

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТРАНСПОРТА ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ (Si) СТАБИЛИЗАТОРАХ НАПРЯЖЕНИЯ*

Frequency and temperature dependencies of power spectral density of fluctuations of voltage caused by fluctuations of density of stream of carriers of charge in a range of frequencies 10 Hz -10 kHz have been explored. The $1/f$ dependence of values of fluctuations on frequency have been established. Two kinds of fluctuations have been revealed: superficially - diffusive and quantum-mechanical tunneling.

В соответствии с современными тенденциями в развитии элементной базы микроэлектроники перед разработчиками и производителями ИМС в Беларуси все острее встает проблема более точного дозирования технологических воздействий на ключевые операции со здания ИМС, в том числе концентрацию и конфигурацию примесей. Это важно для обеспечения конкурентоспособности и надежности изделий нанoeлектроники [1], а также для обеспечения их линейных размеров меньше длины рендомизации транспорта заряда [2].

Задача оптимизации доз технологических воздействий предполагает применение методов контроля с более высокой разрешающей способностью, технологически и технически совместимых с традиционными методами контроля конструктивно заданных параметров, обеспечивающих отслеживание сопутствующих непротокольных сигналов, обусловленных рендомизацией транспорта заряда.

Наиболее оптимальным представляется метод анализа спектра характерных для полупроводниковых приборов генерационно-рекомбинационных процессов (анализ спектра $1/f$ -шумов).

Теоретический расчет токовых $1/f$ -шумов для диода в случае малого уровня инжекции приведен в [3]:

$$S_i(\omega) = i^2 N_i / (\pi \eta_n^2 L^4 S) \int_0^L [f_{in}(x) f_{ip}(x) \tau(x) x^2 / (1 + \omega^2 \tau^2(x))] dx,$$

что обычно хорошо подтверждается экспериментально.

Расчет $1/f$ -флуктуаций проводимости за счет изменения во времени конфигурации примесей выполнен в работах [5-8]. Согласно этим расчетам смещение примесного центра на расстояние порядка длины волны Ферми достаточно, чтобы проводимость изменилась на величину e_2/h .

В УП «Белмикросистемы» создан а установка для измерения напряжения шумов (U_m), спектральной плотности шумов напряжения, спектральной плотности

* Авторы статьи - сотрудники УП «Белмикросистемы» НПО «Интеграл».

шумов тока в диапазоне частот 0,1 Гц ÷ 100 кГц и значений спектральной плотности мощности шумов от 10^{-18} В²/Гц и выше

Исследования напряжений шумов проводились на 23 образцах новых изделий -стабилизаторах напряжения 3, 5, 6, 12, 15, 18, 24 В в диапазоне частот 10 Гц ÷ 10 кГц. Результаты измерений $U_{ш}$ при $T=300$ К приведены в табл. 1-3.

Таблица 1 На основании полученных

Результаты измерений напряжения шума $U_{ш}$ для стабилизаторов 3 В

№ прибора	Аналог	4	5	6
$U_{ш}$, мкВ	38	44	45	44

Таблица 2

Результаты измерений напряжения шума $U_{ш}$ для стабилизаторов 6, 12, 18 В

Типономинал	1244ЕП16Т			1244ЕП12Т			1244ЕП18Т	
№ прибора	1	2	3	1	2	3	1	2
$U_{ш}$, мкВ	52	50	51	84	85	87	110	115

Таблица 3

Результаты измерений напряжения шума $U_{ш}$ для стабилизаторов 5, 15, 24 В

Типономинал	1253ЕИ5Т				1253ЕИ15Т				1253ЕИ24Т			
№ прибора	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
$U_{ш}$, мкВ	27	29	31	30	94	115	96	89	151	150	150	151

3. Значения напряжений стабилизации и токов потребления образцов при температурах 77 и 300 К равны.

4. Напряжение шумов при $T=70$ К уменьшается на 30 % по сравнению с их значением при температуре 300 К. Это свидетельствует о том, что около 30 % от измеренного при $T=300$ К значения $U_{ш}$ составляют шумы поверхностно-диффузионного характера, связанные с флуктуациями уровня Ферми у поверхности кристалла и обусловленные взаимодействием объема полупроводника с поверхностными состояниями (квазизарядовая анизотропия поверхности, пассивирующего слоя) [4, 9, 10]. Остальные 70 % напряжения шумов составляют не зависящие от температуры и обусловленные квантовомеханическим туннелированием носителей заряда шумы (области омических контактов и пространственного заряда, эпитаксиальный слой).

При возвращении образцов в нормальные условия ($T=300$ К) напряжения шумов принимают первоначальные значения. Оба наблюдаемых и описанных процесса приводят к $1/f$ -флуктуациям проводимости.

При проведении исследований у трех образцов было зафиксировано аномальное поведение напряжения $1/f$ -шумов (рост значения $U_{ш}$ на 30-100 % при $T=70$ К по сравнению с $T=300$ К), что обусловлено возрастанием омического сопротивления в области баллистических «точечных контактов» с $5 \cdot 10^{-12}$ до $1,7 \cdot 10^{-10}$ Ом. Увеличение сопротивления предположительно вызвано остаточными механическими напряжениями кристалла под контактными площадками.

Таким образом, полученные результаты подтверждают перспективность и целесообразность применения метода измерения шумов для обеспечения более точного дозирования технологических воздействий. Для практической реализации требуется проведение дополнительных технически сложных и наукоемких исследований с последующей разработкой локальных средств контроля.

1. Горлов М.И., Емельянов В.А., Жарких А. И. // Петербург. журн. электроники. 2003. №2.

2. I m r y. Introduction to mesoscopic physics. Oxford, 2002.

3. Таратута А.С. Автореферат кандидатской диссертации. Киев, 1957.

4. Поклонский Н.А., Горбачук Н.И., Лапчук Н. М. Физика электронного контакта металл/полупроводник. Мн., 2003.

Вестник БГУ. Сер. 1. 2005. № 2

5. Feng S., Lee P.A., Stone A. D. // Phys. Rev. Lett. 1986. Vol. 56. P. 1960. 6. Ralis K.S., Buhrman R. A. // Ibid. 1988. Vol. 60. P. 2434. 7. Altshuler B.L., Spivak B.Z. // JETP Lett. 1985. Vol. 42. P. 447. 8. Altshuler B.L., Khmel'nitskij D.E. // JETP Lett. 1985. Vol. 42. P. 359. 9. Voss R.F., Clarke J. // Phys. Rev. Lett. 1986. Vol. B13. P. 556. 10. Cohen O., Ovadyahu Z., Rokni M. // Phys. Rev. Lett. 1992. Vol. 69. P. 3555.

Поступила в редакцию 11.01.05.

Александр Алексеевич Довженко - ведущий инженер.

Владимир Александрович Пилипенко - член-корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель директора.

Владимир Николаевич Пономарь - кандидат физико-математических наук, директор.