

## **Найбільш важливі досягнення відділу №41.**

- Розроблено високоефективні кремнієві сонячні елементи (СЕ) з дифузійно-польовими бар'єрами, що використовуються, зокрема, в системах енергопостачання космічних апаратів. Детально досліджено їх фотоенергетичні параметри. Показано, що вони мають значно більшу короткохвильову чутливість порівняно з дифузійними аналогами. Встановлено, що ефективність фотоперетворення цих СЕ в умовах АМ 1,5 досягає високих значень - до 19%. В рамках Національної космічної програми України відповідно до Державних контрактів за темами «Мікросупутник» і «Попередження» була виконана НДДКР з розробки та виготовлення комплекту сонячних батарей (СБ), призначених для використання в системі енергопостачання вітчизняного космічного апарата нового покоління в якості первинного джерела енергії. Зазначені батареї, виготовлені з використанням розроблених колективом відділу №41 СЕ, мають електричну потужність, яка віддається в навантаження в умовах АМ0, не менше 180 Вт/м<sup>2</sup>, пройшли повний цикл автономних і комплексних випробувань та встановлені на льотному зразку КА КС5МФ2 «Мікрон», успішний запуск якого здійснений у грудні 2004 року (А.П. Горбань, В.П. Костильов, А.В. Макаров, О.А. Серба, В.В. Черненко, Б.Ф. Дверніков, 1994-2004).
- Розроблено конструктивно-технологічні принципи створення кремнієвих СБ підвищеної ефективності, призначених для використання в складі сонячно-акумуляторних блоків електроживлення наземної радіоелектронної техніки. З використанням розроблених СЕ дифузійно-польового типу в Спеціальному конструкторсько-технологічному бюро з дослідним виробництвом Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарєва НАН України були освоєні в дрібно-серійному виробництві СБ з ефективністю не нижче 16% в умовах АМ1,5 і потужністю 0,1 та 2 Вт, призначені для комплектації розробленої на замовлення МНС України професійної дозиметричної та радіометричної апаратури нового покоління, яка експлуатується в польових умовах (А.П. Горбань, В.П. Костильов, А.В. Макаров, О.А. Серба, В.В. Черненко, Б.Ф. Дверніков, 1997-1999).
- Виконано детальний аналіз впливу раніше не врахованих екситонних ефектів на процеси фотоелектричного перетворення в монокристалічному кремнії. Зокрема, шляхом порівняння теоретич-

них розрахунків з експериментом визначено параметр безвипромінювальної екситонної рекомбінації з участю глибокого рекомбінаційного рівня в кремнії. Розраховано вплив екситонної рекомбінації на граничну ефективність фотоперетворення в кремнієвих СЕ з дифузійними  $p-n$ -переходами. Встановлено, що істотний вплив екситонів на ефективний час життя носіїв заряду в кремнії відбувається вже за умови, коли їх концентрація ще значно менша за концентрацію електронно-діркових пар. Показано, що включення екситонного каналу рекомбінації в залежності від типу провідності бази призводить до зменшення граничної ефективності фотоперетворення в кремнієвих СЕ у відносних одиницях на величину від 5 до 10 % (А.П. Горбань, А.В. Саченко, В.П. Костильов, Н.А. Прима, 2000-2003).

- Розглянуто принципові особливості фотоперетворення в СЕ, виготовлених на основі полікристалічного кремнію. Показано, що при достатньо малих розмірах кристалітів ( $\leq 50$  мкм) суттєвий вплив на величину ефективної довжини дифузії та на струм короткого замикання вносить рекомбінація на межах зерен. Істотне зростання струму короткого замикання та ефективності фотоперетворення відбувається у випадку, коли розміри кристалітів стають більшими за довжину біполярної дифузії в цьому матеріалі (мультикристалічний кремній). Проведено порівняння теоретичних розрахунків з експериментом і показано, що вони добре узгоджуються між собою (А.П. Горбань, В.П. Костильов, В.Г. Литовченко, А.В. Саченко, А.А. Саріков, 2001 -2003).
- Теоретично і експериментально досліджено спектральні залежності малосигнальної фото-ЕРС розімкненого кола кремнієвих СЕ для випадку довільного співвідношення між товщиною бази  $d$  та довжиною дифузії електронно-діркових пар  $L$ . Запропоновано методику визначення величини  $L$  та ефективних швидкостей поверхневої рекомбінації на фронтальній та тильовій поверхнях кремнієвих СЕ (А.П. Горбань, В.П. Костильов, А.В. Саченко, В.В. Черненко, 2001).
- Виконано теоретичний аналіз залежностей ефективних швидкостей поверхневої рекомбінації для кремнієвих СЕ від рівнів легування  $p$ - та  $n$ -областей, враховуючи ефекти виродження та звуження ширини зон. Визначено умови мінімізації ефективних швид-

костей поверхневої рекомбінації в залежності від рівня легування та товщини сильно легованих  $p^+$  – та  $n^+$  - областей. Теоретично розглянуті залежності ефективних швидкостей поверхневої рекомбінації в інверсійних кремнієвих СЕ від рівня освітленості. Показано, що у випадку, коли на поверхні існують сильні інверсійні чи збагачуючі вигини зон, ефективна швидкість поверхневої рекомбінації спочатку не залежить від рівня освітленості, а при великих рівнях ін'єкції, що перевищують концентрацію основних носіїв заряду в базі, починає лінійно зростати із збільшенням рівня освітленості. В той же час, коли на поверхні реалізуються початкові виснажуючі вигини зон, ефективна швидкість поверхневої рекомбінації, навпаки, зменшується із збільшенням рівня ін'єкції, починаючи зі значень, що більші за концентрацію неосновних носіїв заряду в базі (А. П. Горбань, В.П. Костильов, А.В. Саченко, І.О. Соколовський, 1999 – 2005).

- Розроблено та метрологічно атестовано сучасну стендову базу автоматизованого експресного вимірювання спектральних характеристик і фотоенергетичних параметрів СЕ та СБ. На її основі створено єдиний в Україні Центр випробувань фотоперетворювачів та батарей фотоелектричних при Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарєва НАН України, атестований Українським державним науково-виробничим центром стандартизації, метрології та сертифікації Держспоживстандарту України (А.П. Горбань, В.П. Костильов, О.А. Серба, Б.Ф. Дверніков, В.В. Черненко, 1993 – 2009).
- Теоретично розрахована ефективність кремнієвих СЕ з тиловим бар'єром і тиловою контактною металізацією для умов АМ0, АМ 1,5 та при концентрованому освітленні. Отримано залежності параметрів СЕ від ступеня концентрації освітлення для струму короткого замикання, напруги розімкненого кола та ККД фотоперетворення. Проведено порівняння розрахункових залежностей з експериментальними даними, взятими з цитованої літератури. Між ними отримано гарне узгодження. Розроблена оригінальна конструкція та виготовлені експериментальні зразки кремнієвих СЕ з тиловою металізацією. Проведено експериментальне дослідження фотоенергетичних параметрів цих зразків. Виконано теоретичний та експериментальний аналіз роботи СЕ з тиловим бар'єром і тиловою контактною металізацією у випадку низьких рівнів освітленос-

ті при наявності на фронтальній поверхні плаваючого  $p-n$  переходу. Встановлено механізм погіршення таких параметрів, як струм короткого замикання, напруга розімкненого кола та ефективність фотоперетворення із зменшенням освітленості (це - вплив рекомбінації в приповерхневій області просторового заряду) (А.П. Горбань, В.П. Костильов, А.В. Саченко, О.А. Серба, І.О. Соколовський, В.В. Черненко, 2007 – 2009).

- Виконано теоретичний аналіз граничної ефективності СЕ з квантовими ямами з врахуванням поверхневої рекомбінації, що відбувається на межах квантових ям та базового матеріалу СЕ. Показано, що величина поверхневої рекомбінації тим більша, а ефективність фотоперетворення тим менша, чим сильніше відрізняються постійні ґраток матеріалу квантових ям та базового матеріалу. На основі комп'ютерної програми SimWindows виконано чисельний розрахунок ефективності фотоперетворення в сполуках  $A_3B_5$  з квантовими ямами в залежності від рівня легування та рівня освітлення. Визначено умови, при яких ефективність фотоперетворення в СЕ з квантовими ямами буде більшою за ефективність фотоперетворення в стандартних СЕ (без квантових ям) (А.В. Саченко, І. О. Соколовський, 2007 – 2008).
- За цикл наукових праць, виконаних у відділі № 41, завідувачу відділу Горбаню А.П. у 2007 році присуджена Державна премія України у галузі науки і техніки.