

Термо- и радиационно стабильные контакты к SiC на основе квазиаморфных пленок ZrB₂

© А.Е. Беляев, Н.С. Болтовец*, В.Н. Иванов*, Л.М. Капитанчук+,
Р.В. Конакова[¶], Я.Я. Кудрик, В.В. Миленин

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва Национальной академии наук Украины,
03028 Киев, Украина

* Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт „Орион“»,
03057 Киев, Украина

+ Институт электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины,
03680 Киев, Украина

(Получена 2 июля 2008 г. Принята к печати 17 октября 2008 г.)

Методами вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик в сочетании с послойным оже-анализом исследовались радиационная и термическая стабильность структур с барьером Шоттки, изготовленных магнетронным распылением диборида циркония на поверхность (0001) монокристаллов *n*-6H(15R)SiC, выращенных методом Лели, с концентрацией нескомпенсированных доноров $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Показано, что использование квазиаморфных пленок ZrB₂ при изготовлении контактов на *n*-6H(15R)SiC не приводит к изменениям характеристик барьеров Шоттки при быстрых термических отжигах до 800 °C в диапазоне доз облучения γ -квантами $^{60}\text{Co} 10^3 - 10^7 \text{ Гр}$.

PACS: 85.40.Ls, 85.30.Ni

1. Введение

Потенциальные возможности использования SiC как перспективного материала для задач экстремальной электроники исследуются достаточно широко [1–14]. Однако подавляющее количество исследований направлено на улучшение качества данного полупроводникового материала, в то же время многие аспекты формирования контактов металл–SiC, устойчивых к высокотемпературным и радиационным воздействиям, до настоящего времени остаются невыясненными и требуют проведения дальнейших исследований в отмеченных направлениях.

В данной работе для решения этой проблемы предложено использовать для металлизации пленки ZrB₂, обладающие высокой электропроводностью, термической и химической стойкостью [15].

2. Методика эксперимента

Исследовались диодные структуры с барьером Шоттки диаметром 400 мкм, изготовленные магнетронным распылением ZrB₂ из мишени стехиометрического состава в окна, сформированные с помощью стандартного процесса фотолитографии в пленках SiO₂ толщиной $\sim 0.4 \text{ мкм}$, выращенных на поверхностях (0001) монокристаллов *n*-6H(15R)SiC, изготовленных методом Лели с концентрацией нескомпенсированных доноров $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Пленка ZrB₂ обладала квазиаморфной структурой с размерами упорядоченных участков $\sim 2 - 3 \text{ нм}$ [15]. Изготовленные структуры подвергались быстрой термической обработке (БТО) при 800 °C в течение 60 с и облучению γ -квантами ^{60}Co в диапазоне доз $10^3 - 10^7 \text{ Гр}$.

[¶] E-mail: konakova@isp.kiev.ua

До и после быстрых термических обработок при $T = 800^\circ\text{C}$ в течение 60 с и после облучения γ -квантами ^{60}Co измерялись вольт-амперные характеристики (ВАХ) и вольт-фарадные характеристики (ВФХ) диодных структур.

Для выявления факторов, обуславливающих повышенную термо- и радиационную стабильность контактов ZrB₂–*n*-6H(15R)SiC, методом оже-спектроскопии в сочетании с послойным травлением в них были исследованы профили распределения компонентов (рис. 1).

3. Экспериментальные результаты

Взаимодействие между напыленными слоями борида циркония и SiC проявляется в быстрой миграции атомных компонент и примесей пленочного покрытия в SiC и в слабом внедрении атомных компонент полупроводника в осажденный слой борида циркония, близкого по химическому составу к ZrB₂.

БТО при 800 °C не влияет на глубину и специфику профиля распределения атомов полупроводника (отсутствие преимущественной аутодиффузии одной из компонент) в ZrB₂, в то же время глубина проникновения компонент пленки в полупроводник уменьшается. Специфической особенностью формирования межфазной границы для изучаемой гетеропары является отсутствие преимущественной аутодиффузии одной из компонент в ZrB₂, характерной для контактов металлов с бинарными полупроводниками.

Основываясь только на концентрационных профилях, сложно понять кинетику атомных перемешиваний. Можно допустить, что наблюдаемая сегрегация компонент пленочного покрытия, скорее всего, может быть следствием химических взаимодействий, например образова-

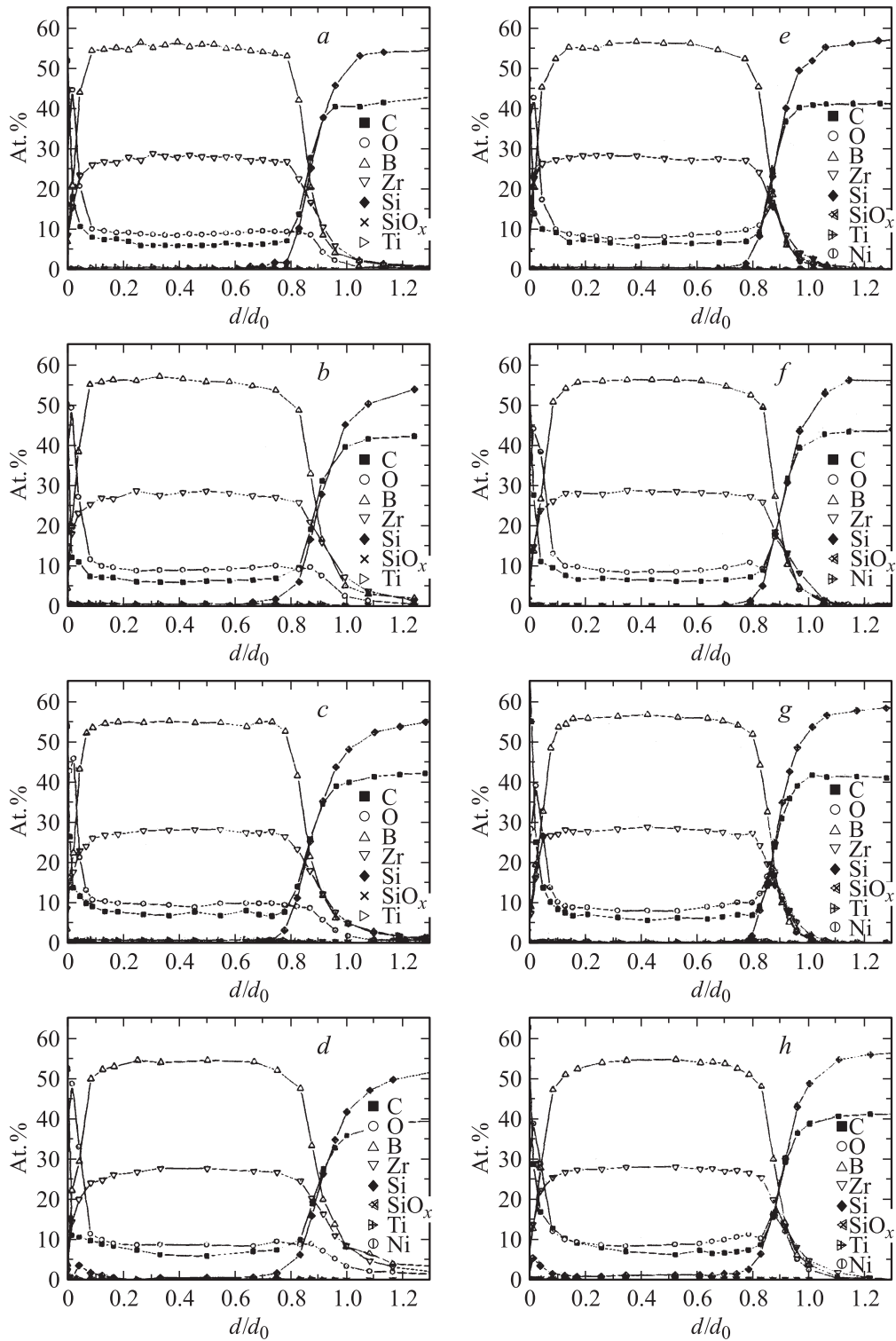


Рис. 1. Распределение компонентов структур ZrB_x-SiC до (a, e) и после облучения до доз 10^4 Gr (b, e); $4 \cdot 10^6$ Gr (c, f); 10^7 Gr (d, g); неотожженных (a–d) и прошедших БТО $T = 800^\circ C$ (e–g).

нием оксидов. На последнее указывает и явно выраженный пик в распределении кислорода на межфазной границе (МФГ).

В то же время незначительное проникновение компонент полупроводника в ZrB_2 обусловлено струк-

ными особенностями пленочного конденсата: аморфная матрица с мелкозернистыми включениями [15]. В этом случае атомные распределения углерода и кремния (компонентов полупроводника) не связаны с обычным механизмом диффузионного перемешивания, обуслов-

Влияние БТО и γ -радиации ⁶⁰Со на параметры барьеров Шоттки ZrB₂-*n*-6H(15R)SiC

Тип структуры	Исходные			После БТО 800°С		
	ϕ_B^{I-V} , В	ϕ_B^{C-V} , В	<i>n</i>	ϕ_B^{I-V} , В	ϕ_B^{C-V} , В	<i>n</i>
ZrB ₂ - <i>n</i> -6HSiC	0.73	0.91	1.68	0.72	0.91	1.7
ZrB ₂ - <i>n</i> -15RSiC	0.68	0.89	2.1	0.69	0.89	2.0
После облучения до дозы 10 ³ Гр						
ZrB ₂ - <i>n</i> -6HSiC	0.73	0.93	1.68	0.72	0.91	1.68
ZrB ₂ - <i>n</i> -15RSiC	0.68	0.89	2.1	0.70	0.91	1.68
После облучения до дозы 10 ⁴ Гр						
ZrB ₂ - <i>n</i> -6HSiC	0.75	0.96	1.34	0.72	0.93	1.63
ZrB ₂ - <i>n</i> -15RSiC	0.70	0.96	2.0	0.70	0.91	1.68
После облучения до дозы 10 ⁷ Гр						
ZrB ₂ - <i>n</i> -6HSiC	0.73	0.92	1.68	0.70	0.89	1.69
ZrB ₂ - <i>n</i> -15RSiC	0.70	0.90	1.80	0.69	0.9	1.8

Примечание. ϕ_B^{I-V} — барьер Шоттки, вычисленный из ВАХ; ϕ_B^{C-V} — барьер Шоттки, вычисленный из ВФХ; *n* — фактор неидеальности.

ленного градиентами их концентраций, а формируются в процессе захвата атомов Si и C растущим слоем ZrB₂. В пользу такого механизма формирования МФГ свидетельствуют результаты по влиянию γ -облучения ⁶⁰Со на профили распределения атомов Si и C, представленные на рис. 1, *b, c, d*. Их неизменность при варьировании дозы облучения указывает на несущественную роль диффузионных процессов.

Наблюдаемое незначительное увеличение проникновения атомов пленочного покрытия в глубь полупроводника обусловлено малой эффективностью дефектообразования в SiC в исследуемом диапазоне облучения γ -квантами ⁶⁰Со.

Еще слабее выражены радиационно-стимулированные процессы на МФГ в образцах, предварительно подвергнутых БТО (рис. 1, *f, g, h*). По-видимому, это обусловлено ускоряемым термоотжигами формированием слоя из продуктов химических реакций, которые играют

роль диффузионных барьеров для радиационно-стимулированного массопереноса.

Изложенные экспериментальные данные подтверждают высокую стабильность границы раздела ZrB₂-SiC к радиационным и термическим воздействиям, а наблюдаемые небольшие изменения в структурном состоянии МФГ не могут быть причиной незначительных изменений в электрофизических параметрах поверхностно-барьерных структур, сформированных с использованием данных материалов. Последнее было подтверждено исследованиями ВАХ (рис. 2).

Анализ ВАХ и ВФХ показал (см. рис. 2 и таблицу), как это и ожидалось из данных по послышной оже-спектроскопии, что электрофизические параметры контактов как до, так и после исследуемых активных воздействий практически не изменяются. Отсутствуют изменения и в обратном токе поверхностно-барьерных структур.

4. Заключение

Таким образом, электрофизические параметры контактов формируются на начальном этапе магнетронного напыления слоев ZrB₂, слабо деструктурирующих поверхность полупроводника. Термо- и γ -обработки не приводят к усилению процессов перемешивания компонент на МФГ и изменениям в ее фазовом составе.

На возможную причину слабого влияния термо-радиационных обработок было указано выше. Малое количество микропор в квазиаморфных слоях ZrB₂ и практическое отсутствие зернограницной диффузии обеспечивают высокую стабильность сформированных на их основе контактов.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о радиационной стойкости диодных структур с барьером Шоттки ZrB₂-*n*-6H(15R)SiC при облучении их γ -квантами ⁶⁰Со в интервале доз 10³-10⁷ Гр и БТО до 800°С,

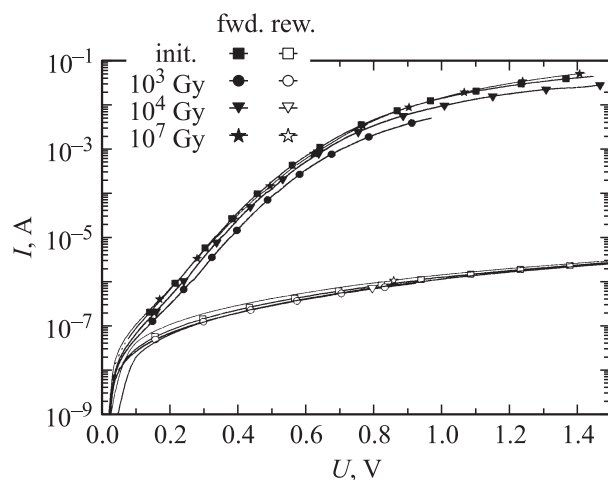


Рис. 2. ВАХ ZrB₂-*n*-6HSiC диодов Шоттки до и после облучения γ -квантами ⁶⁰Со.

что обусловлено отсутствием структурных изменений как в объеме SiC и ZrB₂, так и на границе раздела фаз ZrB₂–SiC.

Список литературы

- [1] Е.В. Калинина. ФТП, **41** (7), 769 (2007).
- [2] А. Лебедев, С. Сбруев. Электроника: Наука. Технология. Бизнес, (5), 23 (2006).
- [3] О.А. Агеев. *Проблемы технологии контактов к карбиду кремния* (Таганрог, Изд-во ТРТУ, 2005).
- [4] А.А. Лебедев, А.М. Иванов, Н.Б. Строкан. ФТП, **38** (2), 129 (2004).
- [5] В.В. Козловский, П.А. Иванов, Д.С. Румянцев, В.Н. Лома-сов, Т.П. Самсонова. ФТП, **38** (7), 778 (2004).
- [6] Т.В. Бланк, Ю.А. Гольдберг. ФТП, **41** (11), 1281 (2007).
- [7] S.E. Sadow, A. Agarwal. *Advances in Silicon Carbide Processing and Applications* (Boston–London, Artech House, Inc., 2004).
- [8] T.N. Oder, P. Martin, A.V. Adedeji, T. Isaacs-Smith, J.R. Williams. *J. Electrochem. Mater.*, **36** (7), 805 (2007).
- [9] M. Guziewicz, A. Piotrowska, E. Kaminska, K. Graszka, R. Diduszko, A. Stonert, A. Turos, M. Sochacki, J. Szmids. *Mater. Sci. Eng. B*, **135** (3), 289 (2006).
- [10] M. Willander, M. Frisel, Q. Wahab, B. Straumal. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.*, **17**, 1 (2006).
- [11] B. Pesz, L. Toth, M.A. di Forte-Poisson, J. Vacas. *Appl. Surf. Sci.*, **206**, 8 (2003).
- [12] Y. Gao, S.A. Perez-Garsia, L. Nyborg. *Mater. Sci. Forum*, **556–557**, 713 (2007).
- [13] A.L. Barry, B. Lehman, D. Fritsch, D. Brauning. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **38** (6), pt 1, 1111 (1991).
- [14] *Properties of Advanced Semiconductor Materials: GaN, AlN, InN, SiC, SiGe*, ed. by M.E. Levinshstein, S.L. Rumiantsev and M.S. Shur (N. Y., John Wiley & Sons, 2001).
- [15] N.S. Boltovets, V.N. Ivanov, R.V. Konakova, Ya.Ya. Kudryk, V.V. Milenin, O.S. Lytvyn, P.M. Lytvyn, S.I. Vlaskina, O.A. Agueev, A.M. Svetlichny, S.I. Soloviev, T.S. Sudarshan. *SPQEO*, **7** (1), 60 (2004).

Редактор Л.В. Беляков

Heat- and radiation-resistant contacts to SiC made on the basis of quasi-amorphous ZrB₂ films

A.E. Belyaev, N.S. Boltovets*, V.N. Ivanov*, L.M. Kapitanchuk⁺, R.V. Konakova, Ya.Ya. Kudryk, V.V. Milenin

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, 03028 Kiev, Ukraine

* State Scientific & Research Institute „Orion“, 03057 Kiev, Ukraine

⁺ Paton Institute of Electric Welding, National Academy of Sciences of Ukraine, 03680 Kiev, Ukraine

Abstract We investigated radiation and thermal stability of the Schottky barrier structures using the I – V and C – V curves techniques combined with the layer-by-layer Auger analysis. The structures under investigation were prepared using magnetron sputtering of zirconium diboride onto the (0001) surface of Lely-grown 6H(15R)SiC single crystals of n -type; the concentration of uncompensated donors was $\sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

It is shown that application of quasi-amorphous ZrB₂ films when forming contacts to n -6H(15R)SiC does not lead to change of Schottky barrier characteristics after rapid thermal annealing at temperatures up to 800°C and ⁶⁰Co γ -irradiation (the dose ranged from 10³ up to 10⁷ Gy).