

© 2000р. Л.М. Новіков, Л.Ф. Політанський, О.Ф. Ляшенко,  
Д.О. Паламарчук

Чернівецький державний університет ім. Ю.Федьковича, Чернівці

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ДЕГРАДАЦІЇ І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПОТУЖНИХ ПМОН-СТРУКТУР

Досліджені вольт-амперні характеристики зворотнозмощених *p-n*-переходів потужних високовольтних транзисторних структур в області лавинного пробую. На основі проведених досліджень пропонується метод імпульсного тренування стік-витоків областей. Розроблені критерії діагностичного контролю якості й надійності високовольтних МОН-транзисторних структур в умовах серійного виробництва.

*IV* characteristics of reverse base *p-n*-junctions of power high-voltage transistor structures in the region of avalanche breakdown were considered. The method of impulse training of source-drain regions has been proposed with as basis at the experiments. The criteria of diagnostics control of quality and reliability of power DMOS structures was proposed.

Вивченню вольт-амперних характеристик у передпробійному стані і в області пробую присвячено ряд праць [1-3]. У працях [4,5] досліджені механізми збільшення зворотних струмів і причини їх нестабільності у часі. Особливості лавинного пробую у кремнієвих та германієвих *p<sup>+</sup>-n* структурах описані у працях [2,6]. Оцінка надійності малопотужних біполярних транзисторів на основі епітаксійних структур *n-n<sup>+</sup>* за параметрами струмової форми вторинного пробую проводилась у працях [3,7].

У даній праці вивчені ВАХ у передпробійному стані і в області лавинного пробую, а також струмова форма вторинного пробую у потужних високовольтних МОН-транзисторних структурах.

Розроблені методи імпульсного тренування стік-витоків *p-n*-переходів. На основі проведених випробувань на надійність відпрацьовані критерії виявлення потенційно ненадійних транзисторних структур.

Досліджувалися потужні високовольтні кремнієві МОН-транзисторні структури з індукованим *n*-каналом, виготовлені на епітаксійних структурах типу  $100 \frac{50 \text{ КЭФ } 25,0 - \text{ПА}}{460 \text{ КЭС } 0,01 - \text{ПВК}_2}$ . Товщина

епітаксійної плівки становила 50 мкм з питомим опором 25 Ом·см. Діелектрик заслону товщиною 0,1-0,02 мкм створений термічним окисленням. В якості електрода заслону використовувався полікремній, який дозволяє створити самосуміщений заслін з мінімальним перекриттям дифу-

зійних областей і цим, зменшити вхідну та вихідну ємності МОН-транзисторних структур. Напряга пробую стік-виток складала  $U_{\text{св}} \geq 500 \text{ В}$ , опір у відкритому стані  $R_{\text{св}} = 1,5 \text{ Ом}$ , гранично допустимий струм стоку  $I_{\text{с}} = 4,5 \text{ А}$ .

Аналіз ВАХ зворотнозмощеного стокового *p-n*-переходу проводився з допомогою приладу спостереження вольт-амперних характеристик ЛІ2-56 на вибірці транзисторних структур у кількості 500 штук. Для більшості транзисторних структур зворотні струми  $I_{\text{с. поч.}}$  – стабільні у часі. У залежності від форми ВАХ прилади розділяли на три групи:

1. Прилади з "жорсткими" ВАХ до пробую, стабільної у часі форми,  $I_{\text{с. поч.}} \leq 1 \text{ мкА}$  при  $U_{\text{св}} = 400 \text{ В}$  – 57% структур (рис.1).

2. Прилади з "м'якими" ВАХ у передпробійній області, стабільної у часі форми,  $1 \text{ мкА} < I_{\text{с. поч.}} \leq 40 \text{ мкА}$  при  $U_{\text{св}} = 400 \text{ В}$  – 38% структур (рис.2).

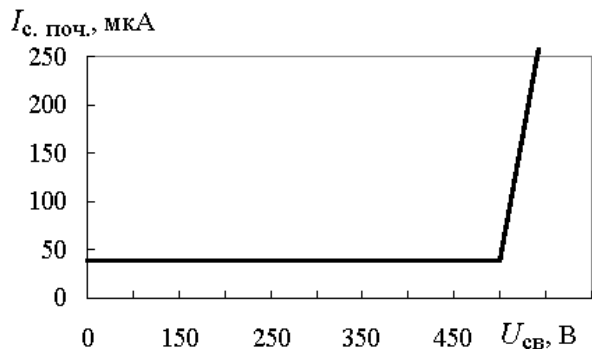


Рис.1. Стабільна у часі "жорстка" характеристика.

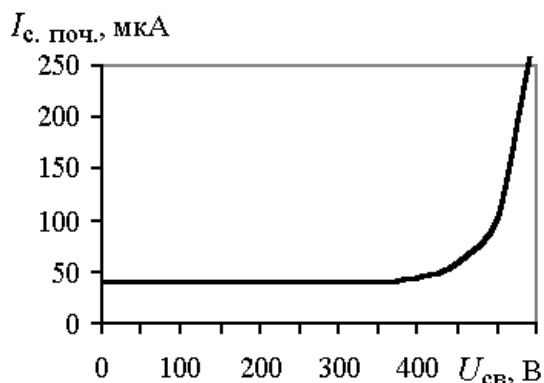


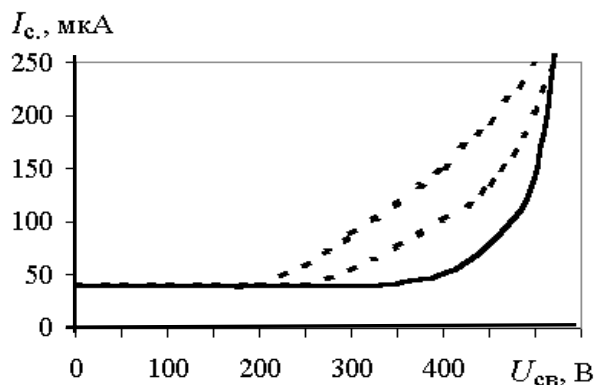
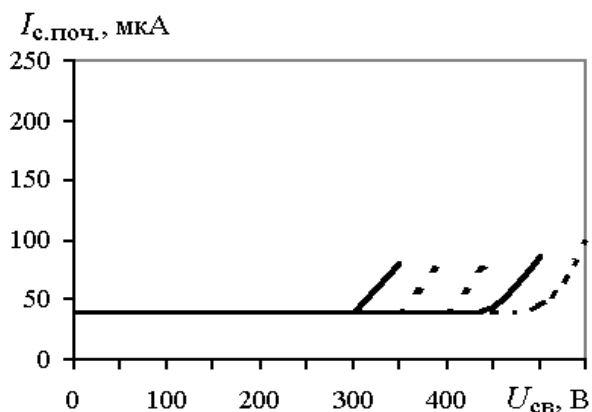
Рис.2. Стабільна у часі "м'яка" характеристика.

Разом з тим на 5% транзисторних структур спостерігалася нестабільність у часі зворотних струмів, яка полягала як в їх зростанні з часом, так і в їх зменшенні (рис.3,4). При цьому дрейф зворотних струмів спостерігався протягом досить тривалого часу (1-30 хвилин) і супроводжувався поверхневими й імпульсними шумами, характерними для генераційно-рекомбінаційних процесів на пастках на границі розділу Si-SiO<sub>2</sub> і модуляції потенційного бар'єру глибокими пастками в області просторового заряду [8-15]. Явища нестабільності зворотних струмів, імпульсні шуми, що мали місце у даному випадку, ймовірно пов'язані з повільними поверхневими станами, а поверхневі шуми – зі швидкими станами на границі розділу Si-SiO<sub>2</sub>.

Процес дрейфу зворотного струму різко прискорюється, якщо на *p-n*-перехід, який досліджується, подати напругу вищу від напруги лавинного пробію і забезпечити лавинний струм 250-1200 мкА. У цьому випадку зворотній струм стоку переходить у стаціонарний стан за досить короткий проміжок часу у діапазоні 20÷700 мс. Водночас інерційність відновлення  $I_{c.poc.}$  до рівноважного стану після зняття напруги зворотного зміщення складає декілька секунд і дозволяє зафіксувати підвищений початковий струм стоку після впливу лавинних імпульсів струму.

Механізм збільшення швидкості росту зворотних струмів при дії лавинного струму можна пояснити перезарядкою повільних станів лавинними носіями завдяки ударній іонізації [10-12].

Дослідження ВАХ на ділянці лавинного пробію показали, що на транзисторних структурах з малим рівнем зворотного струму в передпробійному стані  $I_{c.poc.} \leq 40$  мкА спостерігався типовий мікроплазмовий пробій з характерними імпульсами лавинного струму на початковій ділянці пробію [9].

Рис.3. Нестабільна у часі "м'яка" ВАХ дрейф у сторону збільшення  $I_{c.poc.}$ Рис.4. Нестабільна у часі "м'яка" ВАХ дрейф у сторону зменшення  $I_{c.poc.}$ 

Разом з тим 1% транзисторних структур мали характерний гістерезис лавинного пробію (ГЛП). При цьому напруга пробію була вища за напругу його вимкнення [9,10,16]. Гістерезис пробію для досліджуваних транзисторних структур складав 50-150 В і вимкнення лавини у більшості випадків відбувалось при напрузі  $U_{cb.}$  нижчій, ніж робоча напруга транзисторної структури  $U_{cb.} = 400$  В.

Гістерезис лавинного пробію зв'язують з досить великою концентрацією глибоких пасткових центрів в області просторового заряду зворотно-зміщеного *p-n*-переходу, перезарядка яких лавинними носіями призводить до збільшення напруженості електричного поля в області пробію і зменшенню напруги пробію [9,10,16]. Вид ВАХ ГЛП показаний на рис.5.

Інший вид аномальної, нестійкої ВАХ в області пробію спостерігався у вигляді струмової форми вторинного пробію, яка пов'язується з ударною іонізацією (лавинною інжекцією) і спостерігається у транзисторних структурах на епітаксійному шарі. При збільшенні напруги на зворотно-зміщеному переході область просторового заряду *p-n*-переходу розширюється, в основному,

у сторону слаболегованого  $n$ -шару. У  $n^+$ -шарі подальше розширення припиняється, напруженість швидко зростає, розпочинається лавинне помноження носіїв у  $p$ - $n$ -переході з наступним розмноженням на  $n$ - $n^+$ -границі. Коли напруга на структурі падає, наступає струмова форма вторинного пробую. При цьому область об'ємного заряду у колекторній області розширюється до низькоомної колекторної підкладки, а напруга падає до напруги лавинного пробую  $p$ - $n^+$ -переходу, стік-витокова  $n^+$ -підкладка [7]. Це явище називається проколом стокової  $n$ -області.

На основі проведених досліджень ВАХ  $p$ - $n$ -переходів до і в області лавинного пробую розроблений автоматизований метод імпульсного тренування і діагностичного контролю якості і надійності потужних високовольтних транзисторних структур. Метод передбачає тренування  $p$ - $n$ -переходів стік-витокових областей "пакетом" імпульсів напруги зворотного зміщення достатньої для лавинного пробую і забезпечення лавинного струму 250÷1200 мкА. Тривалість "пакету" імпульсів – 1 секунда, пауза між імпульсами – 10 мс.

Після такої дії "пакету" імпульсів напруги, вимірюються основні параметри. Придатними вважаються транзисторні структури з  $I_{c, \text{поч.}} \leq 40$  мкА при  $U_{св} = 400$  В або  $U_{св} = 0,8 U_{\text{проб.}}$ . У результаті такого тренування виявляються потенційно ненадійні транзисторні структури, що мають нестабільні у часі ВАХ до лавинного пробую, а також структури з нестабільною напругою лавинного пробую (струмова форма вторинного і гістерезис лавинного пробую).

Ефективність методики підтверджена випробуваннями транзисторних структур на безвідмовність протягом 500 годин при температурі 125°C,  $U_{св} = 400$  В,  $U_{зв} = 0$  В.

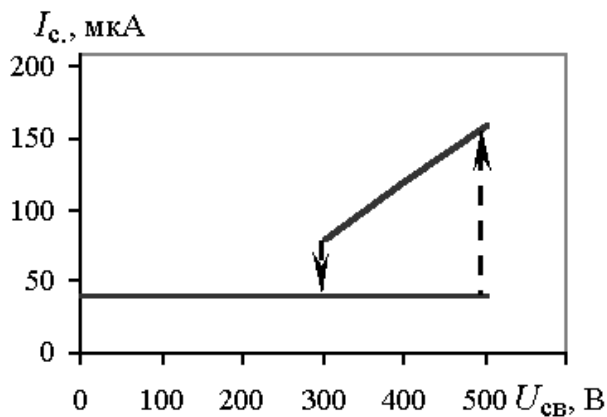


Рис.5. Гістерезис лавинного пробую.

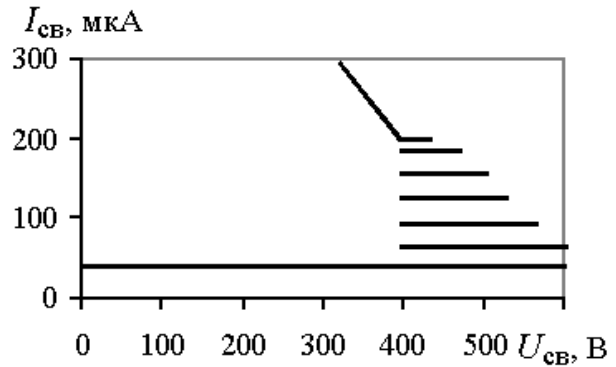


Рис.6. Генерація на вторинному пробую.

Із попередньо визнаних ненадійними згідно з методикою транзисторних структур у кількості 21 штуки, при наступних випробуваннях на безвідмовність мали місце катастрофічні відмовлення 5 структур і 14 структур з параметричними відмовленнями за  $I_{c, \text{поч.}}$ . Тоді як усі транзисторні структури, які за критерієм діагностики, згідно з методикою, визнані як придатні у кількості 50 штук з "жорсткими" і "м'якими" ВАХ у передпробійній області, успішно пройшли випробування на безвідмовність протягом 500 годин.

На основі проведених досліджень і випробувань на безвідмовність можна вважати, що запропонований метод ефективний для виявлення потенційно ненадійних високовольтних потужних транзисторних структур на епітаксійній  $n^+$ -підкладці, виготовлених за МОН-технологією.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шафт Х.А. Вторичный пробой // ТИИЭР. - 1967. - 55, №8. - С.33.
2. Грехов И.В., Сережкин Ю.Н. Лавинный пробой  $p$ - $n$ -перехода в полупроводниках. - Ленинград: Энергия, 1980.
3. Коган Н.Д. Влияние плотности тока на положение области пространственного заряда  $p$ - $n$ -перехода диффузионного эпитаксиального транзистора // Электротехника, Серия полупроводниковые приборы. - 1970. - №1. - С.25-44.
4. Горлов М.М., Ануфриев Я.П., Бордюжа О.Л. Обеспечение и повышение надёжности полупроводниковых приборов и интегральных схем в процессе серийного производства. - Минск: НПО Интеграл, 1997.
5. Агаларзаде П.С., Петрин А.И., Изидинов С.О. Основы конструирования и технологии обработки поверхности  $p$ - $n$ -перехода / Под ред. В.Е.Челнакова. - М.: Сов. радио, 1978.
6. Колесников В.Г. и др. Кремниевые планарные тран-

- зисторы. - М.: Сов. радио, 1973.
7. Пуритис Т.Я., Новиков Л.Н. Использование вторичного пробоя для диагностирования планарных кремниевых транзисторов // Электронная техника. Сер.8. Управление качеством, стандартизация, метрология, испытания. - 1988. - вып.1. - С.128.
  8. Акимов П.В., Грехов И.В., Сережкин Ю.Н. Задержка пробоя микроплазмы высоковольтных кремниевых *p-n*-переходов // ФТП. - 1970. - 4, вып.11. - С.2099-2105.
  9. Новиков Л.Н., Викулин И.М., Прохоров В.А. Влияние инфракрасного излучения на лавинный пробой в *p-n*-переходах // Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы. - 1988. - вып.3. - С.17-22.
  10. Викулин И.М., Новиков Л.Н., Прохоров В.А., Стрелин А.Н. Процессы релаксации лавинного пробоя при электронном облучении // Электронная техника. Сер.2. Полупроводниковые приборы. - 1988. - вып.1. - С.53 -60.
  11. Викулин И.М., Новиков Л.Н., Прохоров В.А. Влияние облучения нейтронами на характеристики микроплазменного пробоя // ФТП. - 1983. - 17, вып.6. - С.1054-1059.
  12. Волков К.А., Дягелев В.Н., Лебедев В.И., Лубашевский А.В. Микро мощные интегральные схемы. - М.: Сов. радио, 1975.
  13. Кисилёв В.Ф. Поверхностные явления в полупроводниках и диэлектриках. - М.: Наука, 1970.
  14. Hsu S.T. Bistable noise in *p-n* junctions // Solid State Electron Pergamon Press. - 1971. - 11. P.487-497.
  15. Ван дер Зил Шум. Источники, описание, измерение. - М: Сов. радио. - 1973.
  16. А.с. №805213, МКИ У01 31/26. Способ контроля качества и надёжности полупроводниковых структур с *p-n*-переходами / Новиков Л.Н., Прохоров В.А., Палей В.Н. // Опубликовано 15.02.81.