

**КОМПЬЮТЕРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ
ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Ё.К. Тошмуродов

detector@uzsci.net

Г.Ж. Эргашев

Ш.А. Сайфуллоев

Физико-технический институт НПО «Физика–Солнце» Академии наук
Республики Узбекистан, Ташкент, Республика Узбекистан

Аннотация

Представлены экспериментальные вольт-амперные характеристики кремниевых полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов ядерного излучения с размерами чувствительной области 24×24×1,5 мм и восемью токосъемными электродами, а также аппроксимирующие математические модели этих характеристик

Ключевые слова

Компьютерная математическая модель, вольт-амперная характеристика, диффузия, дрейф, ионы лития

Поступила в редакцию 24.04.2017
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

В настоящее время для регистрации заряженных частиц наиболее перспективным является использование твердотельных кремниевых детекторов ядерного излучения. Полупроводниковые детекторы широко применяют в ядерных физических экспериментах, а также в медицине, геологии, охране окружающей среды и т. д. В то же время их создание связано с рядом физических, конструкционных, технических и технологических особенностей, обусловленных проявлением эффектов, вызванных несовершенством исходных монокристаллов кремния больших диаметров ($d > 30$ мм), из которых изготавливают эти детекторы. Таким образом, возникает необходимость в компьютерном моделировании всех этапов технологического процесса изготовления детекторов, учитывая на каждом этапе степень влияния свойств исходного кремния на электрофизические и радиометрические характеристики детектора. Полученные математические модели могут быть использованы не только для исследования полупроводниковых детекторов, но и для исследования других полупроводниковых приборов, в частности диодов, транзисторов, тиристоров и т. п. Предварительно необходимо изучить особенности идентификации и неоднородности распределения точечных дефектов, вкраплений, кластеров и других несовершенств в объеме полупроводниковых кристаллов.

Основная задача компьютерного эксперимента — разработка и проверка математической модели прибора, количественно описывающей взаимосвязи между его входными и выходными параметрами [1].

Полупроводниковый координатно-чувствительный детектор (ППКЧД) изготовлен из промышленного кремния р-типа с удельным сопротивлением $\rho = 3 \dots 8$ кОм, временем жизни носителей заряда $\tau \geq 300$ мкс и концентрацией кислорода $N(\text{O}_2) \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$ на пластине шириной около 50 мм и толщиной 2,0...2,5 мм. Диффузия лития проводилась на фронтальной стороне кремниевой пластины в вакууме ($\sim 10^{-6}$ Торр) при температуре $T_{\text{диф}} = 450$ °С на глубину 120...150 мкм приблизительно в течение 30 с. После процесса диффузии осуществлялась компенсация объема кремния методом дрейфа ионов лития [2–4].

Построение математической модели ППКЧД основано на проведенных натуральных экспериментах (таблица, рис. 1). Входной параметр — напряжение U , а выходной параметр — сила тока I в образце.

Экспериментальные вольт-амперные характеристики восьмиполосного детектора

Напряжение U , В	Номер полосы детектора							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Сила тока I , мкА							
10	0,20	0,40	0,20	0,20	0,60	0,30	0,20	0,30
20	0,30	0,50	0,40	0,30	0,80	0,35	0,30	0,50
30	0,40	0,60	0,60	0,34	0,90	0,40	0,40	0,60
40	0,45	0,70	0,70	0,36	1,10	0,48	0,50	0,70
50	0,46	0,80	0,90	0,39	1,25	0,53	0,60	0,80
60	0,48	0,90	1,10	0,43	1,49	0,61	0,70	0,84
70	0,53	1,00	1,20	0,47	1,62	0,62	0,80	0,90
80	0,68	1,20	1,40	0,52	1,80	0,66	1,00	1,00
90	0,71	1,30	1,60	0,56	2,00	0,71	1,20	1,10
100	0,78	1,40	1,70	0,59	2,10	0,75	1,30	1,20
110	0,80	1,60	2,10	0,63	2,26	0,84	1,70	1,28
120	0,82	1,90	2,40	0,64	2,40	0,86	1,90	1,30
130	0,90	2,10	2,50	0,68	2,60	0,90	2,00	1,36
140	1,20	2,90	3,00	0,85	2,90	1,10	2,40	1,60

Согласно кривым, приведенным на рис. 1, значения токов утечки при напряжении 140 В для всех полос принадлежат к интервалу 0,5...3,0 мкА. Это означает, что достигнута однородная компенсация объема кремния ионами лития в образцах больших размеров (ширина 50 мм, толщина 4 мм).

В качестве математических моделей вольт-амперных характеристик ППКЧД можно использовать аппроксимирующие полиномы второго порядка вида

$$I = (aU^2 + bU + c), \quad (1)$$

где a, b, c — неизвестные вещественнозначные коэффициенты. Для поиска значений этих коэффициентов используем метод наименьших квадратов.

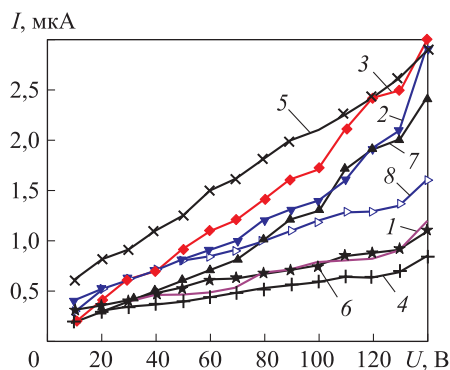


Рис. 1. Статические вольт-амперные характеристики ППКЧД для первой (1), второй (2), третьей (3), четвертой (4), пятой (5), шестой (6), седьмой (7) и восьмой (8) полос

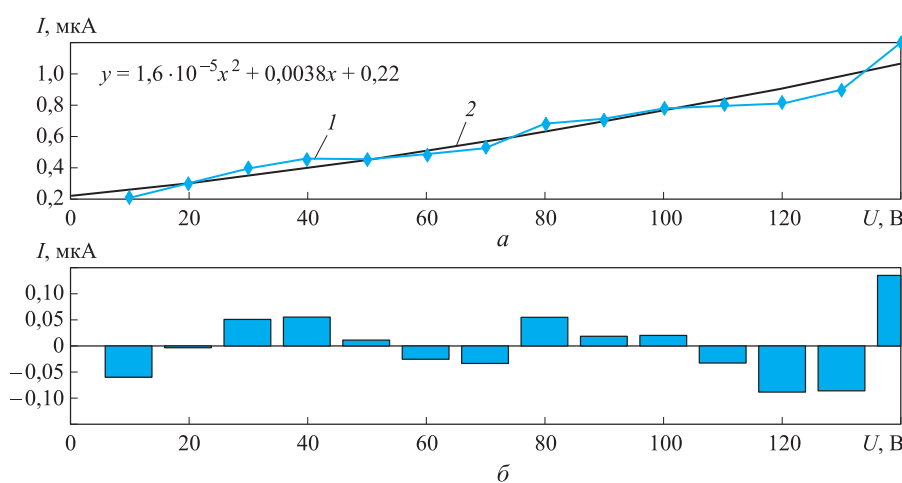


Рис. 2. Квадратичная математическая модель статической вольт-амперной характеристики ППКЧД (а) и погрешность этой модели (б)

Сравнение экспериментальных вольт-амперных характеристик ППКЧД ядерного излучения больших размеров с результатом моделирования с помощью предложенной эквивалентной вольт-амперной характеристики приведено на рис. 2, а. Построены графики вольт-амперной характеристики для одной полосы ППКЧД. Для моделирования характеристик использован программный пакет *MATLAB 7.8.0(R2015a)*. Результаты математического моделирования показывают, что предложенная эквивалентная электрическая схема позволяет с хорошей точностью описывать вольт-амперные характеристики структур Si(Li) p-i-n. Отклонение результата эксперимента от моделирования (на 0,22) показано на рис. 2, б.

Заключение. Определены экспериментальные вольт-амперные характеристики кремниевых ППКЧД ядерного излучения и построены их квадратичные математические модели.

Полученные результаты можно использовать в томографической системе, в которой информация передается на компьютер в виде изображения. В этом случае в целях обеспечения точной идентификации получаемой информации проводится учет особенностей электрофизических свойств по полосам детектора.

Таким образом, выполняется компьютерное математическое моделирование характеристик ППКЧД. Разработанная модель позволяет обобщить и обеспечить высокое качество получаемой информации в детекторах ППКЧД.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Моделирование* вольт-амперных характеристик детекторов рентгеновского и гамма-излучения на основе структур Me-CdZnTe-Me / Д.В. Кутний, В.Е. Кутний, А.В. Рыбка и др. // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна: Серія фізична: Ядра, частинки, поля. 2007. Т. 2 (34). № 777. С. 73–78.
2. *Азимов С.А., Муминов Р.А., Шамирзаев С.Х., Яфасов А.Я.* Кремний-литиевые детекторы ядерного излучения. Ташкент: Фан, 1981. 257 с.
3. *Раджапов С.А.* Особенности физических процессов формирования кремний-литиевого детектора ядерного излучения с большой чувствительной областью // Автореф. ... дис. д-ра физ.-мат. наук. Ташкент, 2010. 20 с.
4. *Development and optimization of the production technology of large-size position-sensitive detectors* / R.A. Mumunov, S.A. Radzhapov, Yo.K. Toshmuradov, Sh. Risaliev, et al. // *Instruments and Experimental Techniques*. 2014. Vol. 57. Iss. 5. P. 564–565.
DOI: 10.1134/S0020441214040083

Тошмуродов Ёркин Кахрамонович — старший научный сотрудник Физико-технического института НПО «Физика–Солнце» Академии наук Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, 100084, Ташкент, ул. Бодомзор йули, д. 2Б).

Эргашев Гиёс Жураевич — младший научный сотрудник Физико-технического института НПО «Физика–Солнце» Академии наук Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, 100084, Ташкент, ул. Бодомзор йули, д. 2Б).

Сайфуллоев Шохрух Амин угли — ведущий инженер Физико-технического института НПО «Физика–Солнце» Академии наук Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, 100084, Ташкент, ул. Бодомзор йули, д. 2Б).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Тошмуродов Ё.К., Эргашев Г.Ж., Сайфуллоев Ш.А. Компьютерно-математическое моделирование электрофизических характеристик полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов ядерного излучения // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2018. № 1. С. 16–20. DOI: 10.18698/0236-3933-2018-1-16-20

COMPUTER-MATHEMATICAL SIMULATION OF ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR COORDINATE-SENSITIVE DETECTORS OF NUCLEAR RADIATION

Yo.K. Toshmurodov

detector@uzsci.net

G.J. Ergashev

Sh.A. Sayfulloev

Physical Technical Institute, Physics–Sun Scientific and Production Association,
Academy of Sciences of Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract

The paper presents the experimental volt-ampere characteristics of silicon-based semiconductor coordinate-sensitive detectors of ionizing radiation with large area of sensitive region of $24 \times 24 \times 1.5$ mm and 8 current-reading electrodes, and also approximating mathematical models of these characteristics

Keywords

Computer mathematical model, current-voltage characteristic, drift and diffusion of lithium ions

Received 24.04.2017

© BMSTU, 2018

REFERENCES

- [1] Kutniy D.V., Kutniy V.E., Rybka A.V., et al. Voltage-current characteristic simulation for X-ray and gamma detectors based on Me–CdZnTe–Me structures. *Visnik Kharkivs'kogo natsional'nogo universitetu im. V.N. Karazina: Seriya fizichna: Yadra, chastinki, polya*, 2007, vol. 2 (34), no. 777, pp. 73–78.
- [2] Azimov S.A., Muminov R.A., Shamirzaev S.Kh., Yafasov A.Ya. Kremniy-litievye detektory yadernogo izlucheniya [Silicon-lithium detectors of nuclear radiation]. Tashkent, Fan Publ., 1981. 257 p.
- [3] Radzhapov S.A. Osobennosti fizicheskikh protsessov formirovaniya kremniy-litievogo detektora yadernogo izlucheniya s bol'shoy chuvstvitel'noy oblast'yu. Avtoref. dis. dok. fiz.-mat. nauk [Physical processes features of forming silicon-lithium nuclear radiation detector with high responsivity region. Abs. dr. phys.-mat. sci. diss.]. Tashkent, 2010. 209 p. (in Russ.).
- [4] Muminov R.A., Radzhapov S.A., Toshmuradov Yo.K., Risaliev Sh., Bekbaev S., Kurmantayev A. Development and optimization of the production technology of large-size position-sensitive detectors. *Instruments and Experimental Techniques*, 2014, vol. 57, iss. 5, pp. 564–565. DOI: 10.1134/S0020441214040083

Toshmurodov Yo.K. — Senior Research Fellow, Physical Technical Institute, Physics–Sun Scientific and Production Association, Academy of Sciences of Republic of Uzbekistan (Bodomzor yuli ul. 2B, Tashkent, 100084 Republic of Uzbekistan).

Ergashev G.J. — Junior Research Fellow, Physical Technical Institute, Physics–Sun Scientific and Production Association, Academy of Sciences of Republic of Uzbekistan (Bodomzor yuli ul. 2B, Tashkent, 100084 Republic of Uzbekistan).

Sayfulloev Sh.A. — Leading Engineer, Physical Technical Institute, Physics–Sun Scientific and Production Association, Academy of Sciences of Republic of Uzbekistan (Bodomzor yuli ul. 2B, Tashkent, 100084 Republic of Uzbekistan).

Please cite this article in English as:

Toshmurodov Yo.K., Ergashev G.J., Sayfulloev Sh.A. Computer-Mathematical Simulation of Electrophysical Characteristics of Semiconductor Coordinate-Sensitive Detectors of Nuclear Radiation. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Bauman, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2018, no. 1, pp. 16–20 (in Russ.).
DOI: 10.18698/0236-3933-2018-1-16-20