

УДК 621.315.592

ПОВЕРХНЕВА ПРОВІДНІСТЬ В МЕЗАСТРУКТУРНИХ InAs p - n -ПЕРЕХОДАХ

А. В. Сукач, д. ф.-м. н. В. В. Тетюркін, к. т. н. А. І. Ткачук¹, І. О. Мазарчук,
М. Ю. Кравецький, І. Г. Луцишин

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ, м. Київ;
¹Кіровоградський державний педагогічний університет ім. В. Винниченка
Україна
teterkin@isp.kiev.ua

Встановлено, що виготовлення мезаструктур в дифузійних InAs p - n -переходах з використанням широко вживаного поліруючого травника 2%Br₂ + HBr може обумовлювати виникнення шунтуючої поверхневої провідності. Показано, що повторна обробка мезаструктури у травнику на основі азотної кислоти призводить до суттєвого зменшення шунтуючої провідності. Досліджені механізми проходження струму у мезаструктурних p - n -переходах InAs в інтервалі температур 77–295 К. Обговорюється фізична модель виникнення шунтуючої провідності в InAs p - n -переходах.

Ключові слова: InAs, мезаструктура, поверхнева провідність.

Арсенід індію є одним з основних матеріалів для виготовлення ефективних інфрачервоних фотодіодів для спектрального діапазону 2,0–3,5 мкм [1]. Проте порогові характеристики охолоджуваних до температури 77 К комерційних InAs-фотодіодів (добуток R_0A та питома виявлювальна здатність) значно менші за теоретично очікувані [2]. Причиною цього є надлишковий темновий струм, природа якого залишається недостатньо з'ясованою.

Метою роботи є встановлення природи надлишкового струму у мезаструктурних InAs p - n -переходах.

InAs p - n -переходи виготовлялись методом дифузії акцепторної домішки кадмію в пластини InAs n -типу з концентрацією електронів $(2-3) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ та їх рухливістю $\mu_n = (2-3) \cdot 10^4 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ при $T=295 \text{ К}$. Процес дифузії здійснювався у кварцових ампулах при температурі $T \approx 823 \text{ К}$ впродовж 60 хв. Як дифузанти використано попередньо синтезовану сполуку CdAs₂. Поверхня зразків після дифузії мала дзеркальний вигляд, а півширина кривих гойдання рентгенівського відбиття становила $\Omega = 31-33''$ (кутових секунд). Глибина залягання p - n -переходів знаходилась в межах 4–5 мкм і визначалась методом пошарового стравлювання p -області переходів на стадії виготовлення мезаструктур з вимірюванням полярності термо-ерс. Для виготовлення мезаструктур використовувався полірувальний бромвмістний травник 2% розчину Br₂ в HBr (вихідна хімічна обробка), який використовувався також і для хіміко-планарної обробки підкладок. Повторна обробка мезаструктур тих самих зразків виконувалась за допомогою травника на основі азотної кислоти.

Типові ВАХ InAs p - n -переходів при обох способах хімічної обробки поверхні мезаструктури наведені на рис. 1, а. З їх порівняння видно, що суттєві відмінності спостерігаються на зворотних ВАХ для мезаструктури з вихідною хімічною обробкою поверхні. Залежність $I(U)$ є майже лінійною, а після повторної обробки зворотна ВАХ набула вигляду, характерного для плавного пробою p - n -переходу, причому темнові струми суттєво зменшились. Зазначимо, що дифузійний потенціал переходу, визначений за методом струмової напруги відсічки при прямому зміщенні, становив 0,35 В при $T=77 \text{ К}$ і не залежав від способу обробки поверхні.

Результати дослідження високочастотної (1 МГц) вольт-фарадної характеристики (ВФХ) p - n -переходу з різними способами хімічної обробки мезаструктури при 77 К наведено на рис. 1, б. Від-

мінність у результатах вимірювань ВФХ пояснюється суттєвим впливом на ефективну бар'єрну ємність поверхневої провідності при вихідній обробці. Повторна обробка мінімізувала цей вплив і дозволила коректно визначити параметрів переходів. Прямі ВАХ $p-n$ -переходів для обох способів хімічної обробки мезаструктури показані на рис. 2, а, б.

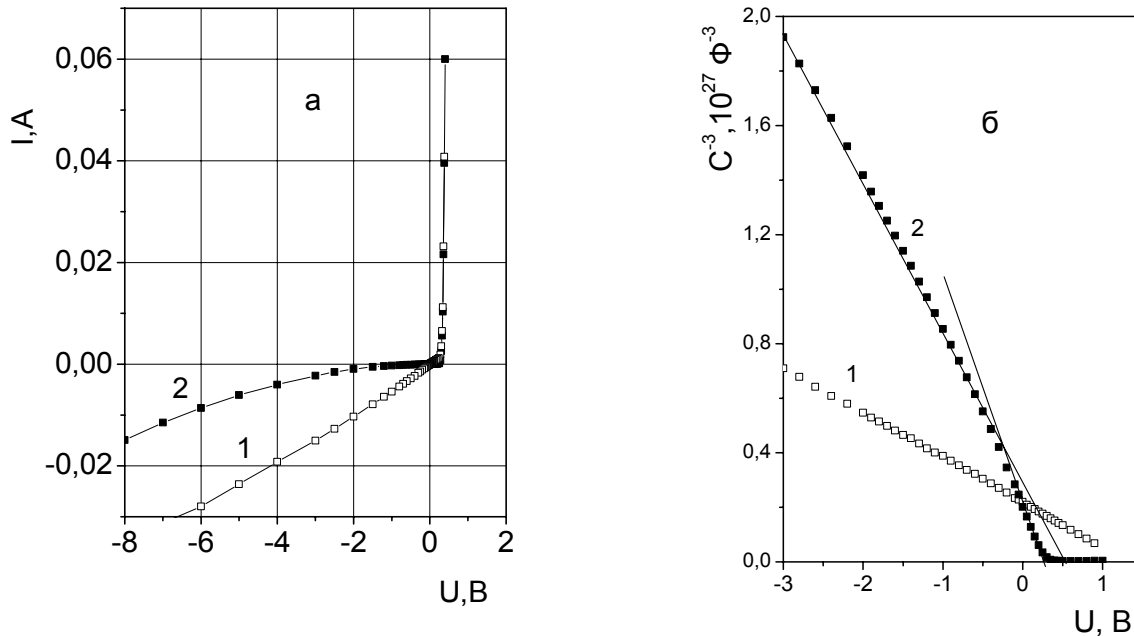


Рис. 1. ВАХ (а) та ВФХ (б) InAs $p-n$ -переходу при $T=77$ К при різних хімічних обробках мезаструктури: 1 – вихідна обробка бромвмістним травником; 2 – повторна обробка травником на основі азотної кислоти

Видно, що у зразках з вихідною бромвмістною обробкою мезаструктур в інтервалі температур 77–163 К за напруг зміщення $U \leq 80$ мВ результати вимірювань збігаються за значенням і не залежать від температури. При напругах прямого зміщення $U > 100$ мВ спостерігається експоненціальна залежність ВАХ, а аналітично прямі ВАХ зразків з бромвмістною обробкою мезаструктури можливо описати виразом

$$I = G_0 U + I_0 \exp\left[\frac{e(U - IR_s)}{\beta kT}\right], \quad (1)$$

де G_0 – провідність шунтуючого шару; I_0 – передекспоненціальний множник; β – коефіцієнт неідеальності; R_s – послідовний опір.

Значимо, що β змінюється від 4.8 ($T=77$ К) до 2.3 ($T=201$ К), а за $T > 201$ К $\beta=2$. При $T > 200$ К на прямих ВАХ спостерігається лише експоненціальна ділянка, що пояснюється визначальним вкладом об'ємної провідності переходу у порівнянні з поверхневою. Після повторної хімічної обробки мезаструктур тих же зразків у травнику на основі азотної кислоти прямі ВАХ описуються виразом

$$I = I_{01} \exp\left(\frac{eU}{E_0}\right) + I_{02} \exp\left[\frac{e(U - IR_s)}{\beta kT}\right], \quad (2)$$

де I_{01} , I_{02} – передекспоненціальні множники, E_0 – характеристична енергія. При цьому вплив шунтуючого шару на ВАХ не виявлено, а темнові струми зменшились майже на два порядки у порівнянні з вихідною хімічною обробкою мезаструктур.

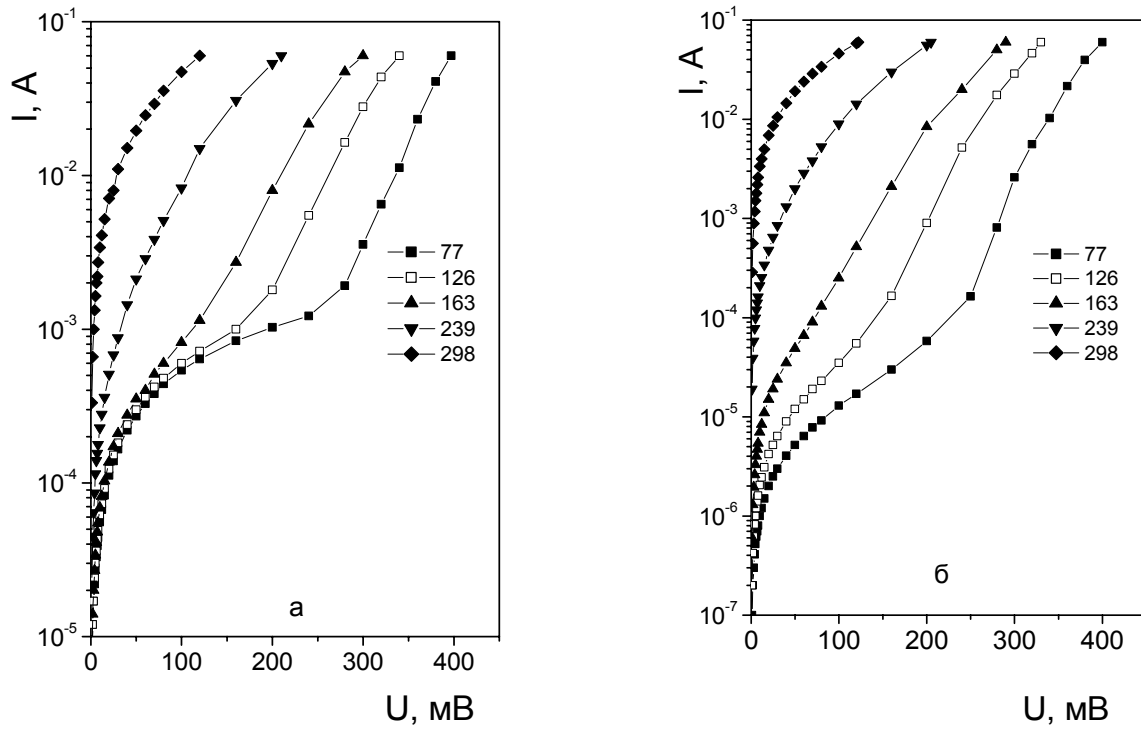


Рис. 2. Прямі ВАХ $p-n$ -переходу за різних температур із вихідною обробкою бромвмістним травником (а) та травником на основі азотної кислоти (б)

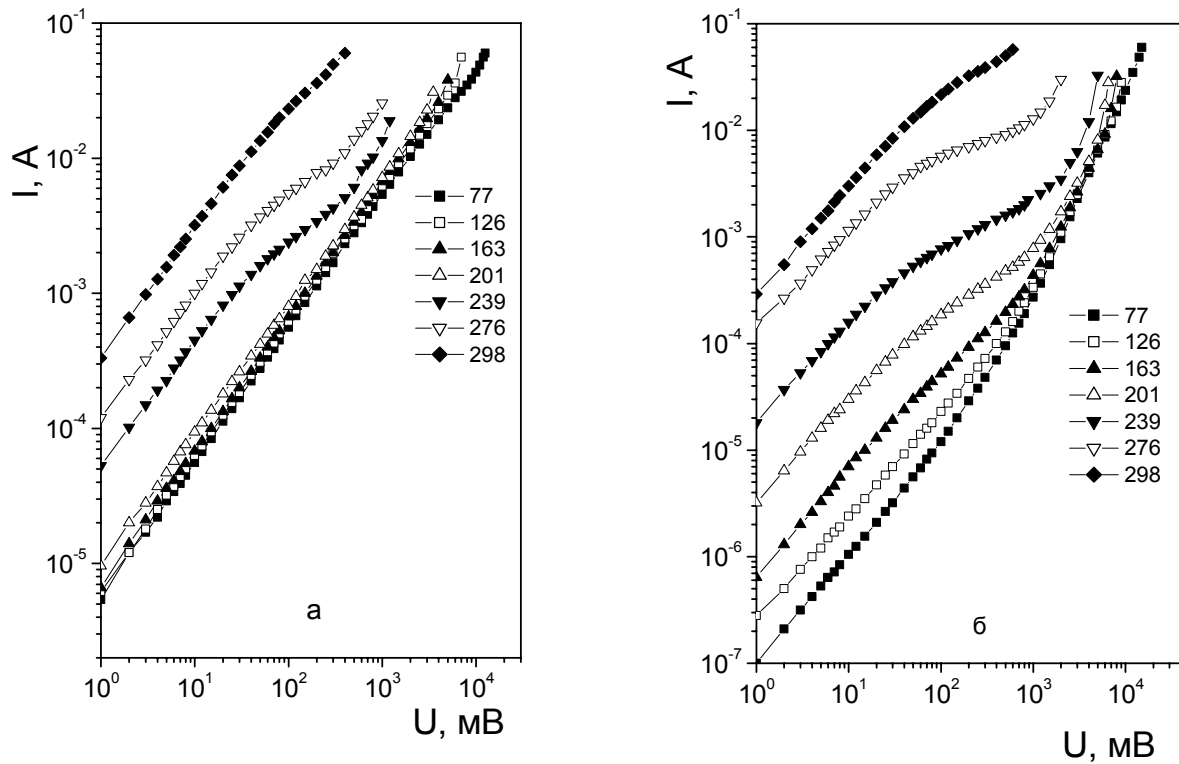


Рис. 3. Зворотні ВАХ $p-n$ -переходу при обробці бромвмістним травником (а) та травником на основі азотної кислоти (б)

Типові зворотні ВАХ за різних температур та різних способах хімічної обробки мезаструктур наведено на рис. 3, а, б. Як видно із рис. 2, а та 3, а, прямі та зворотні ВАХ не залежать від температури в інтервалі 77–200 К, що характерно для тунельного механізму проходження струму. Відомо, що на поверхні p -InAs може формуватись інверсний шар з електронним типом провідності [3–5]. При виготовленні мезаструктури з використанням бромвмісного травника можуть утворюватись поверхневі дефекти, які стабілізують рівень Фермі у зоні провідності, що призводить до вигину зон, який перевищує ширину забороненої зони, і обумовлює формування інверсного шару. Виникнення таких дефектів може бути зумовлене порушенням стехіометрії у приповерхневих шарах внаслідок хімічної обробки. Очевидно, що при цьому також змінюється хімічний склад оксиду на поверхні p -InAs. Повторна обробка у травнику на основі азотної кислоти зменшує густину поверхневих дефектів, внаслідок чого рівень Фермі зсувається у напрямку забороненої зони. При цьому принципово змінюється як характер температурних залежностей прямих та зворотних ВАХ, так і абсолютні значення струмів (див. рис. 2, б та 3, б).

Відзначимо, що тунельний струм у мезаструктурах, виготовлених у бромвмісному та азотному травниках може мати різну природу. В результаті проведених досліджень було встановлено, що при обробці мезаструктур у азотному травнику тунельний струм у p - n -переходах реалізується через локальні області з підвищеною концентрацією дефектів. Виконані розрахунки темного струму за моделями міжзонного тунелювання, з участю глибоких рівнів у забороненій зоні та протяжних дефектів, локалізованих в області просторового заряду p - n -переходу [2, 6]. Дослідження показали, що тунелювання носіїв заряду відбувається за участю дефектів, локалізованих у домішкових атмосферах Коттрелла. Експериментальні докази вказаного механізму проходження струму були отримані із дослідження впливу ультразвукової обробки на ВАХ та ВФХ InAs p - n -переходів [6].

Висновки

1. Використання травника 2%Br₂ в HBr для виготовлення мезаструктур в InAs p - n -переходах призводить до виникнення поверхневої шунтуючої провідності. Повторна хімічна обробка мезаструктур у травнику на основі азотної кислоти суттєво зменшує поверхневу провідність.
2. Ймовірною причиною виникнення шунтуючої провідності у мезаструктурах, виготовлених з використанням бромвмісного травника, є формування інверсного поверхневого шару n -типу провідності.
3. При використанні травника на основі азотної кислоти надлишковий струм у мезаструктурах обумовлений тунелюванням через неоднорідні області p - n -переходу.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Рогальский А. Инфракрасные детекторы.– Новосибирск: Наука, 2003.
2. Tetyorkin V., Sukach A. And Tkachuk A. InAs Infrared Photodiodes / Ed. Gian-Franco Dalla Betta.– Intech Open Access Publ., 2011.– P. 427–446.
3. Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем.– Москва: Мир, 1985.
4. Балагуров Л.А., Борковская О.Ю., Дмитрук П.Л. и др. Поверхностный потенциал и поверхностны состояния в монокристаллах InAs // ФТП.– 1976.– 10, № 6.– С. 1108–1114.
5. Кудрявцев Ю.А., Новиков Е.Б., Стусь Н.М. и др. Сульфидная пассивация поверхности арсенида индия // ФТП.– 1992.– 26, № 10.– С. 1742–1749.
6. Сукач А.В., Тетеркин В.В. Трансформация электрических свойств InAs p - n -переходов в результате ультразвуковой обработки // Письма ЖТФ.– 2009.– 35, № 11.– С. 67–70.

A. V. Sukach, V. V. Tetyorkin, A. I. Tkachuk, I. O. Mazarchuk, M. Yu. Kravetskii, I. G. Lutsyshyn
Surface conductivity in InAs mesa p - n -junctions.

It has been found that manufacturing of mesastructures in diffusion InAs p - n -junctions using the well-known 2%Br₂ + HBr polishing etchant can cause shunting surface conductivity. To reduce significantly the surface conductivity, the mesastructures should be etched again in the nitric acid. The carrier-transport mechanism in InAs mesa p - n -junctions in the temperature range of 77–295 K has been investigated. The nature of the surface conductivity is discussed in the paper.

Keywords: *InAs, mesastructures, surface conductivity.*