

## ВПЛИВ ЧАСТОТИ СИГНАЛУ НА ТОЧНІСТЬ ПРИСТРОЇВ НА ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЯХ

© Матвійків М.Д., Мельничук А.О., 2011

Досліджено вплив частоти сигналу, що обробляється, на точність параметрів пристроїв на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ). Показано, що внаслідок наявності різниці величини приповерхневих та внутрішніх механічних напружень у разі збільшення частоти сигналу зменшується точність пристроїв на ПАХ. Запропоновано методи збільшення точності високочастотних пристроїв на ПАХ.

**Ключові слова:** частота сигналу, точність приладів.

**In this paper effect of signal frequency, which is processed by surface acoustic wave (SAW) device, on precision of SAW device parameters is investigated. It was found that due to difference between values of internal mechanical and near-surface stresses with rising of signal frequency precision of SAW devices will be reduced. Methods for rising of high frequency SAW devices precision where suggested.**

**Key words:** signal frequency, devices precision.

### Вступ

В ідеальному середовищі швидкість, потік енергії та інші параметри ПАХ не залежать від частоти, але в реальних умовах, за наявності внутрішніх механічних напружень (ВМН) параметри поширення хвилі залежать від величини поверхневих напружень [1].

Як відомо, напруження в підкладці впливають і на параметри пристроїв на ПАХ [2–4], оскільки пружні властивості змінюються під впливом ВМН. Оскільки під час виробництва пристроїв на ПАХ основним джерелом внутрішніх напружень є механічно оброблена поверхня підкладки, то концентрація напружень спадатиме із зростанням відстані до поверхні підкладки. Враховуючи те, що глибина проникнення ПАХ прямо пропорційна частоті, справедливим буде припустити, що із збільшенням частоти, а, відповідно, і зі зменшенням глибини проникнення ПАХ, зростатимуть напруження в середовищі поширення хвилі, і, як наслідок, збільшуватиметься похибка параметрів.

Враховуючи динаміку збільшення частоти в мікроелектроніці, стає зрозумілим те, що актуальність описаного вище припущення з часом лише зростатиме.

### Вхідні дані та постановка задачі

Вплив частоти сигналу на параметри пристроїв на ПАХ буде розглянуто на прикладі фільтра на ПАХ. Основним параметром фільтрів на ПАХ є частота фільтрації. Припускаємо, що на підкладці виготовленій з кремнію, глибина порушеного шару якого у окремих випадках сягає 20 мкм (рис. 1) [5], розподіл приповерхневих напружень зображено на рис. 2, виконують фільтри з різними частотами фільтрації. Оскільки глибина проникнення ПАХ залежить від частоти і приблизно дорівнює довжині поверхневої хвилі [6]:

$$d_p = \lambda_n = \frac{v_n}{f}, \quad (1)$$

вхідними даними доцільно обрати глибини проникнення поверхневої хвилі від 7 до 20 мкм. Обраховавши вплив ВМН на частоту фільтрації для кожної з них, отримаємо залежність точності параметрів пристроїв на ПАХ від частоти сигналу, який обробляється пристроєм.

### Результати дослідження

Як було зазначено вище, глибина проникнення ПАХ залежить від частоти і приблизно дорівнює довжині хвилі. Перетворимо формулу (1), так щоб з неї можна було визначити частоту:

$$f = \vartheta_n \div d_p, \quad (2)$$

де  $d_p$  – глибина проникнення поверхневої хвилі;  $\vartheta_n$  – швидкість поверхневої хвилі.

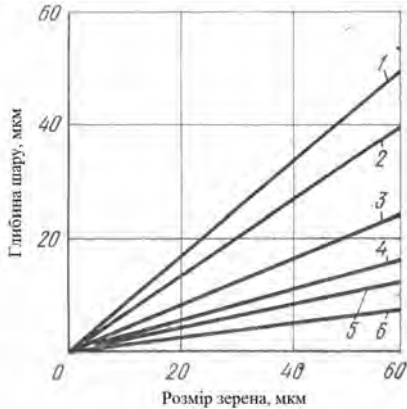


Рис. 1. Залежність глибини порушеного шару від розміру зерен абразиву:  
1 – 3 – германій; 4 – 6 – кремній;  
1, 4 – площина (100); 2, 5 – (111); 3, 6 – (110);

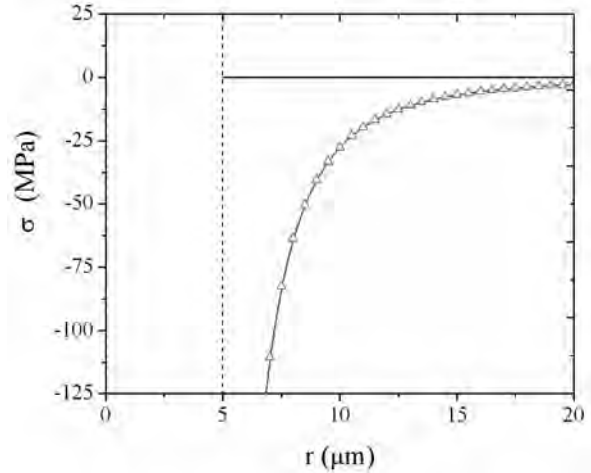


Рис. 2. Розподіл внутрішніх механічних напружень залежно від відстані від поверхні підкладки

Враховуючи відоме відношення фазової швидкості поверхневої хвилі до фазової швидкості поперечної хвилі [7]:

$$\frac{\vartheta_n}{\vartheta_t} \approx \frac{0,875 - 1,125\nu}{1 + \nu}, \quad (3)$$

можемо описати швидкість поширення поверхневої хвилі:

$$\vartheta_n \approx \frac{0,875 - 1,125\nu}{1 + \nu} \cdot \vartheta_t, \quad (4)$$

де  $\vartheta_n$  – фазова швидкість поверхневої хвилі;  $\vartheta_t$  – фазова швидкість поперечної хвилі;  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

У першому наближенні деформаційною зміною коефіцієнта Пуассона можна знехтувати, а фазова швидкість поперечної хвилі залежить від модуля Юнга, густини та коефіцієнта Пуассона:

$$\vartheta_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (5)$$

отже, можна описати швидкість поширення поверхневої хвилі:

$$\vartheta_n = \frac{0,875 - 1,125\nu}{1 + \nu} \sqrt{\frac{E}{2\rho} \cdot \frac{1}{1 + \nu}}, \quad (6)$$

де  $\vartheta_n$  – фазова швидкість поверхневої хвилі,  $E$  – модуль Юнга,  $\rho$  – густина.

Відповідно для напруженого середовища отримаємо

$$\vartheta_n = \frac{0,875 - 1,125\nu}{1 + \nu} \sqrt{\frac{E_\sigma}{2\rho_\sigma} \cdot \frac{1}{1 + \nu}}, \quad (7)$$

де  $E_\sigma = E - \sigma$ ; (8)

$$\rho_\sigma = \frac{\rho}{(1+\varepsilon)^2(1-2\nu\varepsilon)} = \frac{\rho}{(1+\varepsilon)^2 \left( 1 - 2 \left[ \frac{E_\sigma}{2G_\sigma} - 1 \right] \varepsilon \right)}, \quad (9)$$

де  $\varepsilon$  – відносний стиск середовища,  $\sigma$  – механічні напруження.

Для обраних глибин проникнення ПАХ відносний стиск середовища коливається від  $10^{-3}$  до  $3,8 \cdot 10^{-5}$ . Коефіцієнт Пуассона для кремнію 0,27, модуль Юнга  $1,3 \cdot 10^{11}$  Па, густина  $2,33 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Отже, з врахуванням (7)–(9) частоту фільтрації (11), враховуючи поверхневі напруження, можна записати як:

$$f_\sigma = \frac{0,875 - 1,125\nu}{1+\nu} \sqrt{\frac{(E - \sigma) \cdot (1+\varepsilon)^2 (1-2\nu\varepsilon)}{2\rho}} \cdot \frac{1}{1+\nu} \cdot \frac{1}{d_p}. \quad (10)$$

Підставивши значення швидкості ПАХ з формули (6) у формулу (2) отримаємо залежність частоти від глибини проникання хвилі (рис. 3.1):

$$f = \frac{0,875 - 1,125\nu}{1+\nu} \sqrt{\frac{E}{2\rho}} \cdot \frac{1}{1+\nu} \cdot \frac{1}{d_p}. \quad (11)$$

Враховуючи залежність частоти від напруження (10) та використовуючи залежність ВМН від глибини, отримуємо залежність частоти від глибини проникнення з врахуванням ВМН (рис. 3.2). Із значень, які описують залежності (11) та (10), можна оцінити залежність похибки (12) від глибини (робочої частоти) ПАХ рис. 4.

$$\Delta = \frac{f_\sigma - f}{f} \quad (12)$$

З отриманих результатів стає очевидним факт впливу частоти фільтрації на точність фільтрів на поверхневих акустичних хвилях. Також з формули (7) видно, що похибка виникає внаслідок зміни пружних характеристик середовища поширення ПАХ. Отже, можна зробити висновок, що частота роботи не лише фільтрів, але й усіх пристроїв на ПАХ впливатиме на їхню точність. Щодо широкосмугових фільтрів варто зауважити таке: як видно і з рис. 4, якщо фільтр буде виконаний на запропонованій підкладці, а його смуга пропускання буде від 100 до 300 МГц, то точність такого пристрою на нижній границі буде у 20 разів вищою за точність на вищій границі. Також варто зауважити, що у цій статті враховуються тільки ті напруження, котрі утворюються в підкладці під час механічного оброблення, і не враховано напружень, котрі виникають у разі нанесення шару п'єзоелектрика. Очевидно, що під час нанесення п'єзоелектрика, напруження будуть на порядок вищі. Значить відхилення частоти сягатиме порядку десятків відсотка.

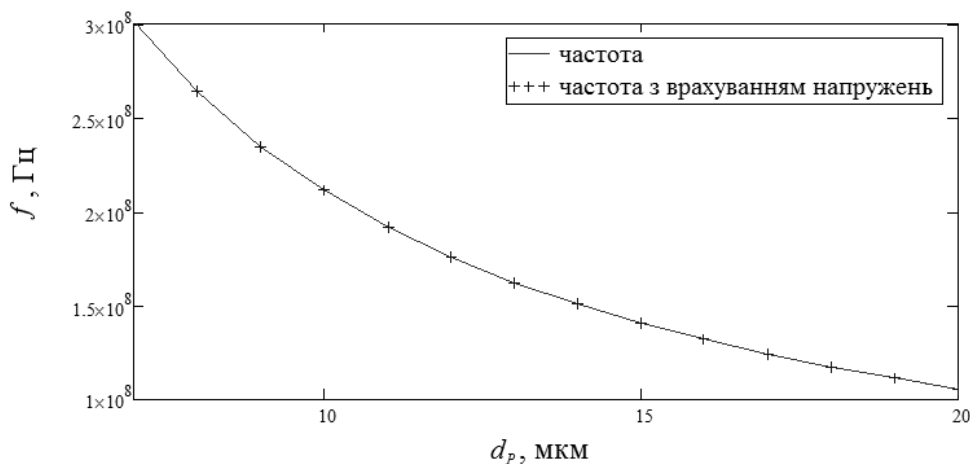


Рис. 3. Залежність частоти від глибини проникання ПАХ

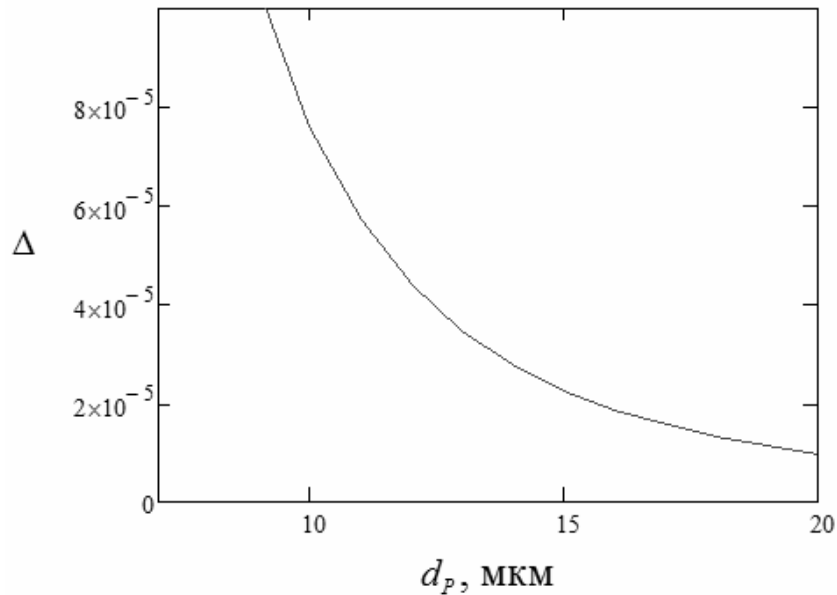


Рис. 4. Залежність похибки від глибини проникання ПАХ

### Висновки

1. Із збільшенням робочої частоти пристроїв на ПАХ зменшується їхня точність.
2. ВМН, що виникають у підкладці, призводять до неточності пристроїв, і з послабленням ВМН спостерігається збільшення точності пристроїв на ПАХ.
3. Оскільки робочі частоти пристроїв збільшуються внаслідок розвитку мікроелектроніки, актуальність врахування та усування ВМН під час виробництва пристроїв на ПАХ відповідно теж зростає.

1. Мельничук А. Моделирование влияния пружных деформаций на скорость поширения поверхностных акустических волн // Матер. IV міжнар. конф. молодих вчених. – 2010. – С. 296–297. 2. Матвійків М. Вплив внутрішніх механічних напружень на властивості ультразвукових ліній затримки на поверхневих акустичних хвилях // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”. – 2004. – №508. – С. 285–289. 3. Матвійків М. Вплив внутрішніх механічних напружень на властивості акустоелектронних фільтрів на поверхневих акустичних хвилях // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка” “Радіоелектроніка та телекомунікації”. – 2007. – № 595. – С. 54–56. 4. Мельничук А., Матвійків М. Surface stress effect on parameters of surface acoustic wave devices // Матер. XI міжнарод. наук.-техн. конф. – 2011. – С. 380–381. 5. Чистяков Ю., Райнова Ю., Физико-химические основы технологии микроэлектроники. – М.: “МЕТАЛУРГИЯ” – 1979. – С. 213. 6. Боднар Б. // Основи мікроелектроніки. – 1987. – С. 238. 7. Грінченко В., Вовк І., Маціпура В. Основи акустики: Навч. посібник. – К.: Наукова думка – 2007. – С. 253–258.