Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0821U102931

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 22-12-2021

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Федоренко Артем Вячеславович
2. Fedorenko Artem V

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 105

Назва наукової спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Не застосовується

Дата захисту: 10-12-2021

Спеціальність за освітою: Прилади і системи екологічного моніторингу

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

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, м. Київ, 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 26.199.004

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

Код за ЄДРПОУ: 05416952

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 41, м. Київ, 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: проспект Науки, буд. 41, м. Київ, 03028, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації:

Коди тематичних рубрик: 29.31.15, 90.27.37

Тема дисертації:

1. Вдосконалений германієвий p-i-n фотоприймач на довжину хвилі 1,54 мкм

2. Advanced germanium p-i-n photodetector for a wavelength of 1.54 μm

Реферат/анотація:

1. Дисертація присвячена розробці вдосконаленого германієвого p-i-n фотоприймача для сучасних лазерних далекомірів та сенсорно-вимірювальних приладів на довжину хвилі 1,54 мкм, що більш безпечно для ока людини в порівнянні з 1,06 мкм, яка використовується в сучасних далекомірах. Розроблена конструкція та технологія виготовлення надійного, швидкодіючого і високочутливого Ge p-i-n фотодіоду, яка захищена патентом України на винахід та експериментально показано перспективи його застосування. Актуальною проблемою існуючих германієвих p-i-n-фотодіодів яку потрібно вирішити є низька надійність та їх висока деградація з часом. Ця проблема пов'язана з використовуванням в якості пасивуючих шарів - SiO2, Si3N4, ZrO2, або фіаніту, постійна решітка та коефіцієнт термічного розширення яких, значно відрізняється від Ge, в результаті чого утворюється велика кількість дислокацій та дефектів. В роботі була запропонована ідея підвищення надійності Ge p-i-n фотодіоду, за рахунок застосування в якості пасивуючого покриття селеніду

цинку (ZnSe). Цей матеріал має коефіцієнт термічного розширення, який становить 6,1х10-6 К-1, максимально наближеного до відповідного показника для германію - 7,1х10-6 К-1. Зменшення поверхневих струмів досягається за рахунок великої забороненої зони 2,7 еВ ZnSe, в порівнянні з власним Ge 0.67 еВ. ZnSe має високу прозорість в ІЧ-діапазоні випромінювання, тому його можна наносити як на фронтальну поверхню фотоприймача, так і на бічну поверхню для захисту p-n переходу. В роботі експериментально доведено, що пасивація поверхні Ge p-i-n фотодіода ZnSe дозволила досягти поліпшення його характеристик і надійності. Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному: 1. Вперше запропоновано для захисту мезаструктури Ge фотоприймача нове пасивуюче покриття - полікристалічний шар ZnSe, який на відміну від існуючих покриттів забезпечує: високе узгодження кристалічних граток (99,8%) та коефіцієнту лінійного термічного розширення (~7·10−6 град−1 для ZnSe та ~6·10−6 град−1 для Ge). Ці переваги дозволяють зменшити рівень механічних напружень поверхневого шару та пов'язанні з цим концентрацію дислокації та дефектів, що забезпечило відсутність деградації фотодіоду протягом 3х років з моменту виготовлення 2018 р. до 2021р. 2. Проведено моделювання та теоретичні розрахунки енергетичної структури розробленого Ge p-i-n фотодіоду та його спектральної чутливості. Результати моделювання були підтвердженні вимірюваннями на експериментальних зразках з похибкою ±0,01 А/Вт. Дослідження підтвердили можливість застосування теоретичної моделі для досягнення необхідної зонної структури фотодіоду та оптимізації його конструкції. 3. Вперше встановлено вплив фазового складу ZnSe/Ge на електроопір пасивуючого шару ZnSe. Для цього було розроблено методику вимірювання електричного опору високоомних тонких плівок з використанням еластичних контактів, яка має такі переваги в порівнянні з чотирьохзондовим методом: малий тиск на поверхню напівпровідника, велика площа контактної зони і як наслідок при вимірюваннях високоомних поверхневих шарів забезпечується мала густина струму та відсутність нагріву. Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному: 1. Вперше розроблено вдосконалений високонадійний Ge p-i-n фотодіод, який володіє параметрами необхідними для фотоприймачів в складі імпульсного лазерного далекоміра та має час релаксації 5,8 10-8 с і чутливість на ⊓max=1,54 мкм 0,45 А/Вт. Науково технічне рішення захищено патентом України на винахід. 2. Експериментально доведено перспективність вдосконаленого Ge p-i-n фотодіоду в складі макету імпульсного лазерного далекоміра. Такий фотодіод має достатню швидкодію для надійного реєстрування коротких імпульсів порядку 20 нс. Сумарний коефіцієнт пропускання світлофільтрів, які послаблювали імпульс лазеру (Евих = 578 мкДж) становив kф1-4= 0,000437, що на порядок більше, ніж теоретично розрахований коефіцієнт пропускання при вимірювані відстані 5 км (kатм= 0,0038) та відповідає технічним вимогам до фотодіоду в складі імпульсного лазерного далекоміру. 3. Показано перспективність застосування розробленого Ge p-i-n фотодіоду у складі макету приладу на основі явища поверхневого плазмонного резонансу, що працює в ближньому інфрачервоному діапазоні спектру. Результати дослідження підтвердили перспективність застосування розробленого Ge p-i-n фотодіоду у складі вимірювального приладу на основі явища поверхневого плазмонного резонансу. Результати досліджень, проведених в роботі, є перспективними для застосування у промисловості та в науковій діяльності. Результати досліджень підтверджені відповідними актами впровадження Інститут монокристалів НАН України та Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України.

2. The dissertation is devoted to the development of an advanced germanium p-i-n photodetector for modern laser rangefinders and sensor-measuring devices at a wavelength of 1.54 μm, which is safer for the human eye compared to 1.06 μm used in modern rangefinders. The design and technology of manufacturing a reliable, high-speed and highly sensitive Ge p-i-n photodiode, which is protected by a patent for the invention of Ukraine, has been developed and the prospects of its application have been experimentally shown. The current problem of existing germanium p-i-n photodiodes that needs to be solved is low reliability and their high degradation over time. This problem is associated with the use as passive layers - SiO2, Si3N4, ZrO2, or cubic zirconia, the constant lattice and the coefficient of thermal expansion of which differs significantly from Ge, resulting in a large number of dislocations and defects. The idea of increasing the reliability of Ge p-i-n photodiode was proposed due to the use of zinc selenide (ZnSe) as a passivating coating. This material has a coefficient of thermal expansion, which is

6.1x10-6 K-1, as close as possible to the corresponding figure for germanium - 7.1x10-6 K-1. The reduction of surface currents is achieved due to the large band gap of 2.7 eV ZnSe, compared with its own Ge 0.67 eV. ZnSe has a high transparency in the IR range of radiation, so it can be applied to both the front surface of the photodetector and the side surface to protect the p-n junction. The paper experimentally proves that the passivation of the Ge p-i-n photodiode with ZnSe allowed to achieve an improvement in its characteristics and reliability. The scientific novelty of the obtained results is as follows: 1. For the first time, a new passivating coating was proposed to protect the Ge mesostructure of the photodetector - the polycrystalline ZnSe layer, which, unlike existing coatings, provides: high matching of crystal lattices (99.8%) and linear thermal expansion coefficient ~ 7 · 10–6 deg – 1 for ZnSe and ~ 6 · 10–6 deg – 1 for Ge). These advantages allow to reduce the level of mechanical stresses of the surface layer and the associated concentration of dislocations and defects, which ensured the absence of degradation of the photodiode for 3 years from the date of manufacture in 2018 to 2021. 2. Simulation and theoretical calculations of the energy structure of the developed Ge p-i-n photodiode and its spectral sensitivity are performed. The simulation results were confirmed by measurements on experimental samples with an error of ± 0.01 A / W. Studies have confirmed the possibility of using a theoretical model to achieve the required band structure of the photodiode and optimize its design. 3. The influence of the ZnSe / Ge phase composition on the electrical resistance of the ZnSe passivation layer was established for the first time. For this purpose, a method of measuring the electrical resistance of high-impedance thin films using elastic contacts was developed, which has the following advantages over the Van der Pauw method: low pressure on the semiconductor surface, large contact area and as a result heating. The practical significance of the results is as follows: 1. For the first time, an advanced high-reliability Ge p-i-n photodiode has been developed, which has the parameters required for photodetectors as part of a pulsed laser rangefinder and has a relaxation time of 5.8 10-8 s and a sensitivity at □max = 1.54 μm 0.45 A/W. Scientific and technical solution is protected by the patent of Ukraine for the invention/ 2. The prospects of the improved Ge p-i-n photodiode as a part of the model of a pulsed laser rangefinder are experimentally proved. This photodiode has sufficient speed to reliably record short pulses of about 20 ns. The total transmittance of light filters that attenuated the laser pulse (Es = 578 μJ) was kf1-4 = 0.000437, which is an order of magnitude higher than the theoretically calculated transmittance at a measured distance of 5 km (katm = 0.0038) and meets the technical requirements to the photodiode in the pulsed laser rangefinder. 3. The prospects of application of the developed Ge p-i-n photodiode as a part of the model of the device on the basis of the phenomenon of surface plasmon resonance working in the near infrared range of the spectrum are shown. The results of the study confirmed the prospects of using the developed Ge p-i-n photodiode in the measuring device based on the phenomenon of surface plasmon resonance with sensitivity. The results of research conducted in this work are promising for use in industry and research. The results of the research are confirmed by the relevant acts of implementation of the Institute of Single Crystals of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Institute of Semiconductor Physics. V.Ye. Lashkareva National Academy of Sciences of Ukraine.

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. 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

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кадан Віктор Миколайович

2. Kadan Viktor Mykolaiovych

Кваліфікація: д. ф.-м. н., 01.04.05

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. Воронов Сергій Олександрович

2. Voronov Serhii Oleksandrovych

Кваліфікація: д.т.н., 05.27.01, 05.27.02

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. 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

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сорокін Віктор Михайлович
2. Sorokin Viktor Mykhailovych

Кваліфікація: д.т.н., 05.12.20

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	Стронський Олександр Володимирович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Стронський Олександр Володимирович
Відповідальний за підготовку облікових документів	
Реєстратор	
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	 Юрченко Т.А.