

$$\delta_3(\lambda) = \lambda^3 - \lambda - 5\lambda - 3 = (\lambda - 3)(\lambda + 1)^2.$$

$$\text{Bunnan } \varepsilon_1(\lambda) = \varepsilon_2(\lambda) = 1, \varepsilon_3(\lambda) = (\lambda - 3)(\lambda + 1)^2.$$

Elementar bóliwshiler $(\lambda - 3)$ hám $(\lambda + 1)^2$. Olarǵa 3 sanınan hám ketge

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

jordan kletkaları saykes keledi.

Demek, A matrica bul

$$J = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Jordan matricasına uqsas.

Misal. Matricanın Jordan normal formasın tabıń[2]

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 3 & 2 \\ 3 & 0 & 1 \\ -2 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Sheshiliwi: B matricanın xarakteristikalıq teńlemesin dúzemiz

$$|B - \lambda E| = \begin{vmatrix} -\lambda & 3 & 2 \\ 3 & -\lambda & 1 \\ -2 & 2 & 1 - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

Determinanttı esaplasaq tómendegige iye bolamız

$$\lambda^3 - \lambda^2 - 9\lambda + 9 = 0.$$

Kóbeytiwshilerge jiklep $(\lambda - 1)(\lambda - 3)(\lambda + 3) = 0$.

Bunnan $\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 3, \lambda_3 = -3$ menshikli mánisler

shıǵadı.

Onda B matricasınıń Jordan normal forması

$$J_B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & -3 \end{pmatrix}.$$

Ádebiyatlar

1. Хожиев Ж., Файнлейб А.С. Алгебра ва сонлар назарияси курси: Математика ва механика-математика факультетлари талабалари учун дарслик. –Т.: “Ўзбекистон”, 2001, 304-б.
2. Проскуряков И.В. Сборник задач по линейной алгебре. –Москва: 1966, - С. 384.
3. Тронин С.Н. Лекции по алгебре. Выпуск 2. // Жорданова нормальная форма матрицы. –Казань: 2012, -С.78.
4. Бортакоский А.С., Пантелеев А.В. Линейная алгебра в примерах и задачах. Глава 7. -Москва: «Высшая школа», 2005.

REZYUME. Ushbu maqolada matritsaning normal shakli matritsa polinomlarini bir nechta misollarda yechish orqali tuzilgan.

РЕЗЮМЕ. В статье нормальная форма матрицы Жордана строится путем решения матричных полиномов на нескольких примерах.

SUMMARY. In this article, the Jordan normal form of a matrix is constructed by solving matrix polynomials in several examples.

СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ОБРАБОТКА КАРБИДКРЕМНИЕВЫХ ДИОДОВ ШОТТКИ $\text{Au-TiB}_x\text{-n-SiC 6H}$

А.Б.Камалов – доктор физико-математических наук, профессор

С.К.Абдужалиев – доктор философии по физико-математическим наукам

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажиян-яза

Д.Абдуллаева – магистрант

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Таянч сўзлар: кремний карбиди, Шоттки барьеры, барьер баландлиги, ноидеаллик фактори.

Ключевые слова: карбид кремния, барьер Шоттки, высота барьера, фактор неидеальности.

Key words: silicon carbide, Schottky barrier, barrier height, factor nonideality.

В последние годы, несмотря на сложности технологии получения структурно-совершенного карбида кремния, интерес к исследованию полупроводниковых приборов, изготовленных на основе этого материала сильно возрос. Причиной этого являются уникальные свойства полупроводникового карбида кремния [1]. Отличительной особенностью диодных структур на основе карбида кремния является их высокая термическая и радиационная стойкость. Эффекты, обусловленные влиянием термообработок и воздействия на такие структуры высокоэнергетической ионизирующей радиации хорошо изучены и учтены в технологии соответствующих карбидкремниевых приборов. Однако слабо изучены радиационные эффекты в карбидкремниевых приборных структурах при малых дозах радиационных воздействий. Тогда, как в технологии Si и GaAs приборов методы низкодозовых радиационных обработок нашли применение еще в 80-х годах прошлого века [2]. В качестве малодозовых воздействий ряд авторов использовал сверхвысокочастотные обработки, которые по своим эффектам были аналогичны низкодозовым ионизирующим обработкам (γ -радиация, быстрые электроны) [2, 3, 4]. В то же время практически не известны работы по влиянию сверхвысокочастотного излучения на свойства карбидкремниевых приборных структур, в том числе с барьером Шоттки. Поскольку последние представляют интерес для использования их в качестве активных элементов в сверхвысокочастотной электро-

нике, то исследование эффектов стимулированных малодозовыми сверхвысокочастотными обработками представляются интересными как с точки зрения эксплуатации приборов, так и технологической, как возможность управления свойствами поверхностно-барьерных структур.

В этой работе приведены результаты исследований карбидкремниевых диодных структур, обработанных сверхвысокочастотным излучением. Диодные структуры изготавливались на массивном монокристаллическом карбиде кремния n-типа (политип 6H), выращенном методом Лели. Толщина слоя TiB_x была 80нм, Au-100нм. Диаметр диодной структуры ~200мкм. Режим облучения осуществлялся в свободном пространстве при неизменном расстоянии от выхода волновода до облучаемого образца. Частота облучения 2,45 ГГц, удельная мощность ~1,5 Вт/см². Интенсивность сверхвысокочастотного воздействия варьировалась изменением времени экспозиции. Температура разогрева образцов при данном типе и длительности обработки не превышала комнатной. До и после сверхвысокочастотного облучения измерялись вольтамперные характеристики диодных структур, из которых рассчитывались высота барьера ϕ_B и фактор идеальности n . На рис. 1. приведены прямые ветви вольт-амперной характеристики диода Шоттки до и после сверхвысокочастотного облучения. Видно, что вольт-амперные характеристики описываются зависимостью

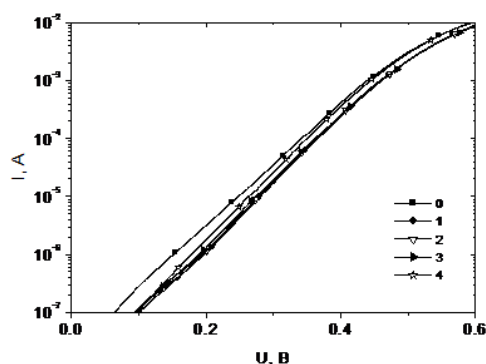


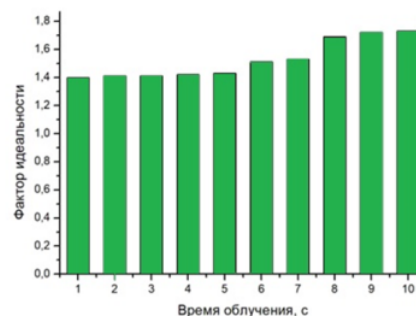
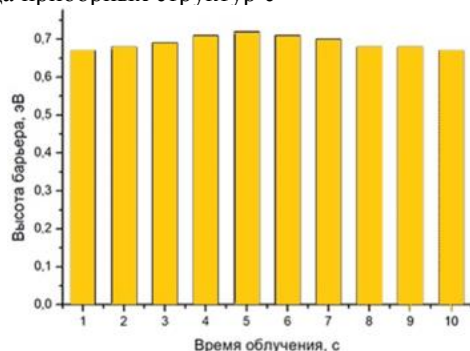
Рис.1. Вольтамперные характеристики диодов с барьером Шоттки при разных временах СВЧ облучения: 0 - исходный образец; 1-4 - после СВЧ обработки в течение 1, 2, 5 и 10с соответственно

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eV}{nkT} - 1\right)$$

где I - полный ток, $I_s = A^*T^2S \exp\left[-\frac{e\phi_B}{kT}\right]$ - ток насыщения A^* - постоянная Ричардсона SiC6H , T - температура, ϕ_B - высота барьера, n - фактор неидеальности, k - постоянная Больцмана, S - площадь контакта, e - заряд электрона.

Рассчитанные из этих уравнений ϕ_B и n до и после сверхвысокочастотной обработки представлены на рис 2 а, и б. Каждая выборка имела по 100 микродиодов с рабочей площадью $\sim 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$. Как видно из рис. 2 а, наиболее вероятная величина ϕ_B при сверхвысокочастотной обработке до 5 с сравнительно с контрольной величиной – возрастает. Судя по рис. 2.б, фактор идеальности n этих диодных структур при облучении до 5с практически не изменяет свое значение.

Как известно [5], на межфазные взаимодействия на границе раздела металл-SiC существенное влияние оказывают ионизирующая радиация и термообработка. При этом возможны как гомогенизация структурных свойств границы раздела, обуславливающая повышение выхода приборных структур с



идентичными параметрами, так и структурно-примесное разупорядочение и значительный массоперенос компонентов контакта, определяющие ухудшение параметров приборных структур. Данные по влиянию сверхвысокочастотного излучения на межфазные взаимодействия в контакте $\text{TiB}_x\text{-n-6H-SiC}$, как, впрочем, и на границах раздела металл- SiC в литературе отсутствуют. Нами была предпринята попытка исследовать профили распределения компонентов в контакте $\text{TiB}_x\text{-n-6H-SiC}$ до и после сверхвысокочастотной обработки в течение 5 секунд.

Временной интервал 5 с выбран с целью сравнения профилей распределения компонентов в контакте с параметрами диодных структур с барьером Шоттки $\text{TiB}_x\text{-n-6H-SiC}$, облученных в этом же режиме и в которых именно в этом режиме наблюдались улучшения параметров.

Как показывают результаты исследований сверхвысокочастотного воздействия оказывает влияние на электрические характеристики, обусловленное различной природой этих воздействий.

В частности, при сверхвысокочастотной обработке не наблюдается разогрев образцов. Исследование динамики изменения высоты барьера и коэффициента неидеальности прямой ветви вольт-амперной характеристики от времени экспозиции сверхвысокочастотного излучения показало, что высота барьера имеет максимальное значение при 5-6 с., а коэффициент неидеальности остается неизменной до 5 с., (см. рис. 2.)

Таким образом воздействие сверхвысокочастотным излучением в течение 5 с. является наиболее оптимальным для улучшения параметров диодов с барьером Шоттки на основе $\text{TiB}_x(\text{ZrBx})\text{-n-SiC}$.

Таким образом, с ростом времени экспозиции до 10с улучшаются параметры поверхностно-барьерной структуры $\text{Au-TiB}_x\text{-n-SiC 6H}$, а именно высота барьера растет, фактор идеальности и величина обратного тока уменьшается. А свыше 10с облучение приводит к деградации прямой ветви, уменьшается экспоненциальный участок, изменяется наклон вольт-амперной характеристики ϕ_B уменьшается, n растет, что связано с генерацией структурных дефектов, образующихся в процессе релаксации внутренних механических напряжений стимулированными сверхвысокочастотной обработкой в структуре n-SiC . Сверхвысокочастотная обработка карбидкремниевых диодов с барьером Шоттки, может приводить к улучшению электрофизических параметров, когда время облучения диодных структур близко к оптимальному. В нашем случае это 5с. Подобные изменения стабильны в течение длительного времени.

Литература

1. Строкан Н.Б., Иванов А.М., Бойко М.Е., Савкина Н.С., Стрельчук А.М., Лебедев А.А., Якимов Р. Карбидкремниевые транзисторные структуры как детекторы слабоионизирующего излучения. //ФТП, 2003, том 37, вып.1, -С. 65-69.
2. Вавилов В.С., Горин Б.М., Данилин Н.С., Кив А.Е., Нуров Ю.А., Шаховцев В.И. Радиационные методы в твердотельной электронике. -М.: «Радио и связь», 1990, -С. 184.
3. Мамонтов А.П., Чернов И.И. Эффект малых доз ионизирующего излучения. -М.: Энергоатомиздат, 2001, -С.250.
4. Абдурахимов Д.Е., Вахидов Ф.Ш., Верещагин В.Л., Калинушкин В.П., Плоппа М.Г., Райзер М.Д. Изменение свойств полупроводниковых материалов в результате воздействия СВЧ импульсов наносекундной и микросекундной длительности. // Микроэлектроника, 1991, том 20, вып.1, -С.21-25
5. Агеев О.А., Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Конакова Р.В., Миленин В.В., Пилипенко В.А. Фазы внедрения в технологии полупроводниковых приборов и СБИС. Харьков: НТК “Институт монокристаллов”, 2008, -С. 392.

РЕЗЮМЕ. Ушбу мақолада кремний карбиди асосида яратилган Шоттки барьерли диодли структураларнинг электрофизик хусусиятлариға ўта юқори частотали нурланишларининг таъсири бўйича олиб борилган ишларнинг натижалари баён этилган.

РЕЗЮМЕ. В данной статье представлены результаты исследования по влиянию сверхвысокочастотных излучений на электрофизические свойства диодных структур с барьером Шоттки на основе карбида кремния.

SUMMARY. In this article were presented results of investigations of high frequency influence treatment on electrophysical properties of diode structures with Schottky barrier based on silicon carbide.