

В.Ф. ОНИЩЕНКО, Л.А. КАРАЧЕВЦЕВА

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України
(Просп. Науки, 41, Київ 03028; e-mail: lakar@isp.kiev.ua)

ПРОВІДНІСТЬ ТА ФОТОПРОВІДНІСТЬ ДВОВИМІРНИХ СТРУКТУР МАКРОПОРИСТОГО КРЕМНІЮ

УДК 541.013+621.315

У двовимірних структурах макропористого кремнію виміряно ефективну провідність та фотопровідність, а також розраховано залежність цих величин від концентрації та діаметра макропор. Встановлено, що при збільшенні концентрації та об'ємної частки пор ефективна провідність структур макропористого кремнію зменшується. Виявлено розмірний ефект: суттєве зменшення товщини області просторового заряду w при зменшенні діаметра макропор (поверхневого заряду). Ефективна відносна фотопровідність визначається рекомбінацією та накопиченням заряду на поверхні пор. Для досліджених структур теоретичні залежності відносно фотопровідності відповідають значенню швидкості поверхневої рекомбінації 90 см/с.

Ключові слова: макропористий кремній, ефективна провідність, фотопровідність.

1. Вступ

Двовимірні структури макропористого кремнію, виготовлені методом фотоанодного травлення, знайшли застосування в оптиці як фотонні кристали та мають перспективу застосування в фотоелектроніці. Це пов'язано з виготовленням структур з заданою геометрією, великою площею поверхні (порядку 10^3 – 10^4 см² на одиницю об'єму структури), можливістю інтеграції в мікросхеми та фотоелектричними характеристиками, які визначаються процесами на поверхні макропор [1, 2]. Кінетика фотопровідності макропористого кремнію має неекспоненціальну залежність і визначається величиною поверхневого потенціалу та швидкістю поверхневої рекомбінації [3]. При цьому в діапазоні $T = 200$ – 300 К температурна залежність часу релаксації фотопровідності має активаційний характер, за подальшого зменшення температури час релаксації не залежить від температури. Температурні залежності фотоерс в двовимірних структурах макропористого кремнію при енергії фотонів, сумірній з енергією непрямого зона-зонного переходу, визначаються накопиченням електронів на поверхневих рівнях поблизу зони провідності при температурах, близьких до температури рідкого азоту [4]. Визначені механізми транспорту фотонів у структурах макропористого кремнію через

бар'єр “індій–макропористий кремній” [5–7]. Фотоелектричні властивості двовимірних структур макропористого кремнію, зокрема, максимум фотопровідності, залежать від відстані між порами та їх діаметра. Фотопровідність структур макропористого кремнію перевищує таку для монокристала, що пояснено великою площею макропор та модуляцією шару Шотткі освітленням [8, 9].

У даній роботі виміряна ефективна провідність та фотопровідність двовимірних структур макропористого кремнію та розраховані залежності цих величин від концентрації та діаметра макропор. Ефективну провідність кремнієвої матриці паралельно макропорам розраховано як функцію відношення об'ємної частки кремнієвої матриці $1 - P$ до об'ємної частки області просторового заряду. Визначено товщину області просторового заряду залежно від діаметра макропор досліджених структур макропористого кремнію та значення швидкості поверхневої рекомбінації.

2. Методика експерименту

Досліджувались структури макропористого кремнію, виготовлені на пластинах кремнію n -типу провідності з рівноважною концентрацією електронів $n_0 = 10^{15}$ см⁻³, питомим опором 4,5 Ом·см, орієнтацією [100], товщиною пластин $H = 400$ мкм. У монокристалічному кремнії методом електрохімічного травлення при освітленні

Параметри зразків структур макропористого кремнію

№	D_p , мкм	N_p , 10^6 см $^{-2}$	$a - D_p$, мкм	S_p , см 2 /см 3	σ , Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$	σ_p , Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$	σ_{ph} , Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$
1п	1	25	1	7854	0,1	0,04	0,6
2	1,8	7,5	1,6	4241	0,16	0,1	0,5
3п	2	6,25	2	3925	0,18	0,12	0,45
4	3	3	2,8	2827	0,19	0,13	0,27
5	6	1	4	1885	0,2	0,15	0,24
6	5	1	5	1570	0,2	0,15	0,2

тильного боку кремнієвої підкладки [1] було сформовано циліндричні макропори глибиною $h_p = 40$ – 100 мкм. Макропори діаметром $D_p = 1$ – 6 мкм, відстанню між макропорами $a - D_p = 1$ – 4 мкм були розміщені як періодично, так і неперіодично. Періодичне розміщення повітряних циліндричних макропор було забезпечено відповідним періодичним розташуванням ямок травлення. Останні були попередньо сформовані в результаті фотолітографічної процедури і анізотропного травлення в КОН. Діаметр, глибину та концентрацію макропор було визначено за допомогою оптичного мікроскопа Carl Zeiss Jena NU. Концентрація макропор становить $N_p = (1-6) \cdot 10^6$ см $^{-2}$, об'ємна частка пор $P = \pi D_p^2 N_p / 4$ становить $0,2$ – $0,3$ відн. од., питома площа поверхні макропор $S_p = 4P/D_p$ знаходиться в межах 1900 – 7900 см 2 на одиницю об'єму структури макропористого кремнію (див. таблицю).

У таблиці введено такі позначення: σ – питома провідність зразка макропористого кремнію, σ_p – розрахована ефективна питома провідність шару макропористого кремнію, σ_{ph} – відносна ефективна фотопровідність структур макропористого кремнію; зразки 1п і 2п мають періодичне розташування макропор.

Омічні контакти Au/монокристалічний n -Si та Au/макропористий n -Si були сформовані шляхом втирання евтектики Au/Si на свіжі сколи структур макропористого кремнію при температурі 450 К. Струм під час вимірювання провідності зразків протікав перпендикулярно циліндричним макропорам.

Стационарна фотопровідність та провідність у структурах макропористого кремнію були виміряні за компенсаційною схемою в режимі максимальної чутливості. Для освітлення було використано ГЧ світлодіод GaAlAs/GaAs з довжиною хвилі $0,95$ мкм.

3. Ефективна провідність двовимірних структур макропористого кремнію

Для аналізу ефективної провідності для шару кремнію з макропорами врахуємо, що навколо кожної макропори існує область просторового заряду товщиною w і провідністю σ_s , яка відмінна від провідності квазінейтрального об'єму σ_b між макропорами. Ефективна питома провідність шару макропористого кремнію паралельно макропорам була знайдена як сума провідностей області просторового заряду та квазінейтрального об'єму, при цьому провідність області просторового заряду була врахована як паралельний елемент:

$$\sigma_{p1} = P_b \sigma_b + P_s \sigma_s, \quad (1)$$

де $P_b = 1 - P - N_p \pi w (D_p + w)$, $P_s = N_p \pi w (D_p + w)$ – об'ємні частки квазінейтрального об'єму та області просторового заряду. Ефективну питому провідність шару макропористого кремнію можна знайти також через об'ємну частку кремнієвої матриці $1 - P$:

$$\sigma_{p1} = (1 - P) \sigma_{sm1}, \quad (2)$$

де σ_{sm1} – ефективна питома провідність кремнієвої матриці паралельно порам. Провідність перпендикулярно макропорам, розрахована згідно з теорією ефективного середовища, дає наближений розв'язок:

$$\sigma_{p2} \approx \frac{1 - P}{1 + P} \sigma_{sm2}, \quad (3)$$

де σ_{sm2} – ефективна провідність кремнієвої матриці перпендикулярно порам. При великій відстані між макропорами провідністю області просторового заряду можна знехтувати, тоді $\sigma_{p2} \approx \sigma_b P_b / (2 - P_b)$.

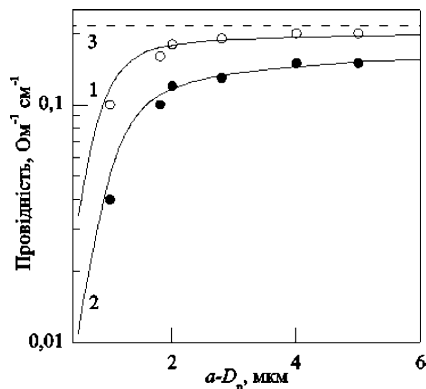


Рис. 1. Експериментальні дані (значки, таблиця) та теоретичні залежності від середньої відстані між краями макропор ефективної провідності шару макропористого кремнію на монокристалічній підкладці (крива 1) та без підкладки (крива 2); 3 – питома провідність монокристалічного кремнію $\sigma_b = 0,22 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$. Об’ємна частка пор 0,2

Провідність структури макропористого кремнію на кремнієвій підкладці паралельно макропорам σ_1 розраховується як послідовне з’єднання макропористого шару та кремнієвої підкладки, тоді провідність макропористого шару у цьому напрямку може бути знайдена як:

$$\sigma_{p1} = \sigma_b \left(1 - \frac{H}{h_p} \left(1 - \frac{\sigma_b}{\sigma_1} \right) \right)^{-1} \quad (4)$$

Провідність перпендикулярно порам σ_2 розпишемо як паралельне з’єднання макропористого шару та кремнієвої підкладки, в цьому випадку провідність макропористого шару визначається як:

$$\sigma_{p2} = h_p \left(\frac{\sigma_2}{H} - \frac{\sigma_b}{H - h_p} \right) \quad (5)$$

Ефективна питома провідність кремнієвої матриці за умови, коли відстань між порами більша за подвійну товщину області просторового заряду, може бути записана як сума провідності області просторового заряду та провідності квазінейтрального об’єму:

$$\sigma_{sm} = \sigma_b \left(1 - \frac{P_s}{1 - P} \right) + \frac{P_s}{1 - P} \sigma_s, \quad (6)$$

де $P_s/(1 - P)$ – частка в кремнієвій матриці.

Розрахуємо ефективну провідність кремнієвої матриці паралельно макропорам як функцію відношення об’ємної частки кремнієвої матриці $1 - P$

до об’ємної частки області просторового заряду $N_p \pi w (D_p + w)$. Запишемо рівняння для ефективної питомої провідності шару пористого кремнію:

$$\sigma_{sm1} < \approx \frac{1 - P}{P_s} \sigma_s = \frac{(1 - P) \sigma_s}{\pi N_p w (D_p + w)}. \quad (7)$$

Ефективна питома провідність матеріалу перпендикулярно макропорам при перетині шарів збіднення дорівнює:

$$\sigma_{sm2} < \approx \frac{(1 - P)^2}{P_s (1 + P)} \sigma_s = \frac{(1 - P)^2 \sigma_s}{\pi N_p w (D_p + w) (1 + P)}. \quad (8)$$

Перший інтеграл Пуассона для випадку, коли області просторового заряду перетинаються, згідно з [11] запишеться:

$$\frac{dy}{dx} = L_D^{-1} \left[\left(\left(\frac{n_i}{n_0} \right)^2 + \frac{\Delta n}{n_0} \right) (e^{-y} - 1) + \left(1 + \frac{\Delta n}{n_0} \right) (e^y - 1) - y + \left(\frac{e L_D E_0}{kT} \right)^2 \right], \quad (9)$$

де $y = e\varphi/(kT)$ – безрозмірний поверхневий потенціал, e – заряд електрона, φ – поверхневий потенціал, k – стала Больцмана, T – температура, n_i – концентрація носіїв у власному напівпровіднику, Δn – нерівноважна концентрація носіїв, L_D – дебаєвська довжина екранування в домішковому напівпровіднику, E_0 – напруженість електричного поля в центральній частині між порами. Провідність області просторового заряду σ_s можна розрахувати за допомогою першого інтеграла Пуассона:

$$\sigma_s = (e \mu_{sn} n \int_y^0 \exp(y) F^{-1} dy + e \mu_{sp} p \int_y^0 (\exp(-y) F^{-1} dy) / \int_y^0 F^{-1} dy), \quad (10)$$

де $F = L_D dy/dx$, n , p , μ_{sn} , μ_{sp} – концентрації електронів та дірок в квазінейтральному об’ємі та їх рухливості на поверхні.

Залежності ефективної провідності структур макропористого кремнію на монокристалічній підкладці та макропористого шару без підкладки (рис. 1) були розраховані за формулами (3), (5), (8)–(10), (12) та даними таблиці. Струм при

вимірюванні провідності зразків з таблиці протікав перпендикулярно порам. При розрахунку провідності в структурі макропористого кремнію ми використали формулу (12), яка враховує залежність товщини області поверхневого заряду циліндричної макропори від діаметра макропор $w = w(D)$. На рис. 1 наведено також експериментальні дані.

Як видно з рис. 1, ефективна провідність структур макропористого кремнію на монокристалічній підкладці більша за ефективну провідність шару макропористого кремнію без підкладки в перерахунку на однакові розміри зразків. При середній відстані між краями макропор 1,5–2 мкм ефективна провідність починає різко зменшуватися внаслідок того, що середня відстань між макропорами стає меншою за подвійну товщину області просторового заряду. В цьому випадку зменшення ефективної провідності в структурах макропористого кремнію пов'язано з захопленням електронів на поверхневі енергетичні стани (в основному, на акцентори).

4. Область просторового заряду циліндричної макропори

Для розрахунку товщини області просторового заряду циліндричної макропори використаємо рівняння Пуассона в циліндричній системі координат:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial y}{\partial r} \right) = - \frac{\rho}{\varepsilon \varepsilon_0 kT}, \quad (11)$$

де r – радіус, ρ – густина заряду. Запишемо граничні умови для області просторового заряду товщиною w для циліндричної пори діаметром D_p : $E(D_p/2 + w) = 0$, $y(D_p/2 + w) = 0$, $y(D_p/2) = y_s$, де E – напруженість електричного поля, y_s – значення безрозмірного потенціалу на поверхні пори. Інтегруючи (11) та використовуючи вказані вище граничні умови, маємо рівняння

$$\frac{16\varepsilon\varepsilon_0kyT w}{eq_v D_p^2} - 1 + \left(1 + \frac{2w}{D_p}\right)^2 \left(1 - 2 \ln \left(1 + \frac{2w}{D_p}\right)\right) = 0, \quad (12)$$

де густину заряду $\rho = q_v/w$ було визначено через об'ємний заряд q_v , або, якщо це шар повного збіднення, то $\rho = en_0$. З цього рівняння можна знайти товщину області просторового заряду циліндричної пори. Зазначимо, що дебаєвська

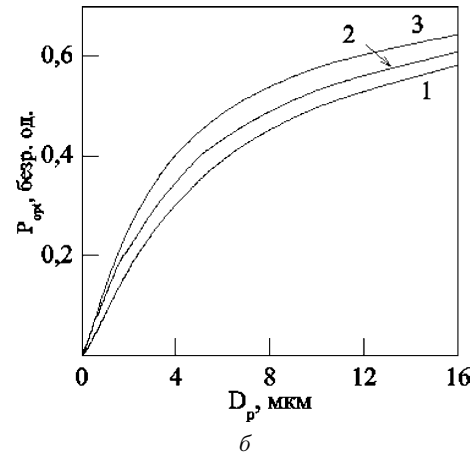
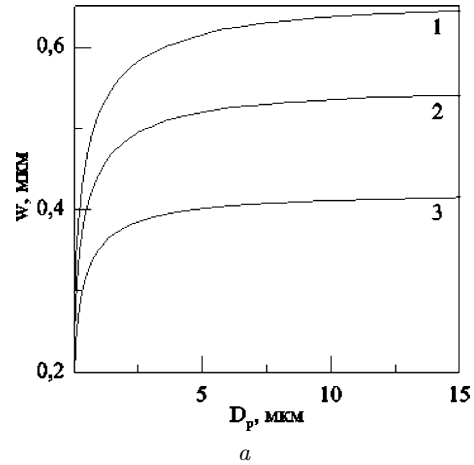


Рис. 2. Залежність товщини області просторового заряду циліндричної макропори від її діаметра для безрозмірного поверхневого потенціалу (а): 1 – 12, 2 – 8, 3 – 4; залежність об'ємної частки макропор від їх діаметра при $a \cdot D_p = 2w$ для безрозмірного поверхневого потенціалу (б): 1 – 12, 2 – 8, 3 – 4

довжина екранування у власному напівпровіднику $L_i = \sqrt{\varepsilon\varepsilon_0kT/(4\pi e^2n_i)}$, де ε – електрична стала, $\varepsilon_0 = 11,68$ – діелектрична проникність кремнію, а також $2\varepsilon\varepsilon_0kTy/(q_v e) = 2yn_0eL_D^2/q_v \approx w_0$, оскільки $q_v = \sqrt{2}en_iL_iF \approx en_0L_D\sqrt{-2y}$, де в напівпровіднику n -типу $F \approx \sqrt{-yn_0/n_i}$.

На рис. 2 наведена розрахована згідно з (12) залежність розміру області просторового заряду циліндричних макропор (а) та об'ємної частки макропор (б) від їх діаметра та безрозмірного поверхневого потенціалу.

Розрахунок виявив розмірний ефект: суттєву залежність товщини області просторового заряду w

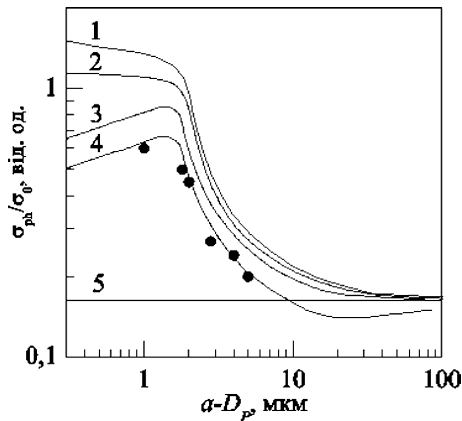


Рис. 3. Експериментальні дані (значки, таблиця) та чисельно розраховані залежності відносної ефективної фотопровідності від середньої відстані між макропорами при швидкості поверхневої рекомбінації s , см/с: 1 – 0 ($N_t = 0$), 2 – 0, 3 – 50, 4 – 90. Крива 5 – відносна фотопровідність в монокристалі. Для кривих 2, 3, 4 $N_t = 10^{10}$ см $^{-2}$. Зразки освітлювались світлом з довжиною хвилі 0,95 мкм та інтенсивністю освітлення $I = 10^{15}$ квант/(см·с)

від діаметра макропор при $D_P < 6$ мкм та пористості – при $D_P < 10$ мкм. При зменшенні радіуса зменшується площа циліндричної макропори і, відповідно, поверхневий заряд. Тому товщина об'ємного заряду, який компенсує поверхневий заряд, буде меншою.

5. Фотопровідність двовимірних структур макропористого кремнію

Для визначення фотопровідності в структурах макропористого кремнію важливою характеристикою є відстань між макропорами $a-D_P$. Для досліджуваних зразків відстань між краями макропор $a-D_P$ менша за довжину дифузії нерівноважних носіїв заряду $L_P \approx 100$ мкм (див. таблицю). Глибина проникнення світла для використаної довжини хвилі 0,95 мкм становить 50 мкм. За таких умов генерацію фотоносіїв можна розглядати як об'ємну. При відстані між макропорами $a-D \leq 2w$ концентрація рівноважних носіїв заряду починає залежати від відстані та швидкості поверхневої рекомбінації s (в шарі, товщина якого дорівнює довжині дифузії). Довжина дифузії визначається часом життя нерівноважних носіїв заряду в об'ємному матеріалі, який можна визначити за кінетикою фотопровідності [3]. За вказаних вище умов середня концентрація фотоносіїв при стаціонарній фо-

топровідності в квазінейтральному об'ємі визначається за формулою

$$\Delta n = \beta \tau I \left(\frac{2s(n_0 + \Delta n, y)\tau}{a - D_P} + 1 \right)^{-1}, \quad (13)$$

де I – інтенсивність освітлення, β – квантовий вихід, рівний за порядком величини одиниці; він враховує, зокрема, відбивання світла від поверхні кристала кремнію, τ – час життя нерівноважних носіїв заряду. Швидкість поверхневої рекомбінації, в свою чергу, залежить від концентрації носіїв n та поверхневого потенціалу y , на які впливає інтенсивність освітлення:

$$s(n, y) = (C_p C_n N_t (n + p_0)) / (C_n (n \exp(y) + n_i \exp(\varepsilon_t)) + C_p (p \exp(-y) + n_i \exp(-\varepsilon_t))), \quad (14)$$

де N_t – концентрація поверхневих електронних станів, C_n і C_p – коефіцієнти захоплення електронів і дірок поверхневими рівнями, $\varepsilon_t = E_t/kT$, E_t – енергія залягання поверхневого рівня, відрахована від середини забороненої зони; $\Delta y = y - y_0$ – зміна безрозмірного потенціалу, пов'язана з фотопереходами між валентною зоною і поверхневими станами. Для випадку, коли на поверхні макропор реалізується вигин зон, що виснажує, зміну безрозмірного потенціалу можна отримати з розв'язування рівняння електронейтральності, тобто заряд поверхневих станів повинен дорівнювати заряду області просторового заряду напівпровідника:

$$\Delta n_t(n, y) = \sqrt{2} n_i L_i \Delta F(n, y), \quad (15)$$

де Δn_t – зміна концентрації електронів на поверхневих рівнях після освітлення, ΔF – зміна функції з першого інтеграла Пуассона. Концентрація електронів на поверхневих рівнях:

$$n_t(n, y) = (N_t (C_n n \exp(y) + C_p n_i \exp(-\varepsilon_t))) / ((C_n (n \exp(y) + n_i \exp(\varepsilon_t)) + C_p (p \exp(-y) + n_i \exp(-\varepsilon_t))). \quad (16)$$

Відносна ефективна фотопровідність була розрахована, використовуючи систему рівнянь (12), (13) та (15), (16).

На рис. 3 наведені експериментальні дані та розраховані залежності відносної ефективної фотопровідності структур макропористого кремнію

від відстані між поверхнею макропор при різній швидкості поверхневої рекомбінації. Для розрахунку використовувались такі параметри поверхневих рівнів: концентрація поверхневих рівнів $N_t = 10^{10} \text{ см}^{-2}$, коефіцієнти захоплення на поверхневий рівень для дірок $C_p = 10^{-11} \text{ см}^3/\text{с}$ та для електронів $C_n = 10^{-5} \text{ см}^3/\text{с}$, безрозмірна енергія активації поверхневого центру, відрахована від середини забороненої зони, $\varepsilon = 5$.

Крива 1 відповідає випадку, коли на поверхні немає поверхневих рівнів, тому вона не має максимуму. Крива 2 враховує поверхневі стани електронів, які накопичують заряд. Накопичення фотоелектронів на поверхні приводить до зменшення їх концентрації в об'ємі, тому зростання фотопровідності уповільнюється. На кривих 3, 4 з'являється максимум для відстані між краями макропор 1,5 мкм. При цьому відносна фотопровідність зростає зі зменшенням відстані між макропорами завдяки зменшенню темної провідності і збільшенню впливу модуляції товщини шару Шотткі при освітленні по відношенню до нейтрального об'єму. З іншого боку, відносна фотопровідність зменшується завдяки зростанню впливу швидкості поверхневої рекомбінації (зменшується час життя фотоносіїв).

Розрахунок (рис. 3, крива 4) відповідає значенню швидкості поверхневої рекомбінації 90 см/с для досліджених зразків макропористого кремнію. Значення швидкості поверхневої рекомбінації отримано при урахуванні концентрації поверхневих центрів для заданої величини енергії та коефіцієнтів захоплення електронів і дірок.

Як видно з рис. 3, при $a-D_P > 10$ мкм структури макропористого кремнію мають мінімум відносної фотопровідності, яка менша за відносну фотопровідність монокристалу. Мінімум відносної фотопровідності зумовлений меншим часом життя в структурах макропористого кремнію, ніж у монокристалі, завдяки додатковій рекомбінації через поверхню макропор.

6. Висновки

При збільшенні концентрації та об'ємної частки макропор ефективна провідність структур макропористого кремнію зменшується. Розрахунок товщини області просторового заряду для циліндричної макропори виявив розмірний ефект: суттє-

ве зменшення товщини області просторового заряду w при зменшенні діаметра макропор при $D_P < 6$ мкм та об'ємної частки макропор – при $D_P < 10$ мкм. При зменшенні радіуса зменшується площа циліндричної макропори і, відповідно, поверхневий заряд; тому товщина об'ємного заряду, який компенсує поверхневий заряд, буде меншою.

Ефективна відносна фотопровідність визначається рекомбінацією та накопиченням заряду на поверхні пор. Розраховані залежності відносної фотопровідності відповідають значенню швидкості поверхневої рекомбінації 90 см/с для досліджених зразків макропористого кремнію. Теоретично показано, що для такої швидкості поверхневої рекомбінації при $a-D_P > 10$ мкм структури макропористого кремнію повинні мати меншу відносну фотопровідність, ніж монокристал, що зумовлено меншим часом життя в структурах макропористого кремнію, ніж в монокристалі.

Автори висловлюють свою щирю подяку професору Анатолію Васильовичу Саченку за надану допомогу та наукову консультацію в теоретичній частині статті.

1. L.A. Karachevtseva, O.A. Lytvynenko, E.A. Malovichko, V.D. Sobolev, and O.L. Stronska, *Semicond. Phys. Quant. Electron. & Optoelectron.* **4**, 40 (2001).
2. L.A. Karachevtseva, and A.V. Lyubchenko, *Ukr. J. Phys.* **43**, 1254 (1998).
3. L.A. Karachevtseva, V.F. Onyshchenko, and A.V. Sачenko, *Ukr. J. Phys.* **53**, 874 (2008).
4. V.F. Onyshchenko, A.V. Sачenko, and L.A. Karachevtseva, *Ukr. J. Phys.* **54**, 1212 (2009).
5. L.A. Karachevtseva, V.F. Onyshchenko, and A.V. Sачenko, *Chemistry, Physics and Technology of Surface* **1**, 87 (2010).
6. L. Karachevtseva, V. Onyshchenko, and A. Sачenko, *Opto-Electronics Review* **18**, 394 (2010).
7. L. Karachevtseva, V. Onishchenko, A. Sukach, and V. Teterkin, *Proceedings of SPIE* **6127**, 61270O.1 (2006).
8. L.A. Karachevtseva, M.I. Karas', V.F. Onishchenko, and F.F. Sizov, *Proceedings of SPIE* **5360**, 381 (2004).
9. V.I. Ivanov, L.A. Karachevtseva, N.I. Karas, O.A. Litvinenko, K.A. Parshin, and A.V. Sачenko, *Semicond. Phys. Quant. Electron. & Optoelectron.* **10**, 72 (2007).
10. L.A. Karachevtseva, O.A. Litvinenko, E.A. Malovichko, and E.I. Stronskaya, *Theor. Exp. Chem.* **36**, 193 (2000).
11. A.B. Саченко, И.О. Соколовский, *ФТП* **42**, 1238 (2008).

Одержано 18.08.12

В.Ф. Онищенко, Л.А. Карачевцева

ПРОВОДИМОСТЬ
И ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ДВУМЕРНЫХ
СТРУКТУР МАКРОПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Резюме

В двумерных структурах макропористого кремния измерена эффективная проводимость и фотопроводимость, а также рассчитана зависимость этих величин от концентрации и диаметра макропор. Установлено, что при увеличении концентрации и объемной доли пор эффективная проводимость структур макропористого кремния уменьшается. Выявлен размерный эффект: существенное уменьшение толщины области пространственного заряда w при уменьшении диаметра макропор (поверхностного заряда). Эффективная относительная фотопроводимость определяется рекомбинацией и накоплением заряда на поверхности пор. Для исследованных структур теоретические зависимости относительной фотопроводимости соответствуют значению скорости поверхностной рекомбинации 90 см/с.

V.F. Onyshchenko, L.A. Karachevtseva

CONDUCTIVITY AND PHOTO-INDUCED
CONDUCTIVITY OF TWO-DIMENSIONAL
MACROPOROUS SILICON STRUCTURES

S u m m a r y

The effective conductivity and the photoconductivity in two-dimensional macroporous silicon structures have been measured, and their dependences on the macropore concentration and diameter have been calculated. The effective conductivity of macroporous silicon structures is found to decrease as the concentration and the volume fraction of pores grow. A size effect was revealed, a significant reduction in the thickness of the space charge region at small macropore diameters (the surface charge) is observed. The effective relative photoconductivity is found to be governed by the charge recombination and accumulation on the pore surface. Theoretical dependences of the relative photoconductivity in the examined structures are found to correspond to a surface recombination rate of 90 cm/s.