ВПЛИВ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ КРЕМНІЮ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ n -MoN/ n -Si

М. М. Солован^{ID}, Г. П. Пархоменко^{ID}, П. Д. Мар'янчук^{ID}

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58012, Україна,
e-mail: h.parkhomenko@chnu.edu.ua

(Отримано 16 квітня 2020 р.; в остаточному вигляді — 22 жовтня 2020 р.; прийнято до друку — 28 жовтня 2020 р.;
опубліковано онлайн — 24 січня 2021 р.)

Виготовлено гетероструктури MoN/ n -Si методом реактивного магнетронного напылення тонких плівок нітриду молибдену на підкладки n -Si з різною обробкою поверхні. Показано вплив обробки підкладок Si на електричні властивості гетероструктур. Досліджено їхні темнові вольт-амперні характеристики за кімнатної температури. Установлено, що основними механізмами струмопереносу під час прямого зміщення є генераційно-рекомбінаційний і тунельно-рекомбінаційний, під час зворотних зміщень — тунелювання.

Ключові слова: гетероструктура, MoN, Si, нанодропи, механізми струмопереносу.

DOI: <https://doi.org/10.30970/jps.25.1702>

I. ВСТУП

Кремній — другий за поширеністю після кисню матеріал на планеті. Крім того, він є найбільш вивченим напівпровідниковим матеріалом. Масове застосування знайшов в електронних приладах та сонячній енергетиці. Виготовлені на його основі сонячні елементи з використанням гомогенного p — n -переходу є найпростішими фотоелектричними перетворювачами.

Особливий інтерес становить перетворення сонячної енергії через її майже незгасні запаси. Більшість сучасних сонячних елементів базуються на монокристалічному кремнії, але зростає зацікавлення тонкоплівковими сонячними елементами, а також високо-ефективними та недорогими сонячними елементами на основі наноструктур [1–4].

Тонкі плівки нітриду молибдену (MoN), які мають високу електричну провідність, високу температуру плавлення й хорошу хімічну стабільність, знайшли успішне практичне застосування як дифузійний бар'єр між кремнієм і мідними електродами в мікроелектроніці [5, 6], а також завдяки своїм фізичним властивостям є перспективними для виготовлення поверхнево бар'єрних структур.

У [7] показано, що робота виходу електронів у тонких плівках MoN_x, нанесених на підкладки окисленого кремнію (SiO₂/Si) методом реактивного магнетронного розпилення змінюється від 4.6 до 5.1 eV, залежно від співвідношення тисків робочих газів (аргону й азоту). Відомо, що під час контакту з матеріалом, який має більший вихід електронів, ніж у кремнії n -типу провідності, створюватиметься потенціальний бар'єр. Тому, враховуючи фізичні властивості плівок MoN, цікаво створити та дослідити поверхнево бар'єрні структури MoN/ n -Si.

З аналізу літературних джерел відомо, що прилади на основі нітридів металів мають високу стабільність параметрів, а також, що фізичні властивості нітридів

металів дуже залежать від технології їх отримання [8–10].

Незважаючи на досягнення в технології виготовлення ефективних та стабільних приладів на основі нітридів металів, дослідженню їхніх електричних і фотоелектричних властивостей приділяють недостатньо уваги, що зумовлено складністю інтерпретації експериментальних результатів унаслідок впливу електрично-активних поверхневих станів, розміщених на гетерограниці, густина яких змінюється під впливом зовнішніх чинників [11]. Ця обставина негативно впливає на подальше поліпшення параметрів напівпровідникових гетероструктур і їх практичне використання.

Тому виготовлення та дослідження електричних і фотоелектричних параметрів поверхнево бар'єрних структур на основі нітридів металів становить значний інтерес.

II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Для створення гетеропереходів використовували підкладки монокристалічного кремнію n -типу провідності з орієнтацією (100) (фірма виробник SIEGERT WAFER GmbH). Значення питомої електропровідності та концентрація носіїв заряду кристалів при кімнатній температурі (295 K) становили $\sigma = 1 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ і $n = 4.7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ відповідно. Підкладку 1 використовували без обробки поверхні (попередні дослідження для зразка 1 наведено в [10]). На підкладці 2 були вирошені нанодропи за допомогою наночасток срібла. Перед вирощуванням нанодропів кремнієві підкладки протравлювали в розчині сірчаної кислоти та 30% перекису водню (H₂O₂) у співвідношенні (3:1) для видалення органічних забруднень. Після очистки кремнієві зразки занурювали у водні розчини 0.02M AgNO₃ і 5M плавикової кислоти (HF) у співвідношенні (1:1) на 5–10 секунд для того, щоб наночастки срібла осі-

ли на підкладки. Наступним кроком було травлення кремнієвих підкладок із наночастками срібла в розчині 5М HF і 30% (H_2O_2) у співвідношенні (10:1) для створення нанодротів. Останній етап — це витравлення наночасток срібла з підкладки за допомогою азотної кислоти. Підкладку 3 після вирощення нанодротів протравлювали в 5% розчині HF у бідистильованій воді протягом 2 хв для зняття власного окислу.

Наносили плівки MoN на вище перераховані підкладки Si (типорозміром $5 \times 5 \times 0.33 \text{ мм}^3$) в універсальній вакуумній установці Leybold-Heraeus L560 за допомогою реактивного магнетронного розпилення мішені чистого молібдену в атмосфері суміші аргону й азоту за постійної напруги.

Підкладки розміщували над магнетроном із подальшим обертанням столика для забезпечення однорідності плівок за товщиною. Перед початком нанесення вакуумну камеру відкачували до залишкового тиску $5 \cdot 10^{-5}$ мбар. Для наплення плівок MoN молібденову мішень (99.99%) (шайба діаметром 100 мм і товщиною 5 мм) розміщували на столику магнетрона з водяним охолодженням на відстані 7 см від підкладок.

Протягом наплення парціальні тиски у вакуумній камері становили $\approx 3 \cdot 10^{-3}$ мбар для аргону і $\approx 3 \cdot 10^{-3}$ мбар для азоту. Встановлена потужність магнетрона ≈ 30 Вт. Наплення тривало ≈ 1.5 хвилини за температури підкладок ≈ 473 К, товщина плівок MoN становила ≈ 100 нм.

Закінчивши наплення тонких плівок MoN, вакуумну камеру поступово охолодили до кімнатної температури й відкрили для заміни молібденової мішені на мішень ІТО ($\text{In}_2\text{O}_3\text{--SnO}_2$ 90 : 10 за масою). Напилювали тонкі плівки ІТО методом магнетронного розпилення мішені ІТО в атмосфері аргону за постійної напруги. Протягом наплення тиск аргону у вакуумній камері становив $\approx 4 \cdot 10^{-3}$ мбар. Установлена потужність магнетрона ≈ 30 Вт. Наплення тривало ≈ 5 хв за температури підкладок ≈ 420 К, товщина плівок ІТО становила ≈ 150 нм.

Омічні контакти до n -Si отримано за допомогою попереднього легування фосфором тильної поверхні підкладки, що привело до утворення n^+ -ділянки. Після обробки на поверхню послідовно наносили шари хрому й нікелю через термічне випаровування.

Вольт-амперні характеристики досліджуваних гетероструктур вимірювали за стандартною методикою з використанням точного фемто/піко амперметра Keysight B2985A з убудованим джерелом (± 1000 В), а в ролі вольтметра використовували Agilent 34410A. Вимірювали вольт-фарадні характеристики гетероструктур за допомогою LCR Meter BR2876.

III. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

На рисунку 1 наведено темнові вольт-амперні характеристики гетероструктур MoN/ n -Si створених на підкладках із різною обробкою поверхні. У таблиці 1 подано визначені з вольт-амперних характеристик

основні параметри гетеропереходів: значення висоти потенціального бар'єра φ_0 і значення послідовного опору даних гетеропереходів R_S .

Рис. 1. Прямі гілки ВАХ гетеропереходів MoN/ n -Si. 1 — без обробки поверхні Si, 2 — вирощені нанодроти Si, 3 — вирощені нанодроти Si і травлена в HF.

Fig. 1. Forward branches of the $I - V$ characteristic of heterojunctions MoN/ n -Si. 1 — without Si surface treatment, 2 — growing Si nanowire, 3 — growing Si nanowire and etched in HF.

Зразок	φ_0 , eV	R_S , Ом
1 — без обробки поверхні Si	0.37	27.5
2 — вирощенні нанодроти S	0.13	126
3 — вирощенні нанодроти Si і травлена в HF.	0.3	24

Табл. 1. Таблица 1. Параметры гетеропереходів MoN/ n -Si.
Table 1. Parameters of MoN/ n -Si heterojunctions.

Рис. 2. Прямі гілки ВАХ гетеропереходів MoN/ n -Si в напівлогарифмічному масштабі. 1 — без обробки поверхні Si, 2 — вирощені нанодроти Si, 3 — вирощені нанодроти Si і травлена в HF.

Fig. 2. Forward branches of the $I - V$ characteristic of MoN/ n -Si heterojunctions on a semilogarithmic scale. 1 — without Si surface treatment, 2 — growing Si nanowire, 3 — growing Si nanowire and etched in HF.

Вирощування нанодротів у зразку 2 приводить до зростання послідовного опору, що може бути зумовлено утворенням власного окислу кремнію в процесі витравлення наночасток срібла в азотній кислоті, це

підтверджується зменшенням послідовного опору після травлення власного окислу в плавиковій кислоті в зразку 3. Висота бар'єра своєю чергою зменшується після вирощування нанодротів, що може бути спричинено "заліковуванням" поверхневих станів на межі розділу власним окислом, який утворюється під час витравлення наночасток срібла в азотній кислоті. Після витравлення власного окислу поверхневі стани стають електрично активними і впливають на висоту бар'єра. Аналіз побудованих у напівлогаритмічному масштабі прямих гілок ВАХ структур MoN/n-Si (рис. 2) показав, що на залежності $\ln I = f(V)$ спостерігаються дві прямолінійні ділянки — це свідчить про експоненційну залежність струму від напруги. Отримане значення коефіцієнта неідеальності n для ділянки напруг ($3kT/e < V < 0.2$ В) наближається до 2, а для ділянки напруг ($0.2 < V < 0.4$ В) $n \sim 6$. Такі значення показника неідеальності свідчать про домінування за малих зміщень генераційно-рекомбінаційного механізму струмопереносу, а за зміщень $V > 0.2$ В таке значення показника неідеальності свідчить про домінування тунельно-рекомбінаційного механізму струмопереносу [12,13]. Видно, що обробка поверхні не впливає на механізми струмопереносу в гетеропереводах MoN/n-Si.

Рис. 3. Залежності $\ln(I_{rev}) = f(\phi_0 - eV)^{-1/2}$, які характеризують тунелювання через досліджувані гетеропереходи під час зворотного зміщення. 1 — без обробки поверхні Si, 2 — вирощені нанодроті Si, 3 — вирощені нанодроті Si і травлена в HF.

Fig. 3. Dependencies $\ln(I_{rev}) = f(\phi_0 - eV)^{-1/2}$, characterizing the tunneling through the investigated heterojunctions at reverse bias. 1 — without Si surface treatment, 2 — growing Si nanowire, 3 — growing Si nanowire and etched in HF.

Проведений аналіз механізмів струмопереносу через досліджувані гетероструктури MoN/n-Si під час зворотного зміщення показав, що залежність $I_{rev}(V)$ добре описується в межах тунельної моделі струмопереносу (рис. 3), а хід кривої 3 на рис. 3 (вирощені нанодроті і травлена в HF) відхиляється від інших. Це зумовлено швидшим зростанням зворотного струму зі збільшенням зворотної напруги, що може бути зумовлено впливом великої кількості електрично активних поверхневих станів у наноструктурованому непасивованому кремнію, тобто відбувається тунелю-

вання електронів через енергетичні рівні, створені поверхневими станами на гетеромежі. Оскільки гетеропереходи MoN/n-Si з нанодротами і травлені в HF мали дещо кращі параметри буде доцільно дослідити їх більш детальніше.

А. Аналіз ВАХ та ВФХ для зразків 3

Величину послідовного опору гетероструктури визначено з нахилу вольт-амперних характеристик $R_s = 24$ Ом. Відсутність температурної залежності послідовного опору свідчить про виснаження донорного рівня базового матеріалу в досліджуваному інтервалі температур. Прямі гілки вольт-амперних характеристик гетероструктур за різних температур. Температурна залежність висоти потенціального бар'єра (рис. 4, вставка) добре описується рівнянням $\phi_0(T) = \phi_0(0) + \beta_\phi T$, де $\beta_\phi = -2.28 \cdot 10^{-3}$ eV · K⁻¹ — температурний коефіцієнт висоти потенціального бар'єра, а $\phi_0(0) = 0.97$ eV — значення висоти потенціального бар'єра досліджуваної гетероструктури за абсолютного нуля температури.

Рис. 4. Прямі гілки ВАХ гетеропереходів MoN/n-Si в напівлогаритмічному масштабі для 3 гетероструктури.

Fig. 4. Forward branches of the I - V characteristic of MoN / n-Si heterojunctions on a semilogarithmic scale for heterostructure 3.

Для встановлення домінантних механізмів струмопереносу в гетеропереході MoN/n-Si прямі гілки вольт-амперних характеристик були побудовані в напівлогаритмічних координатах з урахуванням послідовного та шунтувального опорів (рис. 4). Видно, що вольт-амперні характеристики апроксимуються прямими лініями, що вказує на експоненційну залежність струму від напруги. Значення показника неідеальності в інтервалі прямих зміщень $3kT < V < 0.15$ В близьке до двійки ($n \approx 2$) і не залежить від температури, а це дає змогу припустити, що основний механізм струмопереносу визначається генераційно-рекомбінаційними процесами в ділянці просторового заряду, і струм описується виразом Саа-Нойса-Шоклі [14]:

$$I_{gr} = I_{gr}^0 \left(\exp \left[\frac{e \frac{V - IR_s}{IR_s}}{nkT} \right] - 1 \right), \quad (1)$$

де $I_{gr}^0 = \frac{en_i S}{2\tau} W$ — генераційно-рекомбінаційний струм відсічки за $V = 0$, n_i — концентрація власних носіїв заряду; S — площа гетеропереходу; W — ширина ОПЗ, а τ — ефективна тривалість життя нерівноважних носіїв у ній. А за напруг ($V > 0.15$ В) значення показника неідеальності $n > 2$ за різних температур указує на домінування тунельного механізму струмопереносу в досліджуваному діапазоні температур (рис. 4). Проведений аналіз механізмів струмопере-

Рис. 5. Залежності $\ln(I_{rev}) = f(\phi_0 - eV)^{-1/2}$, які характеризують тунелювання через досліджуваний гетероперехід при зворотньому зміщенні для 3 гетероструктури.

Fig. 5. Dependencies $\ln(I_{rev}) = f(\phi_0 - eV)^{-1/2}$, characterizing the tunneling through the investigated heterojunction at reverse bias for 3 heterostructure.

носу через досліджувану гетероструктуру MoN/*n*-Si під час зворотного зміщення показав, що залежність $I_{rev}(V)$ добре описується в межах тунельної моделі струмопереносу внаслідок дуже малих теплових складників [15]. Визначена з нахилу $\ln \alpha_0 = f(10^3/T)$ глибина залягання енергетичних рівнів, з яких відбувається тунелювання, становить 0.4 еВ (вставка рис. 5), такі глибокі рівні у кремнію можуть бути зумовлені залишками срібла, яке продифундувало у кремній, оскільки глибина залягання енергетичних рівнів у кремнію, утворених домішками срібла, дорівнює 0.36 еВ [16].

В. Вольт-фарадні характеристики

На вставці рис. 6 зображено вольт-фарадні характеристики гетеропереходів MoN/*n*-Si, виміряні за кімнатної температури на різних частотах за малої амплітуди (10 мВ) змінного струму. Знаємо, що частина прикладеної постійної напруги спадає на послідовному опорі, тому враховано його вплив $V_{cor} = V - IR_s$.

Відомо, що поверхневі стани впливають на вимірну ємність C_m тільки на низьких частотах, а вплив

послідовного опору спостерігається за високих частот [17,18]. Побудувавши виміряні ВФХ у координатах Мотта-Шоттки, бачимо прямолінійні ділянки, які паралельно зсуваються зі збільшенням частоти (рис. 6). Така залежність ємності досліджуваного гетеропереходу від частоти змінного сигналу зумовлена впливом його послідовного опору. Тому для правильного аналізу виміряних вольт-фарадних характеристик потрібно враховувати зазначені особливості.

Рис. 6. Вольт-фарадні характеристики гетероструктури MoN/*n*-Si в координатах Мотта-Шоттки. На вставці вольт-фарадні характеристики гетероструктури MoN/*n*-Si за кімнатної температури.

Fig. 6. Capacitance-voltage characteristics of the MoN/*n*-Si heterostructure in the Mott-Schottky coordinates. The inset shows the capacitance-voltage characteristics of the MoN/*n*-Si heterostructure at room temperature.

Рис. 7. Вольт-фарадні характеристики гетероструктури MoN/*n*-Si за частоти 1 МГц: а) вимірною ємності C_m ; б) ємності з врахуванням впливу послідовного опору. На вставці зображено спрощену еквівалентну схему гетеропереходу.

Fig. 7. Capacitance-voltage characteristics of the MoN/*n*-Si heterostructure at a frequency of 1 MHz: a) measured capacitance C_m ; b) capacitance taking into account the effect of series resistance. The inset shows a simplified equivalent circuit for the heterojunction.

Оскільки впливом поверхневих станів нехтують за частоти 1 МГц, то можна аналізувати ВФХ у цій ділянці частот за спрощеною еквівалентною схемою

(вставка на рис. 7). Значення бар'єрної ємності гетеропереходу C розраховуємо за допомогою формули (2).

$$C = \left[\frac{C_m^{-2} - 2R_S^2\omega^2 - \sqrt{(C_m^{-2} - 2R_S^2\omega^2)^2 - 4R_S^4\omega^4}}{2R_S^4\omega^4} \right]^{1/2}. \quad (2)$$

На рис. 7 показано ВФХ в координатах Мота-Шоткі $(S/C)^2 = f(V - IR_s)$ для вимірної (крива а) і для коректованої (крива б) ємностей за частоти 1 МГц. Проводячи екстраполяцію лінійних ділянок за малих зворотних зміщень до перетину з віссю напруг, визначаємо величину вбудованого потенціалу, яка становила: $V'_{bi} = 1.02$ еВ для кривої (а) і $V_{bi} = 0.62$ еВ для кривої (б).

Рис. 8. Темнова і світлова вольт-амперна характеристика гетеропереходу MoN/*n*-Si в напівлогаритмічних координатах.

Fig. 8. Dark and light current-voltage characteristics of the MoN/*n*-Si heterojunction in semilogarithmic coordinates.

Враховуючи, що ділянка просторового заряду є практично повністю в напівпровіднику Si, залежність бар'єрної ємності від напруги можна виразити такою формулою:

$$C = S \sqrt{\frac{e^2 \epsilon_n \epsilon_0 (N_D - N_A)}{2(\varphi_0 - e(V - IR_s))}}, \quad (3)$$

де S — площа гетеропереходу. Концентрацію некомпенсованих донорів можна визначати за нахилом із

залежності Мотта-Шотткі:

$$N_D - N_A = -\frac{2}{S^2 e \epsilon_n \epsilon_0 \Delta(V - IR_s) \Delta C^{-2}}. \quad (4)$$

Визначені концентрації носіїв заряду в базовому матеріалі для прямолінійної ділянки (рис. 7, крива б): $2,34 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

На рисунку 8 показано темнову та світлову вольт-амперні характеристики гетеропереходу MoN/*n*-Si. Зі світлової вольт-амперної характеристики були визначені такі параметри: напруга ялового ходу $V_{oc} = 0.13$ В, струм короткого замикання $I_{sc} = 0.54 \text{ мА/см}^2$ за інтенсивності освітлення 80 мВт/см^2 .

IV. ВИСНОВКИ

Виготовлено гетероструктури MoN/*n*-Si осадженням тонких плівок MoN на підкладки *n*-Si з різною обробкою поверхні методом реактивного магнетронного напылення. Досліджено електричні властивості гетеропереходів MoN/*n*-Si за кімнатної температури.

Установлено, що вирощення нанодотів призводить до деякого погіршення електричних властивостей і зонних параметрів гетеропереходів MoN/*n*-Si, проте подальше травлення в HF позитивно впливає на електричні властивості й зонні параметри гетероструктур. Механізми проходження струму через гетеропереходи не змінюються.

Установлено, що електричний струм через досліджувані гетероструктури за невеликих прямих зміщень зумовлений генераційно-рекомбінаційними процесами в ділянці просторового заряду, основним механізмом струмопереносу при більших прямих зміщеннях є тунельно-рекомбінаційний.

Основним механізмом струмопереносу за зворотних зміщень для гетероструктур MoN/*n*-Si є тунелювання через ділянку просторового заряду. Показано, що послідовний опір для гетероструктур з вирощеними нанодотами і травленими в HF суттєво впливає на їхні вольт-фарадні характеристики.

Визначено основні фотоелектричні параметри гетероструктур MoN/*n*-Si з вирощеними нанодотами і травленими в HF, а саме напруга ялового ходу $V_{oc} = 0.13$ В, струм короткого замикання $I_{sc} = 0.54 \text{ мА/см}^2$ за інтенсивності освітлення 80 мВт

- [1] B. Hoffmann *et al.*, in *Nanowires – Recent Advances* (InTech, 2012), p. 211; <https://doi.org/10.5772/52585>.
- [2] H. P. Parkhomenko, M. N. Solovan, P. D. Maryanchuk, *Semiconductors* **52**, 859 (2018); <https://doi.org/10.1134/S1063782618070163>.
- [3] V. Schmidt, J. V. Wittemann, S. Senz, U. Gösele, *Adv.*

Mater. **21**, 2681 (2009); <https://doi.org/10.1002/adma.200803754>.

- [4] C. K. Chan *et al.*, *Nat. Nanotechnol.* **3**, 31 (2008); <https://doi.org/10.1038/nnano.2007.411>.
- [5] C. Jui-Chang, T. Shuo-Lun, C. Mao-Chieh, *Thin Solid Films* **346**, 299 (1999); [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(98\)01728-3](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(98)01728-3).

- [6] P. Alén, M. Ritala, K. Arstila, J. Keinonen, M. Leskelä, J. Electrochem. Soc. **152**, G361 (2005); <https://doi.org/10.1149/1.1882012>.
- [7] T. Bing-Yue, H. Chih-Feng, L. Chih-Hsun, Appl. J. Electrochem. Soc. **153**, G197 (2006); <https://doi.org/10.1149/1.2158576>.
- [8] G. Gagnon *et al.*, J. Appl. Phys. **75**, 1565 (1994); <https://doi.org/10.1063/1.356392>.
- [9] Г. В. Самсонов, *Нитриды* (Наукова думка, Киев, 1969).
- [10] М. М. Солован, П. Д. Мар'янчук, Радіофіз. електрон. **24**, 49 (2019).
- [11] L. Zhao *et al.*, Adv. Electron. Mater. **3**, 1700373 (2017); <https://doi.org/10.1002/aelm.201700373>.
- [12] A. L. Fahrenbruch, R. H. Bube, *Fundamentals of solar cells. Photovoltaic solar energy conversion* (Academic Press, New York, 1983).
- [13] B. L. Sharma, R. K. Purohit, *Semiconductor Heterojunctions* (Pergamon, Oxford, 1974; Sov. Radio, Moscow, 1979).
- [14] M. N. Solovan *et al.*, Semicond. Sci. Technol. **29**, 015007 (2013); <https://doi.org/10.1088/0268-1242/29/1/015007>.
- [15] Э. Х. Родерик, *Контакты металл-полупроводник* (Радио и связь, Москва, 1982).
- [16] S. M. Sze, K. K. Ng, *Physics of Semiconductor Devices* (Wiley, New York, 2007).
- [17] Л. С. Берман, *Емкостные методы исследования полупроводниковых приборов* (Наука, Ленинград, 1972).
- [18] V. Brus, Aung Ko Ko Kyaw, P. D. Maryanchuk, Jie Zhang Prog. Photovolt. Res. Appl. **23**, 1526 (2015); <https://doi.org/10.1002/pip.2586>.

THE EFFECT OF SILICON SURFACE TREATMENT ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF n -MoN/ n -Si HETEROJUNCTIONS

M. M. Solovan, H. P. Parkhomenko, P. D. Marianchuk
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
2, Kotsyubynskyj St., Chernivtsi, 58012, Ukraine,
e-mail: h.parkhomenko@chnu.edu.ua

MoN/ n -Si semiconductor heterojunctions were fabricated by sputtering thin films of molybdenum nitride using the reactive magnetron sputtering in a universal vacuum system Leybold–Heraeus L560 on silicon substrates 5x5x0.3 mm in size, at a temperature of 473 K, with different surface treatment (growing nanowires using a chemical method). We have measured current-voltage (at different temperatures) and capacitance-voltage characteristics. It has been established that growing nanowires leads to some deterioration in the electrical properties and band parameters of MoN/ n -Si heterojunctions; however, further digestion in HF positively affects the electrical properties and band parameters of heterostructures. The mechanisms of the current flow through heterojunctions do not change.

It has been established that the electric current flowing through the studied heterostructures at small forward biases is caused by the generation-recombination processes in the region of the spatial nucleus; the main mechanism of the current transfer is the tunneling-recombination. The main mechanism of the current transport at reverse biases for MoN/ n -Si heterostructures is tunneling through the space charge region.

A detailed analysis of the capacitance–voltage characteristics of the MoN/ n -Si heterostructures with surface treatment was carried out. It was shown that the series resistance for heterostructures with grown nanowires and etched in HF significantly affects their capacitance–voltage characteristics.

The main photoelectric parameters of MoN/ n -Si heterostructures with grown nanowires and etched in HF were determined, namely, the open circuit voltage $V_{oc} = 0.13$ V, the short circuit current $I_{sc} = 0.54$ mA/cm² at a light intensity of 80 mW/cm².

Key words: heterostructure, MoN, Si, nanowires, current transport.