

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ШУМА КРЕМНИЕВЫХ ДИОДОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ГАММА - КВАНТАМИ

О.К.Барановский¹⁾, П.В.Кучинский²⁾, В.М.Лутковский¹⁾, А.П.Петрунин²⁾, Е.Д.Савенок²⁾

¹⁾ Белгосуниверситет, 220050, Республика Беларусь, Минск, пр. Ф. Скорины, 4, тел. 278-93-45

²⁾ НИИ прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко, 220064, Республика Беларусь, Минск, ул. Курчатова, 7, тел. 277-59-45

Исследовано изменение спектральной плотности шума кремниевых планарных диодов в зависимости от дозы гамма-квантов. Показано, что на начальных потоках облучения наблюдается уменьшение плотности шума во всем диапазоне частот (10^4 - $1,5 \cdot 10^7$ Гц). При этом высокочастотная граница плато смещается в область низких частот. Облучение потоками выше $3 \cdot 10^{17}$ см⁻² приводит к обратному эффекту – смещению границы плато в область высоких частот. Одновременно наблюдается рост плотности шума в высокочастотной области.

1. Введение

Воздействие ионизирующих излучений на полупроводниковые приборы рассматривается в большинстве случаев с точки зрения анализа их устойчивости к облучению. В данной работе ставилась цель исследовать возможность целенаправленного изменения характеристик кремниевых генераторных диодов путем их облучения гамма-квантами.

Основным источником шума в генераторных диодах являются случайные изменения тока, которые складываются из флуктуаций лавинного тока I_{γ} , выходящего из слоя умножения, и флуктуаций, сопровождающих прохождение электронов и дырок через пролетные участки р-п перехода и базу. Последние связаны с процессами тепловой генерации и рекомбинации носителей в объеме кристалла и на его поверхности. Для спектральной плотности шума (СПШ) в области высоких частот ($>10^4$ Гц) в работах [1,2] получено следующее выражение:

$$S(\omega) = \frac{2eI_{\gamma}M^2}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_M}\right)^2}, \quad (1)$$

где I_{γ} - ток лавины; M - коэффициент умножения; ω_M - характеристическая частота, определяемая временем образования лавины. Время рассасывания носителей в значительной степени определяется наличием локальных центров захвата, поэтому в области более низких частот спектр шума представляет суперпозицию слагаемых вида $A/(1+\omega^2\tau)$, где A - константа, τ - время жизни неосновных носителей заряда, определяемое сечением захвата электронов и глубиной залегания соответствующих энергетических уровней [1]. Можно предположить, что при введении дополнительных радиационных дефектов величина τ будет уменьшаться, что должно привести к увеличению СПШ в области средних или высоких частот.

2. Методика измерений

Измерения проводились при температуре $20 \pm 1^\circ\text{C}$ в режиме среднего тока через образцы 50

мкА. Значение нагрузочного резистора составляло 20 Ком. Облучение образцов гамма – квантами ⁶⁰Со производилось при температуре 50°С. Расчет СПШ с использованием стандартного алгоритма быстрого преобразования Фурье [3] производился по результатам измерений шумового тока диодов. Измерение времени жизни неосновных носителей заряда выполнялось методом переходных характеристик при переключении тока [4]. Всего исследовано 10 кремниевых планарных диодов КГ401 с нормируемой СПШ [5], которые выбирались из партии случайным образом.

3. Результаты и их обсуждение

На рис.1 представлены осциллограммы напряжения при протекании шумового тока через нагрузочный резистор, зарегистрированные до и после облучения. Они показывают, что на начальном этапе облучения наблюдается существенное уменьшение числа колебаний тока и их амплитуды. При дозах облучения превышающих $2 \cdot 10^{17}$ см⁻² наблюдается резкое увеличение числа флуктуаций тока при дальнейшем снижении амплитуды.

На рис.2 представлены спектры шума исследованных диодов. В соответствии с (1), в полученных спектрах наблюдается область независимости $S(\omega)$ от частоты (низкочастотное плато) и область спада в высокочастотной области. Однако, численное моделирование формы спектра с использованием известных величин I_{γ} , M , ω_M [1,2] не позволяет описать экспериментальные кривые уравнением (1).

На начальных потоках облучения наблюдается существенное уменьшение спектральной плотности шума во всем диапазоне исследованных частот. Однако, при потоках, превышающих $2 \cdot 10^{17}$ см⁻² наблюдается увеличение СПШ в высокочастотной области при дальнейшем уменьшении в области низких частот.

На рис.3 представлено изменение времени жизни неосновных носителей заряда при облучении. Выделяются два участка изменения $\Delta\left(\frac{1}{\tau}\right)$ от дозы: область до $2 \cdot 10^{17}$ см⁻², где время жизни носителей после первоначального скачкообраз-

ного изменения практически не зависит от потока облучения и область при потоках свыше $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, где изменение времени жизни практически линейно с потоками гамма-квантов. Такое поведение времени жизни носителей в зависимости от потока облучения может быть обусловлено изменением генерационных-рекомбинационных процессов на поверхности при потоках до 10^{17} см^{-2} и уменьшением времени жизни носителей в объеме материала при дозах свыше 10^{17} см^{-2} .

U, В

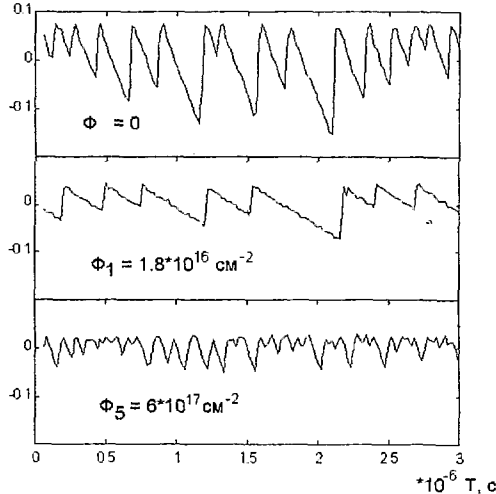


Рис. 1. Осциллограммы шумов диода КГ401 в зависимости от дозы облучения Φ .

Время рассасывания заряда лавины может определяться скоростью дрейфа носителей в области пространственного заряда и в области нейтральной базы, а также временами захвата и эмиссии с ловушек, их рекомбинацией.

СПШ, дБ

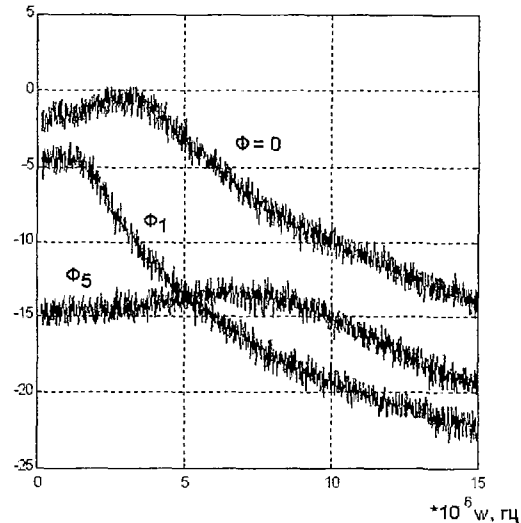


Рис. 2. Изменение СПШ диода КГ401 при облучении.

Таким образом, смещение правого края плато спектральной плотности шума в область низких частот при малых дозах облучения может

быть объяснено захватом (высвобождением) носителей на поверхностные состояния. Смещение правой границы в область высоких частот после облучения потоками выше 10^{17} см^{-2} можно связать с уменьшением времени жизни носителей заряда в объеме кристалла.

Как видно из рис.2, при всех потоках облучения значение низкочастотной составляющей шума уменьшается с потоком.

$\Delta(1/\tau), \text{с}^{-1}$

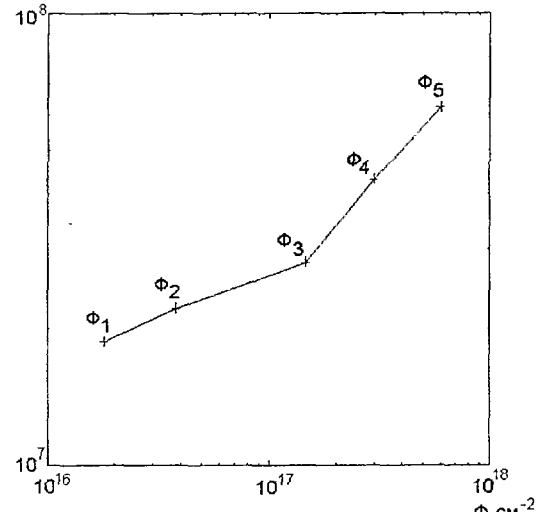


Рис. 3. Изменение времени жизни носителей заряда в зависимости от дозы облучения Φ .

3. Заключение

Полученные в работе экспериментальные данные показывают, что облучение диодов гамма-квантами позволяет смещать высокочастотную границу плато СПШ в область высоких частот. При этом, увеличение рабочей области полосы частот может достигать до двух раз. Представленные результаты показывают, что простейшие модели усиленного дробового и генерационно-рекомбинационного шума [1-2] не позволяют описать форму СПШ и ее изменение при облучении.

Список литературы

1. Лукьянчикова Н.Б. Флуктуационные явления в полупроводниках и полупроводниковых приборах. – М.: Радио и связь, 1990. – 296 с.
2. Тагер А.С., Вальд-Перлов В.М. Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ. – М.: «Советское радио», 1968.
3. Бендат Дж., Гирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – Пер. с англ. М.: Мир, 1989. – 540 с.
4. Krakauer S.M. Proc. IEEE, 1962, 50, V7, P.1665.
5. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник / Ред. Н.Н.Горюнова. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 744 с.

NOISE SPECTRUM DENSITY CHANGES IN SILICON DIODES IRRADIATED GAMMA-QUANTS

O.K.Baranouski¹⁾, P.V.Kuchinski²⁾, V.M.Lutkovski¹⁾, A.P.Petrunin²⁾, E.D.Savenok²⁾

¹⁾ *Belorussian State University, Skorina av., 4, 220050, Minsk, Belarus, tel. 277-59-45*

²⁾ *A.N. Sevchenko Institute of Applied Physics Problems, Kurchatov str., 7, 220064, Minsk, Belarus, tel. 277-59-45*

Noise Spectrum Density Changes in Silicon Diodes depending of the gamma-rays dose has been investigated. It was shown, that at the low-level irradiation Noise Spectrum Density decreased over the total frequency region from 10^4 to $1.5 \cdot 10^7$ Hz. The shift of the high-frequency bound to the low-frequency region occurs in this case. For the radiation fluxes higher than $2 \cdot 10^{17}$ cm⁻² the high-frequency bound shifted in the opposite direction and Noise Spectrum Density in the high-frequency band increased. The simple models of gained shot noise and generation-recombination noise don't allow explain Noise Spectrum Density shape and in changes due to irradiation.