

НИТРИД ГАЛЛИЯ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ РАДИАЦИОННОСТОЙКОЙ СВЧ ГЕТЕРОСТРУКТУРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Д.В. Громов, Ю.А. Матвеев, В.А. Телец

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, г. Москва, Каширское шоссе, дом 31, e-mail: dvгром@spels.ru

В настоящее время активно ведутся исследования по разработке элементной базы РЭА на основе нитрида галлия [1,2].

Возможность использования этих приборов в устройствах, эксплуатируемых в условиях воздействия радиационных факторов, вызывает необходимость исследования в них радиационных эффектов, которые по существу определяют отказоустойчивость радиоэлектронной аппаратуры в экстремальных условиях эксплуатации.

В данной работе проведен анализ базовых радиационных эффектов в нитриде галлия.

Структурные эффекты. Пороговая энергия смещения (дефектообразования) E_d является фундаментальным показателем стойкости полупроводниковых материалов к воздействию стационарных ионизирующих излучений при образовании радиационных дефектов в структуре материала. Наличие подобных дефектов в полупроводнике приводит к деградации основных электрофизических параметров - концентрации, времени жизни и подвижности носителей заряда.

Значение пороговой энергии связано с постоянной решетки полупроводника a_0 и может быть оценено с помощью эмпирического соотношения [3]: $1,1 E_d = (10/a_0)^{4,363}$. Расчетные значения E_d для различных полупроводниковых материалов в зависимости от постоянной решетки материала приведены в табл. 1.

Таблица 1

Пороговая энергия E_d в зависимости от постоянной решетки полупроводника a_0

Полупроводник	GaAs(Ge)	Si	SiC	C (алмаз)	GaN	H-SiC
a_0 , А	5,65	5,431	4,36	3,57	3,15	3,08
E_d , эВ	9	12,8	37	80	145	153

Пороговая энергия является фундаментальным показателем стойкости полупроводниковых материалов к воздействию стационарных ионизирующих излучений. Поэтому можно предполагать, что GaN является одним из наиболее стойких к воздействию радиации полупроводников, используемых в твердотельной СВЧ электронике. Он близок по этому свойству к H-SiC.

Эффекты мощности дозы. Действие импульсных ионизирующих излучений на полупроводниковые элементы сопровождается ионизацией, т.е. генерацией неравновесных электронно-дырочных пар. Для количественного описания уровня воздействия используют такую интегральную (усредненную) характеристику, как мощность поглощенной дозы.

Мощность поглощенной дозы определяет скорость генерации неравновесных носителей заряда (интенсивность ионизации).

Скорость генерации неравновесных носителей можно представить в виде:

$$G(t) = g_0 P_\gamma(t),$$

где $g_0 = 10^{14} \rho / (1,602 E_{и})$ – эффективность ионизации, пар/(см³ рад); $E_{и} = 2,67 E_g + 0,87$, эВ; ρ – плотность полупроводникового материала, г/см³; E_g – ширина запрещенной зоны, эВ; P_γ – мощность поглощенной дозы, рад/с.

Эффективность ионизации g_0 является критерием, по которому в первом приближении можно проводить сравнения по стойкости к воздействию ИИ. Эта величина определяет количество избыточных носителей заряда в областях полупроводниковых приборов, которые формируют дополнительный ионизационный ток в областях полупроводниковых структур.

В табл. 2 приведены значения g_0 для различных материалов, применяемых в твердотельной СВЧ электронике.

Таблица 2

Эффективность ионизации для различных полупроводниковых материалов

Полупроводник	H-SiC	GaN	Si	GaAs	Ge
g_0 , пар/(см ³ рад)	$2,3 \cdot 10^{13}$	$4,0 \cdot 10^{13}$	$4,3 \cdot 10^{13}$	$7,1 \cdot 10^{13}$	$1,1 \cdot 10^{14}$

Таким образом, при идентичных топологических и электрофизических параметрах элементов ионизационный ток в GaN приборах будет сравним с кремниевыми структурами, и будет существенно меньше по сравнению с элементами на арсениде галлия и германии.

Анализ приведенных данных показывает, что GaN является достаточно перспективным полупроводниковым материалом с точки зрения создания радиационно-стойкой СВЧ элементной базы для использования в военной и космической технике.

Литература

1. Rudiger Quay. Gallium Nitride Electronics. Springer Series in Materials Science, 1996. 498 p.
2. Данилин В., Жукова Т., Кузнецов Ю., Тараканов С., Уваров Н. Транзистор на GaN пока самый крепкий орешек. // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2005. №4. С.20–29.
3. Лебедев А.А., Козловский И.И., Строкан Н.Б. и др. Радиационная стойкость широкозонных полупроводников (на примере карбида кремния) // Физика и техника полупроводников. 2002. Т 36. вып.11. С. 1354 – 1359.