

ИЗМЕНЕНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ Р-П-СТРУКТУР ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ ОТЖИГЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ

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

¹⁾Белгосуниверситет (220050, Республика Беларусь, Минск, пр. Ф. Скорины, 4, тел. 278-93-45, e-mail: alehb@rfe.bsu.unibel.by)

²⁾Научно-исследовательское учреждение "Институт прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко" Белгосуниверситета" (220064, Республика Беларусь, Минск, ул. Курчатова, 7, тел. 277-59-45, факс 278-04-17)

Исследовано изменение спектральной плотности шума кремниевых р-п-структур при изохронном отжиге дефектов, введенных при облучении гамма-квантами ⁶⁰Со. Установлены стадии отжига, которые могут быть связаны с отжигом дефектов на поверхности и в объеме. Установлена корреляция между частотой шумовых импульсов и эффективным временем жизни неосновных носителей заряда.

Введение

Изучение характеристик микроплазменного пробоя обратного смещенных р-п-переходов вызывает интерес как со стороны практического применения шумовых сигналов в электронике, так и со стороны выявления механизмов влияния внешних воздействий на физические процессы при кратковременном протекании тока через локальные неоднородности переходов.

Ранее в [1] сообщалось об изменении шумовых характеристик кремниевых р-п-структур с разной площадью р-п-перехода, облученных гамма-квантами ⁶⁰Со. Особый интерес представлял характер изменения ширины низкочастотного плато спектральной плотности шума (СПШ) и коррелированность этого изменения с изменением времени жизни неосновных носителей заряда в структурах с малыми размерами р-п-перехода (порядка 10⁻⁴ мм²). Предложенная в [1] качественная модель объясняет такое поведение соотношением эффектов на поверхности и в объеме. Характерной особенностью модели является учет соотношений между диффузионной длиной, линейными размерами и явлениями на поверхности при анализе амплитуды и частоты микроплазменных импульсов.

В данной работе исследовались параметры СПШ (амплитуда и ширина низкочастотного плато по уровню 0.7 на исследуемой характеристике) и эффективное время жизни неосновных носителей заряда в кремниевых р-п-структурах малых размеров при изохронном отжиге радиационных дефектов.

I. Методика эксперимента

Исследуемые образцы представляли собой кремниевые р-п-структуры с площадью ~ 10⁻⁴ мм². Уровень легирования области умножения зарядов р-п- структур составлял ~ 10¹⁷ см⁻³ (расчет производился по измеренной C-V-характеристике), что соответствовало напряжению пробоя ~ 8÷10 В. Образцы различались временем термодиффузии основного р-п-перехода, что выражалось в различии частоты микроплазменных импульсов.

Облученные гамма – квантами ⁶⁰Со при температуре 50°С образцы отжигались в диапазоне температур от 80 до 380 °С по 30 минут. Измерения выходных осциллограмм шумового тока структур проводились при температуре 20±1°С в режиме среднего тока через образцы 50 мкА, определяемого значением нагрузочного резистора (20 кОм). Характер поведения формы токовых импульсов в нашем случае аналогичен приведенным в [2]. Расчет СПШ производился с использованием стандартного алгоритма быстрого преобразования Фурье [3] по результатам измерений шумового тока исследуемых структур. Статистическая ошибка расчетов не превышала 8 %. Измерение времени жизни неосновных носителей заряда выполнялось методом переходных характеристик при переключении тока [4].

II. Результаты эксперимента и их обсуждение

При облучении наблюдалось увеличение ширины плато СПШ, уменьшение амплитуды абсолютного значения плато СПШ и эффективного времени жизни неосновных носителей заряда. Количество и анализ характера отжига введенных радиационных центров отслеживались по трем параметрам – амплитуде и частоте шумовых импульсов тока и по времени жизни неосновных носителей заряда.

В рамках используемой модели предполагалось, что количество введенных радиационных дефектов незначительно, чтобы влиять на увеличения амплитуды лавины. При этом при перекрытии импульсов тока эффекта их наложения не наблюдалось, что говорило о существовании одной микроплазмы. Поэтому абсолютную амплитуду шумового тока с учетом статистического разброса заряда в лавине можно считать постоянной.

Исследуемая амплитуда импульсов представляла собой разность максимального и минимального значения выходного тока структур. При постоянной скорости рассасывания заряда лавины амплитуда будет определяться вероятностью включения лавины или

концентрацией введенных дефектов (так как в рамках нашей модели дефекты будут являться дополнительными источниками зарядов, инициирующих лавину). Введение дефектов при облучении вызывало также увеличение скорости рассасывания заряда лавины.

Трудность определения функциональной зависимости между амплитудой импульсов и концентрацией радиационных дефектов заключается в определении соотношения между генерационно-рекомбинационными явлениями на поверхности и в объеме. Анализ характера изменения времени жизни неосновных носителей заряда [1] показал, что при потоках, выше $1.5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ длина диффузии становится сравнима или меньше линейных размеров р-п-перехода $l > L$. Поэтому можно предположить, что амплитуда шумовых импульсов обратно пропорциональна первой степени концентрации дефектов (как параметр вероятности включения лавины).

Частота шумовых импульсов увеличивается с увеличением концентрации радиационных дефектов. При этом, между частотой и амплитудой должна существовать взаимнооднозначная зависимость. Предполагается, что рассасывание заряда лавины происходит по экспоненциальному закону. Из этих предположений следует, что частота импульсов прямо пропорционально первой степени концентрации дефектов.

Количество радиационных дефектов влияет на скорость рассасывания заряда лавины и на время жизни неосновных носителей заряда. В рамках наших предположений ($l > L$, где L - длина диффузии и l - линейные размеры р-п-перехода), время жизни обратно пропорционально концентрации радиационных дефектов.

Принимая во внимание, что абсолютное значение амплитуды СПШ есть функция средней амплитуды шумовых импульсов, а его ширина - функция максимальной частоты импульсов, по результатам измерений строились кривые восстановления эффективного времени жизни, ширины низкочастотного плато СПШ по уровню 0.7 и максимального значения плато СПШ по формулам (1)-(3) соответственно:

$$f(\tau) = \frac{1/\tau_T - 1/\tau_0}{1/\tau_{flow} - 1/\tau_0}, \quad (1)$$

$$f(\omega) = \frac{\Delta\omega_T - \Delta\omega_0}{\Delta\omega_{flow} - \Delta\omega_0}, \quad (2)$$

$$f(A) = \frac{1/A_T - 1/A_0}{1/A_{flow} - 1/A_0}, \quad (3)$$

где $\Delta\tau_0$, $\Delta\tau_{flow}$, $\Delta\tau_T$ - эффективное время жизни неосновных носителей заряда до облучения, после максимального потока

облучения и после отжига соответственно; $\Delta\omega_0$,

$\Delta\omega_{flow}$, $\Delta\omega_T$ - ширина низкочастотного плато

СПШ до облучения, после максимального потока облучения и после отжига соответственно; ΔA_0 ,

ΔA_{flow} , ΔA_T - максимальное значение

низкочастотного плато СПШ до облучения, после максимального потока облучения и после отжига соответственно.

На рис. 1 представлено изменение эффективного времени жизни неосновных носителей заряда при термическом отжиге. На полученной кривой хорошо просматриваются две стадии отжига дефектов: стадия 150 - 260 °С и стадия 300 - 340 °С.

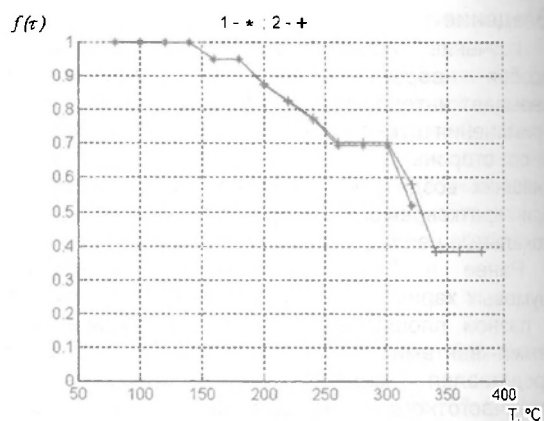


Рис. 1. Изменение эффективного времени жизни неосновных носителей заряда при изохронном отжиге дефектов (1 и 2 - образцы с различными временами термодиффузии основного р-п-перехода).

На рис. 2 и рис.3 представлены изменения ширины и максимального значения плато СПШ при термическом отжиге соответственно.

Анализ рис. 2, 3 показывает практически полное восстановление шумовых характеристик структур - ширины и максимального значения низкочастотного плато на стадии 150 - 260 °С. Тем не менее, эффективное время жизни восстанавливается лишь частично.

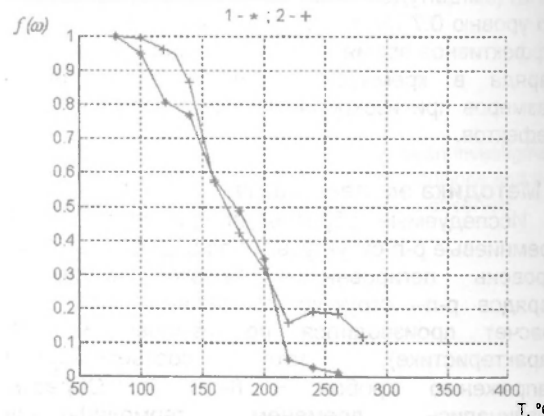


Рис. 2. Изменение ширины плато СПШ при изохронном отжиге (1 и 2 - образцы с различными временами термодиффузии основного р-п-перехода).

Наблюдаемая стадия отжига (150-260 °С) не соответствует ранее описанным в литературе для объемных образцов. Можно предположить, что эта стадия обусловлена отжигом дефектов на поверхности [5].

Стадия 300 – 340 °С может соответствовать отжигу дефектов в объеме.

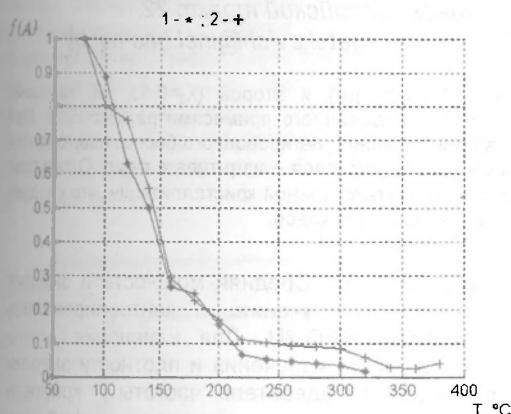


Рис. 3. Изменение максимального значения плато СПШ при изохронном отжиге (1 и 2 – образцы с различными временами термодиффузии основного р-п-перехода).

Используя полученные в [1] результаты изменения времени жизни неосновных носителей заряда после первого потока облучения и опираясь на предложенную модель, можно сделать вывод, что скорость рассасывания заряда лавины в большей степени определяется эффектами на поверхности, чем в объеме при $L \gg l$. При дальнейшем облучении происходит изменение соотношения $l \geq L$, что подтверждается из полученной в [1] графической зависимости:

$$\Delta(1/\tau) = 1/\tau_1 - 1/\tau_0$$

где τ_0 – начальное время жизни, τ_1 – время жизни после облучения.

Таким образом, поверхность вносит преобладающий вклад в формирование характеристик шумовых импульсов как до облучения, так и после ее почти полного восстановления в результате термического отжига.

Заключение

В результате проведенных исследований по термическому отжигу дефектов в кремниевых р-п-структурах с малыми размерами перехода получено подтверждение представленной в [1] модели. Подтверждено определяющее влияние поверхности на частотные характеристики шума. Установлены стадии отжига, которые могут быть связаны с отжигом дефектов на поверхности и в объеме.

Список литературы

1. Барановский О.К., Кучинский П.В., Лутковский В.М., Петрунин А.П., Савенок Е.Д. Увеличение частотного диапазона спектральной плотности шума кремниевых р-п-структур при облучении гамма-квантами // Физика и техника полупроводников. – 2001. – Т. 35, Выпуск 3. – С. 352 – 356.
2. Грехов И.В., Сережкин Ю.Н. Лавинный пробой р-п – перехода в полупроводниках. – Л.: Энергия, 1980.
3. Бендат Дж., Пирсол 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. Першенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В. Поверхностные радиационные эффекты в ИМС. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 256 с.

MODIFICATION OF SILICON P-N-STRUCTURES NOISE CHARACTERISTICS DURING THE RADIATION DEFECTS ANNEALING

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

¹⁾ Belarusian State University, Skaryna av., 4, 220050, Minsk, Belarus, tel. 277-59-45, email: alehb@rfe.bsu.unibel.by

²⁾ A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems, Kurchatov str., 7, 220064, Minsk, Belarus, tel. 277-59-45, fax 278-04-17

Noise Spectrum Density Changes in Silicon p-n-structures was investigated while isochronous annealing of radiation defects was carried out. The annealing stages was found to be able identify the defect annealing on surface and in volume. Correlation between noise pulses frequency and effective life-time minority charge carries was found also.