

Pomiary własności akustycznych fal powierzchniowych w LiNbO_3

1. WSTĘP

Niezbędnym warunkiem masowego wytwarzania filtrów z akustyczną falą powierzchniową /AFP/ jest stosowanie atestowanych płytek niobianu litu. Jeżeli wytwórca nie dostarcza płytek atestowanych, konieczna staje się kontrola własności elektromechanicznych partii płytek pochodzących z danego monokryształu niobianu litu. Wymaga tego ekonomika procesu produkcyjnego, w którym poszczególne operacje technologiczne wykonuje się dla partii płytek o znacznej liczności.

Jeżeli założymy, że kształt, orientacja krystalograficzna i stan powierzchni płytek LiNbO_3 , odpowiadają określonym wymaganiom konstrukcyjnym i technologicznym, wówczas wystarczającymi dla oceny przydatności LiNbO_3 są następujące parametry elektromechaniczne:

- prędkość fazowa AFP, v_f ,
- współczynnik sprzężenia elektromechanicznego k .

Nieniszczące metody kontroli nie dostarczają wartości wszystkich niezbędnych parametrów elektromechanicznych płytki. Należy zatem na kilku wybranych płytkach dokonać pomiaru niszczącego.

Wśród metod badawczych [1-7] poszukiwano takiej, która umożliwiałaby wyznaczenie wartości bezwzględnych v_f i k oraz ich rozrzutów. Powinna to być zarazem metoda możliwie prosta, gwarantująca uzyskanie jednoznacznych wyników o żądanej dokładności.

Wydaje się, iż wymagania te spełnia zaproponowana przez Solucha i współpracowników [1] metoda struktury testowej. Autorzy stosują układ trzech

cienkowarstwowych przetworników międzypalczastych /jednego nadawczego i dwóch odbiorczych/ naniesionych na powierzchnię badanej płytki. Pomiaru prędkości fazowej dokonuje się podając na przetwornik nadawczy krótki impuls z generatora i obserwując na ekranie oscyloskopu odpowiedzi z przetworników odbiorczych odległych od siebie o l_0 . Jeśli częstotliwość powtarzania f_0 dobierze się tak, aby sygnały z przetworników odbiorczych pokryły się na osi czasu, to prędkość v_f można wyznaczyć z zależności:

$$v_f = l_0 f_0 \quad /1/$$

W ten sam sposób określa się prędkość propagacji AFP v_m po powierzchni elektrycznie zwartej. Obszar między przetwornikami odbiorczymi pokryty jest wówczas cienką warstwą metalu, a v_m określa wyrażenie:

$$v_m = l_m f_m \quad /2/$$

gdzie l_m i f_m są odpowiednio odległością przetworników odbiorczych oraz częstotliwością powtarzania przy dostrojonych sygnałach z tych przetworników.

Określenie v_f wymaga więc dokonania pomiaru dwóch wielkości: l_0 i f_0 , a dokładność wyznaczania prędkości propagacji AFP determinuje precyzja, z jaką te wielkości zmierzono.

Współczynnik sprzężenia elektromechanicznego k określa się z wyrażenia:

$$k \approx \left(2 \cdot \frac{v_f - v_m}{v_f} \right)^{1/2} \quad /3/$$

gdzie v_f i v_m są określonymi wyżej prędkościami propagacji AFP odpowiednio po powierzchni swobodnej i metalizowanej /elektrycznie zwartej/.

Wyznaczenie opisanych wyżej parametrów elektromechanicznych wymagało zaprojektowania struktury testowej. Projekt tej struktury przedstawiono w rozdziale 2.

Celem niniejszej pracy było określenie przydatności prezentowanej metody do testowania poszczególnych partii płytek niobianu litu.

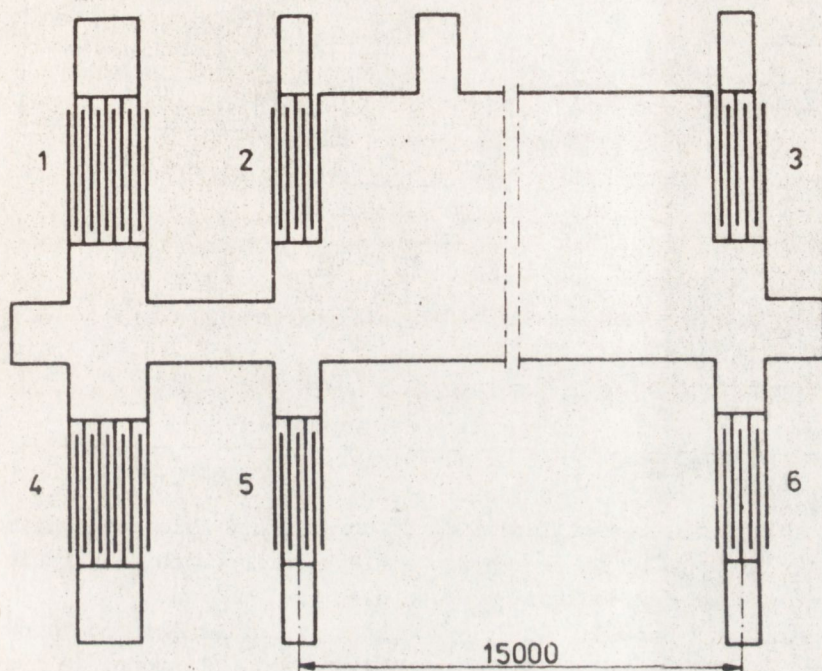
2. METODYKA BADAŃ

Na rysunku 1 przedstawiono schemat wykorzystywanej w badaniach struktury testowej.

Zaprezentowaną strukturę odwzorowywano na płytkach LiNbO_3 metodą fotolitograficznego wytrawiania warstwy Al. Stosowano złożeniową maskę stykową.

Szerokość elektrod i przestrzeni międzyelektrodowych były jednakowe, dla wszystkich przetworników takie same i wynosiły $12,5 \pm 1 \mu\text{m}$.

Odległości między przetwornikami odbiorczymi w obu torach pomiarowych: swobodnym /przetworniki 2, 3/ i zwartym /przetworniki 5, 6/ były jednakowe i wynosiły $15000 \pm 5 \mu\text{m}$.



Rys. 1. Schemat struktury próbnej do testowania płytek LiNbO_3

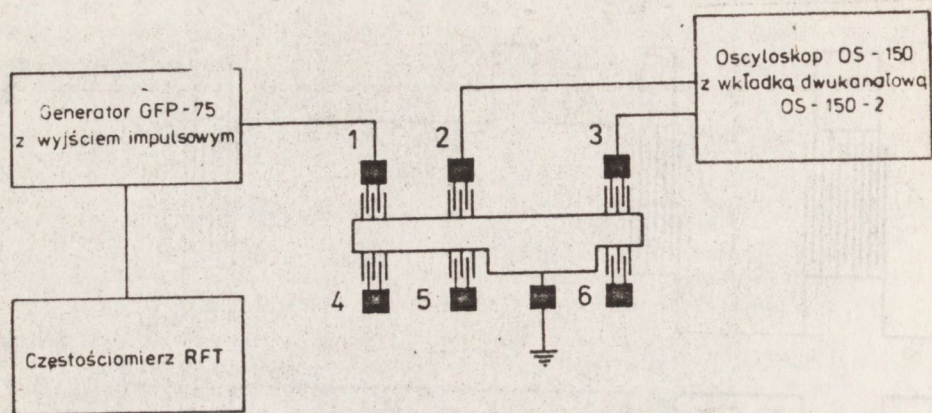
Zastosowanie konstrukcji struktury, dla której odległości przetworników odbiorczych w obu torach pomiarowych są takie same, tj. $l_o = l_m$, pozwala sprowadzić wyrażenie /3/ do postaci:

$$k \approx \left(2 \frac{f_o - f_m}{f_o} \right)^{\frac{1}{2}} \quad /4/$$

W celu określenia wartości k wystarczy więc dokonać pomiaru częstotliwości f_o i f_m . W tym przypadku precyzję wyznaczania k determinuje wartość błędu pomiaru częstotliwości, a także spełnienie warunku $l_o - l_m = 1 \mu\text{m}$.

W zależności od średnicy płytek, na każdej z nich wykonywano jedną lub dwie struktury próbne.

Testowanie próbek przeprowadzono przy użyciu układu pomiarowego przedstawionego na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego

Dokładność pomiaru częstotliwości Δf_0 ograniczona była realnymi możliwościami dostrojenia sygnałów z przetworników odbiorczych na ekranie oscyloskopu, nie zaś dokładnością użytego częstościomierza.

W celu określenia wartości Δf_0 wykonano serię dziesięciu pomiarów dla tej samej próbki. Stosując test Deana-Dixona [8] obliczono, że przy poziomie ufności 0,95 rozrzut statystyczny Δ_{sf_0} wielkości mierzonej f_0 wynosi $\pm 34,5$ Hz przy dokładności pomiaru jednostkowego $\Delta f_0 = \pm 100$ Hz. Dlatego też za błąd pomiarowy przyjęto dokładność pomiaru jednostkowego.

Wszystkie próbki przeznaczone do testowania pobierano z kolejnych partii płytek przeznaczonych do wytwarzania filtrów FT-381. Były to zatem płytki o cięciu Y, grubości 500 ± 50 μm , szlifowane i polerowane według wymagań stosowanych przy wytwarzaniu filtrów [1].

Partię stanowiły płytki pochodzące z jednego monokryształu.

W celu określenia statystycznych rozrzutów wyznaczanych wartości parametrów elektromechanicznych, z jednej partii wybrano losowo 9 płytek, dla których określono wartości v_f i k . Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Stosując test Deana-Dixona [8] obliczono wartość średnią tych parametrów oraz rozrzut na poziomie ufności 0,95 / tabela 1/.

Tabela 1

Wartości prędkości propagacji AFP v_f i współczynnika sprzężenia elektromechanicznego k dla płytek wybranych losowo z monokryształu LiNbO_3

Nr próbki	v_f [m/s]	k
1	3489	0,209
2	3489	0,207
3	3489	0,207
4	3486	0,207
5	3489	0,207
6	3489	0,207
7	3488	0,210
8	3488	0,212
9	3486	0,211
uśrednienie metodą Deana-Dixona [8]	$3488,1 \pm 0,8$	$0,2086 \pm 0,0011$

Błędy maksymalne metody dla jednostkowych pomiarów, obliczone na podstawie podanych wyżej rozważań dotyczących dokładności pomiaru jednostkowego, wynoszą:

$$\Delta_1 v_f = \pm 3 \text{ m/s dla wartości bezwzględnej } v_f$$

$$\Delta_2 v_f = \pm 2 \text{ m/s dla rozrzutów wartości } v_f$$

$$\Delta k = \pm 0,004$$

Różnica między wielkościami $\Delta_1 v_f$ i $\Delta_2 v_f$ wynika ze stosowania tej samej maski fotolitograficznej do wytwarzania wszystkich struktur. W takim przypadku błąd Δl_0 określania odległości przetworników odbiorczych l_0 ma wpływ na dokładność wyznaczania wartości bezwzględnej v_f , natomiast nie powinien być brany pod uwagę przy ocenie rozrzutów wartości tego parametru.

Podana wyżej wartość Δk odnosi się zarówno do wartości bezwzględnych k , jak też do ich rozrzutów.

Zarówno zatem w przypadku v_f jak i k błąd metody przewyższa rozrzuty statystyczne i w rezultacie determinuje dokładność wyznaczania tych parametrów.

Na podstawie powyższych rozważań zasadne staje się przyjęcie następujących kryteriów jednorodności partii płytek

$$\text{dla } v_f: v_{f_{\max}} - v_{f_{\min}} \leq 4 \text{ m/s}$$

$$\text{dla } k: k_{\max} - k_{\min} \leq 0,008$$

Określenie zmian parametrów elektromechanicznych w obciążeniu jednego monokryształu wymagało pobrania próbek z określonych miejsc tego monokryształu. Badane próbki pochodziły ze środka kryształu /płytki oznaczone jako S/ i obu końców /płytki oznaczone jako K₁ i K₂/. W jednej z badanych partii możliwe było wyróżnienie próbek pobranych z początku /płytki P/ i końca /płytki K/ monokryształu.

3. WYNIKI POMIARÓW

W tabeli 2 zaprezentowano wyniki pomiarów prędkości propagacji AFP / v_f / i współczynnika sprzężenia elektromechanicznego / k / płytek pochodzących z różnych monokryształów niobianu litu.

Tabela 2

Wartości prędkości propagacji AFP / v_f / i współczynnika sprzężenia elektromechanicznego / k / dla wybranych płytek z monokryształów LiNbO₃

Mono-kryształ	Próbka	v_f [m/s]		k	
		struktura		struktura	
		I	II	I	II
1	K ₁	3489	-	0,209	-
	K ₂	3490	-	0,207	-
	S	3489	-	0,210	-
2	K ₁	3486	3485	0,209	0,208
	K ₂	3485	-	0,205	-
	S	3489	-	0,205	-
3	K ₁	3492	3489	0,204	0,207
	K ₂	3489	-	0,205	-
	S	3491	3489	0,207	0,207
4	K ₁	3488	-	0,204	-
	K ₂	3486	-	0,201	-
	S	3482	3482	0,199	0,197
5	P	3489	3489	0,209	0,209
	K	3489	3491	0,207	0,204
	S	3488	3491	0,207	0,214

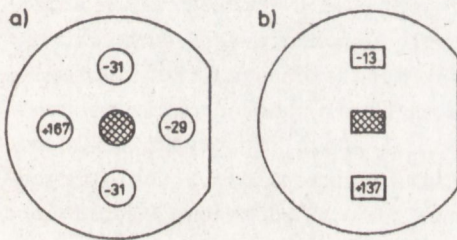
Porównanie wyników uzyskanych dla dwu różnych struktur na tej samej płytce pozwala stwierdzić, iż w płaszczyźnie Y badane płytki spełniają przyjęte kryterium jednorodności. Należy jednak zauważyć, że wielkość obszaru zajmowanego przez strukturę testową prowadzi do uśredniania wartości parametrów elektromechanicznych.

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 2 wykazuje, iż kryterium jednorodności spełniają monokryształy 1, 2 i 3.

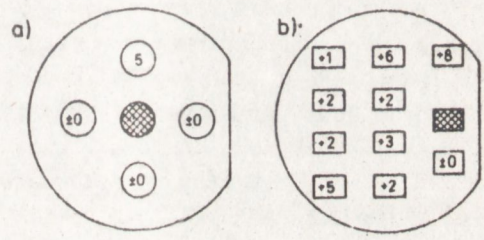
W tabeli 2 nie umieszczono wyników pomiarów płytek pochodzących z monokryształu 6. Drastyczne zmniejszenie amplitudy sygnałów z przetworników odbiorczych uniemożliwiło bowiem jakikolwiek pomiar. Na płytkach pochodzących z tego kryształu zaobserwowano duże domeny ferroelektryczne o charakterystycznym spiralnym kształcie, opisanym przez Zacharową i innych [9]. Domeny takie występowały na wszystkich płytkach z tego kryształu.

Ponieważ dla płytek z monokryształu 6 niemożliwe okazało się wyznaczenie prędkości propagacji AFP metodą struktury próbnej, pomiary przeprowadzono metodami: kąta krytycznego i struktury ruchomej. Obie te metody opisano szczegółowo w pracach [6, 10]. Nie pozwalają one wprawdzie wyznaczać wartości bezwzględnej v_f , ale umożliwiają dokonanie oceny rozrzutów tego parametru na powierzchni płytki z dokładnością ± 1 m/s przy stosowaniu metody kąta krytycznego i ± 5 m/s przy pomiarach metodą struktury ruchomej.

Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Rozrzut prędkości fazowej AFP w m/s na płaszczyźnie Y płytki LiNbO_3 z monokryształu 6. Pomiar metodą kąta krytycznego /a/ i struktury ruchomej /b/



Rys. 4. Rozrzut prędkości fazowej AFP w m/s na płaszczyźnie Y płytki LiNbO_3 z monokryształu 3. Pomiar metodą kąta krytycznego /a/ i struktury ruchomej /b/

Pola zakreskowane stanowią odpowiednie obszary odniesienia. Dla porównania, na rysunku 4 zaprezentowano wyniki pomiarów przeprowadzonych tymi metodami dla płytki z jednorodnego kryształu 3.

Jak widać, dla płytki polidomenowej występują bardzo duże rozrzuty prędkości propagacji AFP.

Z przedstawionych wyżej rozważań wynika, iż przy pomiarach metodą struktury testowej znaczne zmniejszenie amplitudy sygnałów z przetworników odbiorczych może być, niezależnie od przyjętego kryterium, przesłanką wskazującą na niejednorodność kryształu /płytki/.

5. WNIOSKI

Przedstawione wyżej rozważania wydają się w pełni uzasadniać przydatność metody stacjonarnej struktury próbnej do testowania płytek LiNbO_3 ze względu na parametry elektromechaniczne v_f i k .

Metoda ta ma niewątpliwe zalety, a mianowicie:

- pozwala określać z wystarczającą dokładnością wartości bezwzględne wszystkich wymienionych parametrów w sposób bezpośredni, t.j. bez konieczności stosowania wzorców;
- umożliwia wyznaczanie parametrów elektromechanicznych w warunkach analogicznych do rozchodzenia się AFP w filtrze. Taka sama procedura technologiczna wytwarzania struktury testowej i filtra powinna determinować jednakowe zachowanie się podłoża;
- pozwala oceniać jednorodność monokryształu z punktu widzenia wybranych parametrów;
- wymaga jedynie standardowego wyposażenia elektronicznego.

Do wad metody należy zaliczyć:

- niszczący charakter;
- uśrednianie wyników związane z dużymi rozmiarami struktury.

Jednorodność materiału określano na podstawie kryterium utrzymania się rozrzutów wartości prędkości propagacji AFP i współczynnika sprzężenia elektromechanicznego w granicach błędów pomiarowego. Kryterium to można jednak stosować tylko do płytek monodomenowych. Rozszerzenie metody o ocenę przydatności kryształów częściowo zmonodomenizowanych wymaga precyzyjnego pomiaru tłumienności. Wiadomo, że płytki wielodomenowe nie mogą być stosowane do wytwarzania podzespołów piezoelektrycznych. Nie jest jednak w tej chwili jasne, czy monodomenowe płytki pochodzące z częściowo zmonodomenizowanego kryształu mogą być używane do tego celu.

7 Tekst dostarczono 12.VI.1984 r./

LITERATURA

1. Soluch W., Książkowski R., Makowska T.: Prace ITR, 88, 1981, 41
2. Wiesonow A. F., Deriugin L. N., Komockij W. A.: Optyka i spektroskopia, 49, 2, 1980, 382
3. Goruk W. S., Stegman G. I.: J. Appl. Phys., 50, 11, 1979, 6719
4. Brokowski A., Deputat J.: Polish Tech. Rev., 6, 140, 1981, 15
5. Brokowski A., Pajewski W.: Materiały OSA-81, Gliwice 1981, 33
6. Brokowski A., Danicki E., Majewska H.: Materiały OSA-83, oddane do druku
7. Hałaciński B., Latuszek A.: Aparatura Naukowa i Dydaktyczna, Biuletyn COBRABID, 1/IV, 1980, 34
8. Dean R. B., Dixon W. J.: J. Anal. Chem., 23, 1951, 656
9. Zacharowa N. J., Kuźminow J. S.: Izv. Akad. Nauk SSSR, seria Nieorganiczne Materiały, 5, 1969, 1086
10. Podgórski A., Tumański A.: Opracowanie ITIE, Warszawa 1983