

УДК 537.312.5:621.383.52

Ю.Г. Добровольський¹, А.А. Ащеулов²
**Особливості конструкції та технології кремнієвих
р-і-п фотодіодів**

¹Відкрите Акціонерне товариство "ЦКБ Ритм",
вул. Головна 246, м. Чернівці, 58032, тел. (03722) 4-26-13, 7-87-21, E-mail: yuriydr@west.com.ua
²Чернівецький Національний Університет ім. Ю. Федьковича,
вул. Коцюбинського 2, м. Чернівці, 58012, тел. (0572) 53-06-27

В роботі представлено основні підходи до конструювання та виготовлення сучасних кремнієвих р-і-п фотодіодів. Розглянуто механізми, що впливають на темновий струм фотодіодів та зроблено огляд шляхів зменшення генераційної складової темного струму. Наведено результати впливу на кристали р-і-п фотодіодів статичного електричного та магнітного полів певної геометрії, які здатні збільшувати час життя неосновних носіїв заряду в них.

Ключові слова: фотодіод, темновий струм.

Стаття поступила до редакції 10.05.2001; прийнята до друку 23.05.2001

I. Вступ

Кремнієві р-і-п фотодіоди широко застосовуються в різноманітних оптоелектронних системах прийому імпульсного лазерного випромінювання на довжину хвилі $\lambda = 1,06$ мкм. Працюючи у режимі повного збіднення вони мають невеликі темнові струми, високу чутливість та швидкодію [1,2]. Незважаючи на наявність великої кількості матеріалів, що перекривають близький інфрачервоний діапазон, саме технологія кремнієвих фотодіодів є найбільш економічною, має високий рівень відтворності, на відміну від, наприклад, технології германію, а самі фотодіоди не потребують складних систем охолодження, як, наприклад прилади на основі InSb та сполук CdHgTe. Основні, загальні принципи конструювання цих фотодіодів були розроблені у 70-х роках. Але сьогодні тема розробки надійних кремнієвих р-і-п фотодіодів все ще залишається актуальною внаслідок

унікальних властивостей кремнію. Розробляються нові підходи до конструювання та виготовлення р-і-п фотодіодів [3-7].

II. Особливості функціонування р-і-п фотодіодів

Особливість р-і-п фотодіода полягає у тому, що він має область власної провідності (*i*- область, від того *i* назва р-і-п фотодіод), яка утворюється внаслідок розширення області просторового заряду (ОПЗ) від р-п переходу (бази) в об'єм кремнію. Просторовий заряд утворюється внаслідок електричного зміщення на р-п переході. Збільшуючи величину зміщення на р-п переході можливо розширити області спектральної чутливості звичайного р-п фотодіода.

Вперше про теоретичну можливість розширення спектральної характеристики на

кремнії в інфрачервоній області за 1 мкм повідомлялось у [8]. Для цього пропонувалось використання р-і-п структур на кремнії з питомим опором на рівні 2000 Ом·см. Зміна напруги на р-і-п фотодіоді та оптимізація товщини кристала фотодіода, веде до зсуву спектральної характеристики у близьку інфрачервону область спектра. Таким чином досягається збільшення чутливості кремнієвого фотодіода на довжині хвилі більше 1 мкм.

Надійність р-і-п фотодіодів на основі кремнію забезпечується багатьма факторами, в тому числі стабільністю фотоелектричних параметрів. Залежність параметрів фотоприймача від власних шумів, є дуже значною, оскільки саме шум приладу, як відомо [9], визначає його порогову чутливість. Рівень шуму, як видно з (1) визначається рівнем темного струму.

$$I_{\text{ш}} = \sqrt{2q(I_T + I_{\text{Ф}})\Delta f}, \quad (1)$$

де: q – заряд електрона, I_T – темновий струм, $I_{\text{Ф}}$ – фоновий струм, який генерується фоновим освітленням, Δf – смуга частот, в якій здійснюється вимірювання.

Оптимальною є конструкція, в якій товщина кристала фотодіода дорівнює глибині поглинання випромінювання, що приймається [9]. Сформувати фотодіод на кристалі кремнію необхідної товщини для довжин хвиль менше 1 мкм практично не можливо, оскільки глибина поглинання випромінювання для довжин хвиль менших 1 мкм набагато менша, ніж можлива товщина кремнієвої пластини. Наприклад для довжини хвилі 0,95 мкм глибина поглинання складає 40 – 50 мкм, а для 1 мкм – 1 мм. Для забезпечення необхідної механічної міцності, береться кремнієва пластинка більшої товщини, а в районі фоточутливої області, в об'ємі кристала, з зворотного боку, витравлюється лунка на необхідну глибину. Проте, навіть у випадку витравлення лунки (або мезаструктури) оптимізувати товщину кристала з точки зору надійності не вдається. При травленні кремнію внаслідок хіміко-механічного порушення кристалічної структури утворюються генераційні центри.

В загальному випадку темновий струм, що протікає через р-п перехід (I_t),

визначається сумою дифузійного струму в нейтральній області (I_D) та генераційного в збідненій області (I_G): $I_t = I_D + I_G$. Збіднена область р-і-п фотодіодів, оптимізованих для реєстрації довжин хвиль більше 1 мкм, звичайно розтягнута на весь об'єм кристала фотодіода таким чином, що нейтральна область практично відсутня і нею можна нехтувати. Таким чином, дифузійну складову темного струму можна не враховувати. Оскільки генераційний струм р-і-п фотодіодів є пропорційним ширині ОПЗ [9], темновий струм в розглянутому випадку визначається генераційною складовою і є пропорційним до ширини області просторового заряду:

$$I_t \cong I_G = q W n_i / 2 \tau_n \sim W, \quad (2)$$

де: q – заряд електрона; n_i – власна концентрація носіїв струму напівпровідника; τ_n – час життя неосновних носіїв струму (тут – електронів).

Але, крім згаданих загально відомих чинників, що впливають на величину темного струму, існує ще декілька, пов'язаних з особливістю технологічних процесів, за допомогою яких виготовляються сучасні кристали р-і-п фотодіодів. А саме – генерація носіїв струму на поверхні розподілу кремнію – оксид кремнію, та в області виходу р-п переходу на поверхню кристала (поверхнева складова I_t); генерація носіїв струму торцевою поверхнею кристала; генерація носіїв струму на зворотному боці кристала. Іншими словами, вся зовнішня поверхня кристала р-і-п фотодіода може бути джерелом носіїв струму. Всі ці згадані чинники генерують струм за межами розповсюдження збідненої області, але здатні досягати її за рахунок дрейфу.

Причиною поверхневих струмів є наявність інверсійних шарів поблизу поверхні розділу напівпровідник-діелектрик, які виникають внаслідок присутності фіксованого заряду в діелектрику. Ця поверхня виникає в наслідок термічних процесів, в ході яких формується р-п перехід. Інверсійний шар збільшує площу р-п переходу, що в свою чергу призводить до збільшення темного струму.

III. Оптимізація темного струму кремнієвих р-і-п фотодіодів

Для зменшення темного струму р-і-п фотодіодів і не тільки їх, свого часу було запропоновано охоронне кільце, ізотипне до р-п переходу [10], яке, охоплюючи фоточутливий елемент фотодіода, відсікає його від периферії кристала фотодіода. Таким чином, частка носіїв струму, генерованих у при поверхневій зоні за межами виходу р-п переходу на поверхню кристала фотодіода, здатних досягнути р-п переходу, збирається охоронним кільцем, а загальна величина темного струму фоточутливого елемента зменшується.

В деяких випадках [11] охоронне кільце виконують ізотипним до матеріалу кристала фотодіода і називають стопорним кільцем. Такий захід також зменшує темновий струм, але за рахунок розриву так званих інверсійних шарів на поверхні кристала фотодіода.

Останні дослідження [12,6] показують, що на темновий струм фоточутливого елемента та охоронного кільця впливає також опір поверхневих каналів та периферія кристала фотодіода, які в основному зумовлюють поверхневу складову темного струму. За рахунок саме поверхневої складової темновий струм охоронного кільця збільшується вище критичної межі. Його перевантаження носіями заряду призводить до збільшення темного струму фоточутливого елемента. Виходячи з цього очевидно, що і охоронне кільце мусить мати певний конструкційний захист.

Для зменшення темного струму кремнієвих фотодіодів в деяких випадках застосовуються конструкції з так званим польовим електродом [13]. Дія його базується на тому, що в зоні виходу області просторового заряду на поверхню кристала прикладається додаткове зміщення. Ефект полягає у тому, що розширення області просторового заряду обмежується по поверхні, і загальна величина темного струму зменшується. Чим більше периметр р-п переходу, який виходить на поверхню кристала фотодіода, тим більше значення

темного струму. Тому у [14] запропоновано поверхню фоточутливого елемента додатково легувати шаром, ізотипним до матеріалу кристала фотодіода, а на торцевих поверхнях ця область ізольована ізотипним переходом. При цьому зона виходу р-п переходу на поверхню кристала фотодіода гуртується навколо омичного контакту фоточутливого елемента. Недоліком конструкції є велике значення ємності, оскільки в запропонованому випадку загальна площа р-п переходу збільшується практично в два рази. Застосування ж польового електрода вимагає організації додаткового живлення для нього та додаткових виводів, що ускладнює конструкцію і відповідно зменшує її надійність.

Завдання зменшення темного струму фоточутливого елемента забезпечує конструкція [15], в якій контакт до фоточутливого елемента оточений своєрідним стопорним кільцем, ізотипним до типу провідності фоточутливого елемента. Це кільце має розривати інверсійний шар, який має місце на поверхні фоточутливого елемента, на межі кремній – оксид кремнію. Але і такі конструкції мають певний недолік, який полягає у тому, що в наслідок малої товщини захисного шару окислу кремнію на поверхні фоточутливого елемента (на рівні 0,1 мкм) поверхневі заряди, мають набагато менший вплив на величину поверхневих струмів, ніж периферія кристала фотодіода, де товщина шару окислу кремнію досягає 0,7-1 мкм. Ефективність такого захисту проявляється лише в разі забруднення фоточутливого елемента.

Зменшенню об'ємної (генераційної) складової темного струму також присвячено багато робіт. Авторами [16] запропоновано для покращання характеристик р-п переходу під областю його виходу на поверхню кристала, на зворотному боці, формувати р-п перехід, який мав би сприяти зниженню концентрації носіїв заряду у цій критичній області. Слід зауважити, що при застосуванні у фотодіодів, з одного боку такий перехід здатний утворити певний бар'єр під областю

виходу р-п переходу на поверхню, і таким чином зменшити темновий струм. Але для фотодіодів, які оптимізовано на прийом довгохвильового оптичного випромінювання, такий додатковий перехід відтягне на себе частку фотогенерованих носіїв заряду, і, таким чином, зменшить довгохвильову чутливість приладу.

Конструкція фотодіода з малим темновим струмом [17], передбачає створення в об'ємі кристала фотодіода додаткової області протилежного з матеріалом кристала типу провідності. Практично йдеться про створення додаткового р-п переходу, але не на зворотному боці кристала, як це зроблено у [18], а безпосередньо в об'ємі кристала. Така конструкція дійсно здатна забезпечити малі значення темнового струму, але, як і у [16], її застосування веде до зменшення довгохвильової чутливості.

Джерелом носіїв струму, які здатні збільшувати темновий струм, може бути також і торцева поверхня кристала фотодіода, яка утворюється під час вирізання кристала з кремнієвої пластини.

В [19,20] вказано про те, що зменшення темнового струму можливе при збільшенні товщини шару, що розташований зі зворотного боку кристала фотодіода і є ізотипним до нього (мова іде про кристал на основі кремнію р-типу). Основне призначення цього шару – зменшення опору на контакті напівпровідника з металом. В деяких випадках від розмірів та положення шару р⁺-типу з тильної сторони кристала залежить чутливість приладу в довгохвильовій області [21].

Отримані результати показали, що темнові струми фотодіодів, які оптимізовані на прийом випромінювання з довжиною хвилі $\lambda > 1$ мкм більш чутливі до товщини ізотипного (р⁺-типу) з кристалом (р-типу) прошарку з його тильної сторони, ніж фотодіоди, оптимізовані на реєстрацію більш коротких хвиль. Крім вище зазначеного, показано, що необхідний ефект зменшення питомих значень темнового струму за рахунок збільшеної глибини залягання гетеруючого шару р⁺-типу досягається при глибині 6 – 8 мкм, тобто на

один мікрон менше, ніж зазначено у попередніх роботах. При цьому темновий струм кристалів з товщиною гетеруючого шару до 9 мкм лише на декілька процентів менше за темновий струм кристалів з товщиною гетеруючого шару до 8 мкм. Тому при виготовленні р-і-п фотодіодів на основі високоомного кремнію р-типу провідності доцільно отримувати шар р⁺-типу глибиною залягання до 8 мкм.

Введення бору в зворотній бік кристала фотодіода (для утворення шару р⁺-типу) призводить до зменшення рухливості неосновних носіїв заряду і в той же час – до закріплення кінців дислокацій на цій межі. Рух дислокацій у кремнієвому кристалі при наступних високотемпературних операціях відбувається при наступних граничних умовах. З однієї сторони, край дислокації “вільний”, з другого боку – загальмований наявністю домішки бору. Рух “вільного” краю дислокації відбувається до того часу, поки він не буде зафіксований цією домішкою.

В [22] показано, що домішки фіксують дислокації у дугоподібному стані, а, оскільки, домішки бору вводилися у зворотній бік кристала, то кінці дислокації зв'язуються на цьому боці кристала. При цьому сила, яка утримує закріпленний кінець дислокації, пропорційна напрузі, яка визначається концентрацією домішок.

Стосовно домішок металу ще у [23] було показано, що між 1220 К та 1320 К кількість домішок у шарі з зворотного боку кристала кремнію різко збільшується. При цьому домішки металу знаходяться на відстані 3 – 5 мкм від гетеруючого шару. Ефективність гетерування збільшується з наближенням гетеруючого шару до активної області напівпровідникового приладу. Крім того, залишкова концентрація металу в кристалах після проведення процесу гетерування тим менше, чим менше вихідна концентрація металу у напівпровідниковій пластині.

Межа розподілу, наприклад як на межі кремній – оксид кремнію, стає джерелом формування генераційних центрів, якщо товщина шару оксиду кремнію більша за 0,3 мкм. Таким же джерелом генераційних центрів може стати межа розподілу метал –

кремній на зворотному боці кремнієвого кристала.

В загальному вигляді шар p^+ -типу у p-i-n фотодіодах, як і у інших, виконує з одного боку роль гетеру, а з другого боку, має зменшувати опір на переході металевий контакт – напівпровідник. Шар металу наноситься на поверхню напівпровідника при температурі 550 – 700 К (в залежності від матеріалу). Оскільки коефіцієнти термічного розширення двох матеріалів різні, після охолодження на границі розділу утворюються напруження, які цілком можуть бути джерелом генераційних центрів механічного походження.

Очевидно, що для максимальної локалізації генераційних центрів, що знаходяться на торцевій поверхні кристала фотодіода, її необхідно залегувати бором, який утворює область p^+ -типу провідності. Частково проблема вирішується шляхом формування глибоких та вузьких заглиблень з лицевого боку кристала з наступною дифузією домішки в ці заглиблення та розділенням на окремі кристали шляхом переломлення [24]. При такому способі захисту торцевої поверхні кристала фотодіода, ізолюється не вся генеруюча поверхня, а лише її частина. З незахищеної частки носії струму можуть досягати p-n переходу і давати свій вклад у темновий струм. Крім того, наявність прорізів на лицевому боці кремнієвої пластини погіршує її механічну міцність.

В цілому, проблема легування торцевої поверхні кристала фотодіода полягає у тому, що вона не може бути здійснена за звичайним технологічним маршрутом, оскільки вирізання кристала відбувається після всіх операцій по його виготовленню. Після цього неможливо провести легування. З другого боку, у фотодіодів, площа яких досить велика, габаритні розміри цілком дозволяють проводити з кристалами всі необхідні технологічні операції по формуванню фотодіодів після вирізання. Тобто, перша технологічна операція виготовлення таких фотодіодів, є вирізання з кремнієвої пластини саме габаритів майбутнього кристала. Всі наступні операції, в тому числі і дифузія бору у

торцеву поверхню кристала, здійснюється у звичайній послідовності.

Фоточутливі елементи кремнієвих p-i-n фотодіодів, виготовлених з урахуванням вищезазначеного, а саме, з областю легованою бором, яка охоплює периферійну поверхню кристала фотодіода, його торцеву поверхню та зворотній бік, показали, що при температурі 300 К питомі значення темного струму склали 70 – 30 нА/см² при оберненому зміщенні на p-n переході 120 В [25].

IV. Про корекцію темного струму кремнієвих фотодіодів

З [26] відомо, що при дії статичного електричного та магнітного полів певної геометрії (СЕМПГ) на кристал фотодіода, спостерігається зменшення його темного струму. Це відноситься і до кремнієвих p-i-n фотодіодів. При цьому вплив взаємодіючих полів на фотодіод має здійснюватись через конічну поверхню.

Темновий струм суттєво зменшується у перші тридцять хвилин впливу. Досягнуті значення зберігають стабільність після припинення впливу на протязі наступного часу. Фотодіоди вимірювались зібраними в герметичні, металоскляні, заземлені корпуси, що усувало вплив зовнішнього середовища - як сторонніх електромагнітних наводок, так і різноманітних хімічних чинників. Тому можна стверджувати, що ефект зменшення темного струму оброблених фотодіодів зумовлений не зовнішніми електромагнітним або хімічним факторами, а саме впливом СЕМПГ. Діапазон напруг, при яких відбувалось вимірювання вольт-амперних характеристик, визначався вимогами до режиму експлуатації фотодіодів.

Під впливом СЕМПГ змінюється генераційна складова темного струму [27], зумовлена збором неосновних носіїв заряду у збідненій області. У приповерхневому шарі кристала фотодіода змін не відбувається. Величина вбудованого заряду на межі розподілу кремній-оксид кремнію не змінюється. Зменшення темного струму сягає 40 % у перші

10-15 хвилин обробки.

В загальному розумінні генераційний струм, що протікає через р-п перехід визначається в основному шириною області просторового заряду та часом життя неосновних носіїв заряду τ , який є найбільш вразливим з елементів, які визначає генераційний струм. З наших дослідів випливає, що під впливом СЕМПГ τ має збільшуватись приблизно на 40 %. Цікаво, що приблизно на стільки ж зменшується, в середньому, час життя неосновних носіїв заряду у вихідному кремнію внаслідок термічних операцій (1170 К-1400 К). Не важко помітити, що час життя неосновних носіїв заряду внаслідок дії СЕМПГ збільшується на стільки, на скільки він зменшується під час термічних операцій.

З урахуванням отриманих результатів по корекції параметрів фотодіодів, розроблено спосіб виготовлення фотодіодів [28], за яким після збирання фотоприймачі піддаються обробці СЕМПГ на протязі 30 – 60 хвилин. Вироби, опрацьовані за способом [28], показали стабільність відкоректованих параметрів у часі.

V. Висновки

1. Генераційна складова темного струму, як визначальна для р-і-п фотодіодів, може збільшуватись за рахунок декількох механізмів, але головним з них є дислокаційний.
2. Генераційна складова темного струму р-і-п фотодіодів на основі кремнію р- типу може бути зменшена за рахунок зв'язування дислокацій на поверхнях, які їх генерують. Це здійснюється шляхом:
 - захисту периферійної частини поверхні кристала фотодіода областю р⁺- типу;
 - захисту торцевої поверхні кристала фотодіода областю р⁺- типу;
 - захисту зворотного боку кристала фотодіода областю р⁺- типу товщиною не менше 6 мкм.
3. Генераційна складова темного струму кремнієвих р-і-п фотодіодів зменшується під дією статичного електричного та магнітного полів певної геометрії.

- [1] H. Melhior, M.B. Fisher F.R. Arams. Photodetectors for optical communication systems // *Pros. IEEE*, **58**, pp.1466-1486 (1970).
- [2] В.М. Юргенман, М.А. Трищенко. Кинетика ответа фотодиода при пролете носителей через область объемного заряда // *Радиотехника и электроника*, **XXII**, Вып.6, 1028с. (1977).
- [3] А.А. Ащеулов, Ю.Г. Добровольський, В.М. Годованок. та ін. Технологічний метод зменшення темного струму кремнієвих р-і-п фотодіодів // *Науковий вісник Чернівецького університету*, **32**, сс.135-142 (1998).
- [4] В.М. Годованюк. Конструкція та виготовлення порогового ФД337А на основі монокристалічного кремнію // *Науковий вісник Чернівецького університету*, **40**, сс.54-58 (1998).
- [5] A.A. Ascheulov, V.M. Godovanjuk, Yu.G. Dobrovolsky, and oth. Silicon P-i-N Photodiode with Little Value of Dark Curren // *Proceed SPIE*, **3890**, pp.119-124 (1999).
- [6] А.А. Ащеулов, В.М. Годованюк, Ю.Г. Добровольський та ін. Оптимизация надежности кремниевых р-і-п фотодиодов по темновому току // *ТКЭА*, 1-2, с.1821 (1999).
- [7] В.М. Акимов, Е.А. Климанов, В.П. Лисейкин и др. История, современное состояние и перспективы развития полупроводниковых матричных ИК-фотодиодных структур и технологий // *Прикладная физика*, **1**, с.7 (1999).
- [8] I.A. Love, I.R. Sizilov. Improvement of spectral characteristics in Schottky photodiodes by change of voltage // *Appl. Optics*, **7**(4), p.20 (1968).
- [9] С. Зи. *Физика полупроводниковых приборов*. Т.2, Мир, М. 345с. (1984).
- [10] P. Wendland. Silicon Photodiodes // *Electrooptical Systems design*, **8**, p.65 (1970).
- [11] А.с. 1459555 СССР. Р-І-Н фотодиод / О.Н. Доценко, А.В. Кулыманов, В.А. Меньшыкова // *БИ*, **10** (1988)
- [12] В.П. Астахов, Д.А. Гиндин, В.В. Карпов, К.В. Сорокин. О влиянии сопротивления поверхностного канала на темновой ток квадрантных р-і-п фотодиодов на кремнии // *Прикладная физика*, **2**, сс.79-85 (1999).

- [13] Р. Малер, Т. Кеймине. *Элементы интегральных схем*. Мир, М. 356с. (1989).
- [14] А.с. 1491282 СССР. Фотодиод / Р.Н. Тевс, В.Г. Швецов, Д.Г. Григоруца // *БИ*, № 8 (1989).
- [15] В.М. Годованюк, Ю.Г. Добровольській, В.В. Рюхтін. Кремнієвий фотодіод з низьким рівнем поверхневої складової темного струму // *Науковий вісник Чернівецького університету*, **32**, сс.43-147 (1998).
- [16] В.И. Квочка. и др. // *Письма в ЖТФ*, **13**(21), сс.1339-1341 (1982).
- [17] Пат. 4242695, МКИ Н 01 L 27/14. *Low dark current photo-Semiconductor device* / Wise Hirobumi Ouchi, Toji Mukai (Япония); Hitachi. Ltd. – № 6913; Заявл.26.06.79; Опубл. 30.12.80; НКИ 357/30. 19 с.
- [18] Заявка № 0247455 Европейського патентного відомства, МКИ Н 01 L 29/06. *Semiconductor component and method for manufacturing the same* / Wise Yoshizawa, Tetsuo/ (Японія); Canon Kabushiki Kaisha.; Заявл. 01.12.86; Опубл. 02.12.87. - 5 с.
- [19] А.А. Ascheulov, Yu.G. Dobrovolsky, V.N. Godovanjuk and all. Silicon P-i-N Photodiode with Little Value of Dark Current // *The IV International Conference on Material Science and Material for IR Optoelectronics '98*, Section A, AP-24, p.42 (1998).
- [20] А.А. Ащеулов, В.Н. Годованюк, Ю.Г. Добровольский, И.С. Романюк. Повышение надежности кремниевых фотодиодов путем оптимизации их параметров // *Тезисы конференции "Системы и средства передачи и обработки информации"* ССПОИ-98, Одесса, с.39 (1998).
- [21] Ю.Р. Носов. Фотоприемники в оптоэлектронике // *Электронная техника*, сер.2, **4**(183), с.33 (1986).
- [22] Н.А. Косевич. *Физическая механика реальных кристаллов*. Наук.Думка, Киев 324с. (1981).
- [23] R.L. Meek, Tt.E. Seidl, A.G. Gullis. Diffusion gettering of Au and Cu in silicon. // *Journal of the Electrochemical Society*, **V.122**, № 6, pp.784–786 (1975).
- [24] Заявка № 2095897 Великобританії, МКИ Н 01 L 21/302. *Semiconductor manufacture* / Wise T. Smith T. (GB); НіК Іnt Сl.; Заявл. 27.03.81; Опубл. 06.10.82; НКИ НІК. 4 с.
- [25] В.М. Годованюк, Ю.Г. Добровольський, А.А. Ащеулов. Високо-надійний кремнієвий р-і-п фотодіод // *Науковий вісник Чернівецького університету*, **66**, сс.9-13 (1999).
- [26] А.А. Ащеулов, Ю.Г. Добровольський, В.А. Безулик. Воздействие электрического и магнитного полей на параметры полупроводниковых приборов // *ТКЭА*, 1, сс.33-35 (2000).
- [27] Ю.Г. Добровольський, А.А. Ащеулов. Аналіз темного струму фотодіодів при одночасній дії комбінації електричного та магнітного полів // *Науковий вісник Чернівецького університету*, **50**, сс.108-109 (1999).
- [28] Патент № 36197А України, МПК Н 01 L 31/18 *Спосіб виготовлення фотодіодів*. Ю.Г. Добровольській, А.А. Ащеулов, В.М. Годованюк. Заявл. 16.11.1999. Опубл. 29.06.2000.

Yu.G. Dobrovolskiy¹, A.A. Ascheulov²

Features of a Construction and Technology Silicon p-i-n Photodiodes

¹“CCB Rytm”, Golovna Str., 246, Chernivtsi, 58032, tel. (03722) 4-26-13, 7-87-21, E-mail: yuriydr@west.com.ua

²Yuriy Fedjkovych Chernivtsi National University,
2, Kotsyubynskiy Str., Chernivtsy, 58012, tel. (0572) 53-06-27

In the paper the basic approaches to designing and manufacturing modern silicon p-i-n of photodiodes are submitted. The mechanisms are considered which influence on dark a current of photodiodes and the review of ways of reduction generation by a component dark of a current is made. The results of influence on crystals p-i-n of photo diodes of static electrical and magnetic fields of the certain geometry are given which are capable to increase time of life of the not basic carriers of a charge in these crystals.