

П'єзоелектричні плівкові хвилеводи поверхневих акустичних хвиль

М.Ф. Жовнір*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
вул. Політехнічна, 16/9, 03056 Київ-56, Україна,

(Одержано 02.06.2016, у відредагованій формі – 22.11.2016, опубліковано online 29.11.2016)

Приведено результати математичного моделювання п'єзоелектричних плівкових хвилевідних структур поверхневих акустичних хвиль (ПАХ) на базі плівки ZnO на підкладці із плавленого кварцу. Отримані аналітичні співвідношення та результати чисельних розрахунків дозволяють визначати конструктивні параметри хвилевідних структур для забезпечення одномодового режиму поширення ПАХ. Результати експериментальних досліджень амплітуди та фази ПАХ у хвилевідних структурах, проведених на лазерній установці оптичного зондування, підтверджують теоретичні розрахунки.

Ключові слова: Поверхневі акустичні хвилі (ПАХ), Хвилевід та концентратор ПАХ, Дисперсійне рівняння, Дисперсія фазової швидкості хвилі, Оптичне зондування.

DOI: 10.21272/jnep.8(4(1)).04007

PACS numbers: 77.65.Dq, 64.60.Ej

1. ВСТУП

Хвилеводи поверхневих акустичних хвиль (ПАХ) дозволяють більш раціонально використовувати площу підкладки, значно підвищувати густину акустичної потужності, створювати фільтри та лінії затримки на тривалий час, пристрої згортки радіоімпульсів, відгалужувачі, подільники потужності, циркулятори, сенсори фізичних та механічних величин [1-6].

П'єзоелектричні звукопроводи та хвилеводи, в яких поширення ПАХ супроводжується біжучим електричним полем, можуть знайти застосування у вимірювальних перетворювачах (ВП) лінійних і кутових переміщень, кутової швидкості [3-6]. Важливим завданням при проектуванні таких ВП є оптимізація конструктивних параметрів модуля на ПАХ для досягнення ефективного збудження, фокусування і поширення хвилі в одномодовому режимі з малими втратами.

Завданням досліджень є розробка математичної моделі акустоелектричного модуля на ПАХ, яка дозволила б пов'язати між собою конструктивні параметри п'єзоелектричного хвилеводу, концентратора та зустрічно-штирових перетворювачів (ЗШП) ПАХ для забезпечення одномодового режиму поширення хвилі. Проведення експериментальних випробувань макетів прямолінійних та кільцевих п'єзоелектричних плівкових хвилеводів на базі плівки ZnO на підкладці із плавленого кварцу, визначення профілю та коефіцієнта згасання ПАХ.

2. ТИПИ ХВИЛЕВІДНИХ СТРУКТУР ПАХ

ПАХ-хвилеводи представляють собою геометричні структури, що обмежують хвилю в поперечному напрямку на поверхні підкладки. На рис. 1 представлено основні три типи хвилеводів, які принципово можуть бути використані при розробці пристроїв на ПАХ: топографічні хвилеводи (а, б); хвилеводи з локальною зміною параметрів підкладки (в); плівкові хвилеводи (г-ж) [1].

Гребінкові топографічні хвилеводи отримують, як

правило, вибіркоким травленням. В гребінковому хвилеводі (рис.1, а) поширюється антисиметрична (згинальна) мода, якій властиві сильна локалізація та значне уповільнення хвилі, але ця мода має сильну дисперсію фазової швидкості, що необхідно враховувати при створенні пристроїв, що повинні функціонувати у визначеному частотному діапазоні. У цьому ж хвилеводі може збуджуватися також симетрична (псевдорелеєвська) мода, яка забезпечує високу локалізацію хвилі, але має менше уповільнення хвилі. У той же час, ця мода має меншу дисперсію фазової швидкості хвилі у широкій смузі частот.

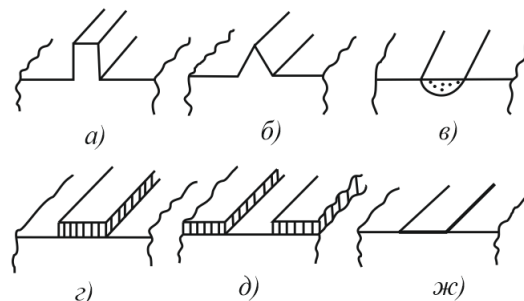


Рис. 1 – Типи ПАХ-хвилеводів

У клиноподібному топографічному хвилеводі (рис.1, б) спостерігається сильна локалізація акустичного поля, високе уповільнення та низька дисперсія фазової швидкості. Фазова швидкість та можливі моди хвильового поширення ПАХ сильно залежать від кута при вершині клина. При кутах, що перевищують 45° поширюється основна уповільнена мода, яка майже не має дисперсії. Однак, якщо порушується вершина, то виникає значне відбиття та дисперсія фазової швидкості хвилі.

Дифузійні хвилеводи (рис. 1, в) створюються локальною зміною властивостей матеріалу підкладки, наприклад, дифузиею, іонною імплантацією тощо. Такі хвилеводи мають слабку локалізацію акустичного поля та мале уповільнення хвилі. Однак, такі хвилеводи мають низьку дисперсію фазової швидко-

*zhovnir101@gmail.com

сті та малі втрати на поширення.

У центральних областях плівкових хвилеводів (рис. 1, г-ж) фазові швидкості менші, ніж на зовнішніх областях, що призводить до локалізації акустичного поля. У випадку плівкового хвилеводу (рис. 1, г) плівка напилється із матеріалу, на поверхні якого акустична хвиля мала би меншу швидкість у порівнянні зі швидкістю на підкладці. У випадку хвилеводу (рис. 1, д) підкладка повинна забезпечувати меншу фазову швидкість хвилі, ніж на бічних поверхностях, що призводить до локалізації акустичного поля у центральній області структури.

Хвилевід (рис. 1, ж) створюється напилюванням на поверхню п'єзоелектричної підкладки тонкого металевого шару, що закорочує електричне поле, яке виникає у результаті деформацій на поверхні п'єзоелектрика, і призводить до уповільнення ПАХ в області плівки.

3. МОДЕЛЮВАННЯ ПЛІВКОВОГО ПАХ-МОДУЛЯ

Для створення вимірювальних перетворювачів лінійних, кутових переміщень та кутової швидкості з приймачем ПАХ, що рухається в електричному полі хвилі, доцільно застосувати плівковий хвилевід (рис. 2) на базі п'єзоелектричної плівки ZnO на підкладці із плавленого кварцу SiO_{2nl}, технологічний процес виготовлення якого достатньо відпрацьований і який дозволяє розміщувати на одній підкладці як акустоелектричний модуль, так і електронні блоки, необхідні для створення та оброблення інформаційних сигналів [5, 6].

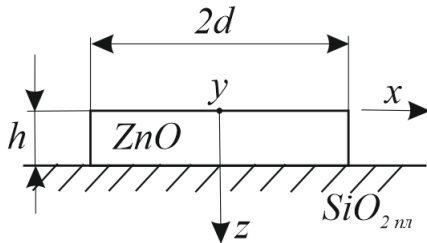


Рис. 2 – Поперечний переріз ПАХ-хвилеводу

Направлене поширення ПАХ в плівковому хвилеводі, на відміну від розповсюдження в необмеженому середовищі, характеризується дисперсією фазової швидкості хвилі, що виникає в результаті впливу багаторазових відбиттів хвилі на границях хвилеводу. При цьому може спостерігатися багатомодовий процес поширення ПАХ, при якому кожна мода має свою фазову швидкість та критичну частоту. Це буде призводити до виникнення додаткових фазових зсувів у вихідному сигналі ПАХ-приймача, що внесе похибку у результати вимірювання. Тому, розробка та дослідження математичних моделей, що дозволяють би визначати конструктивні параметри хвилевідних структур для забезпечення одномодового режиму, є важливим завданням при створенні пристроїв на ПАХ.

Дисперсійне рівняння [7, 8] для ПАХ-хвилеводу, що пов'язує геометричні розміри хвилеводу, параметри плівки, частоту (довжину хвилі) поверхневої акустичної хвилі, можна представити у вигляді:

$$\frac{2\pi hG}{\lambda V_S} \sqrt{V^2 - V_S^2} = m \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{V_S}{V_R} \sqrt{\frac{V^2 - V_R^2}{V^2 - V_S^2}}, \quad (1)$$

де V – фазова швидкість ПАХ у хвилеводі; V_R – швидкість релеївських хвиль на підкладці; V_S – швидкість ПАХ на необмеженій плівковій структурі; $G = d/h$; $2d$ – ширина та h – товщина плівкового покриття; λ – довжина ПАХ; $m = 0, 1, 2, \dots$ – номер моди хвилеводу ПАХ.

На рис.3 зображені профілі нижчих мод хвилеводу $A(x)$ та дисперсійні характеристики $V(h/\lambda)$.

Дисперсійне рівняння (1) при $m = 0$ описує поширення найнижчої симетричної (фундаментальної) моди в плівковому хвилеводі шириною $2d$ і висотою h .

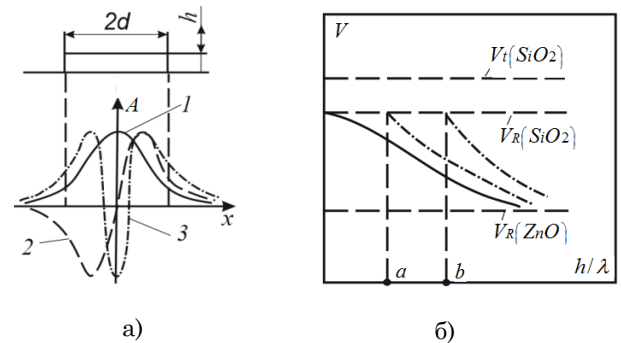


Рис. 3 – Профілі механічних зміщень (а) та дисперсійних характеристик (б) для перших трьох мод ПАХ-хвилеводу

Наступними типами коливань у ПАХ-хвилеводі є вищі моди, які можуть поширюватися при $h/\lambda \geq a$ та $h/\lambda \geq b$ і т.д. В інтервалі значень $h/\lambda = 0 \dots a$ відбувається одномодовий режим поширення поверхневих акустичних хвиль у вигляді фундаментальної моди. Фазова швидкість коливань нижчої антисиметричної моди не може перевищувати швидкість релеївських хвиль на підкладці, тому що в протилежному випадку ПАХ переходить в об'ємну хвилю і пружна енергія більше не концентрується у поверхні. Так, наприклад, обравши частоту генератора f при відповідній V_S , можна змінювати (в розумних межах) товщину і ширину хвилевідної плівки. Значення d і h обмежені практичними і технологічними міркуваннями: надмірне збільшення ширини хвилеводу при незмінній частоті призведе до багатомодовості на все більш низьких частотах; зменшення ширини ускладнює проблему узгодження хвилеводу з джерелом хвиль, потребує зменшення апертури ЗПП і знижує ефективність збудження і приймання ПАХ. Аналогічно, збільшення товщини хвилевідної плівки h хоч і бажано з точки зору ефективності перетворень, але обмежено можливостями технології, зокрема, через злушення плівки та слабкої адгезії. Зменшення товщини h негативно позначається на хвилевідному ефекті, знижує концентрацію пружної енергії у плівці. Для багатьох типів хвилеводів, до яких в першу чергу відносяться і плівкові, ширину хвилевідного тракту вибирають близько $(2,0 \dots 3,5)\lambda$.

Для моделювання хвилеводу і концентратора ПАХ з метою оптимізації конструктивних параметрів

була використана експериментальна залежність фазової швидкості ПАХ в необмеженій плівковій структурі ZnO-SiO_{2nl} [9], апроксимацією якої отримана аналітична залежність фазової швидкості ПАХ V_S у вигляді:

$$V_S = V_R \exp[-1,412h/\lambda + 1,811(h/\lambda)^2], \quad (2)$$

де V_R = 3400 м/с – швидкість релеївських хвиль на підкладці SiO_{2nl}.

Ця залежність представлена на рис. 4 (графік 1).

Це дозволило представити дисперсійне рівняння для ПАХ-хвильоводу (1) у вигляді:

$$2\pi G \frac{h}{\lambda} \sqrt{\beta^2 - 1} = m \frac{\pi}{2} + \arctg \sqrt{\frac{V_R^2 - \beta^2 V_S^2}{V_R^2 (\beta^2 - 1)}}, \quad (3)$$

де $\beta = V/V_S$.

Для кожного значення h/λ знаходиться із рівняння (2) швидкість ПАХ на необмеженій плівковій структурі V_S, яка в подальшому використовується для знаходження коренів β трансцендентного рівняння (3) при заданих значеннях G і λ , що дозволяє отримати дисперсійні залежності фазової швидкості ПАХ для найнижчої симетричної (фундаментальної) моди при m = 0 та вищих мод при m = 1, 2...

На рис. 4 зображено результати теоретичних розрахунків визначення швидкості ПАХ у хвильоводі для симетричної моди (криві 2...5) і першої антисиметричної моди (криві 6...9) в залежності від нормованої товщини плівки ZnO h/λ при різних значеннях нормованої ширини хвильоводу $G = d/h$.

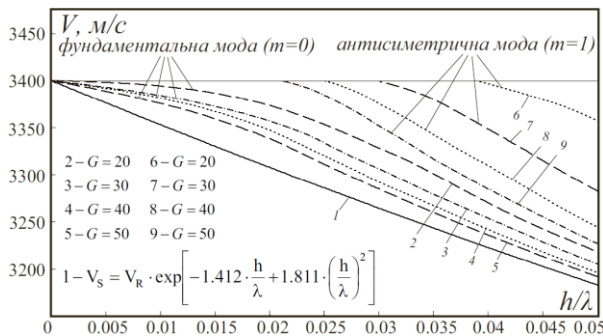


Рис. 4 – Залежності фазової швидкості ПАХ у хвильоводі від нормованої товщини плівки ZnO

По мірі збільшення G дисперсійна характеристика фазової швидкості ПАХ у хвильоводі приближається до характеристики фазової швидкості хвилі на безмежній плівковій структурі (крива 1). Однак, при цьому зменшується інтервал можливих значень нормованої товщини плівки, при яких буде забезпечуватися одномодовий режим поширення ПАХ у хвильоводі.

Приймаючи для першої антисиметричної моди (m=1) граничне значення фазової швидкості ПАХ $V = V_R$, із рівняння (3) отримуємо умови для забезпечення поширення у хвильоводі фундаментальної моди поверхневих акустичних хвиль:

$$G_{кр} \leq \left\{ \frac{4h}{\lambda} \sqrt{\exp\left[2,824\left(\frac{h}{\lambda}\right) - 3,622\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2\right] - 1} \right\}^{-1}; \quad (4)$$

$$2d_{кр} \leq \lambda \left\{ 2 \sqrt{\exp\left[2,824\left(\frac{h}{\lambda}\right) - 3,622\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2\right] - 1} \right\}^{-1}. \quad (5)$$

які представлено на рис. 5 та 6.

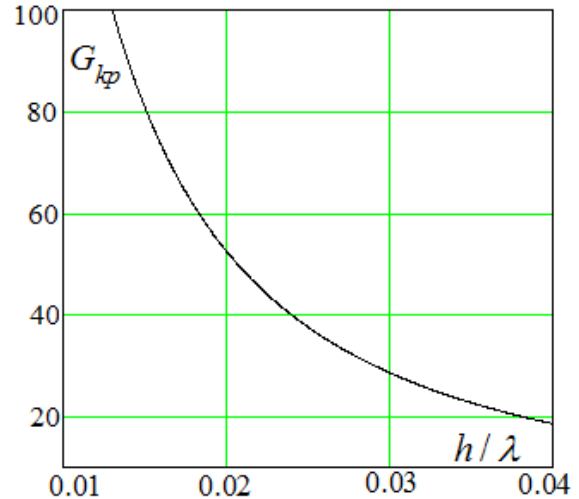


Рис. 5 – Залежність критичного значення параметра G_{кр} від нормованої товщини плівки ZnO

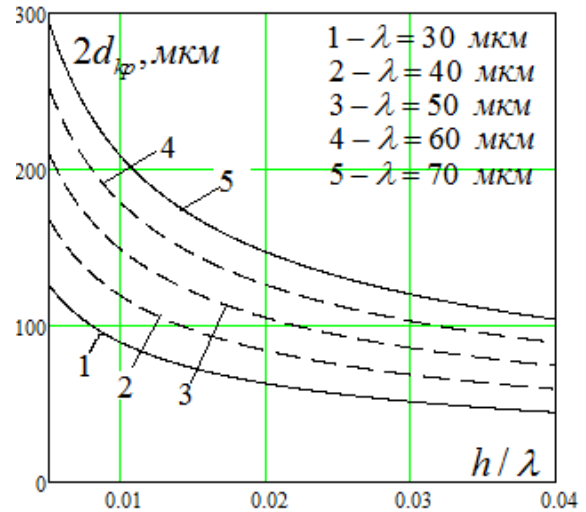


Рис. 6 – Залежності критичних значень ширини хвильоводу 2d_{кр} від нормованої товщини плівки ZnO

Із рівняння (3) також отримуємо співвідношення для критичних значень довжини ПАХ та частоти:

$$\lambda_{кр} \geq 4Gh \sqrt{\exp\left[2,824\left(\frac{h}{\lambda}\right) - 3,622\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2\right] - 1} \quad (6)$$

$$f_{кр} \leq V_R \left\{ 4Gh \sqrt{\exp\left[2,824\left(\frac{h}{\lambda}\right) - 3,622\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2\right] - 1} \right\}^{-1}, \quad (7)$$

які для G = 50 представлено на рис. 7 та 8.

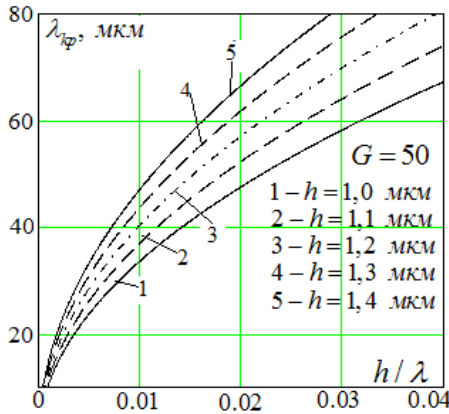


Рис. 7 – Залежності критичних значень довжини хвилі λ_{кр} від нормованої товщини плівки ZnO

Із співвідношень (4)...(7) та рис. 5...8 випливає, що зменшення параметра G дозволяє розширювати область значень h/λ, при яких забезпечується одномодовий режим поширення ПАХ. При цьому вища мода коливань виникає на більш високих частотах.

При проектуванні вимірювальних перетворювачів на основі хвилевідних ПАХ-структур необхідно також забезпечити ефективне збудження поверхневих акустичних хвиль у хвилеводі, для чого були досліджені методи передачі максимальної акустичної потужності від джерела у хвилевід і від хвилеводу у навантаження. Задачу узгодження апертури ЗШП з апертурою хвилеводу в пристроях на поверхневих акустичних хвилях виконують концентратори ПАХ: малоапертурний ЗШП; рупорний концентратор; ЗШП концентричної форми; призматичний концентратор; багатосмушковий відгалужувач [2].

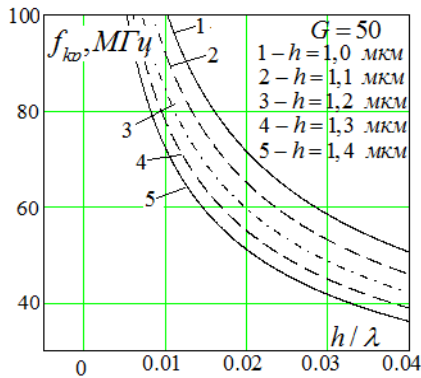


Рис. 8 – Залежності критичних значень частоти хвилі f_{кр} від нормованої товщини плівки ZnO

При створенні лінійних, а особливо кутових переміщень та кутової швидкості, в широкому динамічному діапазоні необхідно забезпечувати надійний захист від прямого проходження сигналу від вхідного ЗШП на рухомий приймач ПАХ. Тому, у перетворювачах з використанням хвилеводів на базі плівкової структури ZnO-SiO_{2мл.} доцільно застосувати рупорний концентратор ПАХ (рис. 9), який є продовженням хвилеводу і виготовляється з ним в одному технологічному процесі [10].

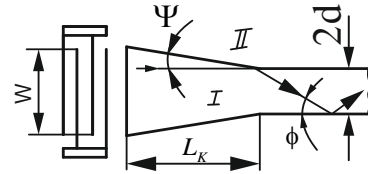


Рис. 9 – Геометрія рупорного концентратора ПАХ

Для розрахунку рупорного концентратора застосовується оптична аналогія. Акустична хвиля, що падає на стінку рупора під кутом Ψ, після відбиття попадає у хвилевід під кутом φ. Критичний кут повного внутрішнього відбиття акустичного пучка визначається співвідношенням [2, 10]:

$$\phi_{кр} = \arccos(V/V_{II}), \tag{8}$$

де V та V_{II} – відповідно фазові швидкості ПАХ в області хвилеводу і підкладки.

При φ ≤ φ_{кр} відбувається повне внутрішнє відбиття пучка у хвилеводі. Із геометрії випливає, що φ = 2ψ, то під кутами φ < φ_{кр} у хвилевід попадуть лише промені, які здійснюють лише одне відбиття у рупорі.

Довжина рупорного концентратора L_к визначається із його геометрії [2]:

$$L_k = 0,5(W - 2d)ctg\psi. \tag{9}$$

Використовуючи співвідношення (8) та розраховані залежності (рис. 3) для фазової швидкості у хвилеводі, можна отримати залежність φ_{кр} від нормованої товщини плівки ZnO h/λ, що у подальшому дозволяє отримати, використовуючи формулу (9), критичну апертуру ЗШП від довжини концентратора L_к та параметрів хвилеводу G та h:

$$W_{кр} = 2L_k tg(0,5\phi_{кр}) + 2hG \tag{10}$$

На рис. 10 і 11 представлено результати розрахунків критичних значень кута φ_{кр} та апертури ЗШП W_{кр} від нормованої товщини плівки h/λ при фазовій швидкості ПАХ на необмеженій поверхні підкладки SiO_{2мл.} V_{II} = 3400 м/с та залежностей для фазової швидкості у хвилеводі V, представлених на рис. 4 (криві 2...5).

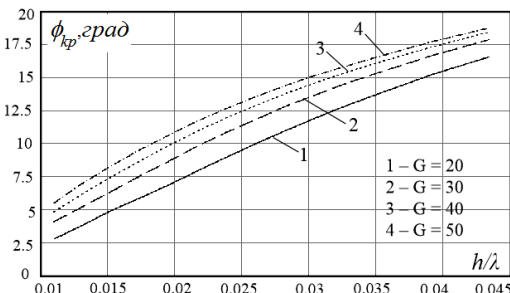


Рис. 10 – Залежності критичного кута φ_{кр} від нормованої товщини плівки ZnO

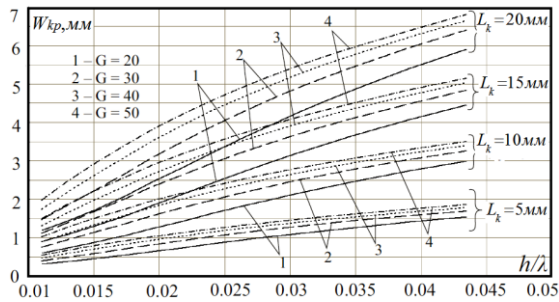


Рис. 11 – Залежності критичного значення апертури ЗШП $W_{кр}$ від нормованої товщини плівки ZnO

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Досліджені плівкові хвилеводи та концентратори поверхневих акустичних хвиль на основі структури плавлений кварц – п'єзоелектрична плівка окису цинку (ZnO–SiO_{2,nл.}). Експериментальні результати отримані з використанням лазерної установки оптичного зондування гомодинного типу, в якій застосована модуляція світлової хвилі, обумовлена періодичною зміною нормальної компоненти зміщення ПАХ (коли діаметр світлового пучка лазера менший за половину довжини ПАХ) [11], яка дозволяє досліджувати розподілення амплітуди і фази ПАХ, що поширюється по поверхні хвилеводу.

Збудження хвилеводів на частотах $f = (69...72)$ МГц ($\lambda \approx (46,5...48,5)$ мкм) здійснювалося за допомогою малоапертурного зустрічно-потиурного перетворювача (ЗШП), фокусуючого ЗШП і рупорного концентратора.

За допомогою малоапертурного ЗШП, апертура якого $W = 0,46$ мм, збуджувався хвилевід з шириною $2d = 100$ мкм при товщині плівки ZnO $h = (1,0...1,2)$ мкм.

Характеристики фокусуючого ЗШП залежать від радіуса його кривизни R_k . Розрахунок ширини хвильового пучка у фокусі знаходився за формулою [2]: $d_n = 2\lambda R_k / W$, де W – апертура ЗШП, λ – довжина ПАХ. Експериментально досліджено хвилевідний модуль з шириною хвилеводу $2d = 100$ мкм, фокусуючим ЗШП з апертурою $W = 2$ мм та радіусом кривизни $R_k \approx 2,17$ мм при товщині плівки ZnO $h = (1,0...1,2)$ мкм.

Рупорний концентратор ПАХ експериментально досліджувався з прямолінійним та кільцевим хвилеводом з радіусом $R = 15$ мм. Критичні значення кута повного внутрішнього відбиття акустичного пучка $\phi_{кр}$ і апертури ЗШП $W_{кр}$ знаходилися за співвідношеннями (8) та (10).

Експериментально досліджено ряд прямолінійних і кільцевих хвилеводів шириною $2d = (100...150)$ мкм і товщиною п'єзоелектричної плівки ZnO $h = (1,0...1,4)$ мкм.

На рис. 12 зображено експериментальний зразок кільцевого хвилевода з рупорними концентраторами ПАХ.



Рис. 12 – Експериментальний зразок кільцевого хвилевода поверхневих акустичних хвиль

На рис. 13 зображено профілі ПАХ на вході хвилеводів при різних методах збудження: ширина хвилеводів $2d = 100$ мкм; товщина п'єзоелектричної плівки ZnO $h = 1,0$ мкм; довжина рупорного концентратора $L_k = 21,75$ мм; радіус фокусуючого ЗШП $R_k \approx 2,17$ мм.

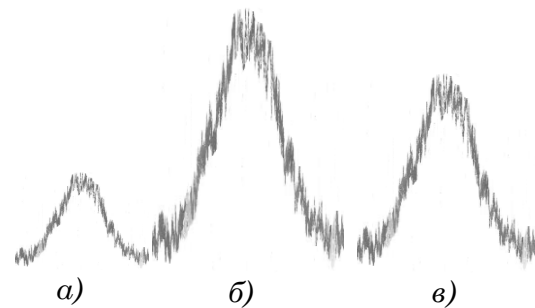


Рис. 13 – Профілі ПАХ на вході хвилеводу при різних методах збудження (а – малоапертурний ЗШП; б – фокусуючий ЗШП; в – рупорний концентратор)

Малоапертурний ЗШП має низьку ефективність збудження, що призводить до швидкого згасання ПАХ у хвилеводі. Фокусуючий ЗШП має значно більшу ефективність у порівнянні з малоапертурним, але його використання обмежено необхідністю точного потрапляння точки фокусу на вхід хвилеводу, що представляє собою значну технологічну складність.

Використання рупорного концентратора дозволяє з достатньою ефективністю збуджувати ПАХ у хвилеводі. Недоліком є значна його довжина при великих коефіцієнтах стиснення акустичного пучка. Але застосування його у перетворювачах лінійних переміщень, а особливо кутових переміщень та швидкості, є доцільним, з урахуванням конструктивних особливостей, і дозволяє отримати достатню концентрацію ПАХ, а технологія його виготовлення співпадає з технологією нанесення п'єзоелектричної плівки ZnO на плавлений кварц як для формування плівкових ЗШП, так і концентратора і хвилеводу, які виготовляються в одному технологічному процесі.

На рис. 14 зображено залежності амплітуди (а) і фази (б) ПАХ вздовж напрямку поширення на окремих ділянках лінійного та кільцевого хвилеводу.

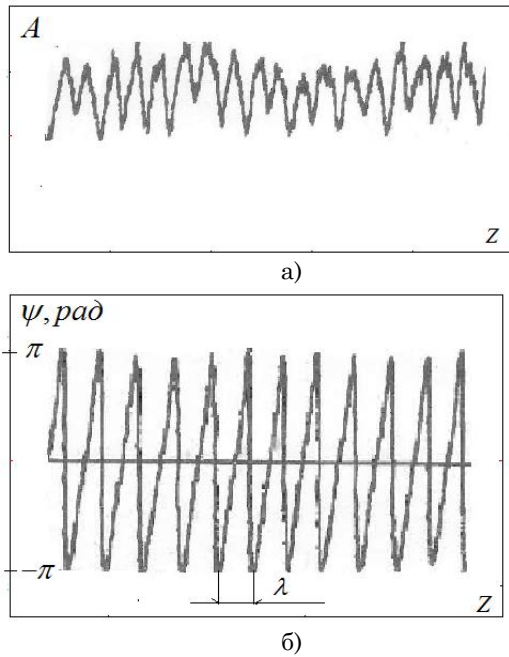


Рис. 14 – Експериментальні залежності амплітуди (а) і фази (б) ПАХ вздовж напрямку поширення

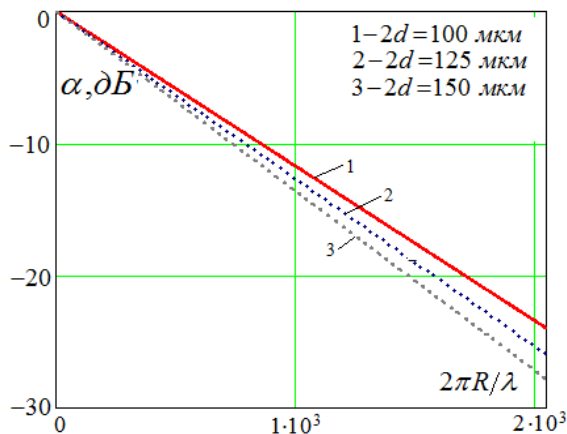


Рис. 15 – Експериментальні усереднені залежності згасання амплітуди ПАХ в кільцевому хвилеводі

На рис. 15 зображена усереднена залежність згасання амплітуди ПАХ в кільцевому хвилеводі при зміні ширини хвилеводу в інтервалі $2d = (100...150)$ мкм.

В результаті експериментів отримано, що при товщині півки ZnO $h = (1,0...1,2)$ мкм середнє згасання амплітуди ПАХ у прямолинійному хвилеводі складає $(1,5...2,0)$ дБ/см. Згасання амплітуди ПАХ в кільцевому хвилеводі з радіусом $R = 15$ мм складає $2,4$ дБ/см. При зміні ширини кільцевого хвилеводу з 100 мкм до 150 мкм згасання амплітуди ПАХ збільшувалось майже до $2,8$ дБ/см, при цьому спостерігалось спотворення форми профілю хвилі, що пояснюється можливим порушенням одномодового режиму.

5. ВИСНОВКИ

Використання експериментальної залежності фазової швидкості ПАХ в необмеженій півковій структурі $ZnO-SiO_{2пл.}$ та її апроксимація дозволили здійснити відповідні перетворення дисперсійного рівняння півкового ПАХ-хвилеводу, а параметри рупорного концентратора та вхідного (вихідного) ЗПП пов'язати з параметрами хвилеводу.

В результаті отримано аналітичні співвідношення та ряд графіків, які можуть бути використані при розробці пристроїв на ПАХ на базі хвилевідних півкових структур.

Експериментальні дослідження показали можливість створення півкових п'єзоелектричних хвилеводів поверхневих акустичних хвиль, на основі яких можуть створюватися як пристрої на ПАХ, в яких необхідно створювати пучки підвищеної густини акустичної потужності для формування та обробки інформаційних сигналів, так і вимірювальні перетворювачі неелектричних величин. У кожному конкретному випадку необхідно обґрунтовувати вибір того чи іншого методу збудження хвилеводу, концентратора, конструктивних параметрів, у тому числі нормованої товщини півки ZnO .

Пьезоэлектрические плёночные волноводы поверхностных акустических волн

Н.Ф. Жовнир

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Политехническая, 16/9, 03056, Киев-56, Украина

Приведены результаты математического моделирования пьезоэлектрических пленочных волноводных структур поверхностных акустических волн (ПАВ) на основе пленки ZnO на подложке из плавленого кварца. Полученные аналитические соотношения и результаты численных расчетов позволяют определять конструктивные параметры волноводных структур для обеспечения одномодового режима распространения ПАВ. Результаты экспериментальных исследований амплитуды и фазы ПАВ в волноводных структурах, проведенных на лазерной установке оптического зондирования, подтверждают теоретические расчеты.

Ключевые слова: Поверхностные акустические волны (ПАВ), Волновод и концентратор ПАВ, Дисперсионное уравнение, Дисперсия фазовой скорости волны, Оптическое зондирование.

Piezoelectric Film Waveguides for Surface Acoustic Waves

M.F. Zhovnir

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
16/9, Polytechnique st., 03056 Kyiv-56, Ukraine*

The paper presents results of mathematical modeling of piezoelectric film waveguide structures for surface acoustic waves (SAW). Piezoelectric ZnO film is supposed to be placed on a fused quartz substrate. The analytical ratios and numerical results allow to determine the design parameters of the waveguide structures to provide a single-mode SAW propagation mode. The results of amplitude and phase experimental studies of the SAW in the waveguide structures that were carried out on the laser optical sensing set up confirm the theoretical calculations.

Keywords: Surface acoustic wave (SAW), SAW waveguide and concentrator, Dispersion equation, The dispersion of the phase velocity of the wave, Optical sensing.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Поверхностные акустические волны* (Под ред. А. Олинера; пер. с англ.; под ред. И.С. Реза) (М.: Мир: 1981) (*Poverkhnostnyye akusticheskiye volny* (Pod red. A. Olinera; per. s angl.; pod red. I.S. Reza) (M.: Mir: 1981)).
2. В.С. Бондаренко, Б.Г. Бочков, В.Л. Громашевский, Б.В. Соболев, *Нелинейные акустоэлектронные устройства и их применение* (М.: Радио и связь: 1985) (*V.S. Bondarenko, B.G. Bochkov, V.L. Gromashevskiy, B.V. Sobolev, Nelineynyye akustoelektronnyye ustroystva i ikh primeneniye* (M.: Radio i svyaz': 1985)).
3. D. Chernenko, M. Zhovnir, O. Oliinyk, B. Tsyganok, *Wireless Passive Sensor Using Frequency Coded SAW Structures // 35th International Spring Seminar on Electronics Technology „Power Electronics”* (ISSE: 2012).
4. M.F. Zhovnir, O.O. Oliinyk, L.D. Pysarenko, *J. Nano-Electron. Phys.* **8** No 1, 01024 (2016).
5. М.Ф. Жовнір, М.Г. Черняк, Д.В. Черненко, *Електроніка і зв'язь* **60**, №1 (2011) (M.F. Zhovnir, M.H. Chernyuk, D.V. Chernenko, *Elektronika i svyaz* **60**, №1 (2011)).
6. М.Ф. Жовнір, О.О. Олійник, *Вісник НТУ «ХПІ»* **52**, 1161 (2015) (M.F. Zhovnir, O.O. Oliinyk, *Visnyk NTU «KhPI»* **52**, 1161 (2015)).
7. H.F. Tiersten, *J. Appl. Phys.* **40** No 2, (1969).
8. С.В. Бирюков, Ю.В. Гуляев, В.В. Крылов, В.П. Плещский, *Поверхностные акустические волны в неоднородных средах* (М.: Наука: 1991) (S.V. Biryukov, Yu.V. Gulayev, V.V. Krylov, V.P. Plesskiy, *Poverkhnostnye akusticheskiye volny v neodnorodnykh sredakh* (M.: Nauka: 1991)).
9. В.К. Лопушенко, *Акустоэлектронные микроструктуры на основе пленок оксида цинка*: Диссертация на соиск. уч.ст. к.т.н. (К.: 1987) (V.K. Lopushenko, *Akustoelektronnyye mikrostruktury na osnovе plenok oksida tsinka: Dissertats. na soisk. uch.st. k.t.n.* (K.: 1987)).
10. L.A. Coldren, R.V. Schmidt, *Appl. Phys. Lett.* **22** № 10, (1973).
11. И.Б. Яковкин, Д.В. Петров, *Дифракция света на акустических поверхностных волнах* (Новосибирск: Наука: 1979) (I.B. Yagovkin, D.V. Petrov, *Difraktsiya sveta na akusticheskikh poverkhnostnykh volnakh* (Novosibirsk: Nauka: 1979)).