

СЕНСОРИ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

PHYSICAL SENSORS

PACS 73.20, УДК 621.383

DOI 10.18524/1815-7459.2018.1.126350

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕФЕКТИВНОСТІ СЕНСОРНИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ ГЛИБОКИХ КРЕМНІЄВИХ *p-n* ПЕРЕХОДІВ З АКТИВНИМИ ОБЛАСТЯМИ, ЯКІ МАЮТЬ РІЗНИЙ ТИП ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ

О. В. Козинець

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Інститут високих технологій,
вул. Володимирська, 64, 01003, м. Київ, Україна, alk@univ.kiev.ua

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕФЕКТИВНОСТІ СЕНСОРНИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ ГЛИБОКИХ КРЕМНІЄВИХ *p-n* ПЕРЕХОДІВ З АКТИВНИМИ ОБЛАСТЯМИ, ЯКІ МАЮТЬ РІЗНИЙ ТИП ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ

О. В. Козинець

Анотація Показано що ефективність сенсорних структур на основі “глибоких” кремнієвих *p-n* переходів може суттєво залежити від типу електричної провідності освітлюваної області. Принцип роботи таких структур полягає у зміні ефективної швидкості поверхневої рекомбінації внаслідок впливу локального електричного поля адсорбованої речовини на приповерхневий вигин зон та на параметри рекомбінаційних центрів. На підставі модельних розрахунків показано, що зміна корисного сигналу внаслідок адсорбції полярних молекул на робочій поверхні більша у випадку освітлення базової області *n*-типу провідності. Такі структури є більш перспективними для створення сенсорів із фотоелектричним принципом перетворення у порівнянні із структурами для яких використовують освітлення області із *p*-типом провідності.

Ключові слова: кремній, глибокий *p-n* перехід, поверхнева рекомбінація, сенсорна структура

**COMPARATIVE ANALYZE OF THE EFFICIENCY OF THE SENSOR STRUCTURES
BASED ON “DEEP” SILICON *p-n* JUNCTION WITH ACTIVE LAYERS OF DIFFERENT
ELECTRICAL CONDUCTIVITY TYPE**

A. V. Kozynets

Abstract. It is shown that efficiency of sensor structures based on deep silicon *p-n* junction significantly depends on the electrical conductivity type of the illuminated region. The structures can be effective in the case of polar molecules absorption. Based on numerical modeling results, it is established that the value of sensor signal can be greater in the case of illuminated region of *n*-type conductivity (base region). It means that such structures have more significant potential for construction of the sensors with photoelectrical transducer principle in comparison with structures that have active layer of *p*-type.

Keywords: silicon, deep *p-n* junction, surface recombination, sensor structure

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕНСОРНЫХ
СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГЛУБОКИХ КРЕМНИЕВЫХ *p-n* ПЕРЕХОДОВ С
АКТИВНЫМИ ОБЛАСТЯМИ, КОТОРЫЕ ОБЛАДАЮТ РАЗНЫМИ ТИПАМИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ**

A. B. Козинец

Аннотация. Показано, что эффективность сенсорных структур на основе глубоких кремниевых *p-n* переходов существенно зависит от типа электрической проводимости освещаемой области. На основании численных расчетов показано, что изменение полезного сигнала при адсорбции полярных молекул на рабочей поверхности может возрастать в случае освещения базовой области перехода, которая имеет проводимость *n*-типа. Поэтому, такие структуры могут быть более перспективными для создания сенсоров с фотоэлектрическим принципом преобразования в сравнении со структурами в которых реализовано освещение области с проводимостью *p*-типа.

Ключевые слова: кремний, глубокий *p-n* переход, поверхностная рекомбинация, сенсорная структура

Вступ

Створення і розробка нових трансдюсерних систем є важливим завданням сучасної твердо тільної електроніки [1,2]. Одним із нових підходів до створення сенсорних структур із фотоелектричним принципом перетворення, поряд із добре вивченими структурами типу LAPS [3] (потенціометричний сенсор із світловою адресацією), є використання глибокого кремнієвого n - p переходу. В роботах [4,5] показано, що у випадку освітлення базової області структури світлом, яке сильно поглинається в при поверхневій області, фотострум суттєво залежить від рекомбінаційних характеристик робочої поверхні. Цей ефект можна математично формалізувати використовуючи поняття ефективної швидкості рекомбінації [4-6]. Зв'язок між зміною ефективної швидкості поверхневої рекомбінації та зміною зарядового стану робочої поверхні внаслідок адсорбції можна розглядати в рамках наближень теорії Стівенсона- Кейса, яка дозволяє взяти до уваги можливі зміни поверхневого вигину зон, концентрації, перерізів захоплення та енергетичного положення рівня рекомбінації [6]. Оскільки названі рекомбінаційні характеристики поверхні можуть суттєво змінюватись внаслідок адсорбції полярних молекул запропонована структура відкриває широкі можливості для створення нового класу сенсорів. Зокрема, відповідно до теоретичних міркувань, ефективна швидкість рекомбінації досягає максимального значення у випадку близьких приповерхневих концентрацій носіїв та різко спадає коли виникає дефіцит носіїв внаслідок зміни вигину зон. Характеристикою ефективності запропонованих сенсорних структур може бути відносна зміна фотоструму внаслідок зміни ефективної швидкості рекомбінації. Адсорбційна ефективність робочої поверхні в структурах може бути збільшена внаслідок створення тонких наноструктурованих шарів. З іншого боку експериментально продемонстровано придатність таких сенсорних структур з модифікованою робочою поверхнею для детекції карбонових нанотрубок у водному розчині сульфазолу чи створення складних сенсорних систем типу електронний ніс [4,5]. Зауважимо, що "рекомбінаційний сенсор" такого типу має більш просту структуру у по-

рівнянні з LAPS та дозволяє використовувати газові аналіти.

В роботі [4] обґрунтовано вибір оптимальної довжини дифузії, рівня та профілю легування в базовій області "глибокого" p - n переходу; зокрема показано, що товщина базової області повинна бути більша або близькою до довжини дифузії неосновних носіїв, профіль легування доцільно обирати рівномірним, більшій довжині дифузії відповідає вища ефективність сенсорної структури.

Як відомо, фотострум глибокого переходу залежить від співвідношення дифузійних потоків неосновних носіїв заряду в активній області, що виникають при освітленні. Ці потоки очевидно можуть суттєво різнитися для випадків коли їх створюють носії, які мають різні коефіцієнти дифузії (електрони, дірки). Тому, з точки зору сенсорного застосування, важливо оптимізувати також і тип електричної провідності базової області кремнієвого переходу. Критерієм такої оптимізації, як вже відзначалося, є можливість отримати більшу зміну корисного сигналу внаслідок адсорбції полярних молекул на робочій поверхні в сенсорній структурі. В запропонованій роботі на основі числових розрахунків ми оцінили та порівняли ефективність сенсорних структур з базовими областями p та n типу провідності. Для визначеності зауважимо, що розглядаються випадки освітлення кремнієвого переходу з боку базової області а саме: випадок а) базова область має n -тип провідності, емітерна область має p -тип провідності; випадок б) базова область має p -тип провідності, емітерна область має n -тип провідності. Отже, глибину переходу визначає товщина базової області. Отримані результати дозволяють сформулювати певні практичні рекомендації щодо конструктивних особливостей таких структур.

Модель

У конфігурації глибокого кремнієвого p - n переходу, фотострум може суттєво залежить від рекомбінаційних властивостей поверхні. Такі явища спостерігаються у випадку освітлення структури квантами світла із області сильного поглинання. Фізичною причиною "підвищеної" чутливості фотоструму до рекомбінаційних процесів є значне просторове роз-

ділення області поглинання світла та області вбудованого заряду переходу. Дійсно, коефіцієнт поглинання означених квантів $\alpha(\lambda)$ складає 10^5 - 10^3 см⁻¹, область поглинання поблизу освітлюваної поверхні $1/\alpha(\lambda)$ не перевищує кількох мкм; з іншого боку товщина базової області зазвичай складає десятків мкм. Таким чином, реєстрація змін наскрізного фотоструму переходу дозволяє отримувати інформацію про адсорбційні процеси на поверхні освітлюваної області. В рамках модельних уявлень, вплив адсорбції полярних молекул на ефективну швидкість поверхневої рекомбінації відбувається внаслідок дії локального електричного поля “дипольних молекулярних структур”. Такий вплив може змінювати приповерхневий вигин зон та рекомбінаційні параметри рівнів (або навіть системи рівнів з неперервним розподілом за енергією), які існують на поверхні. Зокрема, зміна приповерхневого вигину зон викликає зміни концентрацій носіїв поблизу поверхні, а тому може відбуватися перехід від режимів акумуляції або збіднення до режиму близьких значень концентрацій носіїв, що забезпечує максимальну швидкість рекомбінації (чи знавпаки). Експериментально показано, що зміни швидкості поверхневої рекомбінації s у випадку адсорбції полярних молекул на поверхні германію складають один два порядки. Наші дослідження свідчать, що зміни фотоструму в глибоких кремнієвих переходах внаслідок адсорбції полярних молекул води також можна описати змінами s що лежать в означеному діапазоні [8]. В подальших теоретичних розрахунках доцільно розглядати певний фіксований діапазон: початкове значення можна покласти $s_1 \sim 10^3$ см/с $s_2 \sim 10^5$ см/с.

Позначимо товщину базової області переходу (глибину переходу) символом d . Розрахуємо тепер відношення фотострумів для переходу із базовою областю з n -типом провідності у наближеннях низького рівня інжекції. Фотострум, який колектується з базової області можна записати у вигляді [7]

$$i_p(s) \cong \frac{e \cdot F \cdot \alpha \cdot l_p}{\alpha^2 \cdot l_p^2 - 1} \left[\frac{(s \cdot l_p / D_p) + \alpha \cdot l_p - \exp(-\alpha \cdot d) [(s \cdot l_p / D_p) \cdot ch(d/l_p) + sh(d/l_p)]}{(s \cdot l_p / D_p) \cdot sh(d/l_p) + ch(d/l_p)} - \alpha \cdot l_p \exp(-\alpha \cdot d) \right], \quad (1)$$

де D_p - коефіцієнт дифузії дірок l_p - довжина дифузії дірок F -густина потоку квантів. У випадку сильного поглинання $\alpha(\lambda)l \gg 1$, $\alpha(\lambda)d \gg 1$, величина загального фотоструму визначається поглинанням виключно у приповерхневому шарі, і з виразу (1) після деяких спрощень отримуємо:

$$i(s) \cong \frac{1 + \frac{S}{\alpha(\lambda)D_p}}{s \frac{l_p}{D_p} sh\left(\frac{d}{l_p}\right) + ch\left(\frac{d}{l_p}\right)}. \quad (2)$$

Таким чином для відношення фотострумів (ефективності сенсорної структури) маємо вираз:

$$\frac{i_p(s_1)}{i_p(s_2)} = \frac{1 + \frac{s_1}{\alpha(\lambda)D_p}}{s_1 \frac{l_p}{D_p} sh\left(\frac{d}{l_p}\right) + ch\left(\frac{d}{l_p}\right)} \cdot \frac{s_2 \frac{l_p}{D_p} sh\left(\frac{d}{l_p}\right) + ch\left(\frac{d}{l_p}\right)}{1 + \frac{s_2}{\alpha(\lambda)D_p}}. \quad (3)$$

У випадку, якщо базова область має p -тип провідності загальний фотострум переходу формують електрони, що є неосновними носіями. Отже, відношення струмів можна подати у вигляді аналогічному виразу (3) змінивши відповідні позначення коефіцієнта, довжини дифузії та позначення фотострумів. Таким чином отримуємо

$$\frac{i_n(s_1)}{i_n(s_2)} = \frac{1 + \frac{s_1}{\alpha(\lambda)D_n}}{s_1 \frac{l_n}{D_n} sh\left(\frac{d}{l_n}\right) + ch\left(\frac{d}{l_n}\right)} \cdot \frac{s_2 \frac{l_n}{D_n} sh\left(\frac{d}{l_n}\right) + ch\left(\frac{d}{l_n}\right)}{1 + \frac{s_2}{\alpha(\lambda)D_n}}. \quad (4)$$

Результати та обговорення

Розглянемо дві ідентичні сенсорні структури, з базовим областями p та n типу провідності. Припустимо спочатку, що довжини дифузії неосновних носіїв в базових областях таких структур однакові (або близькі за значенням). В загальному випадку довжина дифузії, коефіцієнт дифузії та час життя неосновних носіїв

пов'язані простим співвідношенням [7]

$$l_{n,p}^2 = D_{n,p} \tau_{n,p} \quad (5)$$

Час життя та дифузійна довжина неосновних носіїв, як відомо, залежать від інтенсивності рекомбінаційних процесів в об'ємі напівпровідникової пластини. В залежності від технологічних особливостей вирощування монокристалів кремнію та/або із збільшенням рівня легування, кількість об'ємних дефектів може зростати. Це збільшує рекомбінаційні втрати та веде до зменшення часу життя та дифузійної довжини неосновних носіїв. Відзначимо, для прикладу, що час життя в кремнієвих пластинках високої якості досягає десятків мкс, а довжина дифузії складає сотні мкм. Коефіцієнти дифузії D_n, D_p (та пов'язані співвідношеннями Ейнштейна рухливості μ_n, μ_p) також чутливі до наявності дефектів в пластині. Максимальні значення D_n та D_p для помірно легованих пластин різняться в 3 рази і складають $40 \text{ см}^2/\text{с}$ та $13 \text{ см}^2/\text{с}$ відповідно; однак ці величини можуть зменшуватися із збільшенням рівня легування пластини до $10^{18}\text{-}10^{19} \text{ см}^{-3}$ [7]. В подальших розрахунках ми будемо розглядати випадки помірного легування базової області ($10^{15}\text{-}10^{17} \text{ см}^{-3}$) переходу та максимальні значення коефіцієнтів дифузії. Отже, коли час життя дірок в базі n -типу в кілька разів більший ніж час життя електронів в базі p -типу, припущення щодо рівності довжин дифузії неосновних носіїв є цілком виправданим (див. (5)).

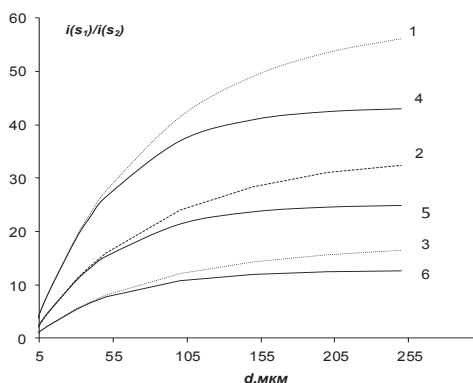


Рис. 1. Відношення фотострумів $i(s_1)/i(s_2)$ ($s_1 = 10^3 \text{ см/с}$ $s_2 = 10^5 \text{ см/с}$), у випадку базової області n -типу провідності як функція глибини переходу d . Довжини хвиль із області сильного поглинання $\lambda = 400 \text{ нм}$ – криві 1,4; $\lambda = 520 \text{ нм}$ – крива 2,5; $\lambda = 620 \text{ нм}$ – крива 3,6, довжина дифузії дірок 1,2,3 – 200 мкм, довжина дифузії дірок 4,5,6 – 100 мкм.

На рис.1, 2 показано серії кривих $i(s_1)/i(s_2) = f(d)$, які розраховано для кількох довжин хвиль із області сильного поглинання за формулами (3) та (4).

Відзначимо спочатку, що для кожної окремої кривої, максимальне значення $i(s_1)/i(s_2)$ лежить в області насичення та відповідає довжині дифузії неосновних носіїв. Іншими словами, в усіх випадках, глибину переходу d доцільно обирати не меншою ніж довжина дифузії неосновних носіїв. Як впливає з аналізу отриманих даних, більший сенсорний сигнал можна отримати для структури з базовою областю n -типу провідності. Це легко бачити обравши деяке фіксоване значення глибини переходу d з області насичення відповідних кривих на рис.1,2. Зростання сенсорного сигналу виявляється більш виражено у випадку збільшення локалізації фото генерованих носіїв поблизу поверхні, тобто коли довжина хвилі освітлення зменшується. Можна констатувати, що коли коефіцієнт поглинання зростає ($\lambda = 400 \text{ нм}$, 520 нм - криві 1, 4, 2, 5), відношення фотострумів $i(s_1)/i(s_2)$ зростає приблизно у півтора-два рази. У випадку менших значень коефіцієнта поглинання ($\lambda = 620 \text{ нм}$ (криві 3,6)) та більш рівномірного профілю фото генерації, суттєвої різниці у величинах $i(s_1)/i(s_2)$, отриманих для структур з базовими областями p та n типу провідності, не спостерігається.

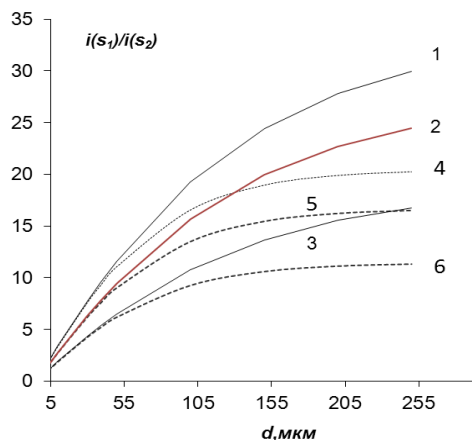


Рис. 2. Відношення фотострумів $i(s_1)/i(s_2)$ ($s_1 = 10^3 \text{ см/с}$ $s_2 = 10^5 \text{ см/с}$), у випадку базової області p -типу провідності як функція глибини переходу d . Довжини хвиль із області сильного поглинання $\lambda = 400 \text{ нм}$ – криві 1,4; $\lambda = 520 \text{ нм}$ – крива 2,5; $\lambda = 620 \text{ нм}$ – крива 3,6, довжина дифузії електронів 1,2,3 – 200 мкм, довжина дифузії електронів 4,5,6 – 100 мкм.

Розглянемо більш детально особливості виникнення фотоструму в сенсорних структурах даного типу. Концентрація носіїв поблизу області просторового заряду завжди близька до нуля внаслідок дії вбудованого електричного поля. Концентрація носіїв поблизу освітлюваної поверхні залежить від інтенсивності рекомбінаційних процесів на поверхні та коефіцієнта поглинання для заданої довжини хвилі із області сильного поглинання. Просторовий розподіл носіїв в базовій області, таким чином, виникає в результаті дії двох протилежно направлених дифузійних потоків: до освітлюваної поверхні та до області просторового заряду. Фотострум “глибокого” переходу залежить від форми просторового розподілу носіїв в тому сенсі, що просторовий розподіл задає градієнт концентрації носіїв поблизу області просторового заряду. Як вже відзначалося, зміни фотоструму можуть бути більш суттєвими саме у випадку використання базової області *n*-типу провідності. Такий результат можна пояснити тим, що дифузійні потоки дірок формують просторові розподіли носіїв $p(x)$ із більш суттєвою зміною градієнта dp/dx поблизу області просторового заряду.

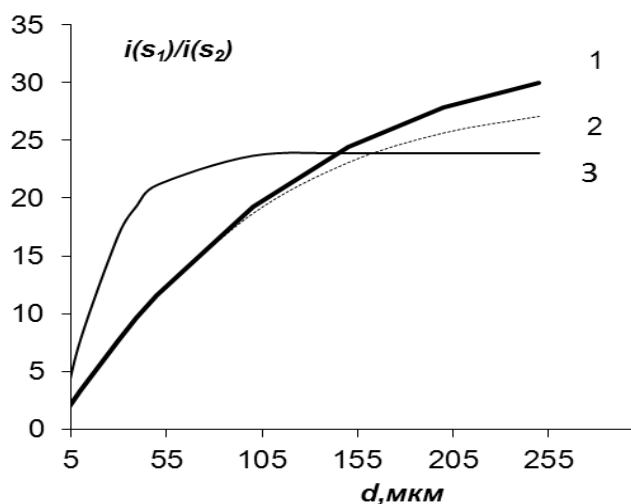


Рис.3. Відношення фотострумів $i(s_1)/i(s_2)$ ($s_1 = 10^3$ см/с, $s_2 = 10^5$ см/с), як функція глибини переходу d , довжина хвилі $\lambda = 400$ нм; крива 1 - базова область *p*-типу провідності, довжина дифузії дірок 200 мкм; крива 2 - базова область *p*-типу провідності, довжина дифузії дірок 160 мкм; крива 3 - базова область *n*-типу провідності, довжина дифузії електронів 50 мкм.

Як показують наші розрахунки, коли для сенсорних структур дифузійні довжини в базових областях різняться суттєво (більш ніж в 2-3 рази), вибір типу провідності вже не має вирішального значення для підвищення ефективності. Така ситуація можлива, наприклад, у випадку близьких значень часу життя неосновних носіїв, див. (5). Результати розрахунків залежностей $i(s_1)/i(s_2) = f(d)$ проілюстровано на рис.3. В означеному випадку доцільно обрати перехід з більшою довжиною дифузії неосновних носіїв в базовій області, оскільки такий вибір дозволяє отримати більшу величину $i(s_1)/i(s_2)$. Зауважимо, що як і в попередньому випадку, отримання максимальної ефективності можливо тільки, якщо глибина переходу близька до довжини дифузії [5].

Оскільки очікуваний діапазон змін фотоструму внаслідок адсорбції полярних молекул визначає перспективи використання сенсорної структури, а також перспективи її подальшої модифікації, прості міркування наведені в роботі, дозволяють сформулювати основні підходи до вибору параметрів глибоких переходів з різним типом провідності базової області. Запропоновані результати можуть бути використані для практичної розробки фотоелектричних сенсорних структур із тонкими шарами оксидів, або шарами наноструктурованих матеріалів на робочій поверхні [8].

Висновки

Показано, що одним з важливих факторів збільшення ефективності сенсорних структур на основі “глибоких” кремнієвих *p-n* переходів є вибір типу провідності активної області. Цей фактор набуває суттєвого значення, коли структури мають близькі значення довжини дифузії неосновних носіїв в базових областях. Так, у випадку якщо базова область переходу має *n*-тип провідності, сенсорний сигнал можна збільшити вдвічі у порівнянні із структурою базова область якої має провідність *p*-типу. Якщо ж довжини дифузії в структурах з різним типом провідності різняться суттєво (2-3 рази), доцільно обирати глибокий перехід із більшою довжиною дифузії неосновних носіїв. В усіх випадках глибина переходу повинна бути не меншою ніж довжина дифузії.

Список використаної літератури

[1]. L. Ristic. *Sensor Technology and Devices*. Artech House, Boston. 540 p (1994).

[2]. V. A. Skryshevsky. Porous Si Structures for Gas, Vapor and Liquid Sensing (In: *Comprehensive Guide for Mesoporous Materials, Volume 3: Properties and Development*, Ed. Mahmood Aliofkhaeaei, Nova Science Publishers Inc. pp. 123-146, (2015)).

[3]. T. Wagner, M. J. Schöning. Light addressible potentiometric sensors (LAPS) recent trend and application // *Electrochemical Sensor Analysis* 49 (87), pp. 87-128 (2007).

[4]. A. I. Manilov, A. V. Kozinetz, I. V. Gavrilchenko, Y. S. Milovanov, T. M. Mukhamedzhanov, S. A. Alekseev, M. Al Arami, S. V. Litvinenko, A. Rozhin, V. A. Skryshevsky. Photoelectric signal conversion in deep

p-n junction for detection of carbon nanotubes with adsorbed SDBS in aqueous solution // *Journal of Nano- and Electronic Physics*. V. 9 (4). pp 04020(1-6) (2017).

[5]. A. V. Kozinetz, S. V. Litvinenko, V. A. Skryshevsky. Physical Properties of Silicon Sensor Structures with Photoelectric Transformation on the Basis of “Deep” p–n-Junction// *Ukrainian journal of physics/* 62(4), pp 318-325(2017).

[6]. A. V. Sachenko, O. V. Snitko. Foteoeffekt v priprovernostnix sloyax poluprovodnikov. *Naukova dumka*. K. 450s. (1984).

[7]. S. M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*. Wiley, New York. 814p (1981).

[8]. S. V. Litvinenko, A. V. Kozinetz, V. A. Skryshevsky. Concept of photovoltaic transducer on a base of modified p-n junction solar cell// *Sensor and Actuator A: Physical*, 224, pp. 30-35 (2015).

PACS 73.20, UDC 621.383

DOI 10.18524/1815-7459.2018.1.126350

COMPARATIVE ANALYZE OF THE EFFICIENCY OF THE SENSOR STRUCTURES BASED ON “DEEP” SILICON *p-n* JUNCTION WITH ACTIVE LAYERS OF DIFFERENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY TYPE

A. V. Kozynets

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of High Technologies Volodymyrska Street 64, 01003, Kyiv, Ukraine, alk@univ.kiev.ua

Summary

The “recombinational” sensor has more simple construction than traditional LAPS and potentially it can be applied not only for liquid analyt but for gas analyt also. Moreover this structure has some potential for application in complex sensor system like electronic nose.

The aim of this work is optimization of sensor structure based on “deep” silicon p-n junction with photoelectrical transducer principle in the sense of the choice of base region conductivity type. Optimization criterion is possibility to have more changes of sensor signal (photocurrent through p-n junction) due to polar molecules absorption that corresponds to surface recombination changes.

The original method based on photocurrent ratio analyze is proposed to evaluate the sensor efficiency in our work. It is shown that efficiency of sensor structures based on “deep” silicon p-n junction depends on the electrical conductivity type of the illuminated region. The cases of equal and different values of diffusion lengths were analyzed. The choice of conductivity type is especially important in the first case. Based on numerical modeling results, it is established that the value of sensor signal can

be greater in the case of illuminated region of n-type conductivity. The sensor signal can be increased in 2 time. If the diffusion lengths in the identical sensor structures differ from each other significantly, the choice can be relaxed. It is expediently to take the junction with greater diffusion length of minority carriers.

Keywords: silicon, deep *p-n* junction, surface recombination, sensor structure

PACS 73.20, УДК 621.383

DOI 10.18524/1815-7459.2018.1.126350

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕФЕКТИВНОСТІ СЕНСОРНИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ ГЛИБОКИХ КРЕМНІЄВИХ *p-n* ПЕРЕХОДІВ З АКТИВНИМИ ОБЛАСТЯМИ, ЯКІ МАЮТЬ РІЗНИЙ ТИП ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ

О. В. Козинець

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Інститут високих технологій,
вул. Володимирська, 64, 01003, м. Київ, Україна, alk@univ.kiev.ua

Реферат

Дослідження та розробка сенсорних структур із новими принципами перетворення впливу адсорбції молекул аналіту в корисний сигнал є актуальною задачею. На відміну від структур типу LAPS “рекомбінаційний сенсор” має більш просту конструкцію та, потенційно, більш широку область застосування.

Метою роботи є оптимізація сенсорних структур на основі глибокого кремнієвого переходу з фотоелектричним принципом перетворення, а саме вибір оптимального типу провідності базової області. Критерієм такої оптимізації є можливість отримати більші зміни корисного сигналу (більші зміни наскрізного фотоструму через перехід) внаслідок адсорбції полярних молекул та відповідної зміни швидкості поверхневої рекомбінації.

В роботі запропоновано методику для оцінки ефективності сенсорної структури на основі аналітичних наближень для фотоструму. Показано, що ефективність сенсорних структур на основі глибоких кремнієвих *p-n* переходів може суттєво залежити від типу електричної провідності освітлюваної області. Проаналізовано випадки коли довжини дифузії в освітлюваних областях близькі або різняться за величиною. В першому випадку вибір типу провідності може мати важливе значення. На підставі модельних розрахунків отримано, що зміна корисного сигналу внаслідок адсорбції на робочій поверхні більша у випадку використання освітлюваної області *n*-типу провідності. Таким чином можна збільшити корисний сигнал структури приблизно у 2 рази. Можна припустити, що означені структури є більш перспективними для створення сенсорів із фотоелектричним принципом перетворення. Якщо ж довжини дифузії в ідентичних структурах з різним типом провідності базової області різняться суттєво (2-3 рази), вибір типу провідності вже не має критичного значення. В такому випадку доцільно обирати глибокий перехід із більшою довжиною дифузії неосновних носіїв.

Ключові слова: кремній, глибокий *p-n* перехід, поверхнева рекомбінація, сенсорна структура