Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0821U100012

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 04-01-2021

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Дуб Максим Миколайович

2. Dub Maksym M

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 172

Назва наукової спеціальності: Електроніка та телекомунікації. Телекомунікації та радіотехніка

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Не застосовується

Дата захисту: 22-12-2020

Спеціальність за освітою: 8.04020301 Фізика

Місце роботи здобувача: Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: пр. Науки, буд. 41, м. Київ, Київська обл., 03028, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ДФ 26.199.001

Повне найменування юридичної особи: Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: пр. Науки, буд. 41, м. Київ, Київська обл., 03028, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: пр. Науки, буд. 41, м. Київ, Київська обл., 03028, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації:

Коди тематичних рубрик: 47.09.29

Тема дисертації:

1. Дослідження термостійких омічних контактів до напівпровідникового алмазу.

2. Investigation of heat-resistant ohmic contacts to semiconductor diamond.

Реферат/анотація:

1. АНОТАЦІЯ Дуб М.М. Дослідження термостійких омічних контактів до напівпровідникового алмазу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – телекомунікації та радіотехніка. Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова Національної Академії наук України, Київ, 2020. Дисертація присвячена дослідженню багатошарових термостійких омічних контактів до алмазу, напівпровідникового матеріалу перспективного для високочастотних транзисторних структур, потужних мікроелектронних приладів та приладів екстремальної електроніки (детектори рентгенівського та ядерного випромінювань, температурно- та радіаційностійкі мікроелектронні прилади). Створення і майбутня промислова реалізація даних мікроелектронних приладів можлива лише за умови створення надійних омічних контактів. З аналізу літературних даних встановлено, що найбільш поширеним є легування бором. Пов'язано це з відносно

низькою енергією активації бору ≈ 0,37 еВ у порівнянні з азотом ≈ 1,7 еВ, високими значеннями рухливості та розчинності в алмазі. Після порівняння контактних опорів для однакового типу металізації для полі- та монокристалічних плівок встановлено, що при низьких рівнях легування < 1018 см 3 монокристалічні плівки мають на два порядки менший контактний опір. При збільшенні концентрації дана різниця нівелюється. З урахуванням залежності значення контактного опору від рівня легування та температури відпалу, встановлено, що найбільш перспективним контактоутворюючим шаром слугує титан, який у процесі температурної обробки дозволяє утворення фаз TiC з низьким питомим контактним опором. Досліджено морфологічні властивості сформованих контактів. Проведено Оже-профілометрію та Х-променеву дифрактометрію контактних структур до та після термічної обробки. Встановлено, що в контактній системі Au/Ti/C присутній значний вміст кисню до та після термічного відпалу, що може свідчити про проблеми вакууму при напиленні контакту. Після відпалу вміст кисню в контакті значно збільшується. Пов'язано це, в свою чергу, з дифузією кисню крізь шар золота. В результаті чого при збільшенні температури відпалу до 800 °С спостерігається деградація омічного контакту. В результаті дослідження контакту методом Х-променевої дифрактометрії не спостерігалося піків фаз TiOx та TiC до та після відпалу. Можливо припустити, що дані композити знаходяться в аморфному або нанокристалічному стані. Розроблено метод оптимізації контактного шару Ti в контактах з використанням додаткового дифузійного бар'єра Mo. Оптимізація контактного шару Ti дозволяє утворити після швидкого термічного відпалу при 800 °С тонкий шар зі співвідношенням Ti:C, який дорівнює 1:0,96. Встановлено, що у випадках двошарової металізації Ti/Au контактного шару Au товщиною 100 нм не достатньо для уникнення дифузії вуглецю на поверхню, а кисню – вглиб контакту. В результаті чого при швидкому термічному відпалі (ШТВ) понад 600 °С відбувається деградація контакту. Додатковий дифузійний бар'єр на основі Mo товщиною 60 нм перешкоджає деградації контакту до температури ШТВ 800 °С. Встановлено, що омічний контакт у структурах Au/Ti/C та Au/Mo/Ti/C формується в процесі магнетронного напилення на підігріту до 350 °С алмазну підкладку. Для контактної металізації Au/Ti/C оптимальна температура відпалу 600 °С. Контактний опір в даному випадку становить ρс = 6,3·10–3 Ом·см2 при концентрації легування Na = 2,5·1019 см–3. При збільшенні температури відпалу спостерігається деградація контакту і, як наслідок, збільшення контактного опору. Показана можливість використання радіального омічного контакту у ролі інтегрованого термосенсора. При низьких прикладених напругах провідність у діапазоні температур 20–400 °С змінюється на два порядки, що достатньо для роботи схем захисту. Створена контактна структура Au/Mo/Ti/C характеризується збільшеною термостабільністю контактів до 800 °С. Контактний опір у даному випадку становить ρс = (6,12 ± 3,78)·10–5 Ом·см2 при концентрації легування Na = 1,3·1019 до 6,6·1019 см–3. Проаналізовано отримані результати у порівнянні з уже існуючими контактними металізаціями та підтверджено перспективність створеної металізації. Дана контактна система була використана у ролі мікросмугових ліній передачі гібридних інтегральних мікросхем НВЧ на алмазних підкладках високої теплопровідності, які працювали в діапазоні температур від 20 °С до 400 °С. Тангенс кута втрат не перевищує величину 10–4. Експлуатація передавальної лінії НВЧ при температурах (25–400) °С показала стабільність імпедансних характеристик пристрою. Ключові слова: омічний контакт, алмаз, швидка термічна обробка, гібридна інтегральна схема.

2. ABSTRACT Dub M. M. Investigation of heat-resistant ohmic contacts to semiconductor diamond. – Manuscript. The Ph. D thesis for a scientific degree of the doctor of philosophy, field 172 – telecommunications and radio engineering. V. E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Kyiv, 2020. The dissertation is devoted to the research of multilayer heat-resistant ohmic contacts to diamond, as semiconductor material perspective for high-frequency transistors, powerful microelectronic devices and extreme electronic devices (X-ray and nuclear radiation detectors, temperature- and radiation-resistant microelectronic devices). Creation and future commercialization of these microelectronic devices is possible only under the condition of formation of the reliable ohmic contacts. From the literature data analysis, it was established that the most common is boron doping. This is due to the relatively low activation energy of boron ≈ 0.37 eV as compared to nitrogen ≈ 1.7 eV, high values of mobility and solubility in diamond. After comparing the contact resistances for the same metallization type for poly- and monocrystalline films, it was found that at low doping levels > 1018 cm–3, monocrystalline films

have two orders of magnitude lower contact resistance. With increasing the concentration, this difference is leveled. Taking into account the contact resistance value from the doping level and annealing temperature, it is established that the most promising contact-forming layer is titanium, which in the process of heat treatment allows forming the TiC phases with low resistivity. We investigated the morphological properties of the formed contacts. Auger profilometry and X-ray difflactometry were performed for contact structures before and after thermal treatment. It was found that the Au/Ti/C contact system has a significant oxygen content before and after thermal annealing, which may indicate vacuum problems during the contact deposition. After annealing, the oxygen content in the contact was increased significantly due to the diffusion of titanium through Au layer. As a result, the degradation of the subcontact region and as a consequence of ohmic contact is observed, when the annealing temperature increased to 800 °C. Aforementioned can be explained by the significant oxygen content in the contact area. As a result of X-ray diffractometry, the peaks of the TiOx and TiC phases were not observed before and after annealing. It is possible to assume that these composites are in an amorphous or nanocrystalline state. The received method for optimizing titanium contact layer using an additional Mo anti-diffusion barrier. Optimization of the contact layer Ti allows to form a thin layer with a ratio of Ti:C equal to 1:0.96 after rapid thermal annealing at 800 °C. It is ascertained that in the cases of two-layer metallization of Ti/Au, Au contact layer with a thickness of 100 nm is not enough to avoid the diffusion of carbon to the surface, and oxygen - deep into the contact. As a result, when the RTA is above 600 °C, the contact degrades. An additional diffusion barrier based on a 60 nm thick prevents contact degradation up to 800 °C. We investigated the electrophysical properties and current transfer mechanisms of ohmic contact. It was established that the ohmic contact in the Au/Ti/C and Au/Mo/Ti/C structures is formed by magnetron sputtering on a diamond wafer heated to 350 °C. For Au/Ti/C contact metallization the optimal annealing temperature is 600 °C. The contact resistance in this case is □c = 6.3·10–3 Ohm·cm2 at the doping concentration range Na = 2.5·1019 cm–3. There is the degradation of the contact and as a consequence of the increase of the contact resistance after increasing of the annealing temperature. We demonstrated possibility of utilizing a radial ohmic contact as integrated thermal sensor. The conductivity in the temperature range 20–400 °C varies by two orders of magnitude at low applied voltages, which is sufficient for the operation of protection circuits. Fabricated contact structure of Au/Mo/Ti/C was characterized by the increased thermal stability of contacts up to 800 °C. The contact resistance in this case is □c = (6.12 ± 3.78)·10–5 Ohm·cm2 at a doping concentration of Na = 1.3·1019 to 6.6·1019 cm–3. We analyzed the obtained results in comparison with the already existing metallizations contacts and confirmed the prospects of the created metallization. The heat-resistant ohmic contact system Au/Mo/Ti to diamond was used in the formation of microstrip transmission lines of hybrid microwave integrated circuits on diamond substrates of high thermal conductivity, which operated in the temperature range 20–400 °C. The loss-angle tangent is not more than 10–4. Operation of transposition line at temperatures of 25–400 °C showed the stability of the impedance device characteristics. Key words: ohmic contact, diamond, rapid thermal annealing, hybrid integrated circuit.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:

Підсумки дослідження:

Публікації:

Наукова (науково-технічна) продукція:

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації:

Зв'язок з науковими темами:

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кудрик Ярослав Ярославович
2. Кудрик Ярослав Ярославович

Кваліфікація: к.т.н., 05.27.06

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Фесенко Ігор Павлович
2. Fesenko Igor P

Кваліфікація: д. т. н., 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Котовський Віталій Йосипович
2. Kotovskyi Vitalii Yo

Кваліфікація: д. т. н.

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Маслов Володимир Петрович
2. Maslov Volodymyr Petrovych

Кваліфікація: д.т.н., 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Коломзаров Юрій Вікторович
2. Kolomzarov Yurii Viktorovych

Кваліфікація: к.т.н., 05.27.06

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Олексенко Павло Феофанович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Олексенко Павло Феофанович
Відповідальний за підготовку облікових документів	
Реєстратор	
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	 Юрченко Т.А.