

$n^+ - n\text{-InSe} - n^+$ ФОТОТРАНЗИСТОР НА ОСНОВІ СИМЕТРИЧНОГО ГЕТЕРОПЕРЕХОДУ

О.М.Сидор

Чернівецьке відділення Інституту проблем матеріалознавства НАН України,
вул. І.Вільде, 5, Чернівці, 58001
e-mail: chimsp@unicom.cv.ua

Показано можливість виготовлення на основі InSe подвійного симетричного гетеропереходу оксид–InSe–оксид, усі компоненти якого мають n -тип провідності. Встановлено, що фототранзисторний ефект спостерігається в широкому діапазоні товщин бази: від 7 до 110 мкм. Значне підсилення фотоструму має місце лише для товщин, що співрозмірні з дифузійною довжиною неосновних носіїв заряду. Особливістю підсилення є перехід фототранзистора з високоомного в низькоомний стан лише при певних напругах і рівнях освітлення. У режимі перемикання досягається значна густина струму ~ 200 мА/см². Чим вищий рівень освітлення, тим менша напруга перемикання. Фоточутливість структур зафіксовано в діапазоні довжин хвиль 0,6–1,0 мкм.

Вступ

Перевагою фототранзисторів (ФТ) як цілого класу напівпровідникових приладів є відносно низька вартість, високий коефіцієнт підсилення й сумісність з інтегральною елементною базою.

Метою даної роботи було виготовлення на основі шаруватого напівпровідника групи $A^{III}B^{VI}$ подвійного симетричного гетеропереходу оксид–InSe–оксид, усі компоненти якого мають n -тип провідності, та дослідження його фотоелектричних властивостей на предмет виявлення фототранзисторного ефекту. Дана структура є альтернативою до існуючого широкого класу фототранзисторів на базі класичних напівпровідників, наприклад, кремнію, які, однак, не завжди можуть відповідати вимогам радіаційної стійкості. У літературі присутнє одиначне повідомлення про створення ФТ на основі шаруватого напівпровідника InSe [1]. У зв'язку з цим видається актуальним як створення, так і дослідження властивостей ФТ із InSe.

Методика експерименту

Основою для виготовлення ФТ служили кристали InSe, характерною особливістю яких є шарувата структура [2]. Остання дозволяє одержувати зразки зі зливків шляхом сколювання. Для кристалів InSe внаслідок дії слабких Ван-дер-Ваальсових сил між шарами вдається легко отримувати тонкі пластинки (навіть мікронної товщини) з високоякісною й дзеркальною поверхнею, інертною до навколишньої атмосфери [3].

Симетричний потенціальний бар'єр на селеніді індію з обох боків підкладки формувався нарощуванням власного оксиду шляхом окислювання кристалу на повітрі при температурі 450°C та чотирьохдобовій його витримці. Після окислення зразки обрізалися з торців для усунення струмових закороток. Омичні контакти на емітерному та колекторному переходах отримували пайкою чистого індію. Електричний контакт із базою був відсутній. Плівка власного оксиду мала одночасно високу провідність і прозорість. Структури оксид– n -InSe виявилися фоточутливими в діапазоні довжин

хвиль 0,6–1,0 мкм із напругою холостого ходу 0,4–0,45 В, що свідчить про достатній енергетичний бар'єр на границі власний оксид – напівпровідник.

ФТ формувалися як із тонкою, так і з товстою базою шляхом вибору початкової товщини підкладки InSe, що варіювалася в межах 7–100 мкм. Якість поверхні пластин контролювалася за допомогою мікроскопа.

Для ФТ досліджувалися статичні вольтамперні характеристики (ВАХ) при різних полярності зміщення та рівнях освітлення.

Обговорення результатів

Отримані ізотипні структури є симетричними по відношенню до полярності прикладеної напруги, що підтверджується вимірами темнових ВАХ, а доволі високий потенціальний бар'єр сприяв низьким значенням темнового струму насичення.

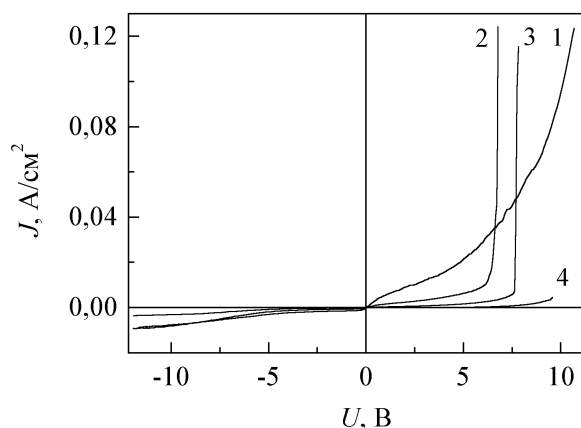


Рис. 1. Вольтамперні характеристики фототранзистора оксид – *n*-InSe – оксид для товщини зразка 70 мкм і різних рівнів освітлення: 1 – 130; 2 – 75; 3 – 35; 4 – 0 мВт/см².

Типову ВАХ для ФТ з товщиною бази 70 мкм показано на рисунку 1. Ефект перемикавання з високоомного стану в низькоомний спостерігався при певних величинах інтенсивностей освітлення та відповідному зміщенні. У цьому випадку величина фотоструму різко зростає (рис. 1, криві 2 і 3), а спостережувана ВАХ уже

відрізняється від класичного вигляду. З рисунка 1 видно, що у випадку прямого зміщення емітерного переходу і його освітлення спостерігається фототранзисторний ефект, а при зворотному – ВАХ не відрізняються від ВАХ обернено зміщених фотодіодів. Для даної структури значення фотоструму в режимі перемикавання сягали понад 120 мА/см². Зазначимо, що для великих рівнів освітленості перший *n*⁺-*n*-перехід є відкритим, і ВАХ має вигляд, характерний для звичайного діода (рис. 1, крива 1).

Для різної товщини бази вигляд ВАХ істотно відрізняється (рис. 2). Ця відмінність викликана як величиною струму, що протікає через ФТ, так і особливостями його функціональної залежності. Виявлені перемикавання залежали від кожного з трьох факторів: товщини бази, величини прикладеного зміщення й інтенсивності освітлення. При однаковій освітленості ФТ, товстіша база передбачає більшу напругу перемикавання (рис. 2, криві 3, 4, 5). У випадку фіксованої товщини бази перемикавання відбувається або при високій інтенсивності освітлення, але малій напрузі зміщення, або, навпаки, при малому рівні освітлення, але більшому зміщенні. Для ФТ з товщиною бази 7–10 мкм, яка співрозмірна з дифузійною довжиною носіїв заряду, фототранзисторного ефекту не спостерігається (рис. 2, криві 1, 2).

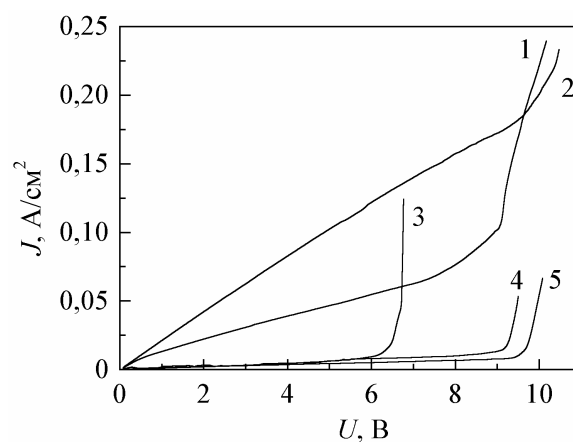


Рис. 2. Вольтамперні характеристики фототранзистора оксид–*n*-InSe–оксид при однаковому рівні освітлення для зразків різної товщини: 1 – 7; 2 – 10; 3 – 55; 4 – 70; 5 – 110 мкм.

Цікаву особливість помічено для структури товщиною 7 мкм. Вона мала високі значення темного струму, а ВАХ, що мала симетричний характер, майже не змінювалася з освітленням.

Для пояснення отриманих результатів необхідно врахувати електрофізичні й оптичні особливості InSe. Вони полягають у сильній анізотропії рухливості й дифузійної довжини неосновних носіїв заряду, а також відносно низькій величині ($\sim 10^3 \text{ см}^{-1}$) коефіцієнта поглинання [4]. Площина сформованих n^+ - n -переходів лежить перпендикулярно кристалографічній вісі C . Носії заряду в цьому напрямку мають низьку дифузійну довжину, порядку десятків мікрометрів. Якщо база ФТ занадто товста, то передача фотоструму від емітера до колектора в такому випадку низька, а транзисторний ефект взагалі може не спостерігатися. У випадку товщини бази ФТ, що порівнянна з дифузійною довжиною носіїв заряду, спостерігається фототранзисторний ефект. Однак, для занадто тонких зразків, коли обидва переходи просторово розділені дуже тонкою базою, інжектвані з емітера носії захоплюються колекторним переходом. У цьому випадку величина струму обмежена тільки опором бази й сягала для структури товщиною 7 мкм значень понад 250 мА/см^2 .

При одночасній дії зміщення й певного рівня освітленості явище перемикання відбувається завдяки частковому освітленню не тільки емітерного, а й колекторного переходів. У цьому випадку потенціал бази знижується як за рахунок інжектованих носіїв з емітерного переходу, так і за рахунок носіїв фотоструму обернено зміщеного колекторного переходу. Коефіцієнт передачі струму в цьому випадку досягає 100%, а опір ФТ, що залежить тільки від бази, переходить із високоомного в низькоомний стан. Спостережуване перемикання має зворотний характер.

Висновки

У роботі отримані якісні зразки ФТ на основі симетричної ізотипної гетероструктури власний оксид – n -InSe – власний оксид. При дослідженні статичних ВАХ таких структур виявлений ефект перемикання, що полягає в різкому зростанні фотоструму. Його величина досягає максимальних значень $> 200 \text{ мА/см}^2$. Запропонована якісна модель, що пояснює особливості перебігу фізичних процесів у такого роду ФТ.

Література

1. В.Н.Катеринчук, З.Д.Ковалюк, О.Н.Сидор, ТКЭА 55, 38 (2005).
2. P.Gomes da Costa, R.G.Dandrea, R.F.Wallis et al., Phys. Rev. B 48, 14135 (1993).
3. P.V.Galiy, T.M.Nenchuk, J.M.Stakhira, J. Phys. D, 34, 18 (2001).
4. Landolt-Börnstein, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. New Ser. Group III: Crystal and Solid State Physics, Vol. 17, subvol.f, Ed. by O.Madelung (Springer, Berlin, 1983), p 562.

$n^+ - n$ -InSe – n^+ PHOTOTRANSISTOR ON THE BASE OF A SYMMETRIC HETEROJUNCTION

O.M.Sydor

Chernivtsi Department of Institute for Problems of Materials Science,
Ukr. Nat. Acad. Sci., Iryna Vilde St. 5, Chernivtsi, 58001
e-mail: chimsp@unicom.cv.ua

A possibility of fabrication of an oxide-InSe-oxide double symmetric heterojunction all the components of which have n -type conductivity is shown. The phototransistor effect is found to be observed in a wide range of base thickness: from 7 up to 110 μm . A considerable photocurrent amplification is realized only for the base sample thickness comparable to the minority carrier diffusion length. A specific feature of the amplification is that the transition of phototransistor from the high-resistance state to the low-resistance one takes place at fixed voltages and levels of illumination. In the switching mode a significant current density of about 200 mA/cm^2 is attained. The higher is illumination level the lower becomes the transition voltage. Photosensitivity of the structures in the wavelength range of 0.6–1.0 μm is shown.