

В.О. Українець, Г.А. Ільчук, Н.А. Українець, Р.Ю. Петрусь, В.І. Лобойко
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра фізики

ОСОБЛИВОСТІ ДЕГРАДАЦІЇ ПОВЕРХНЕВО-БАР'ЄРНИХ СТРУКТУР МЕТАЛ-р-CdTe

© Українець В.О., Ільчук Г.А., Українець Н.А., Петрусь Р.Ю., Лобойко В.І., 2004

V.O. Ukrainets, G.A. Ilchuk, N.A. Ukrainets, R.Yu. Petrus', V.I. Loboiko, 2004

DEGRADATION PECULIARITIES OF METAL-p-CdTe SURFACE-BARRIER STRUCTURES

© Ukrainets V.O., Ilchuk G.A., Ukrainets N.A., Petrus' R.Yu., Loboiko V.I., 2004

Досліджені закономірності самодовільної зміни з часом (деградації) вольт-амперних характеристик (ВАХ) та залежностей диференціальних параметрів поверхнево-бар'єрних структур (ПБС) метал-р-CdTe від напруги зміщення. Показано, що з часом, в умовах взаємодії структур з навколишнім середовищем, відбувається збільшення струмової відтинки ВАХ, зменшення струму насичення, переміщення експоненціальної ділянки в область високих напруг та зростання диференціальних ємності і провідності в області прямих зміщень. Ці явища зумовлені зростанням товщини проміжного шару між металом і напівпровідником, який містить глибокі центри.

The peculiarities of spontaneous changes in time (degradations) of current-voltage characteristics (CVC) and dependences of differential parameters of metal-p-CdTe surface-barrier structures on bias voltage are investigated. It is shown that in conditions of the structure interaction with an environment, the increase of current intercept in the CVC, decrease of saturation current, shift of exponential area in the region of higher voltage and increase of differential capacity and conductivity in the region of direct bias take place with time. These phenomena are conditioned by increase of thickness of intermediate layer between the metal and semiconductor which contains deep centers.

Вступ

Стратегія фізичних досліджень у напівпровідниковому матеріалознавстві класичного і новітнього (нанотехнологічного) напрямків відводить суттєву роль сполукам групи $A^{II}B^{VI}$, зокрема телуриду кадмію (CdTe). Здійснюється інтенсивний пошук з метою покращення параметрів вирощуваних монокристалів і плівок CdTe [1] і його використання для виготовлення неохолоджуваних детекторів ядерних випромінювань, сонячних елементів тощо. Практичне вирішення цих питань значною мірою пов'язується з використанням приладів з бар'єром Шотткі (БШ), які забезпечують коефіцієнт збору заряду $\cong 80\%$ [2], дозволяють реалізувати лавинне помноження носіїв [3, 4] тощо.

Результати експерименту та їх обговорення

Об'єктом дослідження були поверхнево-бар'єрні структури (ПБС) $Me(In,Sn)$ -р-CdTe, які створювались на вирощеному методом Бріджмена монокристалічному р-CdTe з питомим опором $\rho=(0,3\div 6,0)$ Ом·м і концентрацією дірок $p=(0,3\div 8,0)\cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ при $T=300\text{K}$. Бар'єрний електрод формувався термічним напиленням металів In, Sn з роботою виходу, меншою за енергію спорідненості р-CdTe. Робоча поверхня ПБС відповідала кристалографічній орієнтації (110) підкладки р-

CdTe. Нанесенню металу (In чи Sn) бар'єрного електрода передувало хімічне полірування поверхні, яку проводили в бром-метаноловому розчині. Герметизація структур не проводилась.

Усі реалізовані за описаною методикою ПБС мали випрямні властивості, так що пропусканню напрямку відповідало прикладення напруги додатної полярності до p-CdTe і від'ємної до металу In чи Sn бар'єрного електрода. Вимірювались вольт-фарадні характеристики (ВФХ) виготовлених ПБС з використанням мостів змінного струму типу МПП-300 та Л2-7 при напрузі тестуючого змінного сигналу $U_{\sim}=20\div 25$ мВ та подачі на структуру регульованого постійного зміщення.

На рис. 1-а,б зображені стаціонарні вольт-амперні характеристики (ВАХ) ПБС In-p-CdTe (діод Дб-13), що відрізняються в часі проведення вимірювань на $2\cdot 10^3$ год. Як видно з рис. 1-а з часом відбувається збільшення струмової відтинки (U_I) ВАХ від значення 0,11В до 0,4В, яке супроводжується зменшенням за тих самих умов величини зворотного струму, зростанням відхилення від одиниці параметра ідеальності ВАХ n , який визначався із нахилу графіка прямої частини ВАХ у напівлогарифмічному масштабі, зменшенням струму насичення. Відомо, що U_I в разі ідеальної ПБС в першому наближенні характеризує величину дифузійного потенціалу області просторового заряду (ОПЗ). Лінійні ділянки графіків 3 і 4, одержані після вирахування спаду напруги на базі ПБС, позначають області напруг і струмів, в яких існує експоненціальна залежність між струмом і напругою, зумовлена проходженням носіями енергетичного бар'єру. Для ПБС In-p-CdTe в момент часу (1) експоненціальний ріст струму починається при напрузі прямого зміщення $\approx 0,03$ В і закінчується при $U=0,11$ В, що відповідає ситуації повного випрямлення зон. Особливість ВАХ ПБС для моменту часу (2) полягає в тому, що експоненціальна ділянка на графіку 4 настає при напругах порядку 0,2 В. Таке "запізнення", разом із фактом суттєвого зменшення струму насичення, вказує на суттєві зміни, які самодовільно відбулись під час експозиції структури в лабораторних умовах, і зумовлені самодовільним зростанням товщини перехідного шару δ в умовах взаємодії ПБС з атмосферним середовищем.

Досліджені закономірності деградації залежностей диференціальних ємності і опору ПБС від напруги прикладеного зміщення. Типові особливості еволюції залежностей $C=f(U)$ і $R=\varphi(U)$ ПБС для двох фіксованих моментів часу після створення структури показані на рис. 2. Із них видно, що в області зворотних зміщень одержані із експерименту графіки $C=f(U)$ і $R=\varphi(U)$ з часом практично не зазнають змін. Однак при прикладенні зміщень додатної полярності, у міру зменшення товщини області просторового заряду (ОПЗ) і її все тіснішої локалізації біля межі розділу, спостерігаються суттєві зміни диференціальних параметрів і залежностей $C=f(U)$ і $R=\varphi(U)$. Для них характерне зростання диференціальної ємності ОПЗ і зменшення диференціального опору.

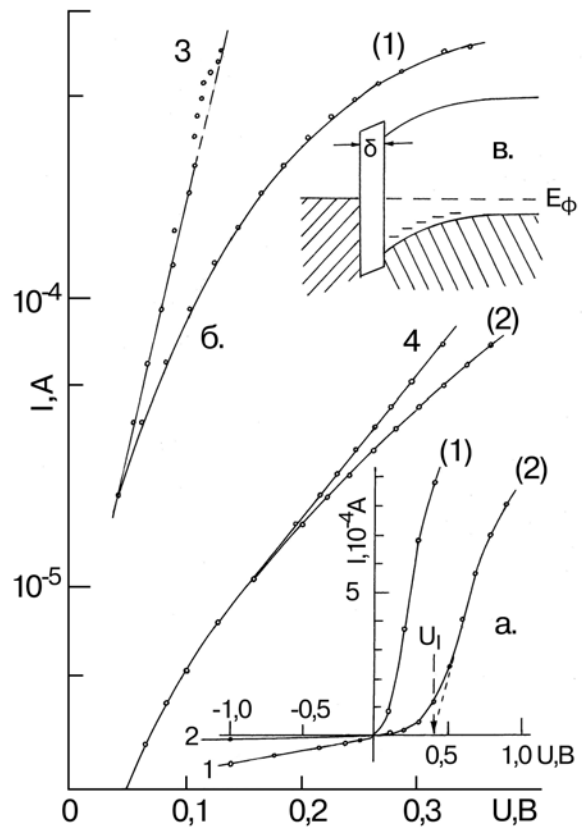


Рис. 1. Залежності струм-напруга ПБС In-p-CdTe (зразок ДСб-13) для моментів часу (1) і (2) проведення вимірювань, що відрізняються на $2\cdot 10^3$ год: (а) – в звичайному, (б) – напівлогарифмічному масштабах. Графіки 3 і 4 характеризують зв'язок між струмом і напругою, що падає безпосередньо на бар'єрі. Опори бази $r_1=260$ Ом, $r_2=550$ Ом, параметр ідеальності ВАХ $n_1=1,04$, $n_2=1,76$). Енергетична модель бар'єру In-p-CdTe - (в)

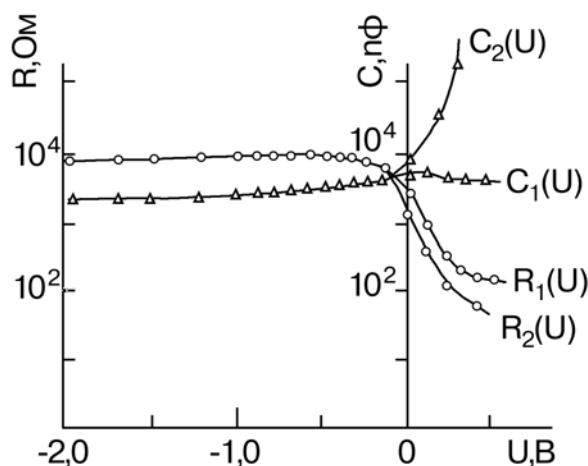


Рис. 2. Залежність диференціальних ($f=19$ кГц, $V_{\sim}=40$ мВ) ємності C і опору R поверхнево-бар'єрної структури Sn-p-CdTe (діод Бт-4П) від зміщення для двох послідовних моментів часу (I) і (II), що відрізняються на 10 діб, в початковий період після виготовлення структури. Використано хімічне травлення підкладки p-CdTe в 10% розчині бром у метанолі

Додаткова інформація про процеси на межі розділу метал-p-CdTe одержана із спостережень змін диференціальної ємності при нульовому зміщенні для двох структур типу Sn-p-CdTe, виготовлених на однаковому вихідному матеріалі телуриду кадмію (див. таблицю). Як видно з таблиці, структура, "вік" якої $4 \cdot 10^4$ год, збільшила свою питому ємність на чотири порядки. При інтегральному освітленні цієї структури білим світлом диференціальна ємність зменшується до значень характерних для щойно виготовленої структури. Повернення ємності до початкових значень, при освітленні ПБС очевидно зумовлене фотогенерацією носіїв із електронних станів межі розділу [5, 6], що формуються під час утворення проміжного шару.

При освітленні ПБС відбувається генерування електронно-діркових пар біля поверхні і їх розділення контактним електричним полем. При цьому основні носії – дірки – можуть захоплюватись пастками проміжного шару, зменшуючи заряд області. Оскільки електронні стани межі розділу,

які лежать нижче рівня Фермі, є електрично неактивними і активуються модулюючою напругою, то їх енергетичне положення приблизно збігається з рівнем Фермі в p-CdTe ($\cong 0,6$ еВ за даними фотоелектричних вимірювань). В той же час вони легко активізуються квантами випромінювання. При порівнянні з даними огляду [7] можна вважати, що ці центри зумовлені двозарядними вакансіями кадмію (V_{Cd}^{2-}) або міжвузловим телуром ($Te_i^{\times}$), оскільки інших глибоких рівнів поблизу немає. Це в свою чергу призводить до зміни заряду ОПЗ і ємності структури.

Питомі ємності при нульовому зміщенні двох поверхнево-бар'єрних структур Sn-p-CdTe ($\rho_{CdTe}=2,6 \cdot 10^1$ Ом·м, $\rho_{C-V}=9,6 \cdot 10^{20}$ м⁻³), що відрізняються часом, який минув з моменту їх виготовлення ("віком")

Діод	"вік", годин	C_0/S , пФ/мм ²	
Бт-4п	$2 \cdot 10^2$	187	-
Бтн-1	$2 \cdot 10^4$	$108 \cdot 10^4$	290*

1. Символом "*" позначена величина ємності структури при її освітленні білим світлом.
2. Вимірювання абсолютних значень C_0 проводились за методом лінійних діаграм в інтервалі частот $(5 \div 19) \cdot 10^3$ Гц.

Висновки

На межі розділу негерметизованих поверхнево-бар'єрних структур метал-p-CdTe з часом відбувається самодовільне зростання проміжного шару, що виражається у погіршенні параметра якості n ВАХ, збільшення струмової відтинки, росту опору, що накладає обмеження на експоненціальне зростання струму, переміщення ділянки експоненціального зростання в область більш високих напруг. Існує збільшення диференціальних ємності і провідності в області прямих зміщень. Основним механізмом деградації ПБС метал-p-CdTe є ріст концентрації пасток акцепторного типу. Окисна поверхня CdTe не виконує функції ізолятора. При формуван-

ні електронних приладів на CdTe необхідно шукати способів створення ізолюючого шару на його поверхні.

1. Triboulet R. *Journal of Alloys and Compounds*. –2004. **371**. – № 1 – 2. – P. 67–71.
2. Kunz T., Laasch M., Meinhardt I., Benz K.W. *J. Cryst. Growth*. – 1998. **1–4** (184–185). – P. 1005–1009
3. Українець В.Е. *Физическая электроника*. – 1982. – № 24. – P.63–66.
4. Демич Н.В., Махний В.П. *Письма в ЖТФ*. – 2001. **27**. – №20. – С.57–60
5. Родерик Э.Х. *Контакты металл-полупроводник*. М.: Радио и связь, 1982. – 209 с.
6. Берман Л.С., Лебедев А.А. *Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках*. – Л.: Наука, 1981. – 176 с.
7. *Semiconductors and Semimetals*. V.13. *Cadmium Telluride*, Zanio Kenneth. New York e.a. Acad.Press. – 1978. **XVI**. – 236 p.