

С.І. Драпак, З.Д. Ковалюк

Електричні та фотоелектричні властивості гетеросистем напівпровідник - мумійо

*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
Чернівецьке відділення, вул. І.Вільде, 5, м. Чернівці, 58001, Україна, E-mail: drapak@unicom.cv.ua*

Показана можливість використання біологічно активної речовини природного походження – мумійо для створення випрямляючих фоточутливих структур. Досліджено електричні властивості гетеросистем напівпровідник (*n*-InSe, *n*-Si) – плівка мумійо. Показано, що спектри відносної квантової ефективності фотоперетворення таких структур знаходяться у кореляції із спектрами оптичного пропускання плівок мумійо.

Ключові слова: напівпровідник, біологічно активна речовина природного походження, вольт-амперні характеристики, спектри відносної квантової ефективності фотоперетворення, спектри пропускання

Стаття поступила до редакції 30.06.2006; прийнята до друку 15.09.2006.

Вступ

Створення нових типів гетеропереходів на основі неорганічних напівпровідників і речовин різноманітної природи є одним із актуальних напрямків сучасної оптоелектроніки [1]. Нещодавно було виявлено можливість створення гібридних структур, які становлять безпосередній контакт між неорганічним напівпровідником і рядом речовин біологічної природи [2-6]. В даному повідомленні наведено перші результати дослідження електричних та фотоелектричних властивостей гетеросистем (ГС) напівпровідник (InSe, Si) з біологічно активною речовиною природного походження – мумійо.

I. Загальні відомості про хімічний склад мумійо

Мумійо (М), здавна відоме своїми цілющими властивостями [7], становить собою складну за хімічним складом речовину, яка утворюється в пустотах, нішах і тріщинах скал у вигляді плівок, шкірок і наростів смолоподібної маси з домішками піску і щебеня. Очищене від домішок і екстраговане М – однорідна маса темно-коричневого кольору, еластичної консистенції, із блискучою поверхнею, своєрідним запахом і гіркуватим смаком. В своєму складі М має органічну і неорганічну частини і містить: близько 30 макро- і мікроелементів (Cu, Zn, Co, Mn та ін.), 10 різних окислів металів, силікатні групи SiO₂, фосфорний ангідрид, комплекс

органічних та мінеральних речовин (зоомеланос-видні, гумінові, фульво- і амінокислоти, терпеноїди, стероїди, вітаміни груп В і Р, поліфенольні з'єднання). В результаті комплексних досліджень в інституті геохімії і аналітичної хімії ім. Вернадського виведено єдина формула для різних зразків мумійо: CaSi[(K,Na)C₄H₁₀CH₂O]. Згідно цієї хімічної формулі гірський бальзам – М становить собою своєрідний природний мінерал зі стабільною органічною частиною молекули.

II. Експериментальні результати та їх обговорення

У якості вихідного матеріалу для створення ГС використовувалося мумійо очищене, яке випускається ТОВ “Біовіт” (м. Бішкек, Республіка Киргизія; ТУ 9358-003-22588590-2001) у якості лікарського препарату. Для виготовлення фронтальних шарів органічної речовини на поверхні напівпровідникових підкладинок використовувалися спиртовий і водний розчини М. Причому фоточутливі випрямляючі структури напівпровідник – М реалізовано лише в системах *n*-InSe – плівка органічної речовини, отримана із спиртового розчину, і *n*-Si – плівка М, отримана із водного розчину. Для створення ГС *n*-Si – М використовувався кремній марки КЕФ-4.5. Нанесення М на поверхню інших напівпровідників (*p*-Si, *p*-GaSe, *n*-In₂Se₃, *p*-Bi₂Te₃, *n*-Bi₂Se₃ та ін.) не призводило до утворення фоточутливих діодних структур. Плівки М на поверхні напівпровідникових підкладинок було

отримано одним із найбільш розповсюджених і дешевих методів – методом центрифугування (spin-coating) [8]. Полімеризація плівок органічної речовини відбувалася при кімнатній температурі. Товщина, отриманих таким чином шарів М коливалася у межах 12÷30 мкм, а їх питома провідність становила $\cong 10^{-8} \div 10^{-9} \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ при кімнатній температурі. Для забезпечення високої якості гетерограниці в ГС М-n-InSe шар окислу з поверхні Si не видалявся [9]. У якості струмовивідних контактів із сторони органічної речовини використовувалося срібло.

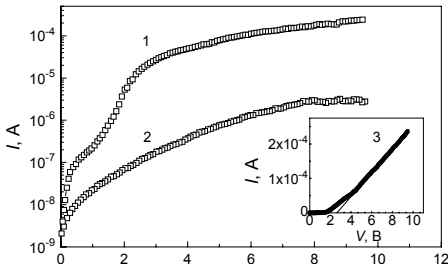


Рис. 1. Прямі (1, 3) і обернена (2) вітки стаціонарної вольт-амперної характеристики структури n-InSe-M. Площа плівки М на поверхні напівпровідника $S_M = 0,45 \text{ см}^2$, металевого контакту із сторони органічної речовини $S_{Ag} = 0,08 \text{ см}^2$. $T = 287 \text{ К}$.

Як засвідчили вимірювання стаціонарних вольт-амперних характеристик (ВАХ), одержані структури володіють чітким ефектом випрямлення: при зміщенні $|V| = 2 \div 3 \text{ В}$ прямий струм перевершує обернений не менш, ніж в $\sim 10^2$ для ГС n-InSe – М (рис. 1, криві 1, 2), і ~ 10 раз для ГС n-Si – М (рис. 2, крива 1). Причому пропускний напрямок відповідає мінусу зовнішнього зміщення на шарі органічної речовини для структур, в яких фронтальний шар створювався із водного розчину М, і на напівпровіднику для структур, в яких плівки М було отримано із спиртового розчину. Цей факт може свідчити про різний хімічний склад плівок М, отриманих із спиртового і водного розчинів, тим більше, що при розчиненні М у спирті частина органічної речовини розчиняється, а інша - випадає на дно посуду у вигляді крупинок різного розміру і форми. У цей же час у бідистильованій воді М розчиняється майже повністю. Початкові ділянки прямих віток ГС n-InSe - плівка М, отримана із спиртового розчину, при напрузі $V \leq 2,2 \div 2,5 \text{ В}$ (рис. 1, крива 1) з урахуванням послідовного диференційного опору при $T = 287 \text{ К}$ мають три різних ділянки: в області низьких зміщень ($V \leq 0,2 \text{ В}$) $I = I_0 1 \exp(eV/nkT)$, де діодний коефіцієнт $n = 2$; при $0,2 \leq V \leq 1,2 \div 1,4 \text{ В}$ $I = I_0 2 \exp(\alpha V + \beta T)$, де α і β – параметри, які не залежать від напруги і температури, і при $1,2 \div 1,4 \leq V \leq 2,2 \div 2,5 \text{ В}$ $I = I_0 3 \exp(eV/nkT)$, де $n \cong 1$. Подібна залежність струму від напруги характерна для гетеропереходів, що відповідають моделі Андерсона, на основі

неорганічних напівпровідників, для яких, у загальному випадку, прямий струм становить собою суму рекомбінаційного в області просторового заряду (ОПЗ) I_{gr} , тунельного I_t , і надбар'єрного I_d [10]. Однак при зміні температури у діапазоні $T = 220 - 303 \text{ К}$ залежність $I = f(V)$ зміщується паралельно до ВАХ при $T = 287 \text{ К}$ (рис. 1, крива 1). З другого боку, початкові ділянки прямих віток ВАХ

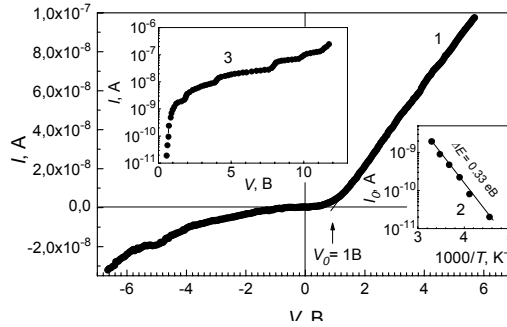


Рис. 2. Стаціонарна вольт-амперна характеристика структури n-Si-M (крива 1) при $T = 289 \text{ К}$. На вставках: температурна залежність прямого струму при постійному зміщенні $0,5 \text{ В}$ (крива 2) і обернена вітка ГС n-Si-M у напівлогарифмічному масштабі (крива 3). Площа плівки М на поверхні напівпровідника $S_M = 0,45 \text{ см}^2$, металевого контакту із сторони органічної речовини $S_{Ag} = 0,09 \text{ см}^2$.

структур n-InSe-M подібні до залежності $I = f(E)$ для газів [11], где E – напруженість електричного поля. Згідно [12], органічні речовини, які володіють напівпровідниковими властивостями, більше нагадують молекулярний газ, аніж тверде тіло. Ця обставина може свідчити про те, що початкові ділянки прямих віток ВАХ у даному випадку відображають процес струмопереносу в ОПЗ, зміщеної у органічну речовину. Початкові ділянки прямих віток ВАХ ГС n-Si - плівка М, отримана із водного розчину, при напрузі $V \leq 0,8 \text{ В}$ описуються характерним для діодних структур на основі неорганічних напівпровідників виразом [13]: $I = I_0 \exp(eV/nkT)$, де діодний коефіцієнт $n \gg 1$ ($n \cong 8,5$) при кімнатній температурі. Це факт дозволяє зробити припущення, що в таких структурах струмоперенесення у прямому напрямку, як і для переважної більшості гібридних структур на основі штучно синтезованих органічних з'єднань [14, 15], визначається тунельно-рекомбінаційним механізмом. Причому I в області прямих зміщень до $V \leq 0,8 \text{ В}$ для таких структур змінюється з температурою близько до закону $I \sim \exp(-E_a/kT)$, а значення енергії активації становить $E_a \cong 0,32 \div 0,34 \text{ еВ}$ для різних зразків (рис. 2, крива 2). Перебудована в координатах $\lg I = f(T) - 1/4$ температурна залежність прямого струму для ГС n-Si - плівка М, отримана із водного розчину, при $V \leq 0,8 \text{ В}$ є лінійною (рис. 3), тобто виконується закон Мотта [16]:

$$I = I_0 \exp[-(T_0/T)^{1/4}], \quad (1)$$

$$T_0 = \delta(kg(EF)a^3) - 1, \quad (2)$$

де $g(EF)$ – густина станів на рівні Фермі, k – постійна Больцмана, a – радіус локалізації електрона, δ – постійна, яка розраховується на основі теорії протікання (для трьохвимірної задачі $\delta = 21$). Така залежність струму від температури свідчить про реалізацію стрибкової провідності із змінною довжиною стрибка по станам поблизу рівня Фермі у

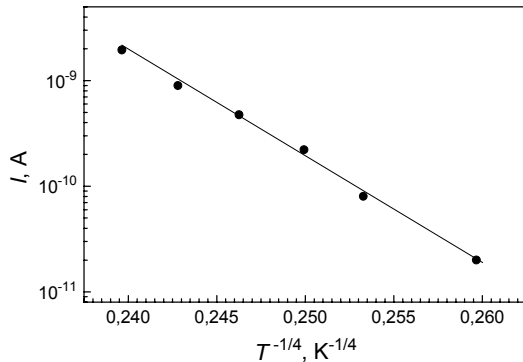


Рис. 3. Температурна залежність прямого струму при $V \leq 0,8$ В для ГС n-Si – М в координатах $\lg I = f(T)^{-1/4}$.

збідненій області, яка локалізована в органічній речовині. Із експериментальних даних отримано значення $T_0 = 0,85 \cdot 10^8$ К, $g(EF) = 2,023 \cdot 10^{17}$ $\text{эВ}^{-1} \text{см}^{-3}$. Згідно [16], протікання відбувається у вузькому інтервалі енергій поблизу рівня Фермі, величина якого може бути оцінена по формулі

$$\Delta = -\text{dln}I/\text{d}(kT)^{-1}. \quad (3)$$

Середня енергія у нашому випадку складає $\Delta = 0,28$ еВ, що дає концентрацію пасток $N_t = \Delta \cdot g(EF) = 5,66 \cdot 10^{15}$ см^{-3} . Аналогічна температурна залежність прямого струму ($\ln I = f(T^{-1/4})$) в області низьких прямих V характерна для діодних структур на основі неорганічних напівпровідників для яких в області просторового заряду густина локалізованих станів перевищує концентрацію вільних носіїв заряду (електрони і дірки захоплюються пастками, локалізованими у різних областях області просторового заряду і для того, щоб відбувся акт рекомбінації носії змушені тунелювати) і спостерігається як для структур на основі неорганічних напівпровідників із значною дефектністю структури (наприклад In_2Se_3) при температурах близьких до кімнатної [17], так і для промислових епітаксійних р-п – переходів на основі Si уже при $T \leq -20^\circ\text{C}$ [18]. У цьому випадку рівняння, що описує тунельну рекомбінацію, значно ускладнюється, однак, як свідчать результати досліджень, у області низьких прямих зміщень спостерігається добре співпадання експериментальних вольт-амперних характеристик із теоретичним розрахунком [17, 18]. При збільшенні величини прямого зміщення залежність $I = f(V)$ для всіх типів структур лінійна: $I = (V - V_0)/R_0$, де при

кімнатній температурі напруга відсічки $V_0 \cong 2,5$ В і 1 В для ГС n-InSe – М (рис. 1, крива 3) і для n-Si – М (рис. 2, крива 1) відповідно, а остаточний опір R_0 визначається опором плівок органічної речовини.

Вольт-фарадні характеристики (ВФХ) діодних гетеросистем напівпровідник/М, виміряні у діапазоні частот $\omega = 10$ кГц ÷ 1 МГц, залежали від частоти тестуючого сигналу, що характерно для структур на основі неорганічних напівпровідників з великим остаточним опором [19]. Причому для ГС n-InSe – плівка М, отримана із спиртового розчину, ВФХ у діапазоні $\omega = 10$ ÷ 30 кГц були лінійними у координатах $C - V$ що є типовим для плавних р-п-переходів [10], а значення напруг відсічок V_b при різних ω давало одну і ту ж величину $V_b \approx 2,63$ В, яка добре узгоджувалася із величиною V_0 , визначеною із ВАХ (рис. 1, крива 3). Ємність ГС n-Si - плівка М, отримана із водного розчину, при всіх значеннях ω у діапазоні напруг $-4 \leq V \leq 4$ В практично не залежала ні від величини, ні від полярності зовнішнього зміщення, що характерно для діодів Мотта, тобто для структур с так званим “хімічним бар’єрним шаром” [13, 20]. Приймаючи до уваги той факт, що водні розчини М слід розглядати одночасно, як суспензію і емульсію [21], типову для плавних р-п – переходів ВФХ ГС n-InSe/М (спиртовий розчин), а також наявність на гетерограниці n-Si/М (водний розчин) шару іншої структури або складу, яка відрізняється низькою концентрацією носіїв заряду, цілком очевидно, є наслідком взаємодії різного типу молекул органічної речовини не тільки між собою у процесі випаровування розчинника, але і з поверхневими станами неорганічних підкладінок [22]. Збільшення частоти тестуючого сигналу до $\omega = 0,5$ ÷ 1 МГц для всіх типів діодних гетеросистем напівпровідник/М призводило не до зменшення ємності структур (як це спостерігалось при збільшенні ω у частотному діапазоні $\omega = 10$ ÷ 30 кГц), а до її збільшення, що свідчить про наявність дисперсії діелектричних коефіцієнтів тонких шарів М у цьому діапазоні частот.

В області невеликих обернених зміщень ($|V| < 0,3$ ÷ 0,5 В) ВАХ n-InSe – М змінювалася від зразка до зразка, що дозволяє зробити припущення про те, що в цьому діапазоні $|V|$ домінуюча роль належить струмам втрат. При збільшенні оберненого зміщення ВАХ апроксимується виразом

$$I \sim (\varphi_0 - eV)^{1/2} \quad (4)$$

характерним для генераційно-рекомбінаційних процесів в ОПЗ [13]. Причому із збільшенням температури діапазон V , для яких виконується (4), збільшується. Так, наприклад, при $T = 243$ К ВАХ структур n-InSe-М описується виразом (4) в діапазоні $|V| \approx 0,5$ ÷ 3, а при $T = 303$ К в діапазоні 0,5 ÷ 12 В. При збільшенні зміщення обернений струм підчиняється степеневій залежності $I \sim V^{-2}$, характерній як для тунелювання, так і для струмів, обмежених просторовим зарядом [13].

Наявність цілого ряду ділянок різкого зростання струму від оберненої напруги (ГС n-Si - плівка М,

отримана із водного розчину) (рис. 2, крива 3) характерне для резонансного тунелювання носіїв заряду через два послідовно розміщених тунельно-прозорих бар'єри: область просторового заряду і шар діелектрика із проміжним попаданням у квантову яму [23]. При цьому роль другого бар'єру може відігравати більш високоомний шар органічної речовини (у порівнянні із поверхневим шаром), який може утворюватися в процесі полімеризації плівок М на поверхні напівпровідника (з електрохімічної точки зору шари Гюї-Чепмена і Гельмгольца). Таке припущення добре узгоджується із вимірюваннями ВФХ. Не виключається також і ймовірність того, що роль тунельно-прозорого діелектрика може

використаних напівпровідників. І дійсно, довгохвильовий край fotocутливості випрямляється в координатах, які відповідають характеру міжзонного поглинання, а екстраполяція цих залежностей до нульової енергії фотонів дає значення відсічки, яке є близьким до E_g відповідних напівпровідників. Так для структур n-InSe – М довгохвильовий край η відповідає характерному для прямих переходів параболічному закону (рис. 4, крива 4), тоді як для n-Si – М – типовому для непрямих переходів кореневому закону (рис. 5, крива 4).

Головною особливістю спектрів fotocутливості ГС напівпровідник/М слід вважати той факт, що

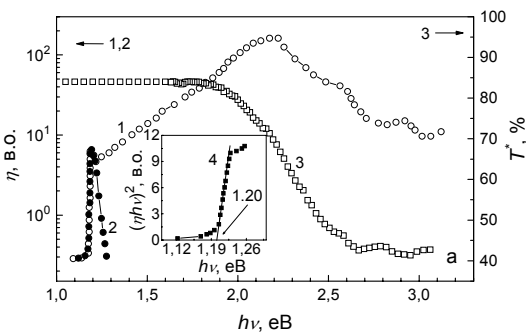


Рис. 4. Спектральні залежності відносної квантової ефективності фотоперетворення $\eta(h\nu)$ ГС n-InSe-М (крива 1 – освітлення із сторони плівок органічної речовини, 2 – зі сторони напівпровідника) і коефіцієнта оптичного пропускання T^* плівок М товщиною $d = 70$ мкм, отриманих із спиртового розчину (крива 3). На вставці – довгохвильовий край fotocутливості ГС у координатах $h\nu = f(\eta h\nu)^2$ (крива 4). $T = 287$ К.

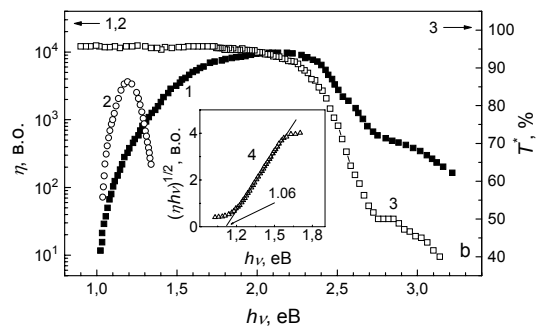


Рис. 5. Спектральні залежності відносної квантової ефективності фотоперетворення $\eta(h\nu)$ ГС n-Si-М (крива 1 – освітлення із сторони плівок органічної речовини, 2 – із сторони напівпровідника) і коефіцієнта оптичного пропускання T^* плівок М товщиною $d = 14$ мкм, отриманих із водного розчину (крива 3). На вставці – довгохвильовий край fotocутливості ГС у координатах $h\nu = f(\eta h\nu)^{1/2}$ (крива 4). $T = 287$ К.

відігравати двохшаровий високоомний прошарок SiO_2 і прилягаючий до нього більш високоомний шар органічної речовини.

Освітлення ГС напівпровідник/М супроводжується виникненням фото-ерс, знак якої не залежить від енергії падаючих фотонів і місця локалізації світлового зонда на fotocутливій поверхні структур. Цей факт може служити основою для того, щоб пов'язати фотовольтаїчний ефект із розділенням фотогенерованих носіїв єдиною активною областю, яка утворюється на гетерограниці між поверхнею напівпровідника і плівками органічної речовини. Причому величина фотовідгуку переважає при освітленні ГС із сторони шарів М.

Типові спектральні залежності відносної квантової ефективності фотоперетворення $\eta(h\nu)$, визначені як відношення фотоструму до числа падаючих фотонів, для ГС n-InSe – М і n-Si – М при їх освітленні із сторони плівок органічної речовини, представлено на рис. 4, 5 (криві 1). Із них слідує, що енергетичне положення і структура довгохвильового края fotocутливості створених ГС визначається міжзонним поглинанням в енергетичному спектрі

максимум η для всіх структур реалізується в глибині фундаментального поглинання цих напівпровідників ($h\nu > E_g$). Тому в спектрах $\eta(h\nu)$ чітко простежується ефект вікна, а висока fotocутливість спостерігається в широкому спектральному діапазоні. При цьому в спектрі η ГС n-InSe – М в області края фундаментального поглинання напівпріодникової підкладки спостерігається вузький пік (рис. 4, крива 1), характерний для фотопровідності шаруватих напівпровідників системи A^3B^6 який за звичай приписують екситонним ефектам. Спад fotocутливості гетеросистем напівпровідник/М, який проявляється $h\nu > 2,3$ eV, а також незначні ділянки її збільшення при $h\nu > 2,6$ eV (рис. 4, 5, криві 1) знаходяться у якісній відповідності із спектральною залежністю коефіцієнта оптичного пропускання плівок органічної речовини, отриманих із спиртового і водного розчинів (рис. 4, 5, криві 3). По цій причині короткохвильовий спад $\eta(h\nu)$ може бути пов'язаний з поглинанням випромінювання в широкозонній компоненті структур, через яку випромінювання попадає в активну область ГС.

При освітленні ГС напівпровідник/М із сторони напівпровідникової підкладки ефективність фотоперетворення суттєво зменшується і має вузькоселективний характер з максимумом поблизу ширини забороненої зони відповідного напівпровідника (рис. 4, 5, криві 2). Ця обставина пов'язана із зростанням оптичного поглинання в напівпровідникових пластинах при настанні міжзонних переходів і віддаленням шару фотогенерованих носіїв заряду від активної області структур на віддаль, що перевершує довжину дифузійного зміщення фотонів у напівпровідниках.

На завершення слід відмітити, що дослідження електричних і фотоелектричних властивостей ГС напівпровідник/М проводилися при відносній вологості повітря $\sim 70\%$ і значеннях атмосферного тиску ~ 700 мм.рт.ст. Короткочасне збільшення вологості оточуючого середовища (2-3 сек) на 15-20% призводить до суттєвої зміни основних фотоелектричних параметрів такого типу структур. В даний час проводяться більш детальні дослідження залежності поверхневої електропровідності плівок мумійо а також електричних та фотоелектричних властивостей ГС напівпровідник/М від відносної вологості повітря. Зазначимо тільки, що короткочасне збільшення вологості на 15-20% призводить, наприклад, в ГС n-Si – М, до збільшення фото-ерс насичення більш, ніж на порядок (початкове значення фото-ерс $V_{oc} \approx 30 \div 40$ мВ; після короткочасної зміни вологості - $V_{oc} \approx 0,6 \div 0,7$ В), а час релаксації до початкових значень становить

$\sim 3 \div 6$ хвилин. З огляду на “чутливість” плівок М до зміни вологості оточуючого середовища, поява додаткового бар'єра (крім ОПЗ) в структурах напівпровідник – плівка М, отримана із водного розчину, що є необхідною умовою реалізації резонансного тунелювання, може бути спричинена наступним: кількість молекул води, сорбованих із атмосфери фронтальним шаром плівки органічної речовини, значно перевищує кількість молекул води, які містяться у перехідному більш високоомному шарі на гетерограниці М/напівпровідник. Внаслідок цього у фронтальному шарі М домінує іонна провідність, в той час, як у перехідному більш високоомному – стрибкова (рис. 3).

Висновки

Таким чином, контакт напівпровідника з мумійо, як і у випадку інших речовин біологічної природи [2-6], виявляє фотовольтаїчний ефект, який може бути використаний при розробці ширококутових фотодетекторів оптичного випромінювання. Плівки М і ГС напівпровідник/М можуть знайти застосування у якості активних елементів сенсорів вологості. Плівки М, отримані із водних розчинів, можуть також бути використаними і при розробці та створенні резонансно-тунельних діодів, які, згідно [24], є одними із найбільш перспективних приладів твердотільної наноелектроніки.

- [1] Ж.И. Алферов. История и будущее полупроводниковых гетероструктур // *ФТП*, **32** (1), сс. 3-18 (1998).
- [2] В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, В.Х. Шпунт. Фотовольтаический эффект гетероконтакта p-CuInSe₂/зеленый лист // *ФТП*, **31** (2), сс. 129-132 (1997).
- [3] В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, В.Х. Шпунт. Фоточувствительность систем полупроводник – белок // *ЖТФ*, **70** (2), сс. 114 – 117 (2000).
- [4] С.И. Драпак, В.Б. Орлецкий, З.Д. Ковалюк, В.В. Нетяга. Гетероконтакт полупроводник – прополис // *Письма в ЖТФ*, **29** (20), сс. 69 – 76 (2003).
- [5] В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, А.А. Вайполин, И.В. Боднар, N. Fernelius. Фоточувствительные структуры на монокристаллах GdGa₂S₄ // *ФТП*, **37** (11), сс. 1321 – 1327 (2003).
- [6] С.И. Драпак, З.Д. Ковалюк. Обнаружение фоточувствительности гетероконтакта полупроводник-терпентин // *Письма в ЖТФ*, **30** (6), сс. 73 – 78 (2004).
- [7] Абу Али Ибн Сина (Авиценна). *Канон врачебной науки*. В 2-х т. Т. 2. Фан., Ташкент. 832 с. (1982).
- [8] A. Bohler, P. Urbach, D. Ammermann, W. Kowalsky. Organic molecular beam deposition: technology and applications in electronics and photonics // *Mat. Sci. and Engineering B.*, **51**(1), pp. 58-65 (1998).
- [9] Е.А. Тутов, Е.Н. Бормонтов, М.Н. Павленко, Г.А. Нетесова, Е.Е. Тутов. МДП структура с полиамидным диэлектриком в условиях сорбции паров воды // *ЖТФ*, **75**(8), сс. 85-89 (2005).
- [10] Б.Л. Шарма, Р.К. Пурохит. *Полупроводниковые гетеропереходы*. Сов. радио, М., 230 с. (1979).
- [11] Н.П. Богородицкий, Ю.М. Волокобинский, А.А. Ворбьев, Б.М. Тареев. *Теория диэлектриков*. Энергия, М.-Л., 344 с. (1965).
- [12] Э.А. Силиныш, Л.Ф. Тауре. *Органические полупроводники*. Знание, М., 64 с. (1980).
- [13] S. M. Sze. *Physics of Semiconductor Devices*. Willey-Intersci., N.Y., 456 p. (1981).
- [14] Г.А. Ильчук, Н.В. Климова, О.И. Коньков, С.Е. Никитин, Ю.А. Николаев, Л.И. Рудая, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, Е.И. Теруков, В.В. Шаманин, Т.А. Юрре. Фоточувствительные структуры на основе монокристаллического кремния и пленок фталоцианина CuPc. Получение и свойства // *ФТП*, **38**(9), сс. 1056-1060 (2004).
- [15] И.В. Боднар, Е.С. Дмитриева, С.Е. Никитин, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, Е.И. Теруков. Фотопреобразование в структурах n-ZnO:Al/PdPc/p-CuIn₃Se₄ // *ФТП*, **39**(4), сс. 426-429 (2005).

- [16] Н. Мотт, Э. Дэвис. *Электронные процессы в некристаллических веществах*. Мир, М., 664 с. (1982).
- [17] С.И. Драпак, З.Д. Ковалюк. Об асимметрии протекания тока в изотипном гетероконтакте n-In₂Se₃-n-Inse // *Письма в ЖТФ*, **31**(17), сс. 19-27 (2005).
- [18] С.В. Булярский, В.К. Ионычев, В.В. Кузьмин Туннельная рекомбинация в кремниевых туннельных диодах // *ФТП*, **37**(1), сс. 117-120 (2003).
- [19] А.А. Лебедев, А.А. Лебедев, Д.В. Давыдов. Емкостные измерения в случае сильной зависимости последовательного сопротивления базы диода от приложенного напряжения // *ФТП*, **34**(1), сс. 113-116 (2000).
- [20] П. Т. Орешкин. *Физика полупроводников и диэлектриков*. Высшая школа, М., 448 с. (1977).
- [21] Т. Л. Киселева, Л. Н. Фролова, Л. А. Баратова, С. И. Галина. Влияние мумие на внутриклеточный рН и адгезию клеток // *Медико-фармацевтический вестник*, (6), сс. 38-43 (1996). – 1996.
- [22] S.I. Drapak, A.P. Bakhtinov, S.V. Gavrylyuk, I.T. Drapak, Z.D. Kovalyuk. Optical and X-ray characterization of propolis // *Abstracts of E-MRS Spring Meeting 2005*, Strasburg, May 31-June 3, p. 20-32(2005).
- [23] Г.Г. Карева, М.И. Векслер, И.В. Грехов, А.Ф. Шулекин. Туннелирование электронов через двойной барьер в структуре металл-окисел-кремний при обратном смещении // *ФТП*, **36**(8), сс. 953-958 (2002).
- [24] И.И. Абрамов, И.А. Гончаренко, Н.В. Коломейцева. Комбинированная модель резонансно - туннельного диода // *ФТП*, **39**(9), сс. 1138 – 1145 (2005).

S.I. Drapak, Z.D. Kovalyuk

Porous Silicon Work Function after High Vacuum Treatment

*Frantsevich Institute of Material Sciences Problems, National Academy of Sciences of the Ukraine,
Chernivtsi Department, 5 I. Vilde Str., Chernivtsi, 58001, E-mail: drapak@unicom.cv.ua*

The possibility of using biologically active materials of a natural parentage - mumijo for manufacturing of rectifying photosensitive structures is shown. The electrical properties of the heterosystems semiconductor (n-InSe, n-Si) - mumijo films are investigated. The spectra of relative quantum efficiency of such structures exhibits a correlation with the optical absorption spectra of mumijo films.