

## PARAMETRY AKUSTYCZNEJ FALI PSEUDOPOWIERZCHNIOWEJ UWARUNKOWANE WARSTWOWĄ KONSTRUKCJĄ PODZESPOŁU NA NIOBIANIE LITU O ORIENTACJI 41°YX

Judyta Hechner<sup>1</sup>, Magdalena Łysakowska<sup>1</sup>

Przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne podzespołu z akustyczną falą pseudopowierzchniową (AFPP) na 41°YX LiNbO<sub>3</sub>, które może być wykorzystane w analizie fazy ciekłej. W powyższej fali obecne są trzy składowe wektora przemieszczeń cząstek, dominującą jest składowa poprzeczna, równoległa do kierunku propagacji fali. Omówiono wyniki obliczeń i eksperymentów dotyczących wpływu wielowarstwowego obciążania powierzchni struktury czujnikowej i wzajemnej konfiguracji warstw {podłoże piezoelektryczne – warstwa metaliczna (Al.) – falowodowa i zabezpieczająca warstwa (SiO<sub>2</sub>)} na wzajemną relację składowych ruchu cząstek i charakterystykę AFPP. Uzyskane rezultaty wykazały, że opisana wyżej i powszechnie stosowana w czujnikach akustycznych konfiguracja warstw nie spełnia wymagań aplikacyjnych w przypadku niobianu litu oraz potwierdziły słuszność rozwiązania w którym zastosowano odwróconą konfigurację warstw: LiNbO<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> - Al.

### 1. WSTĘP

W chwili obecnej istnieje duże zainteresowanie rozwojem nowych metod analitycznych. Wykorzystanie w technice analitycznej podzespołów z falą akustyczną na podłożach piezoelektrycznych może zapewnić dużą skuteczność detekcji, odpowiedź w czasie rzeczywistym, miniaturyzację, możliwość stosowania minimalnych dawek reagentów, redukcję nakładów finansowych, jak również wysoki stopień zautomatyzowania procedury badawczej. Dodatkową zaletą czujników akustycznych jest możliwość oznaczania zarówno właściwości mechanicznych, jak i elektrycznych substancji, w przeciwieństwie do wielu innych technik, które zwykle monitorują tylko jedną cechę badanego materiału.

Akustyczne fale powierzchniowe typu Rayleigh'a (AFP) znalazły zastosowanie w czujnikach, przeznaczonych do detekcji gazów. W przypadku AFP główna

---

<sup>1</sup> Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa, e-mail: Judyta.Hechner@itme.edu.pl

składowa drgań cząstek jest prostopadła do powierzchni podłoża, co jest przyczyną prawie całkowitego tłumienia akustycznej fali Rayleigh'a w środowisku cieczy. W aplikacji w fazie ciekłej mogą być wykorzystane tylko te mody fal akustycznych, w których główne składowe przemieszczeń cząstek są równoległe do powierzchni podłoża piezoelektrycznego. Należą do nich między innymi akustyczne fale pseudopowierzchniowe (AFPP).

Akustyczną falę pseudopowierzchniową można wygenerować w kryształach piezoelektrycznych o specyficznej orientacji np. w tantalanie litu ( $\text{LiTaO}_3$ ) o orientacji  $36^\circ\text{YX}$  i niobianie litu ( $\text{LiNbO}_3$ ) o orientacji  $41^\circ\text{YX}$ . Badania związane z generacją i własnościami fali AFPP na  $41^\circ\text{YX}$   $\text{LiNbO}_3$  oraz z ich zastosowaniem w czujnikach do oznaczania substancji w fazie ciekłej są słabo zaawansowane i bardzo fragmentaryczne [1-2]. Większość publikacji dotyczących czujników z AFPP skupia się na tantalanie litu [3÷11]. Aktualnie nie istnieją żadne teoretyczne przesłanki negujące możliwość zastosowania  $\text{LiNbO}_3$  jako podłoża w tego typu czujnikach. Przeciwnie,  $\text{LiNbO}_3$  charakteryzuje się 3-krotnie większym współczynnikiem sprzężenia elektromechanicznego niż  $\text{LiTaO}_3$ , co potencjalnie gwarantuje wyższą czułość odpowiedzi czujnika na zmiany własności elektrycznych analitu.

W związku z powyższym przedmiotem naszego zainteresowania jest podzespół z AFPP na niobianie litu o orientacji  $41^\circ\text{YX}$ .

W artykule omówiono wyniki obliczeń i eksperymentów dotyczących wpływu wielowarstwowego obciążania powierzchni podłoża piezoelektrycznego i wzajemnej konfiguracji warstw na parametry akustycznej fali pseudopowierzchniowej oraz przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne podzespołu z AFPP.

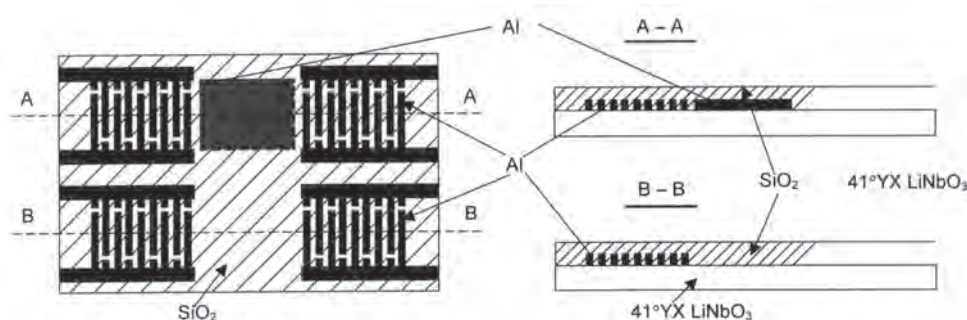
## **2. PODZESPÓŁ CZUJNIKOWY Z AFPP O STANDARDOWEJ KONSTRUKCJI**

Podstawowym elementem podzespołu czujnikowego z AFPP jest podwójna linia opóźniająca (częstotliwość środkowa i tłumienność wtrącenia stosowanej przez nas linii opóźniającej na  $41^\circ\text{YX}$   $\text{LiNbO}_3$ , wynosi odpowiednio  $\sim 80$  MHz i 22 dB [12-13]). Jedną z linii w obszarze międzyprzetwornikowym zawiera warstwę metalu, druga nie. Sygnał wyjściowy linii z wolną ścieżką propagacji jest sumaryczną rejestracją efektu akusto-elektrycznego i akusto-mechanicznego, wywołanego oddziaływaniem substancji badanej, a linii zwartej tylko efektu akusto-mechanicznego. Natomiast różnica sygnałów jest już tylko funkcją własności elektrycznych analitu. Zastosowanie odpowiedniej warstwy chemicznie czulej pozwala na monitorowanie reakcji warstwy z analizowanym czynnikiem oraz jego oznaczanie ilościowe.

Warunkiem koniecznym w przyszłej aplikacji struktur czujnikowych z AFPP w analizie fazy ciekłej jest osadzenie na ich powierzchni dodatkowej warstwy,

pełniącą funkcję falowodu. Zadaniem falowodu jest koncentracja energii fali przy powierzchni podłoża piezoelektrycznego. Rolę falowodu mogą pełnić materiały tworzące warstwy, w których prędkość fali akustycznej jest mniejsza niż w podłożu na którym są one osadzone. W powszechnie opisywanych rozwiązaniach, jak również w naszych badaniach w funkcji falowodu stosowano warstwę z amorficznego dwutlenku krzemu ( $\text{SiO}_2$ ). Warstwa dwutlenku krzemu pełni jednocześnie rolę zabezpieczenia elektrod przetwornika, gdyż obecność cieczy może stać się przyczyną zwarcia między elektrodami oraz ich korozji.

Prezentowana w literaturze i standardowo stosowana w czujnikach z AFPP na  $36^\circ\text{YX LiTaO}_3$  [15] konfiguracja warstw, jest następująca (Rys. 1):



**Rys. 1.** Schemat podzespołu czujnikowego o standardowej konfiguracji warstw.

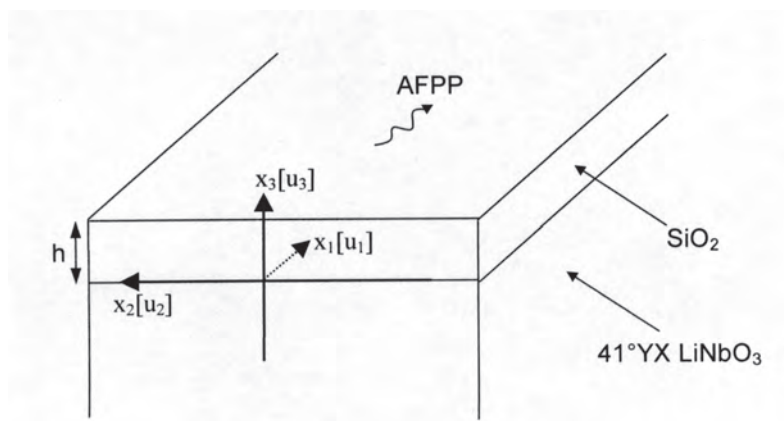
**Fig. 1.** Sensor structure with commonly used layers configuration.

***podłoże piezoelektryczne – warstwa metaliczna – warstwa dielektryczna.***

Wyniki pracy [13] wykazały, że w przypadku niobianu litu standardowy układ:  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$  nie spełnia wymagań aplikacyjnych, gdyż w wyniku obciążenia powierzchni czujnika cieczą, fala akustyczna jest nadmiernie tłumiona. Przeprowadzono więc badania eksperymentalne i wykonano teoretyczne obliczenia związane z wpływem konfiguracji osadzanych warstw na parametry fali propagowanej w podłożu z niobianu litu o orientacji  $41^\circ\text{YX}$ . Opracowano program umożliwiający wykonanie obliczeń parametrów AFPP dla  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3$  metodą ścisłego algorytmu numerycznego.

### 3. WYNIKI TEORETYCZNE I EKSPERYMENTALNE

Wielkościami charakteryzującymi akustyczną falę pseudopowierzchniową są trzy składowe wektora przemieszczeń cząstek (Rys. 2):



Rys. 2. Składowe wektora przemieszczeń AFPP.

Fig. 2. Particle displacement of PSAW.

gdzie:

$u_1$  - podłużna składowa ruchu cząstek, zgodna z kierunkiem propagacji fali,

$u_2$  - składowa poprzeczna, równoległa do powierzchni podłoża,

$u_3$  - składowa prostopadła do powierzchni podłoża

Główną składową AFPP jest składowa poprzeczna  $u_2$ .

Dodatkowe obciążanie powierzchni linii opóźniającej z AFPP na  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3$  zmienia wzajemny stosunek składowych przemieszczeń oraz stopień koncentracji energii fali przy powierzchni w sposób specyficzny dla każdej z zastosowanych substancji powłokotwórczych oraz ich grubości. W związku z tym koniecznym było określenie takiej geometrii struktury warstwowej podzespołu z AFPP, która zapewnia optymalnie dużą wartość składowej  $u_2$  w odniesieniu do  $u_1$  i  $u_3$ , oraz wysoki stopień koncentracji energii fali przy powierzchni podłoża.

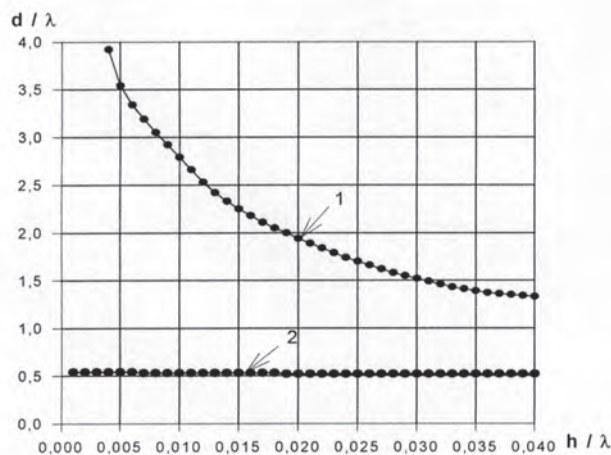
Wykonano obliczenia powyższych wielkości, metodą ścisłego algorytmu numerycznego, dla następujących układów:  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3\text{-SiO}_2$  i  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$  w funkcji grubości warstwy  $\text{SiO}_2$ .

#### 3.1. Stopień koncentracji energii AFPP

W rozważaniach teoretycznych wskaźnikiem stopnia koncentracji energii AFPP przy powierzchni podłoża jest głębokość wnikania w podłoże głównej składowej

przemieszczeń fali -  $u_2$ , natomiast w praktyce - wartość tłumienności wtrącenia linii opóźniającej.

Głębokość wnikania w podłoże głównej składowej przemieszczeń -  $u_2$  dla dwóch badanych układów warstwowych w zależności od grubości  $\text{SiO}_2$  ilustruje Rys. 3.



**Rys. 3.** Głębokość wnikania  $u_2$  -  $d$  (wyrażona w jednostkach długości fali  $\lambda$ ) w funkcji grubości warstwy  $\text{SiO}_2$ : 1 – konfiguracja:  $\text{LiNbO}_3$ -  $\text{SiO}_2$ ; 2 – konfiguracja:  $\text{LiNbO}_3$ - Al -  $\text{SiO}_2$ ;  $h$  – grubość warstwy  $\text{SiO}_2$ ;  $\lambda$  - 55,2 mm.

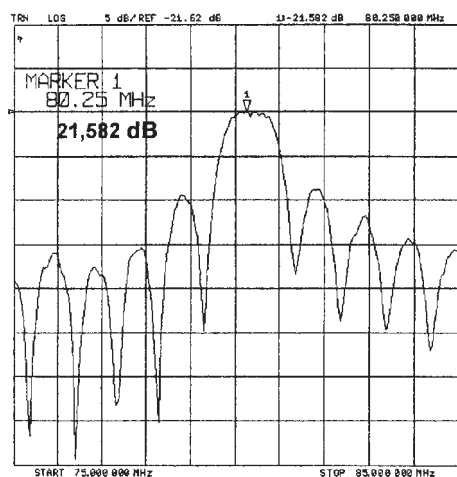
**Fig. 3.** The penetration depth of  $u_2$  -  $d$  (which is defined in unit of wavelength  $\lambda$ ) as a function of  $\text{SiO}_2$  thickness: 1 – configuration:  $\text{LiNbO}_3$ -  $\text{SiO}_2$ ; 2 – configuration:  $\text{LiNbO}_3$ - Al -  $\text{SiO}_2$ ;  $h$  – thickness. of  $\text{SiO}_2$  film;  $\lambda$  - 55,2mm.

Głębokość wnikania ( $d$ ) definiowana jest jako wartość, przy której  $|u_2| / |u_{20}| = 1/e$ , gdzie stosunek jest  $|u_{20}|$  – amplitudą składowej poprzecznej na powierzchni kryształu, zaś  $|u_2|$  – amplitudą na określonej głębokości w kryształach dla danej grubości  $\text{SiO}_2$ .

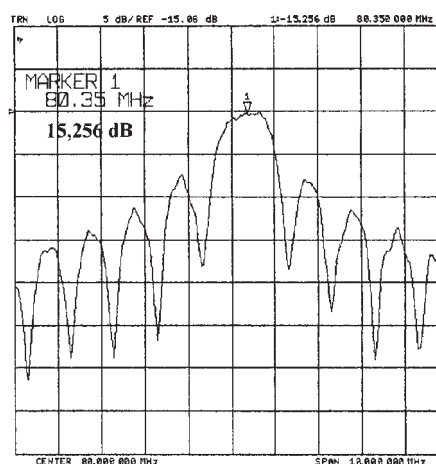
Głębokość wnikania głównej składowej AFPP w podłoże w przypadku układu  $\text{LiNbO}_3$ -Al- $\text{SiO}_2$  jest nieznaczna i niezależna od grubości warstwy dielektrycznej (Rys. 3, krzywa 2), natomiast w układzie  $\text{LiNbO}_3$ - $\text{SiO}_2$  głębokość wnikania jest bardzo duża i maleje ze wzrostem grubości  $\text{SiO}_2$  (Rys. 3, krzywa 1).

Wyniki teoretycznych obliczeń w zasadzie są zgodne z eksperymentem. W praktyce, tłumienność wtrącenia linii opóźniającej zawierającej w obszarze między przetwornikami warstwę aluminium uległa znacznej redukcji do wartości 15,256dB (Rys. 4b) w porównaniu z linią niemetalizowaną (tłumienność wtrącenia = 21,582dB, (Rys. 4a). Osadzenie dwutlenku krzemu nie zmieniało charakterystyki amplitudo-

wo-częstotliwościowej linii metalizowanej, natomiast tłumienność wtrącenia linii niemetalizowanej malała ze wzrostem grubości  $\text{SiO}_2$  (Rys. 5).



(a)



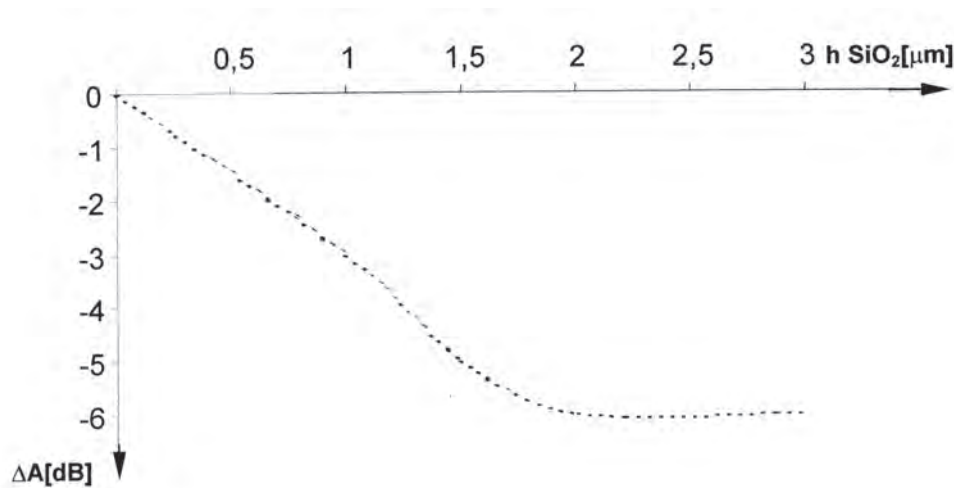
(b)

**Rys. 4a.** Charakterystyka amplitudowa linii niepokrytej.

**Fig. 4a.** Amplitude response of uncoated delay line.

**Rys. 4b.** Charakterystyka amplitudowa linii metalizowanej.

**Fig. 4b.** Amplitude response Al-coated delay line.



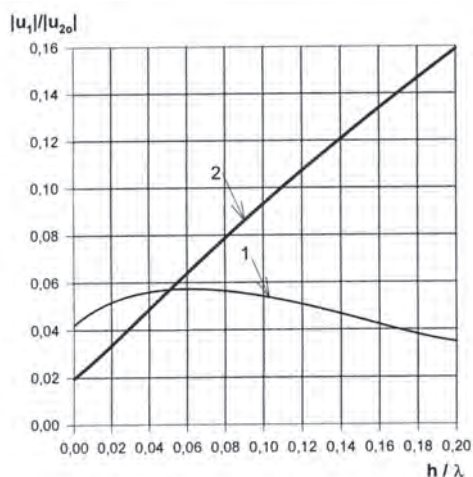
**Rys. 5.** Tłumienność wtrącenia (DA) w funkcji grubości warstwy  $\text{SiO}_2$ .

**Fig. 5.** Insertion loss (DA) versus  $\text{SiO}_2$  thickness.

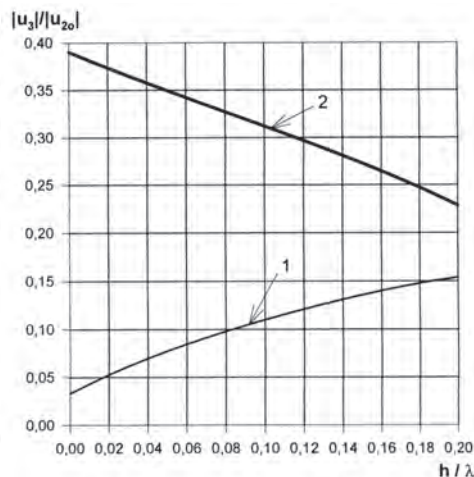
Teoretycznie, zrównanie głębokości wnikania głównej składowej wektora przemieszczeń ( $u_2$ ) dla obydwu układów ma miejsce przy bardzo dużych grubościach  $\text{SiO}_2$ , które w praktyce są bardzo trudne do uzyskania (Rys. 4). W naszych badaniach, warstwa  $\text{SiO}_2$  o grubości  $\approx 2\mu\text{m}$  redukowała tłumienność wtrącenia linii niemetalizowanej o  $\sim 32\%$ , a dalszy wzrost grubości nie zmieniał już wartości tłumienia.

### 3.2. Amplitudy składowych wektora ruchu cząstek AFPP w funkcji grubości $\text{SiO}_2$ i wzajemnej konfiguracji warstw $\text{Al}/\text{SiO}_2$ , oraz doświadczalne odpowiedzi linii opóźniających obciążanych cieczą

Wyliczone wartości amplitud poszczególnych składowych ruchu cząstek w stosunku do składowej  $u_{20}$  (amplituda składowej poprzecznej na powierzchni kryształu) w funkcji grubości  $\text{SiO}_2$  ilustrują Rys. 6a-6b.



(a)



(b)

**Rys. 6a.**  $u_1$  względem  $u_{20}$  w funkcji grubości  $\text{SiO}_2$ : 1- konfiguracja:  $\text{LiNbO}_3\text{-SiO}_2$ ; 2- konfiguracja:  $\text{LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$ ;  $h$ - grubość warstwy  $\text{SiO}_2$ ;  $\lambda$ -55,2mm.

**Fig. 6a.**  $u_1$  against  $u_{20}$  as a function of  $\text{SiO}_2$  thickness: 1 – configuration:  $\text{LiNbO}_3\text{-SiO}_2$ ; 2 – configuration:  $\text{LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$ ;  $h$  – thickness of  $\text{SiO}_2$  film;  $\lambda$  - 55,2mm.

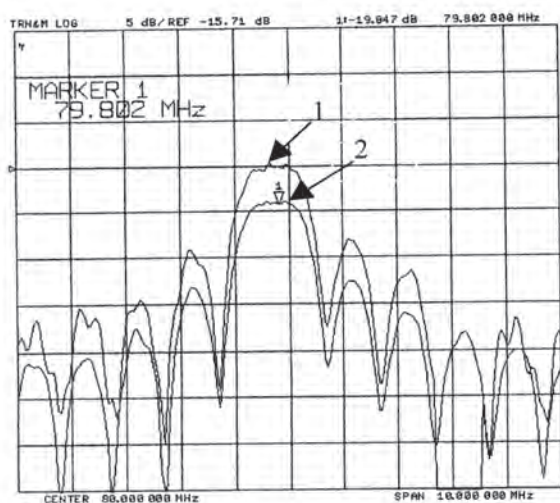
**Rys. 6b.**  $u_3$  względem  $u_{20}$  w funkcji grubości  $\text{SiO}_2$ : 1- konfiguracja:  $\text{LiNbO}_3\text{-SiO}_2$ ; 2- konfiguracja:  $\text{LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$ ;  $h$ - grubość warstwy  $\text{SiO}_2$ ;  $\lambda$ -55,2mm.

**Fig. 6b.**  $u_3$  against  $u_{20}$  as a function of  $\text{SiO}_2$  thickness: 1 – configuration:  $\text{LiNbO}_3\text{-SiO}_2$ ; 2 – configuration:  $\text{LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$ ;  $h$  – thickness, of  $\text{SiO}_2$  film;  $\lambda$  - 55,2mm.

W układzie elektrycznie otwartym amplituda składowej podłużnej  $u_1$  nieznacznie zmienia się ze wzrostem grubości  $\text{SiO}_2$  (Rys. 6a, krzywa 1), natomiast, w układzie zwartym rośnie ze wzrostem grubości. Odwrotna sytuacja występuje w przypadku składowej prostopadłej  $u_3$ . W układzie  $\text{LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$  stosunek  $|u_3|/|u_{20}|$  ma-

leje, a w układzie  $\text{LiNbO}_3\text{-SiO}_2$  rośnie ze wzrostem grubości  $\text{SiO}_2$ . W obszarze stosowanej doświadczalnie grubości  $\text{SiO}_2$  w granicach  $2 \mu\text{m} \div 3 \mu\text{m}$  ( $0,034 \div 0,05$  w jednostkach  $h/\lambda$ ) udział składowej  $u_1$  jest dla obu konfiguracji stosunkowo mały, natomiast udział składowej  $u_3$  w układzie zwartym elektrycznie przekracza 35% (Rys. 6b, krzywa 2).

Rys. 7-8 ilustrują doświadczalne przebiegi charakterystyk amplitudowych linii z nie metalizowaną ścieżką propagacji pokrytą warstwą  $\text{SiO}_2$  oraz linii o konfiguracji:  $\text{LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$  przed i po obciążeniu cieczą.



**Rys. 7.** Charakterystyka amplitudowa linii opóźniającej o konfiguracji:  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3 - \text{SiO}_2$ ; 1 - przed obciążeniem cieczą; 2 - po obciążeniu cieczą.

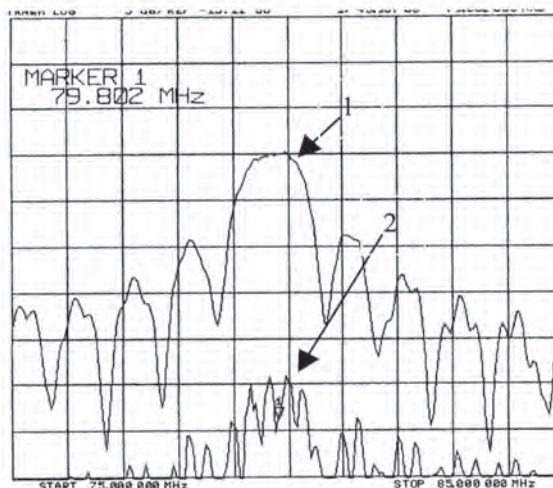
**Fig. 7.** Amplitude responses of the following delay line configuration:  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3 - \text{SiO}_2$ ; 1- without liquid, 2- with liquid.

**Rys. 8.** Charakterystyka amplitudowa linii opóźniającej o konfiguracji:

$41^\circ\text{YX LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$ : 1 - przed obciążeniem cieczą; 2 - po obciążeniu cieczą.

**Fig. 8.** Amplitude responses of the following delay line configuration:

$41^\circ\text{YX LiNbO}_3 - \text{Al} - \text{SiO}_2$ : 1- without liquid; 2- with liquid.



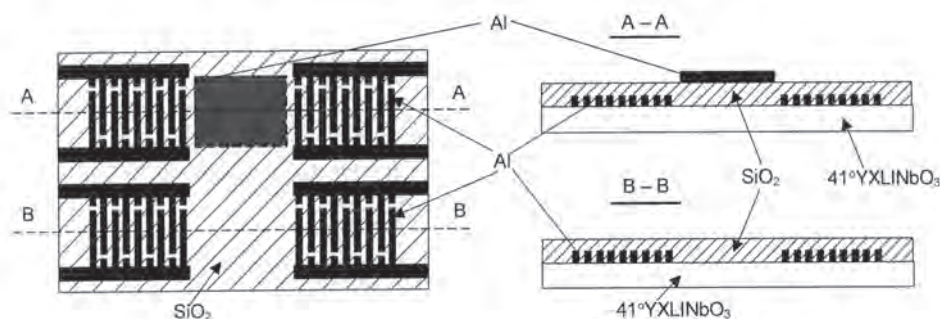


W przypadku linii  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$ , fala akustyczna jest prawie całkowicie tłumiona w efekcie oddziaływania z cieczą.

Własności AFPP w układzie, w którym udział składowej prostopadłej  $u_3$  jest znaczny stają się porównywalne z własnościami fali Rayleigh'a. W przypadku drgań cząstek w kierunku prostopadłym do powierzchni podłoża znaczna część energii fali ulega rozproszeniu w cieczy.

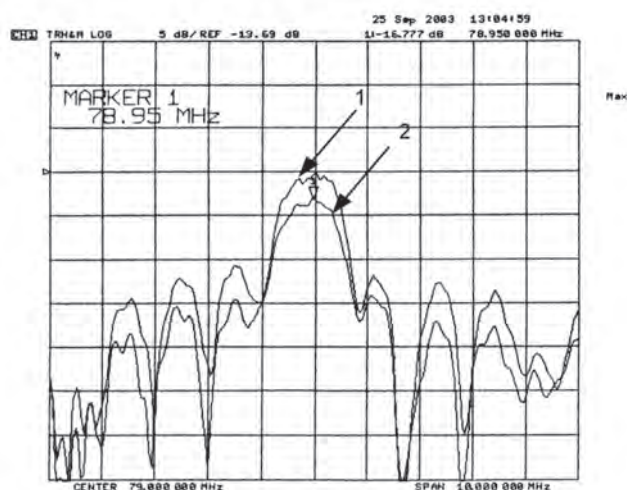
Przytoczone rezultaty teoretycznych obliczeń ujawniają przyczynę nadmiernego tłumienia fali w wyniku obciążania cieczą linii opóźniającej o konfiguracji  $\text{LiNbO}_3\text{-Al-SiO}_2$  i pokazują, że podzespół bazujący na podwójnej linii w układzie standardowym nie może być zastosowany jako czujnik do analizy cieczy, gdyż określenie kompromisowo małego udziału składowej prostopadłej  $u_3$  w rozsądnym obszarze grubości  $\text{SiO}_2$  jest praktycznie niemożliwe (Rys. 6b).

Zastosowanie odwróconej konfiguracji warstw  $\text{LiNbO}_3\text{-SiO}_2\text{-Al}$  (Rys. 9) gwarantuje mało znaczący udział składowej prostopadłej wektora przemieszczeń rzędu 6% dla badanych grubości  $\text{SiO}_2$  – ( $2\div 3\ \mu\text{m}$ ). W związku z powyższym, zmiana wzajemnej konfiguracji warstw wyeliminowała efekt nadmiernego wytłumiania fali w środowisku cieczy (Rys. 10). Osadzony na powierzchni  $\text{SiO}_2$  film Al zapewnia uzyskanie zerowego potencjału piezoelektrycznego na tej powierzchni, dzięki czemu możliwa jest selektywna rejestracja efektu akusto-elektrycznego i akusto-mechanicznego.



Rys. 9. Schemat zmodyfikowanej struktury czujnikowej.

Fig. 9. Sensor structure with modified layers configuration.



**Rys. 10.** Charakterystyka amplitudowa linii o konfiguracji:  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3\text{-SiO}_2\text{-Al}$ : 1 - przed obciążeniem cieczą; 2 - po obciążeniu cieczą.

**Fig. 10.** Amplitude responses of the following delay line configuration:  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3\text{-SiO}_2\text{-Al}$ : 1- without liquid; 2- with liquid.

#### 4. PODSUMOWANIE

Wzajemna konfiguracja warstw dielektrycznych i metalicznych decyduje o możliwości wykorzystania struktury przetwornikowej z AFPP na  $41^\circ\text{YX LiNbO}_3$  w analizie fazy ciekłej. Wyniki eksperymentalne i rezultaty obliczeń pozwoliły wyjaśnić specyfikę zjawisk obserwowanych w aplikacji oraz wykazały, że wykorzystanie w detekcji fazy ciekłej podzespołu o standardowej konfiguracji warstw (podłoże piezoelektryczne  $\text{-Al-SiO}_2$ ) na niobianie litu jest niemożliwe.

Najbardziej korzystny aplikacyjnie układ powinien zapewniać optymalnie duży stosunek amplitudy poprzecznej składowej ruchu cząstek ( $u_2$ ) do amplitud pozostałych składowych i możliwie minimalny udział w tym ruchu składowej prostopadłej  $u_3$ . Własności AFPP w układzie, w którym stosunek  $|u_3| / |u_2|$  jest znaczny, stają się porównywalne do fali Rayleigh'a (która jest tłumiona w cieczy). W wyniku drgań cząstek w kierunku prostopadłym do powierzchni podłoża duża część energii fali ulega rozproszeniu w fazie ciekłej i jest tracona.

Teoretyczne rozważania oraz wyniki badań aplikacyjnych [14] potwierdziły słuszność prezentowanego rozwiązania. Konstrukcja podzespołu z AFPP, zawierająca linie o konfiguracji:  $\text{LiNbO}_3\text{-SiO}_2$ ;  $\text{LiNbO}_3\text{-SiO}_2\text{-Al}$ , może znaleźć zastosowanie w analizie substancji w stanie ciekłym.

## Summary

# PSAW PARAMETERS CONDITIONED BY MULTILAYER STRUCTURE OF ACOUSTIC DEVICE ON 41°YX LiNbO<sub>3</sub>

The device with pseudo surface acoustic wave (PSAW) on 41°YX LiNbO<sub>3</sub> for liquid phase detection is presented in this article. This wave has all three components of the particle displacement, however shear-horizontal component is dominant. Theoretical calculations and experimental results considering of the influence of layers configuration (piezoelectric substrate, metal – Al, guiding and protecting layer – SiO<sub>2</sub>) on the relations between the particle displacement components and on characteristics of PSAW propagating are discussed. These results revealed that above commonly used layers configurations in acoustic liquid sensors do not comply with application requirements in the case of LiNbO<sub>3</sub> and confirm the rightness of solution in which the different layers sequence: LiNbO<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-Al was used.

## LITERATURA

- [1] Nomura T. et al.: Surface acoustic wave sensor for sensing acoustic properties of of liquid. *Proc. IEEE Ultrasonics Symp.*, 1995, 547-550
- [2] Kondoh J. et al.: SH-SAW Devices as effective identification system for liquids. *Proc. IEEE Ultrasonics Symp.*, 1994, 507-512
- [3] Kondoh J., Furukawa T. et al., Identification of ionic solutions using a liquid flow system with SH-SAW sensors. *Proc. IEEE Ultrasonics Symp.*, 1996, 389-394
- [4] Welsch W. et al.: Immunosensing with surface acoustic wave sensors. *Euroensors X*, Leuven, Belgium, 1996, 819-822
- [5] Yamazaki T., Kondoh J. et al.: Estimation of components and concentration in mixture solutions of electrolytes using a liquids flow system with acoustic wave sensor. *Proc. IEEE Ultrasonics Symp.*, 1998, 505-508
- [6] Nomura T., Saitoh A. et al.: Liquid sensing system based on two port SH-SAW resonator. *Proc. IEEE Ultrasonics Symp.*, 1999 477-480
- [7] Kondoh J., Yamasaki T. et al.: Identification of Jon species in electrolytic solutions using surface acoustic wave liquid for sensing based on new pattern recognition method. *Proc. IEEE Ultrasonics Symp.*, 1999 pp. 471-476
- [8] Nomura T., Saitoh A., Horikoshi Y.: Measurement of acoustic properties of liquid using liquid flow SAW sensor system. *Sensor and Actuators B*, 76, 2001, 69-73

J. Hechner, M. Lysakowska

- [9] Koskela J. et al.: Acoustic loss mechanisms in leaky SAW resonators on lithium tantalate. *IEEE Transactions on Ultrason., Ferroelectrics, and Frequency Control*, 2001, 48, 6, 1517–1525
- [10] Kondoh J. et al.: Development of surface acoustic wave liquid sensing system and application for japanese tea measurements. *Proc. IEEE International Frequency Control Symp.*, 2001, 497–501
- [11] Yamanouchi K., Shibayama K.: Propagation and amplification of rayleigh waves and piezoelectric leaky surface waves in  $\text{LiNbO}_3$ . *J. Appl. Phys.*, 43, 1972, 856-862
- [12] Soluch W.: Design of SAW delay lines for sensors. *Sensors and Actuators A*, 67, 1998, 60-64
- [13] Hechner J., Soluch W.: Pseudo surface acoustic wave dual delay line on  $41^\circ\text{YX}$   $\text{LiNbO}_3$  for liquid sensor. *Sensors and Actuators B*, 111-112, 2005, 436-440
- [14] Shoji Kakio, Kenji Hishinuma.: Suppression of bulk wave radiation from leaky surface acoustic waves by loading with thin dielectric films. *Journal of Applied Physics*, 87, 3, 2000, 1440-1447