

Аналіз спектральної характеристики чутливості дифузійних $p-i-n$ фотодіодів на основі високоомного $p-Si$

Кукурудзяк М. С., ORCID [0000-0002-0059-1387](https://orcid.org/0000-0002-0059-1387)

Інженерно-виробничий комплекс 1

АТ «Центральне конструкторське бюро Ритм», <https://ckb-rhythm.com>

м. Чернівці, Україна

Анотація—Зважаючи на потребу ринку в високочутливих кремнієвих $p-i-n$ фотодіодах (ФД) для детектування випромінювання YAG-лазера (довжина хвилі 1,064 мкм), вирішено дослідити методи збільшення їх чутливості, зокрема зміщення максимуму спектральної характеристики чутливості фотоприймача в сторону більших довжин хвиль, а також проаналізувати вплив різних технологічних факторів на її вигляд. Встановлено, що при збільшенні напруги зворотного зміщення зміщується максимум спектральної характеристики в сторону більших довжин хвиль. Також побачено, що при збільшенні часу життя неосновних носіїв заряду та питомого опору кремнію при однаковій напрузі зміщення максимуму спектральної характеристики зміщується в сторону більших довжин хвиль. Досягнуто значення максимуму спектральної характеристики 1,01-1,02 мкм. При використанні меза-технології, яка мінімізує деградацію питомого опору матеріалу, подальше зміщення максимуму не відбувається. Також встановлено, що зміна глибини залягання дифузійних шарів ФД може негативно впливати на рівень шумів.

Ключові слова — кремній; фотодіод; чутливість; спектральна характеристика; питомий опір.

I. ВСТУП

Урізноманітнення сучасних джерел когерентного і некогерентного випромінювання сприяє все більшій цікавості до фотоприймачів (ФП). Створення нових типів напівпровідникових ФП на основі одного чи кількох гетеропереходів в мініатюрному чи мікромініатюрному виконанні сприяє швидкому розвитку опти- та фотоелектроніки. Все жорсткіші висуваються вимоги до параметрів ФП, зокрема інтегральної та монохроматичної чутливості (особливо імпульсної S_{imp}), шумів, швидкодії та інше.

Основним завданням ФП є детектування монохроматичного лазерного випромінювання. Відповідно ФП виготовленні для таких цілей повинні володіти підвищеною монохроматичною чутливістю на заданій довжині хвилі (λ). Залежність монохроматичної чутливості від довжини хвилі випромінювання являє собою спектральну характеристику чутливості ФП ($S(\lambda)$). Знання спектральної характеристики важливе не тільки для оцінки роботи давача з когерентними джерелами випромінювання, але і з некогерентними, спектральний склад яких відомий.

В широкозонних напівпровідників, наприклад GaAs, спектральна характеристика зміщена в сторону коротких довжин хвиль, оскільки для створення електронно-діркових пар потрібні фотони з більшою енергією [1]. Для напівпровідників з малою шириною забороненої зони наприклад Ge спектральна характеристика зміщена в довгохвильову область ($\lambda_{max}=1,54$ мкм) [2, 3].

Значний внесок в у вигляд спектральної характеристики і розміщення максимуму надає залежність коефіцієнта поглинання від довжини хвилі. Наприклад в Ge максимум спектральної характеристики ($S(\lambda_{max})$) для різних типів приладів має місце, як правило, при одній і тій же довжині хвилі незалежно від технології. Для напівпровідників із менш різкою залежністю коефіцієнта поглинання від довжини хвилі, наприклад Si, максимум спектральної характеристики в залежності від конструкції ФП і технології може змінюватися в широкому діапазоні від коротких довжин хвиль (близько 0,6 мкм) аж до краю власного поглинання (близько 1,1 мкм). Зазвичай для Si $\lambda_{max}=0,8-0,9$ мкм [4]

Особливу увагу на ринку приділяють кремнієвим ФП для детектування випромінювання YAG-лазера з $\lambda=1,064$ мкм, зокрема одно- чи багатоеlementним $p-i-n$ фотодіодам (ФД) [5-7]. Відповідно, забезпечення максимальної фоточутливості при даній довжині хвилі є актуальним науково-технічним завданням. Це можна втілити зміщенням максимуму спектральної характеристики чутливості фотоприймача в сторону більших довжин хвиль. Тож метою даної роботи є дослідження спектральної характеристики чутливості кремнієвих $p-i-n$ ФД, зокрема методів зміщення максимуму цієї характеристики в сторону більших довжин хвиль.

II. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Дослідження проводились на кремнієвих чотириelementних $p-i-n$ ФД з охоронним кільцем (ОК)



(Рис. 1) та товщиною підкладки 430-440 мкм, виготовлених за дифузійно-планарною технологією. Технологічний процес складався із комплексу термічних операцій та фотолітографій: напівпровідникові підкладки окиснювались; проводилась фотолітографія для створення вікон під дифузію фосфору; дифузія фосфору (загонка) в лицьову сторону для створення фоточутливих елементів (ФЧЕ) та ОК n^+ -типу; розгонка фосфору для перерозподілу легуючої домішки та збільшення глибини n^+ - p -переходу (x_{n+p}) дифузія бору в зворотну сторону підкладки для створення омичного контакту p^+ -типу; фотолітографія для створення контактних вікон; напилення Cr-Au на лицьову та зворотну сторони.

Для дослідження впливу питомого опору матеріалу (ρ) та часу життя неосновних носіїв заряду (τ) на розміщення максимуму спектральної характеристики та абсолютне значення фоточутливості використовувалась монокристалічний кремній p -типу з орієнтацією [111], питомим опором $\rho=13\text{-}21$ кОм та часом життя неосновних носіїв заряду $\tau=1,2\text{-}2$ мс.

Для встановлення оптимальної x_{n+p} та мінімізації впливу фонового випромінювання на рівень корисного сигналу в єдиному технологічному циклі виготовлено ФД із різною глибиною залягання n^+ -шару. Для цього всі технологічні операції проводились однаково, а тривалість розгонки фосфору (t) змінювалась в межах 70-185 хв. x_{n+p} вимірювалась методом сферичного шліфа [8] (Табл. 1).

Для вивчення залежності абсолютного значення чутливості від конструкції виробу та топології кристалу, досліджено ФД, виготовлені за меза-технологією [3], де ФЧЕ розділені «канавками» мезапрофілю (Рис. 2), та звичайною планарною [4]. Відмінність технології полягала в відсутності для зразків виготовлених за меза-технологією першого термічного окислення, що дозволяло мінімізувати деградацію часу життя неосновних носіїв заряду під час термічних операцій. Всі інші операції проведено в єдиному технологічному циклі.

Таблиця 1 Залежність глибини залягання n^+ - p -переходу від тривалості розгонки фосфору

t , с	x_{n+p} , мкм
4200	3,84
5100	4,25
5400	4,57
5700	4,82
6300	5,01
11100	7,02



Рис. 1 Кремнієвий 4-елементний p - i - n фотодіод

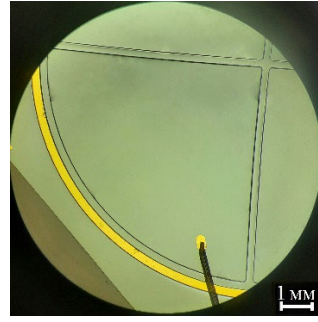


Рис. 2 Фрагмент кристалу меза-фотодіода

Контроль струмової монохроматичної імпульсної чутливості S_{imn} проводився методом порівняння чутливості досліджуваного ФД із чутливістю еталонного фотодіода, атестованого відповідною метрологічною службою підприємства. Вимірювання проводились при засвічуванні ФД потоком випромінювання з потужністю $10^{-3}\text{-}10^{-5}$ Вт; опори навантаження на фоточутливому елементі $R_n=10$ кОм, тривалості імпульсу $\tau_i=500$ нс та напрузі зворотного зміщення $U_{zm}=120$ В.

Спектральні характеристики чутливості вимірювались на установці КСВУ-23 при $U_{zm}=2\text{-}120$ В.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

A. Залежність спектральної характеристики чутливості ФД від U_{zm} та ρ кремнію

Досліджено вплив напруги зміщення p - n -переходу ФД на розміщення максимуму спектральної характеристики чутливості (Рис. 3).

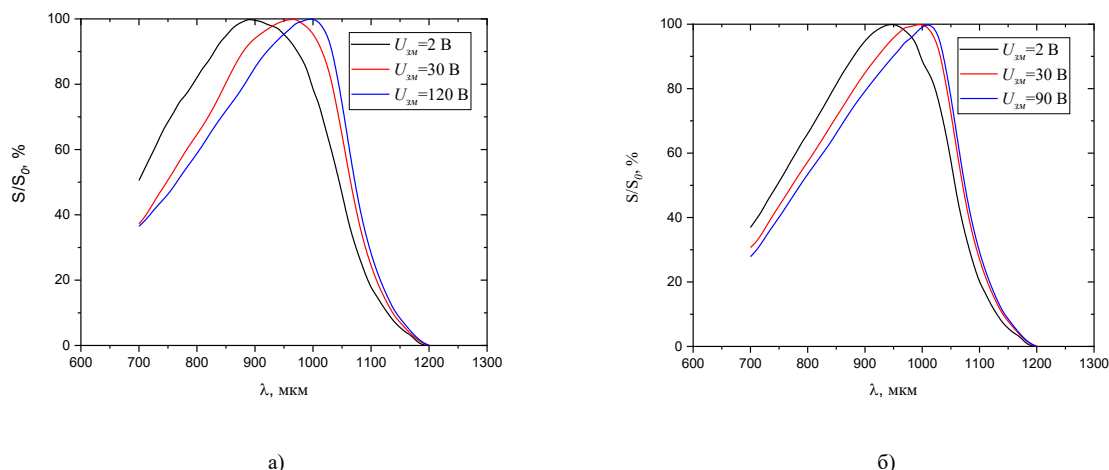
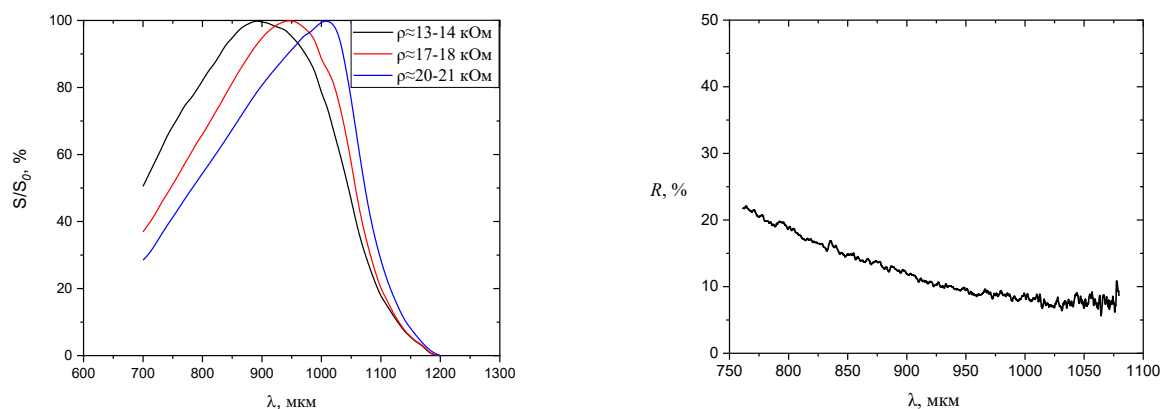
З Рис. 3 можна побачити що при збільшенні напруги зворотного зміщення зміщується максимум спектральної характеристики в сторону більших довжин хвиль. Це можна пояснити розширенням області просторового заряду (ОПЗ) W_i (1)[9] при збільшенні U_{zm} та відповідно зростанням коефіцієнта збирання носіїв заряду (α_{p-n}). Це сприяє збільшенню абсолютного значення фоточутливості і зміщенню максимуму.

$$W_i = \left(\frac{2\epsilon\epsilon_0(\phi_k - U_{zm})}{eN_A} \right)^{1/2} \quad (1)$$

де ϵ та ϵ_0 – діелектричні сталі для кремнію і вакууму відповідно; e – заряд електрона; ϕ_k – контактна різниця потенціалів; N_A – концентрація домішки в підкладці.

При дослідженні $S(\lambda)$ зразків із різним початковим питомим опором, помічено що при збільшенні ρ досягнути λ_{max} вдається при меншій U_{zm} (Рис. 3б), оскільки при більшому ρ ОПЗ розширюється на всю товщину підкладки при меншій напрузі. Так для $\rho=14$ кОм ($\tau=1,2$ мс) $W_i \approx 430$ мкм при $U_{zm}=120$ В, а для $\rho=18$ кОм ($\tau=1,8$ мс) – при $U_{zm}=90$ В.

Також побачено, що при збільшенні τ та ρ кремнію при однаковій U_{zm} максимум спектральної характеристики зміщується в сторону більших довжин хвиль (Рис. 4)

Рис. 3 Відносна спектральна характеристика чутливості ФД при різних U_{zm} : а) $\rho \approx 13-14$ кОм; б) $\rho \approx 17-18$ кОмРис. 4 Відносна спектральна характеристики ФД при різному ρ кремнію ($U_{zm}=2$ В)Рис. 5 Спектри відбивання ФД при $d_{SiO_2} \approx 0,18$ мкм

Досягнути значення λ_{max} вище 1,01-1,02 мкм не вдалося, оскільки вигляд спектральної характеристики чутливості ФД визначається в першу чергу залежністю коефіцієнта збирання носіїв заряду від довжини хвилі, максимум якої за нормальних умов знаходиться при $\lambda=0,8-0,9$ мкм [10, с. 10]. Даний параметр характеризує рекомбінаційні втрати, та являє собою частину генерованих носіїв заряду, які беруть участь в утворенні фотоструму. Відмітимо, що чутливість прямопропорційна α_{p-n} , що можна побачити із рівняння fotocутливості реального фотодіода (2) [3], що також є рівнянням для спектральної характеристики реального ФП:

$$S_{\lambda} = (1 - R)TQ\alpha_{p-n} \frac{\lambda}{1.24} \quad (2)$$

де R – коефіцієнт відбивання поверхні кристалу; T – коефіцієнт пропускання вхідного вікна чи оптичного фільтра; Q – квантовий вихід внутрішнього фотоелектру.

Досягти максимального коефіцієнту збирання носіїв заряду вдається оптимізацією концентрації носіїв заряду в p^+ - та n^+ - областях кристалу, що

дозволяє мінімізувати поглинання випромінювання в даних областях.

Щодо коефіцієнта відбивання від поверхні кристалу, то для його мінімізації на поверхні кристалу утворювався SiO_2 , товщина якого відповідає умові мінімуму відбивання [9]:

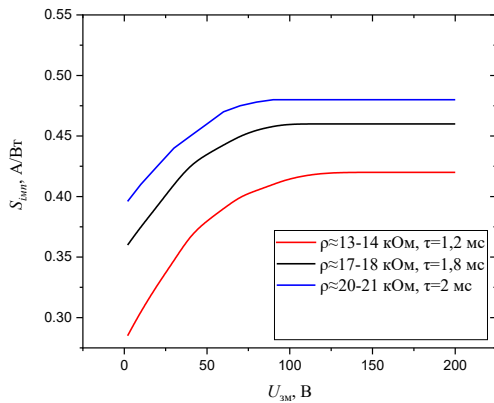
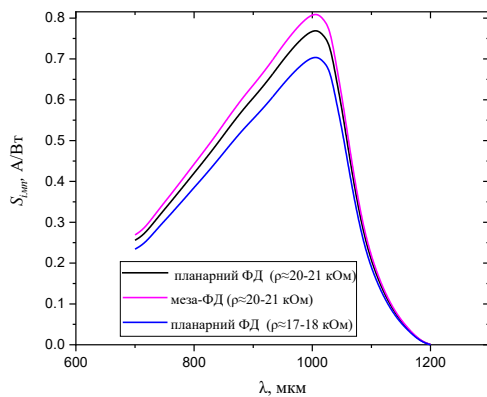
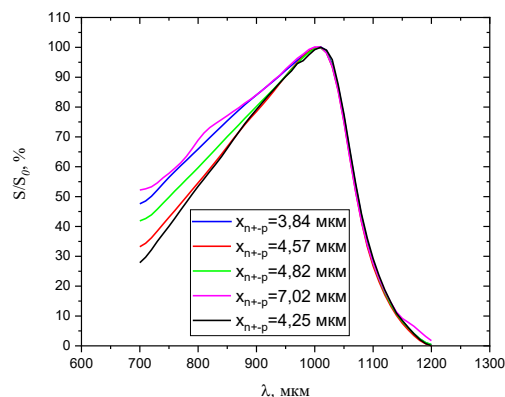
$$nd_{SiO_2} = \frac{\lambda}{4} \quad (3)$$

де n – коефіцієнт заломлення (для SiO_2 $n=1,46$); d_{SiO_2} – товщина просвітлювальної плівки.

Якщо підставити дані значення в формулу (1) то отримаємо, що $d_{SiO_2}=0,182$ мкм. При виконанні даної умови вдається отримати значення $R=5-6\%$ (Рис. 5).

В. Залежність абсолютного значення чутливості від топології кристалу ФД та часу життя неосновних носіїв заряду

При розширенні W_i до максимального значення, рівень fotocутливості ФД також виходить в насичення (Рис. 6). Відповідно, використовувати напругу зміщення фотодіода вище, ніж та, при якій ширина ОПЗ досягає зворотної сторони кристалу немає сенсу.

Рис. 6 Залежність $S_{imn}(U_{zm})$ при різному ρ і τ кремніюРис. 7 Залежність $S_{imn}(U_{zm})$ меза-ФД та планарних ФД при $U_{zm}=120$ ВРис. 8 Графік $S(\lambda)$ ФД при різному x_{n+p} ($U_{zm}=120$ В)

З Рис. 5 можна побачити, що при збільшенні τ кремнію S_{imn} зростає, оскільки значення фоточутливості прямопропорційне часу життя неосновних носіїв заряду (3) [11]:

$$S = eQ\alpha(\tau_n\mu_n + \tau_p\mu_p) \quad (3)$$

де α – коефіцієнт поглинання; τ_n , τ_p – час життя електронів і дірок відповідно; μ_n , μ_p – рухливість електронів і дірок відповідно.

Варто відмітити, що під час термічних операцій, при виготовленні ФД, можлива деяка деградація питомого опору матеріалу та часу життя неосновних носіїв заряду внаслідок дифузії неконтрольованих домішок металів в об'єм підкладки та утворення структурних дефектів. Для мінімізації вказаної деградації варто використовувати технологічні маршрути із мінімальною кількістю термічних операцій. Виготовлення ФД із мезаструктурою дозволяє уникнути значного зниження ρ і τ завдяки виключенню однієї термічної операції. Для порівняння розміщення максимумів спектральних характеристик чутливості меза-фотодіодів та класичних планарних, отримано їх абсолютні спектральні характеристики (Рис. 7).

З Рис. 6 видно, що при використанні мезатехнології не вдається змістити λ_{max} вище 1,01-1,02 мкм, але абсолютне значення фоточутливості зросло. Досягнуто для $\lambda=1064$ мкм $S_{imn}=0,5-0,53$ А/Вт та $S_{imn}=0,46-0,48$ А/Вт для меза- та планарного ФД відповідно (при $\rho=20-21$ кОм), що складає близько 60% від максимального значення.

С. Вплив глибини n^+ - p -переходу на вигляд спектральної характеристики чутливості p - i - n ФД

Кристали p - i - n фотодіодів складаються із двох легованих областей p^+ - та n^+ -типу, та розміщеної між ними високоомної p -області. Залежно від глибини залягання p^+ - p - та n^+ - p -переходів можуть змінюватися параметри та характеристики фотоприймачів. При виготовленні ФД з різною x_{n+p} побачено, що при зміні вказаного параметру змінюється нахил кривої спектральної характеристики чутливості [12] (Рис. 8).

З Рис. 8 можна побачити, що при $x_{n+p}=4,25$ мкм рівень фоточутливості при $\lambda < \lambda_{max}$ найнижчий, відповідно вплив шумів фонового випромінювання на рівень корисного сигналу при даній глибині p - n -переходу мінімальний. При зниженні x_{n+p} спостерігається зростання впливу фонового випромінювання. Це спричинено тим, що при зниженні довжини хвилі випромінювання глибина його поглинання зменшується, а в p - i - n ФД формування фотоструму відбувається при генерації носіїв заряду в високоомній p -області, відповідно при поглинанні випромінювання в приповерхній n^+ -області значного вкладу в рівень шумів не спостерігатиметься. Наприклад дев'яносто відсотків ІЧ випромінювання з довжиною хвилі більше 1000 нм поглинається в Si на глибині близько 1 мм ($\alpha_{1,06} \sim 10$ см $^{-1}$) [13, с.347]. Відповідно в кремнієвих p - i - n фотодіодах створюють металевий омичний контакт з боку кристала, протилежного до ФЧЕ, який виконує роль дзеркала, що відбиває значну частину випромінювання робочої довжини хвилі, що не поглинається об'ємом кристала ФД і дійшло до контакту із зворотного боку [14]. Зауважимо, що випромінювання з $\lambda=0,95$ мкм поглинається в Si на глибині близько 63 мкм, а з $\lambda=0,7-4,33$ мкм [10, с. 5].

При $x_{n+p} > 4,25$ мкм також спостерігається зростання впливу фонового випромінювання на рівень шумів ФД, але механізм цього явища потребує додаткового дослідження.



ВИСНОВКИ

Досліджено спектральну характеристику чутливості кремнієвих p - i - n фотодіодів, а також фактори, які впливають на вигляд даної характеристики та абсолютне значення імпульсної фоточутливості. Встановлено, що при збільшенні напруги зворотного зміщення зміщується максимум спектральної характеристики в сторону більших довжин хвиль. Також побачено, що при збільшенні часу життя неосновних носіїв заряду та питомого опору кремнію при однаковій U_{zm} максимум спектральної характеристики зміщується в сторону більших довжин хвиль. Досягнуто

значення $\lambda_{max}=1,01$ - $1,02$ мкм. При використанні меза-технології не вдається змістити λ_{max} вище $1,01$ - $1,02$ мкм, але абсолютне значення фоточутливості зростає порівняно із планарною технологією. Досягнуто для $\lambda=1064$ мкм $S_{imn}=0,5$ - $0,53$ А/Вт та $S_{imn}=0,46$ - $0,48$ А/Вт для меза- та планарного ФД відповідно (при $\rho=20$ - 21 кОм), що складає близько 60% від максимального значення. Також побачено, що зміна глибини залягання дифузійних шарів ФД може негативно впливати на рівень шумів. Встановлено, що при $x_{n+p}=4,25$ мкм рівень фоточутливості при $\lambda < \lambda_{max}$ найнижчий, відповідно вплив шумів фонового випромінювання на рівень корисного сигналу при даній глибині p - n -переходу мінімальний.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] C. Jia, "A self-powered high-performance photodetector based on a MoS₂/GaAs heterojunction with high polarization sensitivity", *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 7, no. 13, pp. 3817–3821, Jan. 2019. DOI: [10.1039/C8TC06398B](https://doi.org/10.1039/C8TC06398B)
- [2] M. K. Sharma and J. L. Burnett, "Sensitivity and low-energy response of the Small Anode Germanium well detector with ceramic insert", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 988, p. 164943, Feb. 2021. DOI: [10.1016/j.nima.2020.164943](https://doi.org/10.1016/j.nima.2020.164943)
- [3] A. V. Fedorenko, "Spectral photosensitivity of diffused Ge-p-i-n photodiodes", *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, no. 3-4, pp. 17–23, Jan. 2020. DOI: [10.15222/TKEA2020.3-4.17](https://doi.org/10.15222/TKEA2020.3-4.17)
- [4] M. S. Kukurudziak, O. P. Andreeva, and V. M. Lipka, "High-resistivity p-type silicon-based p-i-n photodiode with high responsivity at the wavelength of 1060 nm", *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, no. 5-6, pp. 16–19, Jan. 2020. DOI: [10.15222/TKEA2020.5-6.16](https://doi.org/10.15222/TKEA2020.5-6.16)
- [5] Paspornni dani na FD 342M. URL: <https://orion-ir.ru/upload/iblock/ccb/ccb64e81f708470ee2c2e4699b9679e2.pdf>
- [6] Paspornni dani na YAG-555-4. URL: <https://www.excelitas.com/product/yag-555-4-series-quadrant-photodiodes-si-pin-141-mm>
- [7] Paspornni dani na FD 15M-01. URL: <https://ckb-rhythm.com/ufd15m-01/>
- [8] Shupenev, N. Pankova, I. Korshunov, and A. Grigoriyants, "An Analysis of Destructive Methods of Thin Films Thickness Measurement", *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, no. 3 (708), pp. 31–39, Mar. 2019. DOI: [10.18698/0536-1044-2019-3-31-39](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2019-3-31-39)
- [9] M. S. Kukurudziak and Y. G. Dobrovolsky, "Silicon p-i-n photodiode with increased pulse sensitivity", *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, no. 1-2, pp. 61–67, Jan. 2021. DOI: [10.15222/TKEA2021.1-2.6](https://doi.org/10.15222/TKEA2021.1-2.6)
- [10] L. K. Buzanova and A. Y. Gliberman, *Poluprovodnikovyye fotopriyomniki*, Moscow: Yenergiya, 1976, p. 67.
- [11] M. P. Teplyakov, O. S. Ken, D. N. Goryachev, and O. M. Sreseli, "Transport and Photosensitivity in Structures: A Composite Layer of Silicon and Gold Nanoparticles on p-Si", *Semiconductors*, vol. 52, no. 9, pp. 1193–1197, Aug. 2018. DOI: [10.1134/S106378261809021X](https://doi.org/10.1134/S106378261809021X)
- [12] M. S. Kukurudziak, "Technological Causes of p-n-Junction Break-down of Silicon p-i-n Photodiodes", *Microsystems, Electronics and Acoustics*, vol. 27, no. 3, Dec. 2022. DOI: [10.20535/2523-4455.me.268299](https://doi.org/10.20535/2523-4455.me.268299)
- [13] S. Zi, *Fizika poluprovodnikov*. vol. 2, Moscow: Mir, 1984, p. 456.
- [14] M. S. Kukurudziak, E. V. Maistruk, and O. V. Angelsky, "Influence of chromium sublayer on silicon P-I-N photodiodes responsivity", in *Fifteenth International Conference on Correlation Optics*, Chernivtsi, Ukraine, 2021, p. 78. DOI: [10.1117/12.2616170](https://doi.org/10.1117/12.2616170)

Надійшла до редакції 05 березня 2023 року

Прийнята до друку 24 березня 2023 року



Analysis of the Spectral Characteristics of the Responsivity of Diffusion p - i - n Photodiode Based on High Resistivity p -Si

M.S. Kukurudziak, ORCID [0000-0002-0059-1387](https://orcid.org/0000-0002-0059-1387)

Engineering production complex 1

Rhythm Optoelectronics Shareholding Company <https://ckb-rhythm.com>

Chernivtsi, Ukraine

Abstract—Taking into account the need of the market for highly responsive silicon p - i - n photodiodes (PD) for detecting YAG-laser radiation (wavelength 1.064 μm), it was decided to investigate methods of increasing their responsivity, in particular, shifting the maximum of the spectral responsivity characteristic of the photodetector towards longer wavelengths, as well as to analyze the influence of various technological factors in its appearance.

Research was conducted on silicon four-element p - i - n photodiodes with guard ring, manufactured by diffusion-planar and mesa technology. Single crystal p -type silicon with [111] orientation, resistivity of 13-21 k Ω and life time of minor charge carriers of 1.2-2 ns was used.

It was found that when the reverse bias voltage increases, the maximum of the spectral characteristic shifts to longer wavelengths. This is caused by the expansion of the space charge region (SCR) with an increase in the bias voltage and, accordingly, an increase in the collection coefficient of charge carriers. When studying the spectral characteristic of samples with different resistivity, it was noticed that when the resistivity increases, the maximum of the spectral characteristic can be reached at a lower bias voltage. Because with a higher resistivity, the area of the SCR expands over the entire thickness of the substrate at a lower voltage. When expanding the space charge region to the maximum value, the responsivity level of the PD also reaches saturation. Accordingly, it makes no sense to use a bias voltage of the photodiode higher than the one at which the width of the SCR reaches the reverse side of the crystal.

It is also seen that when the lifetime of minor charge carriers and silicon resistivity increases at the same bias voltage, the maximum of the spectral characteristic shifts to longer wavelengths.

The maximum value of the spectral characteristic of 1.01-1.02 μm was reached. It was not possible to achieve a further shift, since the shape of the spectral characteristic of the sensitivity of photodetectors is primarily determined by the dependence of the collection coefficient of charge carrier on the wavelength, the maximum of which under normal conditions is at a wavelength of 0.8-0.9 μm . It is possible to achieve the maximum collection coefficient of charge carriers by optimizing the concentration of impurity in the p^+ - and n^+ - regions of the crystal, which allows minimizing the absorption of radiation in these regions.

When using mesa technology, which minimizes the degradation of the resistivity of the material, no further shift of the maximum occurs, but the absolute value of responsivity increases compared to planar technology. For a wavelength of 1064 μm , a value of pulse responsivity of 0.5-0.53 A/W and 0.46-0.48 A/W was achieved for mesa- and planar PD, respectively (with a specific resistance of 20-21 k Ω), which is about 60% of the maximum value.

It was also seen that a change in the depth of the PD diffusion layers can negatively affect the noise level. It was found that at a depth of n^+ - p -junction of 4.25 μm , the level of responsivity, at wavelengths below the maximum of the spectral characteristic, is the lowest, accordingly, the influence of background radiation noise on the level of the useful signal at this depth of p - n -junction is minimal.

Keywords — silicon; photodiode; responsivity; spectral characteristic; resistivity.

