1. Міністерство освіти і науки України
2. СХІДНОУКРАЇНСЬКий НАЦІОНАЛЬНий УНІВЕРСИТЕТ
3. імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
4. Факультет \_\_\_\_\_\_\_\_інформаційних технологій та електроніки\_\_\_\_\_\_\_
5. (повне найменування факультету)
6. Кафедра \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_електронних апаратів \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_
7. (повна назва кафедри)
8. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
9. до дипломного проекту (роботи)
10. освітньо-кваліфікаційного рівня \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_магістр \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_
11. (бакалавр, спеціаліст, магістр)
12. спеціальності \_\_\_\_172 Телекомунікації та радіотехніка \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_
13. (шифр і назва спеціальності)
14. на тему

**Дослідження та розробка резонаторів на поверхневих акустичних хвилях**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Виконав: студент групи РЕА-18дм | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | Тищенко В. Д. |
| Керівник | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | к.т.н., доц.  О. М. Іванов |
| Завідувач кафедри | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | к.т.н., проф.  Паеранд Ю. Е.  д.т.н., проф. |
| Рецензент | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | В. М. Смолій |

1. Сєвєродонецьк – 2020

**СХІДНОУКРАІНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Інститут, факультет, відділення **інформаційних технологій та електроніки**

Кафедра **електронних апаратів\_\_\_**

Освітньо-кваліфікаційний рівень \_ **магістр** \_

Напрям підготовки **172 Телекомунікації та радіотехніка**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ЕА

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_2019 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

**Тищенко Вадим Дмитрович**

1. **Тема проекту: Дослідження та розробка резонаторів на поверхневих акустичних хвилях**
2. **Керівник проекту:** к.т.н., доцент О.М. Іванов

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.09.2019 р. № 120/15.14\_\_\_

1. **Строк подання студентом проекту \_\_**20. 12. 2019 р.**\_**
2. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Вступ
   2. Класифікація акустоелектронних приладів
   3. Фізичні принципи функціонування акустоелектронних приладів
   4. Проектування і розрахунок одновхідних резонаторів на ПАВ
   5. Проектування і розрахунок двовхідних резонаторів на ПАВ
   6. Технологія виготовлення резонаторів на ПАВ
   7. Охорона праці
3. **Консультанти розділів проекту**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
| Завдання видав | Завдання прийняв |
| Охорона праці | доц. Самойлова Ж.Г |  |  |

6. Дата видачі завдання\_\_\_\_\_\_\_\_1. 10. 2019 року\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Календарний план**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №  з/п | Назва етапів дипломного  Проекту (роботи) | Строк виконання  етапів проекту  (роботи) | Примітка |
| 1 | Вступ | 1.10.19 |  |
| 2 | Класифікація акустоелектронних приладів | 14.10.19 |  |
| 3 | Фізичні принципи функціонування акустоелектронних приладів | 20.10.19 |  |
| 4 | Проектування і розрахунок одновхідних резонаторів на ПАВ | 30.10.19 |  |
| 5 | Проектування і розрахунок двовхідних резонаторів на ПАВ | 12.11.19 |  |
| 6 | Технологія виготовлення резонаторів на ПАВ | 25.11.19 |  |
| 7 | Охорона праці | 01.12.19 |  |
| 8 | Оформлення пояснювальної записки | 10.12.19 |  |

Студент\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Тищенко В.Д.

Керівник проекту\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Іванов\_О.М.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Формат. | Зона. | Поз. | Позначення | | | | Найменування | | Кіл. | | | | Примітка | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | | Текстові документи | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
| А 4 |  | 1 | ДПМ 172.7 ПЗ | | | | Пояснювальна записка | | 1 | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | | Графічні документи | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
| А4 |  | 2 | ДПМ 172.7 ГЧ | | | | Графічна частина | | 20 | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  |  |  |  | | | |  | |  | | | |  | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | |  |  | ДПМ 172.7. ВП | | | | | | | | |
|  |  |  | |  |  |
| ЗМН | лист | № докум. | | підпис | Дата |
| Розробив | | Тищенко В.Д. | |  |  | Дослідження та розробка резонаторів на поверхневих акустичних хвилях | | Літ. | | | | лист | | листів |
| Перевірив | | Іванов | |  |  |  | |  |  | 3 | | 79 |
| Рецензент | | Смолій | |  |  | СНУ ім. В.Даля  гр. РЕА-18дм | | | | | | |
| Н. онтр | |  | |  |  |
| Затвердив | | Паеранд | |  |  |

**РЕФЕРАТ**

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

ДПМ 172.7 ВП

Разраб.

Тищенко В.Д.

Провер.

Реценз.

Н. Контр.

Утверд.

Паеранд

Лит.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

5

ДПМ 172.7 ВП

Разраб.

Тищенко В.Д.

Провер.

**Іванов**

Реценз.

**Смолій**

Н. Контр.

Утверд.

Паеранд

Дослідження та розробка резонаторів на поверхневих акустичних хвилях

Лит.

Листів

78

СНУ ім.. В.Даля

гр. РЕА-18дм

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить:

Сторінок – 79, рисунків – 21, таблиць – 5, джерел літератури – 14 .

**Об’єкт дослідження** – Акустоелектронні резонатори. Принципи дії, основні характеристики і параметри.

**Мета роботи –**  Проектування і розрахунок одновходових і двухвходових резонаторів на ПАХ. Розробка технологи виготовлення резонаторів на поверхневих акустичних хвилях.

У даній роботі проведено дослідження сучасного стану і перспективи розвитку, класифікацію і принципи дії різних акустоелектронних пристроїв. Досліджені фізичні принципи функціонування резонаторів. Проведено проектування і розрахунок одновходових і двухвходових резонаторів на ПАХ. Запропонована технологія виготовлення пристроїв на поверхневих акустичних хвилях.

**АКУСТОЕЛЕКТРОНІКА, ПОВЕРХНЕВО-АКУСТИЧНІ ХВИЛІ, РЕЗОНАТОРИ, АКУСТОЕЛЕКТРОННА ВЗАЄМОДІЯ, ЗУСТРІЧНО-ШТИРЬОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ**

**ЗМІСТ**

Список умовних скорочень 8

Вступ 9

1. Класифікація акустоелектронних пристроїв....... ..... ..... ..... ..... ...... ..... ......12

2. Фізичні принципи роботи акустоелектронних пристроїв.. ..... ..... ..............15

2.1. Види акустичних хвиль в твердому тілі.. ..... ..... ..... ..... ..... ..... .... .......... 15

2.2. Методи збудження і реєстрації ПАХ........ ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .........17

3. Резонатори....................... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..........20

3.1. Основні поняття і визначення............. ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .........20

3.2. Кварцеві резонатори................ ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ................21

3.3. Резонатори на ПАХ........... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ......................27

3.4. Еквівалентна схема і характеристики одновходового резонатора............31

3.5. Еквівалентна схема і характеристики двовходового резонатора..... ……32

4. Розробка одновходових резонаторів на ПАХ... ..... ..... ..... ..... ..... ..............35

5. Розробка двовходових резонаторів на ПАХ...... ..... ..... ..... ..... ..... .............42

6. Технологія виготовлення резонаторів на ПАХ............. ..... .........................48

7. Охорона праці ................. ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..............64

7.1.Основи техніки безпеки на виробництві. ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ........64

7.2. Розрахунок мікроклімату виробничих приміщень....... ..... ..... ..... ..... ... 65

7.3.Розрахунок захисного заземлення технологічного………………………69

електроустаткування

7.4. Розрахунок вентиляції виробничого приміщення......... ..... ..... ..... ..... ...72

Висновки............... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... .................77

Список літератури............... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..............78

**СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

АЕП - акустоелектронні пристрої;

УЗ - ультразвукова хвиля;

ОАХ - об'ємні акустичні хвилі;

ПАХ - поверхневі акустичні хвилі;

АЕВ - акустоелектронна взаємодія;

ВЧ - високочастотний;

ЗШП - зустрічно - штирьовий перетворювач;

АЧХ - амплітудно-частотна характеристика;

ФЧХ - фазо-частотна характеристика;

ЛЧМ - лінійно – частотно-модульований сигнал;

ЛЗ - лінія затримки;

ДАЛЗ - дисперсійна акустична лінія затримки;

ТКЛР - температурний коефіцієнт лінійного розширення.

**Вступ**

Акустоелектроніка - це область електроніки, присвячена теорії і практиці створення пристроїв, ґрунтованих на акустоелектронній взаємодії і служить для перетворення і обробки сигналів. На основі акустоелектронної взаємодії можуть бути створені пасивні пристрої, наприклад лінії затримки, резонатори, фільтри, і активні - підсилювачі, генератори, модулятори та ін.

У акустоелектроніці в основному використовуються об'ємні і поверхневі акустичні хвилі(ПАХ). Пристрої акустоелектроніки порівняно прості для виготовлення і у багатьох випадках можуть бути виконані методами, вживаними в мікроелектроніці, зокрема методами планарної технології. Сучасні акустоелектронні пристрої - незамінні елементи апаратури практично усіх інформаційних, комунікаційних систем.

Акустоелектронні прилади витісняють пристрої на напівпровідникових і інших елементах. Вони мініатюрніші, дешевші, надійніші, споживають менше енергії при більшому ККД. Для їх виготовлення не потрібна принципово нова технологія - цілком підходить та, що призначена для інтегральних мікросхем. Всякий акустоелектронний пристрій складається з простих елементів - електроакустичних перетворювачів і звукопроводів. Крім того, застосовуються відбивачі, резонатори, багатополоскові електродні структури, акустичні хвилеводи, концентратори енергії і фокусуючі пристрої, а також активні, нелінійні і такі, що управляють елементи. Для збудження і прийому об'ємних хвиль в акустоелектроніці використовуються п'єзоелектричні перетворювачі: п'єзоелектричні пластинки(на частотах до 100 Мгц), п’езонапівпровідникові перетворювачі із замикаючим або дифузійним шаром(у діапазоні частот 50-300 Мгц), плівкові перетворювачі(на частотах вище 100 Мгц). Гіперзвукові хвилі часто збуджуються з поверхні п'єзоелектричного звукопровода, торець якого для цих цілей поміщають в проміжок СВЧ-резонатора або уповільнюючу СВЧ-систему. Для збудження і прийому ПАХ використовуються головним чином зустрічно-штирьові перетворювачі, що є періодичною структурою металевих електродів, нанесених на п'єзоелектричний кристал. На основі перерахованих елементів створюються різні акустоелектронні пристрої. Першими приладами акустоелектроніки були п'єзоелектричні резонатори, призначені для стабілізації частоти генераторів електричних коливань. Резонатори широко використовуються як частотозадаючі елементи у ВЧ- і СВЧ-генераторах.

Основними перевагами резонаторів на ПАХ є:

* кварцева стабільність частоти в часі і в діапазоні температур;
* низький рівень фазових шумів, що забезпечує виключно високу чистоту спектру генерованого сигналу;
* висока добротність;
* відносно високий рівень допустимої розсіюваної потужності;
* висока стійкість до зовнішніх механічних дій;
* мініатюрність;
* висока відтворюваність еквівалентних параметрів;
* різноманітність типів і конструкцій;
* низька ціна.

Акустоелектронні резонатори застосовують в апаратурі радіомовлення і телебачення, стільникових телефонах, в облаштуваннях космічного зв'язку і радіолокації, в акустичних датчиках, сенсорах та ін. Існує велика кількість різних видів і конструкцій резонаторів. Проте не в усіх випадках вони задовольняють вимогам розробників радіоелектронної апаратури. У цій дипломній роботі проведені дослідження, проектування і розрахунок резонаторів на ПАХ.

**1. КЛАСИФІКАЦІЯ АКУСТОЕЛЕКТРОННИХ ПРОСТРОЇВ**

Узагальнена функціональна схема акустоелектронного пристрою (АЕП) приведена на рис. 1.1. Вхідний електричний сигнал за допомогою вхідного електроакустичного перетворювача перетвориться в акустичну хвилю, що поширюється в підкладці пристрою(акустичному каналі). Вихідний акустоелектронний перетворювач перетворить акустичну хвилю у вихідний електричний сигнал. Обробка інформації може здійснюватися як в акустичному каналі, так і в процесі взаємного перетворення електричних і акустичних сигналів. Особливістю АЕП служить низька, в порівнянні з електромагнітними хвилями, швидкість поширення акустичних хвиль. Носіями інформації в АЕП можуть бути різні типи акустичних хвиль - об'ємні хвилі, поверхневі хвилі, хвилі в шарах матеріалів.

|  |
| --- |
| http://jre.cplire.ru/jre/jun14/2/text.files/image001.png |

Рис.1.1. Узагальнена функціональна схема акустоелектронного пристрою

На сьогодні розроблено і широко використовується безліч АЕП [1-3]. У основу класифікації АЕП можуть бути покладені різні ознаки, наприклад, АЕП розрізняються по функціональному призначенню, функціональній складності, адаптивності, рівню і мірі інтеграції, типу використовуваних акустичних хвиль, конструктивно-топологічному виконанню (рис.1.2). По функціональному призначенню розрізняють облаштування генерації і формування сигналів, обробки сигналів, ідентифікації об'єктів, облаштування виміру і сигнальні пристрої. По функціональній складності реалізована лінійка АЕП від простих елементів(суматорів, фазообертачів і т.д) [4] до акустоелектронних процесорів [5], що виконують різні операції обробки сигналів. За типом вживаних акустичних хвиль найбільше поширення мають пристрої на поверхневих, приповерхневих і об'ємних акустичних хвилях (ОАХ) і менше поширення - пристрої, що використовують хвилі в шарах матеріалів.



Рис.1.2. Класифікація акустоелектронних пристроїв

Принципи побудови, опису і функціонування АЕП схожі, існуючі відмінності пов'язані з особливостями збудження, прийому і поширення конкретного типу акустичних хвиль. У пристроях на ПАХ тенденція підвищення робочих частот пов'язана із спостережуваним зміщенням в застосуванні від поверхневих хвиль релеєвського типу до витікаючих і псевдоповерхневих хвиль, що мають більш високі швидкості поширення і ряд інших переваг [6]. Існують пристрої, що одночасно використовують декілька акустичних мод, що поширюються в одній підкладці і що реалізовують декілька функціональних операцій.

Основними перевагами пристроїв на ПАХ служать;

-         надзвичайно малі габарити і вага;

-         виняткові електричні характеристики у поєднанні з високою повторюваністю характеристик;

-         висока надійність;

-         низька вартість в серійному виробництві;

-         широкий діапазон робочих частот від одиниць Мгц до 2-5 ГГц;

-         відсутність необхідності налаштування і регулювання;

-         широкий асортимент пристроїв, що масово виготовляються.

Спеціальні конструктивно-технологічні рішення і застосування високошвидкісних матеріалів підкладок дозволяють збільшити робочі частоти пристроїв на ПАХ до 7-10 ГГц.

Пристрій на ПАХ є п’езоактивною підкладкою з нанесеною на ній елементами : металевими електродами, канавками, плівками.

Одна з найважливіших особливостей, що забезпечують масове впровадження і перспективність виробів на ПАХ, - потенційно великі можливості по мініатюризації і функціональній інтеграції [6]. Компоненти на ПАХ дозволяють здійснювати інтеграцію на різних рівнях: рівні кристала(підкладки), топологічної структури, корпусу, рівні готових компонентів і модулів. Мініатюризація здійснюється в процесі виготовлення і упаковки компонентів.

**2. ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ АКУСТОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ**

**2.1. Види акустичних хвиль в твердому тілі**

Основними видами акустичних хвиль в ізотропному твердому тілі є: подовжні об'ємні, поперечні об'ємні і поверхневі хвилі. У подовжніх хвилях частки зміщуються у напрямі поширення, в поперечних - в напрямі, перпендикулярному напряму поширення хвилі. Разом з об'ємними пружними хвилями існує особливий вид акустичних хвиль, що називаються поверхневими, які поширюються уздовж плоскої вільної межі ізотропного твердого тіла, залишаючись локалізованими поблизу цієї межі. Поверхневі акустичні хвилі(ЛІГШИ), це пружні хвилі, що поширюються уздовж вільної поверхні твердого тіла або уздовж межі твердого тіла з іншими середовищами і затухаючі при видаленні від меж. ПАХ бувають двох типів: з вертикальною поляризацією, у яких вектор коливального зміщення часток середовища розташований в площині, перпендикулярній до межі(вертикальна площина), і з горизонтальною поляризацією, у яких вектор зміщення часток середовища паралельний межі і перпендикулярний напряму поширення хвилі. Простим і таким, що найчастіше зустрічається на практиці ПАХ з вертикальною поляризацією являються Релея хвилі, що поширюються уподовж межі твердого тіла з вакуумом або досить розрядженим газовим середовищем. Фазова швидкість хвиль Релея cR=0,9 ct ;;де ct - фазова швидкість плоскої поперечної хвилі. У простому випадку ізотропного твердого тіла ця хвиля містить подовжню і поперечну компоненти, зрушені по фазі на п/2 і що лежать в площині, визначуваній хвилевим вектором і нормаллю до поверхні. Таким чином, в загальному випадку релеєвська хвиля є еліптично поляризованою. Товщина шару речовини, приведеної в рух хвилею Релея складає величину порядку довжини хвилі. Уздовж межі двох твердих середовищ, щільність і модулі яких не сильно розрізняються, щільність і модулі пружності яких не сильно розрізняються, може поширюватися ПАХ Стоунлі, що складається як би з двох релеєвских хвиль(по одній в кожному середовищі). Фазова швидкість хвиль Стоунли менше сl і ct в обох граничних середовищах. Окрім ПАХ релеєвского типу, існую хвилі з горизонтальною поляризацією(хвилі Лява), які можуть поширяться на межі твердого напівпростору з твердим шаром. Це хвилі поперечні. Їх фазова швидкість поміщена в межі між фазовими швидкостями поперечних хвиль в шарі і напівпросторі. Хвилі Лява поширюються з дисперсією; при малих товщах шару їх фазова швидкість прагнути до швидкості ct в напівпросторі.

На межах кристалів можуть існувати усі ті ж типи ПАХ, що і в ізотропних твердих тілах. Тільки рух часток в хвилях ускладнюється. Так, на деяких площинах кристалів, що мають п'єзоелектричні властивості. Хвилі Лява подібно до хвиль Релея можуть існувати на вільній поверхні(без твердого шару); це т. н. електрозвукові хвилі. Разом із звичайними хвилями Релея, в деяких зразках кристалів уздовж вільної межі може поширюватися затухаюча хвиля, випромінююча енергію в глиб кристала(псевдорелеєвська хвиля). Нарешті, в п’езонапівпровідниковому кристалі можлива дія ПАХ з електронами провідності, що призводить до посилення цих хвиль.

У нескінченній пластині існують два типи нормальних хвиль: хвилі Лемба і сдвигові нормальні хвилі. Плоска хвиля Лемба характеризується двома складовими зміщень, одна з яких паралельна напряму поширення хвилі, інша перпендикулярна граням пластини. За характером розподіли зміщень відносно середньої площини пластини хвилі Лемба діляться на симетричні і антисиметричні. Окремий випадок симетричної хвилі Лемба - подовжня хвиля в пластині, а антисиметричною - вигиниста хвиля. У плоскій сдвиговій нормальній хвилі зміщення паралельні граням пластини і одночасно перпендикулярні напряму поширення хвилі. Простий вид такої хвилі - нормальна хвиля нульового порядку, в якій зміщення однакові в усіх точках поперечного перерізу пластини.

**2.2. Методи** **збудження і реєстрації ПАХ**

Найбільш ефективний і широко поширений спосіб збудження (прийому) об'ємних акустичних хвиль полягає у використанні п'єзоелектричних шарів (пластин), товщина яких на основній частоті близька до половини довжини акустичної хвилі, з електродами, що знаходяться в акустичному контакті із звукопроводом. У основі цього методу лежить використання для випромінювання акустичних хвиль зворотного п'єзоефекту (деформації пластин під дією електричного поля, прикладеного до електродів), і для прийому прямого п'єзоефекту (виникнення електричного заряду на обкладаннях-електродах деформованої п'єзоелектричної пластини).

Простий і найбільш вживаний нині метод збудження ПАХ розглянемо на прикладі простої лінії затримки на ПАХ. Вона є монокристалом п'єзоелектричного матеріалу(зазвичай ніобат літію - LiNbO3, п'єзокварц - SiO2, германій вісмуту - Bi12GeO20), що використовується як звукопровод з нанесеними на його поверхню так званими зустрічно-штирьовими перетворювачами(ЗШП) (рисунок 2.1) [3].

Вхідний ЗШП підключається до джерела електричного сигналу(генератору) і створює на поверхні п'єзоелектричного матеріалу (звукопровода) знакозмінне електричне поле. За рахунок зворотного п'єзоефекту під дією електричного поля в звукопроводе виникають пружні деформації, що поширюються в обидві сторони від перетворювача.



Рис. 2.1. Конструкція ЛЗ на ПАХ, де 1-вхідний ВШП; 2-вихідний ВШП; 3-п'єзоелектричний звукопровод; 4-генератор електричних сигналів; 5-нагрузка.

В даному випадку (рисунок 2.2) розглядається ЛЗ з одним вихідним перетворювачем, що взаємодіє лише з хвилею, що випромінюється в одному напрямі. Завдяки вже прямому п'єзоефекту пружні деформації, що поширюються уздовж поверхні звукопровода, супроводжуються виникненням електричного поля, що сприймається електричний сигнал в навантаженні ЛЗ. Ефективність електромеханічного перетворювача визначається коефіцієнтом електромеханічного зв'язку, який значною мірою залежить від параметрів(виду) матеріалу звукопровода і напряму поширення ПАХ (орієнтації звукопровода відносно кристалографічних осей п’езоматеріалу). Найбільшим к2 володіє ніобат літію, проте у нього дуже високий ТКЗ = (77÷96)⋅10-6к-1 залежно від типу зрізу. Кварц SТ -зрізу (yz) володіє нульовим ТКЗ, але у нього майже на порядок менше к2, чим у ніобату літію. Тому залежно від того які вимоги висуваються на перший план (малі втрати або стабільність часу затримки) використовують той або інший матеріал.

Період ЗШП (відстань між однойменними електродами) дорівнює довжині ПАХ - λ. А відстань між сусідніми (різнойменними) електродами - λ/2.

Як відомо υ = λƒ

Звідси витікає, що період ЗШП В сукупності із швидкістю ПАХ у звукопроводі визначає частоту акустичного синхронізму, тобто частоту на якій найефективніше перетвориться електричний сигнал в ПАХ і навпаки, оскільки, ЗШП ефективно працює тільки у тому випадку, коли довжина ПАХ(а довжина хвилі, як вже було сказано, визначає і частоту) дорівнює періоду ЗШП. Причому, чим більше у ЗШП пар електродів(штирів) тим більше вузькосмуговою буде ЛЗ(чи фільтр) на ПАХ. Відносна ширина смуги пропускання ПАХ - пристрої пов'язана з кількістю пар електродів таким чином:



де N - кількість пар електродів; а - коефіцієнт, що враховує звуження смуги пропускання при перемножуванні АЧХ вхідного і вихідного перетворювача а = 0,6÷0,8.

Час затримки сигналів в ЛЗ визначається завдовжки шляхи L, необхідного ПАХ між вхідним і вихідним перетворювачами, і швидкістю поширення ПАХ υ.

t3 =

Максимальне значення перекриття електродів ЗШП називається апертурою перетворювача W. Найбільш оптимальним значення W являється W = (100÷200)λ, залежно від ширини звукопроводу.

**3. РЕЗОНАТОРИ**

**3.1. Основні поняття і визначення**

Коливальна система, здатна здійснювати коливання максимальною амплітуди при дії зовнішньої сили певної частоти і форми називається резонатором. У більшості випадків резонатори відгукуються на гармонійні(синусоїдальні) дії, частота яких близька до частоти їх особистих коливань. Під дією несинусоїдальних складних дій резонатор здійснює коливання складного виду, проте при цьому в спектрі коливань резонатора. особливо виділяються коливання тих частот, які найбільш близьких частотам його власних коливань. Прикладами резонаторів можуть служити коливальний контур, об'ємний резонатор, оптичний резонатор, відкритий резонатор, резонатор акустичний.

Резонатор - пристрій або природний об'єкт, в якому відбувається накопичення енергії коливань, що поставляється ззовні. Як правило, резонатори відносяться до лінійних колебальних систем і характеризуються т. н. резонансними частотами. При наближенні частоти зовнішньої дії до резонансної частоти в резонаторі спостерігається досить різке збільшення амплітуди вимушених коливань. Це явище резонансу*.* Після вимкнення зовнішнього джерела коливання усередині резонатора який той час зберігаються. Вони здійснюються на частотах, близьких до резонансних, і є вже особисті чи вільні коливання резонатора. Якщо нехтувати дисипацією(у т. ч. втратами на випромінювання), то резонатор веде себе як ідеальна консервативна коливальна система, що має дискретний спектр власних коливань. За наявності втрат чисто гармонійні особисті коливання неможливі, що відповідають їм резонансні криві резонатора розширюються.

Резонатори розрізняються передусім фізичним характером процесів, що відбуваються в них. Так, існують механічні, акустичні, електромагнітні та ін. резонатори. Наприклад, одновимірним механічним резонатором є струна із закріпленими кінцями, двовимірним пружна мембрана.

Простий резонатор для електромагнітних коливань, це коливальний контур, що складається з індуктивності L, ємності С, опори *R*;

його власна частота

4036-22.jpg  , а добротність 4036-23.jpg.

Розміри коливального контуру *l* мають бути малі в порівнянні з затримки хвилі. Інакше суттєві будуть втрати на випромінювання електромагнітних хвиль, що веде до зменшення *Q.* Для зниження таких втрат використовують екрановані резонатори у вигляді замкнутих об'ємів з стінками, що добре проводять. Це т. н. об'ємні резонатори*,* або ендовибратори (на відмінність від екзовибраторів, поля яких зосереджені зовні формуючих поверхонь). Об'ємні резонатори колебальні системи з розподіленими параметрами. Їх форма може бути довільною, але для простої

екранованій порожнині(сферичною, циліндричною і т. п.) нижня частота власних коливань(мод) завжди обернено пропорційна часу пробіжки електромагнітної хвилі між стінками 4036-25.jpg. Об'ємних резонаторів служать в техніці НВЧ. У міліметровому, субмілліметровому і оптичному діапазонах найчастіше використовують відкриті резонатори, розмір яких *4036-26.jpg*. Їх резонансні моди формуються в результаті багатократного відображення квазіоптичних пучків електромагнітних хвиль від двох або декількох дзеркальних поверхонь ( Оптичний резонатор, Інтерферометр Фабри - Перо).

**3.2. Кварцеві резонатори**

Першими приладами акустоелектроніки були пристрої на об'ємних акустичних хвилях - п'єзоелектричні резонатори, призначені для стабілізації частоти генераторів електричних коливань. Основу такого резонатора складає п'єзоелектричний вібратор - спеціальним чином орієнтована кристалічна (зазвичай кварцева) пластина з розташованими на ній електродами, закріплена в утримувачі і поміщена в захисний корпус (рис. 3.1, а). Товщина пластини, зазвичай близька до непарного числа півхвиль, визначає робочу частоту резонатора, а орієнтація відповідає кристалічному зрізу, в якому в заданому температурному інтервалі частота власне механічних (пружних) коливань слабо залежить від температури. Електричне поле, що створюється електродами, дозволяє збудити в пластині необхідний тип власних коливань (дивися П'єзоелектрику). Кварцеві резонатори характеризуються високою добротністю (105-107 на частотах до 10 Мгц) і температурною стабільністю (до 10-10 і вище за умови термостатування). Із зростанням частоти коливань довжина акустичної хвилі(а, отже, і товщина п'єзоелектричної пластини) зменшується і виникають технологічні проблеми, пов'язані з механічною міцністю пристроїв з відтворними параметрами. Вирішенням проблеми було створення СВЧ-резонаторів на основі п'єзоелектричних плівок ZnO; чи AlN завтовшки 0,2-2 мкм. Найбільшу механічну міцність мають пристрої (рис. 3.1, б), в яких резонатор - п'єзоелектрична плівка з плівковими металевими електродами, - наноситься поверх багатошарової структури шарів, що чергуються, з великою різницею акустичного імпедансу (наприклад, вольфраму і кварцу), що мають товщину, рівну чверті довжини хвилі, на досить товсту і механічно міцну підкладку (кремній, скло та ін.). Така багатошарова структура ефективно відбиває акустичні хвилі і акустично ізолює тонкоплівковий резонатор від підкладки. На основі резонаторів цього типу, працюючих в діапазоні частот від 1 до 10 ГГц і більше, створені електрично міцні фільтри для телекомунікаційних СВЧ-пристроїв [4].

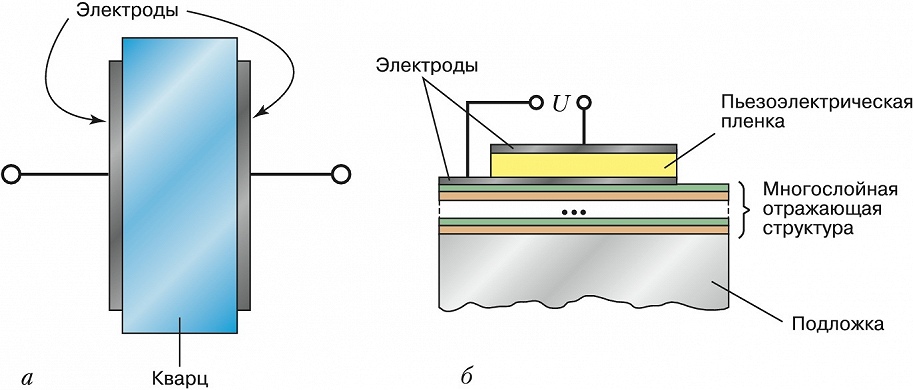


Рис. 3.1. Кварцевий резонатор(а), плівковий резонатор(б).

Сучасна цифрова техніка вимагає високої точності, тому зовсім недивно, що практично будь-який цифровий пристрій, яке б не попалося сьогодні на очі обивателеві, містить усередині кварцевий резонатор. Кварцеві резонатори на різні частоти потрібні в якості надійних і стабільних джерел гармонійних коливань, щоб цифровий мікроконтроллер міг би спертися на еталонну частоту, і оперувати з нею надалі, в процесі роботи цифрового пристрою. Таким чином, кварцевий резонатор — це надійна заміна коливальному LC— контуру. Якщо розглянути простий коливальний контур, що складається з конденсатора і котушки індуктивності, то швидко з'ясується, що добротність такого контура в схемі не перевищить 300, до того ж місткість конденсатора плаватиме залежно від температури довкілля, те ж саме станеться і з індуктивністю. Не дарма є у конденсаторів і котушок такі параметри як ТКЕ — температурний коефіцієнт місткості і ТКІ — температурний коефіцієнт індуктивності, що показують, наскільки змінюються головні параметри цих компонентів зі зміною їх температури.

На відміну від коливальних контурів, резонатори на базі кварцу мають недосяжну для коливальних контурів добротність, яка вимірюється значеннями від 10000 до 10000000, причому про температурну стабільність кварцевих резонаторів мови не йде, адже частота залишається постійної при будь-якому значенні температури, як правило з діапазону від - 40 C до +70 C. Так, завдяки високим показникам температурної стабільності і добротності, кварцеві резонатори застосовуються усюди в радіотехніці і цифровій електроніці. Для завдання мікроконтроллеру тактової частоти, йому завжди потрібний генератор тактової частоти, на який він міг би надійно спертися, і генератор цей завжди потрібний високочастотний і при тому високоточний. Тут те і приходить на допомогу кварцевий резонатор. Звичайно, в деяких застосуваннях можна обійтися пьезокерамічними резонаторами з добротністю 1000, і таких резонаторів вистачає для електронних іграшок і побутових радіоприймачів, але для точніших пристроїв потрібний кварц.

У основі роботи кварцевого резонатора — п'єзоелектричний ефект, що виникає на кварцевій пластинці. Кварц є поліморфною модифікацією діоксиду кремнію SiO2, і зустрічається в природі у вигляді кристалів і гальки. У вільному виді в земній корі кварцу близько 12%, крім того у вигляді сумішей у складі інших мінералів також міститься кварц, і загалом в земній корі більше 60% кварцу(масова доля). Для створення резонаторів підходить низькотемпературний кварц, що має яскраво виражені п'єзоелектричні властивості. Хімічно кварц дуже стійкий, і розчинити його можна лише в гідрофторидній кислоті. По твердості кварц перевершує опал, але до алмазу не дотягує. При виготовленні кварцевої пластинки, від кристала кварцу під строго заданим кутом вирізують шматочок. Залежно від кута зрізу отримана кварцева пластинка відрізнятиметься за своїми електромеханічними властивостями. Від типу зрізу залежить багато що: частота, температурна стабільність, стійкість резонансу і відсутність або наявність паразитних резонансних частот. На пластинку потім наносять з обох боків по шару металу, яким може бути нікель, платина, срібло або золото, після чого жорсткою тяганиною кріплять пластинку в основу корпусу кварцевого резонатора. Останній крок — корпус герметично збирають.

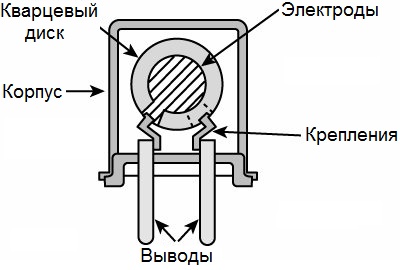


Рис. 3.2. Конструкція кварцевого резонатора.

Так виходить коливальна система, що має власну резонансну частоту, і кварцевий резонатор, отриманий таким чином, має власну резонансну частоту, визначувану електромеханічними параметрами. Тепер якщо прикласти до металевих електродів пластики змінну напругу цієї резонансної частоти, то проявиться явище резонансу, і амплітуда гармонійних коливань пластинки дуже значно зросте. При цьому опір резонатора сильно знизиться, тобто процес аналогічний тому, що відбувається в послідовному коливальному контурі. В силу високої добротності такого «коливального контуру», енергетичні втрати при його збудженні на резонансній частоті нехтує малі.

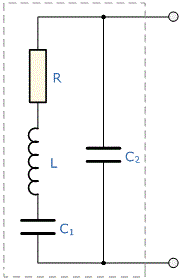


Рис. 3.3. Еквівалентна схема кварцевого резонатора.

На еквівалентній схемі: C2 — статична електроємність пластинок з утримувачами, L — індуктивність, С1 — ємність, R — опір, що відбивають електромеханічні властивості встановленої пластинки кварцу. Якщо прибрати монтажні елементи, залишиться послідовний LC— контур. В процесі монтажу на друковану плату, кварцевий резонатор не можна перегрівати, адже конструкція його досить крихка, і перегрівання може привести до деформації електродів і утримувача, що неодмінно відіб'ється на роботі резонатора в готовому пристрої. Якщо ж розігріти кварц до 5730 C, він зовсім втратить свої п'єзоелектричні властивості, але, на щастя, нагрівати елемент паяльником до такої температури неможливо.

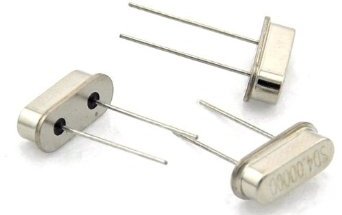


Рис. 3.4. Загальний вигляд кварцевих резонаторів.

Загальний вигляд кварцевого резонатора приведений на рис. 3.4.

**3.3. Резонатори на ПАХ**

Резонатор ПАХ є п’езозвукопровід, на кінцях якого розташовуються дві зазвичай однакові відбиваючі решітки (рис. 3.5). Решітки діють як розподілені відбивачі, між якими утворюється резонансна порожнина. Енергія коливань підводиться і виводиться з резонансної порожнини зустрічно-штирьовими перетворювачами, яких може бути один або два. У першому випадку резонатор називають одновходовим (рис. 3.6), а в другому – двохвходовим (рис. 3.7). Резонатор на ПАХ зазвичай є вузькосмуговим ЗШП, розташований на поверхні звукопровода між відбивачами - періодичними гратами, виконаними у вигляді металевих або діелектричних смужок (іноді канавок, витравлених на поверхні звукопровода); дія ґрунтована на багатократному відображенні ПАХ, збудженою ЗШП, і освіті між відбивачами стоячої хвилі.

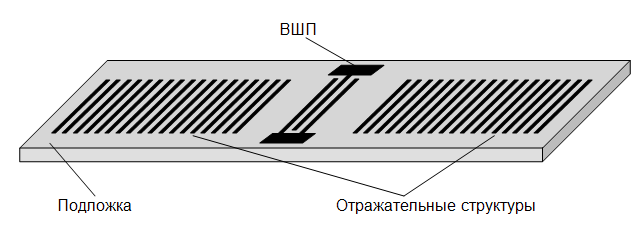


Рис.3.5. Резонатор на ПАХ

На відміну від ЛЗ ЛІГШИ, де виборчі властивості визначаються частотними характеристиками перетворювачів, в резонаторі ПАХ перетворювачі виконують в основному лише роль облаштувань зв'язку з резонансною порожниною. Частотні ж властивості резонатора визначаються частотною залежністю коефіцієнта відображення грат, а також виборчими властивостями найрезонанснішої порожнини. Так, резонансні частоти резонатора ПАХ визначаються з умови рівності цілому числу 2π набіги фази поверхневої акустичної хвилі при цьому поширенні уздовж порожнини резонатора туди і назад:

*http://rateli.ru/books/item/f00/s00/z0000006/pic/000061.jpg* (3.1)

де n - номер моди; l - ефективна довжина порожнини резонатора; T - час затримки хвилі при її поширенні уздовж порожнини резонатора.

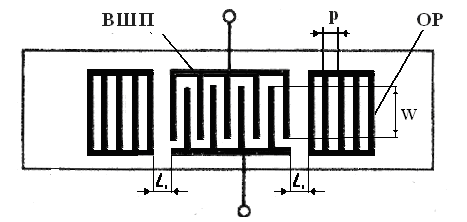


Рис. 3.6. Вид одновходового резонатора

Основу двохвходового резонатора на ПАХ складають двоє відбиваючих грат (рис. 3.7. ) між якими знаходяться два зустрічно-штирьові перетворювачі (ЗШП). Високочастотний електричний сигнал завдяки першому ЗШП-А перетвориться в поверхневі механічні (акустичні) коливання, що поширюються у вигляді поверхневої акустичної хвилі (ЛІГШИ). Решітки, працюючи на частоті акустичного синхронізму відбивають поверхневу акустичну хвилю як резонатори Фабри-Перо, а за рахунок збереження і накопичення енергії механічних коливань в області між решітками на резонансній частоті утворюється високодобротна коливальна система. Другий ЗШП-В перетворить ПАХ в електричний сигнал і це дозволяє створювати високочастотні високодобротні вузькосмугові фільтри.

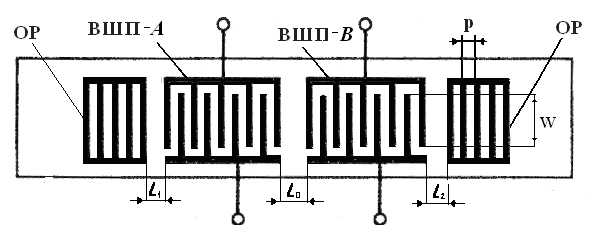


Рис. 3.7. Структура двовходового резонатора

Як і в резонаторах на об'ємних акустичних хвилях, моди непарними номерами n у(3.1) відповідають асиметричним типам(модам) стоячих хвиль, а з парними номерами - симетричним(рис. 3.8).

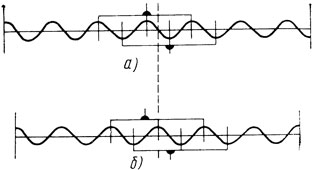
**

Рис. 3.8. Збудження асиметричних і симетричних стоячих хвиль в резонаторі ПАХ : а - асиметрична мода, б - симетрична мода (пунктирною лінією позначений центр резонансної порожнини)

У резонаторах на об'ємних акустичних хвилях металеві електроди наносяться на гранях резонансній порожнині, тому прикладена до цих електродів напруга збуджує тільки несиметричні типи стоячих хвиль. У одновходовому резонаторі ПАХ перетворювач знаходиться усередині порожнини резонатора і залежно від відповідності між розподілом електричних полів перетворювача і типу стоячої хвилі може збуджувати або симетричний, або асиметричний тип стоячої хвилі. Наприклад, якщо центр порожнини резонатора розташовується посередині між двома сусідніми електродами перетворювача, то ефективно збуджуватимуться хвилі асиметричного типу. Якщо ж центр резонансної порожнини співпадає з центром одного з електродів, то збуджуватиметься стояча хвиля симетричного типу.

**3.4. Еквівалентна схема і характеристики одновходового резонатора**

Розглянемо одновходовый резонатор. Очевидно, що його можна представити наступною еквівалентною електричною схемою(рис. 3.9) [4]. На цій схемі зустрічно-штирьовий перетворювач представлений еквівалентною триполюсною електричною схемою, розглянутою. Акустично входи перетворювача через відрізки звукопроводов навантажені на вхідну провідність відбивних решіток Yр1 і Yр2.

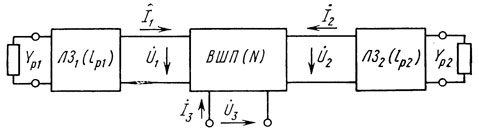
**

Рис. 3.9. Еквівалентна електрична схема одновходового резонатора ПАХ

Звукопровод між перетворювачем і гратами на рис. 3.9 відбивається включенням між Yр1 або Yр2 і перетворювачем електричного аналога звукопровода - відрізок довгої лінії з характеристичним опором z0 і завдовжки lp1 або lр2. Вхідна провідність відбивних решіток Yр1 і Yр2 може бути легко визначена по відомому коефіцієнту відображення

*http://rateli.ru/books/item/f00/s00/z0000006/pic/000065.jpg*

де G = 1/z0; ρ‾рi  - комплексний коефіцієнт відображення i- й відбивних решіток.

Використовуючи еквівалентну схему на рис. 3.9, неважко отримати вираження для вхідної провідності резонатора ПАХ [4]:

*http://rateli.ru/books/item/f00/s00/z0000006/pic/000066.jpg* (3.2)

де Y33, Y11, Y13 і Y12 - елементи матриці Y- параметрів ЗШП; Yii = G0(1 - ρ‾i) / (1 + ρ‾i) - вхідна провідність i- й відбивних грат з урахуванням відрізку звукопровода, що безпосередньо навантажує i- й акустичний вхід ЗШП; ρ‾i = ρ‾piехр(-j2klpi) - комплексний коефіцієнт відображення грат з урахуванням відрізку звукопровода; k = 2π/λ - хвилеве число; i = 1, 2.

**3.5. Еквівалентна схема і характеристики двовходового резонатора**

Перейдемо до розгляду двовходового резонатора ПАХ, зображеного на рис. 3.7. Його еквівалентна схема показана на рис. 3.10. Вона аналогічна еквівалентній схемі ЛЗ ПАХ з тією відмінністю, що зовнішні акустичні входи перетворювачів навантажені не на характеристичну провідність акустичного середовища G0 = 1/z0, а на вхідну провідність відбивних грат Yр1 і Yр2, які підключені до зовнішніх акустичних входів перетворювачів відрізками довгих ліній з характеристичною провідністю G0 і довжинами lp1 і lp2.

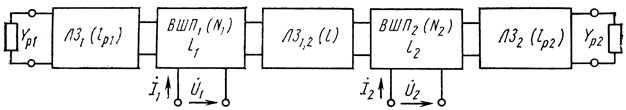
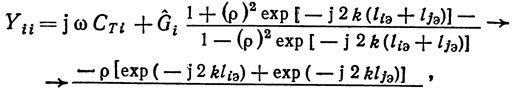
**

Рис. 3.10. Еквівалентна електрична схема двовходового резонатора ПАХ

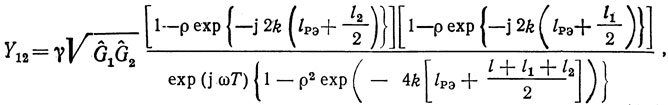
Оскільки, як відзначалося вище, в припущеннях мезонівській моделі ЗШП [3] короткозамкнутий перетворювач не викликає відображень ПАХ і еквівалентний відрізку лінії передачі завдовжки li, для визначення власної провідності резонатора Y11, Y22 отримаємо еквівалентну схему, аналогічну еквівалентній схемі одновходового резонатора. При цьому вирази для власної провідності двовходового резонатора матимуть вигляд(3.3). Припускаючи, як і при отриманні вираження для вхідної провідності одновходового резонатора (3.2), що смуга відображення грат істотно вужчий за смугу пропускання перетворювачів і центральна частота відображення грат ωз дорівнює частоті акустоэлектрического синхронізму ЗШП ωа, для однаково розташованих відносно перетворювачі відбиваючих решіток(ρ¯1 = ρ¯2 = ρ¯, lp1 = lp2 = lp) отримаємо

**(3.3*)*

де

*http://rateli.ru/books/item/f00/s00/z0000006/pic/000094.jpg*

Вираз для взаємної провідності Y12 матриці Y- параметрів двовходового резонатора може бути отримане з аналізу еквівалентної схеми, де досліджувалася ЛЗ ПАХ, і при зроблених вище припущеннях може бути записано у виді

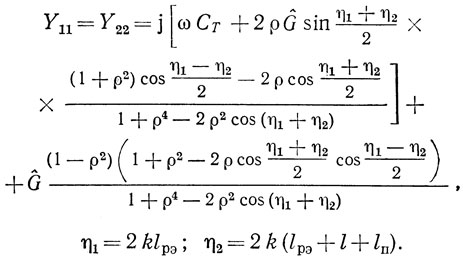
**(3.4)

де

*http://rateli.ru/books/item/f00/s00/z0000006/pic/000096.jpg*

- час затримки ПАХ при поширенні між центрами перетворювачів; li = Niλ - довжина i- го перетворювача.

Проаналізуємо вирази (3.3) і (3.4). Розглянемо для простоти симетричний двовходовий резонатор (l1 = l2 = lп). Власна провідність резонатора буде рівна:

** (3.5)

З (3.5) видно, що частотні залежності власної провідності двовходового резонатора складніші, ніж відповідні частотні залежності одновходового резонатора. Це пояснюється несиметрією того, що утворюється при короткому замиканні одного з ЗШП еквівалентного одновходового резонатора.

Резонатори на ПАХ широко використовуються як частотозадаючих елементи у ВЧ- і СВЧ-генераторах. Акустоелектронні фільтри і резонатори застосовують в апаратурі радіомовлення і телебачення, стільникових телефонах, в облаштуваннях космічного зв'язку і радіолокації, в акустичних датчиках, сенсорах та ін.

**4. РОЗРОБКА ОДНОВХОДОВИХ РЕЗОНАТОРІВ НА ПАВ**

Основне застосування пристроїв на поверхневих акустичних хвилях зокрема резонаторів пов'язано з ринком мобільних комерційних засобів зв'язку, що розвивається. Пристрої на ПАХ повинні відповідати наступним основним вимогам, що пред'являються до цих систем зв'язку, це підвищення робочого діапазону частот, малі розміри і габарити. У високочастотних трактах проміжної частоти для стільникових телефонів і систем телекомунікацій використовуються високовиборчі вузькосмугові фільтри резонаторів, основним елементом яких є одоновходовые структури /резонаторів 1, 2/. Для розрахунку таких структур використовується метод, грунтований на виведенні системи неоднорідних диференціальних рівнянь, що невиправдано ускладнює завдання розрахунку таких пристроїв на поверхневих акустичних хвилях. Використання теорії пов'язаних мод або COM- метод, представлений в роботах /3, 4/, дозволяє істотно спростити завдання розрахунку і визначити провідність структур резонаторів. При аналізі розглядається зустрічно-штирьовий перетворювач з постійним перекриттям електродів і рівномірною структурою. Вид однопортового резонатора представлений на рис. 4.1. У структуру резонатора входять один ЗШП і двоє відбивних решіток(ВР). У загальному випадку диференціальні рівняння, що описують поширення хвилі в електродній структурі набирають вигляду:

, (4.1)

, (4.2)

, (4.3)

у яких параметри рівні  і . У цих виразах COM- змінними є: -поверхностная хвиля в прямому напрямі - поверхнева хвиля у зворотному напрямі - потенціал перетворювача - струм в шинах, що підводять, тоді як COM - параметрами є -амплитуда коефіцієнта перетворення, *Фr-* фаза перетворення - період перетворення, *LT* - довжина перетворення, *Сe* - електростатична місткість на період перетворення, *λ* - довжина хвилі ПАХ, *VR* - фазова швидкість хвилі, *k0* - хвилеве число.

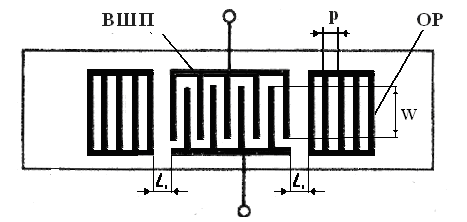


Рис.4.1. Конструкція проектованого одновходового резонатора

Для вирішення COM - рівнянь використовується апарат P- матриць, що встановлює зв'язок акустичних хвиль, що виходять, і струму з акустичними хвилями, що входять і потенціалом перетворювача :

 = , (4.4)

У цьому виразі коефіцієнти *P-* матриць перетворювача обчислюються по формулах

, (4.5)

, (4.6)

, (4.7)

, (4.8)

==. (4.9)

Проміжок між гратами і перетворювачем, рівний *L1*враховується пізніше при розгляді параметрів окремих секцій. Далі визначалися складові *P* -матриці решіток представлені співвідношеннями:

, (4.10)

. (4.11)

У цих виразах параметри ,    визначалися через частоти грат  і перетворювача коефіцієнт відображення *K* і постійну загасання характерну для вибраного матеріалу звукопровода :

, (4.12)

, (4.13)

, (4.14)

,  (4.15)

У цих виразах враховано, що швидкості ПАХ в гратах і перетворювачі різні і складаються з трьох що становлять /що 3/,, що визначають різницю в значеннях  і .У свою чергу коефіцієнт відображення для грат і перетворювача *K* залежить від двох складових, пов'язаних з масс- механічною і електричною навантаженнями. Побудовані графіки залежностей  мають вигляд, представлений на рис. 4.2.

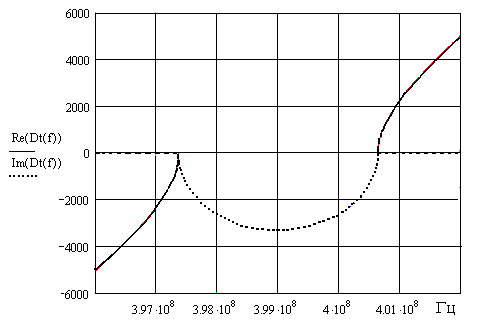


Рис. 4.2. Графіки залежності речової і уявної складових 

Використовуючи *P* - матрицю грат, увесь резонатор ділиться на дві частини на секцію *А,* що включає перетворювач і ліву частину грат і окрему праву частину решіток (рис. 3). Для лівої частини грат у хвилі відбитої від сторони близької до перетворювача коефіцієнт відображення - . Враховуючи проміжок між перетворювачем і гратами *L1* отримуємо, що компонента  рівна: . Тоді для секції *А* спрощена  - матриця набирає вигляду:

=, (4.16)

з компонентами рівними

, (4.17)

, (4.18)

, (4.19)

. (4.20)

Крім того, використовуючи відображення від правих грат, маємо наступне вираження у якому .

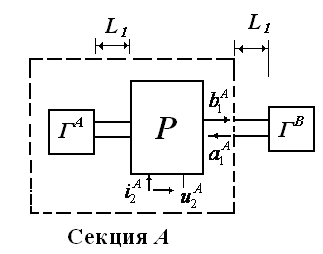


Рис. 4.3. Блок-схема однопортового резонатора

Далі, підставляючи  у формулу(16) і враховуючи, залежність між струмом  і напругою отримуємо, що де *Y* представляє провідність одновходового резонатора. Таким чином, приєднуючи праві грати до секції *А,* що складається з перетворювача і лівих грат з визначеними раніше параметрами знаходяться сумарні компоненти  - матриці, утвореної цим приєднанням, а провідність резонатора визначається вираженням

, (4.21)

При проектуванні резонатора і розрахунку провідності значення коефіцієнта відображення і коефіцієнта перетворення вибиралися відповідно до методики, запропонованої в роботах /3, 4, 6/. До якості матеріалу звукопроводу вибиралися підкладки кварцу ST- зрізу, що характеризуються підвищеною температурною стабільністю. Моделювання резонаторів проводилося з використанням стандартних програм в середовищі MathCAD. Залежність коефіцієнта відображення *K* від товщини металізації електроду і коефіцієнта метализации, пов'язаного з довжиною хвилі, представлялася вираженням /3, 5, 6/

, (4.22)

-коефіцієнт відображення на довжину хвилі - зміна швидкості ПАХ на вільній і металізованій поверхнях- функції Лежандра, в яких s - визначає тип структури(кількість електродів на період)  -коэффициент металізації, *h* - товщина плівки алюмінію, - діелектрична проникність, *b* - числовий коефіцієнт. Потім визначаємо швидкість ПАХ в структурі резонатора

, (4.23)

де ,і  швидкості ПАХ на вільній, металізованій областях і в гратах на частоті синхронізму, відповідно, Коефіцієнти для швидкості ,   пов'язані з параметрами підкладки кварцу ST - зрізу і приведені в роботах /3, 6/, де даються залежності швидкості  від . Розрахунок провідності(рис. 4.4) проводився відповідно до розглянутої вище методики.

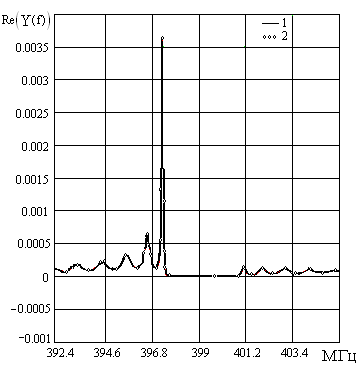


Рис. 4.4. Залежність активної складової провідності резонатора від частоти, 1 - розрахунок і 2 - теорія.

При проектуванні резонатора з метою досягнення його максимальної добротності число електродів ЗШП було рівним *NT*=100, число електродів замкнутих відбивних грат вибиралося рівним NG=300, апертура складала 100, при цьому відстань між крайніми електродами грат і перетворювача рівна . Розрахунок провідності проводився з урахуванням того, що ЗШП вибирався на велику частоту, коли період грат і перетворювача пов'язані співвідношенням: = 0.995. Близькість розрахункових і теоритичних [ 6 ] кривих для активної складової провідності вказує на точність застосування методу пов'язаних хвиль при розрахунку провідності одновходового резонатора на поверхневих акустичних хвилях і можливості моделювання подібних структур резонаторів цим методом при побудові високочастотних фільтрів на пов'язаних поперечних модах коливань.

**5. РОЗРОБКА ДВОВХОДОВИХ РЕЗОНАТОРІВ НА ПАХ**

Останнім часом в області високих частот використовуються двовходові фільтри резонаторів, побудовані з використанням двох зустрічно-штирьових перетворювачів і двох відбивних решіток. Двовходові резонатори на ПАХ дуже успішно зарекомендували себе в якості елементу стабілізації частоти задаючого генератора для різних радіоелектронних пристроїв. Подібні пристрої, завдяки своїм технічним можливостям, знайшли дуже широке застосування в радіотехнічних системах малого радіусу дії /1, 2/. Таких пристроїв розробляються в діапазоні частот 433,05.434,79 Мгц. У Європейських країнах двовходові резонатори на ПАХ з середньою частотою 433,92 Мгц використовується для системи дистанційного контролю дверними замками автомобіля і його охоронної сигналізації. Подібні технічні рішення по портативних передавачах у формі брелока, на основі двовходових резонаторів ПАХ усе більш широко впроваджуються в мобільні системи дистанційного керування дверними замками, гаражними воротами, в системи радіоуправління авіаційними моделями і автомобільними іграшками, в яких радіоканал малого радіусу дії забезпечує обмін радіотехнічними сигналами між окремими елементами. Відсутність дротів у ряді подібних застосувань є вирішальною у використанні таких радіоелектронних систем. Разом з цим двовходові резонатори на ПАХ широко використовуються для побудови вузькосмугових фільтрів в системах мобільних засобів зв'язку і переносних радіотехнічних системах. Основу двовходового резонатора на ПАХ складають двоє відбиваючих грат(рис. 5.1) між якими знаходяться два зустрічно-штирьові перетворювачі(ЗШП). Високочастотний електричний сигнал завдяки першому ЗШП-А перетвориться в поверхневі механічні(акустичні) коливання, що поширюються у вигляді поверхневої акустичної хвилі(ЛІГШИ). Грати, працюючи на частоті акустичного синхронізму відбивають поверхневу акустичну хвилю як резонатори Фабри-Перо, а за рахунок збереження і накопичення енергії механічних коливань в області між гратами на резонансній частоті утворюється високодобротна коливальна система. Другий ЗШП-В перетворить ПАХ в електричний сигнал і це дозволяє створювати високочастотні високодобротні вузькосмугові фільтри.

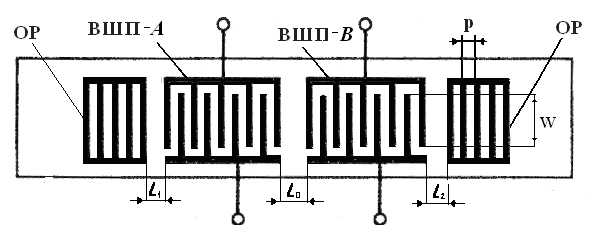


Рис. 5.1. Конструкція проектованого двувходового резонатора

Для моделювання подібних структур використовується метод представлення двовходового резонатора у вигляді еквівалентної схеми /5-7/, що описує задовільно тільки близи смуги частот фільтру резонатора і що має відмінність розрахункової і эспериментальной кривих частотної характеристики в області великих пригнічень. Метод пов'язаних хвиль(COM- метод) дозволяє істотно поліпшити результати розрахунку і точніше визначити провідність структур резонаторів двовходового резонатора. При цьому сам зустрічно-штирьовий перетворювач розглядається як рівномірна структура з постійним перекриттям електродів. Окрім цього структура двовходового резонатора описується наступними конструктивними параметрами: *N* - кількість елементів відбивних решіток(ВР), *Nr* - кількість пар штирів перетворювача - період перетворювача - період відбивних грат, *leff* - глибина проникнення акустичної енергії або відстань від краю відзеркалювальної поверхні до ефективного центру відображення, *L1*= L2 - відстань між гратами і ЗШП, L0 -расстояние між вхідним і вихідним ЗШП, Lор - відстань між краями відбивних грат, W - апертура ЗШП. Для аналізу застосуємо апарат P- матриць, що встановлює зв'язок акустичних хвиль, що виходять, і струму з акустичними хвилями, що входять і потенціалом перетворювача, так що для одного вхідного перетворювача *А* маємо складові *Р-* матриці:

, , , (5.3)

=, (5.4)

==. (5.5)

Аналогічно розраховуються складові Р-матриць для перетворювача B. При цьому в кінцевих формулах врахований проміжок між окремим перетворювачем і гратами, рівний L1 . У цих виразах також враховано, що Сe - електростатична місткість на період перетворення, λ - довжина хвилі ПАХ, VR - фазова швидкість хвилі, k0, kr - хвилеві числа, рівні  і . Для кожних окремих грат складові *P* -матрицы знаходилися з виразів:

, (5.6)

. (5.7)

У цих формулах параметри     розраховувалися через частоти грат  і перетворювача а також коефіцієнт відображення *r* і постійну загасання яка залежала від частоти для вибраного матеріалу кварцу :

, (5.8)

, (5.9)

, (5.10)

,  (5.11)

У цих формулах враховано, що швидкості ПАХ в гратах і перетворювачі різні і складаються з трьох що становлять /що 6-7/,, що дають різні значення для  і а сам коефіцієнт відображення для грат і перетворювача *r* залежить від механічної і електричної навантажень. Для двох перетворювачів параметри загальної *P* - матриці визначалися відповідними значеннями через параметри *P* - матриць окремих встречно- штирьових перетворювачів  і :

, (5.12)

, (5.13)

 , (5.14)

, (5.15)

, (5.16)

, (5.17)

Приєднуючи спочатку параметри Р- матриці лівих грат знаходять сумарні компоненти матриці резонатора з одним портом, а потім приєднуючи праві грати визначають сумарну провідність одновходового сумарного резонатора з іншим портом :

, (5.18)

При моделюванні двовходового резонатора і розрахунку провідності значення коефіцієнта відображення і коефіцієнта перетворення для одного електроду перетворювача і грат визначалися підходом запропонованому в роботах /5-7/. Розрахунок двовходових резонаторів здійснювався за програмою в середовищі MathCAD. Далі приведені результати дослідження фільтру побудованого на основі двовходових ПАХ-резонаторів з використанням кварцу 370 - Y зрізу на частоті 319.95 Мгц.

При проектуванні ПАХ-резонаторів враховувалися зміни швидкості ПАХ під ЗШП і у відбивних гратах по порівняння з вільною поверхнею. Двовходові ЛІГШИ резонатори мали наступні параметри: число електродів ЗШП вибиралося рівним 319, апертура ЗШП- 64 λ, число відбивних короткозамкнутих смужок в кожних відбивних гратах дорівнює 170. Товщина металевих плівок складала 0,012 λ і коригувалося з метою отримання необхідної робочої частоти (λ -довжина хвилі на вільній поверхні кварцу).

Аналіз результатів показує хороший збіг результатів розрахунку і теорії (рис. 5.2) і вказує на можливість широкого застосування методу пов'язаних хвиль для проектування двовходових високочастотних резонаторів і фільтрів, побудованих на їх основі. При цьому важливою є залежність коефіцієнта відображення від товщини напилюваної плівки.

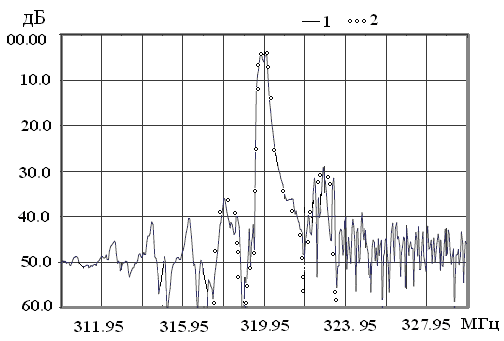


Рис.5.2. Теоретичні(1) і розрахункові(2) залежності коефіцієнта передачі від частоти двовходового фільтру

Таким чином, в результаті виконаної роботи були розроблені фільтри із застосуванням в якості основних елементів двовходових ПАХ резонаторів, виготовлених на основі кварцу 370, - Y зрізу з відбивними гратами у вигляді короткозамкнутих смужок, що мають товщину металізації 0.012 від довжини хвилі ПАХ.

**6. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РЕЗОНАТОРІВ НА ПАХ.**

Виготовлення будь-якого акустоэлектронного пристрою на поверхні п'єзоелектричного звукопровода включає наступні етапи:

— виготовлення фотошаблону;

*—*металізація робочої поверхні звукопровода;

— виготовлення самої схеми за допомогою фотолітографії.

Розглянемо детальніше кожну з відмічених операцій. Виготовлення фотошаблону йде за розрахунками самої схеми за заданими параметрами акустоелектронного пристрою. Починається виготовлення фотошаблону з викреслювання зображення координатографом, який вирізує на нанесеній на прозору основу непрозорій плівці контури зображення. Після видалення обмежених замкнутим контуром ділянок на плівці виходить зображення, що відповідає багаторазово збільшеному зображенню структури акустоелектронного пристрою. Робоче поле координатографа дозволяє викреслювати первинний оригінал з розмірами до 1000X1000 мм Мінімальний розмір елементу — 0,2-0,5 мм, точність положення — 0,01 мм Великий розвиток отримали автоматичні координатографи з програмним управлінням. У комплексі з електронно-обчислювальною машиною програмний координатограф дозволяє автоматизувати усі операції, існуючі між видачею початкових даних на конструкцію акустоэлектронного пристрою і отриманням первинного оригіналу. Подальшим етапом є виготовлення проміжного фотошаблону, який створюється перезйомкою викресленого на координатографі первинного оригіналу. Ця перезйомка здійснюється на різних редукційних камерах, які забезпечують зменшення первинного зображення в 5-60 разів. Зйомки виконуються на високоякісних фотопластинах.

Разом з варіантом технологічного циклу виготовлень проміжного шаблону, що включає викреслювання первинного оригіналу і пересъем його на редукційній камері, існує і інший варіант, що використовує процес фотонабору. Практично операція фотонабору зводиться до формування зображення безпосередньо в розмірах проміжного фотошаблону. Усе зображення при цьому розбивається на елементарні прямокутники з різними розмірами і орієнтацією. У фотонабірній установці(генераторі зображення) є набірна діафрагма, розташована в предметній площині об'єктиву. Світловий потік від лампи спалаху через конденсорну систему лінз падає на набірну щілинну діафрагму. Ширина, довжина і кут повороту щілини діафрагми змінюються за допомогою трьох керівників електродвигунів, які приводять в рух дві рухливі пластини діафрагми. Світловий потік, що пройшов діафрагму, фокусується високодозвільним об'єктивом на фотопластину, розташовану на координатному столі. Координатний стіл за допомогою двох серводвигунів переміщається по осях X і У. Таким чином, світлова пляма, що відповідає вибраній діафрагмі, проектується зі зменшенням в потрібне місце на фотопластині. Відомі фотонабірні установки добре стикуються з ЕОМ, що дозволяє значно спростити технологічний цикл виготовлення шаблону.

Надалі виготовляють робочий фотошаблон. Метод послідовного зменшення припускає 2-3 етапи зменшення первинного оригіналу в процесі перезйомки. Другий етап може бути поєднаний з мультишцированием зображення. При цьому вже при перезйомці отримують остаточний(робітник) фотошаблон. Цей метод отримання робочого шаблону застосовується при невисоких вимогах до зображення: мінімальний розмір елементу — 5-7 мкм, точність положення елементу — 2-5 мкм. Прецизійні ж «високочастотні» фотошаблони проходять ще один обов'язковий етап зменшення, здійснюваний за допомогою вторинного пересъема. Пристрої, що здійснюють вторинну перезйомку, дістали назву фотоповторювачів або мультиплікаторів. Для акустоэлектронных пристроїв це означає розміщення на фотошаблоні різних зображень, що відповідають перетворювачам, що підсумовують шинам, відбивним структурам і іншим елементам. Для реалізації необхідної структури на звукопроводе створюється або комплект робочих шаблонів, або один складний шаблон, що містить повне зображення усієї структури. Шаблони комплекту забезпечуються мітками для подальшого поєднання. Незалежно від вибраного методу подальшої фотолітографії на поверхню звукопровода має бути нанесене покриття, що проводить. Металізація робочою поверх ности звукопровода робиться найчастіше вакуумним способом. До металевої плівки на робочій поверхні звукопровода пред'являються наступні вимоги: мала товщина(<0,1-0,5 мкм), рівномірність шару, висока електрична провідність, мінімум мікродефектів(подряпин, непокритих ділянок) і так далі. Найбільш поширеними матеріалами, використовуваними для металізації робочої поверхні звукопровода, є алюміній, золото і мідь. Зустрічно-штирьові перетворювачі, виготовлені з алюмінію з підшаром ванадію, успішно працюють на звукопроводах з кварцу і ніобату літію. Мідне або золоте покриття з підшаром хрому добре поєднується з германатом вісмуту. Плівки металу можуть бути отримані декількома шляхами:

а) випаром металу з нагрітого дроту або тигля;

б) випаром металу з тигля, розігрітого електронним променем;

в) високочастотним, що розпиляло.

При виборі технології осадження враховують товщину необхідної плівки, допустиму міру нагріву підкладки,, витрата матеріалу, спрямованість потоку матеріалу при тому, що розпиляло. Останній чинник дуже істотний при отриманні структури, що проводить, осадженням металу через вікна в захисному рельєфі фоторезиста.

Сама фотолітографія — процес, в результаті якого утворюється рельєф заданої форми в металевих плівках або діелектричних матеріалах. У основі цього процесу лежить властивість деяких високомолекулярних з'єднань формувати під дією світла стійкий до травильників рельєф. Розрізняють негативний і позитивний фоторезист. При негативному процесі в результаті прояву удавляются незасвічені ділянки, а при позитивном-засвеченные. Фоторезист, що залишився після прояву, служить для отримання зображення або на тій, що покриває підкладку плівці, що проводить, або безпосередньо на поверхні звукопровода. Процес фотолітографії містить наступні операції:

— нанесення шару фоторезиста на підкладку;

— експонування фоторезиста;

— прояв зображення на фоторезисте;

— отримання зображення елементів акустоэлектронного пристрою на поверхні звукопровода.

Нанесення фоторезиста на підкладку виконується різними методами: пульверизацією, «центрифугуванням», витягуванням. Оскільки підкладка акустоелектронних пристроїв характеризується істотною нерівністю сторін, то найчастіше використовується нанесення фоторезиста методом занурення підкладки у фоторезист і витягування її з певною швидкістю. Робочий шаблон безпосередньо експонується на поверхню звукопровода, покритого фоточутливим шаром. При проекційному друці найчастіше для перенесення зображення застосовується оптична система з певним зменшенням. Контактний друк здійснюється експонуванням зображення від робочого фотошаблону, що знаходиться у безпосередньому контакті із звукопроводом. Принципової різниці між двома методами практично немає проте, слід зауважити, що проекційний друк може здійснюватися одночасно з багатократним зменшенням зображення. У контактному друці такої можливості немає, тому вимоги до фотошаблону значно вищі.

За допомогою фотолітографії найчастіше необхідно отримувати структуру, що проводить, на поверхні діелектричного звукопровода. Існує два варіанти цього процесу. У одному з них використовується вакуумне напилення металевої плівки на рельєф резисту з подальшим видаленням резисту. Структура, що в цьому випадку проводить, утворюється на місцях, вільних від резисту після прояву (негативна структура — рис. 6.1 а).

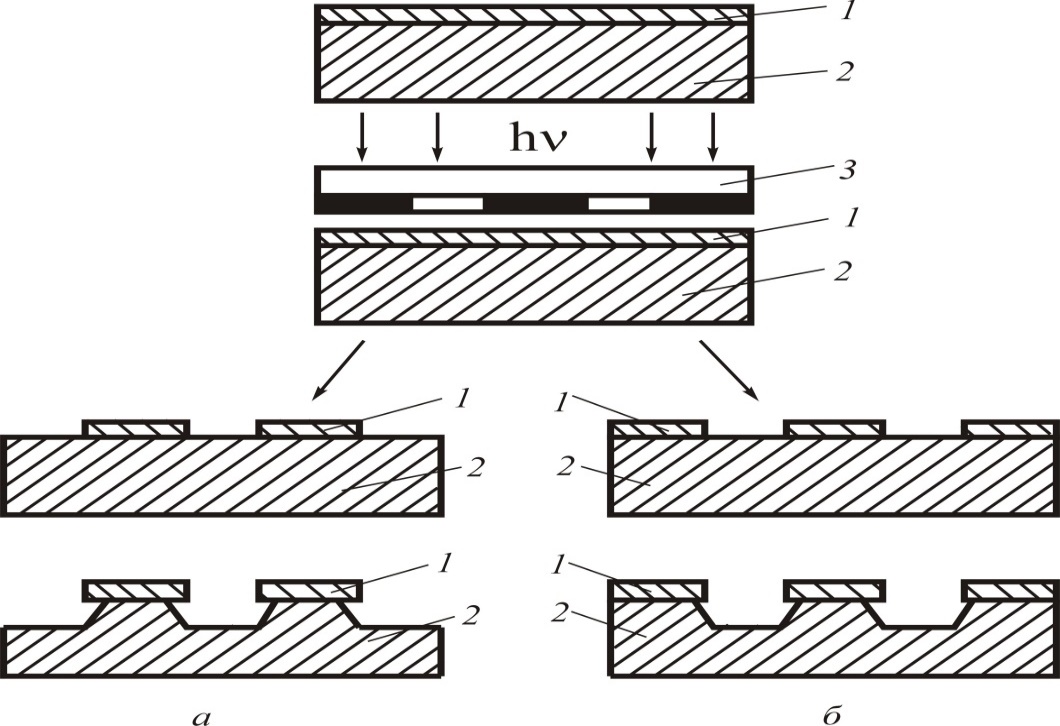


Рис. 6.1. Схема відтворення зображення методом фотолітографії :

*а* - з негативним фоторезистом; *би* - з позитивним фоторезистом;

1 – фоторезист, 2 - підкладка, 3 - фотошаблон

У іншому відомому методі необхідний малюнок на металі отримують таким, що хімічним, що труїть металу через захисний шар фоторезиста (позитивна структура). На підкладку 1(рис. 6.1. б) осідає плівка металу 2, яка: покривається шаром фоторезиста, що утворює при фотолітографії захисний рельєф 3, що відповідає необхідній структурі зображення. Трапецевидна форма перерізу резистивного рельєфу утворюється із-за розбіжності світлового потоку при експонуванні і підтраві при прояві. В результаті того, що труїть металева плівка залишається лише на ділянках, захищених фоторезистом, після видалення якого на підкладці залишається структура, що лише проводить.

Хімічне те, що труїть дозволяє отримувати лінії шириною не менше 4-5 мкм. Іонне те, що труїть дозволяє звести цю величину до 1-2 мкм. Промивання підкладки з отриманим на ній рельєфом, що проводить, завершує виготовлення блоку акустоелектронного пристрою. Потім слідують операції попереднього контролю, установки в корпус, приварювання виведень і остаточного контролю механічних і електричних параметрів.

Практичне втілення конструкції пристроїв на ПАХ пов'язане з розробкою технологічних процесів їх виготовлення, які, хоча і ґрунтуються на базових процесу мікроелектроніки, але мають свої специфічні особливості. Зокрема, вони повинні забезпечувати на порядок більш високу точність виконання малюнка зустрічно-штирьових перетворювачів пристроїв на ПАХ, обробку поверхонь п’езоподложек з високою чистотою і площинною, високоякісне напилення плівок матеріалів з різними фізико-хімічними властивостями. Першим важливим етапом при конструюванні акустоелектронних пристроїв на ПАХ являється вибір матеріалу підкладки. Хоча нині існує багато п’езодиэлектриков, проте найчастіше вживаються монокристалічний кварц, ніобат літію, германат вісмуту і поляризована п’езокерамика гарячого пресування або гарячого литва. Матеріал підкладки до деякої міри визначає технологічну схему виготовлення акустоелектронного пристрою. Ця схема завжди включає такі основні етапи:

* виготовлення звукопровода;
* виготовлення фотошаблону згідно з розрахунками;
* виготовлення акустичної інтегральної схеми;
* монтаж пристрою.

Специфіка конструкції акустоелектронних радіокомпонентів накладає відбиток на структуру операцій практично усіх етапів технологічного процесу. Широкий набір матеріалів, вживаних для виготовлення звукопровода, вимагає гнучкості механічної обробки. Фотошаблони акустоелектронних структур по розмірах можуть у декілька разів перевищувати розміри фотошаблонів ІС при складнішій структурі зображення. Металізація звукопроводов акустоелектронного пристрою пов'язана з рядом складних технічних проблем. По-перше, це забезпечення адгезії металу покриття з матеріалом звукопровода. Саме нанесення металу на поверхню звукопровода великої довжини вимагає створення і освоєння нових технологічних прийомів і операцій. Ті ж труднощі виникають і при нанесенні фоторезиста на звукопроводы великих розмірів. Поєднання шаблону із звукопроводом довільної форми і експонування зображення також ускладнені довільними формами звукопроводов. В процесі того, що труїть металевої плівки неприпустимо затруювання робочої поверхні звукопроводов. У зв'язку з цим потрібно ретельний підбір травильників для кожного з матеріалів, вживаних для виготовлення звукопровода. Перераховані особливості технологічного процесу виготовлення акустоелектронних пристроїв далеко не вичерпують усієї його специфіки. На етапі експериментальних досліджень акустоелектронних пристроїв застосовуються найрізноманітніші технологічні процеси, основним завданням яких є оперативне виготовлення дослідних зразків. При цьому до технологічного процесу не пред'являється стрем їх вимог по мінімізації трудомісткості і повторюваності параметрів виробів, що виготовляються. Перехід від виготовлення виробів для лабораторних досліджень до їх серійного випуску вимагає строгого впорядкування технологічного процесу, оптимізації його з точки зору основних виробничих критеріїв серійного виробництва. Для таких дрібномасштабних структур, де звичайна фотолітографія вже не забезпечує достатнього дозволу, необхідно застосовувати методи електронолитографії і рентгенолитографії. Ці способи нині почали входити в технологічні схеми виготовлення акустоелектронних пристроїв НВЧ діапазону. Вони дозволяють виготовляти зустрічно-штирьові перетворювачі для пристроїв на ПАХ з кроком менше 1 мкм і досягати робочих частот гігагерцового діапазону.

Завершальним етапом виготовлення ПАХ - пристроїв являється приміщення звукопровода з нанесеними на нього ЗШП в корпус і його герметизація. Корпуси призначені для захисту елементів і компонентів ПАХ - пристрої від кліматичних(волога, гази) і механічних дій і світлового опромінення. Корпус забезпечує ефективне відведення тепла від тепловиділяючих елементів і компонентів. Металевий корпус здійснює також екранування від дії електростатичних, а в деяких випадках і магнітних полів. Корпус має висновки, за допомогою яких мікросхему монтують на друковану плату. Контактні майданчики звукопровода електрично сполучені з виведеннями корпусу. Залежно від матеріалів корпуси діляться на наступні типи: металоскляні, скляні, керамічні, металлполімерні, пластмасові, полімерні.

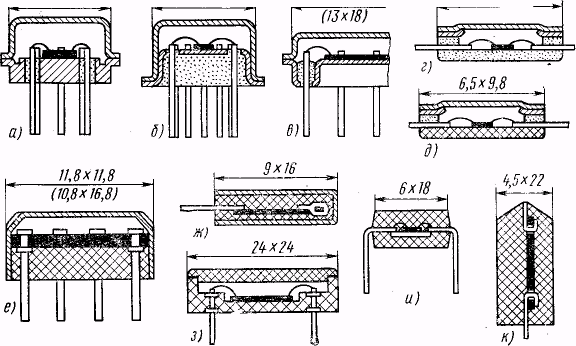
****

Рис. 6.2. Схеми конструкцій корпусів ПАХ - пристроїв : а, б, в - металоскляних; г - скляного; д - керамічного; е, же - металлополимерных; з - пластмасового; и, к - полімерних

У металоскляних корпусах армування і кришку виконують з металу, а виведення ізолюють від основи склом

Металокерамічні корпуси складаються з керамічної основи з виведеннями і металевої кришки. Оскільки із-за високої температури спікання кераміки армувати основу металевими виведеннями неможливо, їх в спеціальній технологічній рамці упаюють в нього склом. Крім того, до борту керамічної основи склом припаюють металеву рамку, до якої зварюванням або пайкою приєднують металеву кришку. Оскільки рамка і кришка повинні при пайці добре змочуватися припоєм на основі олова, їх заздалегідь покривають тонким шаром нікелю, міді або золота. Висновки можна також приєднувати до керамічної основи за допомогою паст, що проводять.

Скляні корпуси технологічніші і складаються із скляної основи і металевої або скляної кришки. В процесі формування основу армують виведеннями і металевою рамкою, а потім спекают, внаслідок чого утворюється металоскляний спай.

У керамічних корпусах як кришка, так і основа виконані з кераміки. Це дозволяє монтувати зовнішні виведення і виконувати герметизацію пайкою склом без рамки, що спрощує конструкцію.

Щоб уникнути термічної напруги і розтріскування, розглянуті корпуси виготовляють з матеріалів, що мають близькі за значенням температурні коефіцієнти лінійного розширення (ТКЛР). Стекло, крім того, в процесі складання і герметизації приладів не повинно розм'якшуватися при нагріванні. Найбільш вдалими парами матеріалів є железо-никель-кобальтовый сплав 29НК (ковар) — стекло С48-2 або С49-2 (температури розм'якшення 570 і 585 С), железо-никель-медный сплав 47НД — стекло С89-8 або С90-1 (температури розм'якшення 530 і 550 С); кераміка 22ХС або "Полікор" — стекло С72-4 (температура розм'якшення близько 560 С). При отриманні спаїв стекло — метал металеву поверхню заздалегідь оксидують.

У пластмасових корпусах кришки приклеюють до підстав спеціальними клеями.

До корпусу пред'являється ряд вимог, обумовлених її призначенням і електричними параметрами, особливостями складання як самих ПАХ - пристроїв, так і складання на друкованих платах, призначенням, особливостями конструкції і умовами експлуатації апаратури, в якій використовуються резонатори. До цих вимог відносяться: герметичність конструкції, висока надійність, малі габарити, ефективний тепловідвід, малі паразитні електричні параметри виведень(активний опір, індуктивність і місткість), висока механічна міцність, простота монтажу на друкованих платах, легкість знімання з друкованої плати при необхідності ремонту, низька вартість, захист від світлового опромінення. До корпусу можуть пред'являтися вимоги, обумовлені специфічним призначенням ПАХ - пристрої: електростатичне і (чи) магнітне екранування, забезпечення можливості дії світла при обробці оптичної інформації або при стиранні інформація в програмованих (напівпостійних) запам'ятовуючих пристроях ультрафіолетовим опроміненням та ін.

Основні вимоги, що пред'являються до корпусу, наступні:

1. механічна міцність і герметичність, що забезпечують надійний захист мікросхеми від дії довкілля і механічних ушкоджень;
2. висока теплопровідність;
3. можливість надійного електричного з'єднання контактних майданчиків мікросхем з виведеннями корпусу;
4. можливість надійного кріплення мікросхеми при монтажі в апаратурі;
5. простота виготовлення і герметизації;
6. низька вартість.

Перші дві вимоги зазвичай знаходяться в протиріччі з двома останніми: доки не розроблені прості і дешеві корпуси, здатні надійно захищати схему в тяжких умовах експлуатації. Випробування показують, що інтенсивність відмовивши в трудомістких і дорогих керамічних корпусах в 3 -10 разів нижче, ніж в найдешевших полімерних корпусах. Висока інтенсивність відмов ПАХ - пристроїв в полімерних корпусах пояснюється їх низькою вологостійкістю. Молекули води, розміри яких порядку 3А, проникають всередину корпусу не лише по межах розділу корпус - виведення, але і через товщу полімеру.

Забезпечення герметичності корпусу. Елементи і компоненти, призначених для роботи в умовах підвищеної вологості і в атмосфері різних газових середовищ, слід поміщати в корпуси, що забезпечують повну герметизацію. Герметичність корпусу досягається застосуванням непроникних для вологи і газів матеріалів і вакуумщільним з'єднанням цих матеріалів.

У конструкціях корпусів широко використовуються з'єднання металів з металами, склом, керамікою і полімерами, кераміки з керамікою і склом, стекла із склом та ін. Високотемпературні стекла і кераміку зазвичай сполучають за допомогою проміжного шару легкоплавкого скла. Певні труднощі виникають при утворенні вакуумщільних з'єднань металів з керамікою і склом. Вони обумовлені різними ТКЛР і коефіцієнтами теплопровідності. Річ у тому, що при виготовленні корпусу, складанні мікросхеми, експлуатації деталі конструкції піддаються великим перепадам температури. Через різницю ТКЛР і коефіцієнтів теплопровідності(різна швидкість нагріву деталей) в елементах конструкції виникає велика механічна напруга, що призводить до розтріскування з'єднань і порушення герметичності. Досвід показує, що різниця ТКЛР матеріалів, що сполучаються, повинна складати 1-10-6 С- 1. ТКЛР матеріалів, вживаних при виготовленні герметичних корпусів, вказані в таблиці.6. 1.

Таблиця 6.1. Параметри матеріалів, вживаних для виготовлення корпусів

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Матеріал | Склад % | ТКЛР, 10-6 С- 1 | Коефіцієнт теплопровідності, Вт/ (м \* С) |
| Алюмінієва кераміка | 94.. .96А12О3, 6. .4MgOn Si02 | 6,4... 7,9 | 19,6 |
| Берилієва кераміка | 97.. .99 BeO | 7,0 | 208 |
| Боросиликатное скло | — | 4,6 | 1,1 |
| Припайное стекло | 58РbO, 12Ва2О3, 20SiO2, 8ZnO, 2 - інші оксиди | 4,0... 12,0 | — |
| Ковар | 18Co, 28Ni, 54Fe | 4,7...5,5 | 16,7 |
| Керамвар | 25Co, 27Ni, 48Fe | 8,1 | — |
| Припій | 61 Sn, 39Pb | 21,5 | — |
| Пластмаси | — | 20...200 | 0,3.. .2,0 |

Для узгодження ТКЛР металу із склом або керамікою використовуються буферні матеріали з проміжним значенням ТКЛР. В ролі буфера широко застосовують так звані припайні стекла, що мають порівняно невисоку температуру розм'якшення (~500 С). При нагріві припайне скло розм'якшується і омочує поверхні, що сполучаються, подібно до того, як припій змочує металеві деталі, що сполучаються. ТКЛР припайного скла знаходиться в межах (4...12) - 10-6 С- 1. Його величина залежить від часу і температури термообробки в процесі з'єднання матеріалів. Це обумовлено тим, що розміри кристалів, що утворюються після розплавлення скла, залежать від температури і тривалості термообробки. Спай, що кристалізується, забезпечує високу механічну міцність матеріалів, що сполучаються. Допускається багатократний вигин виведень без порушення герметизації. Мікротріщини, що виникають на поверхні скла, закінчуються на гранях приповерхневих кристалів і не поширюються в глиб спаю.

Для утворення герметичних з'єднань кераміки з керамікою і кераміки з металом використовують також покриті припоєм шари опаленого металу (срібла) в кераміку. Поєднання кераміки, скла і металів з пластмасами не забезпечують повністю герметичних з'єднань внаслідок великої різниці в тклр (див. таблицю. 6.1) і високій вологопроникній пластмас. Епоксидні, фенольні і силіконові пластмаси використовуються тільки в корпусах мікросхем, призначених для роботи в помірних умовах (вологість <85%).

Залежно від конструкції корпусу в практиці виробництва знаходять застосування наступні способи герметизації : холодне зварювання тиском, конденсаторне зварювання електроконтакта, пайка, заливка компаундами, склеювання, опресовування компаундами.

Залежно від вживаних матеріалів і конструктивних особливостей ПАХ - пристрої використовують наступні методи з'єднань :

1. Cварка
   1. Холодне зварювання
   2. Конденсаторне зварювання електроконтакта
   3. Аргоново-дугове зварювання
   4. Мікроплазмове зварювання
   5. Термокомпресійне зварювання
   6. Зварювання тиском з непрямим імпульсним нагрівом
   7. Зварювання здвоєним(розщепленим) електродом
   8. Ультразвукове зварювання
   9. Роликове зварювання
   10. Електронопроменеве зварювання
2. Пайка
   1. Пайка припоями
   2. Пайка склом

Найширше використовується термоомпрессове і ультразвукове зварювання.

Термокомпресійне зварювання є зварюванням тиском з підігріванням. Необхідний тиск прикладають до інструменту, а робоча температура забезпечується нагрівом або інструменту, або робочого столу з виробом, або того і іншого одночасно. Робоча температура підтримується постійної впродовж усього часу роботи установки.

Пластичні, деформації, що виникають в зоні контакту деталей, що сполучаються, сприяють витісненню адсорбованих газів і забруднень. В результаті оголення чистих поверхонь стає можливою електронна взаємодія матеріалів(утворення міжатомних зв'язків), що сполучаються. Отриманню міцного з'єднання сприяє також обмежена взаємна дифузія матеріалів і утворення твердого розчину в тонкій прикордонній області. Щоб уникнути руйнування з'єднання внаслідок залишкової напруги матеріал дроту має бути пластичним. З цією метою дріт заздалегідь піддають відпалу рекристалізації.

Найкращу зварюваність мають пари Ag - Аu і Аu - Сu, оскільки їм властива висока взаємна дифузія. При зварюванні Аи і А1 взаємна дифузія призводить до утворення інтерметалевих з'єднань, деякі з яких мають крихкість або рихлість. Задовільного зварювання не вдається досягти на кремнієвих підкладках внаслідок каталітичного впливу кремнію. Термокомпресійне зварювання виконують при невисоких питомих тисках і температурах. Тому для отримання великих пластичних деформацій діаметр виведення не повинен перевищувати 100 -130 мкм. Важливою умовою виконання якісного з'єднання є ретельна підготовка поверхні деталей(труїть, знежирення), що сполучаються, а також захист їх від окислення в процесі зварювання(застосування захисного середовища азоту, аргону, і так далі).

Ультразвукове зварювання є різновидом зварювання тиском(холодною або з непрямим нагрівом).

Ультразвукові коливання збуджуються в магнітострикційному перетворювачі і за допомогою хвилеводу(концентратора), що служить для збільшення амплітуди, і зварювального інструменту передаються зварюваним деталям. Енергія коливань перетвориться в складну напругу розтягування, стискування і зрізу. При перевищенні межі пружності матеріалу в зоні контакту виникають пластичні деформації, і плівка оксиду руйнується, оголяючи чисту поверхню. При цьому матеріали схоплюються за рахунок електронної взаємодії. Непрямий нагрів інструменту полегшує пластичні деформації і покращує якість з'єднання. Спочатку здійснюється стискання деталей, що сполучаються, далі пропускається імпульс струму через інструмент, а потім(чи одночасно) створюються ультразвукові коливання. До переваг ультразвукового зварювання можна віднести: невисоку температуру в зоні контакту, можливість з'єднання важкозварювальных різнорідних матеріалів(і навіть діелектриків) і невисокі вимоги до стану поверхні. Обмеженням методу є вимога високої пластичності матеріалу провідника, оскільки деформація повинна досягати 50 - 60%. Питомі тиски повинні складати декілька кілограмів на 1 мм2.

Основними параметрами процесу є амплітуда коливань(близько 5 -10 мкм при частоті 40 - 60 кГц) і питомий тиск. Час зварювання має бути оптимальним: при малому часі фізичний контакт поверхонь, що сполучаються, може виявитися малим, при великому часі спостерігається руйнування вузлів схоплювання.

Таблиця 6.2. Зварюваність матеріалів при різних методах мікрозварювання

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Матеріал контактного майданчика і підкладки | Методи зварювання і матеріали дротяних виведень | | | | | | | | | | | |
| Термокомпресія нагрітим інструментом | | | Зварювання непрямим імпульсним нагрівом | | | Контактне зварювання здвоєним електродом | | | Ультразвуковаяя зварювання | | |
| Аu | А1 | Сu | Аu | А1 | Сu | Аu | А1 | Сu | Аu | А1 | Сu |
| Золота плівка з підшаром ніхрому на си-талле або склі | ++ | + |  | ++ | ++ | + | ++ |  | ++ | ++ | ++ | + |
| Мідна або нікелева плівка з підшаром ніхрому на ситалі . | ++ | + |  | ++ | ++ | + | ++ |  | + | ++ | + | + |
| Алюмінієва плівка на ситалі або склі | ++ | + |  | + | + |  | + |  | + | ++ | + |  |

Примітка. ++ зварюються добре; + - зварюються задовільно; - не зварюються.

У установці ЭМ- 404 для ультразвукового зварювання використаний інструмент капілярного типу, який може здійснювати подовжні або крутильні коливання залежно від встановленого змінного хвилеводу. Тиск інструменту на зварювані елементи регулюється в межах 20-150 г, час зварювання витримується з точністю ± 0,02 с. Ультразвуковий генератор може працювати з частотою 58-65 кГц і з вихідною потужністю 0,1 - 28 Вт. На установці можна приварювати золоті, алюмінієві і мідні дроти діаметром 20 -100 мкм. Установка має нагрівальну колонку, що дозволяє працювати з підігріванням виробу. Останнім етапом процесу герметизації ПАХ - пристроїв являється контроль якості, який здійснюється за допомогою гелієвих течошукачів.

1. **ОХОРОНА ПРАЦІ**

**7.1. Основи техніки безпеки на виробництві**

Основними складовими безпеки праці на виробництві є: безпечне виробниче устаткування; безпечні технологічні процеси; організація безпечного виконання робіт.

Вимоги безпеки до виробничого устаткування конкретних груп, видів, моделей розробляються відповідно до вимог ДСТУ 12.2.003191 з урахуванням призначення, виконання і умов його експлуатації [8].

Безпека виробничого устаткування забезпечується: вибором принципів дії, джерел енергії, параметрів робочих процесів; мінімізацією споживаної енергії або накопичується; застосуванням вбудованих в конструкцію засобів захисту і інформації про можливі небезпечні ситуації; застосуванням засобів автоматизації, дистанційного керування і контролю; дотриманням ергономічних вимог, обмеженням фізичних і нервово-психологічні навантаження працівників.

Виробниче устаткування при роботі як самостійно, так і у складі технологічних комплексів повинно відповідати вимогам безпеки впродовж усього періоду його експлуатації.

ДСТУ 12.3.002175. ССБТ. «Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки» - чинний нормативний документ за загальними вимогами безпеки виробничих процесів. Основними вимогами безпеки до технологічних процесів є: усунення безпосереднього контакту працюючих з початковими матеріалами, заготівлями, напівфабрикатами, готовою продукцією і відходами виробництва, є достовірними чинниками небезпек, заміна технологічних процесів і операцій, пов'язаних з виникненням небезпечних і шкідливих виробничих чинників, процесами і операціями, при яких вказані чинники відсутні або характеризуються меншою інтенсивністю; комплексна механізація і автоматизація виробництва, застосування дистанційного керування технологічними процесами і операціями по наявності небезпечних і шкідливих виробничих чинників; герметизація устаткування, застосування засобів колективного захисту працюючих; раціональна організація праці і відпочинку з метою профілактики монотонності і гіподинамії, а також обмеження тяжкості праці, своєчасне отримання інформації про виникнення небезпечних і шкідливих виробничих чинників на окремих технологічних операціях(системи отримання інформації про виникнення небезпечних і шкідливих виробничих чинників необхідно виконувати за принципом облаштувань автоматичної дії з виведенням на системи попереджувальної сигналізації); впровадження систем контролю і управління технологічним процесом, що забезпечують захист працюючих і аварійне відключення виробничого устаткування своєчасне видалення і знешкодження відходів виробництва, небезпечних і шкідливих виробничих чинників, що є джерелами, забезпечення пожежної і вибухової безпеки.

Вимоги безпеки при проведенні технологічного процесу мають бути передбачені в технологічній документації [9].

**7.2. Розрахунок мікроклімату виробничих приміщень**

Істотний вплив на стан організму людини, його працездатність робить мікроклімат (метеорологічні умови) у виробничих приміщеннях, під яким розуміють клімат внутрішнього середовища цих приміщень. Мікроклімат визначається поєднаннями температури, відносної вологості, швидкості руху повітря і теплового випромінювання нагрітих поверхонь, що діють на організм людини.

Мікроклімат виробничих приміщень в основному впливає на тепловий стан організму людини і його теплообмін з довкіллям. Попри те, що параметри мікроклімату виробничих приміщень можуть значно коливатися, температура тіла людини залишається постійною (36,6 С).Властивість людського організму підтримувати тепловий баланс називається терморегуляцією. Нормальне протікання фізіологічних процесів в організмі можливе лише тоді, коли що виділяється організмом тепло безперервно відводиться в довкілля. Кількість тепла, що виділяється людиною, головним чином залежить від ступеня тяжкості виконуваної роботи і температурного режиму в приміщенні. Віддача теплоти організмом людини в зовнішнє середовище відбувається трьома основними способами(шляхами) : конвекцією, випромінюванням і випаром. Параметри мікроклімату роблять також істотний вплив на продуктивність праці і травматизм. Основним нормативним документом, який визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99(Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень) [10].

Вказані параметри нормуються для робочої зони - простору, обмеженого по висоті 2 метрами над рівнем підлоги або майданчики, на яких знаходяться робочі місця постійного або тимчасового перебування працівників. У основу принципів нормування параметрів мікроклімату покладена диференціальна оцінка оптимальних і допустимих метеорологічних умов в робочій зоні залежно від теплової характеристики виробничого приміщення, категорії робіт по ступеню тяжкості праці і періоду року.

Оптимальними (комфортними) вважаються такі умови, при яких мають місце найвища працездатність і хороше самопочуття.

Допустимі мікрокліматичні умови передбачають напружену роботу механізму терморегуляції, що не виходить за межі можливостей організму, а також дискомфортних відчуттів.

Основні параметри мікроклімату - температура, вологість, швидкість руху повітря і барометричний тиск. Види вологості - абсолютна, максимальна і відносна. Для визначення температури і вологості повітря у виробничих приміщеннях використовується психрометр Ассмана. Для визначення швидкості руху повітря в приміщенні використовують крильчаті анемометри [10].

Згідно з умовами завдання визначимо параметри мікроклімату у виробничому приміщенні і порівняємо їх з відповідними параметрами, які нормуються по ДСН 3.3.6.042-99 Державних санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень(таблиця. 7.1)

Таблиця 7.1. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Чинники | Одиниці виміру | Величини |
| 1.Енерговитрати робітника | (Джоуль/сік) | 233 |
| 2.Явне тепло в цеху, QЯВН | (кілоджоуль/ч) | 400 |
| 3.Тепловтрати, QПOTEPb | (кілоджоуль/ч) | 233 |
| 4.Об'єм приміщення, VПOM | (м3) | 360 |
| 5.Температура зовнішня, tHАР | °С | +9 |

Визначаємо надлишки явного тепла Qизб в приміщенні по формулі:



Переведемо надлишки явного тепла в/:

, оскільки 23 Вт/м3 то можна зробити виведення, що приміщення «*холодне»*.

Розрахуємо абсолютну вологість повітря А,(г/м3)

(г/м3),

де f - максимальна вологість повітря 18,65 г/м3;

tc і tв - температури «сухого» і «вологого» термометрів;

У - барометричний тиск, мм рт.ст.

Розрахувати відносну вологість повітря в приміщенні %

%

F - максимальна вологість повітря при температурі сухого термометра 23,76(г/м3)

Таблиця 7.2. Порівняння фактичних та нормативних значень

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметри | Значення | |
| Фактичні | Нормативні |
| 1. Температура повітря в приміщенні по «сухому» термометру tсф, C | 25 | 17-19 |
| 2. Швидкість руху повітря на робочому місці(м/сек) | 0,1 | 0,2 |
| 3. Барометричний тиск, В(мм.рт.ст) | 754 | 760 |
| 4. Відносна вологість повітря % | 69 | 40-60 |

Висновок: умови мікроклімату в приміщенні знаходяться в нормі за виключенням наявності надмірної пари, для усунення яких необхідно забезпечити приміщенню додаткову вентиляцію.

**7.3. Розрахунок захисного заземлення технологічного електроустаткування**

Розроблена низка заходів по забезпеченню охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях і екології.

Згідно ДСТУ 12.1.030-81, для захисту людей від поразки електричним струмом при дотику до металевих нетоковедущим частин, які можуть виявитися під напругою в результаті ушкодження ізоляції, передбачаються наступні заходи:

захисне заземлення;

занулення;

захисне відключення;

пристрої, що захищають;

попереджувальна сигналізація;

запобіжні пристосування і інше.

Згідно ДСТУ 12.2.003-74 проектом прийнято, щоб небезпечні ділянки устаткування мали захисне заземлення.

Розрахунок захисного заземлення технологічного електроустаткування ділянки складання здійснимий згідно з методикою, вказаною в додатку до методичних вказівок [11].

Опір заземлення знайдемо по формулі:



де *ρ* *-* питомий опір грунту; *l* -длина заземлителя(для труб 2-3 м, для стержнів до 10 м), м; *d* - діаметр заземлителя(для стержнів 0,01 - 0,03 м, для труб 0,03 - 0,05 m); *t* -расстояние від середини забитого в грунт заземлителя до рівня землі(необхідно враховувати, що відстань від верхнього кінця заземлителя до поверхні землі має бути не менше 0,5 м).

Оскільки усе устаткування знаходиться у відповідності якості опору грунту вибирає бетон(40-1000 /)



Опір смуги, що сполучає заземлители:



де *L* - довжина смуги, що сполучає заземлители(при контурному заземленні вона приблизно дорівнює периметру виробничого цеху), м; *b* - ширина смуги(0,03 - при прокладенні усередині будівлі і 0,05 - при прокладенні поза будівлею), м; *t-* глибина заземлення від рівня землі(не менше 0,5 м), м.



Необхідна кількість заземлителей :



uде 4 - допустимий загальний опір; 2 - коефіцієнт сезонності; / - коефіцієнт екранування заземлителя (/.



Щоб перевірити правильність розрахунку перевіримо нерівність:



де / - опір заземлителя(стержня, труби і так далі), Ом***;*** / - опір смуги, що сполучає заземлители, Ом; / - кількість заземлителей; / і / - коефіцієнт екранування заземлителя і смуги, що сполучає заземлители(/ /); / - загальний опір заземляючого пристрою.



Отримане значення опору заземляючого пристрою /, що менше гранично допустимого значення /. Таким чином, розрахована система заземлення відповідає вимогам ПУЭ(правила облаштування електроустановок) [11].

Для відвертання травматизму при роботі на токарних, фрезерних, свердлувальних і інших металорізальних верстатах необхідно, щоб усі шківи, ремені, шестерні і вали мали жорсткі обгороджування, верстати були оснащені екранами, які захищають робітників від стружки і осколків, випадково поламаного інструменту.

Роботу з витравлювачем (при травленні ГП) слід проводити в спецодягу(халат, фартух поліетиленовий, бавовняні і гумові рукавички) і захисних окулярах. Робочі місця мають бути обладнані витяжною вентиляцією.

Робоче місце пайки має бути обладнане місцевою витяжною вентиляцією, що забезпечує концентрацію свинцю в робочій зоні не більше гранично допустимою - 0,01.

Для відвертання опіків і забруднення свинцем шкіри рук мають бути використані пінцети для підтримки виведень, які паяються. Для зниження виробничого шуму редуктори поміщають в звукоізолюючі кожухи, зубчасті колеса поміщають в масляні ванни, застосовують акустичні екрани, що відділяють одно робоче місце від іншого, забезпечують засобами індивідуального захисту - навушниками, беруші.

При виготовленні друкованих плат у відвертанні травм і профзахворювань робота з шкідливими речовинами виконується з використанням засобів індивідуального захисту органів, що фільтрують, дихання, до яких відносяться універсальні респіратори і протигази. Для захисту рук як засоби індивідуального захисту застосовуються рукавиці і рукавички з різних матеріалів, а також захисні мазі, пасти і так далі. Для захисту очей застосовуються окуляри [10].

**7.4. Розрахунок вентиляції виробничого приміщення**.

У виробничому приміщенні на організм і його працездатність впливають мікрокліматичні чинники. Мікроклімат виробничих приміщень визначається поєднанням температури, вологості і швидкості руху повітря, а також температури довкілля .

Згідно ДСТУ 12.1.005-88 Категорія робіт при виготовленні блоку належать до першої категорії - фізична робота легкої ваги. До цієї категорії належать роботи, вироблювані сидячи і що не вимагають фізичної напруги або пов'язані з ходьбою і такі, що супроводжуються деякою фізичною напругою. Згідно з цим критерієм на виробничих ділянках необхідно підтримувати мікроклімат з параметрами, вказаними в таблиці 7.3. Освітлення на робочому місці має бути таким, щоб працюючий міг без напруги зору виконувати свою роботу. Стомлюваність органів зору залежить від ряду причин : недостатність освітленості, надмірна освітленість, неправильний напрям світла. Вентиляція є найбільш ефективним засобом для зниження концентрації шкідливих речовин(газів, пари, пилу), а також зниження тепла і вологи, що виділяються при виконанні ТП і від устаткування. Основне призначення вентиляції - здійснення повітрообміну, яке забезпечує видалення з робочого приміщення забрудненого повітря і подання чистого повітря.

Таблиця 7.3 - Оптимальні норма температури, відносній вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Період року | Категорія робіт | Температура / | Відносна вологість % | Швидкість руху повітря, м/с |
| Холодний і перехідною | Легка | 23-25 | 40-60 | 0,1 |
| Теплий | 22-24 | 40-60 | 0,1 |

У виробничому приміщенні, повітрообмін реалізується за допомогою природної і штучної(механічною) вентиляції і кондиціонера. Цей метод забезпечує приплив необхідної кількості свіжого повітря, яке визначається згідно СНиП.

Штучна вентиляція може бути припливною, витяжною, припливно-витяжною, а за місцем дії - загальнообмінною і місцевою. Оскільки наш цех не має вікон, тобто немає природного провітрювання, тому треба приділити увагу штучної вентиляції [10].

Вентиляційні системи і їх продуктивність вибирають і проектують на основі розрахунку необхідного повітрообміну.

Згідно СН 245-71 і СНиП 2.04.05-91, кількість повітря, яка забезпечує необхідні параметри повітряного середовища у виробничому приміщенні, визначають розрахунком, виходячи з об'єму газо-паро-виділень, виділень пилу, надмірного тепла і вологи(їх прийнято називати збиральним терміном «шкідливості»). За остаточну потрібну кількість повітря приймають більше, отримане з розрахунків для кожного виду шкідливості.

Об'єм V() свіжого повітря, що подається в приміщення, необхідного для розбавлення шкідливих речовин(у нашому випадку свинцю), що виділяються в робочому приміщенні, до гранично допустимих концентрацій, визначається з наступного співвідношення:



де / - маса шкідливих речовин, які виділяються в робочому приміщенні в одиницю часу /; / - гранично допустима концентрація шкідливих речовин /; / - вміст шкідливих речовин у водухе, /.

Згідно СН 245-71, величина / не повинне перевищувати 30% ГДК.

Найбільшу складність представляє визначення величини /. Для цієї мети на основі натурних спостережень визначені середні питомі газо-паро-виділення для різних видів устаткування, облаштувань ущільнювачів, арматури і інших джерел виділень за різних експлуатаційних умов [11].

Гранично допустимі виділення шкідливих речовин G не повинні перевищувати:



де  - об'єм приміщення, /.





Об'єм V(м3/ч) свіжого повітря, що подається в приміщення, необхідного для видалення надмірного тепла розраховують по формулі:



де - надлишки тепла в приміщенні, приймається 90 Вт;c - масова питома теплоємність, рівна ;  - щільність повітря, яка поступає в приміщення, приймається ;  и температура повітря, яка віддаляється і подається(перепад температур), складає 11 .



Об'єм повітря / (м3/ч), що видаляється при розрахунку місцевої витяжної вентиляції приймається залежно від характеру шкідливих виділень, а також від швидкості і напряму їх руху :



де  - площа відкритого перерізу витяжного пристрою ;

 – швидкість руху всмоктуваного повітря в цьому отворі(приймається від 0,5 до 1,5 м/с залежно від токсичності і летючості газів і пари).



Кратність повітрообміну / показує скільки разів впродовж години повітря в приміщенні повинно бути замінено повністю:



де  - кратність повітрообміну ;  - об'єм повітря для вентиляції приміщення ;  - об'єм приміщення, .

Вкажемо, що в цеху працюють 70 працівників.





Основними заходами захисту від ЕМІ проектом передбачається екранування джерел випромінювання, екранування робочих місць. Екранування використовується для зниження інтенсивності ЕМІ на робочому місці або обгороджування небезпечних зон випромінювання [11].

Для захисту органів дихання від шкідливої газової пари(окрім токсичних) в концентраціях, що не перевищують ГДК більш ніж в 15 разів, рекомендується протигазовий респіратор РУ - 60М.

Для захисту рук від механічних ушкоджень і дії слабких розчинів кислот і лугів застосовують рукавиці з вовняних, бавовняних тканин з підсилювальними і захисними накладками або без них.

**ВИСНОВКИ**

При виконанні цієї дипломної роботи були розглянуті класифікація і принципи дії пристроїв на поверхневих акустичних хвилях. Досліджені фізичні принципи функціонування резонаторів і інших акустоелектронних пристроїв. Розглянуті основи роботи кварцевих резонаторів і їх основні характеристики. Розглянуті еквівалентна схема і характеристики одновходового і двовходового резонаторів на поверхневих акустичних хвилях. Проведено проектування і розрахунок одновходових і двовходових резонаторів на ПАХ. Запропонована технологія виготовлення резонаторів на ПАХ**.** Розроблені заходи з охорони праці і техніки безпеки.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ**

1. Речицкий В.И. Акустоэлектронные радиокомпоненты: элементы и устройства на поверхностных акустических волнах, М., Сов.радио, 1980.

2. Речицкий В.И. Радиоэлементы на поверхностных акустических волнах, М., Радио и связь 1984.

3. Каринский С. С. Устройства обработки сигналов на ультразвуковых поверхностных волнах. М., 1975;

4. Дьелесан Э., Руайе Д. Упругие волны в твердых телах: Применение для обработки сигналов. М., 1982;

5. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах. М., 1990;

6. Гуляев Ю. В., Мансфельд Г. Д. Резонаторы и фильтры сверхвысоких частот на объемных акустических волнах: современное состояние и тенденции развития // Радиотехника. 2003. № 8.

7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория упругости, 3 изд., М., 1985.

8.Викторов И. А. «Звуковые поверхностные волны в твердых телах», М.Радио и Связь, 1991.

9.Дмитриев В.М. Устройства интегральной электроники: Акустоэлектроника. Основы теории, расчета и проектирования / В.М. Дмитриев. ГУАП. СПб. 2006. 169 с.

10.Зеленка И. Пьезоэлектрические резонаторы на объемных и поверхностных акустических волнах / И.Зеленка. М.: Мир. 2011. 584 с.

11. Багдасарян А.С. Узкополосные фильтры на поверхностных акустических волнах в системах радиочастотной идентификации / А.С. Багдасарян, Ю.В. Гуляев, С.А. Никитов, С.А. Багдасарян, Т.В. Синицына, В.В. Бутенко, О.В. Машинин, В.В. Прапорщиков. Радиотехника и электроника. 2008. Т. 53, № 7. С. 887-896.

12. Методичные указанияя к самостоятельной работе по дисциплинам «Основы охраны труда», «БЖД и охрана труда», «Охрана труда в отрасли» по теме: «Законодательство об охране труда» (часть вторая) (для студентов всех специальностей) / Сост. М.А. Касьянов, В.О. Медяник, В.И. Сало, О.М. Гунченко, В.А. Малов – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2008. – 50 с

13. Научно-методичный комплекс дисциплины «Основы охраны труда» (НМКДКД). (Эл. вид.). Луганск. ВНУ им. В. Даля, кафедра «ОП та БЖД», 2006 г.

14. Методичные указанияя к самостоятельной работе по дисциплинам «Основы охраны труда», «БЖД и охрана труда», «Охрана труда в отрасли» по теме: «Законодательство об охране труда» (часть вторая) (для студентов всех специальностей) / Сост. М.А. Касьянов, В.О. Медяник, В.И. Сало, О.М. Гунченко, В.А. Малов – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2008. – 50 с