

УДК 621. 317.049

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ
В N- И P-КРЕМНИИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ И НЕЙТРОНАМИ**

С.М. Гадоев

Проведены исследования эффективностей образования и рекомбинационных свойств дефектов в n- и p-кремнии в широком диапазоне уровней легирования при облучении альфа-частицами ($E = 4,7$ МэВ) и нейтронами ($E = 1,14$ МэВ). Определено энергетическое положение уровней радиационных дефектов.

Ключевые слова: облучение; дефекты; структура; параметр; характеристика.

**ENERGY SPECTRUM OF THE RADIATING DEFECTS FARMED IN N- AND P- SILICON
AT AN IRRADIATING ALPHA-PARTICLES AND NEUTRONS**

S.M. Gadoev

In n and p silicon researches of efficacy of formation and recombination properties of defects are conducted in a wide range of levels of doping at an irradiating by alpha-particles ($E = 4,7$ Mew) and neutrons ($E = 1,44$ Mew). Power position of levels of radiating defects is defined.

Keyword: irradiation; defect; structure; parameter; characteristic.

При облучении тяжелыми частицами в n- и p-кремнии помимо изолированных дефектов могут появляться крупные структурные нарушения – области скопления дефектов (ОСД). Представляет интерес определение вкладов, вносимых изолированными комплексами и ОСД, в изменение электрофизических характеристик материала. Поскольку характер потоковых зависимостей изменения концентрации равновесных носителей и времени жизни неосновных носителей заряда (ННЗ) одинаков для различных видов облучения, то разделение изолированных комплексов и ОСД может быть проведено при исследовании концентрационных зависимостей скорости удаления носителей или коэффициентов радиационного изменения времени жизни ННЗ. Полученные данные могут быть полезными при установлении структуры и параметров ОСД [1–4].

С другой стороны, в [1, 2] показано, что изотопные источники альфа-частиц могут успешно применяться в радиационной технологии полупроводниковых приборов. Поэтому изучение особенностей, связанных с накоплением и распределением дефектов по глубине, определением их параметров при таком виде облучения, представляет большой практический интерес.

В данной работе проведены исследования эффективностей образования и рекомбинационных свойств дефектов в n- и p-кремнии в широком диапа-

зоне уровней легирования при облучении альфа-частицами ($E = 4,7$ МэВ) и нейтронами ($E = 1,14$ МэВ).

Известно, что облучение тяжелыми заряженными частицами с $E > 1$ МэВ может приводить к образованию областей скоплений дефектов. Так как облучение гамма квантами ^{60}Co , электронами $E < 9$ МэВ приводит к введению в кремний изолированных радиационных дефектов (РД), а облучение нейтронами ($E = 1$ МэВ), в основном, к образованию ОСД, то с целью выяснения природы РД, возникающих при облучении альфа-частицами, проводилось сравнение свойств дефектов, вводимых при этих видах облучения, и их влияния на изменение параметров материала.

Анализ показывает, что несмотря на то, что в спектре атомов отдачи при облучении кремния альфа-частицами с $E = 4,7$ МэВ имеются атомы с энергией $T \geq 10\div 20$ КэВ, основной вклад в образование дефектов дают атомы с малой энергией отдачи. Так, на рисунке 1 видно, что дифференциальное поперечное сечение $(d\sigma(E,T)/dT) \sim ((dNd)/d\phi)$ для альфа-частиц на два порядка ниже значения $d\sigma(E,T)/dT$ для нейтронов при энергии атомов отдачи, равной пороговой энергии образования ОСД.

С другой стороны, характеристика типа образующихся РД при одинаковых видах взаимодействия излучения с кристаллом, может служить средняя энергия атомов отдачи. При облучении

Таблица 1 – Рассчитанные значения скоростей смещений при облучении частицами в соответствии с [2]

Вид облучения	Электроны	Альфа-частицы	Нейтроны	Протоны
Скорость смещений	E = 7 МэВ 8,5	E = 4,7 МэВ $0,67 \times 10^5$ $1,55 \times 10^5$	E = 1 МэВ 1×10^2 $1,3 \times 10^2$	E = 660 МэВ 1×10^2 2×10^2

Таблица 2 – Энергетический спектр и параметры, образующиеся при α -облучении РД в n- и p-Si

Тип проводимости	Вид облучения	ΔE_p , эВ	$\sigma_n 10^{-15} \text{ см}^{-2}$	$\sigma_p 10^{-15} \text{ см}^{-2}$	Природа дефекта
n – Si	α	$E_c - 0,15$	3,0	-	(V+0)+V
	α, γ, e, p, n	$E_c - 0,18$	15	50	(V+0)
	α, γ, e, p, n	$E_c - 0,23$	3,6	35	W
	α	$E_c - 0,35$	3,7	-	0
	α, γ, e, p, n	$E_c - 0,39$	0,29	3,0	W
P – Si	α, γ, e, p, n	$E_c - 0,44$	3,6	270	V+P
	α, γ, e, p, n	$E_v + 0,35$	29	2,0	(0-C)
	α, γ, e, p, n	$E_v + 0,21$	39	1,8	W
	α, γ, e, p, n	$E_c - 0,27$	200	20	B+0

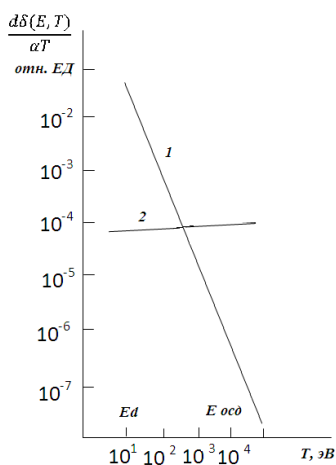


Рисунок 1 – Зависимость дифференциальных поперечных сечений для альфа-частиц (E = 4,7 МэВ) (1) и нейтронов (E = 1МэВ) (2) от энергии атомов отдачи

альфа-частицами (E = 4,7 МэВ) основным механизмом образования дефектов является резерфордское рассеяние.

Из таблицы 1 видно, что средняя энергия атомов отдачи при облучении электронами и альфа-частицами одного порядка. Это позволяет сделать вывод, что альфа-частицы, в основном, генерируют изолированные дефекты. Этот вывод подтверждается расчетами, проведенными в [3], где показано, что при облучении кремния альфа-частицами с энергией 25 МэВ в первичном процессе упругого взаимодействия генерируются, в основном, РД, содержащие одну-две вакансии. Энергетический спектр и параметры, образующиеся при альфа-

лучении РД в n- и p-кремнии, представлены в таблице 2.

По данным таблицы 2 видно, что, как и при облучении электронами, основными дефектами в n-кремнии являются центры с уровнями $E_c - 0,18$; $E_c - 0,23$; ($E_c - 0,39$); $E_c - 0,44$; эВ и в кремнии – $E_v + 0,35$; $E_v + 0,21$ эВ. Как видно на рисунке 1 концентрация этих дефектов растет линейно с увеличением потока альфа-частиц. Однако в некоторых образцах n-типа наблюдалось введение дефектов с уровнями $E_c - 0,15$ и $E_c - 0,35$ эВ. Последнее, согласно [3], обусловлено присутствием кислорода. Отметим, что концентрация центров с уровнем $E_c - 0,15$ эВ растет с потоком по квадратичному закону

$$N = \text{const} \phi^2.$$

Можно предположить, что такой характер зависимости накопления центра и источника его образования имеет стабильный радиационный дефект.

Литература

1. Скоробогатов П.К. Влияние температуры и уровня легирования на параметры лазерного имитационного моделирования ионизационных эффектов в кремниевых ИС / П.К. Скоробогатов, С.М. Гадоев // Микроэлектроника. 2005. Т. 34. №6. С. 451–454.
2. Гафуров О.В. К вопросу воздействия гамма-облучения на естественные и стимулированные процессы старения в сложных полупроводниках / О.В. Гафуров, С.М. Гадоев // Вестник ТГНУ. 2006. №2. С. 66–70.
3. Гадоев С.М. Влияние ионизирующего излучения на полупроводниковые изделия / С.М. Гадоев // Деп. в НИИ центре. №21 (1810). 26.06.2009. Душанбе, 2009. 23 с.