

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Л.В.Однорець

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

з дисципліни «Основи мікроелектроніки»

для студентів спеціальності 171 - Електроніка
(освітня програма «Електронні інформаційні системи»)

Суми 2022

Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Основи мікроелектроніки» для студентів спеціальності 171 – Електроніка (освітня програма «Електронні інформаційні системи») / Укладач: Л.В.Однорець. – Суми: СумДУ, 2022. – 15 с.

Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики

ЗМІСТ

1 Загальні відомості.....	С. 4
2 Список рекомендованої літератури для самостійного опрацювання теоретичного матеріалу.....	5
3 Основні теоретичні відомості до питань з дисципліни «Основи мікроелектроніки», які виносяться для самостійного вивчення.....	6

1 Загальні відомості

Метою вивчення курсу «Основи мікроелектроніки» є формування у студентів уявлень про стан наукових досягнень та передових мікроелектронних технологій; формування системи знань про будову, принцип роботи, основні характеристики, переваги, недоліки та галузі застосування інтегрованих мікросхем, їх елементів та компонентів.

У результаті вивчення курсу «Основи мікроелектроніки» студенти **повинні знати:**

- фізичні основи роботи мікроелектронних приладів;
- конструкцію напівпровідникових та гібридних інтегрованих мікросхем;
- класифікацію, фізичні основи та режими роботи, параметри, характеристики, схеми підключення приладів функціональної мікроелектроніки;
- сфери застосування мікроелектронних приладів та пристроїв;
- перспективні напрями розвитку сучасної мікроелектроніки.

Студенти **повинні вміти:**

- застосовувати закони і розрахункові методи для аналізу мікроелектронних приладів;
- проводити експериментальні вимірювання характеристик та параметрів мікроелектронних приладів з використанням контрольно-вимірювальної апаратури;
- класифікувати та розрізняти прилади мікроелектроніки за системою умовних позначень.

Мікроелектроніка - один з магістральних напрямків науки і технологій, рівень розвитку якого в значній мірі визначає рівень науково-технічного розвитку країни. Інтерес до мікроелектронних приладів та пристроїв пов'язаний з перспективою збільшення надійності електронної апаратури, мікро- та комплексною мініатюризації електрорадіокомпонентів. Підготовка спеціалістів у галузі мікроелектроніки ведеться за такими напрямами: розробка та виробництво інтегральних мікросхем широкого застосування; розробка електронної апаратури з використанням інтегральних мікросхем і мікропроцесорів.

2 Список рекомендованої літератури для самостійного опрацювання теоретичного матеріалу

1. Стахів П.Г. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування: підручник / П.Г. Стахів, В.І. Коруд, О.Є. Гамола. – Львів: Новий Світ-2000, Магнолія Плюс, 2003. – 208 с.

2. Готра З.Ю. Фізичні основи електронної техніки: підручник / З.Ю. Готра, І.Є. Лопатинський, Б.А. Лукіянець, З.М. Микитюк, І.В. Петрович. – Львів: Бескид Біт, 2004. – 880 с.

3. Швець Є.Я. Матеріали і компоненти електроніки: навчальний посібник / Є.Я. Швець, І.Ф. Червоний, Ю.В. Головка. – Запоріжжя: ЗДІА, 2011. – 278 с.

4. Дружинін А.О. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: навчальний посібник / А.О. Дружинін. – Львів: Нац. ун-т "Львівська політехніка", 2009. – 332 с.

5. Прищепя М.М. Мікроелектроніка: Навчальний посібник / М.М. Прищепя, В.П. Погребняк. – К.: Вища шк., 2004. – 431 с.

6. Хоружний В.А. Функціональна мікроелектроніка, оптико- та акусто-електроніка: навчальний посібник / В.А. Хоружний, В.О. Письмецький. – Харків, 2004. – 186 с.

3 Основні теоретичні відомості до питань з дисципліни «Основи мікроелектроніки», які виносяться для самостійного вивчення студентами

Тема 1. Конструктивно-технологічні особливості мікромодулів [1, 3]

В даній темі розглядаються питання щодо особливостей конструцій і технологій виготовлення мікромодулів, архітектури і призначення їх основних елементів і компонентів, принципів обробки інформації, застосування мікромодулів та мікропроцесорних систем в галузях промисловості.

Тема 2. Поверхневі явища в напівпровідникових структурах [5, 6]

Процеси, що відбуваються на поверхні напівпровідників, впливають на електричні параметри приладів. Стабільність параметрів напівпровідникових приладів, їхній дрейф у часі і при зміні температури в значній мірі визначаються процесами на поверхні. Стан поверхні і способи її обробки в процесі виготовлення елементів інтегральних мікросхем також впливають на властивості приладів. Причина таких явищ полягає у тому, що в обмеженому кристалі виникають не тільки квантові стани електронів, що рухаються в об'ємі кристала, але і додаткові стани, в яких електрони локалізовані безпосередньо на самій поверхні кристала. Отже, крім об'ємних енергетичних рівнів, що утворюють відповідні зони нескінченного кристала, з'являються локальні рівні енергії, розміщені поблизу поверхні. Поверхневий потенціал можна визначити як безрозмірну величину, яка дорівнює відношенню різниці енергій електрона у поверхні та в об'ємі φ_0 до одиниці теплової енергії: $\psi_0 = \varphi_0/(kT)$. Виникнення локальних поверхневих енергетичних рівнів приводить до того, що електрони і дірки можуть «прилипати» до поверхні, що, у свою чергу, викликає утворення поверхневого електричного заряду. При цьому під поверхнею з'являється однаковий за значенням і протилежний за знаком індукований заряд в об'ємі, тобто з'являються збагачені чи збіднені приповерхневі шари. Виникненням цих шарів і пояснюється вплив поверхні на такі параметри напівпровідникових матеріалів, як провідність, робота виходу, контактна різниця потенціалів та ін. Поверхневі рівні можуть суттєво змінювати кінетику електронних процесів, оскільки вони створюють додаткові центри генерації та рекомбінації рухомих носіїв заряду. Тому усі явища, які пов'язані з кінетикою нерівноважних електронів та дірок, також проявляють залежність від стану поверхні напівпровідникових структур. В технології виготовлення кремнієвих інтегральних мікросхем стан поверхні має дуже важливе значення для нормального функціонування елементів. Захист поверхні елементів кремнієвих ІМС проводять за допомогою вирощених плівок SiO_2 , товщина яких складає 50 - 500 нм. За своєю структурою ця плівка аморфна. Мікродефекти у вигляді кисневих вакансій і впроваджених іонів домішок (переважно позитивно заряджених іонів натрію Na^+), що містяться в оксидній плівці кремнію, обумовлюють наявність достатньо високого позитивного потенціалу, що досягає 10^{-8} - 10^{-7} Кл/см². Наявність позитивного поверхневого заряду сприяє утворенню інверсного шару на кремнії р-типу і збагаченого електронами шару на кремнії n-типу. Крім відзначених дефектів, реальна поверхня напів-провідника покрита одним чи декількома шарами адсорбованих часток, що приводить до зміни наявних енергетичних станів чи до утворення нових. Адсорбовану частинку можна розглядати як домішковий атом донорного чи акцепторного типу. Адсорбовані частинки можуть бути зарядженими або нейтральними і обмінюватися з напівпровідником рухомими носіями заряду. Звідси випливає, що процес адсорбції поверхнею різного типу частинок приводить до утворення поблизу поверхні нових енергетичних рівнів.

Підвищені вимоги до чистоти процесів у планарній технології ІМС обумовлені прагненням звести до мінімуму щільність структурних дефектів. Стосовно до процесу окиснювання ці вимоги зводяться до виконання таких умов: окиснювання пластини, реакційна камера з пристосуваннями для завантаження і фіксації пластин, а також окисне середовище не повинні містити або вносити у процес неконтрольовані забруднення. Для виконання цієї умови потрібен цілий ряд технологічних операцій.

Тема 3. Кінетичні процеси в напівпровідникових структурах [3, 5]

У роботі усіх мікроелектронних пристроїв визначальну роль відіграють явища переносу рухливих носіїв заряду або так звані кінетичні явища. Причиною цих явищ є те, що в процесі свого переміщення рухливі носії заряду переносять масу, заряд, енергію та ін. Якщо утворюються умови, за яких потоки носіїв заряду стають спрямованими, то виникає ряд електричних ефектів, які покладені в основі практичного використання напівпровідників (електропровідність, ефект Холла, зміна опору в магнітному полі, термо-ЕРС.). Електрони та дірки, які можуть переміщуватися, тобто створювати електропровідність, називають рухливими носіями заряду або носіями заряду. *Генерація пар носіїв заряду* - це виникнення пари електрон провідності - дірка провідності. Завдяки тому, що електрони та дірки провідності рухаються хаотично, обов'язково відбувається і процес, зворотний генерації пар носіїв - рекомбінація (електрони провідності займають вільні місця у валентній зоні, об'єднуються з дірками).

Напівпровідник без домішок називають власним напівпровідником. Він має власну електропровідність, яка складається із електропровідності електронної та діркової. Незважаючи на те, що кількість електронів та дірок у власному напівпровіднику однакова, електронна електропровідність переважає, що пояснюється більшою рухливістю електронів порівняно з рухливістю дірок.

Якщо до напівпровідника не прикладати напругу, то електрони та дірки провідності здійснюють хаотичний тепловий рух і ніякого струму немає. Під дією різниці потенціалів в напівпровіднику виникає електричне поле, яке прискорює електрони і дірки та утворює їх поступальний рух - струм провідності. Рух носіїв заряду під дією електричного поля називають дрейфом носіїв, а струм провідності - струмом дрейфу ($i_{др}$). Повний струм провідності складається з електронного та діркового струму: $i_{др} = i_{ндп} + i_{рдр}$.

Густина струму - це фізична величина, яка чисельно дорівнює заряду, що проходить через одиницю площі за 1 с, тобто

$$j_{ндп} = n \cdot e \cdot V_n ,$$

де n - концентрація електронів, e - заряд електрона, V_n - середня швидкість поступального руху електронів під дією поля.

Середня швидкість враховує хаотичний тепловий рух з численними зіткненнями електронів та атомів кристалічної решітки. Від одного зіткнення до іншого електрони прискорюються полем, і тому швидкість V_n , пропорційна напруженості поля E :

$$V_n = \mu_n \cdot E.$$

де μ_n - коефіцієнт пропорційності, який називається рухливістю носіїв заряду (в даному випадку електронів).

Рухливість носіїв заряду - це відношення швидкості їх спрямованого руху носіїв заряду в твердому тілі $V_{др}$ до напруженості електричного поля E , тобто іншими словами це фізична величина, яка чисельно дорівнює середній швидкості поступального руху носіїв заряду під дією поля з одиничною напруженістю. Одиницею вимірювання рухливості є $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

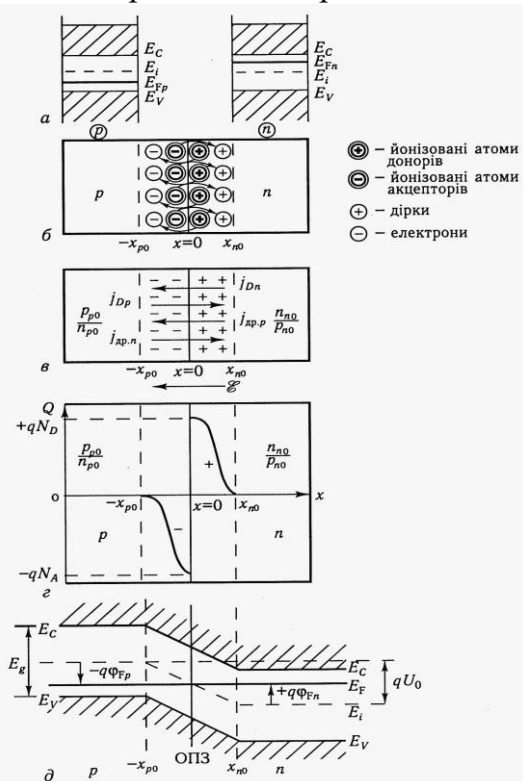
Таблиця 1 - Рухливість носіїв заряду

Напівпровідник	Рухливість електронів при $T = 290 \text{ К}$, $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	Рухливість дірок при $T = 290 \text{ К}$, $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$
Ge	0,45	0,35
Si	0,13	0,05
GaSb	0,40	0,14
InAs	3,30	0,04
InSb	7,70	0,08

Таким чином, питома провідність залежить від концентрації носіїв та їх рухливості. У напівпровідниках при підвищенні температури завдяки інтенсивній генерації пар носіїв концентрація носіїв, які рухаються, збільшується швидше, ніж зменшується їх рухливість, тому з підвищенням температури провідність напівпровідника зростає. Відмітимо, що завжди рухливість дірок менша за рухливість електронів (таблиця 1), а величина діркової провідності менша за величину електронної провідності.

Тема 4. Тунельний ефект в р-п-переходах [4, 5]

Тунельний ефект, відкритий в 1958 році в Японії, проявляється на р-п переході у вироджених напівпровідниках (НП). Вироджений напівпровідник – це НП з високою концентрацією донорних або акцепторних домішок. Одностороння провідність на р-п переході при тунельному ефекті відсутня, а струм через р-п перехід матиме три складові: прямий тунельний струм, за рахунок проходження зарядів через тунелі при прямому включенні; зворотній тунельний струм; прямий струм провідності, створений носіями заряду, які долають потенціальний бар'єр при відносно високій прямій напрузі.



Тунельний ефект, відкритий в 1958 році в Японії, проявляється на р-п переході у вироджених напівпровідниках (НП). Вироджений напівпровідник – це НП з високою концентрацією донорних або акцепторних домішок. Одностороння провідність на р-п переході при тунельному ефекті відсутня, а струм через р-п перехід матиме три складові: прямий тунельний струм, за рахунок проходження зарядів через тунелі при прямому включенні; зворотній тунельний струм; прямий струм провідності, створений носіями заряду, які долають потенціальний бар'єр при відносно високій прямій напрузі.

Тема 5. Поняття пробою. Напряга пробою діода [1, 6]

При збільшенні зворотної напруги енергія електричного поля стає достатньою для генерації носіїв заряду. Це приводить до сильного збільшення зворотного струму. Явище сильного збільшення зворотного струму при певній зворотній напрузі називається електричним пробоем р-п переходу.

Тема 6. Напівпровідниковий діод за умов рівноваги [1,6]

Основним матеріалом напівпровідникових мікросхем є силіцій, тому в подальших дослідженнях розглядатимемо силіцієві діоди і відповідно, силіцієві р-п-переходи, на яких ці діоди створені. Представимо, що маємо два рівномірно легованих бруски силіцію п-та р-типу і в деякий момент їх можна об'єднати в один монокристалічний зразок. Внаслідок величезних перепадів концентрацій носіїв заряду (з одного боку - електрони, з другого - дірки) через перехід виникають струми дифузії дірок та електронів. Електрони дифундуватимуть в область р-типу, залишаючи за собою іонізовані атоми домішки донорного типу (позитивні). Дірки дифундуватимуть у матеріал гс-типу, залишаючи за собою іонізовані атоми домішки акцепторного типу (негативні). У такий спосіб крізь «металургійний» перехід між двома областями р- та п-типу виникають потужні дифузійні протилежно напрямлені потоки неосновних носіїв заряду, які створюють відповідні дифузійні струми. Навколо переходу відбуваються складні процеси. Електрони, що переходять в область р-типу, біля межі переходу рекомбінують з дірками, зменшуючи їх концентрацію, що еквівалентно зменшенню потенціалу Фермі E_F у напівпровіднику р-типу і наближенню рівня Фермі до середини забороненої зони. Компенсація дірок відбувається завдяки заповненню дефектного зв'язку атома тривалентної акцепторної домішки. Таким чином зникає рухлива дірка і відбувається іонізація цього атома, який набуває негативного заряду. Врахувавши, що область р-типу біля «металургійної» межі залишили також дірки, на місці яких було створено негативний заряд, то в напівпровіднику р-типу біля «металургійної» межі виникає область негативного нерухомого просторового заряду. Подібні процеси відбуваються в області п-типу, але в ній біля «металургійної» межі накопичується позитивний нерухомий просторовий заряд. З боку області п-типу в напрямі «металургійної» межі переходу потенціал Фермі E_{Fp} зменшується, а рівень Фермі наближається до середини забороненої зони.

Температурна залежність висоти потенціального бар'єра U_0 визначається переважно змінюванням власної концентрації пі носіїв заряду. Висоту потенціального бар'єра (U_0 інколи називають контактною різницею потенціалів на р-п-переході, але р-п-перехід не є власне «контактом», тому доцільніше застосовувати термін «висота потенціального бар'єра»). В умовах рівноваги з обох боків від «металургійної» межі має бути однакова величина заряду, а відношення глибин проникнення збідненого шару в кожную з областей має бути обернено пропорційним до концентрацій легуючих домішок.

Тема 7. Діод за умов зовнішнього зміщення: пряме зміщення, закон переходу, струми в діоді з р-п-переходом, зворотне зміщення [6]

Якщо на виводи діода подати зовнішню напругу, то рівновага на р-п-переході порушиться, що приведе до важливих наслідків: зміниться висота потенціального бар'єра; зміниться товщина області просторового заряду; прикладена зовнішня напруга порушить рівновагу між струмом дифузії та струмом дрейфу, що спричинить рух носіїв заряду крізь перехід. Якщо прикладена напруга зменшуватиме висоту потенціального бар'єра в області переходу, то струм дрейфу зменшиться, і крізь перехід переважатиме струм дифузії дірок та електронів. У такому разі діод має пряме зміщення. Якщо прикладена напруга збільшує висоту потенціального бар'єра на переході, то крізь перехід проходитиме малий струм просочування, пов'язаний з термогенерацією електронно-діркових пар в області переходу. Діод при цьому має зворотне зміщення. Розглянемо роботу діода за умов дисбалансу. Для цього введемо деякі обмеження:

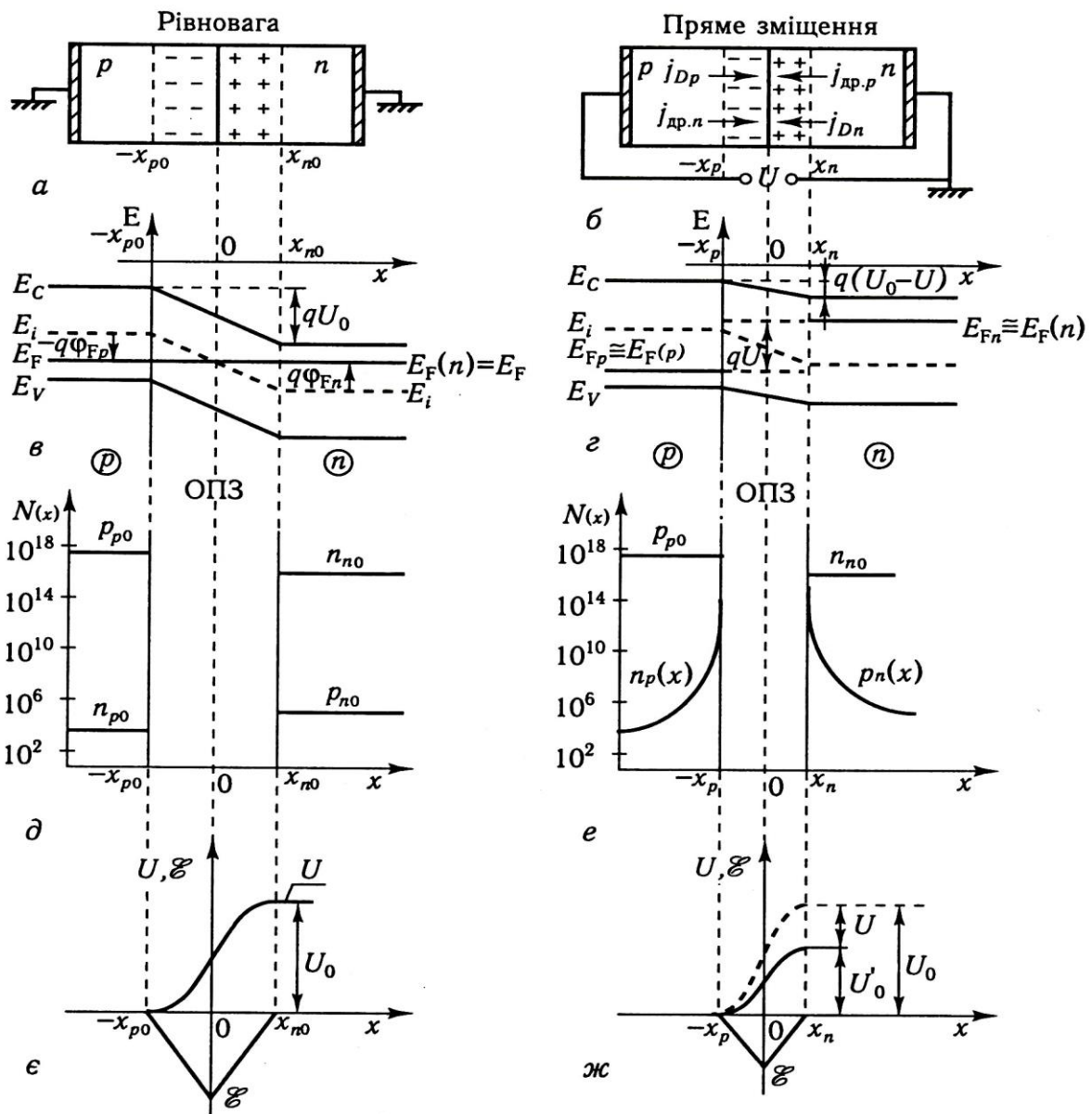


Рис.2. Порівняння явищ у р-п переході за умов рівноваги і прямого зовнішнього зміщення: а, б - рух носіїв заряду; в, г - енергетичні діаграми; д, е - концентрації носіїв заряду навколо р-п-переходу; ж, з - висота бар'єра й напруженість електричного поля

1. Вважатимемо, що р-п-перехід перебуває в стаціонарному режимі, за якого не відбувається варіацій об'ємної концентрації рухливих носіїв заряду η від часу.

2. Зовнішня напруга зміщення, що подається на діод, прикладається безпосередньо до межі області просторового заряду.

3. Провідність нейтральних областей п- та р- типу набагато більша, ніж провідність області просторового заряду, в якій немає рухливих зарядів.

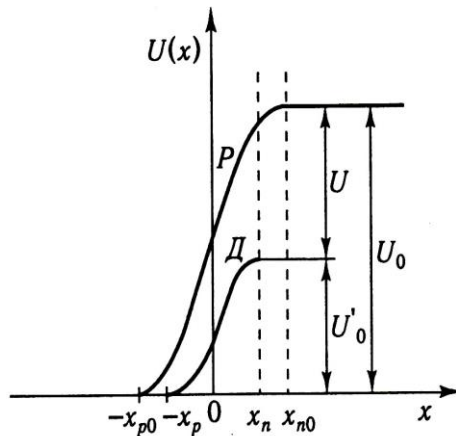


Рис. 3. Залежність висоти потенціального бар'єра і товщини області просторового заряду від напруги прямого зовнішнього зміщення: P- рівноважні умови; Д - дисбаланс

4. Порушення рівноваги n-переході призводить до появи дифузійного струму і струму провідності.
5. У р-n-переході встановлюється квазірівновага.
6. Приймаємо що об'ємна концентрація інжекттованих у нейтральній області неосновних носіїв заряду залишається завжди набагато меншою набагато, ніж об'ємна концентрація основних носіїв заряду в цих областях.

Тема 8. Проектування діодів на основі інтегрованих транзисторних структур [1, 4]

При вивченні даної теми необхідно познайомитись з технологічною структурою діоду, вивчити параметри діода за умов рівноваги та зовнішнього зміщення, освоїти основні принципи проектування діодів на основі інтегрованих транзисторних структур.

Слід підкреслити, що на відміну від дискретних транзисторів БТ НІМС мають особливу конструкцію і додаткові області, які ізолюють їх від спільної напівпровідникової основи. Конструкції БТ різняться способами їх ізоляції: р-n-переходом, шаром діелектрика та їх комбінацією. У перших розробках ІМС найпоширенішими були епітаксійно-планарні транзистори із заглибленим n^+ -шаром та ізоляцією р-n-переходом (ЕПТ). Транзистор виконано на пластині 1 р-типу провідності у високоомному епітаксійному шарі 3 n-типу з поверхневим опором 1500-1700 Ом/п і товщиною 2-15 мкм. Локальною дифузією в пластину арсену або стибію створюють заглиблений шар 4 n^+ -типу з низьким питомим опором. Дифузією бору на глибину, що перевищує товщину епітаксійного шару 3, формують ізоляційну область 2 p^+ -типу, яка оточує колекторну область. Бічні поверхні області 2 та нижня поверхня області 4 є межами колекторної області. На основу 1 і з'єднану з нею ізоляційну область 2 подають негативну напругу, яка зміщує ізоляційні переходи у зворотному напрямі. Оскільки зворотний струм ізоляційного переходу малий, забезпечується задовільна ізоляція транзистора від основи. Області, оточені з усіх боків ізоляційними р-n-переходами, називають *кишенями*, або *ізольованими областями*. У них розміщують не тільки БТ, а й інші елементи ІМС. Базову область 5 р-типу створюють локальною дифузією бору на глибину 2—3 мкм (поверхневий опір шару становить 100-200 Ом/п), а емітерну область 6 - локальною дифузією фосфору на глибину 1,5-2 мкм (поверхневий опір шару становить 2-3 Ом/а). Область 7 n^+ -типу формують разом з областю емітера 6. Вона призначена для створення омичних контактів до високоомної колекторної області 3. Застосування такої

області зменшує ємність $p-n$ -переходу база-колектор і поліпшує частотні властивості транзистора. Низькоомний заглиблений шар 4 шунтує розміщений над ним високоомний шар 3, зменшуючи опір колекторної області. Це дає можливість також поліпшити частотні властивості транзистора, зменшити напругу насичення U_{CEsat} і таким чином знизити напругу низького рівня цифрових ІМС, в яких транзистори увімкнені за схемою СЕ і працюють у режимі насичення. ЕПТ використовують для ІМС малого та середнього ступеня інтегрованості. Перевагою цього методу ізоляції та конструкції БТ є проста технологія, однак ізоляція $p-n$ -переходом не досконала: ізоляційні області p^+ -типу займають значну площу кристала; ізоляційний перехід утворює бар'єрну ємність, яка збільшує затримку перемикавання цифрових ІМС і знижує граничну частоту аналогових ІМС; при підвищенні температури і йонізуючому опроміненні збільшується зворотний струм, погіршуючи ізоляцію. У структурі транзистора, ізолюваного $p-n$ -переходом, крім основного n^+p-n -транзистора є паразитний $p-n-p$ -транзистор.

Структури БТ епітаксійно-планарних транзисторів з ізоляцією зворотно зміщеними колекторними областями 2, 4 (КІД-технологія) зображено на рис. 4, б, з ізоляцією спеціальними областями 2, створеними разом з областю бази 4 (БІД-технологія), на які подають негативну напругу від окремого джерела живлення. Колектор (ізоляційна область 2) БТ з ізоляцією зворотно зміщеною колекторною областю створюють дифузією домішки n -типу крізь тонкий (1-2 мкм) епітаксійний шар 3 p -типу до зімкнення із заглибленим шаром 4 n^+ -типу. Створені замкнені області 2, 4 з колектором, а розміщена всередині p -область 3 - базою БТ. Емітер 5 створюють локальною дифузією домішки n -типу в базову область. Внаслідок вилучення спеціальних ізоляційних областей зменшено площу транзистора, підвищено ступінь інтегрованості, збільшено частоту перемикавання, зменшено напругу насичення U_{CEsat} , спрощено технологією виготовлення. Структура БІД транзистора ще простіша. На пластині 1 силіцію p -типу провідності нарощують епітаксійний шар, в

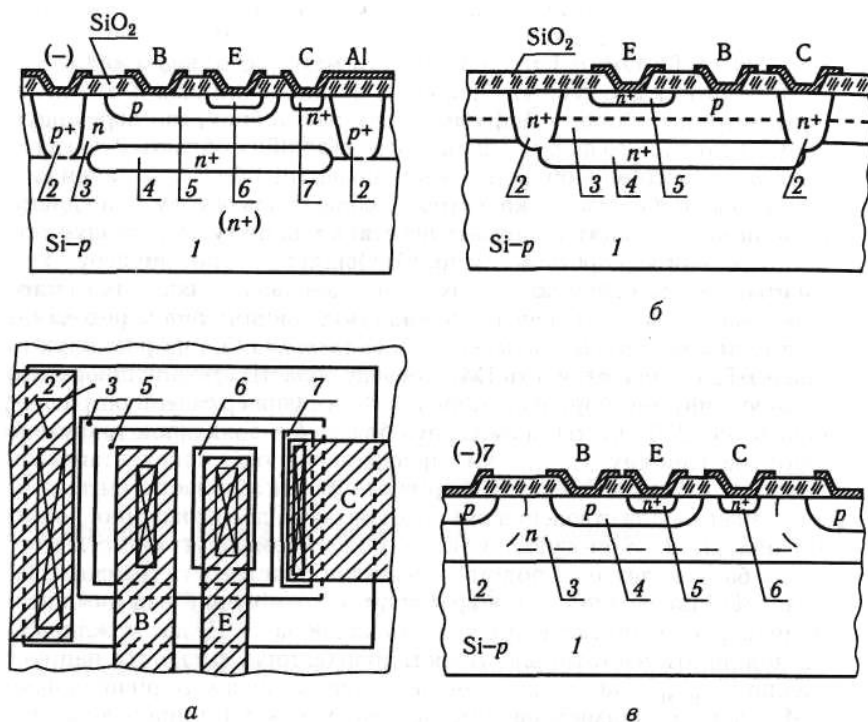


Рис.4. Транзисторні структури

якому дифузією формують роздільні області 2 та області бази 4 *p*-типу. Потім дифузією домішки *n*-типу формують емітер 5 та контакт 6 до області колектора 3. Ізоляція транзисторів здійснюється функціонально за допомогою подання на основу 1 та спеціальний електрод 7, з'єднаний з роздільними областями 2, негативною напруги. Область просторового заряду роздільних областей 2 під час роботи ІМС досягає області просторового заряду основи. Зімкнувшись, вони утворюють ізолювану область колектора 3. Конструкції біполярних транзисторів з діелектричною ізоляцією відрізняються від конструкцій планарно-епітаксійних тим, що транзистори розміщують у кишнях, ізолюваних з усіх боків від основи діелектричним шаром. Якість такої ізоляції значно вища. Струми просочування крізь діелектрик набагато менші, ніж крізь *p-n*-перехід при його зворотному зміщенні. Оскільки діелектрична проникність оксиду силіцію втричі менша, ніж діелектрична проникність силіцію, питома ємність діелектричної ізоляції буде нижчою.

Тема 10. Методи контролю якості великих інтегральних схем. Класифікація випробувань інтегральних мікросхем

При виготовленні інтегральних схем дуже важливим є контроль технологічних процесів. Методи технологічного контролю, що використовуються у виробництві ІМС, можна об'єднати в три групи: поопераційний контроль, візуальний та тестовий контроль.

Основною тенденцією інтегральної мікро-електроніки є підвищення ступеня інтеграції мікросхем. Поряд з цим, зростає функціональна складність ІМС. Для сучасної мікроелектроніки характерна комплексна інтеграція: технологічних процесів, елементів на підкладці, схемних функцій у межах єдиної структурної одиниці, нових фізичних явищ, методів проектування й етапів процесу створення мікросхем. Збільшення ступеня інтеграції зв'язано зі зменшенням розмірів активних і пасивних елементів, удосконалюванням технології виготовлення й обробки підкладок великих розмірів, використанням нових активних елементів, які мають технологічні та функціональні переваги і підвищену надійність. Збільшення числа елементів і зростання функціональної густини обумовили створення мікросхем з високим ступенем інтеграції - великих інтегральних схем (ВІС).

Основними параметрами, що характеризують конструктивно-технологічні і схематичні особливості ВІС, є ступінь інтеграції, функціональний складність, інтегральна густина, функціональна густина і інформаційна складність.

Функціональна складність - середнє число перетворень у мікросхемі, що припадають на одну змінну:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=p} B_i \cdot N_{0i}}{n},$$

де $\sum_{i=1}^{i=p} B_i$ - кількість однокаскадних логічних елементів в інтегральній мікросхемі, N_{0i} - кількість розгалужень на виході кожного *i*-го каскаду; *n* - кількість змінних, поданих на входи інтегральної мікросхеми.

Інтегральна густина - кількість елементів, які припадають на одиницю площі ВІС:

$$\varpi = \frac{N}{S} = \frac{10^k}{S},$$

Функціональна густина - кількість перетворень з однією змінною, які припадають на одиницю площі ВІС:

$$\tau = \frac{F}{S} .$$

Інформаційна складність - середня кількість елементів у ВІС, які припадають на перетворення однієї змінної:

$$H = \frac{N}{F} = \frac{10^k \cdot n}{\sum_{i=p}^{i=1} B_i \cdot N_{0i}} .$$

Великі інтегральні схеми є складними мікросхемами. В їх об'ємі реалізуються блоки, вузли та цілі радіоелект-ронні пристрої. Тому ВІС не мають широкої універсальності та використовуються, в основному, для конкретних типів апаратури. Перехід до великих інтегральних схем вимагає нових якісних змін у конструюванні радіоелектронної апаратури. Виготовлення в єдиному технологічному процесі складного функціонального вузла дозволяє робити найкращу оптимізацію його параметрів, тому що ведеться розрахунок не окремих моментів, а вузла в цілому. Об'єднання елементів у ВІС підвищує швидкодія вузлів, зменшує їхню сприйнятливність до перешкод: скорочується затримка передачі сигналу, досягається гарний захист елементів від зовнішніх перешкод. Крім підвищення ступеня інтеграції в межах конструктивно оформленої мікросхеми ВІС дає можливість одержати більш високі якісні показники і велику надійність радіоелектронних пристроїв при менших витратах.

Підвищення надійності ВІС досягається шляхом зменшення числа з'єднань у межах одного реалізованого вузла і скорочення кількості технологічних операцій. Зниження вартості ВІС у порівнянні з вузлами на звичайних мікросхемах обумовлюється прогресом технології, що дозволяє збільшувати ступінь інтеграції, і зменшенням обсягу монтажних робіт.

За видом інформації, яка оброблюється, ВІС можна класифікувати на цифрові й аналогові. Цифрові ВІС використовують у пристроях обробки інформації, до яких відносяться напівпровідникові запам'ятовуючі пристрої, багаторозрядні регістри, лічильники, суматори й ін. Прикладами аналогових ВІС є перетворювачі напруга - код і код - напруга, блоки апаратури зв'язку (тракти високої і проміжної частот, формувачі сигналів, багатокаскадні схеми радіопристроїв і т.д.).

За ступенем застосованості в розробках апаратури розрізняють ВІС загального і спеціального призначення. Прикладами цифрових ВІС загального призначення є різні напівпровідникові запам'ятовуючі пристрої, регістри, дешифратори, підсистеми і спеціальні обчислювачі. Аналогові ВІС загального призначення - це підсистеми взаємного перетворення напруги в код, прецизійні операційні підсилювачі вищого класу, підсилювачі для високоякісного відтворення звуку, НВЧ-підсистеми модулів для фазованих антенних решіток та інші пристрої. До аналогових ВІС спеціального призначення відносяться підсилювальні тракти радіоприймальних і радіопередаючих пристроїв на фіксовані частоти, формувачі частот з послідовності, обумовленої частотами генераторів, що задають, чи зовнішньою тактовою частотою, і інші підсистеми.

Надійність інтегральної мікросхеми - це її властивість зберігати значення встановлених параметрів функціонування в означених межах, які відповідають заданим режимам та умовам користування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. Це комплексна властивість, яка в залежності від призначення виробу та

умов його експлуатування може включати безвідмовність, довговічність, та ремонтпригодність окремо або сполучення цих властивостей як виробу в цілому, так і його частин.

При оцінці надійності ІМС використовують наступні поняття:

- критерій придатності - параметр, за значенням або зміною якого ІМС враховують придатною або що відмовила;
- відмова - повна втрата працездатності ІМС або відхід одного або декількох параметрів, які були встановлені технічними умовами як критерії придатності, за межі заданих норм;
- повна відмова - порушення електричної, механічної або теплової міцності ІМС (коротке замикання, пробой діелектрика, відрив виводу та ін.), а також відхід параметрів за критичні значення, при яких ІМС стає практично непрацездатною в будь-якому пристрої при допустимих умовах експлуатування;
- умовна відмова - відмова, що виникає в результаті поступового відходу одного або декількох параметрів (без утрати працездатності мікросхеми) за умовну норму, яка вказана в технічних умовах. Розрізняють катастрофічні, поступові та параметричні умовні відмови;
- довговічність - властивість ІМС довго (с можливими в процесі експлуатації перервами) зберігати працездатність в означених режимах та умовах експлуатації до повного виходу з строю. Календарну тривалість експлуатування мікросхем до повного виходу з строю називають строком служби;
- інтенсивність відмов - середня кількість відмов в одиницю часу;
- ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ - ймовірність того, що за певними умовами експлуатації протягом певного проміжку часу не відбудеться ні жодної відмови;
- ризик замовника β - ймовірність того, що по результатам відбіркового контролю можуть бути прийняті ІМС, які не відповідають вимогам технічних умов;
- ризик виготовлювача α - ймовірність того, що по результатам відбіркового контролю можуть бути забраковані ІМС, які не відповідають вимогам технічних умов.

Важливими показниками надійності ІМС також є : мінімальний наробіток на відмову t_n - час роботи ІМС в заданому режимі, в якому відмови практично відсутні; ресурс роботи t_r - час наробітку ІМС до граничного стану; термін зберігання t_{z6} - час, протягом якого ІМС зберігає свої технічні та експлуатаційні показники при зберіганні в спеціальних приміщеннях або апаратурі.

Показники t_n , t_r , t_{z6} використовують для завдання вимог з надійності в технічному завданні та нормативно-технічній документації, в тому числі в технічному паспорті на ІМС. Для інтегральних мікросхем широко застосовування встановлені наступні вимоги до показників надійності. Мінімальна ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ при експлуатації в максимально допустимому електричному режимі та максимальній температурі протягом 500 годин повинна бути не менше 0,95 для ІМС першого ступеня інтеграції), 0,90 - другого ступеня інтеграції та 0,85 - для ІМС третього ступеня інтеграції. Мінімальний наробіток на відмову повинен складати 10000 годин, термін зберігання ІМС в корпусному виконанні - не менше 6 років, в безкорпусному - не менше 2 років.

На надійність інтегральних мікросхем можуть впливати також різка зміна навколишньої температури, вологість середовища, механічні навантаження та радіоактивне випромінювання.

Постійне відпрацьовування технологічних операцій, удосконалювання корпусного захисту та автоматизація виробничих процесів дозволяють підвищувати надійність інтегральних мікросхем.