

Лабораторна робота №1

Визначення типу електропровідності н/п кристалів і пластин

Мета роботи: визначити тип електропровідності за напрямом випрямленого струму і характерної картини на екрані осцилографа, вивчити основні методики визначення типу електропровідності.

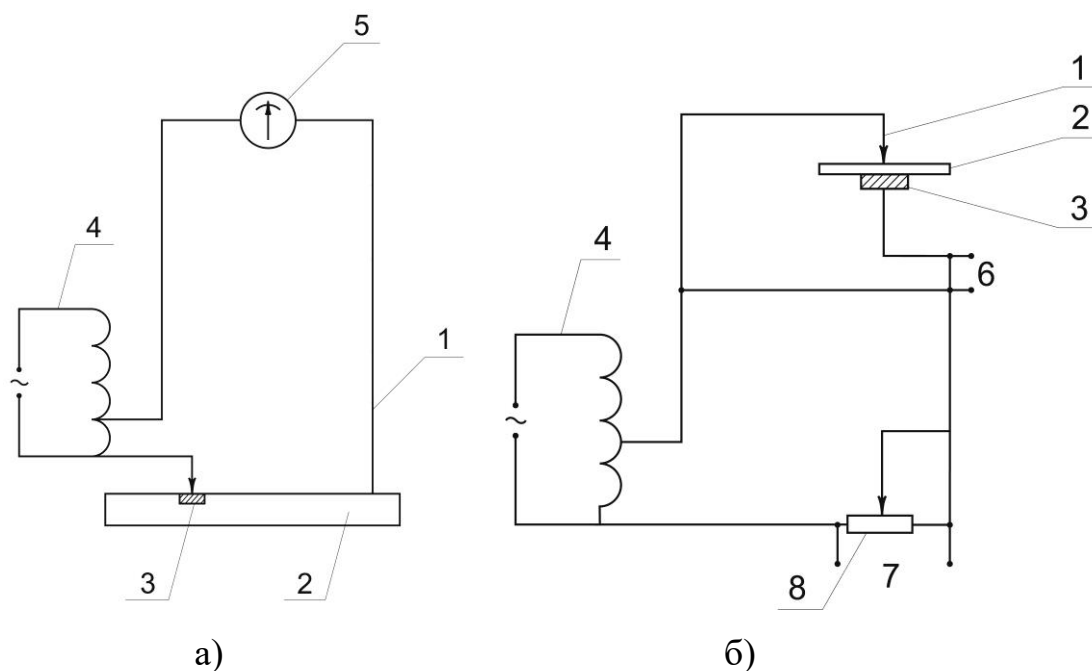
Теоретичні відомості

Властивості виготовлених напівпровідникових кремнієвих пластин, епітаксійних структур та р-п-переходів характеризується великою кількістю електрофізичних параметрів (рухливістю, концентрацією носіїв заряду та ін.). Особливістю цих параметрів є те, що більшість з них у виробничих умовах не може бути виміряна прямими методами. Тому інформацію про вказані параметри та електричні властивості елементів ІМС отримують непрямими методами, вимірюючи: тип електропровідності напівпровідникових пластин; товщину d епітаксійних шарів; глибину дифузійних областей; поверхневий опір $R_{\text{пов}}$; питомий опір ρ ; вольт-амперні характеристики (ВАХ); пробивну напругу р-п-переходів.

Методи визначення типу електропровідності монокристалічних злитків кремнію та пластин. Розрізняють наступні методи визначення типу електропровідності:

- за напрямом випрямленого струму;
- за видом вольт-амперної характеристики;
- за знаком термо- ЕРС.

При першому методі випрямлений струм у вимірювальному ланцюгу напівпровідник-точковий контакт (мал.1.1,а) має різний напрямок, в залежності від типу електропровідності пластини. Для пластин з електронною провідністю (n – типу) напрямок струму відповідає позитивній напрузі на зонді відносно напівпровідника, а для пластин з дірковою електропровідністю (р - типу) – негативній напрузі. Напрямок струму у вимірювальному ланцюгу визначають за напрямом відхилення світлового індикатора гальванометра від нульового положення.

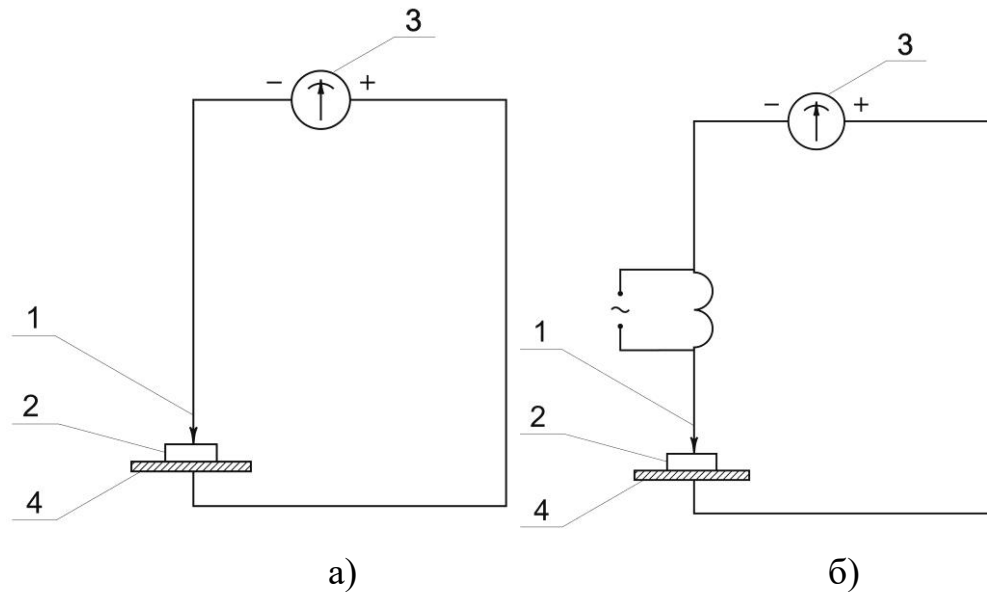


1 – точковий контакт (зонд); 2 – злиток чи пластина; 3 – омичний контакт; 4 – автотрансформатор; 5 – нуль-індикатор; 6 – відвід до горизонтальних пластин осцилографа; 7 – відвід до вертикальних пластин осцилографа; 8 – регулюючий опір.

Малюнок 1.1 – Принципова схема для визначення типу електропровідності методом точково-контактного випрямлення з використанням нуль-індикатора (а) та осцилографа (б):

При другому методі знімають ВАХ, для чого складають установку за електричною схемою мал.1.1,б. Отриману на екрані осцилографа ВАХ порівнюють з характеристикою контрольного зразка (платини) електропровідності n- та р-типів.

Третій метод засновано на тому, що при зіткненні гарячого зонда зі зразком виникає термо-ЕРС, знак якої залежить від типу електропровідності і визначається за напрямом відхилення світлового індикатора гальванометра від нульового положення (мал.1.2).



1 – зонд; 2 – зразок; 3 – нуль-індикатор; 4 – металева пластина.

Малюнок 1.2 – Принципова схема для визначення типу електропровідності методом гарячого (а) та холодного (б) термозондів

Послідовність виконання роботи

1. Одержати зразки для дослідження.
2. Ввімкнути в мережу джерело живлення і осцилограф.
3. Притисканням зонду до поверхні добитись відхилення стрілки нуль-індикатора або появи на екрані осцилографу ВАХ, що свідчить про наявність в колі випрямляючого контакту.
4. Виміри спочатку виконати з пластинами відомого типу е/п, щоб зафіксувати напрямок струму через нуль-індикатор (Ме), а потім з одержаними зразками.
5. Вимкнути прилади з мережі.
6. Результати оформити у вигляді таблиці. Картини ВАХ, одержаних на екрані осцилографа, замалювати та пояснити.

Зміст звіту

Звіт повинен містити тему та мету роботи, стислі теоретичні відомості, схеми вимірювальних установок, результати вимірів у вигляді таблиць і графіків, аналіз одержаних результатів та висновки.

Контрольні питання

1. Пояснити залежність провідності домішкового н/п від температури.
2. Назвати та пояснити фізичні принципи інших методів визначення типу е/п.
3. Пояснити можливості використання випрямляючої дії метал-напівпровідник.

Лабораторна робота №2

Виявлення дефектних р-п-переходів на основі дослідження їх ВАХ

Мета роботи: вивчити метод дослідження якості р-п-переходу за виглядом ВАХ

Теоретичні відомості

Дослідження ВАХ електронно-діркових переходів діодів та транзисторів дозволяє одержати більший об'єм інформації про якість р-п-переходів. Форма ВАХ, абсолютне значення струмів і напруги залежать від багатьох фізичних і технологічних факторів, що визначають параметри р-п-переходів. Умови проходження струму через р-п-перехід – прикладання до нього прямої або зворотньої напруги зміщення. При прямому зміщенні р-п-переходу через нього проходить струм, викликаний інжекцією носіїв заряду, концентрація яких вища за їх рівноважне значення, при зворотньому зміщенні – струм, викликаний екстракцією неосновних носіїв заряду. Струми через р-п-перехід можуть бути дифузійними, дрейфовими, генераційними, рекомбінаційними. Рекомбінаційний струм прямозміщеного р-п-переходу:

$$I_{np} = \frac{1}{2} q \left(\frac{n_i}{t_0} \right) W A \exp \left(\frac{q U_{np}}{2KT} \right),$$

де q – заряд елемента;

n_i – власна концентрація носія заряду;

t_0 – ефективний час життя носія заряду в області р-п-переходу;

W – ширина області р-п-переходу;

A – площа р-п-переходу;

U_{np} – напруга зміщення р-п-переходу;

K – постійна Больцмана;

T – абсолютна температура.

Генераційний струм через зворотньоозміщений р-п-перехід при кімнатній температурі:

$$I_{зс} = \frac{1}{2} q \left(\frac{n_i}{t_0} \right) WA,$$

причому

$$t_0 = \frac{G_n \exp \frac{E_t - E_i}{KT} + G_p \exp \frac{E_i - E_t}{KT}}{2G_p G_n V_{th} N_t},$$

де G_n та G_p – перетин захоплення відповідно для електронів та дірок;

V_{th} – теплова швидкість зарядів;

N_t – концентрація домішок.

ВАХ реального (бездефектного) переходу показані на мал.2.1.

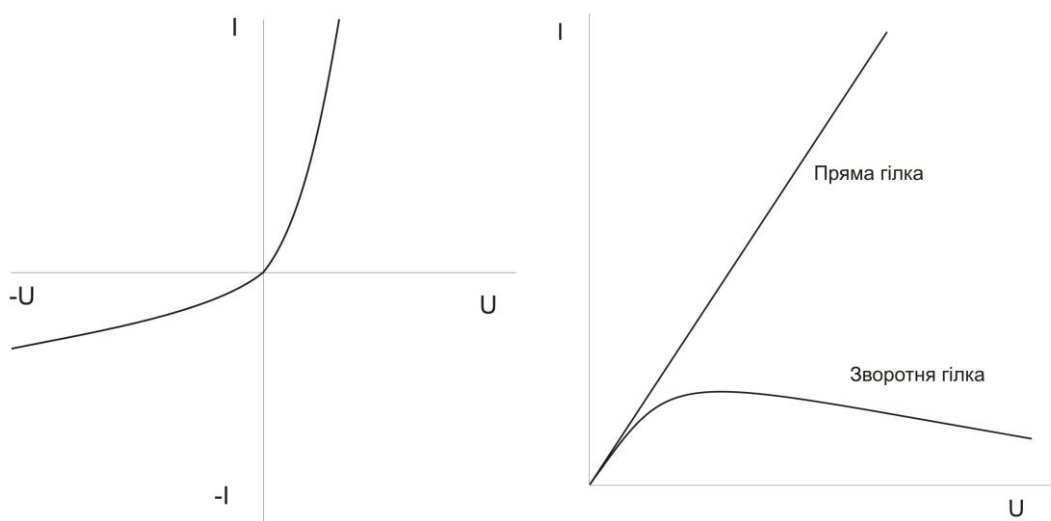
Генерація та рекомбінація носіїв в області просторового заряду протікають через глибокі енергетичні рівні, що розташовуються у забороненій зоні; присутність цих рівнів помітно змінюють ВАХ р-n-переходу. Вплив дислокацій на енергетичні властивості р-n-переходу можуть проявлятися двояко.

По-перше, дислокації можуть служити центрами рекомбінації, тому що присутність полів пружних напружень навколо дислокацій може призвести до появи рівнів у забороненій зоні. Наявність рекомбінаційних центрів у збідненій області р-n-переходу буде проявлятися у збільшенні генераційних струмів через зворотньо-зміщений р-n-перехід. По-друге, дислокації впливають на властивості р-n-переходу за рахунок акумуляції домішки на дислокаціях або навколо них, так як дислокації, завдяки своїм пружним полям, можуть акумулювати домішки. Керована дислокація, що перетинає р-n-перехід, буде призводити до виникнення високої густини генераційно-рекомбінаційних центрів в області просторового заряду р-n-переходу. Це призводить до збільшення генераційних струмів в області просторового заряду при зворотньому зміщенні р-n-переходу. На малюнку 2.2 показана серія ВАХ діодів з різною густиною дислокацій в межах збідненої області р-n-переходу. Видно, що струми витоку збільшуються із зростанням густини дислокацій.

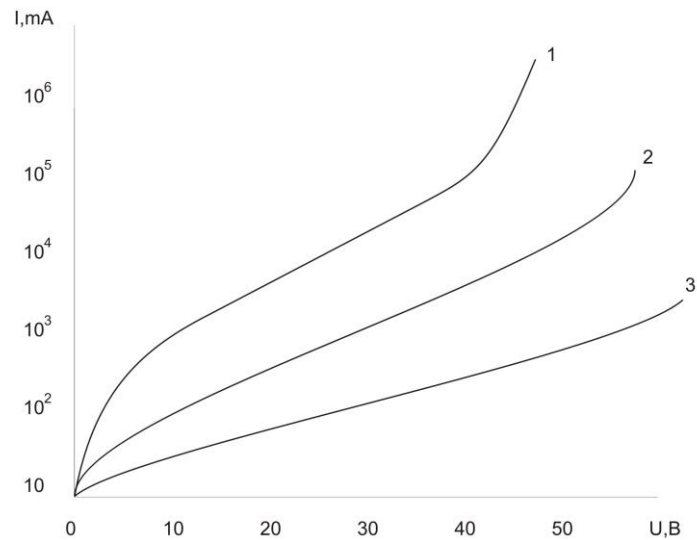
Помітний вплив на властивості р-n-переходу мають мікрodefекти і неоднорідності питомого опору – страти. В загальному випадку важко провести різницю між

впливом мікродефектів і тих модифікацій, в які вони перетворюються під дією технологічних обробок. Електричні властивості приладів залежать також від місця розташування дефектів – по поверхні кристалу, в об’ємі напівпровідника, або в збідненій області р-п-переходу. Свірл-дефекти, як і страти, спостерігаються в області підсиленої рекомбінації носіїв заряду. Це призводить до зростання струму витоку. ВАХ, показані на малюнку 2.3, свідчать про помітну різницю струмів витоку діодів з різним змістом дефектів.

Вплив дефектів упаковки на ВАХ можна детально дослідити, комбінуючи виміри ВАХ із скануючою електричною мікроскопією. Такі дослідження показали, що дефекти упаковки викликають виникнення генераційно-рекомбінаційних центрів в області об’ємного заряду р-п-переходу приладу. На малюнку 2.4 зображені ВАХ трьох діодів з різним вмістом дефектів упаковки. Зворотній струм через діод збільшується. Дослідження показують, що, чим менші розміри упаковки, тим більша оточуюча його зона генераційно-рекомбінаційних центрів в області просторового заряду переходу. Це викликано місцем розташування таких дефектів – поблизу дефектів переходу. При цьому дефекти упаковки, що перетинають поверхню кристалу, порівняно легко акумулюють домішки завдяки близькості часткових дислокацій, якими обмежений дефект упаковки, на поверхні.



Малюнок 2.1 – ВАХ бездефектного р-п-переходу (два способи зображення)

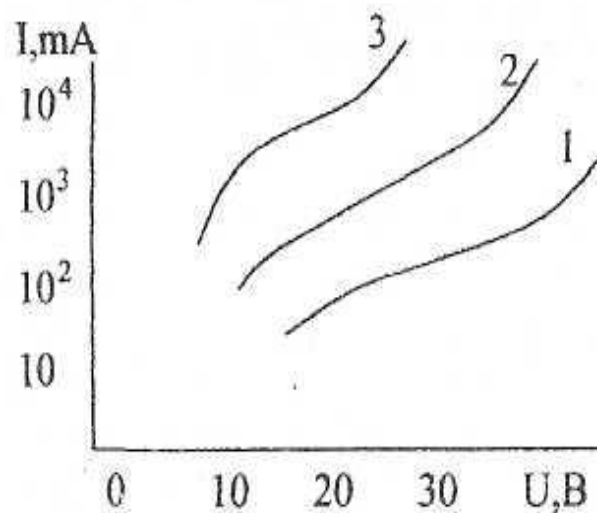


1 – щільність дислокацій = $2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$

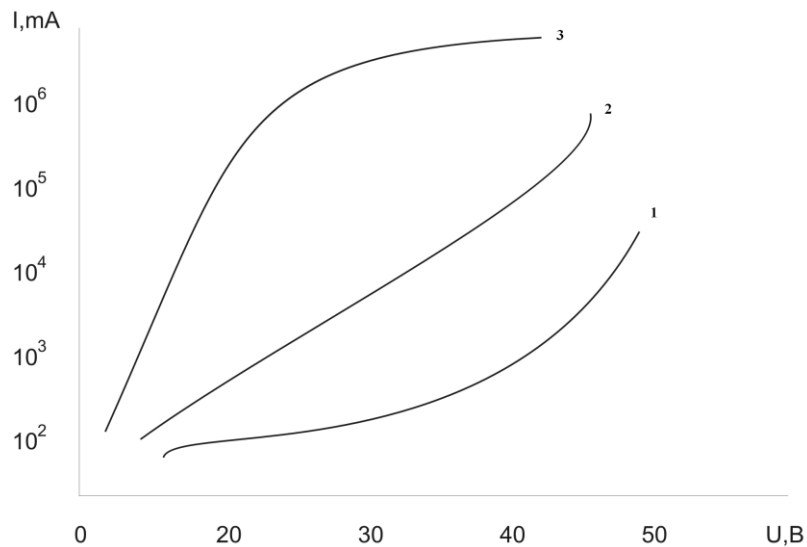
2 – щільність дислокацій = $4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$

3 - щільність дислокацій = $6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$

Малюнок 2.2 – Вигляд залежності ВАХ при зворотньому зміщенні р-n-переходу від щільності дислокацій

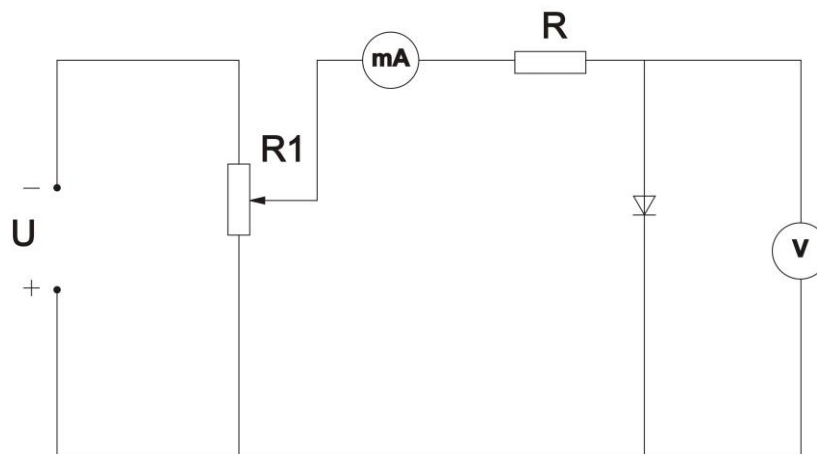


Малюнок 2.3 – Вигляд залежності ВАХ при зворотньому зміщенні р-n-переходу від щільності мікроефектів (N_g)



Ng.y.3 (крива 3) > Ng.y.2 (крива 2) > Ng.y.1 (крива 1)

Малюнок 2.4 – Вигляд залежності ВАХ при зворотньому зміщенні р-n-переходу від щільності упаковки



R_1 – потенціометр, R – обмежувальний резистор.

Малюнок 2.5 – Схема для дослідження ВАХ діоду

Дефекти мають найбільш сильний вплив на р-n-переходи.

Механізми впливу можуть бути різними:

- пряма взаємодія дефекту і р-n-переходу за рахунок впливу поля напружень, яке існує біля дефекту;

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

- локальне порушення планарності дефектів р-п-переходів;
- локальне гальмування дифузійного фронту, що викликає різні локальні порушення зворотніх струмів;
- локалізація домішок на дефекті або в його зоні;
- кристалографічні дефекти стимулюють також значне зниження напруги пробою р-п-переходу. Неоднорідний пробій може призводити до різноманітних дефектів:
 - «Пом'якшення» зворотної гілки ВАХ за рахунок збільшення струмів витоку;
 - Великих флуктуацій амплітуди струму у передпробивний період;
 - Появлення свічення в окремих точках р-п-переходу (мікроплазмова емісія).

Порядок виконання роботи

1. Вивчити інструкцію до вимірювального обладнання.
2. Одержати зразки діодів з різними дефектами р-п-переходів.
3. Зібрати схему, що зображена на мал.2.5, перевірити надійність з'єднань окремих елементів.
4. Ручку потенціометра вивести в ліве положення, що відповідає мінімальному значенню напруги, яке подається на діод.
5. Підключити до схеми джерело постійної напруги.
6. Зняти ВАХ діодів в заданих діапазонах напруги.
7. За результатами вимірювань ВАХ різних діодів визначити діоди з дефектними р-п-переходами.

Зміст звіту

Звіт про лабораторну роботу повинен містити стислі теоретичні відомості про методику виявлення дефектних переходів, схему експериментальної установки. У висновках необхідно пояснити одержані ВАХ та ув'язати вид ВАХ окремих діодів з процесами, що протікають у р-п-переходах.

Контрольні питання

1. Пояснити процеси, що протікають у р-п-переході при прикладанні до нього прямого та зворотнього зміщення.
2. Визначити вплив структурних дефектів на хід ВАХ р-п-переходів.
3. Охарактеризувати основні параметри, що визначають напругу р-п-переходу.

Лабораторна робота № 3

Вимірювання поверхневого і питомого опору шарів напівпровідника

Мета роботи : ознайомитися з методикою вимірювання поверхневого і питомого опорів і устаткуванням для проведення вимірювання.

Теоретичні відомості

На сьогодні відомі різні методи вимірювання поверхневого $R_{\text{пов}}$ і питомого ρ опорів. По взаємодії вимірюваних зразків і засобів вимірювання ці методи можна поділити на безконтактні і контактні.

Безконтактні методи реалізуються без механічного контакту між вимірюваною пластиною (структурою) і засобом вимірювання. До них відносяться методи вихрових струмів, плазмового резонансу, поглинання НВЧ-енергії, вимірювання коефіцієнта оптичного відбиття і ін.

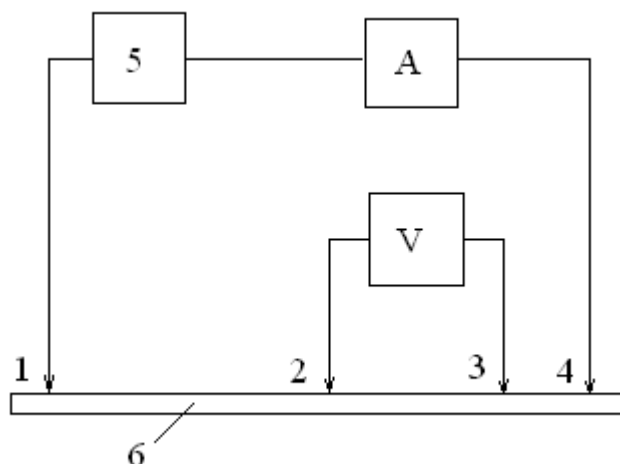
Контактні методи реалізуються подачею електричного сигналу і визначенням, у відповідь, реакції пластини (структури) за допомогою голкоподібних зондів. До них відносяться: чотирьохзондовий, трьохзондовий, двохзондовий методи і метод опору розтіканню.

Опис експериментальної установки

Вимірювання проводиться за допомогою чотирьохзондової установки. Схема вимірювання показана на мал. 3.1.

Схема включає кремнієву структуру, чотирьохзондову голівку, джерело постійного стабілізованого струму, міліамперметр, вольтметр з високоомним входом.

При вимірюванні похибка виміру визначається типом вимірюваної структури і товщиною d і складає 4...10% для товщини 0,5...2,5 мкм.



1-4 - зонди; 5 - джерело струму; 6 – пластина

Малюнок 3.1- Схема вимірювання поверхневого і питомого опорів чотирьохзондовим методом

Порядок виконання роботи

1. Зібрати вимірювальну установку згідно з мал. 3.1.
2. За допомогою джерела струму амперметром А встановити струм в ланцюги струмових зондів 1-4, рекомендовані значення якого для епітаксійних шарів наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1-Рекомендовані значення струму для епітаксійних шарів з різними значеннями $R_{пов}$

$R_{пов},$ кОм /□	0,01-0,03	0,03-0,1	0,1-0,3	0,3-1	1-3	3-10	10-30
I, мкА	$\ll 10^5$	$\ll 10^4$	$\ll 4 \cdot 10^3$	$\ll 400$	$\ll 70$	$\ll 10$	$\ll 5$

3. Вольтметром V виміряти напругу між зондами 2 і 3 при двох протилежних напрямках струму. Відповідно набути значення U_{23} і U_{32}

4. Обчислити середнє значення напруги

$$U_{cp} = (U_{23} + U_{32}) / 2$$

4. Визначити поверхневий опір

$$R_{nos} = kU_{cp} / I ,$$

де k - коефіцієнт, що визначається взаємним розташуванням зондів ($k = 9,06$ - при розташуванні зондів у вершинах квадрату і $k = 4,53$ - при розташуванні зондів в лінію).

6. Обчислити питомий опір, Ом·см:

$$\rho = R_{nos}d ,$$

де d - товщина структури.

7. Оцінити похибку вимірювань.

Зміст звіту

Звіт про роботу повинен містити назву і мету роботи; короткі теоретичні відомості про методи вимірювання поверхневого і питомого опорів, схеми вимірювань опору чотирьохзондовим методом і принцип дії установки для вимірювання; результати вимірювань напруги між зондами при двох протилежних напрямках струму; схему вимірювань; результати обчислень поверхневого і питомого опорів; критичну оцінку отриманих результатів з урахуванням похибки результатів вимірювань; аналіз і висновки до виконаної роботи.

Контрольні питання

1. Які існують методи вимірювання поверхневого і питомого опорів ?
2. Переваги і недоліки методів вимірювання поверхневого і питомого опорів ?
3. Чим визначається похибка методу?
4. Які заходи застосовуються для зменшення похибки вимірювань ?

Лабораторна робота №4

Методи контролю та дослідження якості поверхні напівпровідникових пластин

Мета роботи: вивчити методи контролю параметрів напівпровідникових пластин

Теоретичні відомості

Якість обробки поверхні напівпровідникової полірованої пластини, що підготовлена до вирощування епітаксійного шару, визначається сукупністю механічних і хімічних операцій обробки пластин, що призначені для зняття пошкодженого в результаті різки злитку шару монокристалічного кремнію. Тріщини, сколи, «сліди різки» (уступи на поверхні пластини, обмежені колами, радіус яких дорівнює радіусу ріжучої кромки), прогин, різна товщина пластин – типові дефекти після операції різки, що усуваються подальшими операціями шліфування і полірування. Одночасно ці операції вносять інші дефекти унаслідок недотримання технологічного режиму. Наприклад, після травлення на поверхні пластини виникають ямки внаслідок використання погано перемішаного травника або травника з підвищеною концентрацією плавикової кислоти. При шліфуванні пластин можуть виникнути подряпини із-за наявності в шліфувальній суспензії великих частинок, сколювання частинок кремнію з країв пластини.

Після фінішного полірування пластини проводять контроль порушеного шару, тобто залишкових поверхневих пошкоджень: явних і неявних рисок, «кластерів». Неявна риска, яку видно тільки при певних кутах падіння світла на пластину, за своєю сутністю є мікроподряпиною, тобто протяжним поглибленням на поверхні. Явну риску, або макроподряпину, видно незалежно від кута падіння світла на пластину. Мікротріщини є розривами - цілісності матеріалу, що починаються біля поверхні і закінчуються в об'ємі пластини. «Кластери»- це виділення другої фази, що утворюється в процесі фінішного полірування і спостерігається у вигляді матовості, розташованої на кільцях або рівномірно по пластині.

Контроль вказаних дефектів полірованих пластин, здійснюваний за допомогою мікроскопів, супроводжується руйнуванням (пошкодженням) частини пластини, оскільки необхідне короткочасне селективне травлення. Виявлення дефектів за допомогою селективного травлення засноване на тому, що в спеціальних травниках дефектну поверхню травлять з більшою швидкістю, ніж іншу (бездефектну). Вид фігур травлення дефектів полірованих пластин залежить від орієнтації поверхні пластин і складу травника. Виділення другої фази після селективного травлення спостерігається у вигляді горбиків.

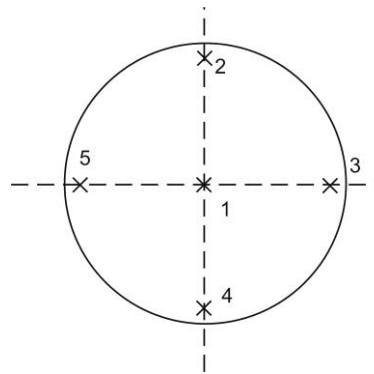
Чистота поверхні полірованої пластини залежить від забруднення її залишками абразивних та клейких матеріалів, мінеральними жирами та органічними включеннями, що вносяться оператором і устаткуванням, та відмиваючими засобами (кислоти, іонізована вода, пензлики). Спостерігаються забруднення у вигляді розводів і плям довільної форми, відбитків пальців, крапок, що світяться.

Застосовуються методи вимірювання діаметра та товщини пластини, довжини базового та додаткового зрізів. Вимірювання розмірів пластин є найпростішим з усіх видів вимірювань, що проводяться при виготовленні ІМС. Розміри напівпровідникових пластин задаються ТД і суворо нормуються для забезпечення сумісності пластин з технологічним устаткуванням, на якому проводяться операції їх обробки. Для встановлення відповідності пластин розмірам, вказаним в ТД, вимірюють діаметр і товщину пластини, довжину базового і додаткового зрізів. Вимірювання здійснюють прямим методом, при якому вимірювана величина порівнюється з її мірою. Як інструмент, використовують штангенциркуль, вимірювальну лінійку та багатооборотний індикатор (мікрометр).

Значний вплив на точність наведення елементів оказують такі параметри, як прогин, непаралельність та неплоскостність пластин. Якщо врахувати, що для виробництва великих ІМС використовують пластини великого діаметру і їх параметри погіршуються зі збільшенням діаметру пластини, то стане очевидною значимість їх контролю.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути у мікроскоп дефекти поверхні пластин.
2. Визначити розміри дефектів.
3. За допомогою штангенциркуля та мікрометра визначити діаметр та товщину пластини.
4. Визначити клиноподібність пластини, як різницю значень товщини пластини у 2-х точках, що знаходяться на її краях протилежних кінців.
5. Визначити непаралельність пластини, виміривши товщину пластини в 5-ти точках, що розташовані, як показано, на малюнку 4.1. Точки 2-5 розташовані на рівній відстані від точки 1, що знаходиться в центрі.



Малюнок 4.1 – Розташування точок, в яких вимірюється товщина пластини при визначенні непаралельності

Товщину пластини вимірюють мікрометром зі стрілочним відрахунком.

6. Результати обробляють, визначивши різницю товщини пластини в точках 1 і відповідних периферійних точках:

$$\delta_{i-1} = d_i - d_1$$

де δ_{i-1} - різниця між товщиною пластини в i -й точці та в точці 1;

d_i, d_1 – товщини пластини в i -той точці та в точці 1;

i – порядковий номер точки ($i = 2, 3, 4, 5$).

7. Найбільше значення однієї з отриманих різниць i визначає непаралельність.

8. Зробити висновок про проведені дослідження.

Зміст звіту

Звіт повинен включати тему, мету роботи, теоретичні відомості, результати вимірів, розрахунки, висновки.

Контрольні питання

1. Які види дефектів напівпровідникових пластин?
2. Які методи виміру геометричних розмірів напівпровідникових пластин?
3. Які основні вимоги до готових підкладок, що використовуються для виготовлення ІМС?
4. Пояснити, як впливає якість обробки поверхні підкладки на електрофізичні параметри напівпровідникових пристроїв.
5. Дати визначення «непаралельність», «клиноподібність».
6. Яка методика проведення розрахунків?

Лабораторна робота №5

Випробування мікросхем за категорією П4

Мета роботи: провести випробування мікросхеми на якість маркування, наявність дефектів та відповідність геометричним розмірам.

Теоретичні відомості

В процесі виготовлення пасивної частини гібридної ІМС, а також при збірці проводять контроль зовнішнього вигляду. Він є першою операцією міжопераційного та фінішного контролю та проводиться з метою відбракування ІМС, що мають явні дефекти плівок, з'єднань та навісного монтажу. При такому контролі виявляють:

- а) зміщення шарів відносно один одного та краю підкладки;
- б) зміщення малюнку тонкоплівкової мікросхеми;
- в) здуття та відшарування ділянок плівки;
- г) подряпини на плівках;
- д) краплі матеріалу, що випаровуються на поверхні плівок.

Зовнішній вигляд контролюють за допомогою мікроскопу, який збільшує об'єкт від 3,5 до 88 разів, в полі зору від 42 до 2,6 мм. Контролюють наявність подряпин, сколів, розтріскувань ІМС. В результаті такого контролю удається уникнути непромислової втрати часу на вимірювання електричних параметрів ІМС.

Геометричні розміри контролюють за допомогою універсальних інструментів: штангенциркуля, мікрометра.

Якість маркування перевіряють візуальним методом. Місце нанесення маркування протирають спиртом. Якщо усі цифри та букви залишаються читабельними, то маркування нанесено якісно.

Порядок виконання роботи

1. Замалювати одержані ІМС, записати типономінали .
2. Дослідити зовнішні дефекти ІМС за допомогою мікроскопу.
3. Перевірити якість нанесення маркування.

4. Визначити розміри ІМС за допомогою штангенциркуля, порівняти отримані значення зі стандартними.
5. Данні занести в таблицю. Зробити висновки щодо результатів випробування ІМС за категорією П4.

Зміст звіту

Звіт повинен містити тему та мету роботи, стислі теоретичні відомості, данні щодо отриманих мікросхем, результати вимірів, аналіз одержаних результатів та висновки.

Контрольні питання

1. Дати визначення «випробування», «надійність», «якість».
2. Які категорії випробувань?
3. Які причини відмов ІМС?
4. Яка методика проведення випробувань за категорією П-4?

Лабораторна робота №6

Вимірювання статичних параметрів ІМС

Мета роботи: дослідити статичні параметри логічного елемента 4-І

Теоретичні відомості

Вимірювання статичних параметрів – це вимірювання електричних величин в сталому режимі. Вимірювання статичних параметрів проводять через певний час після завершення перехідного процесу в ІМС. Вимірюється усереднене значення параметру. Необхідно понизити вплив вимірюючих засобів на похибку вимірювання.

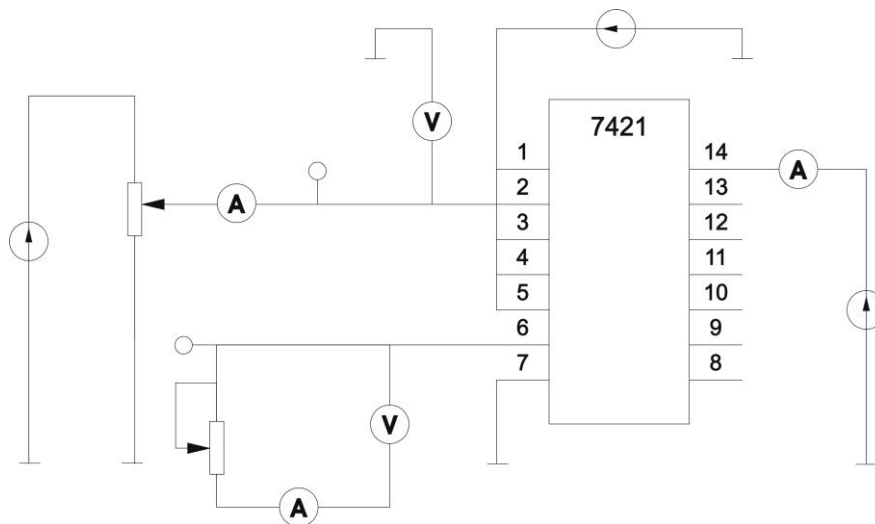
При зміні напруги вхідний опір засобу вимірювання повинен бути в багато разів більший вихідного опору вимірювального ланцюга. Якщо зменшити їх вплив до дуже малого розміру не виходить, то враховують вплив металевих характеристик вимірюючих засобів на похибку виміру (похибка не більше 5%).

Вимірювання статичних параметрів включає перевірку струмів споживання, вхідних струмів, навантажувальної здатності виходів схеми, тобто параметрів, що являються критерієм працездатності ІМС та її сполучення з іншими схемами.

Практично вимірювання статичних параметрів проводять при поданні на схему імпульсних потенційних сигналів.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему (мал.6.1) для дослідження статичних параметрів.
2. Визначити рівні вхідних логічних сигналів «0» та «1», змінюючи напругу на вході елемента 4-І (кнопка R), опір навантаження встановити рівним 100%.
3. Визначити рівні вихідних логічних сигналів «0» та «1».
4. Виміряти залежність вхідного струму від вхідної напруги (шаг 10%).
5. Побудувати навантажувальну характеристику вихідної напруги та вихідного струму від навантажувального опору вихідною лінією 4-І при сталій на виході логічній «1» (опір навантаження змінюємо Q).



Малюнок 6.1-Схема для вимірювання статичних параметрів

Зміст звіту

Звіт повинен включати тему, мету роботи, схему для вимірювання статичних параметрів, результати вимірів у вигляді таблиці, висновки.

Контрольні питання

1. Які параметри називаються статичними ?
2. Які параметри називають динамічними ?
3. Наведіть приклади статичних та динамічних параметрів ІМС.
4. Як виміряти статичні параметри ІМС ?
5. Який метод використовують для визначення часу затримки ?
6. Як визначити вхідну ємність ІМС ?

Лабораторна робота №7

Дослідження статичних параметрів логічних мікросхем ТТЛ та КМОН

Мета роботи: дослідити статичні параметри логічних мікросхем ТТЛ та КМОН.

Теоретичні відомості

До цифрових ІМС відносять такі МС, інформація в яких представлена у вигляді логічних одиниць і нулів. Статичними електричними параметрами цифрових ІМС називають сукупність параметрів, що характеризуються струмами і напругами, які визначають режим вимірювання. Ці параметри є параметрами постійного струму і визначаються за всіма виводами ІС. До них відносяться: вхідний і вихідний струми і напруги, струми живлення, струми короткого замикання, тощо.

Методи вимірювання основних електричних статичних параметрів цифрових ІМС представлено на мал.7.1 На малюнку 7.1.а зображена схема для вимірювання струму живлення. На ІС DD подають напругу живлення від джерела G2, а вхідна напруга-від джерела G1. Стан вхідних виводів ІС визначається технічними умовами. Струм живлення вимірюють за допомогою РА, звичайно, за падінням напруги на еталонному резисторі.

На мал.7.1.б показана схема для визначення вхідного струму низького і високого рівнів, тобто постійного струму, що протікає через заданий вхід ІС при заданій напрузі на вході, що подається від джерела живлення G1. Струм вимірюють за допомогою РА, звичайно, за падінням напруги на еталонному резисторі. Значення вхідного струму інших рівнів (G3) визначаються технічними умовами.

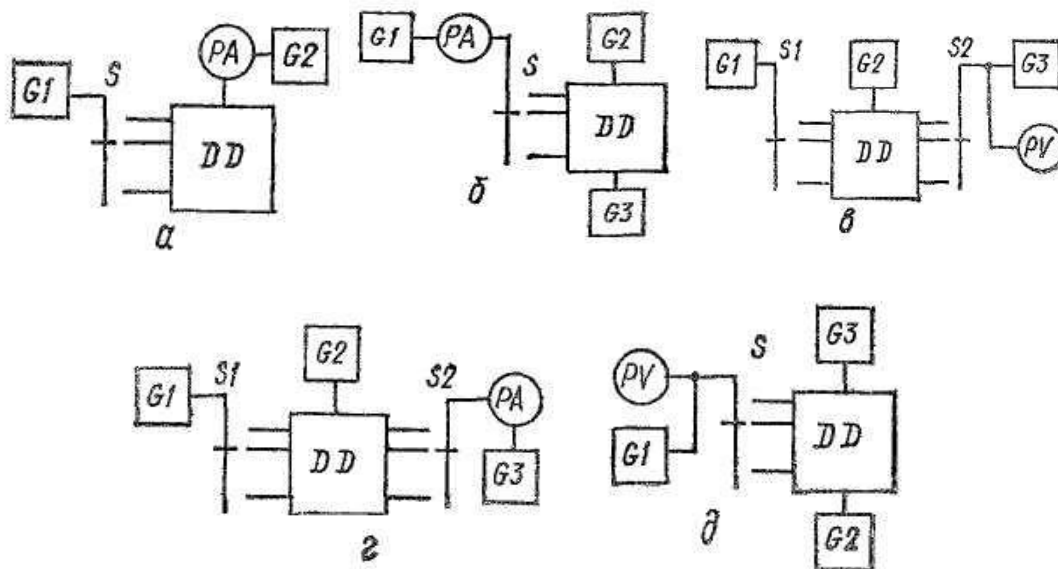
На мал.7.1.в зображена схема для вимірювання вхідної напруги низького і високого рівнів. Напругу живлення подають на ІС DD від джерела G2, вхідну напругу - від джерела G1, а виходи для перевірки МС навантажують струмом від джерела G3, значення якого встановлюється технічними умовами. Напругу вимірюють вимірювачем напруги PV.

На мал.7.1.г показана схема для вихідного струму високого рівню і струму вимкненого стану. На ІС DD подають напругу живлення від джерела G2, вхідну на

О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, Р.А.Багаєв, А.О.Ніконова
 Диагностика, контроль та випробування н/п приладів
 пругу - від джерела G1, а на вихід для перевірки МС напругу від джерела G3, значення якого встановлюється технічними умовами при визначеному рівні вхідного струму.

На мал.7.1.д показана схема для вимірювання напруги блокування. На ІС DD подають напругу живлення від джерела G3. Вхідну напругу підводять до усіх виводів ІС (окрім перевіряємого) від джерела G2. Вхід для перевірки навантажують струмом, значення якого встановлюється технічними умовами, і вимірюють напругу на вході за допомогою PV.

В технічних умовах до конкретного типу МС задаються послідовності подавання напруг та струмів на виводи ІС, порядок їх вимірювання, допустимі похибки і т.і.



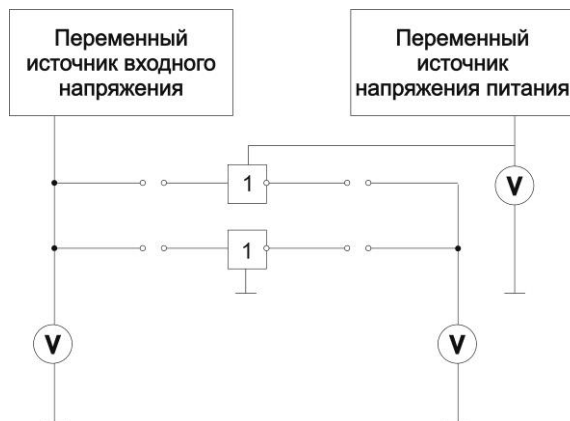
Малюнок 7.1-Методи вимірювання статичних електричних параметрів цифрових ІС

Для перевірки статичних електричних параметрів цифрових ІС необхідні засоби вимірювання, прилади і пристрої, що задовольняють вимогам стандартів, які пред'являються до методів вимірювання цих параметрів, а також технічним умовам ІС. Електричний режим повинен забезпечуватися з точністю, заданою технічними умовами ІС; повторюваність результатів вимірювання повинна відповідати точності

О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, Р.А.Багаєв, А.О.Ніконова Діагностика, контроль та випробування н/п приладів
вимірювання електричних параметрів. У вимірювальні схеми вводять розв'язуючі, корегуючі та поєднуючі ланцюги, щоб уникнути наводок і генерації.

Порядок виконання роботи

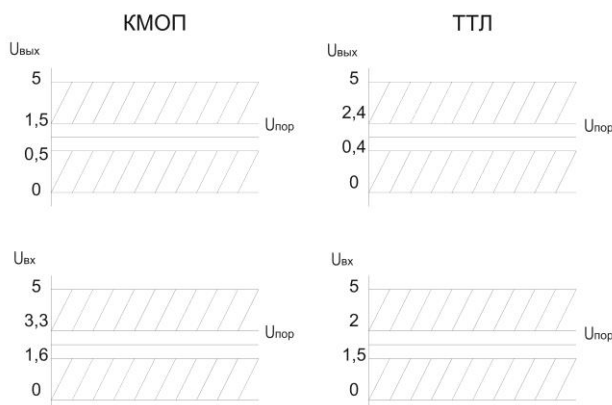
1. Використовуємо стенд. Схема представлена на мал.7.2. Встановити дві перемички, підключивши вхідну і вихідну лінії першої мікросхеми до вольтметра.



Малюнок 7.2- Схема для вимірювання статичних параметрів

2. Вибрати кнопкою Select режим відображення напруги живлення (повинен зажеврити тільки правий індикатор Voltage).
3. Встановити резистором Simply Voltage +5V.
4. Переключитися кнопкою Select в режим відображення вхідної та вихідної напруги (повинні зажеврити обидва індикатора).
5. Змінюючи напругу Voltage Input резистором Voltage Input (збільшуючи) провести вимірювання перехідної характеристики інвертора $U_{вих} = f(U_{вх})$ в повному діапазоні напруги $U_{вх}$ (поблизу границі переключення провести вимірювання з малим кроком).
6. Провести ті ж вимірювання, але змінюючи напругу від максимального до мінімального значень.
7. Провести аналогічні виміри для всіх 5-ти МС.
8. Побудувати перехідні характеристики $U_{вих} = f(U_{вх})$ для всіх МС (у прямому та зворотньому напрямках на одному графіку).

9. Виміряти діапазон $U_{вих}$ та $U_{вх}$ логічних «0» та «1» і за цими значеннями визначити тип МС –ТТЛ або КМОП, використовуючи діаграми мал.7.3.



Малюнок 7.3 – Діаграми значень рівнів логічних «0» та «1» для мікросхем ТТЛ і КМОП логіки

Зміст звіту

Звіт повинен включати тему, мету роботи, схему для вимірювання статичних параметрів, результати вимірів у вигляді таблиці, діаграми, графіки перехідних характеристик $U_{вих} = f(U_{вх})$ для усіх МС (у прямому та зворотньому напрямках)

Контрольні питання

1. Які параметри називаються статичними ?
2. Які параметри називають динамічними ?
3. Навести приклади статичних та динамічних параметрів ІМС.
4. Як виміряти статичні параметри ІМС ?
5. Яка методика проведення вимірювання?

Лабораторна робота №8

Дослідження статичних параметрів дешифраторів

Мета роботи: дослідити методи вимірювання статичних параметрів дешифраторів

Теоретичні відомості

В обчислювальній техніці та автоматичі дешифратори використовують для перетворення кодів чисел в сигнали. Реалізацію функціонального завдання дешифратора найбільш раціонально виконувати на елементах «И-НЕ», в основу яких покладено транзисторно-транзисторну логіку. В функціональній схемі дешифратора серії К 134 ИД6 використовують вісім одноходових і десять чотирьохходових клапанів «И-НЕ». Таблиця істиності має вигляд мал.8.1.

Таблиця 8.1-Таблиця істиності дешифратора К134 ИД6

Входи				Выходы									
A	B	C	D	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Кожний з вісімнадцяти клапанів дешифратора - є типовим елементом ТТЛ на відповідну кількість входів (мал.8.2).

Аналізуючи процеси роботи ТТЛ-схеми, приходимо до висновку, що, досліджуючи дешифратори серії К134ИД6, необхідно проводити вимірювання наступних статичних параметрів:

- вихідних напруг нуля і одиниці ($U^0_{\text{вих}}$, $U^1_{\text{вих}}$)
- вхідних струмів нуля і одиниці ($I^0_{\text{вх}}$, $I^1_{\text{вх}}$)

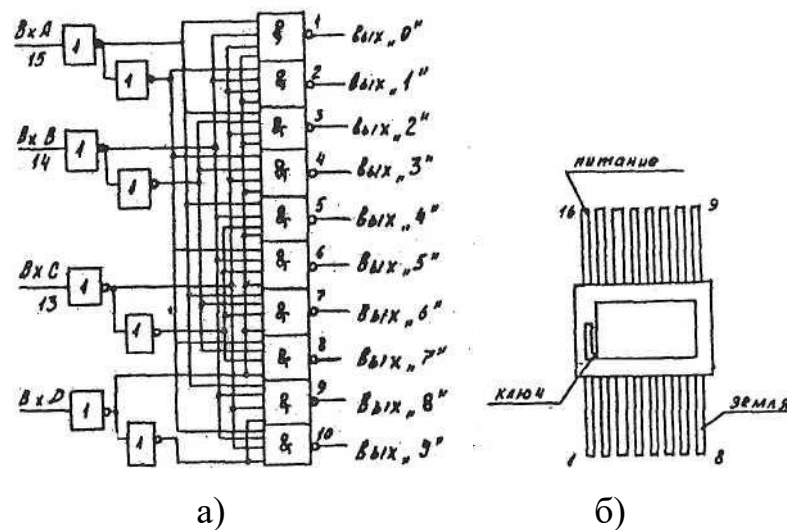
О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, Р.А.Багаєв, А.О.Ніконова Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

- струму короткого замикання ($I_{кз}$)
- струму споживання.

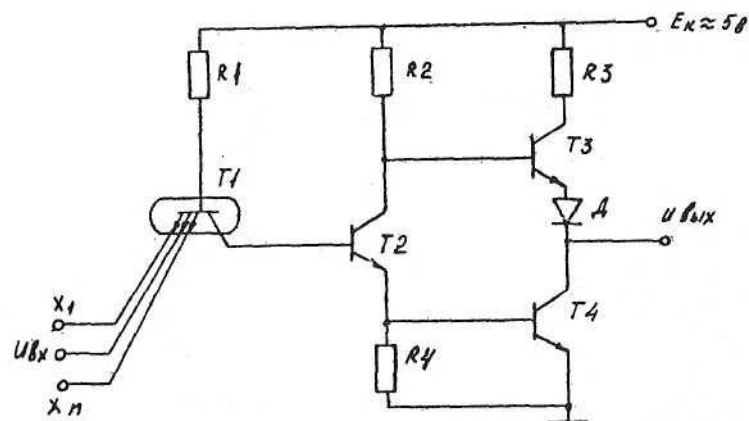
Крім того, оскільки дискретна інформація представляється двома потенційно рознесеними рівнями, необхідно визначитися в межах їх вимірювання. У разі ТТЛ -схем маємо:

рівень, логічного нуля $0 \ll U^0 \ll 0,4$ (В);

рівень логічної одиниці $2,4 \ll U^1 \ll F_{дж}$ (В)



Малюнок 8.1- Функціональна схема дешифратора - а) і схема розташування виводів - б)



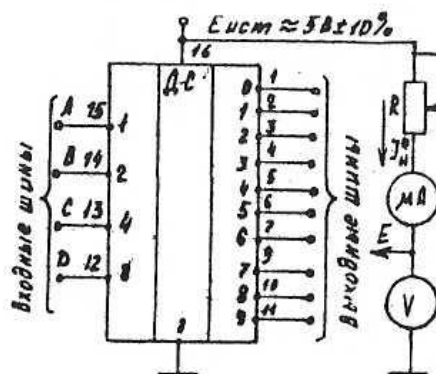
Малюнок 8.2-Типова схема ТТЛ - елемента

Вимірювання напруги логічного нуля $U_{\text{вих}}^0$

Оскільки питомий опір області колектора має більше значення, ніж питомий опір області емітера, то струм, що втікає в транзистор Т4, створює падіння напруги в колекторній області транзистора Т4. В результаті, при збільшенні навантаження (тобто збільшенні струму, що втікає) спостерігається збільшення вихідної напруги.

Напругу $U_{\text{вих}}^0$ необхідно вимірювати при номінальному струмі, що втікає, який вибирається у відповідності з навантажувальною здатністю даного дешифратора. Для дешифратора серії К134ИД6 визначено значення $I_{\text{вх}}^0 = 180$ мкА, а коефіцієнт розгалуження $m = 10$. Тоді номінальний струм схеми визначається як добуток $I_{\text{вх}}^0$ на коефіцієнт розгалуження по виходу ($I_{\text{н}} = 1,80$ мА). Дешифратори, в яких при такому номінальному струмі $U_{\text{вих}}^0 \ll 0,4$, вважаються придатними для експлуатації.

На мал. 8.3 зображена схема вимірювання $U_{\text{вих}}^0$. За допомогою вольтметра V спостерігаємо вихідну напругу логічного нуля $U_{\text{вих}}^0$. Слід зазначити, що вхідний опір вимірювального вольтметра повинен бути не менше 500 КОм.



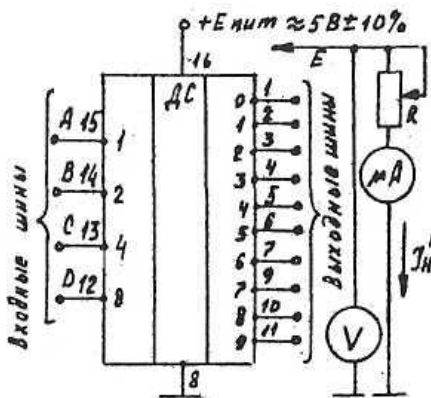
Малюнок 8.3- Схема вимірювання $U_{\text{вих}}^0$

Вимірювання напруги логічної одиниці $U_{\text{вих}}^1$

Згідно схеми на мал. 8.2, вихідний струм логічної одиниці $I_{\text{вих}}$ протікає через резистор R3, транзистор Т3 та діод Д і далі через підключене навантажен-

ня. На цих елементах в результаті протікання струму відбувається падіння напруги, оскільки їх опір має кінцеве значення. Тому вихідну напругу логічної одиниці також слід вимірювати при номінальному витікаючому струмі, який вибирається відповідно з навантажувальною здатністю даного дешифратора. Дешифратор серії К134ИД6 має вхідний струм логічної одиниці в межах $I_{вх}^1 = 12$ мкА при коефіцієнті розгалуження по виходу $m = 10$. Номінальний витікаючий струм визначається як добуток $I_{вх}^1 m$ ($I_H = 120$ мА). Дешифратори, в яких при номінальному струмі $U_{вих}^1 = 2,4$ В, вважаються придатними для експлуатації.

Вимірювальна схема $U_{вих}^1$ зображена на мал. 8.4. На вольтметрі V фіксуються значення вихідної напруги логічної одиниці при різному витікаючому струмі.



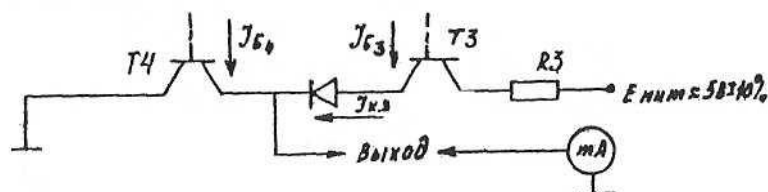
Малюнок 8.4- Схема вимірювання $U_{вих}^1$

Вимірювання струму короткого замикання $I_{кз}$

В процесі роботи, при переході з одного логічного рівня до іншого, протягом короткого проміжку часу всі транзистори ТТЛ-схеми (див. мал. 8.2) Т2, Т3, Т4 опиняються в активному режимі (наприклад, транзистори Т2 іТ4 відчинилися, а транзистор Т3 ще не встиг закритися). При цьому через два послідовно включені відчинені транзистори Т3 і Т4 (мал. 8.5) йде струм короткого замикання (КЗ), що досягає вельми великих значень (до 100 мА).

Ці особливості накладають істотні вимоги до номіналу резистора R3, оскільки в даному випадку струм КЗ обмежує тільки опір вказаного резистора (див.

мал. 8.5). Для визначення номіналу резистора R3 при випробуванні схем дешифраторів вимірюють $I_{кз}$ по схемі, вказаній на мал. 8.6.



Малюнок 8.5- Схема протікання струму

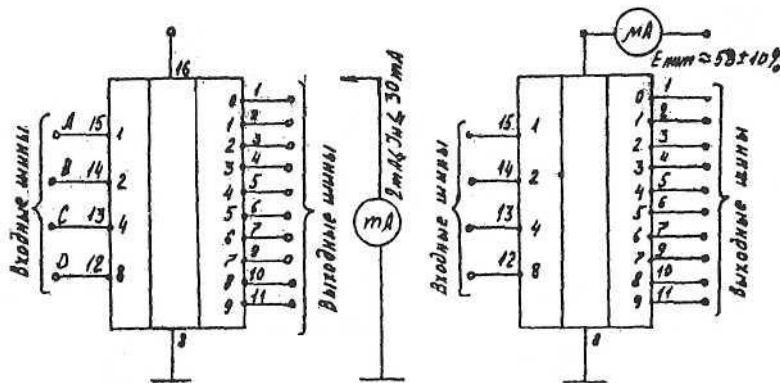
Дана вимірювальна схема вимагає режиму роботи ТТЛ-схеми (мал. 8.2), коли транзистор T5 відчинений, а транзистор T4 зачинений, який при підключенні до виходу схеми міліамперметра буде шунтуватися останнім (див. мал. 8.5). На міліамперметрі при даному режимі будуть показники, відповідні струму КЗ. Такий режим реалізується в присутності на виході логічної одиниці.

Опір резистора R3 визначається за формулою

$$R3 = \frac{E_{дж}}{I_{кз}}$$

Вимірювання струму споживання $I_{сп}$

Сьогодні розвиток мікроелектроніки спрямований на здійснення подальшої мініатюризації радіоелектронної апаратури, тобто при малому об'ємі, що займає ІС, і малому струмі, споживаному ІС, добиваються максимально можливого рішення функціональних задач. Отже, струм споживання є далеко не останнім по значущості, статичним параметром даної мікросхеми. У дешифраторі серії K134 ИДб струм споживання вимірюється за схемою, що зображена на мал. 8.7.



Малюнок 8.6-Схема вимірювання Малюнок 8.7-Схема вимірювання

При вимірюванні струму споживання на всі входні шини дешифратора слід подати рівні логічної одиниці, оскільки струм споживання схеми ТТЛ максимальний в присутності на вході схеми високого потенціалу.

Опис експериментального стенду

Стенд (мал.8.8) призначений для вимірювань напруги логічного нуля, напруги логічної одиниці, вимірювання струму КЗ, виміру струму споживання дешифраторів серії К 134 ИД6.

За паспортними даними напруга живлення дешифраторів серії К134 ИД6 змінюється в межах $E_{дж} = 5 \text{ В} \pm 10\%$. Отже, коливання напруги живлення допустимі в межах від 4,5 до 5,5 В.

При вимірюванні вихідних напруг логічного нуля або одиниці напругу живлення слід вибирати мінімальною ($E_{дж} = +4,5 \text{ В}$). Ця вимога обумовлюється особливостями роботи використання в даних інтегральних схемах типових ТТЛ елементів, показаних на мал. 8.2.

При вимірюванні статичного параметра - напруги виходу логічного нуля $U^0_{вих}$ - при зменшенні напруги живлення, як видно з мал. 8.2 може відбутися недонасиченість транзисторів Т2 і Т4 внаслідок того, що зменшення напруги живлення зменшить потенціал на базі транзистора Т1і, отже, струм бази.

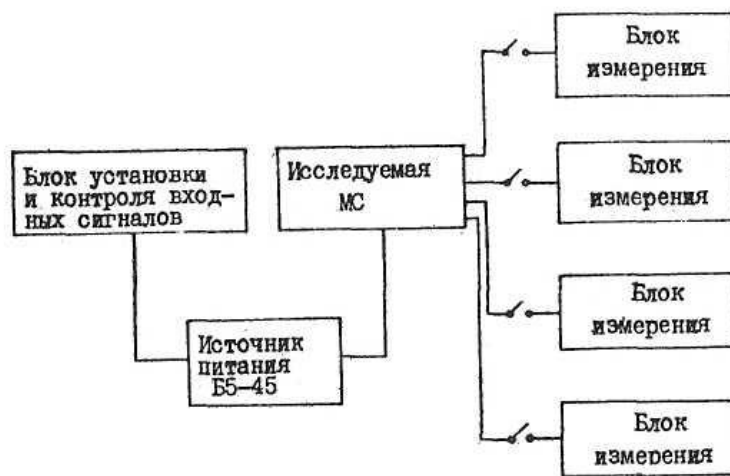
В результаті на вихідній шині дешифратора напруга логічного нуля може перевищити гранично допустиме значення ($U^0_{вих} = 0,4 \text{ В}$). При вимірюванні статичного параметра - напруги виходу логічної одиниці $U^1_{вих}$ - при зменшенні на

О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, Р.А.Багаєв, А.О.Ніконова Діагностика, контроль та випробування н/п приладів
 пруги живлення, як видно з мал. 4.2, відбувається зменшення струму колектора транзистора ТЗ, підключеного через резистор R3 до джерела живлення. В результаті зменшиться струм емітера транзистора ТЗ, що є вихідним струмом і приведе до зменшення напруги виходу логічної одиниці до значення нижче гранично допустимого ($U_{вих}^1 \gg 2,4 \text{ В}$).

При вимірюванні струму КЗ і струму споживання напругу живлення слід вибирати, максимальною ($E_{дж} + 5,5 \text{ В}$).

При збільшенні напруги живлення відповідно збільшаться струм КЗ і струм споживання, оскільки значення цих струмів обмежується тільки опором резисторів (R2,R3,R4).

Отже, при вимірюванні вихідних напруг логічного нуля і одиниці повинно бути: напруга живлення $E_{дж} = 4,5 \text{ В}$, а при вимірюванні струму КЗ і струму споживання $E_{дж} = 5,5 \text{ В}$.



Малюнок 8.8- Структурна схема експериментальної установки для вимірювання статичних параметрів дешифраторів

Опис послідовності та порядок проведення лабораторної роботи

Клеми живлення лабораторного стенду підключити до джерела живлення (Б5-45). Встановити на джерелі напругу 4,5 В і струм 12 мА (такі струм і напруга відповідають режиму стабілізації по напрузі джерела). Включити джерело.

Резистором R1 за вольтметром V1 встановити вхідну напругу логічного нуля $U^0_{вих} = 0,3$ В. Резистором за вольтметром V2 встановити вхідну напругу логічної одиниці $U^1_{вих} = 2,6$ В

Перемикачами П1...П4 подати на вхідні шини дешифратора відповідно до таблиці істинності рівні логічного нуля та одиниці. Перемикачем П5 включити блок вимірювання $U^0_{вих}$, що складається з міліамперметра А1, вольтметра V3 та змінного резистора R3 .

Вихід дешифратора ($\Gamma_{н1}... \Gamma_{н10}$), який має сигнал, що відповідає рівню логічного нуля (визначається за таблицею істинності) підключить однополюсною вилкою до блоку вимірювання.

Резистором R3 за міліамперметром А1 встановити номінальний струм схеми $I_H = 1,8$ мА.

За вольтметром V3 визначити $U^0_{вих}$. Виключити блок.

Перемикачем П6 включити блок вимірювання $U^1_{вих}$, який складається з мікроамперметра А2, вольтметра V4 та змінного опору R4.

Вихід дешифратора ($\Gamma_{н1}... \Gamma_{н10}$), який має сигнал, що відповідає рівню логічної одиниці (визначається за таблицею істинності) підключить однополюсною вилкою до блоку вимірювання.

Резистором R4 за мікроамперметром А2 встановити номінальний струм схеми $I_H = 120$ мкА.

Вольтметром V4 визначити $U^1_{вих}$. Виключити блок.

Для вимірювання $I_{кз}$ та $I_{сп}$ встановити на джерелі напругу 5,5 В і струм 16 мА.

Перемикачем П7 включити блок вимірювання $I_{кз}$, що складається з міліамперметра А3.

Вихід дешифратора ($\Gamma_{н1}... \Gamma_{н10}$), який має сигнал, що відповідає рівню логічної одиниці (визначається за таблицею істинності) підключить однополюсною вилкою до блоку вимірювання.

Міліамперметром А3 визначити $I_{кз}$. Виключити блок.

Для вимірювання струму споживання $I_{сп}$ перемикачами П1...П4 подати на вхідні шини дешифратора сигнал, що відповідає рівню логічної одиниці.

Перемикачем П8 включити блок вимірювання $I_{сп}$, що складається з міліамперметра А4.

За міліамперметром А4 визначити $I_{сп}$. Виключити блок.

Зміст звіту

Короткі теоретичні відомості. Замалювати схеми вимірювання параметрів. Записати в таблицю результати вимірювань: напруги логічного нуля, напруги логічної одиниці, струму КЗ, струму споживання. Проаналізувати результати вимірювань і зробити висновки.

Контрольні питання

1. Способи побудови дешифраторів і їх логічне проектування.
2. Функціональне призначення дешифраторів.
3. Методи вимірювання статичних параметрів дешифраторів.
4. Основні параметри дешифраторів серії К134 ИД6

Література

1. Степаненко І.П. Основи мікроелектроніки. – М.: Рад. радіо, 1980 – 424 с.
2. Гершунський Б.С. Основи електроніки та мікроелектроніки.-К.: Вища. шк., 1987.-422с.
3. Докучаєв М.И., Козирєв И.Я., Онопко Д.И. Випробування и вимірювання інтегральних мікросхем.- М.: Вид. МИЭТ, 1978. 260 с
4. Курносів А.И., Юдіин В.В. Технологія виробництва н/п приладів и ІМС.- М: Вышш.шк, 1986.
5. Чистяков Ю.Д., Райнова Ю.П. Фізико-хімічні основи технології мікроелектроніки. – М.: Металургія, 1979.
6. Довідник по радіоелектронним пристроям / Під ред|. Д.Г.Лінде.-М.: Енергія, 1978, с. 400-401, 403-405.
7. Гусєв В.В і ін. Основи імпульсної і цифрової техніки. -М.: Рад. радіо, 1975, с. 133-138, 377-379. .
8. Вавілов М.С. Мікроелектроніка в цифровій техніці. - М.: Знання, 1977. с. 23-26.
9. Алексєєнко А.Г. Основи мікросхемотехніки. -М.: Рад. радіо, 1977, с. 58-65.
10. Довідник по інтегральних мікросхемах / Під ред. Б.В.Тарарина. - М.: Енергія, 1977.
11. Вимірювання і контроль в мікроелектроніці / Під ред. А.А.Сазонова. - М.: Висш. шк., 1984. - С. 85-87.
12. Батавін В. В. Контроль параметрів напівпровідникових матеріалів і епітаксійних шарів. - М.: Рад. радіо ,1998