

J. BERDOWSKI

TECHNOLOGIA WYTWARZANIA PRZETWORNIKÓW OPTOAKUSTYCZNYCH
I POMIAR ICH PODSTAWOWYCH CHARAKTERYSTYK

Streszczenie. W artykule omówiono technologie wykonania optoakustycznych przetworników pracujących w zakresie megahercowych częstotliwości. Przedstawiono pomiary podstawowych parametrów i charakterystyk wykonanych przetworników.

1. WSTĘP

Przetwornik optoakustyczny jest strukturą wielowarstwową służącą do generacji fali ultradźwiękowej o natężeniu modulowanym światłem. Przetworniki takie stosuje się m.in. w: ultradźwiękowych systemach wizualizacji, układach optoakustycznego przetwarzania oraz filtracji. Niniejsza praca przedstawia technologie wykonania przetworników optoakustycznych pracujących w zakresie MHz oraz podstawowe parametry otrzymanych przetworników. Z uwagi na trudności technologiczne oraz ograniczoną dostępność materiałów wykonano częściowo zintegrowaną wersję pozytywnego przetwornika optoakustycznego.

2. ZASADY BUDOWY I DZIAŁANIA PRZETWORNIKÓW OPTOAKUSTYCZNYCH

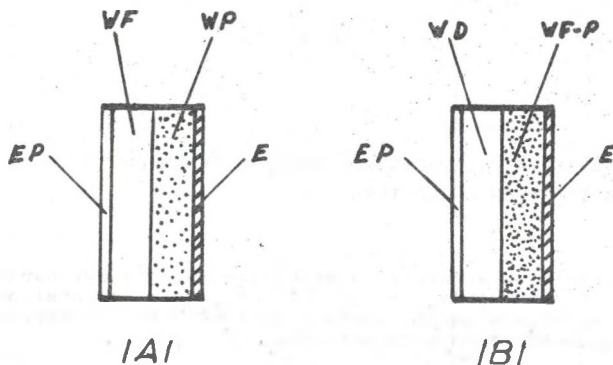
Przetwornik optoakustyczny (POA) przekształca przestrzenny rozkład natężenia światła na odpowiadający mu rozkład amplitudy generowanej fali akustycznej. Przetwornik taki tworzy struktura wielowarstwowa i w zależności od budowy rozróżnia się dwa podstawowe typy [1]:

- przetwornik pozytywny (P - POA),
- przetwornik negatywny (N - POA).

Schematycznie budowę tych struktur pokazano na rys. 1.

A. Pozytywny przetwornik optoakustyczny

Strukturę taką tworzą dwie warstwy materiałów: jedna fotoprzewodząca, druga piezoelektryczna, umieszczone pomiędzy dwiema cienkimi elektrodami. Elektroda nałożona na warstwę fotoprzewodzącą jest przepuszczalna dla światła widzialnego. Na elektrody przykładany jest przestrzennie jednorodny potencjał, zmienny w czasie. Zakładając takie parametry warstw, aby w wa



Rys. 1. Schemat budowy przetwornika optoakustycznego

A) struktura pozytywna, B) struktura ujemna, E - elektroda planarna, EP - elektroda przezroczysta, WF - warstwa fotoprzewodząca, WP - warstwa piezoelektryczna, WD - warstwa dielektryczna, WF-P warstwa fotoprzewodząco-piezoelektryczna

runkach ciemnych większość spadku potencjału występuje na warstwie światłoczułej, otrzymuje się generację fali akustycznej o małej amplitudzie.

W przypadku oświetlenia przetwornika rezystancja warstwy fotoprzewodzącej maleje, w związku z czym rośnie spadek napięcia na przekroju płytki piezoelektrycznej. Amplituda generowanej fali ultradźwiękowej w tym przypadku jest większa. W pozytywowej wersji POA rozkład amplitudy generowanej fali akustycznej jest pozytywnym w stosunku do rozkładu natężenia światła podanego na wejście przetwornika.

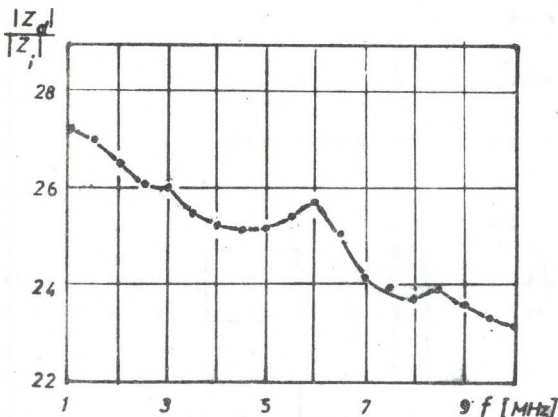
B. Negatywny przetwornik optoakustyczny

Negatywną wersję POA tworzą dwie warstwy materiałów: dielektryczna oraz fotoprzewodząca posiadająca równocześnie dobre własności piezoelektryczne. Elektroda przezroczysta naniesiona jest na warstwę dielektryczną. Parametry warstw dobiera się w ten sposób, że przetwornik w warunkach ciemnych wysyła falę akustyczną o dużej amplitudzie. Padająca światła dezaktywuje przetwornik i osłabia natężenie fali ultradźwiękowej na wyjściu. N-POA generuje falę akustyczną, której rozkład amplitudy jest negatywnym w stosunku do rozkładu natężenia światła podanego na wejście przetwornika.

Przydatność wyżej opisanych przetworników w różnych zastosowaniach określa przede wszystkim dokładność z jaką POA przekształca wzór optyczny na odpowiedni rozkład amplitudy fali akustycznej. Na skutek ograniczonych rozmiarów urządzenia a także z powodu określonych własności materiałów używanych w budowie przetworników dokładność ta jest ograniczona.

3. KONSTRUKCJA POZYTYWNYCH PRZETWORNIKÓW OPTOAKUSTYCZNYCH

Ze względu na duże trudności technologiczne oraz ograniczoną dostępność materiałów wykonane przetworniki posiadały częściowy stopień integracji.



Rys. 2. Stosunek modułów impedancji warstwy fotoprzewodzącej w funkcji częstotliwości

dano kształt cylindra o średnicy 20 mm i grubości 110 μm . Ponieważ na elektrody POA podawana jest napięcie zmienne o wysokiej częstotliwości dlatego ważną informacją stanowi wielkość stosunku impedancji nieoświetlonej warstwy fotoprzewodzącej $|Z_d|$ do impedancji warstwy oświetlonej $|Z_1|$ w funkcji częstotliwości. Wykres na rys. 2 przedstawia stosunek modułów odpowiednich impedancji w funkcji częstotliwości przykładowego napięcia.

Pomiar $|Z_d|$ został wykonany przy natężeniu oświetlenia 2 lx a $|Z_1|$, przy natężeniu oświetlenia 5 000 lx. Na jedną powierzchnię warstwy CdS naparowano półprzezroczystą elektrodę aluminiową.

Dla światła laserowego o długości fali $\lambda = 0,6328 \mu\text{m}$ przepuszczalność tej elektrody wynosiła $\sim 50\%$. Warstwę piezoelektryczną stanowiła płytka z ceramiki PP-9. Najważniejsze jej parametry wynoszą [3]: względna przenikalność dielektryczna $\epsilon_r = 700$, współczynnik sprzężenia elektromechanicznego $k = 0,5$. Do konstrukcji POA użyte płytek piezoelektrycznych o częstotliwościach rezonansowych $f_0 = 2,17 \text{ MHz}$ i $f_0 = 8,0 \text{ MHz}$ oraz średnicy 20 mm. Na każdej płytce naparowano z jednej strony aluminiową elektrodę planarną.

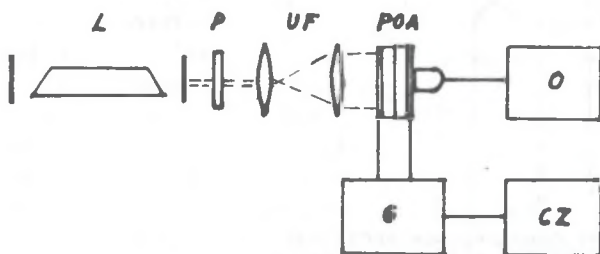
Składały się one z dwu części: jedną stanowiła światłoczuła warstwa ceramiczna CdS z naniesioną na jednej powierzchni półprzezroczystą elektrodą, drugą - warstwa piezoelektryczna ceramiki PP-9 z naniesioną elektrodą. Części te łączone ze sobą za pomocą obudowy specjalnej konstrukcji.

Bardziej szczegółową technologię utrzymania poszczególnych warstw podano poniżej. Fotoprzewodzącej ceramicznej warstwie siarczku kadmu, wytworzonej przy użyciu znanych technologii [2], na-

4. POMIAR PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW PRZETWORNIKÓW OPTOAKUSTYCZNYCH

Dokładność przetwarzania wzorca optycznego na odpowiedni rozkład amplitudy fali akustycznej oraz ogniekowanie wiązki ultradźwiękowej opisuje następujące parametry POA [4, 5]:

- optoakustyczny stosunek włączenia K_{sw} ,
- funkcja przejścia $K(\lambda)$,
- optoakustyczna przestrzenna funkcja przejścia $H(f_x)$,
- czas reakcji przetwornika τ ,
- wielkość aktywnej i jednorodnej powierzchni przetwornika.



Rys. 3. Schemat układu badawczego do pomiaru podstawowych parametrów POA. L - laser, P - polaryzator, UF - układ formujący, POA - przetwornik optoakustyczny, G - generator w.cz., CZ - częstotściomierz, O - oscyloskop

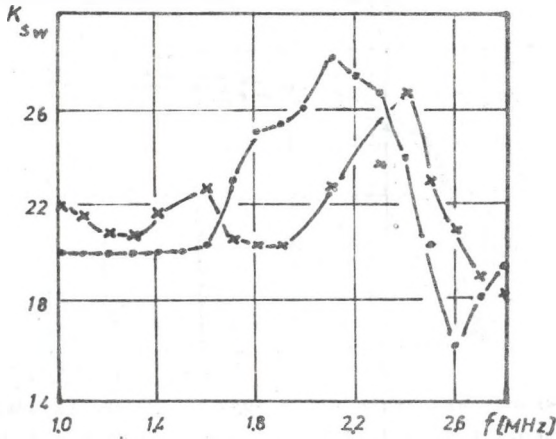
Podstawowe parametry POA mierzono układem pomiarowym, którego schemat przedstawiono na rys. 3. Pomiar stosunku włączenia wykonano dwoma metodami: 1) mierząc ciśnienie generowanej przez POA fali akustycznej za pomocą głowicy ultradźwiękowej, 2) przez pomiar zmiany spadku potencjału na płytce piezoelektrycznej w odpowiedzi na zmianę natężenia oświetlenia wejścia POA. Pomiar przeprowadzono na ekranie oscyloskopu.

Wyniki powyżej opisanych pomiarów dla P-POA z płytkami piezoelektrycznymi o częstotliwości rezonansowej 2,17 MHz oraz 8,0 MHz przedstawiono odpowiednio na rys. 4 i 5.

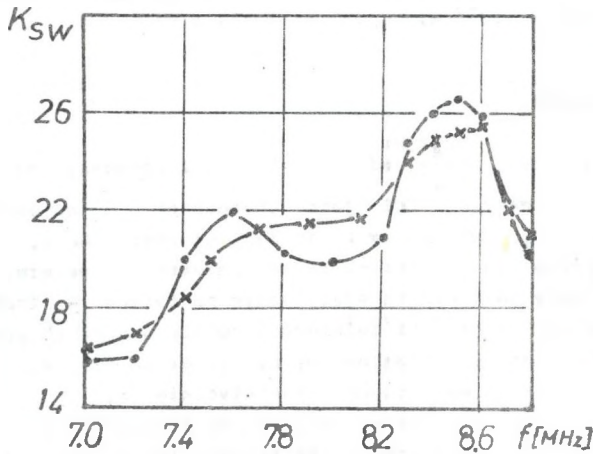
Zmierzono także zależność optoakustycznego stosunku włączenia od natężenia oświetlenia optycznego wejścia przetwornika. Wyniki pomiarów dla obu typów przetworników przedstawiono na rys. 6.

Wielkość aktywnej powierzchni POA mierzono badając wpływ szerokości wiązki laserowej oświetlającej wejście przetwornika na zmianę wielkości optoakustycznego stosunku włączenia. W tym celu pomiędzy laserem a przetwornikiem umieszczono soczewkę i za jej pomocą zmieniano wielkość plamki świetlnej na P-POA. Wyniki tych pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Badanie jednorodności powierzchni wejściowej POA prowadzono oświetlając optyczne wejście przetwornika wiązką laserową o średnicy 1 mm oraz przesuwając ją po tej powierzchni. Stwierdzono, że dla obu typów POA sto-



Rys. 4. Stosunek włączenia POA w funkcji częstotliwości dla $f_0 = 2,17$ MHz
 o - pomiar głowicą ultradźwiękową, x - pomiar ze stosunku spadku napięć

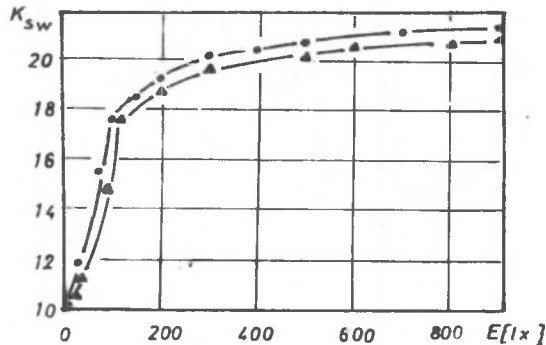


Rys. 5. Stosunek włączenia POA w funkcji częstotliwości dla $f_0 = 8,0$ MHz
 o - pomiar głowicą ultradźwiękową, x - pomiar ze stosunku spadku napięć

Tabela 1

Szerokość wiązki [mm]	1	2	3	4	5	6	7	8	10	15	20
$K_{sw}/K_{sw \max}$ [%]	88	88	90	95	95	96	96	100	100	100	100

sunek włączenia zmienia się na powierzchni wejściowej co najwyżej o 5%. W celu wyznaczenia czasu odpowiedzi POA na impuls świetlny, pomiędzy laser a przetwornik wstawiane modulator światła. Obserwowano zależność an-



Rys. 6. Stosunek włączenia POA w funkcji natężenia oświetlenia
 ● - przetwornik o $f_0 = 2,17$ MHz, ▲ - przetwornik o $f_0 = 8,0$ MHz

plitudy fali akustycznej generowanej przez POA od częstotliwości modulacji natężenia światła. Wyznaczone w ten sposób, że czas reakcji przetwornika wynosi $\tau = 4 \cdot 10^{-3}$ s.

5. DYSKUSJA WYNIKÓW

Przebieg zależności $\frac{|Z_d|}{|Z_1|}$ od częstotliwości pokazany na rys. 2 można wyjaśnić traktując warstwę CdS jako kondensator o pojemności C z bocznikowaną oporem R_1 lub R_d w zależności od oświetlenia.

Wraz ze wzrostem częstotliwości zmienia rezytancji warstwy CdS pod wpływem oświetlenia ma coraz mniejszy wpływ na zmianę jej impedancji.

Ekperymentalnie wyznaczone zależności optoakustycznych stosunków włączenia od częstotliwości przedstawione na wykresach rys. 4 i 5 różnią się charakterem od krzywych wyznaczonych teoretycznie [5].

Różnice te spowodowane zostały szeregiem czynników, których przy rozpatrywaniu teoretycznego modelu zastępczego nie wzięto pod uwagę. Najważniejsze z nich te: - pominięcia piezoelektrycznych własności warstwy CdS; - niedoskonałość złącze pomiędzy warstwę piezo- i fotoelektryczną; - wpływ obudowy POA na zjawiska rezonansowa.

Zależność K_{sw} od natężenia oświetlenia przedstawiona na rys. 6 zderminowana jest własnościami warstwy fotoprzewodzącej. Jak łatwo wykażeć dla przetworników tego typu spełniona jest zależność [6]: $K_{sw} \propto E^\alpha$, gdzie: E - natężenie oświetlenia, α - współczynnik zależny od rodzaju materiału i długości fali elektromagnetycznej. Dla CdS α przyjmuje wartości od 0,7 do 0,9. Otrzymane charakterystyki potwierdzają tę zależność. Optymalna wielkość aktywnej powierzchni POA oraz czas reakcji zależą od jego zastosowania. Jeżeli ma być użyty jako źródło wiązki ultradźwiękowej zogniskowanej w odległości f od przetwornika, wówczas optymalną średnicę określa wyrażenie [7]:

$$D_0 = \frac{2f\tilde{\nu}_{x CA}}{(1 - \tilde{\nu}_{x CA})^{1/2}}$$

gdzie:

$\tilde{\nu}_{x CA}$ - znormalizowana częstotliwość przestrzenna.

Przykładowo POA emitujący do wody wiązkę akustyczną zogniskowaną w odległości $f = 10$ cm od przetwornika posiada optymalną średnicę $D_0 = 8,2$ cm. Czas reakcji POA w dynamicznych układach skanujących powinien wynosić mniej niż $1 \mu s$. Można zbliżyć się do tej wielkości, stosując warstwę fotoprzewodzącą z Cd Se.

6. PODSUMOWANIE

Analizując parametry wykonanych przetworników pod kątem ich zastosowań w układach praktycznych można stwierdzić, że spełniają one stawiane wymagania, jednak w ograniczonym zakresie. Wytworzenie przetwornika całkowicie zintegrowanego, o znacznie cieńszej warstwie fotoprzewodzącej, pozwoliłoby zwiększyć kilkakrotnie optoakustyczny stosunek włączenia. Dalszych badań wymaga także technologia, umożliwiająca otrzymanie przetworników o dużych powierzchniach i krótkim czasie reakcji.

LITERATURA

- [1] Wang K., Burns V., Wade G., Elliot S.: Opt. Eng. 16, 432, (1977).
- [2] Kamler J., Mańk A.: Odbiorniki fotoelektryczne i ich zastosowania. WNT, Warszawa 1966.
- [3] Soluch W.: Wstęp do piezoelektroniki. WKŁ, Warszawa 1980.
- [4] Elliot S., Wade G., Hu T., Wang K.: Ultrasonics Symposium Proceed. 250 (1978).
- [5] Elliot S., Domerkas V., Wade G.: IEEE Trans. Sonics and Ultrasonics SU-25, 346 (1978).
- [6] Tymowski J.: Materiały konstrukcyjne w budowie aparatury elektronicznej. WNT, Warszawa 1978.
- [7] Noorbehath B., Wade G.: Acoust. Vizual. 9, 139 (1978).

Recenzent: prof. dr inż. Zenon Jagodziński

Wpłynęło, 16.03.1983 r.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ОПТОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
И ИЗМЕРЕНИЕ ИХ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Р е з ю м е

В статье оговаривается технология производства оптоакустических преобразователей, работающих в диапазоне МГц частот. Приведены измерения основных параметров и характеристик полученных преобразователей.

A TECHNOLOGY OF OPTOACOUSTIC TRANSDUCERS AND MEASUREMENT
OF THEIR BASIC PROPERTIES

S u m m a r y

Technologies of optoacoustic transducers working in MHz frequencies are presented. Measurements of basic properties and characteristics of the produced transducers are described.