

Józef FINAK

Sławomir KOŃCZAK

Andrzej KRZESIŃSKI

TECHNOLOGIA WYTWARZANIA PRZETWORNIKÓW PIEZOELEKTRYCZNYCH  
Z ZnO DO GENERACJI FAL AKUSTYCZNYCH

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki badań nad technologią silnie steksturowanych cienkich warstw ZnO, otrzymanych przez rozpylenie w.cz. Strukturę i teksturę tych warstw określano dyfrakcją rentgenowską. Podano parametry procesu rozpylania, przy których uzyskuje się prostopadłą lub równoległą orientację osi "c" względem płaszczyzny podłoża. Przedstawiono także własności wytworzonych przetworników cienkowarstwowych z ZnO do generacji sprężystych fal podłużnych oraz próby generacji powierzchniowych fal Reyley'a.

WSTĘP

Przetworniki piezoelektryczne wykorzystywane są w akustyce mikrofalowej w takich urządzeniach, jak rezonatory i filtry na powierzchniowych i objętościowych falach akustycznych, liniach dyspersyjnych i opóźniających, a także w wielu innych elementach służących do kształtowania sygnałów radiowych i radiolokacyjnych [1, 2].

Również i w akustooptyce wykorzystuje się przetworniki piezoelektryczne, a to w modulatorach, deflektorach, filtrach itp. [3].

Do niedawna przy wytwarzaniu przetworników piezoelektrycznych stosowano bardzo kosztowne monokryształy wymagające precyzyjnej obróbki, co wpływało na duże koszty i wymagało długiego czasu wytwarzania elementów. Istnieje możliwość zastąpienia płytek monokrystalicznych cienkimi warstwami polikrystalicznymi z tego samego materiału. Tlenek cynku ze względu na dużą wartość współczynnika sprzężenia elektromechanicznego, odpowiednią impedencję akustyczną oraz własności elektryczne i mechaniczne jest jednym z materiałów, który najbardziej odpowiada wymaganiom stawianym warstwom piezoelektrycznym. Przetworniki cienkowarstwowe wykonuje się bezpośrednio na ośrodku, w którym chce się generować falę sprężystą [4], co jest dodatkową zaletą technologii ich wytwarzania.

## PRACE TECHNOLOGICZNE

Głównym problemem, jaki pojawia się przy opracowaniu technologii wytwarzania przetworników z cienkich warstw  $ZnO$ , jest otrzymanie warstwy piezoelektrycznej o dużym współczynniku sprzężenia elektromechanicznego [5-7].

Jako metodę wytwarzania warstw wybrano rozpylanie katodowe w polu wysokiej częstotliwości. Wyboru tego dokonano z uwagi na konieczność zachowania możliwie jak najlepszej stochiometrii. W przypadku cienków technika parowania w próżni staje się mało przydatna, a przy parowaniu reaktywnym nie ma gwarancji dobrej powtarzalności wyników. Wykonano urządzenie do rozpylania w.c.z., wykorzystując generator w.c.z. o częstotliwości 27,12 MHz i maksymalnej mocy 1 kW oraz układ elektrod wykonany w napyłarce NA-501 [8].

Struktura i własności warstw zależą od procesu ich wzrostu, na który składają się zarówno proces zarodkowania jak i koalescencja. Sterując wspomnianymi procesami można stymulować własnościami cienkich warstw. Proces wzrostu warstw o stosowanej tu technologii związany jest ściśle z warunkami w jakich zachodzi.

Prace technologiczne koncentrowały się na zbadaniu możliwości sterowania strukturą warstw  $ZnO$  poprzez odpowiedni dobór warunków procesu rozpylania. Aby w pierwszym etapie wyeliminować możliwość epitaksji, warstwy nanoszono na płytki ze szkła Corning 7059.

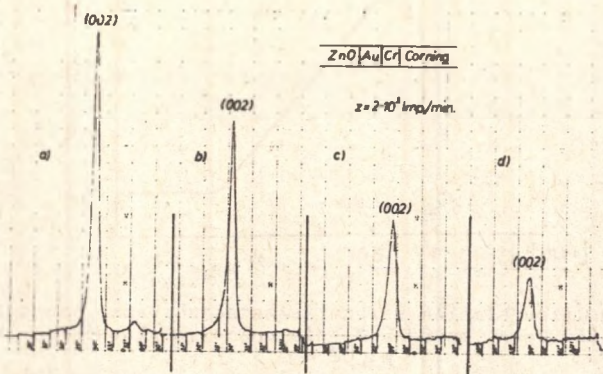
Do oceny struktury otrzymanych warstw wykorzystano dyfrakcję rentgenowską, używając dyfraktometru "DRON" 1,5". Dla określenia rodzaju i stopnia stekstrowania warstw porównywano dyfraktogram badanej warstwy z dyfraktogramem próbki proszkowej o nieuporządkowanych ziarnach [9]. Stwierdzono, że silnie stekstrowane warstwy  $ZnO$  o orientacji (002) uzyskuje się w następujących warunkach: ciśnienie  $p = 3 \times 10^{-2}$  Tr, moc wyładowania  $P = 250$  W, w temperaturze podłoża  $T = 343$  K, zawartości tlenu w gazie roboczym  $r = 50\%$ .

Przykładowy dyfraktogram rentgenowski warstwy  $ZnO$  otrzymanej w warunkach optymalnych przedstawiają rysunki 1a, 2b. Dyfraktogramy warstw otrzymanych przez rozpylanie w polu w.c.z. przy stosowaniu mocy większej od 250 W zostały pokazane na rys. 1b,c,d.

Obniżenie wysokości pików dyfrakcyjnych świadczy o zwiększeniu zawartości fazy amorficznej, natomiast ich poszerzenie należy wiązać ze zmniejszeniem średniej wielkości krystalitów wchodzących w skład drobnokrystalicznej fazy warstwy. Dyfraktogramy warstw otrzymanych przy zawartości tlenu w gazie roboczym różnym od  $r = 50\%$  przedstawia rys. 2a,c,d.

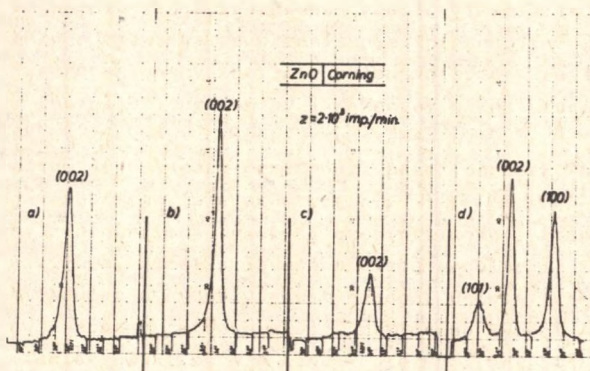
Na podstawie analizy rentgenogramów stwierdzono, że największy udział w warstwie krystalitów o orientacji osi "c" prostopadłej do podłoża uzyskuje się przy zawartości tlenu w gazie roboczym  $r = 50\%$ .





Rys. 1. Dyfraktogramy warstw ZnO otrzymanych przez rozpylanie w.c.z. przy  $p = 3 \times 10^{-2}$  Tr,  $T = 343$  K,  $r = 50\%$  i różnych mocach doprowadzonego pola w.c.z.

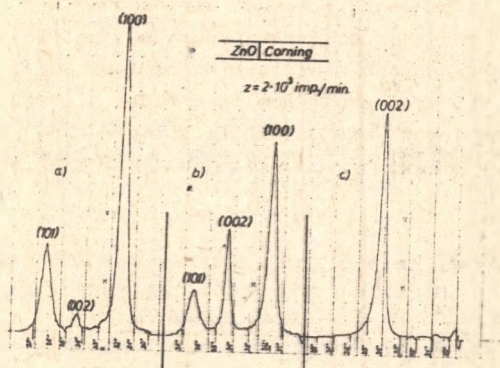
a)  $P = 250$  W, b)  $P = 300$  W, c)  $P = 350$  W, d)  $P = 400$  W



Rys. 2. Dyfraktogramy warstw ZnO otrzymanych przy  $P = 250$  W,  $p = 3 \times 10^{-2}$  Tr,  $T = 343$  K i różnej zawartości tlenu w gazie roboczym:

a)  $r = 30\%$ , b)  $r = 50\%$ , c)  $r = 70\%$ , d)  $r = 100\%$

Interesujące wyniki uzyskano dla warstw otrzymanych w podwyższonych temperaturach podłoży oraz przy obniżonym ciśnieniu w komorze roboczej. Wykonując szereg prób stwierdzono, że odpowiedni dobór parametrów procesu rozpylania ZnO pozwala uzyskać steakturowanie w kierunku (002) lub (100). Ilustruje to rys. 3.



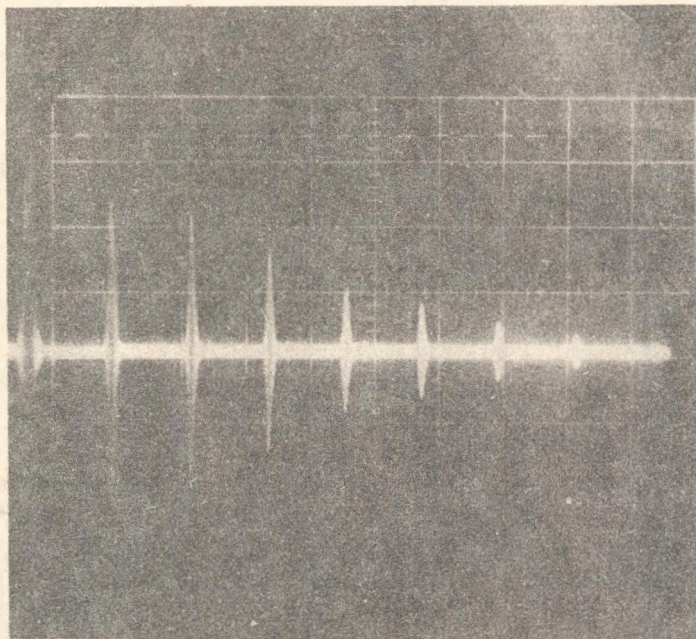
Rys. 3. Dyfraktogramy warstw ZnO otrzymanych w różnych warunkach:  
 a)  $T = 523 \text{ K}$ ,  $P = 450 \text{ W}$ ,  $p = 10^{-2} \text{ Tr}$ ,  $r = 50\%$ , b)  $T = 453 \text{ K}$ ,  $P = 450 \text{ W}$ ,  
 $p = 1,5 \times 10^{-2} \text{ Tr}$ ,  $r = 50\%$ , c)  $T = 343 \text{ K}$ ,  $P = 250 \text{ W}$ ,  $p = 3 \times 10^{-2} \text{ Tr}$ ,  
 $r = 50\%$

Warstwa, której dyfraktogram przedstawia rys. 3c jest silnie steakturowana z osią (002) prostopadłą do podłoża i można tę warstwę wykorzystać do generacji podłużnych fal sprężystych. Dyfraktogram warstwy steakturowanej z osią (100) prostopadłą do podłoża przedstawia rys. 3a. Uzyskanie tego typu tekstury w warstwach ZnO jest ważnym krokiem w kierunku otrzymania przetworników do generacji fal poprzecznych. Dotychczas ten kierunek steakturowania uzyskiwano przez domieszkowanie aluminium do warstw ZnO podczas ich wzrostu [10] lub wykorzystując monokrystaliczne podłoża odpowiedniej orientacji dla wymuszenia epitaksji [11].

Przed przystąpieniem do wytworzenia cienkowarstwowych przetworników do generacji sprężystych fal podłużnych należało dobrać materiał na dolne elektrody. Przydatność dobranej elektrody polega na tym, że nie wpływa on w sposób zasadniczy na zmiany tekstury warstw (patrz rys. 1a, 2a). Najlepszą w tym przypadku okazała się dwuwarstwa złota na chromie. Następnie wykonano cienkowarstwowe przetworniki z ZnO na prętach z



monokryształów z  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  oraz  $\text{SiO}_2$  i sprawdzono generację fal sprężystych w zakresie częstotliwości 400 MHz - 3 GHz.



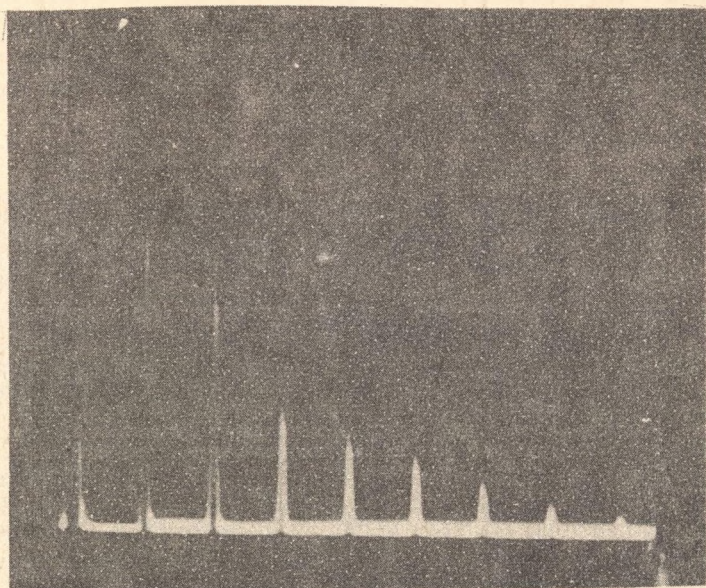
Rys. 4. Oscylogramy echoimpulsów otrzymanych w szafirze z naniesionym przetwornikiem ZnO przy częstotliwości  $f = 1065$  MHz

Przykładowe oscylogramy uzyskanych echoimpulsów przedstawiają rysunki 4, 5.

Zmierzono charakterystyki tłumienia przetworników i porównano je z krzywymi teoretycznymi obliczonymi dla układu zastępczego przetwornika cienkowarstwowego [12]. Z porównania obu charakterystyk określono współczynnik sprzężenia elektromechanicznego warstw ZnO, który dla fal podłużnych wynosi  $k_p = 0,21$ , co stanowi 75% wartości tego współczynnika dla monokryształu.

Wykonano wstępne badania nad transmisją fali hiperdźwiękowej przez granicę dwóch ośrodków przy zastosowaniu połączenia tych ośrodków na kontakt optyczny i generacji fali sprężystej przez cienkowarstwowo przetworniki z ZnO. Wyniki przedstawiają oscylogramy echoimpulsów na rys. 6.





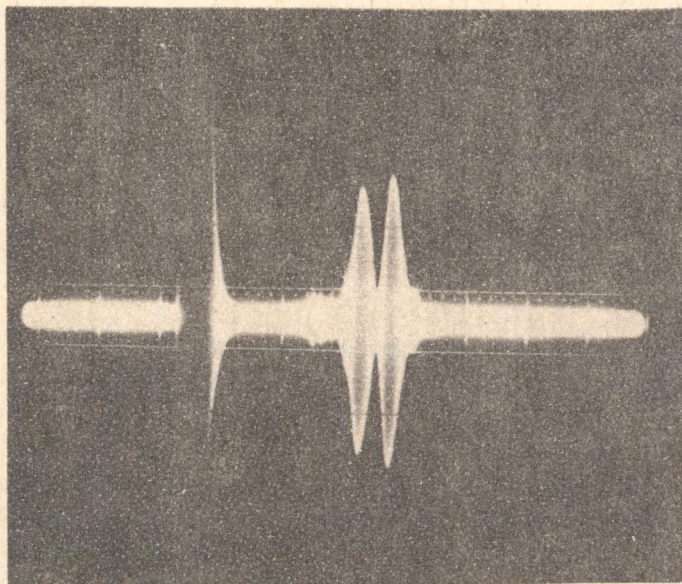
Rys. 5. Oscylogramy echoimpulsów otrzymanych w rubinie z naniesionym przetwornikiem ZnO przy częstotliwości  $f = 1200$  MHz



Rys. 6. Oscylogramy echoimpulsów otrzymanych z przejścia fali przez dwa sprzężone ośrodki



Podjęto również próby wykorzystania piezoelektrycznych warstw ZnO do generacji powierzchniowych fal Rayley'a w ośrodkach niepiezoelektrycznych. Oscylogram echoimpulsów fali powierzchniowej propagującej się na powierzchni szkła Corning 7059 przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Fala powierzchniowa wygenerowana na powierzchni szkła Corning 7059 przez przetwornik międzypalczasty pokryty piezoelektryczną warstwą ZnO

#### WNIOSKI

Otrzymane przetworniki cienkowarstwowe z ZnO ze względu na duży współczynnik sprzężenia elektromechanicznego i powtarzalność swych parametrów stwarzają możliwość produkcji nie stosowanych jeszcze w kraju urządzeń znajdujących zastosowanie w radiolokacji, układach powtarzających, opóźniających oraz akustooptyce do modulacji światła laserowego. Również jako przetworniki fal powierzchniowych powinny one znaleźć liczne zastosowania przy obróbce sygnałów z wykorzystaniem układów na falach powierzchniowych.

## LITERATURA

- [1] Hillman G.D., Seguin H.J.J.: IEEE Trans. Son. Ultrason. SU-21 49 (1974).
- [2] Hickernell F.S.: J. Solid State Chemistry 12, 225, (1975).
- [3] Brady M.J., Levand N., Reisinger A.: Optics Communications 7, 390, (1973).
- [4] Chubachi N.: Proc. IEEE 64, 773, (1976).
- [5] Inaba R., Ishiguro T., Mikoshiba M.: Japan. J. Appl. Phys. 10, 1493, (1971).
- [6] Ohji K., Tohda T., Wasa K., Hayakawa S.: J. Appl. Phys. 47, 1726, (1976).
- [7] Finak J., Krześciński A.: ZN Politechniki Śląskiej seria Mat.-Fiz. z. 30, 55, (1978).
- [8] Michernell F.: J. Vac. Scien. Techn. 12, 879, (1975).
- [9] Finak J., Krześciński A., Rawicz A.: ZN Politechniki Śląskiej, seria Mat.-Fiz., z. 30, 61, (1978).
- [10] Wasa K., Hayakawa S., Hada T.: IEEE Trans. Son. Ultrason, SU-21, 298, (1974).
- [11] Padadis E.L., Schushus A.J.: Thin Solid Films, 38, 131, (1976).
- [12] Finak J.: Praca doktorska. Politechnika Wrocławska (1976).

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ  
ИЗ ZnO ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

## Р е з ю м е

В работе представлено результаты исследования технологии сильно текстурованных тонких пленок ZnO получаемых методом распыления в.ч. Структуру и текстуру этих пленок определено методом дифракции рентгеновских волн. Приведено параметры процесса распыления при которых получается перпендикулярную или параллельную ориентацию осей "с" относительно плоскости подложки. Представлено некоторые свойства тонкопленочных преобразователей из ZnO используемых для генерации акустических волн.

THE TECHNOLOGY OF PIEZOELECTRIC ZnO THIN FILM TRANSDUCERS  
USED FOR THE GENERATION OF ACOUSTICAL WAVES

## S u m m a r y

The paper presents results of investigation of highly textured polycrystalline ZnO thin film obtained by means of r.f. sputtering deposition. The structure of these films has been studied with the aid of the X-ray diffraction. Parameters of the r.f. sputtering process which gives



ZnO film with either parallel or perpendicular orientation of c-axis with respect to the substrate plane are presented. Some properties of ZnO thin film transducer generating either a longitudinal elastic waves or surface acoustic waves on nonpiezoelectric substrates are also described.