

## Розробка багатобар'єрних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії

*Костильов В.П., д.ф.-м.н.,*

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України  
Центр випробувань фотоперетворювачів та батарей фотоелектричних  
пр. Науки, 41, Київ, 03028, Тел/факс (+38044) 525-5788, [kost@isp.kiev.ua](mailto:kost@isp.kiev.ua)*

В останні роки має місце значний прогрес в області створення високоефективних сонячних елементів (СЕ) на основі монокристалічного кремнію, що сприяло підвищенню їх коефіцієнта корисної дії (ККД) до значень більших, ніж 24% в умовах АМ 1,5. Разом з тим, реалізовані практично параметри СЕ ще не досягли значень, що передбачаються теорією (близько 30%), що свідчить про доцільність подальших досліджень у цьому напрямку. Особливо актуальними на даний час є задачі підвищення ККД СЕ і зменшення їх вартості.

Доповідь присвячена огляду результатів робіт з розробки фізичних і фізико-технологічних засад створення високоефективних (ККД до 20%, АМ1,5) СЕ космічного та наземного призначення на основі кремнієвих багатобар'єрних структур з комбінованими дифузійно-польовими бар'єрами, виконаних у відділі фізичних основ напівпровідникової фотоенергетики Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України.

Використання кремнієвих фоточутливих структур (КФС) з комбінованими дифузійно-польовими бар'єрами [1] дозволяє поєднати переваги дифузійних і інверсійних фоточутливих структур (ФС), позбувшись при цьому притаманних їм недоліків. Цей тип ФС базується на використанні комбінованого - індуковано-дифузійного способу формування роздільних бар'єрів у кремнієвих багатобар'єрних структурах типу ДН чи МДН. При цьому дифузійно-польові бар'єри створюються як за допомогою дифузії мілких легуючих домішок, так і завдяки заряду, який присутній у шарі двоокису кремнію, нанесеному на поверхню дифузійного шару. Відносно невисокий рівень легування емітерної області у ФС з дифузійно-польовими бар'єрами забезпечує істотно нижчий рівень рекомбінаційних втрат в емітерній області таких структур порівняно з дифузійними ФС і, в той же час, дозволяє істотно зменшити опір приповерхневого шару, а існування польового бар'єру значно зменшує швидкість поверхневої рекомбінації на межі поділу ДН.

В доповіді розглянуті деякі особливості процесів генерації і рекомбінації нерівноважних носіїв заряду в кремнієвих структурах з приповерхневими дифузійно-польовими бар'єрами, а саме: вплив концентрації надлишкових носіїв заряду на ефективну швидкість поверхневої рекомбінації, механізми формування рекомбінаційних струмів в прямо зміщених високоякісних кремнієвих багатобар'єрних фоточутливих структурах, особливості формування фотоефектів в системах Si-SiO<sub>2</sub> з текстурованою поверхнею, трансформація рекомбінаційних характеристик при формуванні дифузійних *p-n*-переходів в кремнії.

Слід зауважити, що до недавнього часу великої уваги цим особливостям не приділялося внаслідок того, що якість кремнієвого матеріалу була недоста-

тньо високою, і ефективність фотоперетворення в кремнієвих СЕ обмежувалась домінуючим об'ємним механізмом рекомбінації Шоклі-Ріда-Хола. З покращенням технології вирощування кремнію і технології виготовлення кремнієвих СЕ зазначені особливості дедалі стають все більш вагомими.

Обговорюються результати комп'ютерної оптимізації конструктивно-технологічних рішень за допомогою запропонованої фізичної моделі багатобар'єрного кремнієвого фотоперетворювача з комбінованими дифузійно-польовими бар'єрами. Розглянуті особливості просвітлення таких фотоперетворювачів. Наводяться результати експериментальних досліджень світлових вольт-амперних характеристик і спектральних характеристик зовнішнього і внутрішнього квантового виходу дослідних зразків дифузійно-польових СЕ і сонячних батарей нового покоління, виготовлених в рамках Національної космічної програми України по замовленню ДКБ "Південне", призначених для використання в системі енергопостачання космічного апарату КС5МФ2 "Мікрон". В спектральних умовах АМ0 розроблені СЕ характеризувались густиною струму короткого замикання  $J_{кз}=38\div42$  мА/см<sup>2</sup>, напругою розімкненого кола  $V_{рк}=0,635\div0,645$  В, коефіцієнтом форми ВАХ  $K_{ф}=0,795\div0,805$ , питомою вихідною електричною потужністю  $P_{в}=205\div220$  Вт/м<sup>2</sup>.

ККД розроблених і виготовлених в рамках Державної програми України з захисту населення від наслідків аварії на Чорнобильській АЕС за завданням Міністерства України з надзвичайних ситуацій дифузійно-польових сонячних батарей підвищеної ефективності встановленою потужністю 0,1 та 2 Вт, призначених для використання в сонячно-акумуляторних блоках електроживлення переносної дозиметричної та радіометричної апаратури нового покоління склав 18-19% (АМ1,5).

Розглянутий спосіб зменшення вартості енергії, яка генерується СЕ - використання систем з концентрацією сонячної енергії на поверхні СЕ. В цьому випадку питома вартість СЕ, яка складає  $\approx 50\%$  від вартості фотоелектричної батареї, суттєво зменшується за рахунок значно дешевших концентраторів, - лінз Френеля або параболічних чи параболо-циліндричних дзеркал, оскільки фотоприймальна площа визначається в цьому випадку саме вхідною площею концентратора, а площа і вартість СЕ зменшуються обернено пропорційно ступеню концентрації.

Наведені результати дослідження фотоенергетичних характеристик СЕ з комбінованими дифузійно-польовими бар'єрами при концентрованому освітленні в умовах натурального Сонця, концентрація ( $K=1\ldots200^X$ ) сонячного випромінювання здійснювалася за допомогою пластмасової лінзи Френеля. СЕ розміщувалися на пасивному алюмінієвому радіаторі. Обговорюються результати експериментальних досліджень світлових вольт-амперних характеристик (ВАХ) і розрахованих з них фотоенергетичних параметрів – струму короткого замикання  $I_{кз}$ , напруги розімкненого кола  $V_{рк}$ , коефіцієнта заповнення ВАХ  $FF$ , ККД в залежності від ступеня концентрації сонячного випромінювання. Експериментально встановлено збільшення  $V_{рк}$  до значень 0,750 В, а ККД – до 18,1% при  $K=20^X$ .

Приділена увага новим розробкам багатобар'єрних кремнієвих фотоперетворювачів - з тилловим розміщенням бар'єрів і зустрічно-штирьової контактної металізації.

#### **Література**

1. Горбань А.П. Высокоэффективные диффузионно-полевые кремниевые солнечные элементы с термически окисленной поверхностью : тез. докл. 6 Республ. конф. "Физические проблемы МДП-интегральной электроники" (Севастополь, июнь 1990) / А.П.Горбань, В.П.Костылёв, В.Г.Литовченко, И.Б.Николин, А.А.Серба, В.В.Черненко // К. - 1990. - С.58.