

# Контакты с диффузионными барьерами на основе фаз внедрения $\text{TiN}$ , $\text{Ti}(\text{Zr})\text{B}_x$ в СВЧ диодах диапазона 75–350 ГГц

© Н.С. Болтовец<sup>¶</sup>, В.Н. Иванов, А.Е. Беляев\*, Р.В. Конакова\*<sup>¶¶</sup>, Я.Я. Кудрик\*, В.В. Миленин\*, И.Н. Арсентьев<sup>+</sup>, А.В. Бобыль<sup>¶¶¶</sup>, П.Н. Брунков<sup>+</sup>, И.С. Тарасов<sup>+</sup>, А.А. Тонких<sup>+</sup>, В.П. Улин<sup>+</sup>, В.М. Устинов<sup>+</sup>, Г.Э. Цырлин<sup>+</sup>

Государственное предприятие НИИ „Орион“,  
03057 Киев, Украина

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

<sup>+</sup> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 25 октября 2005 г. Принята к печати 9 ноября 2005 г.)

Новая технология термически стабильных омических контактов с диффузионными барьерами на основе аморфных фаз внедрения  $\text{TiN}$ ,  $\text{Ti}(\text{Zr})\text{B}_x$  использована при разработке СВЧ диодов миллиметрового диапазона (более 100 ГГц) на основе  $\text{GaAs}$ ,  $\text{InP}$  и  $\text{Si}$ . Повышение надежности  $\text{GaAs}$ ,  $\text{InP}$  диодов Ганна, работающих на частоте 200 ГГц, стало возможным также и за счет использования в качестве исходных приборных структур эпитаксиальных слоев, полученных методами газофазной, молекулярно-пучковой и жидкофазной эпитаксии на пористые подложки  $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ . Диапазон работы лавинно-пролетных диодов на основе  $\text{Si}$  увеличен до 350 ГГц. Для этого впервые была использована технология формирования активного элемента на кремниевой металлизированной мембране.

PACS: 85.30.Mn, 85.30.Fg

## 1. Введение

Интерес к элементной базе СВЧ электроники миллиметрового диапазона обусловлен малыми потерями СВЧ мощности при прохождении сигналов в неблагоприятных условиях окружающей среды, увеличением объема и скорости передачи информации, повышением помехозащищенности каналов связи. Поэтому разработка активных элементов и приемопередающих модулей и устройств на частотный диапазон выше 100 ГГц является актуальной и практически важной проблемой. В связи с этим перед современным полупроводниковым материаловедением возникает ряд задач физико-химической природы [1–16]. Это прежде всего стабильность контактов и высокое структурное качество рабочей области, непосредственно в которой генерируются СВЧ колебания. Решение этих фундаментальных задач должно также сопровождаться соответствующей модификацией последующих технологических операций (разделения пластины на чипы, сборка и тестирование и др.).

Главная особенность работы активных микроволновых элементов состоит в том, что режимы СВЧ генерации весьма чувствительны к наличию неоднородностей, дислокаций, скоплений структурных дефектов как в рабочем слое и на границах раздела фаз, так и в контакте металл–полупроводник. Особенно это относится к приборным структурам, работающим в коротком миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн (100–400 ГГц). Активная часть приборной структуры фактически находится в приповерхностном слое

полупроводника и даже небольшой дисперсии структурных свойств (например, приповерхностных микронапряжений) оказывается достаточно, чтобы параметры прибора существенно отклонялись от расчетных, либо СВЧ генерация вообще не возникала [16–18]. Не менее важными являются требования по качеству омических и барьерных контактов к активной области. В этом случае недопустимыми являются массоперенос и фазовое расслоение в контактах. Именно эти процессы обуславливают быструю деградацию в рабочей области, которая может либо непосредственно примыкать к контакту металл–полупроводник, либо располагаться от него на расстояние нескольких десятков нанометров при использовании специальных защитных слоев.

Таким образом, для повышения надежности и расширения диапазона частот СВЧ диодов необходимо улучшить структурное качество активной области, повысить термическую и электрическую стойкость к паразитным процессам фазового расслоения и межслойной взаимодиффузии. При этом особое внимание необходимо уделять планарной однородности рабочих и контактных слоев. Далее описаны новые подходы к технологическим решениям этих проблем, а также приведены примеры их реализации в технологии полупроводниковых микроволновых диодов короткого миллиметрового диапазона.

## 2. Микроволновые диоды Ганна на основе $\text{GaAs}$ и $\text{InP}$

Диоды Ганна коротковолновой части миллиметрового диапазона обычно изготавливаются на основе полупроводников  $\text{GaAs}$  и  $\text{InP}$ . Эти материалы широко использу-

<sup>¶</sup> E-mail: bms@isp.kiev.ua

<sup>¶¶</sup> E-mail: konakova@isp.kiev.ua

<sup>¶¶¶</sup> E-mail: bobyly@theory.ioffe.ru

ются также при разработке принципиально новых приборов и технологических схем, поскольку их физические свойства хорошо исследованы, а технология может быть реализована на стандартном (промышленном) оборудовании. Тем не менее в ряде случаев возникает необходимость дальнейшей оптимизации технологических процессов [3]. Особенно это касается InP и микроволновых приборов на его основе, в том числе диодов Ганна. Наряду с явными преимуществами InP по сравнению с GaAs, обусловленными более высокой дрейфовой скоростью и более высокой теплопроводностью, InP является более дефектным материалом по сравнению с GaAs, который также не доведен до предела своих возможностей [19–21]. Поэтому актуальной является разработка новых методов формирования высококачественных эпитаксиальных пленок GaAs и InP. Первые наши опыты в этом направлении были осуществлены при эпитаксии полупроводниковых пленок на пористых подложках [22–26].

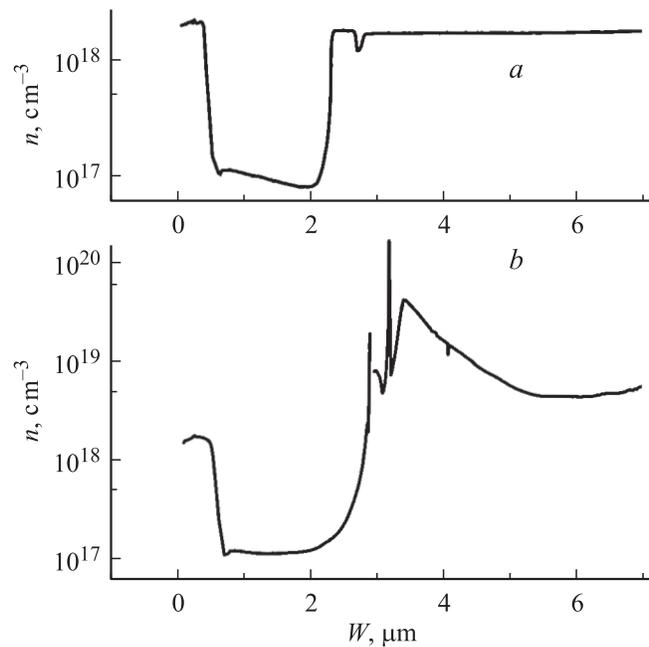
При использовании нанопористых подложек значительно уменьшаются внутренние механические напряжения, присутствующие даже в случае автоэпитаксии, на несколько порядков уменьшаются плотность дислокаций и величина токов утечек, более резкими становятся интерфейсы за счет уменьшения толщин нарушенных слоев.

Для изготовления СВЧ диодов методами молекулярно-лучевой, газофазной и жидкофазной эпитаксии из металлорганических соединений были получены эпитаксиальные пленки арсенида галлия на пористых и стандартных подложках  $n^+$ -GaAs и методом жидкофазной эпитаксии — на пористых и стандартных жестких подложках фосфида индия — эпитаксиальные слои  $n$ -InP. Эпитаксиальные слои  $n$ -InP были легированы диспрозием, а эпитаксиальные слои  $n$ -GaAs — кремнием.

Структурное совершенство выращенных эпитаксиальных приборных структур контролировалось рентгенодифракционными измерениями по угловой зависимости ширины рентгенофлексов. Эпитаксиальные слои GaAs и InP, выращенные на буферных слоях, сформированных на подложках GaAs (InP), были более структурно совершенными и менее напряженными, чем аналогичные слои на жестких подложках, что было подробно описано в работах [11,13–15,26]. Ранее подобный результат наблюдался также при росте гетероэпитаксиальных слоев на пористых подложках GaAs [23–25].

Текущий контроль качества эпитаксиальных приборных структур осуществлялся путем анализа дифракционных кривых вблизи рефлекса (400), который позволил сделать следующие выводы.

— На пористом InP с буферным слоем, легированным Dy, растет достаточно совершенный слой InP. Полуширины максимумов при сканировании по  $\theta-2\theta$  и по  $\omega$  одинаковы и равны 12 угловым секундам, что свидетельствует об отсутствии анизотропии размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) вдоль и перпендикулярно направлению  $\langle 100 \rangle$  InP.



**Рис. 1.** Распределения концентраций электронов по глубине от поверхности в эпитаксиальных структурах для диодов Ганна, выращенных методом молекулярно-пучковой эпитаксии на жесткой (а) и пористой (б) подложках.

— На стандартной жесткой подложке InP с буферным слоем, легированным Dy, структурные параметры были хуже по сравнению с аналогичным слоем, выращенным на пористой подложке, а именно полуширина максимума при сканировании  $\theta-2\theta$  равна 32, а по  $\omega$  — 29 угловых секунд.

— На пористом GaAs с нелегированным буфером выращенный слой GaAs, легированный кремнием, также был более совершенным, чем выращенный на „жесткой“ подложке GaAs с нелегированным буфером. Полуширины максимумов при сканировании  $\theta-2\theta$  и по  $\omega$  одинаковы и равны 14 угловым секундам.

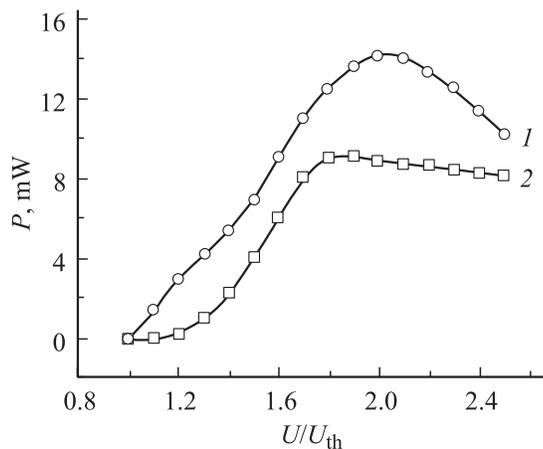
— На стандартной жесткой подложке GaAs с нелегированным буфером образуется эпитаксиальный слой GaAs, менее совершенный, чем выращенный на пористой подложке с буфером. Полуширина максимума при сканировании  $\theta-2\theta$  равна 21, а по  $\omega$  — 22 угловых секунды.

Заметим, что независимо от способа эпитаксии слои GaAs, выращенные на пористых подложках с буфером, были более структурно совершенными, чем аналогичные слои на „жестких“ стандартных подложках GaAs. С помощью метода электрохимического вольт-емкостного (ECV) профилирования были проведены исследования распределения концентрации свободных носителей заряда в эпитаксиальных слоях  $n$ -GaAs, выращенных на подложке  $n^+$ -GaAs (рис. 1). На рис. 1, а видно, что на глубине  $\sim 2.8$  мкм от поверхности наблюдается небольшой провал в концентрации электронов, связанный с наличием дефектов на металлургической

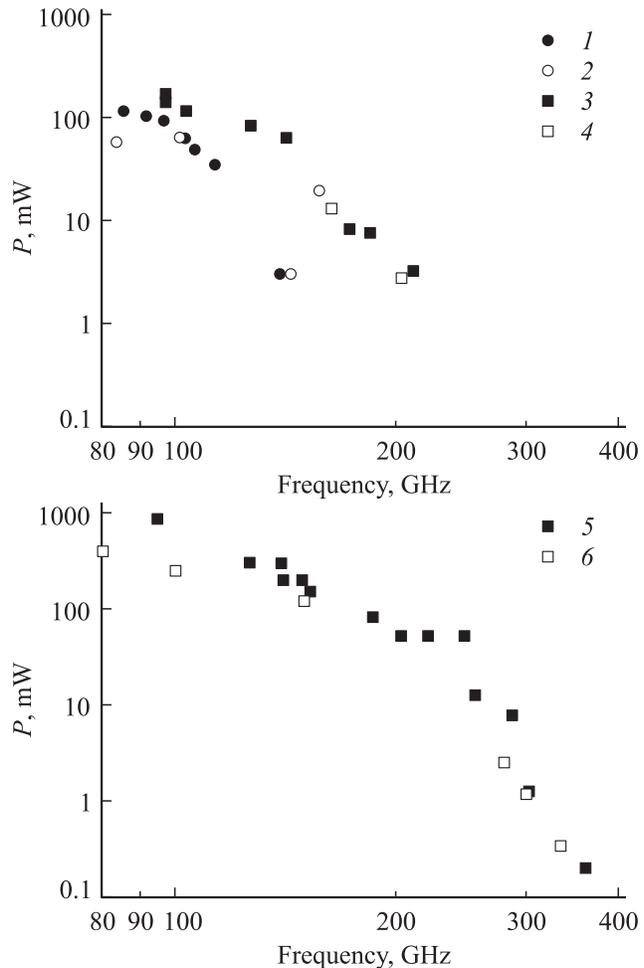
границе (эпитаксиальный слой)–подложка. Верхний и нижний контактные слои  $n^+$ -GaAs имеют толщину около 0.4 мкм и легированы Si на уровне  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Толщина области слабого легирования составляет около 2 мкм, а уровень концентрации электронов находится в диапазоне от  $10^{17} \text{ см}^{-3}$  до  $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Это изменение концентрации может быть также обусловлено формированием неоднородностей кромки, возникающих при электрохимическом травлении вследствие планарной неоднородности эпитаксиальной структуры.

Профиль структуры на пористой подложке (рис. 1, *b*) идентичен профилю структуры на рис. 1, *a* для верхнего контактного слоя и слабо легированной области  $n$ -GaAs. Однако граница перехода (слабо легированная область)–(нижний контактный слой) сильно размыва. Величина концентрации электронов доходит до  $7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  на глубине 3.6 мкм, что значительно превышает уровень легирования подложки. Такое поведение может быть связано с тем, что на подложке  $n^+$ -GaAs был сформирован пористый слой методом электрохимического травления. Поэтому нижний контактный слой  $n^+$ -GaAs мог также иметь пористую структуру. Когда в процессе измерения электролит достиг нижнего контактного слоя  $n^+$ -GaAs, то из-за наличия пор произошло увеличение площади контакта электролит–полупроводник, что привело к увеличению измеряемой емкости структуры и соответственно к росту концентрации носителей. Пористая граница сохранилась при травлении подложки  $n^+$ -GaAs, где ECV-профиль также показал завышенную концентрацию (рис. 1, *b*).

На приборных эпитаксиальных структурах, выращенных в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, в НИИ „Орион“ были изготовлены диоды Ганна по технологии, описанной в работе [27]. Концентрация свободных электронов в  $n$ -слое составляла  $\sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$  при его толщине  $\sim 2$  мкм. Омические контакты к диодам Ганна были изготовлены на основе металлизации Au–TiB<sub>x</sub>–AuGe. Слои метал-



**Рис. 2.** Зависимости выходной мощности GaAs-диодов Ганна от относительного напряжения смещения (прямые меза-структуры). Исходные структуры получены молекулярно-пучковой эпитаксией на подложки: 1 — пористые и 2 — жесткие.



**Рис. 3.** Зависимости максимальной выходной мощности от частоты: *a* — для диодов Ганна, *b* — для Si-IMPATT-диодов. Диоды Ганна изготовлены на подложках: 1, 2 — GaAs; 3, 4 — InP. 1, 3, 6 — данные из работы [10], 2, 4, 5 — наши данные.

лизации получены магнетронным распылением, причем слой AuGe формировался таким образом, чтобы в нем было 97% Au и 3% Ge.

При этом оказалось, что диоды Ганна, изготовленные на основе эпитаксиальных слоев GaAs и InP, выращенных на пористой подложке с буфером, начинают генерировать, как видно на рис. 2, при рабочих напряжениях, близких к пороговым напряжениям  $U_{th}$  (так называемый „мягкий запуск“ режима генерации). Тогда как в диодах Ганна, изготовленных на стандартных подложках с буфером, генерация микроволновых колебаний возникает при напряжении выше порогового  $\sim$  на 20% (типичный „жесткий“ запуск режима генерации). На рис. 2 видно также, что еще одним достоинством использования пористой подложки является увеличение мощности генерации GaAs-диодов Ганна почти на 50%.

На рис. 3, *a* приведены сравнительные данные по максимальной величине выходной мощности диодов Ганна на основе GaAs и InP в частотном диапазоне 80–200 ГГц, полученные в данной работе и в [10],

подтверждающие высокий уровень технологической разработки по изготовлению диодов Ганна на пористых подложках и его соответствие современному состоянию технологии в данной области микроволновой техники.

### 3. Кремниевые IMPATT-диоды

В работах [27,28] описана технология изготовления и приведены параметры кремниевых одно- и двухпролетных IMPATT-диодов на частотный диапазон 33–140 ГГц. Особенностью этой технологии является возможность формирования чипа активного элемента на кремниевой металлизированной мембране, толщина кремния составляет 8–12 мкм [27].

Для IMPATT-диодов, работающих в частотном диапазоне 150–350 ГГц, толщина кремниевой мембраны уменьшается до 6 мкм. Дополнительными требованиями являются высокая планарная однородность структурного качества и плоскостность подложечного кремния. В качестве омического контакта к  $p^+$ - и  $n^+$ -слоям кремния был использован  $Pd_2Si$  с последующим формированием на нем диффузионных барьеров из  $TiN$  и  $Ti$ . Использование в качестве диффузионных барьеров аморфных сплавов на основе фаз внедрения  $TiN$ ,  $TiV_x$  и  $ZrV_x$  повысило качество омических контактов, позволив исключить один из основных механизмов деградации контактов — межзеренную диффузию, типичную для металлизации сформированной поликристаллическими пленками металлов или сплавов [28]. Испытания в форсированных режимах при температуре  $p-n$ -переходов 335, 346 и 375°C на IMPATT-диодах, изготовленных по технологии с диффузионными барьерами на основе фаз внедрения, показали, что энергия активации, рассчитанная по времени медианных отказов, составляет 2.03 эВ, что в 2 раза больше, чем в IMPATT-диодах с омическими контактами на основе  $Pd$  и  $Pt$  [29]. Время безотказной работы IMPATT-диодов с наноструктурными диффузионными барьерами на основе аморфных фаз внедрения при рабочей температуре 200°C составило  $2.4 \cdot 10^7$  ч. При этом на 1.5–2 порядка повысилась надежность IMPATT-диодов по сравнению с IMPATT-диодами, омические контакты к которым не содержали диффузионных барьеров на основе аморфных фаз нитридов или боридов титана и циркония. Выходные параметры IMPATT-диодов в частотном диапазоне 90–350 ГГц оказались на уровне современных разработок, обобщенных в обзоре [10] и приведенных на рис. 3, б. Заметим, что рассмотренные в [10] IMPATT-диоды были изготовлены на алмазных теплоотводах, тогда как IMPATT-диоды, представленные в работах [27,28], изготовлены на медных теплоотводах, теплопроводность которых в  $\sim 4$  раза хуже, чем алмазных. Этот факт свидетельствует о высоком уровне разработанной в [7,27–29] технологии кремниевых микроволновых диодов. Отметим при этом, что эта технология унифицирована и по ней изготавливается широкая номенклатура кремниевых микроволновых диодов на частотный диапазон 26.5–300 ГГц [7].

### 4. Заключение

Таким образом, разработаны новые технологии микроволновых диодов на основе GaAs, InP и Si, которые включают:

— разработку омических контактов с диффузионными барьерами к GaAs, InP и к кремниевым микроволновым диодам на основе наноструктурных аморфных фаз внедрения;

— разработку диодов Ганна на основе эпитаксиальных структур GaAs и InP, выращенных на пористых подложках.

Разработанные с учетом вышеуказанных факторов и изготовленные на медных теплоотводах кремниевые IMPATT-диоды имеют выходную мощность в частотном диапазоне 26.5–350 ГГц и диоды Ганна на основе GaAs и InP в частотном диапазоне 80–200 ГГц на уровне аналогичных микроволновых диодов, изготавливаемых ведущими мировыми фирмами на алмазных теплоотводах.

Работа выполнена в рамках Российско-Украинской программы по нанофизике и нанoeлектронике.

Выражаем благодарность М.В. Шишкову и Н.А. Малееву за обсуждение технологических результатов.

### Список литературы

- [1] В.Г. Божков, В.В. Вилисова, К.И. Куркан, О.Ю. Малаховский, Т.М. Табакеева. Электронная промышленность, № 3, 82 (1993).
- [2] В.Г. Божков, В.А. Генненберг, К.И. Куркан, О.Ю. Малаховский, В.Н. Романовская, А.Д. Фригер. Электронная промышленность, № 3, 88 (1993).
- [3] В.Г. Божков, В.С. Лукаш. Вестн. Томск. гос. ун-та. Сер. физика, № 285, 129 (2005).
- [4] И.И. Еру. Успехи соврем. радиоэлектрон., № 3, 51 (1997).
- [5] H. Eisele, G.I. Haddad. IEEE Trans. MTT, **46** (6), 739 (1998).
- [6] Р.П. Быстров, С.И. Самойлов, А.В. Соколов. Зарубеж. радиоэлектрон., № 10, 60 (1999).
- [7] С.П. Ракитин, Н.Ф. Карушкин, Ю.А. Цвирко, Л.В. Касаткин, Н.С. Болтовец, В.Н. Иванов, С.В. Хоменко. *Тр. 10 Межд. Крымской конф. „СВЧ техника и телекоммуникационные технологии“ „Крымико-2000“* (11–15 сентября, Украина, Севастополь: Вебер, 2000) с. 33.
- [8] А.Б. Борзов, Р.П. Быстров, В.Г. Дмитриев, Э.А. Засовин, А.А. Потапов, А.В. Соколов, И.В. Чусов. Зарубеж. радиоэлектрон., № 4, 18 (2001).
- [9] P.N. Siegel. Terahertz Technology. IEEE Trans. MTT, **50** (3), 910 (2002).
- [10] G.I. Haddad, R.J. Trew. IEEE Trans. MTT, **50** (3), 760 (2002).
- [11] N.S. Boltovets, V.N. Ivanov, A.E. Belyaev, R.V. Konakova, V.V. Milenin, D.I. Voitsikhovski, I.N. Arsentev, A.V. Bobyl, S.G. Konikov, P.S. Kop'ev, M.E. Levinshtein, M.V. Shishkov, R.A. Suris, I.S. Tarasov. *Proc. 5 ISTC SAC Seminar Nanotechnologies in the area of physics, chemistry and biotechnology* (St.Petersburg, Ioffe Institute, Russia. May 27–29, 2002) p. 359.

- [12] Р.В. Конакова, И.Н. Арсентьев, М.В. Байдакова, А.Е. Беляев, А.В. Бобыль, В.Н. Иванов, М.Е. Левинштейн, В.В. Миленин, С.Г. Конников, П.С. Копьёв, А.А. Ситникова, Р.А. Сурис. *Тез. докл. VI Росс. конф. по физике полупроводников* (27–31 октября, 2003, Санкт-Петербург, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Россия, 2003) с. 182.
- [13] I.N. Arsentev, A.V. Bobyl, S.G. Konnikov, I.S. Tarasov, A.E. Belyaev, R.V. Konakova, V.V. Milenin, N.S. Boltovets, V.N. Ivanov. *Proc. 5<sup>th</sup> Int. Kharkov Symp. „Physics and engineering of microwaves millimeter and submillimeter waves“* (June 21–26, 2004, Ukraine, Kharkov) v. 2, p. 572.
- [14] Г.Ф. Терещенко, И.Н. Арсентьев, А.В. Бобыль, С.Г. Конников, В.В. Устинов, А.Е. Беляев, Р.В. Конакова, В.В. Миленин, Н.С. Болговец, В.Н. Иванов, А.П. Шпак, Э.М. Руденко. *Тез. докл. конф. „Нанорозмірні системи. Електронна, атомна будова і властивості“* (НАНСИС 2004) (12–14 августа, 2004, Украина, Киев, ІМФ НАНУ, 2004) с. 20.
- [15] A.E. Belyaev, N.S. Boltovets, A.V. Bobyl, I.N. Arsentev, V.N. Ivanov, R.V. Konakova, S.G. Konnikov, Ya.Ya. Kudryk, V.V. Milenin, V.V. Ustinov, V.P. Ilin, I.S. Tarasov, G.F. Tereshchenko. *Abstracts 1<sup>st</sup> Ukraine–Korea Seminar on Nanophotonics and Nanophysics* (Kiev, Ukraine, 21–23 June, 2005) p. 11.
- [16] В.Ф. Олейник, В.Л. Булгач, В.В. Валяев, А.В. Зоренко, Д.В. Миронов, В.Е. Чайка. *Электронные приборы миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов на основе нанотехнологий* (Киев, ГУИКТ, 2004).
- [17] Е.В. Бузанева. *Микроструктуры интегральной электроники* (М., Радио и связь, 1990).
- [18] В.Ф. Дорфман. *Микрометаллургия в микроэлектронике. Принципы технологии в полупроводниковом приборостроении* (М., Metallургия, 1978).
- [19] Н.Н. Бакин. *Электронная промышленность*, № 9, 30 (1993).
- [20] А.С. Комаров, Л.Н. Кравченко, А.М. Кречмер, Л.Г. Шаповал. *Электронная промышленность*, № 9, 25 (1993).
- [21] Л.Г. Лаврентьева, М.Д. Вилисова, И.В. Ивонин. *Вестн. Томск. гос. ун-та. Сер. физика*, № 285, 74 (2005).
- [22] А.А. Ситникова, А.В. Бобыль, С.Г. Конников, В.П. Улин. *ФТП*, **39** (5), 552 (2005).
- [23] Ф.Ю. Солдатенков, В.П. Улин, А.А. Яковенко, О.М. Федорова, С.Г. Конников, В.И. Корольков. *Письма ЖТФ*, **25** (21), 15 (1999).
- [24] В.В. Мамутин, В.П. Улин, В.В. Третьяков, С.В. Иванов, С.Г. Конников, П.С. Копьёв. *Письма ЖТФ*, **25** (1), 3 (1999).
- [25] Ю.Н. Бузыкин, С.А. Гусев, В.М. Данильцев, М.Н. Дроздов, Ю.Н. Дроздов, А.В. Мурель, О.И. Хрыкин, В.И. Шашкин. *Письма ЖТФ*, **26** (7), 64 (2000).
- [26] И.Н. Арсентьев, М.В. Байдакова, А.В. Бобыль, Л.С. Вавилова, С.Г. Конников, В.П. Улин, Н.С. Болговец, Р.В. Конакова, В.В. Миленин, Д.И. Войшиховский. *Письма ЖТФ*, **28** (17), 57 (2002).
- [27] N.S. Boltovets, V.V. Basanets, V.N. Ivanov, V.A. Krivutsa, A.E. Belyaev, R.V. Konakova, V.G. Lyapin, V.V. Milenin, E.A. Soloviev, E.F. Venger, D.I. Voitsikhovskiy, V.V. Khollevchuk, V.F. Mitin. *Semicond. Phys., Quant. Electron & Optoelectron.*, **3** (3), 359 (2000).
- [28] N.S. Boltovets, V.N. Ivanov, R.V. Konakova, A.M. Kurakin, V.V. Milenin, E.A. Soloviev, G.M. Veremeychenko. *Semicond. Phys. Quant. Electron. & Optoelectron.*, **4** (1), 93 (2001).
- [29] N.S. Boltovets, V.V. Basanets, A.V. Tsvir, A.M. Kurakin, E.F. Venger, R.V. Konakova, V.V. Milenin, V.F. Mitin, E.A. Soloviev. *Proc. 10<sup>th</sup> Int. Crimean conf. „Microwave & Telecommunication Technologies“ CriMiCo2000* (11–15 September, Ukraine, Sevastopol: Veber, 2000) p. 139.

Редактор Т.А. Полянская

## Diffusion barrier contacts based on TiN, Ti(Zr)B<sub>x</sub> interstitial phases in the UHF diodes for the range of 200–350 GHz

N.S. Boltovets, V.N. Ivanov, A.E. Belyaev\*, R.V. Konakova\*, Ya.Ya. Kudrik\*, V.V. Milenin\*, I.N. Arsenteyev<sup>+</sup>, A.V. Bobyl<sup>+</sup>, P.N. Brunkov<sup>+</sup>, I.S. Tarasov<sup>+</sup>, A.A. Tonkikh<sup>+</sup>, V.P. Ulin<sup>+</sup>, V.M. Ustinov<sup>+</sup>, G.E. Cirlin<sup>+</sup>

State Enterprise SRI „Orion“,  
03057 Kiev, Ukraine

\* V.E. Lashkariev Institute of Semiconductors Physics,  
National Academy of Sciences of Ukraine,  
03028 Kiev, Ukraine

<sup>+</sup> Ioffe Physicotechnical Institute,  
Russian Academy of Sciences,  
194021 St. Petersburg, Russia

**Abstract** New technology of temperature stabilized ohmic contacts with diffusion barriers based on the TiN, Ni(Zr)B<sub>x</sub> amorphous interstitial phases is used to develop GaAs, InP and Si UHF diodes for the millimeter range frequencies (higher than 100 GHz). Epitaxial layers grown on the porous III-V substrates by gas-phase, molecular beam and liquid phase epitaxy techniques lead to the increasing of the reliability of GaAs and InP Gann diodes operating at the frequency of 200 GHz. The technology of the active element formation on the silicon metallized membrane is used for a first time to increase Si avalanche diode operating range up to 350 GHz.