

МЕХАНІЗМ ПРОТІКАННЯ СТРУМУ І ЗОННА ДІАГРАМА ГЕТЕРОПЕРЕХОДУ ОКСИД-*p*-InSe, ОРІЄНТОВАНОГО ПАРАЛЕЛЬНО ОСІ \vec{C}

На основі вимірювання вольт-фарадних характеристик гетеропереходу оксид-*p*-InSe побудовано енергетичну зонну діаграму. Встановлено зв'язок між зонною діаграмою гетеропереходу і його фотоелектричними властивостями. Виявлено, що поряд з діодними властивостями гетеропереходу спостерігається одночасно омична залежність його вольт-амперної характеристики. Показано, що механізм протікання струму у гетеропереходах оксид-*p*-InSe залежить від кристалографічної орієнтації *p*-*n*-переходу.

The energy band diagram was built on the basis of the capacitance-voltage measurements of the heterojunction oxide-*p*-InSe characteristics. The connection between the band diagram of the heterojunction and its photoelectrical characteristics is established. It is detected that in spite of the diode properties of the heterojunction at the same time its current-voltage characteristic has ohmic behavior. It is shown that a mechanism of the current transport in oxide-*p*-InSe heterojunction depends on the crystallographic orientation of *p*-*n*-junction.

Особливість досліджуваних гетеропереходів оксид-*p*-InSe в тому, що вони сформовані на основі анізотропних кристалів InSe. Такі кристали fotocутливі як до природного, так і до поляризованого світла в залежності від кристалографічної орієнтації підкладки [1]. Якщо кристалографічна ось \vec{C} збігається з напрямком поширення світла, то кристали InSe не чутливі до поляризованого світла. В разі освітлення, коли $\vec{E} \parallel \vec{C}$, спостерігається фотоплекроїзм (\vec{E} – вектор електричного поля світлової хвилі). Тому нижче подані результати досліджень гетеропереходів оксид-*p*-InSe, сформованих у площині $\parallel \vec{C}$.

Зазначимо особливості формування гетеропереходу у площині $\parallel \vec{C}$. Кристалічна будова InSe дозволяє сколювати зливки по площинам спайності шарів, між якими діють слабкі сили зв'язку атомів типу ван-дер-ваальсових, тоді як у шарах зв'язку атомів ковалентні. З одного боку, легко одержати плоскопаралельні підкладки InSe з дзеркальною поверхнею, але така поверхня не чутлива до поляризованого світла. Тому використовувались зрізи кристалів, що перпендикулярні до площини сколу. Зливки кристалів γ -InSe ($R\bar{3}m$) вирощувались методом Бріджмена. Для одержання fotocутливих зразків кристали InSe легувались

домішкою кадмію і мали дірковий тип провідності. Рентгенографічно визначались основні кристалографічні напрямки [100] і [110] пластин InSe, сколотих із зливка, для одержання необхідних зрізів зразків цих кристалів. У фотоелектричних вимірюваннях використовувалась кристалографічна площина (110) InSe. Зразки з (110) поверхнею піддавались тільки хімічній обробці. Відхилення основи одержаної поверхні InSe від кристалографічної площини (110) не перевищувало $3,5^\circ$. Гетеропереходи формувались методом термічного окислення кристалічної підкладки [2]. Для контактів використовувався чистий індій, який розплавленим добре змочувався до поверхні зразків.

Для побудови зонної діаграми гетеропереходу встановлювались енергетичні параметри як власного оксиду InSe, так і власне кристала. Нами експериментально виявлено [2], що оксидна плівка має такі самі властивості, як і плівки In₂O₃, вирощені іншим методом, наприклад термохімічним. До цих властивостей належать високі металічна електропровідність плівок і коефіцієнт пропускання світла. Тому такі плівки оксидів належать до вироджених напівпровідників. Глибина залягання рівня Фермі у дозволеній зоні провідності досягала 0,6 еВ, що було визначено із спектрів крайового оптичного поглинання по зсуву

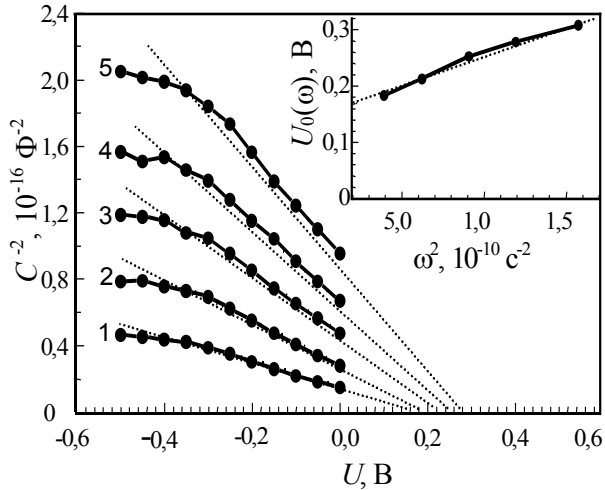


Рис.1. Вольт-фарадні характеристики гетеропереходу оксид-*p*-InSe (*p*-*n*-перехід $\parallel \vec{C}$) при різних частотах: 10 кГц (1), 12,6 кГц (2), 15,2 кГц (3), 17,4 кГц (4), 20 кГц (5). На вставці – частотна залежність емнісних напруг відсічки. $T=295$ К.

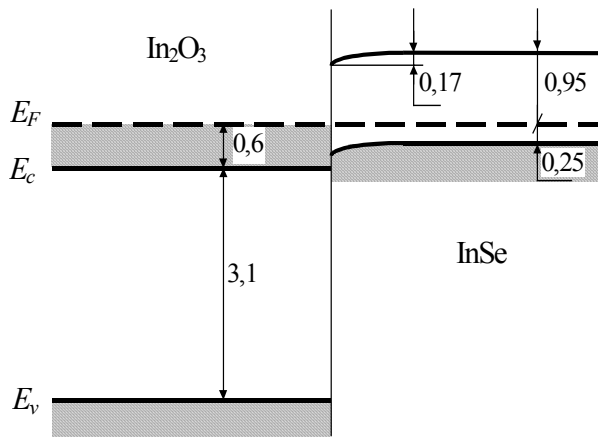


Рис.2. Енергетична зонна діаграма гетеропереходу оксид-*p*-InSe у рівноважних умовах. Всі величини виражені у електрон-вольтах. $T=295$ К.

Бурштейна-Мосса. Згин зон у *p*-InSe і глибина залягання рівня Фермі у напівпровіднику визначались також експериментально на основі вимірювання вольт-фарадних характеристик гетеропереходу, зображених на рис.1. Особливість вимірюваних ВФХ в тому, що при різних частотах тестуючого сигналу емнісна напруга відсічки не постійна. Це викликано впливом на вимірювання емності послідовного опору гетеропереходу, що включає нейтральну об'ємну частину InSe і приконтактні області. Для коректного визначення величини бар'єрного потенціалу отримані напруги відсічок при різних частотах апроксимувались залежністю $U_0(\omega) - \omega^2$ до нульової частоти. Така залежність подана на вставці до рис.1. Вимірю-

вання вольт-фарадних характеристик дозволили встановити, що величина потенціального бар'єра становить 0,17 еВ, а тип переходу – різкий. Крім того, рівень Фермі розміщений від стелі валентної зони на величину 0,25 еВ. У рівноважних умовах зонна діаграма має вигляд, зображений на рис.2.

Особливістю даної діаграми є те, що рівень E_v напівпровідника фіксований напроти виродженої зони провідності оксиду. Це приводить до того, що вольт-амперна характеристика гетеропереходу має нелінійний характер лише до напруг $U \leq \phi_0/e$, де ϕ_0 – величина потенціального бар'єра гетеропереходу. При більших прямих напругах потенціальний бар'єр для дірок зникає і ВАХ набуває лінійного характеру. Дослідження механізму протікання струму через *p*-*n*-перехід показали, що він має не дифузійний, а діодний характер. На мові зонної діаграми це означає, що дірки валентної зони напівпровідника, долаючи енергетичний бар'єр, рекомбінують з електронами оксиду на рівнях однакової енергії.

На рис.3 показані вольт-амперні характеристики гетеропереходу оксид-*p*-InSe, виміряні при різних температурах. Із зображених ВАХ випливає, що у верхній частині гілок їх нахил змінюється відносно зміни температури, а експоненційна залежність струму від напруги описується діодним коефіцієнтом $n \approx 1$. Проте, як видно з рис.3, подані залежності ВАХ спостерігаються вже при 0,1 В, тобто при малих значеннях прямих напруг. Зазначена особливість характерна для діодного механізму протікання струму через *p*-*n*-перехід на відміну від дифузійного, якому притаманні значно вищі прямі напруги спостереження діодної ВАХ. Підтвердженням діодного механізму протікання струму у гетеропереході оксид-*p*-InSe служить також порівняння величини дифузійної довжини носіїв заряду з шириною збідненої області. Для InSe характерні значення дифузійної довжини носіїв вздовж шарів кристала ($\perp \vec{C}$) – складають 1000-2000 мкм, тоді як ширина *p*-*n*-переходу при низькій величині бар'єрного потенціалу не перевищує 0,5 мкм.

Зауважимо також, що дане значення бар'єрного потенціалу значно нижче від аналогічної величини, виміряної для гетеропереходу оксид-*p*-InSe у площині перпендикулярній \vec{C} . В останньому випадку дифузійний потенціал становив 0,5 В [3].

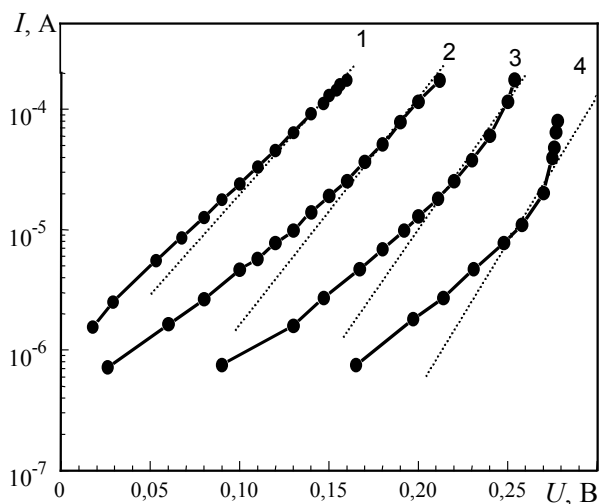


Рис.3. Вольт-амперні характеристики гетеропереходу оксид-*p*-InSe (*p*-*n*-перехід $\parallel \vec{C}$) при різних температурах: 300 К (1), 270 К (2), 240 К (3), 210 К (4). Пунктиром показані розрахункові ВАХ ідеальних діодів.

Отже, механізм протікання струму у гетеропереходах оксид-*p*-InSe залежить від кристалграфічної орієнтації *p*-*n*-переходу. У площині $\parallel \vec{C}$ механізми протікання струму через бар'єр діодний, а у площині $\perp \vec{C}$ – дифузійний. Дана особливість гетеропереходів на основі анізотропних напівпровідників важлива з точки зору проектування фоточувливих приладів як природного, так і поляризованого світла.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мехтиев Н.М., Рудь Ю.В., Салаев Э.Ю. Фотоэлектрические анализаторы поляризованного излучения (ФАПИ) на слоистых полупроводниках // ФТП. - 1978. - **12**, №8. - С.1566-1570.
2. Катеринчук В.Н., Ковалюк М.З. Гетеропереходы из InSe, сформированные термическим окислением кристаллической подложки // Письма в ЖТФ. - 1992. - **18**, №12. - С.70-72.
3. Катеринчук В.Н., Ковалюк М.З., Огородник А.Д. Гетероструктуры на основе селенидов индия // Неорг. материалы. - 1996. - **32**, №8. - С.937-940.