

# Невплавные омические контакты с пониженным сопротивлением к эпитаксиальным слоям алмаза $p$ - и $n$ -типа и их термическая стабильность

© Е.А. Архипова<sup>1</sup>, М.Н. Дроздов<sup>1</sup>, С.А. Краев<sup>1</sup>, О.И. Хрыкин<sup>1</sup>, А.И. Охапкин<sup>1</sup>, М.А. Лобаев<sup>2</sup>,  
А.Л. Вихарев<sup>2</sup>, В.А. Исаев<sup>2</sup>, С.А. Богданов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт физики микроструктур Российской академии наук,  
607680 Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup> Институт прикладной физики Российской академии наук,  
603950 Нижний Новгород, Россия

E-mail: suroveginaka@ipmras.ru

Поступила в Редакцию 22 апреля 2024 г.

В окончательной редакции 29 октября 2024 г.

Принята к публикации 29 октября 2024 г.

Исследована возможность снижения удельного сопротивления омического контакта к эпитаксиальным слоям алмаза  $p$ - и  $n$ -типа за счет использования сильно легированных бором и фосфором слоев, вариации разных материалов для металлизации и отжига контактов. Исследовано два типа омических контактов — Ti/Mo/Au и Ti/Pt/Au. Использование платины в качестве диффузионного барьера в трехслойной системе позволило снизить удельное контактное сопротивление к алмазу  $p$ -типа на порядок по сравнению с молибденом до  $2.7 \cdot 10^{-6}$  Ом·см<sup>2</sup>, сохраняющее стабильность при высокотемпературном отжиге. Достигнуто удельное сопротивление омических контактов к алмазу  $n$ -типа 0.02 Ом·см<sup>2</sup>. Вольт-амперные характеристики полученных контактов имеют линейный характер.

**Ключевые слова:** эпитаксиальные слои алмаза, бор, фосфор, омические контакты.

DOI: 10.61011/FTP.2024.08.59199.6349H

## 1. Введение

Алмаз давно привлекает к себе внимание как материал для мощных полупроводниковых устройств, работающих при повышенных температурах. Это обусловлено широкой запрещенной зоной (5.4 эВ), высокой теплопроводностью (22 Вт·см<sup>-1</sup>·К<sup>-1</sup> при комнатной температуре) и очень высоким полем пробоя (10<sup>7</sup> В·см<sup>-1</sup>) [1,2]. Формирование омических контактов к алмазу  $p$ - и  $n$ -типа, сохраняющих стабильность при высоких рабочих температурах, является важной задачей для развития алмазной электроники и снижение контактного сопротивления до сих пор является актуальным вопросом. В классических полупроводниках A<sup>III</sup>B<sup>V</sup>, а также в нитридах (GaN, AlN) омический контакт образуется с такими металлами, для которых работа выхода электронов ( $\Phi_m$ ) меньше энергии сродства к электрону полупроводника ( $X_s$ ) для  $n$ -типа, либо  $\Phi_m$  больше суммы  $X_s$  и ширины запрещенной зоны ( $E_g$ ) для  $p$ -типа. В случае с алмазом, как для  $n$ -, так и для  $p$ -типа, не существует металлов с работой выхода электронов, удовлетворяющих данным неравенствам, и потенциальный барьер существует всегда. Поэтому для создания омического контакта к алмазу с низким сопротивлением используют приемы, позволяющие сделать этот потенциальный барьер более узким и низким. Снижение ширины барьера достигается сильным легированием алмаза в подконтактной области, за счет чего потенциальный барьер на границе металл–алмаз заметно сужается и

становится туннельно-прозрачным для носителей [3–7]. Так, на алмазе  $p$ -типа контактное сопротивление снижается с  $10^{-4}$  Ом·см<sup>2</sup> до  $2 \cdot 10^{-6}$  Ом·см<sup>2</sup> при увеличении концентрации атомов бора с  $10^{18}$  см<sup>-3</sup> до  $3 \cdot 10^{20}$  см<sup>-3</sup> [8]. Для снижения высоты барьера изменяется химический состав алмаза вблизи контакта — создается узкозонный подконтактный слой. Для этой цели используют карбидообразующие металлы [9–14] — Ti, Mo, Ta, W, что обеспечивает снижение высоты барьера до 0.4–0.6 эВ [11,15,16]. При этом механизм протекания тока через барьер носит термополевой характер.

Однако для легированного фосфором алмаза  $n$ -типа такие подходы не позволили сформировать надежный контакт с низким сопротивлением. Уровень Ферми на границе раздела металл/алмаз  $n$ -типа из-за высокой плотности поверхностных состояний закреплен на уровне  $\sim 4.3$  эВ ниже дна зоны проводимости, что затрудняет управление высотой барьера. В первых работах научные коллективы пошли по пути снижения ширины барьера, повышая уровень легирования алмаза фосфором. За счет увеличения концентрации атомов фосфора авторам работ [17,18] удалось достигнуть  $\rho_c$  омического контакта к алмазу  $n$ -типа лишь  $\sim 10^{-3}$  Ом·см<sup>2</sup>. Позже, однако, эти результаты не были воспроизведены. Кроме того, ВАХ между различными контактами TLM-линии в этих работах были нелинейными, что искажает результаты обработки. Следует заметить, что в отличие от легирования CVD алмаза бором синтез полупроводникового CVD алмаза  $n$ -типа с высокой концентрацией ато-

мов фосфора остается еще мало изученным процессом. Основным препятствием для получения слоев алмаза с электронным типом проводимости является высокая энергия активации легирующей примеси (наименьшая 0.57 эВ для фосфора), что затрудняет создание достаточной концентрации электронов проводимости в кристалле. Из литературы известно, что еще одной проблемой при легировании алмаза фосфором является высокая степень компенсации доноров. Стало ясно, что для достижения  $\rho_c \sim 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  к алмазу *n*-типа необходимо искать другие варианты изготовления омического контакта к алмазу *n*-типа. Позже в работе этих же авторов [19] предпринимается попытка создания омических контактов на алмазе *n*-типа с предварительно графитизированной поверхностью, однако это дает значение контактного сопротивления лишь  $\rho_c = 0.9 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ .

В работе [20] для увеличения уровня легирования фосфором на алмазе с ориентацией (100) используют предварительное каталитическое травление под маской Ni в области контактов, а затем селективный рост алмаза *n*-типа в этих областях. В работе [21] предлагается на поверхность легированного алмаза нанести слой нанокристаллического алмаза NCD, сильно легированный азотом. И уже к нему делать омические контакты Ti-Pt-Au.

Задача по поиску стабильных контактов к алмазу *n*- и *p*-типа с низким сопротивлением, не деградирующих при повышенных температурах, до сих пор остается актуальной. Данная работа посвящена поиску вариантов снижения контактного сопротивления: получению областей сильно легированного фосфором и бором алмаза, использованию двух видов металлов в качестве омического контакта Ti/Mo/Au и Ti/Pt/Au, исследованию влияния отжига на контакты.

## 2. Методика эксперимента

Эпитаксиальные слои алмаза, легированные фосфором (P13) и бором (S61), выращивались методом осаждения из газовой фазы — CVD методом на подложках НРНТ (high pressure high temperature) алмаза с ориентацией (111) и (001) соответственно в новом типе CVD реактора [22]. Основными особенностями реактора являются: использование ламинарного безвихревого потока газа и системы быстрой смены состава газовой смеси.

К слоям алмаза P13 и S61 формировались трехслойные омические контакты двух типов — Ti/Mo/Au и Ti/Pt/Au с толщинами слоев 20/30/100 нм. Напыление отдельных металлических слоев проводилось методом электронно-лучевого испарения на установке AMOD. Контакты получались омическими без дополнительно термического отжига. После проведения необходимых исследований металлы полностью удалялись в кипящей смеси азотной и соляной кислот ( $\text{HNO}_3 : \text{HCl} : 1 : 3$ ).

ВАХ снимались с помощью системы Keithley SCS 4200; значения удельных и контактных сопротив-

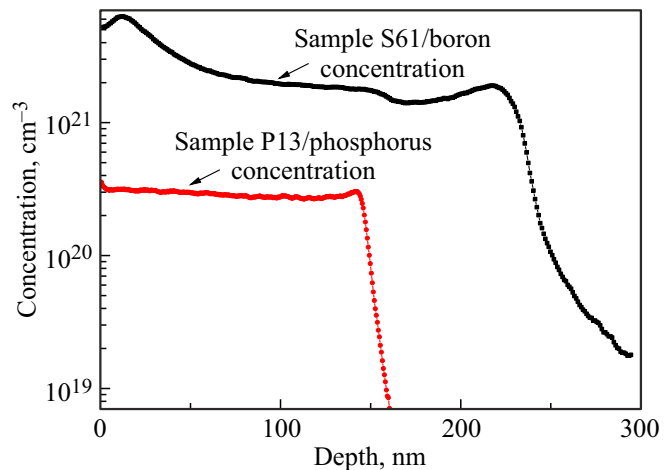


Рис. 1. Распределение атомов фосфора в структуре P13 и атомов бора в структуре S61 (ВИМС).

лений определялись методом длинной линии (TLM). Профили распределения атомов бора и фосфора в исследуемых структурах были получены методом вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС) на установке TOF.SIMS-5.

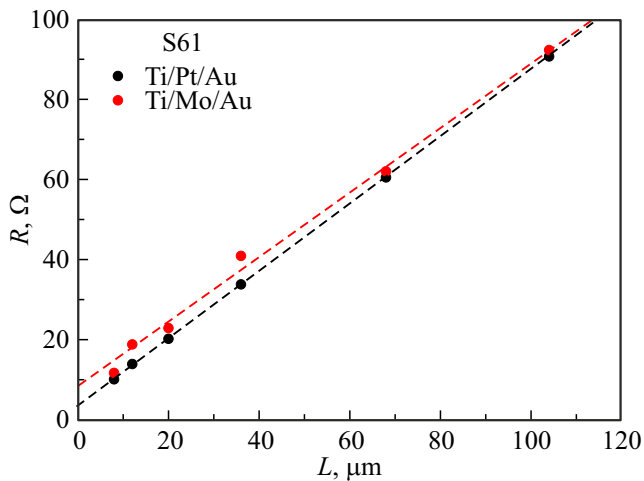
## 3. Результаты и обсуждение

Для формирования омического контакта к алмазу *p*-типа на подложке алмаза S61 был выращен эпитаксиальный слой алмаза толщиной 220 нм с концентрацией атомов бора  $2 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ . Был найден режим эпитаксиального роста алмаза, легированного фосфором, с концентрацией атомов фосфора до  $3 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  (P13). До сих пор нам не удавалось достичь столь высокого уровня легирования алмаза атомами фосфора [23]. Профили ВИМС концентрации атомов бора и фосфора в исследуемых структурах приведены на рис. 1.

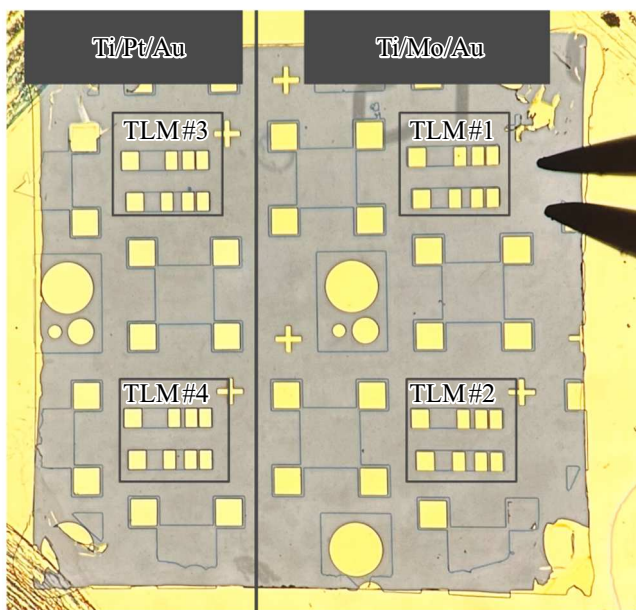
### 3.1. Омический контакт к алмазу *p*-типа

В предыдущих работах по формированию омического контакта к легированным бором слоям алмаза мы использовали многослойную систему металлов Ti/Mo/Au [24]. В этой работе нами были изготовлены и исследованы контакты двух типов — Ti/Mo/Au и Ti/Pt/Au. По выбранному фотошаблону формировалась металлическая маска для травления меза-структур. После травления мезаструктуры и удаления маски к *p*<sup>+</sup>-слою алмаза изготавливались омические контакты. Схема формирования меза-структур и омических контактов показана на рис. 3: металлизация Ti/Pt/Au на левой половине поверхности алмаза (TLM3, TLM4), Ti/Mo/Au — на правой (TLM1, TLM2).

На рис. 2 приведены результаты измерения контактного сопротивления на TLM-линии для двух типов металлизации контактов.



**Рис. 2.** Полное сопротивление между двумя соседними контактами Ti/Mo/Au и Ti/Pt/Au как функция расстояния между контактными площадками на TLM-линии.



**Рис. 3.** Фотография структуры алмаза с нанесенными металлическими контактами на тестовых ячейках. Размер алмаза  $3 \times 3$  мм.

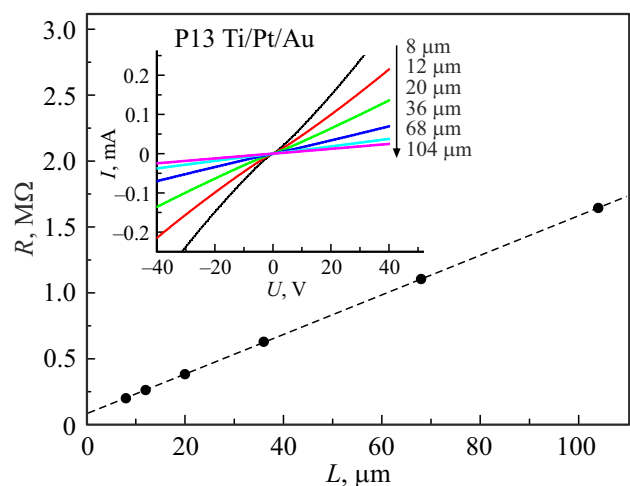
Данные рис. 2 показывают хорошую линейную зависимость сопротивления от расстояния между соседними контактными площадками на TLM-линии как для контактов Ti/Mo/Au, так и Ti/Pt/Au. Результаты TLM-измерений показали снижение контактного сопротивления на порядок за счет использования платины в качестве диффузионного барьера трехслойной структуры металлов вместо молибдена. Удельное контактное сопротивление с использованием Ti/Mo/Au составило  $\rho_c = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ , а для Ti/Pt/Au —  $\rho_c = 2.7 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ . ВАХ омических контактов в

обоих случаях были линейны и не требовали дополнительного термического отжига. В литературе мы не встречали такого сильного различия в контактном сопротивлении при использовании разных металлов. Это может быть связано с тем, что потенциальный барьер на границе  $p^+$ -алмаз–Ti/Pt/Au получается ниже, чем на границе  $p^+$ -алмаз–Ti/Mo/Au. Условием отсутствия потенциального барьера на границе  $p^+$ -алмаз–Me является неравенство  $\Phi_m > E_g + X_s$ . Поскольку правая часть неравенства для алмаза составляет 6.8 эВ, неравенство не выполняется ни для одного из металлов и барьер есть всегда. Однако  $\Phi_m$  у Pt (5.5 эВ) выше, чем у Mo (4.21 эВ), поэтому неравенство с использованием Pt выполняется лучше, чем с использованием Mo.

### 3.2. Омический контакт к алмазу $n$ -типа

Аналогичным способом были сформированы мезоструктуры к алмазу, легированному атомами фосфора (рис. 3). На рис. 4 приведено полное сопротивление между двумя соседними контактами Ti/Pt/Au как функция расстояния между контактными площадками на TLM-линии. Данные показывают хорошую линейную зависимость сопротивления от расстояния между контактами. Пунктирная линия показывает результат аппроксимации методом наименьших квадратов. На вставке рис. 4 построены ВАХ, соответствующие разным расстояниям между контактами металл/легированный фосфором алмаз при комнатной температуре.

Подобные измерения были проведены для контактов Ti/Mo/Au. ВАХ контактов Ti/Mo/Au и Ti/Pt/Au имеет линейный характер в широком диапазоне приложенных напряжений, что свидетельствует о высоком



**Рис. 4.** Полное сопротивление между двумя соседними контактами как функция расстояния между контактными площадками на TLM-линии. На вставке показаны ВАХ между двумя соседними контактными площадками, соответствующие разным расстояниям между контактами металл/ $n^+$ -алмаз при комнатной температуре. (Цветной вариант рисунка представлен в электронной версии статьи).

качестве полученных омических контактов. Удельное контактное сопротивление с использованием Ti/Mo/Au составило  $\rho_c = 5.4 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ , а для Ti/Pt/Au —  $\rho_c = 8 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ .

По результатам TLM-измерений, существенной разницы контактного сопротивления и удельного сопротивления  $n^+$ -алмаза от выбора металла не наблюдалось. Наилучшее значение контактного сопротивления к легированному атомами фосфора алмазу на уровне  $3 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  составило  $\rho_c = 5.4 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  без отжига с использованием Ti/Mo/Au. Ранее с использованием той же системы омического контакта Ti/Mo/Au нам удавалось достичь значения  $\rho_c = 2.3 \cdot 10^{-1} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  на образце P6 при концентрации атомов фосфора  $2.5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$  [23]. Видно, что на снижение контактного сопротивления сильно оказывает влияние концентрация атомов фосфора в алмазном подконтактном слое. Согласно простой теории контактов металл/полупроводник  $n$ -типа, контактное сопротивление  $\rho_c \sim \exp(\phi_b/N_D^{1/2})$  изменяется экспоненциально с коэффициентом  $\phi_b/N_D^{1/2}$ , где  $\phi_b$  — высота барьера Шоттки, а  $N_D$  — концентрация доноров. В образце P13 удалось снизить  $\rho_c$  в 4 раза по сравнению с P6 за счет увеличения  $N_D$ , что в свою очередь привело к снижению ширины барьера.

### 3.3. Влияние отжига 450 и 850°C на свойства контактов на алмазе $p$ - и $n$ -типа

Исследовалось влияние отжига металлических контактов на электрические свойства контакта металл/ $p^+$ - и  $n^+$ -алмаз, измерялось  $\rho_c$  на Ti/Mo/Au и Ti/Pt/Au контактах после отжига 5 мин в атмосфере аргона при различных температурах. Значения  $\rho_c$  для двух типов металлов на  $p^+$ - и  $n^+$ -алмазе до и после последовательных отжигов 450 и 850°C показано на рис. 5.

Изготовленные контакты на  $p^+$ - и  $n^+$ -алмазе выдержали два последовательных отжига 450 и 850°C, не

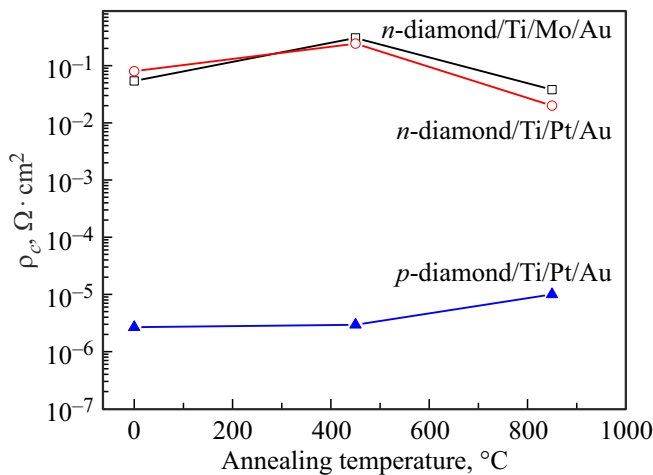


Рис. 5. Зависимость контактного сопротивления Ti/Mo/Au и Ti/Pt/Au от температуры отжига.

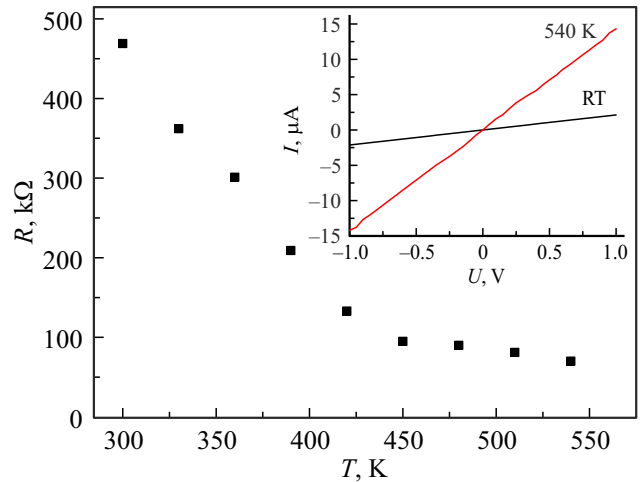


Рис. 6. Температурная зависимость полного сопротивления между двумя соседними контактами Ti/Pt/Au на холловском кресте на образце P13, отожженном при 850°C. На вставке показаны ВАХ контактов Ti/Pt/Au при комнатной температуре и при 540 К.

деградировали, ВАХ таких контактов при этом оставались линейными на TLM-линии. Это говорит о высокой термостабильности полученных контактов.

На  $p^+$ -алмазе высокотемпературный отжиг практически не повлиял на  $\rho_c$ , сопротивление полупроводника после отжига также не изменилось.

На  $n^+$ -алмазе отжиг 450°C немного ухудшил  $\rho_c$  для обоих типов металлов, а последующий отжиг 850°C привел к снижению  $\rho_c$  в 4 раза относительно значения  $\rho_c$  до отжига. Снижение контактного сопротивления мы связываем с возникновением слоя карбида титана на границе металл/алмаз, который дополнительно может снижать потенциальный барьер. Кроме того, отжиг 850°C привел к снижению сопротивления самого полупроводника в 4–5 раз, по данным измерений эффекта Холла ( $\rho_{s/s}$  упало с 12.8 до 2.8 Ом·см). ВАХ контактов на холловских крестах сохранили свои линейные свойства после отжига.

На рис. 6 показана зависимость полного сопротивления между двумя соседними контактами Ti/Pt/Au на холловском кресте на образце P13, отожженном при 850°C, от температуры. Температурная зависимость показывает полупроводниковый характер, при котором сопротивление уменьшается с увеличением температуры. Контакты демонстрируют линейные ВАХ при повышенных температурах 540 К.

## 4. Заключение

Проведено сравнение технологий изготовления двух типов омических контактов к эпитаксиальным слоям алмаза  $p$ - и  $n$ -типа — Ti/Mo/Au и Ti/Pt/Au. Полученные контакты не требовали дополнительного термического отжига, ВАХ таких контактов линейны на TLM-линии,

что, по нашим данным, в литературе достигнуто еще не было. Для слоев  $p$ -типа использование платины в качестве диффузионного барьера в трехслойной системе позволило снизить удельное контактное сопротивление на порядок по сравнению с молибденом и составило  $\rho_c = 2.7 \cdot 10^{-6}$  Ом·см<sup>2</sup> для эпитаксиального слоя алмаза с концентрацией бора  $2 \cdot 10^{21}$  см<sup>-3</sup>. Для слоев  $n$ -типа вариация слоев металла в качестве контакта привела к более слабому изменению контактного сопротивления. Контактное сопротивление было снижено до  $\rho_c = 5.4 \cdot 10^{-2}$  Ом·см<sup>2</sup> за счет использования сильно легированного фосфором слоя алмаза в подконтактной области. Изготовленные контакты на  $p^+$ - и  $n^+$ -алмазе выдержали два последовательных отжига 450 и 850°C, не деградировали, ВАХ таких контактов при этом оставались линейными на TLM-линии. Это говорит о высокой термостабильности полученных контактов.

На  $p^+$ -алмазе высокотемпературный отжиг практически не повлиял на  $\rho_c$ , сопротивление полупроводника после отжига также не изменилось.

На  $n^+$ -алмазе отжиг 450°C немного ухудшил  $\rho_c$  для обоих типов металлов, а последующий отжиг 850°C привел к снижению  $\rho_c$  в 4 раза относительно значения  $\rho_c$  до отжига и составило 0.02 Ом·см<sup>2</sup>. Снижение контактного сопротивления мы связываем с возникновением слоя карбида титана на границе металл/алмаз, который дополнительно может снижать потенциальный барьер. Кроме того, отжиг 850°C привел к снижению сопротивления самого полупроводника в 4–5 раз, по данным измерений эффекта Холла.

### Финансирование работы

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-12-00309.

### Благодарности

В работе использовалось оборудование ЦКП ИФМ РАН „Физика и технология микро- и наноструктур“.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Список литературы

- [1] S. Koizumi, C. Nebel, M. Nesladek. *Physics and Applications of CVD Diamond* (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008).
- [2] S. Koizumi, H. Umezawa, J. Pernot. *Power Electronics Device Applications of Diamond Semiconductors*. Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials (2018).
- [3] Т.В. Бланк, Ю.А. Гольдберг. ФТП, **41** (11), 1281 (2007).
- [4] J.F. Prins. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **22**, 1562 (1989).
- [5] R. Kalish. *Appl. Surf. Sci.*, **117/118**, 558 (1997).
- [6] V. Venkatesan, D.M. Malta, K. Das, A.M. Belu. *J. Appl. Phys.*, **74** (2), 1179 (1993).

- [7] J.C. Pinero, M.P. Villar, D. Araujo, J. Montserrat, B. Antunez, P. Godignon. *Phys. Status Solidi A*, **214** (11), 1700230 (1-7) (2017). DOI: 10.1002/pssa.201700230
- [8] Y.G. Chen, M. Ogura, S. Yamasaki, H. Okushi. *Diamond Relat. Mater.*, **13** (11–12), 2121 (2004).
- [9] T. Tachibana, B.E. Williams, J.T. Glass. *Phys. Rev. B*, **45** (20), 11975 (1992).
- [10] J. Nakanishi, A. Otsuki, T. Oku, O. Ishiwata, M. Murakami. *J. Appl. Phys.*, **76** (4), 2293 (1994).
- [11] M. Yokoba, Y. Koide, A. Otsuki, F. Ako, T. Oku, M. Murakami. *J. Appl. Phys.*, **81** (10), 6815 (1997).
- [12] P.E. Viljoen, E.S. Lambers, P.H. Holloway. *J. Vac. Sci. Technol. B*, **12** (5), 2997 (1994). DOI: 10.1116/1.587549.
- [13] K.L. Moazed, J.R. Zeidler, M.J. Taylor. *J. Appl. Phys.*, **68** (5), 2246 (1990).
- [14] Y. Chen, M. Ogura, S. Yamasaki, H. Okushi. *Semicond. Sci. Technol.*, (20), 860 (2005). DOI:10.1088/0268-1242/20/8/041
- [15] S. Kono, T. Teraji, H. Kodama, K. Ichikawa, S. Ohnishi, A. Sawabe. *Diamond Relat. Mater.*, (60), 117 (2015). <http://dx.doi.org/10.1016/j.diamond.2015.10.028>
- [16] D. Zhao, F.N. Li, Z.C. Liu, X.D. Chen, Y.F. Wang, G.Q. Shao, T.F. Zhu, M.H. Zhang, J.W. Zhang, J.J. Wang, W. Wang, H.X. Wang. *Appl. Surf. Sci.*, **443**, 361 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.03.015>
- [17] H. Kato, H. Umezawa, N. Tokuda, D. Takeuchi, H. Okushi, S. Yamasaki. *Appl. Phys. Lett.*, **93**, 202103 (2008). doi: 10.1063/1.3005639
- [18] H. Kato, D. Takeuchi, N. Tokuda, H. Umezawa, H. Okushi, S. Yamasaki. *Diamond Relat. Mater.*, **18**, 782 (2009).
- [19] T. Matsumoto, H. Kato, N. Tokuda, T. Makino, M. Ogura, D. Takeuchi, H. Okushi, S. Yamasaki. *Phys. Status Solidi RRL*, **8** (2), 137 (2014). DOI 10.1002/pssr.201308252
- [20] Nephi Temahuki, Rémi Gillet, Vincent Sallet, François Jomard. *Physica Status Solidi A*, **214** (11), 1700466 (2017).
- [21] Patent Application Publication CONTACT STRUCTURES FOR N-TYPE DIAMOND, United States, Koeck et al. Pub. No.: US 2020/0343344 A1 Oct. 29 (2020).
- [22] A.L. Vikharev, A.M. Gorbachev, M.A. Lobaev, A.B. Muchnikov, D.B. Radishev, V.A. Isaev, V.V. Chernov, S.A. Bogdanov, M.N. Drozdov, J.E. Butler. *Phys. Status Solidi RRL*, **10** (4), 324 (2016). DOI: 10.1002/pssr.201510453
- [23] Е.А. Архипова, М.Н. Дроздов, С.А. Краев, О.И. Хрыкин, М.А. Лобаев, А.Л. Вихарев, А.М. Горбачев, С.А. Богданов, В.А. Исаев, А.В. Кудрин. Тр. XXVII Междунар. симп. „Нанозфизика и наноэлектроника“, **2**, 526 (2023).
- [24] Е.А. Архипова, Е.В. Демидов, М.Н. Дроздов, С.А. Краев, В.И. Шашкин, М.А. Лобаев, А.Л. Вихарев, А.М. Горбачев, Д.Б. Радищев, В.А. Исаев, С.А. Богданов. ФТП, **53** (10), 1386 (2019).

Редактор Г.А. Оганесян

## Non-annealed ohmic contacts with reduced resistance to *p*- and *n*-type epitaxial layers of diamond and their thermal stability

*E.A. Arkhipova*<sup>1</sup>, *M.N. Drozdov*<sup>1</sup>, *S.A. Kraev*<sup>1</sup>,  
*O.I. Khrykin*<sup>1</sup>, *A.I. Okhapkin*<sup>1</sup>, *M.A. Lobaev*<sup>2</sup>,  
*A.L. Vikharev*<sup>2</sup>, *V.A. Isaev*<sup>2</sup>, *S.A. Bogdanov*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute for Physics of Microstructures,  
Russian Academy of Sciences,  
607680 Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup> Institute of Applied Physics,  
Russian Academy of Sciences,  
603950 Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract** The possibility of decreasing the resistivity of ohmic contact to *p*- and *n*-type diamond epitaxial layers by using heavily boron- and phosphorus-alloyed layers, variation of different materials for metallization and annealing of contacts has been investigated. Two types of ohmic contacts have been studied: Ti/Mo/Au and Ti/Pt/Au. The use of platinum as a diffusion barrier in a three-layer system made it possible to reduce the specific contact resistance to *p*-type diamond by an order of magnitude compared to molybdenum to  $2.7 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$ , which maintains stability during high-temperature annealing. A specific resistance of ohmic contacts to *n*-type diamond of  $0.02 \Omega \cdot \text{cm}^2$  has been achieved. The current-voltage characteristic of the resulting contacts is linear.