

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

На правах рукопису

Петрусенко Віталія Миколайович

ПРОВІДНІСТЬ МГДН СТРУКТУР
З ОСНОВНИМИ НОСІЯМИ ЗАРЯДУ

01.04.10 - Фізика напівпровідників та діелектриків

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ - 1993

Робота виконана в Київському університеті ім. Тараса Шевченка.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор
Добровольський В. М.

Офіційні опоненти: член-кореспондент АН України, доктор фізико-
математичних наук, професор Литовченко В. Г.

кандидат фізико-математичних наук, с. н. с.
Євтух А. А.

Провідна установа: Інститут Фізики АН України, Київ.

Захист відбудеться "20" березня 1993 р. о 15 год. в ауд. 46
на засіданні Спеціалізованої Ради К 068.18.01 в Київському
університеті імені Тараса Шевченка (252127, Київ - 127,
вул. Ковалевської, 1, радіофізичний факультет).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці університету.

Автореферат разіслано "6" серпня 1993 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої Ради

Шкавро А. Г.

ЛННБ України ім. В. Стефаника



00815200 (G)

Підписано до друку 14.07.93. Формат 60x84 1/16. Офсетний друк.
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 0,70. Тираж 100 прим. Зам. 1397в.

Б ім. В. Стефаника Університету України, 252171, Київ, вул. Горького, 180.

АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

В даний час структури метал - тунельно прозорий діелектрик - напівпровідник (МТДН) широко використовуються у техніці: в перетворювачах сонячної енергії в електричну, запам'ятовуючих елементах, МТДН перемикачах, приладах функціональної мікроелектроніки, фотодетекторах. Вивчення МТДН структур дає інформацію про властивості границь поділу напівпровідника та діелектрика.

Розглянемо коротко режими роботи МТДН структур. На рис.1 показана конструкція МТДН структури. Для визначеності будемо розглядати структуру, виготовлену на пластині п-типу провідності. Нехай на польовий електрод структури подана стаціонарна від'ємна відносно омичного контакту (див. рис.1) напруга. У випадку структури з тунельно непрозорим діелектриком внаслідок термогенерації

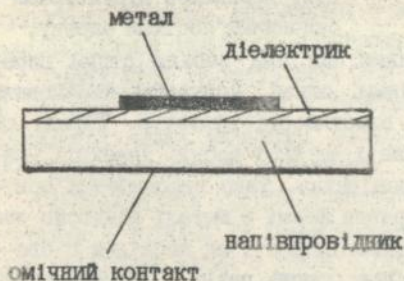


Рис.1. МТДН структура.

біля поверхні напівпровідника будуть накопичуватись дірки і створиться інверсійний шар. У випадку структури з тунельно прозорим діелектриком дірки частково будуть тунелювати в метал і їх концентрація біля поверхні буде меншою, а товщина шару області просторового заряду (ОПЗ) більшою, ніж у попередньому випадку. Цей режим роботи МТДН структури називається режимом з нерівноважним стаціонарним збідненням. Ефект нерівноважного збіднення є характерною особливістю МТДН структур, що визначає багато її властивостей.

На рис.2 показана енергетична зонна діаграма МТДН структури при дії на неї збільючої напруги. На ній $E_{гм}$ - енергія рівня напівпровідника. В загальному випадку через структуру протікають струм основних носіїв заряду (електронів) та струм неосновних носіїв (дірок), що позначені на рис.2 відповідно J_n та J_p .

Якщо рівень Фермі в металі знаходиться нижче дна зони провідності на поверхні напівпровідника, то струм електронів через

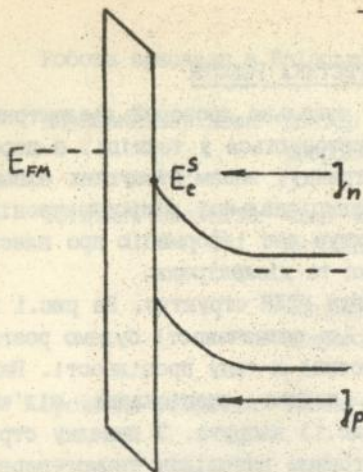


Рис.2. Энергетична зона діаграма МГДН структури.

Хоча в структурах з основними носіями заряду струм переноситься переважно основними носіями, однак, наявність неосновних носіїв може суттєво впливати на властивості структур. Дірки, що виникають в результаті термогенерації чи якої-небудь інжекції, накопичуються біля поверхні напівпровідника. Таке накопичення призводить до стабілізації положення рівня Фермі в металі відносно двох зон провідності на поверхні напівпровідника і як наслідок цього - стабілізації струму електронів. Саме такий режим з накопиченням неосновних носіїв заряду розглядався в більшості робіт по дослідженню МГДН структур з основними носіями заряду (див., наприклад, обзор [1]).

Накопичення дірок визначається двома конкуруючими процесами: їх поставкою в ОПЗ внаслідок термогенерації чи інжекції та їх тунелюванням через діелектрик в метал. При відсутності інжекції темп поставки дірок буде визначатись генераційним часом життя. Зрозуміло, що в структурах з досить великим часом життя темп поставки дірок буде меншим, ніж темп їх тунелювання в метал. Тоді при відсутності інжекції біля поверхні напівпровідника накопичення дірок не буде і внаслідок цього не буде і насичення струму. Відсутність насичення струму характерна для структур з основними носіями заряду, що працюють в режимі без накопичення неосновних носіїв заряду. Про можливість такого режиму в літературі згадува-

структуру практично не протікає і в повному струмі домінують дірки. Такі структури називають структурами з неосновними носіями заряду (в розглядаємому випадку неосновними носіями є дірки).

Якщо рівень Фермі в металі знаходиться вище двох зон провідності на поверхні напівпровідника, то через структуру, окрім струму дірок, ще протікає струм електронів, котрий є домінуючим в повному струмі. Структури, в яких має місце така ситуація, називають структурами з основними носіями заряду.

лось, але він практично не досліджувався.

З іншого боку, можна очікувати, що дослідження структур без накопичення неосновних носіїв заряду мають сенс принаймні з двох причин.

По-перше, при відсутності накопичення більш безпосередньо, ніж при інших режимах роботи структури, повинні проявлятися закономірності тунелювання електронів через діелектричний шар.

По-друге, відомо, що електричне поле під польовим електродом неоднорідне: його напруженість під краєм електроду більша, ніж під його центральною частиною, причому відношення цих величин тим більше, чим більше відношення товщини шару ОПЗ до товщини діелектрика [2]. В МТДН структурах, завдяки ефекту нерівноважного стаціонарного збіднення, велика товщина шару ОПЗ, а товщина діелектрика мала. З цієї причини в них рекордно велике відношення напруженості електричного поля під краєм електроду до її значення під центральною частиною. Це дає підставу очікувати появу в МТДН структурах ефектів, пов'язаних з великою напруженістю електричного поля під краєм польового електроду.

Серед МТДН структур найбільш розповсюджені кремнієві структури, в яких діелектриком є тунельно-прозорий шар оксиду кремнію. Технологія таких структур добре відпрацьована, вони частіше за інші використовуються у техніці.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ визначається широким застосуванням МТДН структур в техніці та вищевказаними міркуваннями, які дають підставу очікувати появи в таких структурах нових фізичних ефектів.

МЕТОЮ даної роботи було дослідження протікання струму через кремнієві МТДН структури головним чином з основними носіями заряду в умовах відсутності накопичення неосновних носіїв заряду.

НАУКОВА НОВИЗНА

1. Виявлено, що сильне електричне поле під краєм польового електроду в МТДН структурах з основними носіями заряду, що працюють в режимі без накопичення неосновних носіїв заряду, приводить до виникнення:

а) сильної планарної неоднорідності протікання стаціонарного струму, при якій густина струму під краєм електроду може на порядки перевищувати густина струму під його центральною частиною;

б) ударної іонізації електронів і дірок у напівпровіднику під краєм польового електроду при напрузі, суттєво меншій, ніж напруга виникнення ударної іонізації під центральною частиною електроду (наприклад, 36 В и 140 В відповідно);

в) імпульсу великого струму через структуру при виконанні збіднячої напруги, який обумовлений ударною іонізацією електронів і дірок під краєм польового електроду та ефектом внутрішнього підсилення струму. Величина струму в максимумі імпульсу перевищує стаціонарне значення на 2-3 порядки;

2. Теоретичними розрахунками показано, що структури з основними носіями заряду при великих збіднячих напругах при відсутності накопичення неосновних носіїв заряду мають лінійні вольтамперні характеристики (ВАХ). Спостереження такої ВАХ дає змогу ідентифікувати даний режим роботи структури.

3. Запропоновано метод визначення по лінійній зворотній ВАХ структур товщини діелектрика та ефективного коефіцієнта тунельної проникності бар'єру для електронів.

4. Теоретичними розрахунками показано, що ефект внутрішнього підсилення струму суттєво зменшує напругу лавинного пробоя МГДН структури з основними носіями заряду. Наприклад, у типовому випадку з 280 В до 96 В.

5. Виявлена значна залежність тунельного струму в МГДН структурах з основними носіями заряду від температури: в діапазоні (50 - 295) К при фіксованій збіднячій напрузі струм збільшувався в три рази.

6. Запропоновано механізм температурної залежності тунельного струму. Згідно з розвинутою теорією обов'язкових умов сильної температурної залежності струму є переважний вклад в нього електронів із максвелловського хвоста розподілу електронів по енергіях в металі.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ РОБОТИ

Існування сильного крайового струму в МГДН структурах з основними носіями заряду необхідно враховувати при проектуванні приладів на основі таких структур, а також при інтерпретації експериментальних результатів.

Запропонований у роботі метод можна використовувати для визначення характеристик МГДН структур: товщини діелектрика, ефективного коефіцієнта тунельної проникності потенціального бар'єру для електронів.

Зменшення напруги лавинного пробоя МГДН структур з внутрішнім підсиленням струму можна використовувати для зменшення робочої напруги лавинних фотоприймачів.

ПОЛОЖЕННЯ, ЩО ВНОСЯТЬСЯ НА ЗАХИСТ:

1. Доведення існування та інтерпретація таких ефектів в МТДН структурах з основними носіями заряду, що працюють в режимі без накопичення неосновних носіїв заряду:

а) сильної планарної неоднорідності протікання стаціонарного струму, яка обумовлена великим відношенням товщини ОПЗ до товщини діелектрика;

б) ударної іонізації електронів і дірок у напівпровіднику під краєм польового електроду та виникнення імпульсу струму з максимумом, спричинених сильним електричним полем під краєм електроду та ефектом внутрішнього підсилення струму;

в) впливу на ударну іонізацію в МТДН структурі ультрафіолетового опромінення.

2. Доведення лінійності зворотної ВАХ МТДН структур з основними носіями заряду у випадку, коли вони працюють в режимі без накопичення неосновних носіїв заряду. Спосіб визначення із такої характеристики товщини діелектрика та ефективного коефіцієнта тунельної проникності бар'єру для електронів.

3. Теорія ударної іонізації в МТДН структурах з внутрішнім підсиленням струму неосновних носіїв заряду, згідно з якою ефект внутрішнього підсилення струму суттєво зменшує напругу лавинного пробоя структури.

4. Результати експериментів по виявленню значної температурної залежності тунельного струму в МТДН структурах з основними носіями заряду, що працюють в режимі без накопичення неосновних носіїв заряду.

5. Механізм температурної залежності струму, згідно з яким вона має місце, якщо в тунельний струм основний вклад вносять електрони із максвеловського хвоста їх розподілу по енергіях в металі.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ. Основні результати дисертації доповідались на XII Всесоюзній науково-технічній конференції по мікроелектроніці, Тбілісі, 1987; Республіканському науково-технічному семінарі "Електроніка дефектів в кремнії и структурах на его основе", Київ, 1988, 1989; V науково-технічній конференції "Аналитические методы исследования материалов и изделий микроэлектроники", Москва, 1989; VI Республіканській конференції "Физические проблемы МДП интегральной электроники", Севастополь, 1990; Всесоюзній науково-технічній конференції "Актуальные проблемы электронного машиностроения", Новосибірськ, 1990.

ПУБЛІКАЦІЇ. По матеріалах дисертації опубліковано 12 друкованих робіт. Список цих робіт приведений в кінці автореферату.

СТРУКТУРА ТА ОБ'ЄМ ДИСЕРТАЦІЇ. Дисертація складається із вступу, чотирьох оригінальних глав, заключної частини, списку цитованої літератури та додатку. Матеріал викладений на 94 сторінках машинописного тексту, включаючи 25 малюнків і бібліографів із 68 найменувань.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У ВСТУПІ обгрунтована актуальність теми дисертації, сформульована її мета, вказані наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, перелічені положення, винесені на захист, приведений короткий зміст дисертації по главах.

У ПЕРШІЙ ГЛАВІ розглядається ряд ефектів, обумовлених краєвою неоднорідністю електричного поля.

Дається огляд теоретичних та експериментальних робіт, присвячених дослідженню краєвих ефектів у структурах метал - діелектрик-напівпровідник та контактах метал - напівпровідник. Звертається увага на те, що в МГДН структурах з основними носіями заряду напруженість електричного поля на поверхні напівпровідника може бути суттєво неоднорідною: для типових структур під краєм електроду вона в 4 - 5 разів вища, ніж під центральною частиною. Тому, можлива поява нових фізичних ефектів, відсутніх в планарно однорідних структурах.

Приведені результати досліджень МГДН структур, виготовлених на кремнієвих пластинах типу КЗФ - 4.5 з термічно вирошеним оксидом кремнію товщиною 2.5 нм та алюмінієвими польовими електродами різної форми.

Знімались стаціонарні ВАХ структур з польовими електродами у вигляді кругів з двома різними діаметрами (перший мав діаметр 238 мкм, другий - 488 мкм). Повний струм через кожний із польових електродів ділився на дві складові: струм через центральну та краєву частини електроду.

$$I_{1,2} = S_{1,2} \cdot J_{\text{с}} + L_{1,2} \cdot J_{\text{к}} \quad (1)$$

де $I_{1,2}$ - струм через електроди з меншим і більшим діаметрами відповідно, $S_{1,2}$ та $L_{1,2}$ - площі та довжини периметрів електродів, $J_{\text{с}}$ - густина струму в центральній частині електроду, $J_{\text{к}}$ - струм через краєву частину електроду на одиницю довжини його периметру. Розв'язок (1) для струмів при різних значеннях напруги на польово-

му електроді V показав, що при збіднячих V через край електроду протікає значна частина повного струму: (50 - 85) %. Оцінки показали, що густина струму в краєвій області електроду перевищувала густину струму в центральній частині в 250 - 30 разів.

Крім вимірювань в стаціонарному режимі на МДН структури подавались поодинокі прямокутні імпульси напруги з амплітудов U і досліджувалась кінетика імпульсів струму. Виявлено, що в діапазоні U ((35 - 45) В) встановленню стаціонарного значення струму передував імпульс струму з максимумом. Причому величина струму в максимумі перевищувала його стаціонарне значення на 2 - 3 порядки.

У випадку дії на структуру серії однакових імпульсів напруги виявлений такий ефект: якщо інтервал між імпульсами був меншим деякого часу t_n , то величина струму в максимумі зменшувалась від імпульсу до імпульсу і прямувала до стаціонарного значення струму. Якщо інтервал між імпульсами був більшим, ніж час t_n , то імпульси струму були однаковими. Час t_n являє собою час "пам'яті" структурою дії на неї імпульсу напруги.

Протікання великого імпульсного струму пояснюється ударною іонізацією електронів і дірок під краєм польового електроду та ефектом внутрішнього підсилення струму.

Виникнення електронів та дірок підтверджено прямим експериментом. Використовувалась структура з двома польовими електродами: основним у вигляді круга та допоміжним - у вигляді концентричного кільця. На допоміжний електрод подавалась напруга в зворотньому напрямку, він працював в режимі колектора дірок. При проходженні через основний електрод імпульсу струму з максимумом на осцилограмі струму через колектор спостерігався сплеск. Він обумовлений приходом на колектор дірок, що виникають при ударній іонізації.

Зменшення струму в імпульсі з максимумом та "пам'ять" структури пояснюються зарядженням діелектрика гарячими дірками, що виникають в результаті ударної іонізації під краєм польового електроду. Це зменшує краєве поле і припиняє ударну іонізацію.

На користь цього пояснення свідчить такий експериментальний результат. Відомо, що опромінення окислу структури ультрафіолетовим випроміненням заряджає його позитивним зарядом. Згідно з цим ультрафіолетове опромінення досліджуваної структури, при якому світло падало на відкриту частину окислу поруч з непрозорим польовим електродом, збільшувало час t_n .

В діапазоні U = (45 - 150) В при деяких значеннях напруги спостерігався локальний пробій діелектрика з характерними для та-

кого пробую виникненнями в діелектрику мікроканалів з великою провідністю. Після кожного такого пробую збільшувались прямий та зворотній струми через структуру. При деяких значеннях напруги спостерігалися хаотичні коливання струму, які характерні для мікроплазмового пробую ОПЗ напівпровідника.

Приведені якісні пояснення вищезгаданих експериментальних результатів.

В ДРУГІЙ ГЛАВІ розглядається провідність МДН структур з основними носіями заряду, що працюють в режимі без накопичення неосновних носіїв заряду.

Теоретично отримана аналітична формула для ВАХ таких структур при збіднюючих напругах:

$$j = \frac{1}{4} q v_n N_c \bar{D}_n \left[2 \left(\frac{\epsilon_s d}{\epsilon_d \lambda} \right)^2 \left(\frac{qV}{kT} \right) + \frac{\pi^2}{6} \right] \quad (2)$$

де j - густина струму, q - заряд електрона, v_n - теплова швидкість електронів, N_c - ефективна щільність станів електронів в зоні провідності напівпровідника, \bar{D}_n - ефективний коефіцієнт тунельної проникності бар'єру для електронів, d - товщина діелектрика, λ - довжина екранування Дебая, ϵ_s та ϵ_d - діелектричні проникності напівпровідника та діелектрика, V - напруга, прикладена до структури, k - постійна Больцмана, T - температура.

Видно, що залежність струму від напруги є лінійною. Лінійність ВАХ обумовлена, з одного боку, кореневою залежністю від напруги напруженості електричного поля на поверхні напівпровідника та падіння напруги на діелектрику, а з іншого боку тим, що струм квадратично залежить від падіння напруги на діелектрику [3].

З (2) видно, що із значення напруги в точці перетину лінійної частини ВАХ з віссю напруг та тангенсу кута нахилу ВАХ можна визначити товщину діелектрика d та ефективний коефіцієнт тунельної проникності потенціального бар'єру для електронів \bar{D}_n .

Із стаціонарних ВАХ структур із врахуванням кривої неоднорідності протікання струму знаходилась залежність густини струму в центральній частині електроду j_m (1) від збіднючої напруги V . Така залежність була близькою до лінійної. По точці перетину ВАХ з віссю напруг та тангенсу кута її нахилу визначені величини $d=3.5$ нм та $\bar{D}_n=3.2 \cdot 10^{12}$. Значення товщини діелектрика узгоджується із вимірною еліпсометрично. Ефективний коефіцієнт тунельної проникності бар'єру для електронів такого ж порядку, як приведені в літературі значення \bar{D}_n для подібних структур.

При освітленні тилової поверхні пластини, зрозуміло, збільшувався темп генерації дірок у зразку. При цьому залежність $j_{\text{н}}$ від V значно послаблялась, вона була близькою до насичення, яке характерне для структур, що працюють в режимі з накопиченням неосновних носіїв заряду.

В ТРЕТІЙ ГЛАВІ розвинута теорія ударної іонізації для МДН структур з внутрішнім підсиленням струму. Отримана аналітична формула для ВАХ такої структури. Показано, що умовою лавинного пробоя ОПЗ структури є рівність

$$M \cdot I = 1, \quad (3)$$

де M - коефіцієнт внутрішнього підсилення струму, I - інтеграл іонізації [4].

Як видно з (3) умова лавинного пробоя в структурі з внутрішнім підсиленням ($M > 1$) більш "м'яка", ніж у структурі без підсилення ($M=1$), тобто ефект внутрішнього підсилення струму суттєво зменшує напругу лавинного пробоя. Розрахунки показали, що якщо при $M=1$ напруга лавинного пробоя 280 В, то при $M=10$ вона складає 96 В.

Зменшення напруги лавинного пробоя пояснюється тим, що внутрішнє підсилення вмикає додатковий механізм зворотнього зв'язку: збільшення в результаті ударної іонізації струму дірок призводить до збільшення струму електронів не тільки за рахунок збільшення темпу їх іонізації, а ще і завдяки збільшенню струму електронів, що втікають у напівпровідник із металу.

В ЧЕТВЕРТІЙ ГЛАВІ приведені результати досліджень тунельного струму при різних температурах.

Знімалися стаціонарні ВАХ структур при збіднюючих напругах в температурному діапазоні 50 - 295 К, тобто від температури вимірювання домішкової провідності до кімнатної.

Із стаціонарних ВАХ структур із врахуванням кривої неоднорідності протікання струму знаходилися залежності густини струму в центральній частині електроду $j_{\text{н}}$ (1) від збіднюючої напруги V при різних температурах. Ці залежності були близькі до лінійних. При постійній напрузі величина струму у вказаному діапазоні температур змінювалась приблизно в три рази.

Тунельна проникність потенціального бар'єру для електронів залежить від їх енергії. Тому, в загальному випадку, тунельний струм залежить від розподілу по енергіях тунельючих електронів. В більшості випадків цією залежністю нехтують, і як наслідок, в рамках такого підходу тунельний струм через МДН структури з основними носіями заряду від температури не залежить.

Розвинута теорія провідності МГДН структур з урахуванням залежності тунельної проникності бар'єру від енергії електронів. Отримана аналітична формула для ВАХ структур, за якою розраховані характеристики структур при різних температурах. Теоретичні ВАХ добре узгоджувались з експериментальними результатами. Підгоночні параметри моделі (висота потенціального бар'єру, ефективна маса електрона в діелектрику, різниця робіт виходу металу та напівпровідника) лежать у межах значень, що приводяться в літературі.

Згідно з розвинутою теорією обов'язковими умовами сильної температурної залежності тунельного струму є домінуючий вклад в повному струмі електронів із максвеловського хвоста їх розподілу по енергіях в металі та сильна залежність проникності бар'єру для електронів від їх енергії.

В ЗАКЛЮЧНІЙ ЧАСТИНІ викладені висновки з отриманих в дисертаційній роботі результатів.

В ДОДАТКУ зведені схеми експериментальних установок, що використовувалися для досліджень в дисертаційній роботі.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

Основні результати дисертаційної роботи полягають в наступному:

1. На МГДН структурах з основними носіями заряду, що працюють в режимі без накопичення неосновних носіїв заряду, спостерігались та пояснені ряд пов'язаних між собою ефектів, викликаних сильним електричним полем під краєм польового електроду (згідно з оцінками в досліджених структурах напруженість електричного поля під краєм електроду в 4 - 5 разів більша, ніж під центральною частиною):

а) сильна планарна неоднорідність протікання стаціонарного струму, при якій густина струму під краєм електроду була в 35 - 250 разів більшою, ніж під його центральною частиною;

б) ударна іонізація електронів і дірок у напівпровіднику під краєм польового електроду при напрузі, суттєво меншій, ніж напруга ударної іонізації під центральною частиною електроду (наприклад, 36 В и 140 В відповідно);

в) виникнення імпульсу з максимумом через структуру при вмиканні напруги польового електроду, обумовленого ударною іонізацією та ефектом внутрішнього підсилення струму. Величина струму в максимумі перевищувала стаціонарне значення на 2-3 порядки;

г) припинення струму ударної іонізації, викликане зарядкою

діелектрика гарячими дірками, які виникають у структурі в результаті ударної іонізації;

д) вплив на ударну іонізацію під краєм польового електроду ультрафіолетового опромінення, а також стаціонарної напруги, що діє на структуру в проміжках часу між імпульсами струму з максимумом;

е) локальний пробій окислу в областях сильного поля, виникаючі при такому пробіі мікроплазмові коливання струму.

2. Показано, що в МГДН структурах з основними носіями заряду виникає великий краєвий струм. При цьому використано спосіб розділення повного струму через структуру на дві складові: струм, що протікає під центральною частиною електроду та струм, що протікає під його краєм. Доля струму, що протікає під краєм електроду, складала значну частину повного струму: від 50 до 85 %.

3. Теоретично розглянуто проходження струму в МГДН структурах з основними носіями заряду. Показано, що при великих збіджених напругах ВАХ таких структур - лінійні.

4. Виділення з повного струму через структуру його частини, що протікає через центральну частину електроду, дозволило отримати експериментальні ВАХ структур, виключивши сильний краєвий струм. Зворотні ВАХ таких структур згідно з теорією - лінійні.

5. По значенням тангенсу кута нахилу лінійної ВАХ та точки перетину її з віссю напруг запропоновано метод визначення ефективною тунельною проникністю бар'єру для електронів \bar{D}_n та товщини діелектрика d . Визначені таким чином $\bar{D}_n = 3.2 \cdot 10^{-12}$ та $d = 3.5$ нм узгоджуються з визначеними іншими методами.

6. Розвинута теорія ударної іонізації в МГДН структурах з внутрішнім підсиленням струму неосновних носіїв заряду. Згідно з цією теорією напруга лавинного пробію структури визначається із рівності одиниці добутку інтегралу іонізації на коефіцієнт внутрішнього підсилення струму. Тому наявність внутрішнього підсилення струму суттєво зменшує напругу лавинного пробію структури: наприклад, з 280 В до 95 В при коефіцієнті внутрішнього підсилення 10.

7. Експериментально в МГДН структурах з основними носіями заряду виявлена значна залежність тунельного струму від температури: в діапазоні (50-295) К при фіксованій збіджувачій напрузі струм збільшувався в три рази.

8. Розвинута теорія провідності МГДН структур з основними носіями заряду із врахуванням залежності тунельної проникності бар'єру для електронів від їх енергії. Показано, що температура

залежність тунельного струму може бути значною лише у випадку, коли основний вклад в струм вносять електрони із максвелловського хвоста їх розподілу по енергіях.

На закінчення звернемо увагу на те, що обов'язковою умовою коректних вимірювань струму через МТДН структури з основними носіями заряду, що працюють в режимі без накопичення неосновних носіїв заряду, є виключення сильних краєвих струмів. Тільки після цього можна отримати лінійні ВАХ, які характерні для такого режиму. Якщо цього не зробити, то більш слабка залежність краєвого струму від напруги призводить до сублінійної залежності повного струму від напруги, по вигляду близькою до характеристик структур, що працюють в режимі з накопиченням неосновних носіїв заряду.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вуль А.А., Саченко А.В. Фотозлектрические свойства структур металл-диэлектрик-полупроводник с туннельно-прозрачным диэлектриком // ФТП, 1983, т.17, вып.8, с. 1361-1376.
2. Ryu A., Bulucea C.. Deep-Depletion Breakdown Voltage Of Silicon - Dioxide / Silicon MOS Capacitors // IEEE Trans. Elect.Dev., 1979, v.ED-26, N 3, p. 201-205.
3. Стриха В.И. Теоретические основы работы контакта металл - полупроводник. Киев: Наукова думка, 1974, 263 с.
4. Грехов И.В., Сережкин Ю.П. Лавинный пробой р-п перехода в полупроводниках. - Л.: Энергоатомиздат, 1980, 152с.

ПУБЛИКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Добровольский В.Н., Ловейко В.Н., Нинидзе Г.К., Петрусенко В.Н. Проводимость МТДП структур в режиме без накопления неосновных носителей заряда // ФТП, 1990, т.24, вып.6, с.1067 - 1071.
2. Добровольский В.Н., Нинидзе Г.К., Петрусенко В.Н. Ударная ионизация в МТДП структурах с внутренним усилением тока. // Письма в ЖТФ, 1992, в.12, с. 73 - 78.
3. Добровольский В.Н., Нинидзе Г.К., Петрусенко В.Н. Ударная ионизация электронов и дырок и лавинный пробой в МТДП структурах. // ФТП, 1993, т.27, вып.6, с. 944 - 950.
4. Добровольский В.Н., Нинидзе Г.К., Петрусенко В.Н. О влиянии краевых токов на характеристики МДП структур с туннельно-тонким диэлектриком // IV Всесоюзный науч.-техн. семинар "Пути повышения стабильности и надежности микросэлементов и микросхем", те-

зисы докладов. Рязань, 1987, с.173.

5. Добровольский В.Н., Нинидзе Г.К., Петрусенко В.Н. Особенности протекания тока через МДП структуры с туннельно-тонким диэлектриком // XII Всесоюзная науч.-техн. конференция по микроэлектронике, тезисы докладов, Тбилиси, 1987, ч.2, с.96.

6. Добровольский В.Н., Нинидзе Г.К., Петрусенко В.Н. Изменение характеристик МДП структур под действием протекающих через них импульсов тока // VI Всесоюзная конференция по физике диэлектриков, тезисы докладов. Новгогод, 1988, с.87.

7. Добровольский В.Н., Нинидзе Г.К., Петрусенко В.Н. Фотозлектрические явления в МДП структурах при их сканировании лазерным и электронным лучами // IV Респ. науч.-техн. конференция "Физические методы диагностирования в задачах управления качеством и надежностью", тезисы докладов, Чернигов, 1989, с.74.

8. Добровольский В.Н., Ильченко Л.Н., Нинидзе Г.К., Обозненко Ю.Л., Петрусенко В.Н., Смирнов Е.Н. Исследование МДП структур методом лазерного сканирования // V науч.-техн. конференция "Аналитические методы исследования материалов и изделий микроэлектроники", тезисы докладов, Москва, 1989, с.200.

9. Добровольский В.Н., Нинидзе Г.К., Петрусенко В.Н. Краевые эффекты в МДП структурах // III Республиканская конференция "Актуальные проблемы физики полупроводников", тезисы докладов. Киев, 1989, с. 57.

10. Добровольский В.Н., Нинидзе Г.К., Петрусенко В.Н. Протекание тока через МДП структуры при отсутствии накопления неосновных носителей заряда // Всесоюзная науч.-техн. конференция "Актуальные проблемы электронного машиностроения", тезисы докладов, Новосибирск, 1990г., с.42.

11. Dobrovolskii V.N., Ninidze G.K., Petrusenko V.N. Bell-form current due to impact ionization of charge carriers in tunneling MIS structures // XV Семинар Северо-западного региона "Физические и химические явления на поверхности полупроводников и границах раздела", тезисы докладов, Новгород, 1990 г., с. 44-45.

12. Добровольский В.Н., Нинидзе Г.К., Петрусенко В.Н. Протекание тока в сильных электрических полях у края полевого электрода МДП структуры // VI Республиканская конференция "Физические проблемы МДП интегральной электроники", тезисы докладов. Киев, 1990, с. 70.

Stamp H.

AB 27.860

AB 27.860