Вып. 9. С. 551-554.
- [2] Горшков В.А., Климов А.И., Мишин Г.И. и др. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 10. С. 1893-1897.
- [3] Басаргин И.В., Мишин Г.И. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 8. С. 55-60
- [4] Басаргин И.В., Мишин Г.И. // Препринт ФТИ РАН. № 880. Л., 1984.
- [5] Басаргин И.В., Мишин Г.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 4. С. 209-215
- [6] Басаргин И.В., Мишин Г.И., Федотов А.А. // Препринт ФТИ РАН. № 1642. СПб., 1995.
- [7] Мишин Г.И., Климов А.И., Гридин А.Ю. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. Вып. 6. С. 37-44.
- [8] Гридин А.Ю., Климов А.И., Мишин Г.И. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. Вып. 8. С. 30-33.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИФЕРИЙНОЙ ЧАСТИ ПЛАНАРНЫХ $p-n$ -ПЕРЕХОДОВ В МОЩНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ

© Е.Н.Куршева, Б.К.Петров

Воронежский государственный университет,  
394693 Воронеж, Россия  
(Поступило в Редакцию 5 сентября 1995 г.)

В силовых приборах, которые способны блокировать высокие напряжения, широко применяются планарные переходы, периферия которых ограничивает величину прикладываемых напряжений. В связи с необходимостью получения высокой надежности приборов возникает вопрос о повышении пробивного напряжения  $p-n$ -переходов, для решения которого широко используются диффузионные делительные кольца.

В настоящей работе нами рассматривается метод расчета пробивных напряжений высоковольтных МОП (металл-окисел-полупроводник) и биполярных структур, содержащих области, находящиеся под плавающим потенциалом, а также обсуждается применение данного метода для определения пробивных напряжений транзисторных структур, имеющих различное количество делительных колец при различных глубинах залегания их  $p-n$ -переходов и различных концентрациях донорной примеси в высоковольтной  $n^-$ -области.

Пробивные напряжения, распределение поля, потенциала  $\varphi$  и интегралы ионизации находились путем решения двумерного уравнения Пуассона в структуре, содержащей высоковольтную область, основной переход и несколько делительных колец (рис. 1),

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -\frac{q}{\epsilon \epsilon_0} (p - n + N_d - N_a).$$

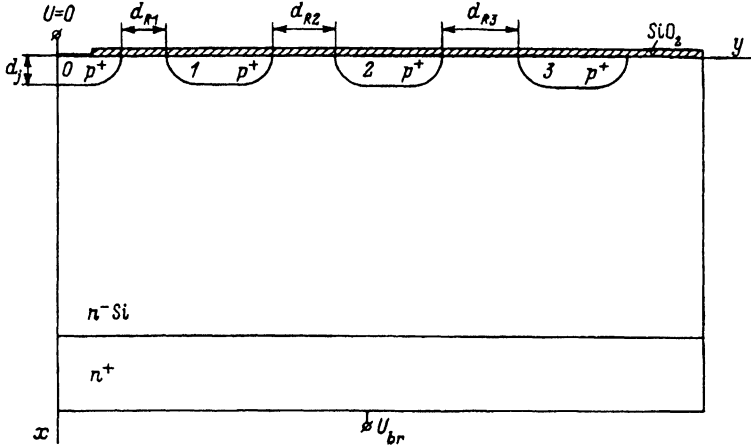


Рис. 1. Схематический разрез моделируемой структуры, содержащей несколько делительных колец.

В уравнении Пуассона в случае обратно смещенного  $p-n$ -перехода и отсутствия неосновных носителей, концентрация дырок  $p$  и электронов  $n$  выражается через квазипотенциалы Ферми, которые предполагаются постоянными и равными потенциалам, приложенным к соответствующим областям, исключая области, находящиеся под плавающим потенциалом. Квазипотенциалы Ферми областей плавающих потенциалов определяются как максимум или минимум распределения потенциала по пути тока через  $p-n$ -переход [1]. Таким образом, уравнение Пуассона в структуре может быть выражено как функция потенциала  $\varphi$ , приложенных внешних напряжений и значений квазипотенциала Ферми в нейтральной части областей, находящихся под плавающим потенциалом.

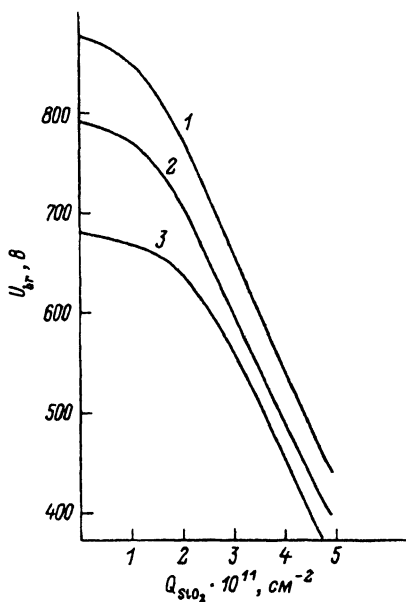


Рис. 2. Расчетные зависимости пробивных напряжений структур с двумя делительными кольцами от величины заряда в окисле  $Q_{\text{SiO}_2}$ .

$d_j = 7 \text{ мкм}$ ;  $N_d, \text{ см}^{-3}$ : 1 —  $1 \cdot 10^{14}$ , 2 —  $1.5 \cdot 10^{14}$ , 3 —  $2 \cdot 10^{14}$ .

$N_d,$ см <sup>-3</sup>	$d_j,$ мкм	Количество колец в структуре								
		1		2			3			
		$U_{br},$ В	$d_R,$ мкм	$U_{br},$ В	$d_{R1},$ мкм	$d_{R2},$ мкм	$U_{br},$ В	$d_{R1},$ мкм	$d_{R2},$ мкм	$d_{R3},$ мкм
$1 \cdot 10^{14}$	5	550	12	740	12	18	830	8	12	17
$\bar{U}_{br} =$	7	650	15	880	15	21	1000	9	15	23
1450 В	10	750	17	970	17	23	1200	10	17	27
$1.5 \cdot 10^{14}$	5	440	10	630	11	16	740	7	10	16
$\bar{U}_{br} =$	7	570	12	770	13	17	880	8	13	20
1070 В	10	650	14	880	16	20	950	9	14	23
$2 \cdot 10^{14}$	5	410	8	590	9	15	640	5	8	14
$\bar{U}_{br} =$	7	510	10	650	10	14	760	6	11	18
836 В	10	580	12	760	12	17	810	8	12	20

На основе рассмотренной математической модели создан пакет прикладных программ, в котором уравнение Пуассона в структуре решалось методом конечных разностей в двумерном случае.

В литературе хорошо изучены структуры, имеющие одно делительное кольцо, для пробивных напряжений которых выведены универсальные зависимости (см., например, и [2-4]). Структурам с несколькими делительными кольцами посвящено гораздо меньше работ [5,6], причем вопросы достижения максимальных значений  $U_{br}$  при оптимальных расстояниях между кольцами  $d_R$  рассматривались только в [5], где проведено моделирование структур, содержащих делительные кольца с глубиной залегания  $p-n$ -перехода  $d_j > 20$  мкм.

В современных мощных высоковольтных МОП и биполярных транзисторах используются неглубокие  $p-n$ -переходы (5-10 мкм). Поэтому для обеспечения необходимых значений  $U_{br}$  формируются несколько делительных колец.

В качестве примера рассчитаны пробивные напряжения мощных высоковольтных транзисторных структур, имеющих концентрацию доноров в высоковольтной области  $N_d = 1-2 \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup>, поверхностную концентрацию акцепторов в  $p$ -области  $N_{as} = 1 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>, содержащих 1-3 делительных кольца с глубиной залегания  $p-n$ -перехода 5-10 мкм. Для этих случаев определены пробивные напряжения структур и подробно рассмотрен вопрос определения оптимальных расстояний между кольцами (см. таблицу). Нами показано, что уже с помощью трех колец глубиной 10 мкм можно обеспечить пробивное напряжение, составляющее 0.9 от  $\bar{U}_{br}$  для плоского случая. Нами определено, что при изменении оптимальных расстояний на 2 мкм (что составляет обычную погрешность фотолитографического процесса) пробивное напряжение понижается на 5-7%. Оптимальное расстояние между кольцами зависит от концентрации доноров высоковольтной области и глубины  $p-n$ -перехода  $d_j$ .

Так как планарные приборы имеют на поверхности защитный окисел  $\text{SiO}_2$ , то нами рассчитаны реальные значения пробивных напряжений структур с учетом влияния положительного заряда в окисле [4-7]. Значения пробивных напряжений структур с двумя делительными кольцами при различных  $N_D$  показаны на рис. 2. Из расчетных зависимостей видно, что уже при значениях  $Q_{\text{SiO}_2} = 3 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} U_{br}$  падает на 25%, а при  $Q_{\text{SiO}_2} = 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$  эффект падения напряжения увеличивается до 50%. Следовательно, для обеспечения заданного пробивного напряжения необходимо контролировать значение заряда в окисле, защищающем периферию приборов, и формировать большее количество колец, чем рассчитано для случая, не учитывающего влияние положительного заряда.

#### Список литературы

- [1] *Omura I., Nakagawa A.* // Proc. the 6<sup>th</sup> Intern. NASECODE Conf. Dublin, 1989. P. 372-376.
  - [2] *Adler M.S. et al.* // IEEE Trans. Electron. Dev. 1977. Vol. ED-24. P. 107-113.
  - [3] *Yasuda S., Yonezawa T.* // Solid St. Electron. 1980. Vol. 23. P. 1077-1082.
  - [4] *Basevana Goud C., Bhat K.N.* // IEEE Trans. Electron. Dev. 1992. Vol. ED-39. P. 1768-1770.
  - [5] *Brieger K.P., Gerlah W., Pelka J.* // Solid St. Electron. 1982. Vol. 25. P. 739-745.
  - [6] *Whight K.R., Coe J.* // Solid St. Electron. 1984. Vol. 27. P. 1021-1030.
  - [7] *Кононович Б.А., Миронов В.А.* // Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы. 1985. № 6. С. 19-23.
-