

Aleksander OPILSKI

Tadeusz PUSTELNY

WZMOCNIENIE AKUSTYCZNEJ FALI POWIERZCHNIOWEJ RAYLEIGHA

W UKŁADZIE WARSTWOWYM $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ - n Si oraz LiNbO_3 - n Si

Streszczenie. W pracy przedstawiono eksperymentalną realizację wzmocnienia fali powierzchniowej Rayleigha w układzie warstwowym. Jako piezoelektryczne podłoża falowodowe zastosowano monokryształy LiNbO_3 oraz $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, zaś jako półprzewodnik monokrystaliczny krzem Si typu n .

Wynikiem oddziaływania piezopola, związanego z propagującą się falą powierzchniową w piezoelektryku z dryfującymi w półprzewodniku nośnikami ładunku, jest dodatkowe, elektronowe tłumienie lub wzmocnienie fali powierzchniowej [6]. Zjawisko oddziaływania fali powierzchniowej z nośnikami próbuje się wykorzystać do konstrukcji wzmacniaczy elektronicznych wysokiej częstotliwości (tzw. wzmacniaczy elektrono-akustycznych) [4,5,7,8]. Większość układów wzmacniających tego typu realizowano dotychczas na kryształach piezopółprzewodnikowych [1,3,5], a także w układzie piezoelektryk z epitaksjalną warstwą półprzewodnikową [2,8,9].

Ukazało się dotychczas tylko kilka prac eksperymentalnych, w których jako źródło dryfujących nośników ładunku zastosowano półprzewodnik monokrystaliczny [4].

Trudności z zastosowaniem monokryształu półprzewodnikowego wynikają z bardzo silnej zależności uzyskiwanych wzmocnień od własności aktywnej powierzchni półprzewodnika, przede wszystkim od obróbki mechanicznej tej powierzchni a także od stanów powierzchniowych w półprzewodniku. Nasunęło to możliwość zastosowania tego typu układów do badań stanów powierzchniowych przy wysokich częstotliwościach. Teoretyczne podstawy akustycznej metody określenia parametrów stanów powierzchniowych w półprzewodniku w układzie piezoelektryk-półprzewodnik zostały podane w pracy [10].

W przedstawionych w niniejszej pracy wzmacniaczach akusto-elektronowych autorzy jako podłoża falowodowe zastosowali monokryształy:

- niobianu litu LiNbO_3 o cięciu $[Y]$ i kierunku propagacji $[Z]$,
- tlenku bizmutowo-germanowego $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ o cięciu $[110]$ i kierunku propagacji $[001]$.

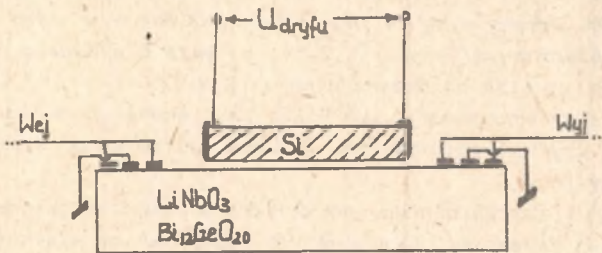
Falę powierzchniową wytwarzano za pomocą przetworników międzypalczastych. Odległość między przetwornikami nadawczym i odbiorczym w obu przypadkach wynosiła 14 [mm]. Dla układu na LiNbO_3 pomiary wykonano przy częstotliwości 101 MHz, zaś dla BGO przy 75 MHz.

Całkowite tłumienie (związane z propagacją fali Rayleigha i podwójnym przetwarzaniem) wynosiło dla: LiNbO_3 - 21 [dB], dla BGO - ponad 40 [dB]. Elektronowe tłumienie zerowe wynosiło dla LiNbO_3 około 7 [dB], zaś dla BGO tylko 2 [dB].

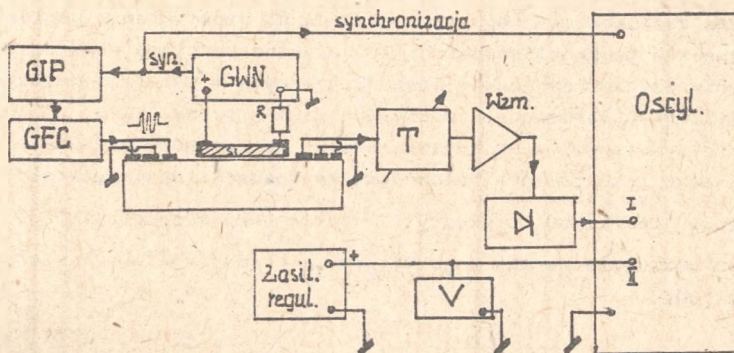
Już ze względu na te parametry należało spodziewać się, że wzmacniacz na LiNbO_3 będzie układem zdecydowanie lepszym. Jako półprzewodnik zastosowano monokrystaliczny Si typu n, o orientacji [111] i oporności właściwej $\rho = 50$ [Ωcm]. Aktywna długość oddziaływania krzemu $D = 11$ [mm], szerokość $S = 7$ [mm] i grubość $G = 50$ [μm]. Mała grubość miała ograniczyć wydzielające się w układzie ciepło. Z tego samego powodu zastosowano impulsowanie napięcia dryfu z częstotliwością 1 [kHz]. Czas trwania wysokiego napięcia dryfu w.N. wynosił około 7 [μs]. Przy tych parametrach napięcia dryfu nie zauważono grzania się płytki krzemowej. Kontakty dryfu były ohmowe w całym zakresie stosowanych napięć, tj. od 0 do ± 2800 [V]. Aktywne, stykające się powierzchnie falowodu i półprzewodnika były dobrze wypolerowane, miejscowe nierówności nie przekraczały 0,1 [μm].

Schemat układu wzmacniacza przedstawiono na rys. 1.

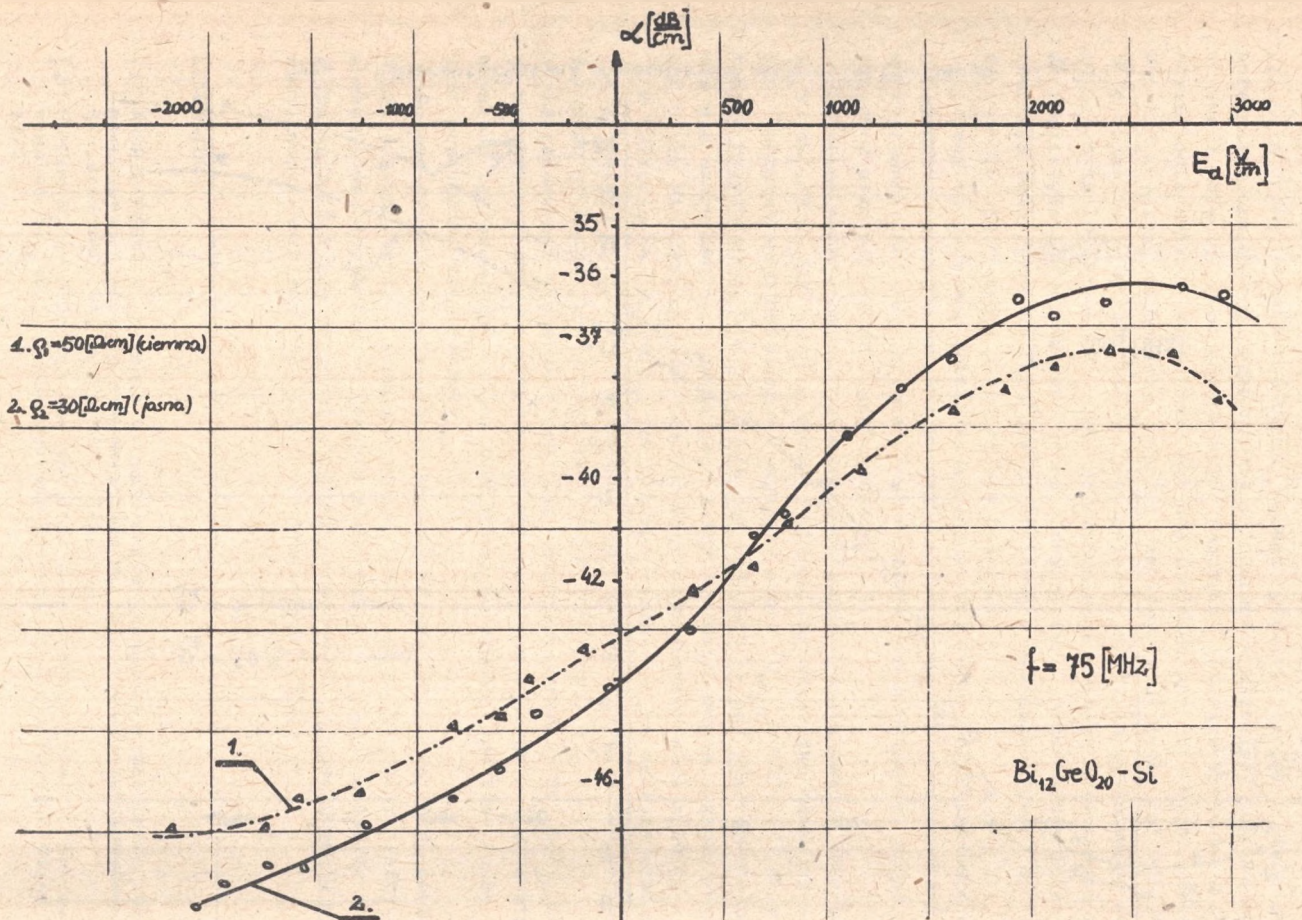
Ideę układu pomiarowego przedstawia rys. 2.



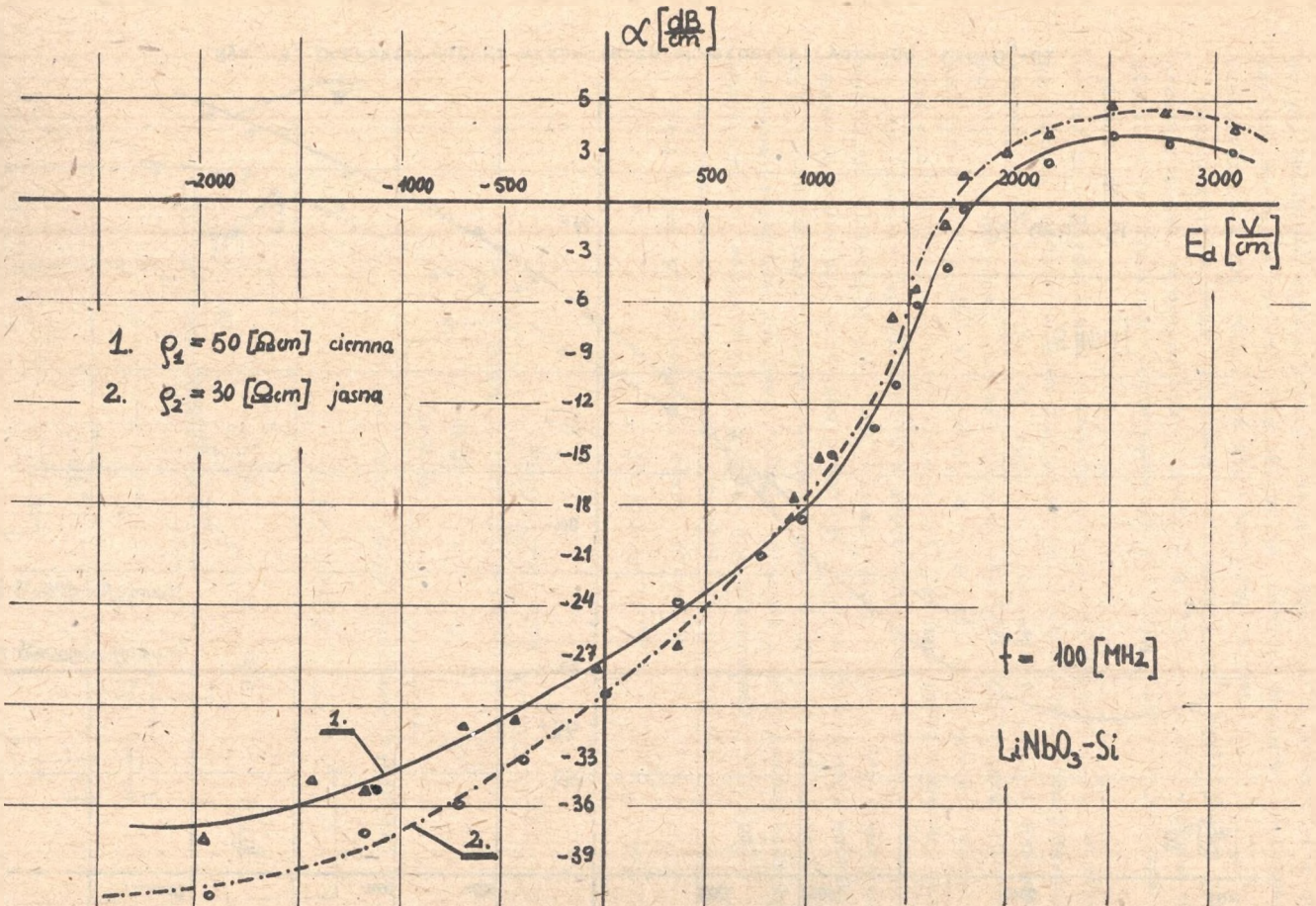
Rys. 1. Schemat wzmacniacza akustoelektrycznego



Rys. 2. Układ pomiarowy do badania wzmacniacza



Rys. 3. Charakterystyki wzmacniacza akustoelektrycznego $LiNbO_3-Si$



Rys. 4. Charakterystyki wzmacniacza akustoelektronowego $Bi_{12}GeO_{20}-Si$

Pomiaru dokonywano poprzez porównanie napięcia wzorcowego z napięciem wyjściowym z przetwornika odbiorczego na oscyloskopie, a następnie pomiar napięcia wykonany był woltomierzem cyfrowym.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono charakterystyki wzmacniaczy w funkcji pola dryfu. Krzywa 1 dotyczy krzemu nieoświetlonego. W eksperymencie sprawdzano zależność wzmocnienia od oporności właściwej półprzewodnika. Krzywa 2 dotyczy tego samego półprzewodnika, którego oporność w wyniku oświetlenia została zmieniona. Aktywna powierzchnia Si była oświetlona poprzez kryształ falowodowy światłem czerwonym o długości fal 700-750 [nm].

W układzie na LiNbO_3 zmiany (wzmocnienie) napięcia wyjściowego wynosiły około 34 [dB] (rys. 3). Jest to wzmocnienie sygnału wyjściowego wywołane oddziaływaniem pola elektrycznego dryfujących elektronów z polem elektrycznym towarzyszącym fali powierzchniowej w piezoelektryku, odniesione do sygnału wyjściowego przy zerowym polu dryfu.

Zmiany te uzyskano dzięki zastosowaniu pola dryfu przykładanego do półprzewodnika, w zakresie natężeń 0-2700 [V/cm]. Większość wzmocnienia wykorzystywana jest na pokrycie strat wewnętrznych w układzie, strat związanych z przetwarzaniem i propagacją.

Czystego wzmocnienia, w stosunku do napięcia wejściowego, uzyskano około 5 [dB]. Przy 200 [mV] na wyjściu układu (przetworniku nadawczym) na wyjściu (przetworniku odbiorczym) uzyskano około $U_{\text{wyj}} = 350$ [mV] przy maksymalnym wzmocnieniu. Dla pól dryfu powyżej 2000 [V/cm] obserwowano nasycanie się wzmocnienia, a nawet jego malenie. Zastosowanie jeszcze wyższych pól dryfu nie zwiększyłoby więc zakresu uzyskiwanych wzmocnień (rys. 3).

W układzie na $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ straty wewnętrzne są tak duże, że wzmocnienia rzeczywistego w ogóle nie uzyskano. Jednocześnie zakres zmian napięcia wyjściowego wynosił w tym przypadku tylko 8 [dB] (rys. 4).

Zastosowane w eksperymentach jako podłoża falowodowe $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, a przede wszystkim LiNbO_3 należą do grupy dobrych piezoelektryków, a mimo to uzyskane zakresy wzmocnień są zbyt małe, by układy tego typu mogły znaleźć praktyczne zastosowanie.

Dalšie prace z tej dziedziny powinny koncentrować się nad poszukiwaniami i technologiami lepszych jeszcze materiałów piezoelektrycznych, o większym współczynniku sprzężenia elektromechanicznego i małych stratach propagacji, a także materiałów półprzewodnikowych, o zdecydowanie większej ruchliwości nośników oraz małej ich koncentracji [7].

LITERATURA

- [1] ANDRZEJEWSKI N. i inni: Analiza eksperymentalna wzmacniacza elektro-akustycznego ciągłego działania na falach powierzchniowych w CdS. Biuletyn WAT, XX, Nr 1, 221, 1971.
- [2] CAMBON G. et al.: Surface acoustic wave energy transfer in air-gap-coupled $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ - CdS system. Journal of Appl. Phys., Vol.47, No 11, 1976.

- [3] COLOREN L.A. at all: Monolithic acoustic surface-wave amplifier, Appl. Phys. Lett., Vol. 18, No 8, 1971.
- [4] COLLIUS J.H., at all: Amplification of acoustic surface waves with adjacent semiconductor and piezoelectric crystals, Vol. 13, No 9, 1968.
- [5] COOPER J.H., at all: Ultrasonic surface-wave amplification in cadmium sulfide, Appl. Phys. Lett., Vol. 2, No 7, 1973.
- [6] GULAJEW J.W. i inni: K teorii elektronowego pogłuszczenia i usilenia powierzchniowych zwukowych wołn w piezokryształach. F.T.T., T.12, No 9, 1970.
- [7] KINO G.S.: A normal mode theory for the Rayleigh wave amplifier. JEEE ED, ED 18, No 10, 1971.
- [8] LAKIN K.M., at all: 100 MHz Surface Acoustoelectric Amplifier Exhibiting Stable Terminal Gain with DC Drift Field, Proceedings, of the JEEE, April, 1969.
- [9] YOSKIDA K. at all: Interaction between Surface Elastic Waves and Duffing Carriers in Layered System. Japan, J. Appl. Phys. 7, 1143, 1968.
- [10] OPILSKI A.: Wpływ stanów powierzchniowych na propagację powierzchniowej fali ultra- i hiperdźwiękowej w półprzewodnikach, Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Nr 463, s. Mat.-Fiz. z. 27, Gliwice 1975.

УСИЛИТЕЛЬ РЭЛЕВСКОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ
В ЛАМИНАРНОЙ СИСТЕМЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК

Р е з ю м е

Представлено экспериментальную реализацию усилителя акустической рэлевской волны в ламинарной системе используя монокристаллические LiNbO_3 и BiGeO_{20} в качестве пьезоэлектрика а как полупроводник монокристаллический Si типа n. Систему LiNbO_3 -Si сделали на частоту 100 МГц, систему $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ -Si на частоту 75 МГц. Диапазоны выходного напряжения для этих систем соответственно равны 34 дВ и 8 дВ.

THE AMPLIFIER OF THE RAYLEIGH ACOUSTIC SURFACE WAVE WITH PIEZOELECTRIC
- SEMICONDUCTOR LAMINAR SYSTEM

S u m m a r y

An experimental realization of the Rayleigh surface wave amplifier in a laminar system is described. LiNbO_3 and $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ monocrystals have been used as piezoelectric surface wave-guide and monocrystalline Si of n type as semiconductor. The system LiNbO_3 -Si was designed for the frequency 100 MHz while the system $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ -Si for the frequency 75 MHz. The ranges of output voltage changes for those two systems were respectively equal to ca 34 dB and ca 8 dB.

Wpłynęło do Redakcji 3.XI.1979 r.

Recenzent

Doc. dr inż. Bogusław Nosowicz