

АКУСТОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ

ACOUSTOELECTRONIC SENSORS

PACS: 43.60.Vx, 68.60.Bs

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2025.4.347719>

КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ АКУСТОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ

Я. І. Леніх, <https://orcid.org/0000-0001-6769-835X>

П. О. Снігур

Науково-дослідний інститут фізики
Одеського національного університету імені І. І. Мечникова
вул. Змієнка Всеволода, 2, м. Одеса, 65082, Україна
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

Анотація. В роботі аналізуються існуючі і пропонуються нові конструкторсько-технологічні рішення акустoeлектронних пристроїв на поверхневих акустичних хвилях. Відзначається, що при однакових базових елементах пристроїв, в завершальній частині КТР мають місце суттєві відмінності, які запропоновано розглядати як три групи конструкцій корпусування, орієнтовні на серійне (масове) виробництво. Виокремлюються пристрої спеціального призначення, які, як правило, виготовляються малими серіями, а їх конструктив визначається умовами використання в спецапаратурі.

Ключові слова: акустoeлектронні пристрої, поверхневі акустичні хвилі, конструкторсько-технологічні рішення, п'єзoeлектрики, зustrічно-штирьові перетворювачі

Вступ

На даний час значна кількість акустoeлектронних пристроїв на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) вийшли за межі лабораторних досліджень і випускаються серійно для застосування в радіoeлектронних виробках різного призначення – телевізори, смартфони, засоби зв'язку, телекомунікацій, автоматизоване виробництво тощо [1-6]. При цьому вони суттєво відрізняються не тільки електричними характеристиками, функціональним призначенням, а і конструкторсько-технологічними рішеннями (КТР). Різноманіття КТР визна-

чається як самими пристроями на ПАХ, які залежать від частотно-часових і фазових параметрів, що реалізуються з використанням різних п'єзoeлектричних матеріалів (класи монокристалів, п'єзокерамік, плівкових структур тощо), так і вимогами, чи особливостями радіoeлектронної апаратури – установочні і масогабаритні параметри, умови експлуатації – пожежо- та радіобезпека тощо.

Номенклатура розроблюваних акустoeлектронних пристроїв на ПАХ стрімко зростає внаслідок великої ефективності розв'язання з їх допомогою задач мікромініатюризації радіо-

електронної апаратури (РЕА), засобів зв'язку і комунікацій. Разом з цим виникають задачі відповідності КТР пристроїв на ПАХ розрахунковим даним.

Конструкторсько-технологічні рішення

Виходячи з вище означеного сформулюється певною мірою умовних два основних підходи, скоріше напрями, КТР акустoeлектронних пристроїв на ПАХ. Один з них – завершене КТР пристрою у вигляді окремого корпусованого виробу з відповідними виводами для включення в блоки РЕА. Другий – як навісні елементи у складі гібридних інтегральних схем ГІС товсто- чи тонкоплівкового виконання.

Розглянемо їх особливості, які мають місце на завершальній стадії розробки і виготовлення.

Не дивлячись на відмінності пристроїв за своїм призначенням, в загальному випадку вони на базовому рівні складаються зі спільних елементів: п'єзоелектричного звукопровода, зустрічно-штирьових перетворювачів (ЗШП), корпусних елементів і схем узгодження ЗШП з елементами радіотракту РЕА. При цьому пристрої можуть не суттєво відрізнятися п'єзоелектричним матеріалом звукопровода.

До корпусів пристроїв на ПАХ ставляться вимоги по захисту звукопровода з ЗШП від механічних і кліматичних впливів, екрануванню від електромагнітної наводки (сумісності окремих елементів).

Використання системи автоматизованого проєктування пристроїв на ПАХ не дозволяє врахувати вплив конструкції корпусу пристрою на його характеристики. Це майже очевидно. Тому питання корпусування важливе не тільки з точки зору захисту від зовнішніх впливів і механічних пошкоджень, а і досягнення заданих електричних характеристик експериментальним шляхом.

В той же час конструкція корпусу, в принципі, обмежена вимогами до конкретного пристрою і досвідом, навіть і «смаком» розробника.

Оскільки акустoeлектронні пристрої охоплюють широкий діапазон робочих частот – ви-

сокі і надвисокі частоти (ВЧ і НВЧ), то питання електромагнітних (ЕМ) наводок також є досить важливим.

Потужність ЕМ наводок в пристроях на ПАХ визначається як потужність, що випромінюється від одного ЗШП до потужності другого і задається відносно потужності вихідного акустичного сигналу.

Як правило, цю величину називають рівнем подавлення електромагнітних наводок, який визначається як відношення потужності затриманого сигналу до потужності незатриманого. При цьому мається на увазі потужність, яка розсіюється на навантаженні.

Якщо, до прикладу, використовується несиметрична схема узгодження ЗШП з радіотрактом, що частіше за все буває, то ЗШП генерують і приймають «критичні» ЕМ хвилі, які поширюються у хвилеводі з діелектричним заповненням.

При малій відстані між ЗШП ці хвилі сприяють появі значних ЕМ наводок. Якщо ширина порожнини корпусу набагато менше довжини хвилі на робочій частоті, що має місце і в нашому випадку, то справедливе співвідношення

$$(\lambda_c / \lambda) = 1, \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі робочої частоти в середині корпусу;

λ_c – довжина його критичної хвилі.

Тоді відносне згасання (розв'язка) міжлюбими двома точками в середині корпусу дорівнює

$$\alpha = k(l / a), \quad (2)$$

де: l – відстань між ЗШП;

a – відстань між ЗШП і кришкою корпусу;

k – коефіцієнт, залежний від властивостей діелектричного заповнення корпусу.

Таким чином, чим більша відстань l між ЗШП і менше a , тим менше рівень ЕМ наводок. Для більшого ослаблення ЕМ зв'язку між ЗШП необхідно максимально наближати внутрішню поверхню корпусу до площини зву-

копровода. Створювана при цьому додаткова електрична ємність ЗШП близька до мінімальної і, в загальному випадку, легко компенсується схемою узгодження.

Справедливості ради слід зауважити, що для деяких пристроїв на ПАХ, в залежності від величини робочої частоти, електрофізичних параметрів (ЕФП) звукопровода, в першу

чергу від його діелектричної проникності ϵ , габаритних розмірів звукопровода в якості корпусу пристрою на ПАХ може бути використаний стандартний металоскляний корпус транзистора типу ТО-8, або аналогічний із ковара зі штирьовими виводами типу 151.15-4, 153.15, 155.15, 157.29, які використовуються переважно для ГІС (рис. 1.).



Рис. 1. Металоскляні корпуси. а) тип 151.15-4, б) тип ТО-8.

Однак такі КТР мають низку недоліків: складність конструкції і технології монтажу, великі габаритні розміри, недостатню ефективність, ЕМ наводки, висока вартість.

У зв'язку з цим запропоновано використання для пристроїв на ПАХ пластмасових корпусів (рис. 2).

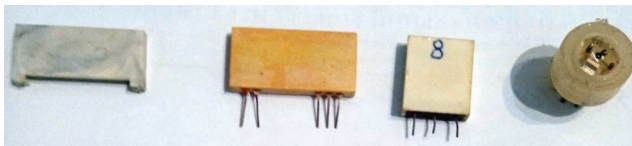


Рис. 2. Пластмасові корпуси.

У цьому випадку суттєво спрощується КТР пристрою в цілому. Проблема зниження електричних наводок вирішується простою металізацією внутрішньої частини корпусу. В ряді випадків, залежно від робочої частоти пристрою достатньо металізувати лише одну поверхню корпусу зі сторони поверхні звукопровода з ЗШП.

Останнім часом все більш помітною стає тенденція застосування для корпусування виробів електронної техніки різних синтетичних матеріалів: пластмаси, еластомерів, епоксидних смол, компаундів тощо. При полімеризації вони одночасно з кріпленням забезпечують герметичність збірки, термостійкість, високі

захисні властивості, технологічність і низьку вартість в умовах серійного виробництва.

Ці тенденції стимулювали нас розробити КТР для корпусування пристроїв на ПАХ з використанням компаундів, які демонструються на рис. 3 [7]. В розробленій конструкції звукопровід з ЗШП встановлюється на металізованій платі з контактними площинками для електричного з'єднання контактних площинок ЗШП і виводів. Для електричного з'єднання контактних площинок і виводів може використовуватись контактол типу АУК 0.23.005 ТУ з питомим опором ~ 4 Ом/квадрат, або мікрозварка. В якості плати може використовуватись любий дешевий матеріал: фольгований стеклотекстоліт або керамічна підкладка, напр. 22 ХС, чи сіталл СТ-50-1 необхідних розмірів. Покриття конструкції може здійснюватись або методом обволокування, або заливкою з застосуванням спеціальної оснастки. При цьому компаунд типу К-5 (ОСТ ЧГ0.029.026) забезпечує герметизацію пристрою на ПАХ без додаткових технологічних операцій, механічну жорсткість конструкції, пониження паразитних акустичних сигналів від країв неробочої частини звукопровода. Такі КТР, до того ж суттєво знижують вартість пристрою, більш технологічні ніж корпусні, дозволяють автоматизувати низку технологічних операцій виготовлення

і подальшу установку на комутаційну плату, наприклад, методом поверхневого монтажу.



Рис. 3. Пристрої на ПАХ корпусовані компаундом.

Як зазначалося вище, з метою підвищення інтеграції електронних виробів в ряді випадків функціональні пристрої будуються у вигляді гібридних тонко- чи товстоплівкових інтегральних схем, в яких окремі елементи, переважно пасивні, виготовляються у плівковому варіанті (провідники, резистори, індуктивності, ємності), а активні елементи (транзистори, мікросхеми) як навісний елемент. У такому випадку пристрої на ПАХ відповідно до вимог ГІС повинні мати КТР, які задовольняють певні особливості КТР ГІС в цілому.

Виходячи з вище вказаного нами запропоновано і розроблено три варіанти КТР пристроїв на ПАХ, адаптованих до КТР ГІС в комплексі.

В першому з них (рис. 4а) пристрій на ПАХ в корпусі використовується як навісний корпусований елемент, який встановлюється приклеюванням до підкладки ГІС. При цьому схема узгодження може бути встановлена як в корпусі пристрою, так і бути елементом ГІС у вигляді плівкової котушки індуктивності або навісним елементом. Такий варіант КТР доцільно використовувати, як показали експерименти, у випадку коли масо-габаритні параметри ПАХ пристрою і ГІС співвідносяться як 1:3. Такі КТР можна використовувати і при РЕА на друкованих платах.

В другому варіанті (рис. 4б) ГІС і ПАХ-пристрій мають спільний корпус. Звукопровід ЗШП встановлюється на металізовану ділянку ГІС. Електричні з'єднання ЗШП зі схемою виконуються дровими або полосковими виводами методом мікрозварки або пайки. Це призводить до певного ускладнення технології виготовлення пристрою на ПАХ, але робить

єдиною технологією монтажу і збірки пристрою на ПАХ і ГІС, а також дозволяє автоматизувати цей процес, що виправдовує певне ускладнення КТР.

На рис. 4в показано третій варіант КТР з частковим корпусуванням. Звукопровід пристрою на ПАХ встановлюється (приклеюється) на підкладку гібридної ГІС як показано в попередньому варіанті. Потім він захищається металевою кришкою, яка кріпиться до металізованої частини підкладки. При такій конструкції забезпечується краще екранування ЗШП, ніж у варіанті з загальним корпусуванням і є більш оптимальним при високих (понад 100 МГц) робочих частотах пристрою на ПАХ. Запропоновані і апробовані КТР відповідають вимогам високої степені інтеграції, надійності і автоматизації при виробництві.

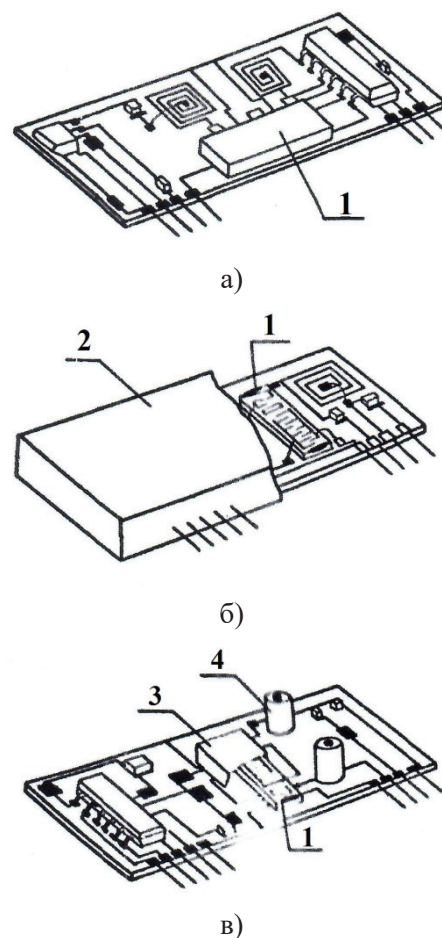


Рис. 4. Конструкторсько-технологічні рішення пристроїв на ПАХ в складі ГІС (мікробірок). 1- пристрій на ПАХ; 2-корпус мікробірки; 3 – корпус пристрою на ПАХ; 4- узгоджуючі котушка індуктивності.

Описані вище три типи конструкторсько-технологічних рішень орієнтовані на відповідні серійні виробництва. Однак повніша реалізація великих потенційних можливостей у вирішенні проблем мікромініатюризації РЕА потребує нерідко прийняття конструктивних рішень, які, головним чином, у завершальній стадії корпусування пристроїв на ПАХ є специфічними і оригінальними. Саме такими є пристрої для спецапаратури, які не орієнтовані на масове виробництво і їх вартість не є визначальною [8-9].

Нами створено, зокрема, датчик на ПАХ з переналагоджуваною частотою в широкому діапазоні, який є затребуваним в комунікаційних системах спеціального призначення, де це дуже важливо в даний час. Розроблено, стадія ТRL-3 і частково ТRL-4, функціонально-інтегровані датчики лінійних і кутових переміщень на ПАХ інтелектуалізованого рівня. Такі датчики вкрай необхідні для роботизованих платформ з дистанційним управлінням спеціального призначення. Деякі з прикладів таких корпусів демонструються на рис. 5

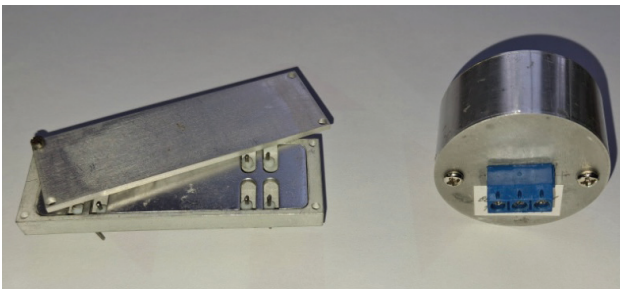


Рис. 5. КТР пристроїв на ПАХ для спецапаратури.

Висновки

1. Конструкторсько-технологічні рішення пристроїв на ПАХ, що є одним з важливих і перспективних напрямів функціональної електроніки мають суттєві особливості, що базуються на специфіці фізичних принципів їх роботи. Базові елементи пристроїв на ПАХ: звукопровід, системи ЗШП, схеми узгодження з радіоканалом РЕА є практично уніфіковані в частині КТР і для них можуть використовуватись типові технологічні операції, добре

відпрацьовані в технології тонкоплівкових ГІС і інтегральних мікросхем в більшості випадків некритичного рівня.

2. КТР пристроїв на ПАХ в цілому умовно можна поділити на три типи: корпусні в металоскляних корпусах, пластмасові і з використанням компаундів.

3. Окремо стоять КТР спеціального призначення, які за винятком базової частини, можуть і, як правило, мають специфічні і оригінальні рішення, задані специфікою РЕА де вони будуть використовуватись.

Список використаної літератури

[1]. Morgan, D. Ustroystva obrabotki signalov na poverkhnostnykh akusticheskikh volnakh // Per. s angl. S. A. Zhguna; Per. s angl. pod red. S. I. Baskakova. – М.: Radio i svyaz, 1990, 416 s. [in Russian].

[2]. Lepikh Ya. I., Hordiienko Yu. O., Dzyadevych S. V., Druzhynin A. O., Yevtukh A. A., Lienkov S. V., Melnyk V. H., Romanov V. O. Stvorennia mikroelektronnykh datchyky novoho pokolinnia dlia intelektualnykh system // Monohraf. za redakts. Ya. I. Lepikha. Odesa: 2010, Astroprint, 289 s. [in Ukrainian].

[3]. Machulin V., Lytovchenko V., Stronskyi O., Lepikh Ya., Smyntyna V. Sensoryka – perspektyvnyi napriam rozvytku suchasnykh intelektualnykh informatsiynykh system // Visnyk NAN Ukrainy, 2010, №11, S. 27-29. [in Ukrainian].

[4]. Lepikh Ya. I., Hordiienko Yu. O., Dzyadevych S. V., Druzhynin A. O., Yevtukh A. A., Lienkov S. V., Melnyk V. H., Protsenko V. O., Romanov V. O. Mikroelektronni datchyky novoho pokolinnia dlia intelektualnykh system. Osnovni tekhnichni kharakterystyky // Dovidnyk. Odesa: Astroprint, 2011, 92 s. [in Ukrainian].

[5]. Lepikh Ya. I., Lienkov S. V., Melnyk V. H., Romanov V. O., Protsenko V. O. Intelektualni vymyruvalni kanaly sensorykh system // Nauka i oborona. 2011. № 2, S. 36-43. [in Ukrainian].

[6]. Ya. I. Lepikh, A. A. Yevtukh, V. O. Romanov. Suchasni mikroelektronni datchyky dlia intelektualnykh system // Visnyk NAN Ukrainy,

2013, № 4. – S. 40-49. <https://doi.org/10.15407/visn2013.04.040> [in Ukrainian].

[7]. Lepikh Ya. I., Snigur P.O. Akustoelektronnyi prystrii na poverkhnevykh akustychnykh khvyliakh // Patent na korysnu model № 125281, 10.05.2018, Biul. № 9. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/677461/> [in Ukrainian].

[8]. Lepikh Ya. I., Lienkov S. V., Melnyk V. H., Dzyadevych S. V. Mikroelektronni datchyky dlia informatsiynykh (intelektualnykh) system

spetsialnoho pryznachennia // Nauka i oborona. 2010, №3, S. 54-55. [in Ukrainian].

[9]. Ya. I. Lepikh. VHF radio path with intermediate frequency filter and frequency detector on surface acoustic waves // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. 2023, Vol. 20, No. 2., P. 31-35, DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2023.2.282729>. [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 16.11.2025 р.

PACS: 43.60.Vx, 68.60.Bs

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2025.4.347719>

DESIGN AND TECHNOLOGY SOLUTIONS FOR ACOUSTOELECTRONIC DEVICES FOR PHYSICAL QUANTITIES BASED ON SURFACE ACOUSTIC WAVES

Ya. I. Lepikh, P. O. Snigur

Research Institute of Physics of Odesa I. I. Mechnikov National University
2 Vsevoloda Zmiiienka St, Odesa, 65082, Ukraine
e-mail: ndl_lepikh@onu.edu.ua

Abstract. The paper analyzes existing and proposes new design and technology solutions for acoustoelectronic devices based on surface acoustic waves. It is noted that while the basic elements of the devices are identical, the final part of the DTS features significant differences, which are proposed to be considered as three groups of packaging designs, oriented towards serial (mass) production. Special-purpose devices are singled out; these are typically manufactured in small batches, and their design is determined by the conditions of use in specialized equipment.

Keywords: acoustoelectronic devices, surface acoustic waves, design and technology solutions, piezoelectrics, interdigital transducers