

ВОЛЬТАМПЕРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6/\text{SnS}_2$

Аналізуються вольтамперні характеристики гетеропереходів $p(n)\text{-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6/n\text{-SnS}_2$, виготовлених методом посадки на оптичний контакт, в температурному інтервалі 236-336 К. Одержані залежності при прямих зміщеннях пояснюються в рамках термоемісійної, дифузійної і рекомбінаційної моделей. Струми в гетеропереходах при обернених зміщеннях визначаються генерацією електронно-діркових пар з участю центрів прилипання, енергетичні рівні яких квазінеперервно розподілені в забороненій зоні $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$.

Напівпровідникова сполука $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ відноситься до дефектних фаз, в структурі типу сфалериту якої $1/6$ катіонних вузлів вакантна. Завдяки наявності великої $\sim 10^{21}\text{см}^{-3}$ концентрації стехіометричних вакансій кристали $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ володіють цікавими властивостями, до яких відносяться висока радіаційна стійкість і слабка чутливість електричних параметрів до введених домішок. Поєднання вказаних властивостей з доброю фоточутливістю робить $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ перспективним матеріалом для створення на його основі фотоприймачів видимого і інфрачервоного випромінювання [1]. В зв'язку з цим є зацікавлення в створенні гетеропереходів (ГП) на основі даного матеріалу. Метою роботи було виготовлення гетеропереходів методом посадки на оптичний контакт (ПОК). Як свідчать роботи [2-4], метод ПОК успішно використовувався при виготовленні різних ГП з застосуванням напівпровідників з шаруватою кристалічною структурою. Метод ПОК не вимагає узгодженості параметрів матеріалів гетеропари і дозволяє одержувати достатньо різкі ГП з малою концентрацією пограничних станів.

В якості матеріалів гетеропари використовувалися кристали $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ і SnS_2 , вирощені методом Бріджмена. $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ стехіометричного складу був електронного типу провідності з концентрацією носіїв не більше $1 \cdot 10^{13} \text{см}^{-3}$ і рухливістю $300\text{-}350 \text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ з нестачею ртуті мав р-тип провідності, концентрацію дірок $1,7 \cdot 10^{15} \text{см}^{-3}$ і рухомість $10 \text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ при кімнатній температурі. Кристали шаруватої сполуки SnS_2 , яка має ширину забороненої зони $2,07 \text{еВ}$, були n-типа провідності з концентрацією електронів $3 \cdot 10^{15} \text{см}^{-3}$ і рухомістю $95 \text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Підкладки із $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ товщиною $300\text{-}500 \text{мкм}$, які спочатку були механічно поліровані, хімічно оброблялись в поліруючому травнику для одержання дзеркально гладкої поверхні високого класу чистоти. Шари SnS_2 товщиною $10\text{-}20 \text{мкм}$ відщеплювались з монокристалічного злитка безпосередньо перед виготовленням ГП. Еластичні пластинки SnS_2 площею декілька квадратних міліметрів накладалися на поверхню підкладки. Добра адгезія шару SnS_2 до базового матеріалу утворювала досить міцний контакт зближених поверхонь. Електричні контакти до ГП з задовільними характеристиками створювались вплавленням індію.

Методом ПОК були одержані ГП двох типів: р- $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6/n\text{-SnS}_2$ (1-й тип) і n- $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6/n\text{-SnS}_2$ (2-й тип). Вольтамперні характеристики (ВАХ), які знімалися в області температур $236\text{-}336 \text{К}$, були діодного типу з коефіцієнтом випрямлення при 300К $100\text{-}150$ при зміщенні 1В . Для ізотипного ГП прямі вітки ВАХ відповідали додатньому потенціалу на шарі SnS_2 . Як слідує із рис.1, струм прямих віток обмежується послідовним базовим опором. Так як підкладки виготовлені із кристалів $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ з питомим опором $\sim 10^4 \text{Ом}\cdot\text{см}$ при 300К , визначення контактної різниці потенціалів по величині струмової напруги відсічки є неточним. Тому при аналізі прямих ВАХ використовували класичний вираз для ВАХ, який враховує послідовний опір підкладки R ,

$$I = I_s \cdot \exp[e(U-IR)/kT], \quad (1)$$

який можна представити в вигляді

$$\ln I - eU/kT = \ln I_s - eRI/kT, \quad (2)$$

де I_s – струм насичення.

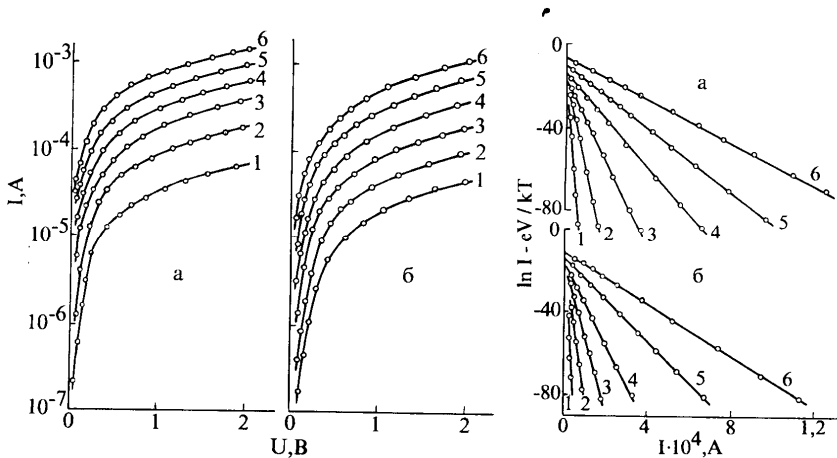


Рис.1 Прямі вітки ВАХ гетеропереходів 1-го типу (а) при Т,К: 236 – 1, 255 – 2, 273 – 3, 291 – 4, 308 – 5, 324 – 6 і 2-го типу (б) при Т,К: 236 – 1, 257 – 2, 275 – 3, 293 – 4, 311 – 5, 327 – 6.

Рис.2 Залежності $\ln I - eU/kT = f(I)$ гетеропереходів 1-го типу (а) при Т,К: 236 – 1, 255 – 2, 273 – 3, 291 – 4, 308 – 5, 324 – 6 і 2-го типу (б) при Т,К: 236 – 1, 257 – 2, 275 – 3, 293 – 4, 311 – 5, 327 – 6.

Побудовані залежності $\ln I - eU/kT$ від I (рис.2) при напругах $kT/e < U < (0,5-1)V$ апроксимуються прямими лініями. Інтервал прикладених напруг, при яких виконується формула (1), залежить від температури, збільшуючись з збільшенням температури. По точках перетину прямих з віссю ординат при $U=0$ (рис.2) визначені значення предекспоненційного множника I_s , який входить в формулу (1). Температурні залежності $I_s(T)$, побудовані в координатах $\ln(I_s \cdot T^{-2})$ від $10^3/T$, лінійні, що характерно при наявності термічної емісії носіїв через бар'єр, коли $I_s \sim T^2 \cdot (\exp(-\phi_0/kT))$. Нахил прямої $\ln(I_s \cdot T^{-2}) = f(10^3/T)$ дає значення енергетичної висоти бар'єра ϕ_0 при 0 К і складає 0,27 еВ для ГП 1-го типу і 0,44еВ для ГП 2-го типу. При 300 К з врахуванням температурного коефіцієнта ширини забороненої зони $4 \cdot 10^{-4} \text{eV/K}$ $\phi_1 = 0,15$ еВ і $\phi_2 = 0,32$ еВ відповідно для ГП 1-го і 2-го типів. Ці величини близькі до максимальних значень фотоерс, одержаних на ГП при освітленні інтенсивним світлом.

При подальшому збільшенні прикладеної напруги ($U > 0,5-1\text{В}$ в залежності від температури) спостерігається відхилення від лінійної залежності (2). Струм через ГП зростає повільніше, ніж вимагає формула (1). Але нелінійні ділянки стають лінійними при побудові ВАХ в координатах $\ln I - eU/2kT$ від I , що відповідає залежності виду

$$I = I_0 \cdot \exp[e(U-IR)/2kT], \quad (3)$$

що характерно для струму, обумовленого рекомбінацією.

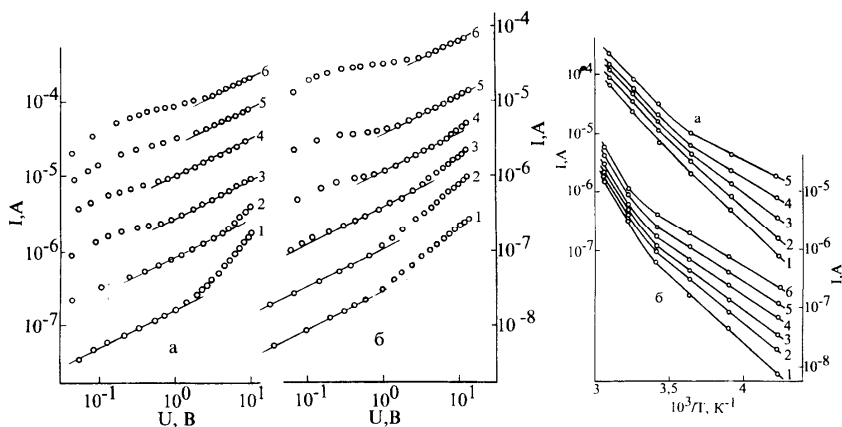


Рис.3 Обернені вітки ВАХ ГП 1-го типу (а) при T, K : 236 – 1, 255 – 2, 273 – 3, 291 – 4, 308 – 5, 324 – 6 і 2-го типу (б) при T, K : 236 – 1, 257 – 2, 275 – 3, 293 – 4, 311 – 5, 327 – 6. Прямі відповідають залежності $I \sim U^{0,5}$.

Рис.4 Температурні залежності оберненого струму ГП 1-го типу (а) при зміщенні U, B : 0,3 – 1; 1,0 – 2; 2,5 – 3; 5 – 4; 10 – 5 і 2-го типу (б) при U, B : 0,1 – 1; 0,5 – 2; 1,0 – 3; 2,0 – 4; 5,0 – 5; 10,0 – 6.

Як слідує із одержаних даних, залежності ВАХ від напруги і температури для ГП 1- і 2-го типів якісно подібні. Виконання залежності типу (1) при малих додатніх зміщеннях може бути інтерпретовано як в рамках термоемісійної так і дифузійної моделі, що дає підстави припустити можливість наявності двох відповідних механізмів переносу носіїв через ГП. А при збільшенні напруги і зниженні температури справедливості залежності (3) свідчить, що переважаючою стає рекомбінаційна складова загального струму.

На обернених вітках ВАХ (рис.3) можна виділити прямолінійні

ділянки, які відповідають степеневій залежності вигляду $I \sim U^n$, де $n=0,5$, яка з збільшенням температури виконується при більш високих напругах зміщення. Вказана залежність може мати місце при тепловій генерації носіїв через рівні в забороненій зоні напівпровідника. На всіх інших ділянках обернених ВАХ показник n змінюється від 0,1 до 0,75, а при зниженні температури $T \leq 255$ К і збільшенні абсолютного значення оберненої напруги n зростає до 1,0 для ГП 1-го типу і до 0,8 для ГП 2-го типу. Величина показника степені n в залежності $I \sim U^n$ може наближатися до одиниці в випадку появи струму поверхневої генерації.

Температурна залежність струму для обернених ВАХ носить активаційний характер $I \sim \exp(-E_a/kT)$. Як слідує із рис.4, залежності $\lg I = f(10^3/T)$ при $U = \text{const}$ мають особливості: з зростанням напруги на ГП і зменшенням температури енергія термічної активації E_a помітно зменшується. Для ГП 1-го типу при $T < 290$ К E_a змінюється від 0,48eВ при $U=0,3$ В до 0,25eВ при $U=10$ В. При $T > 290$ К в межах досліджених напруг нахил залежності $\lg I = f(10^3/T)$ постійний і $E_a=0,6$ eВ. Для ГП 2-го типу при $T < 290$ К E_a зменшується від 0,44 до 0,3eВ при збільшенні U від 0,1 до 10В. При $T > 290$ К $E_a=0,8$ eВ. Залежність енергії активації від прикладеної напруги в області низьких температур можна пояснити, якщо припустити, що термічна активація носіїв відбувається з рівнів, розподілених квазінеперервно в забороненій зоні базового напівпровідника. Наявність рівнів прилипання, квазінеперервно розподілених в забороненій зоні $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$, підтверджують результати роботи [5]. Енергія активації $E_a=0,6$ eВ високотемпературної ділянки залежності $\lg I = f(10^3/T)$ (рис.4) для ГП 1-го типу може бути пов'язана з енергетичною відстанню акцепторного рівня від дна зони провідності. В другому випадку E_a співпадає з шириною забороненої зони $E_{g0}=0,8$ eВ для $n\text{-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$. Це дає підставу припустити, що при $T > 290$ К генерація електронно-діркових пар в ГП 2-го типу відбувається шляхом безпосереднього переходу електронів із валентної зони в зону провідності.

Очевидно, на фоні квазінеперервного розподілу локальних станів в забороненій зоні $p\text{-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ існує домішковий рівень, обумовлений наявністю власних дефектів – вакансій ртуті. Таким

чином, енергетичний спектр електронних станів базового матеріалу контролює закономірності проходження струму в ГП.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ананьина Д.Б., Бакуменко В.Л., Курбатов Л.Н. Об особенностях фотопроводимости в области сильного поглощения полупроводниковых материалов со слоистой и дефектной структурами // ФТП.-1976.-**10**, вып.12.-С.2373-2375.
2. О характеристиках гетероперехода $n\text{-SnS}_2\text{-n-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$, приготовленного методом посадки на оптический контакт / Д.Б.Ананьина, В.Л.Бакуменко, А.К.Бонаков, Г.Г.Грушка // ФТП.-1980.-**14**, вып.12.-С.2419-2421.
3. Бакуменко В.Л., Чишко В.Ф. Электрические свойства оптических контактов слоистых полупроводников // ФТП.-1977.-**11**, вып.10.-С.2000-2002.
4. Бакуменко В.Л., Ковалюк З.Д., Курбатов Л.Н. Исследование гетеропереходов InSe-GaSe , изготовленных посадкой на оптический контакт // ФТП.-1980.-**14**, вып.6.-С.1115-1119.
5. Грушка Г.Г., Гавалешко Н.П., Грушка З.М. Свойства центров прилипания в $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ // Неорган.материалы.-1991.-**27**, №8.-С.1764-1766.

SUMMARY

GRUSHKA Z.M., GRUSHKA O.G. THE CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6/\text{SnS}_2$ HETEROJUNCTIONS

$p(n)\text{-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6/n\text{-SnS}_2$ Heterojunctions were fabricated using method of optical contact of two semiconductors. The heterojunctions were examined for their current-voltage characteristics at temperature range of 236-336K. The forward current-voltage data were analysed using thermoemission, diffusion and recombination models. The reverse current transport is by generation of carriers via centers of traps with levels, which are distributed quasicontinuously in energy gap of $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$.