

ВПЛИВ ХАЛЬКОГЕНІДНОЇ ОБРОБКИ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ p - n ПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ GaAs

студ. 1-го курсу магістратури *Шерньов І.І.*¹

наукові керівники: к.ф-м.н. доц. *Маслєєва Н.В.*¹, асистент *Богдан О.В.*²

¹Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова

²Одеська державна академія будівництва та архітектури

Актуальність дослідження. У сучасному будівництві активно використовується бетон із додаванням різних антиморозних сумішей, які містять карбамід. При затвердінні такого бетону у навколишнє середовище виділяється токсична речовина – аміак. Концентрація аміаку в приміщеннях додатково зростає при збільшенні товщин залізобетонних конструкцій, зниженні вентиляції побудованих приміщень і збільшенні їх ізоляції від навколишнього середовища. Згідно з будівельними нормами концентрацію наявного аміаку необхідно контролювати і, у разі необхідності, зменшувати. Зазвичай контроль величини концентрації аміаку здійснюється за допомогою сенсорів на основі оксидів. Такі сенсори мають недостатню чутливість і потребують додаткового підігріву як для початкової адсорбції отруйного аміаку, так і для поновлення своєї роботи після його зникнення в атмосфері. P - n переходи на основі арсеніду галію, які можна використати в якості сенсорів аміаку, мають більшу чутливість і працюють при кімнатній температурі [1]. Додатково підвищити їх чутливість до парів аміаку можна за допомогою халькогенідної обробки поверхні [2].

Стан проблеми. Халькогенідна обробка поверхні або халькогенідна пасивація – це модифікація поверхні атомами сірки або селену. Халькогенідна пасивація дозволяє в одному технологічному циклі здійснити як хімічну, так і електронну пасивацію поверхні напівпровідників групи $A^{III}B^V$. На першому етапі такої обробки з поверхні видаляється шар оксидів. На другому етапі відбувається утворення шару сульфідних або селенідних сполук. Використання халькогенідної пасивації дозволяє суттєво зменшити густину поверхневих станів у забороненій зоні, зменшити швидкість поверхневої рекомбінації та уповільнити процеси окислення поверхні. За рахунок таких процесів відбувається покращення характеристик напівпровідників групи $A^{III}B^V$ та структур на їх основі [3].

Халькогенідна пасивація може проводитися у спиртових або водних розчинах різних сульфідних або селенідних сполук або з газової фази, відповідно сірки або селену. Наявні літературні джерела показують, що стійкість утвореного покриття вище після обробки у водних розчинах. У той же час наявні експериментальні дослідження по впливу халькогенідної обробки [2] на властивості напівпровідників групи $A^{III}B^V$ та структур на їх основі виконані на різних матеріалах, при різних умовах і тривалостях обробки і лише констатують можливість покращення характеристик. Це ускладнює вибір як певного розчину, так і режиму обробки для покращення характеристик конкретного матеріалу.

Мета роботи. Метою роботи було вивчення впливу різних халькогенідних розчинів та тривалостей обробки на вольт-амперні характеристики p - n -переходів на основі $GaAs$.

Отримані результати. Для проведення досліджень використовувалися діоди на основі $GaAs$, які були отримані епітаксіальним нарощуванням $GaAs$ (Si) на підкладку $GaAs$ (Te). Концентрація телуру у підкладці не перевищувала $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Концентрація кремнію у епітаксіальному шарі доходила до $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Кремній у арсеніді галію проявляє амфотерні властивості. Це дозволяє створювати p - n переходи завдяки зміні температури епітаксії [3]. У досліджених структурах p - n перехід був паралельним площині (100).

Вимірювання (ВАХ) прямих та зворотніх струмів p - n переходів на основі $GaAs$ проводилися у повітрі до та після халькогенідної обробки поверхні з різною тривалістю. Використовувалися водні розчини сульфідів і селенідів натрію, в яких швидкість утворення пасивуючого покриття менша, ніж у спиртових розчинах. Це дозволяло краще відслідковувати зміни ВАХ, особливо при короткотривалих обробках. Додаткове сповільнення процесу халькогенідної пасивації досягалося за рахунок зменшення концентрації іонів у розчині. Представлені результати були отримані після модифікації поверхні атомами сірки і селену у 30 % водних розчинах сульфідів натрію і селенідів натрію при освітленні сфокусованим світлом від лампи розжарювання. Після обробки діоди промивалися у дистильованій воді та висушувалися у потоці повітря для видалення води з поверхні.

На рис. 1, 2, 3, 4 показано ВАХ прямого струму p - n -переходів на основі $GaAs$ до та після сульфідної або селенідної обробки тривалістю 20 с і 40 с.

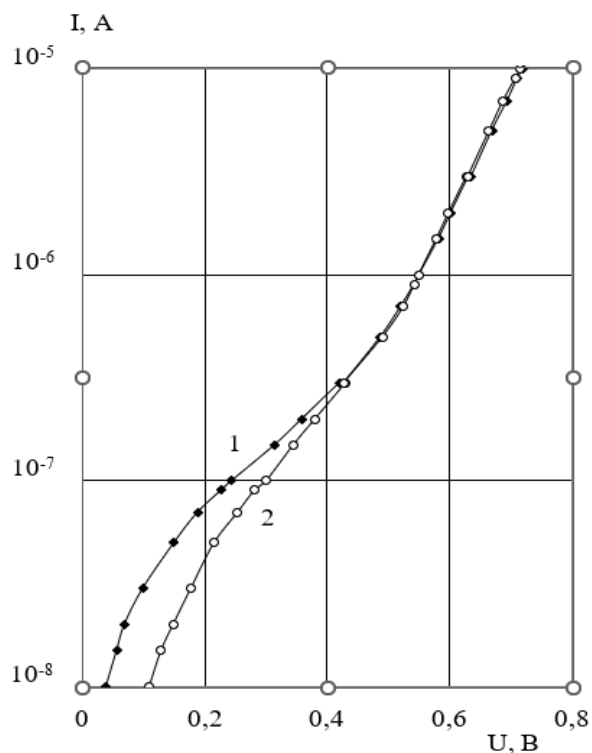


Рис. 1. ВАХ прямого струму p - n переходу на основі $GaAs$ до (1) та після (2) сульфідної обробки поверхні тривалістю 20 с.

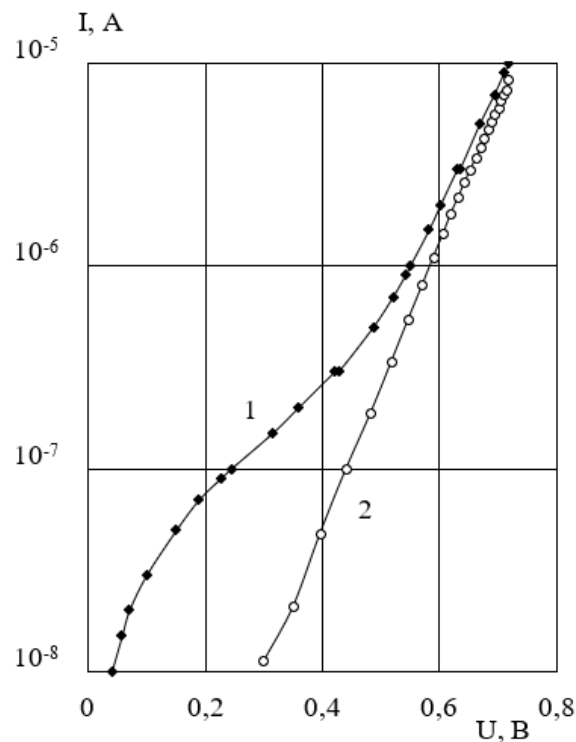


Рис. 2. ВАХ прямого струму p - n переходу на основі $GaAs$ до (1) та після (2) сульфідної обробки поверхні тривалістю 40 с.

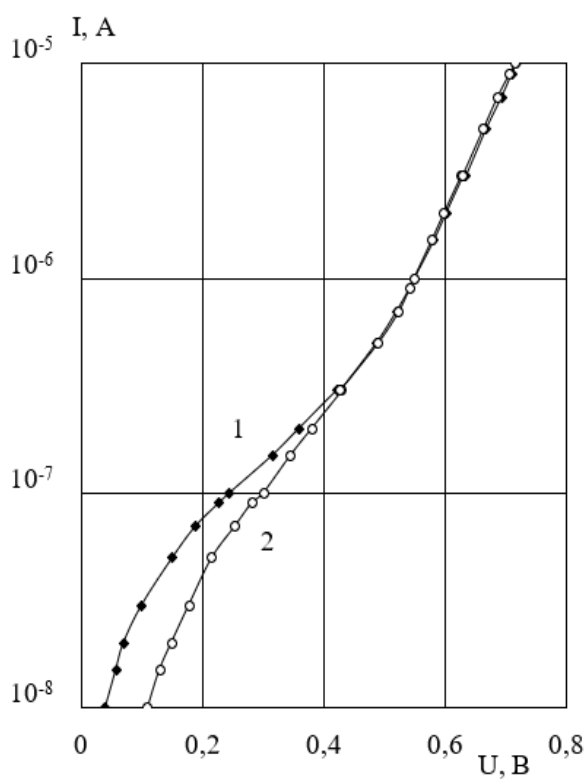


Рис. 3. ВАХ прямого струму p - n переходу на основі $GaAs$ до (1) та після (2) селенідної обробки поверхні тривалістю 20 с.

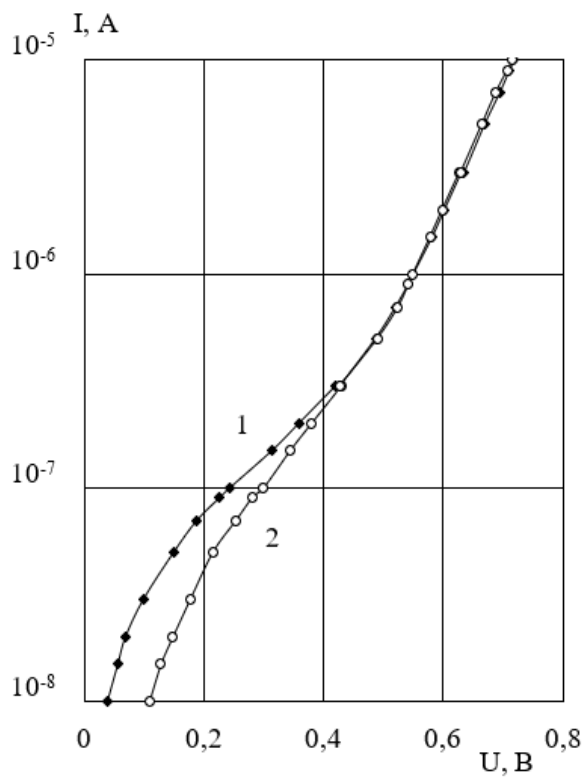


Рис. 4. ВАХ прямого струму p - n переходу на основі $GaAs$ до (1) та після (2) селенідної обробки поверхні тривалістю 40 с.

Аналіз ВАХ прямого струму p - n -переходів показує, що в області $10^{-8} < I < 10^{-6}$ А на ВАХ прямого струму до обробки спостерігаються ділянки виду:

$$I = I_{01} \exp(\alpha U) \quad (1)$$

де I_{01} , α – величини, які слабо залежать від температури, U – прикладена напруга. Струми виду (1) називають надлишковими. Вони обумовлені тунелюванням носіїв заряду через стани у забороненій зоні збідненого шару із однієї квазінейтральної області діода в іншу. Порівняння ВАХ прямих струмів p - n -переходів до та після короткотривалої халькогенідної обробки показує, що зменшується саме такі струми, як при сульфідній, так і при селенідній обробках. Треба відмітити, що сульфідна обробка більше зменшувала надлишкові струми, ніж селенідна як при 20 с обробки, так і при 40 с обробки, що свідчить про її більшу ефективність.

На ВАХ прямих струмів в області $10^{-6} < I < 10^{-4}$ А до та після обробки переважали струми виду

$$I = I_{02} \exp\left(\frac{qU}{nkT}\right) \quad (2)$$

де I_{02} – величина, яка незначно залежить від температури, q – заряд електрону, n – коефіцієнт неідеальності, який у досліджених діодів був більше 2 і зростав при зниженні температури, k – константа Больцмана, T – температура в градусах Кельвіна. Струми такого виду називають тунельно-рекомбінаційними і пов'язують з рекомбінацією носіїв заряду у збідненому шарі. На відміну від класичних рекомбінаційних струмів, у цьому випадку носії заряду потрапляють на енергетичні рівні в забороненій зоні, тунелюючи з p - або з n -області. На струми виду (2) сульфідна та селенідна обробки тривалістю 20 с і 40 с не впливали.

В області прямих струмів $10^{-4} < I < 10^{-2}$ А на ВАХ спостерігалися так звані дифузійні (інжекційні) струми. Ці струми обумовлені рекомбінацією носіїв заряду у квазінейтральних областях. Для них також виконується (2), але замість I_{02} стоїть множник I_{03} , який залежить від густини центрів рекомбінації у квазінейтральних областях. Коефіцієнт неідеальності для ВАХ дифузійних струмів дорівнює одиниці [3]. Проведені дослідження показали, що на величини дифузійних струмів сульфідна та селенідна обробки тривалістю 20 с і 40 с не впливали.

Зменшення прямих струмів після халькогенідної обробки можна пояснити зменшенням густини поверхневих станів (ПС) межі розділу p - та n - областей,

яке відбувається після видалення поверхневих оксидів та утворення зв'язків халькоген-галій [3].

Аналіз ВАХ зворотних струмів p - n переходів на основі $GaAs$, які були виміряні в повітрі до та після проведення халькогенідної обробки поверхні, показав зменшення струмів і у предпробійній області. Цей ефект, як і у випадку з прямими струмами, був більш суттєвим при сульфідній обробці за умови однакової тривалості процесу сульфідної та селенідної обробок. Зменшення обернених струмів після халькогенідної обробки поверхні також можна пояснити зменшенням густини ПС p - n переходів.

Висновки. В результаті проведених досліджень було встановлено, що модифікація поверхні p - n переходів на основі $GaAs$ атомами сірки або селену тривалістю 20 с і 40 с призводить до суттєвого зменшення надлишкових прямих струмів та обернених струмів у предпробійній області. При цьому покращення характеристик більше проявляється при сульфідній обробці.

Анотація

Досліджено вплив халькогенідної обробки різної тривалості на ВАХ прямого струму p - n переходов на основі $GaAs$. Показано, що короткотривала модифікація поверхні атомами сірки або селену приводить до покращення ВАХ прямого та зворотного струмів, що пояснюється зменшенням густини поверхневих станів. Цей ефект є більш вираженим у випадку сульфідної обробки.

Summary

The effect of chalcogenide treatment of different duration on the forward current response of p - n junctions based on $GaAs$. It is shown that short-term modification of the surface with sulfur or selenium atoms leads to an improvement in the forward and reverse current response, which is explained by a decrease in the density of surface states. This effect is more pronounced in the case of sulfide treatment.

ЛІТЕРАТУРА

1. О. Богдан, О. Птащенко, Ф. Птащенко, Н. Маслєєва Сульфідна активація p - n переходів на основі $GaAs$ як газових сенсорів //ВІСНИК ЛЬВІВ. УН-ТУ Серія фіз. – 2010. Вип. 45. С. 177 – 181.
2. Н. В. Маслєєва, О. В. Богдан, Є. В. Бритавський, Д. В. Тарасевич, В. В. Шугарова Вплив режимів сульфідної модифікації поверхні на механізм проходження струмів та морфологію поверхні у p - n переходах на основі $GaAs$ // Журнал фізичних досліджень, Т. 25, №3, 2021.
3. В.І. Карась, Л.А. Назаренко, І.В. Карась Світлодіоди: Фізика, технологія виготовлення, застосування: навч. посібник – Х.: ХНАМТ, 2012, 323с.