

POMIARY ROZKŁADU AMPLITUDY I FAZY AKUSTYCZNEJ FALI POWIERZCHNIOWEJ W KRYSZTALE $\text{NdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ Z WYKORZYSTANIEM SONDY ELEKTRYCZNEJ

Ernest Brzozowski

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa; e-mail: ernest.brzozowski@itme.edu.pl

Streszczenie: Skonstruowano sondę do pomiaru rozkładu amplitudy i fazy akustycznej fali powierzchniowej (AFP) w płaszczyźnie propagacji. Elektrode sondującą wykonano w postaci wolframowej igły przesuwanej po polerowanej powierzchni kryształu piezoelektrycznego. Do odczytu wzmacnionego sygnału z elektrody sondującej wykorzystano analizator sieci. Za pomocą sondy zbadano rozkłady amplitudy i fazy w wiązce AFP dla wybranych orientacji kryształu $\text{NdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$.

Słowa kluczowe: sonda, sonda elektryczna, kryształ piezoelektryczny, AFP

Measurement of amplitude and phase distribution of surface acoustic wave in $\text{NdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ crystal using electric probe

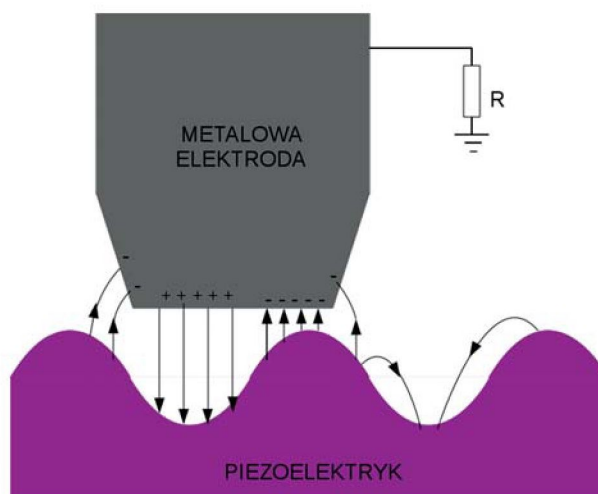
Abstract: An electric probe for measurement of amplitude and phase distribution of surface acoustic wave (SAW) in propagation plane was developed. The probing electrode was formed as tungsten pin sliding on polished surface of piezoelectric crystal. For reading of electric signal from the electrode a network analyser was used. Amplitude and phase distributions in AFP beam were measured for chosen orientations of $\text{NdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ crystal.

Key words: electric probe, piezoelectric crystal, surface acoustic wave

1. WSTĘP

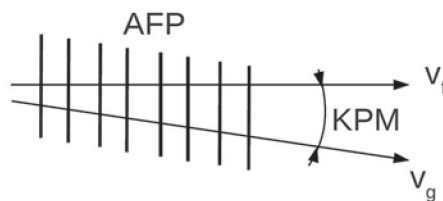
Rozkłady amplitudy i fazy akustycznej fali powierzchniowej (AFP) w płaszczyźnie propagacji mają istotne znaczenie w projektowaniu podzespołów, ponieważ wpływają na parametry przetworników międzypalczastych (PM). W badaniach własności nowych kryształów piezoelektrycznych z wykorzystaniem AFP znajomość rozkładu amplitudy jest konieczna do poprawnego wyznaczenia współczynnika

sprężenia elektromechanicznego. Do pomiaru tych rozkładów na powierzchni kryształu piezoelektrycznego można wykorzystać metalową igłę (elektrodę sondującą) przesuwaną po powierzchni [1]. Pole elektryczne towarzyszące AFP wzbudza w obwodzie elektrycznym igły prąd, którego natężenie i faza zależą od amplitudy i fazy AFP (Rys. 1). Na podstawie zmierzonego rozkładu amplitudy można wyznaczyć kierunek rozchodzenia się wiązki AFP oraz kąt przepływu mocy (KPM, Rys. 2). Pomiary fazy pozwalają natomiast na precyzyjne wyznaczenie prędkości fazowej przy swobodnej ścieżce propagacji AFP.



Rys. 1. Zasada działania sondy [1].

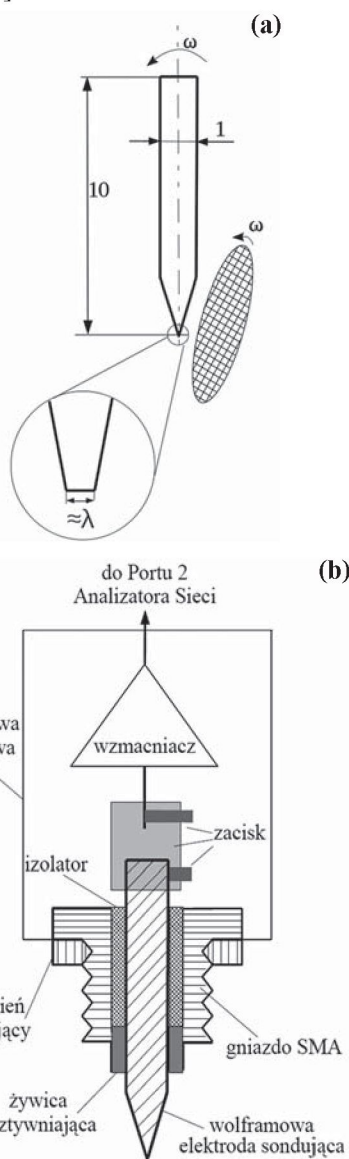
Fig. 1. Principle of electric probe [1].



Rys. 2. Wiązka AFP z niezerowym kątem przepływu mocy.
Fig. 2. Non-zero power flow angle SAW beam.

2. WYKONANIE SONDY ELEKTRYCZNEJ

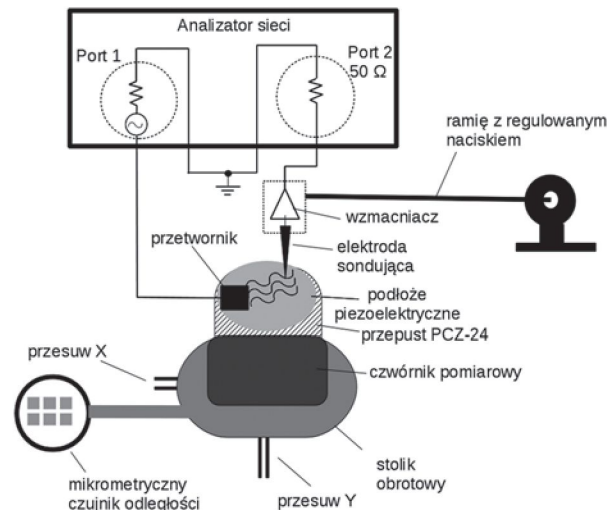
Elektrodę sondującą wykonano z zaostzonego drutu wolframowego o długości 10 mm i średnicy 1 mm. Ostrzenie drutu przeprowadzono za pomocą drobnoziarnistej, diamentowej tarczy szlifierskiej wprawiając ją w ruch obrotowy z prędkością kątową ω , zarówno tarczę jak i drut (Rys. 3a). Ostrze elektrody sondującej już po zmontowaniu stanowiska pomiarowego uformowano tak, żeby średnica styku z powierzchnią kryształu była w przybliżeniu równa długości AFP. Średnica taka zapewnia maksymalnie efektywną zamianę mocy akustycznej na sygnał elektryczny [1].



Rys. 3. Konstrukcja elektrody sondującej (a) oraz jej zamocowanie (b).

Fig. 3. Electric probe fabrication (a) and handling (b).

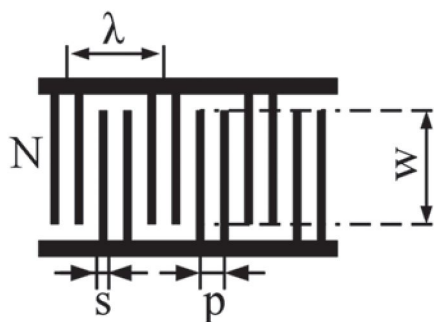
Elektrodę sondującą zamocowano do złącza SMA i usztywniono zalewając ją żywicą epoksydową (Rys. 3b), a następnie połączono z wejściem wzmacniacza za pomocą stalowego zacisku. Wzmacniacz, pracujący w układzie wtórnika emiterowego transformuje impedancję elektrody wynoszącą kilkaset $k\Omega$ na mniejszą, bliższą impedancji portu 50Ω .



Rys. 4. Schemat stanowiska do pomiarów sondą elektryczną.

Fig. 4. Schematic illustration of instrumentation for electric probe measurements.

Stanowisko do pomiarów sondą elektryczną (Rys. 4) zostało wyposażone w stół obrotowy z przesuwem X-Y regulowanym śrubami mikrometrycznymi, opuszczane ramię z regulacją siły nacisku, wzmacniacz, podświetlany mikroskop optyczny, czwórnik pomiarowy oraz analizator sieci (Agilent Technologies 8753ET). Wykorzystanie analizatora z funkcją szybkiej transformaty Fouriera i bramkowaniem sygnału w dziedzinie czasu pozwala usunąć zakłócający sygnał bezpośredni. Elektrodę sondującą wraz ze wzmacniaczem zamocowano do ramienia z regulacją siły nacisku. Badane podłoża zmontowano do przetworników PCZ - 24. Połączenia doprowadzające sygnał elektryczny z analizatora do czwórnika wykonano z kabli RG174 i złączy lutowanych w standardzie SMA. Położenie w kierunku osi X kontrolowano z dokładnością $0,1 \mu\text{m}$ za pomocą mikrometrycznego czujnika odległości. AFP w badanych podłożach wzbudzano za pomocą przetworników międzypalczastych (PM) z dzielonymi elektrodami o konstrukcji przedstawionej na Rys. 5, na którym s jest szerokością elektrody; p jest okresem elektrod; N jest liczbą elektrod; w jest aperturą przetwornika; λ jest długością AFP. Dane przetwornika zebrano w Tab. 1. Elektrody wykona-



Rys. 5. Przetwornik międzypalczasty (PM).
Fig. 5. Interdigital transducer (IDT).

Tabela 1. Dane PM.

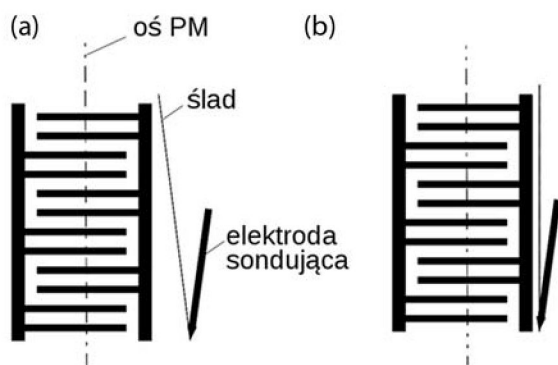
Table 1. IDT data.

λ [μm]	32
p [μm]	8
s [μm]	4
h_{Al} [μm]	0,1
w [μm]	1600
N	254

no w procesie fotolitografii odwrotnej z aluminium o grubości h_{Al} napylnego próżniowo.

3. POMIARY

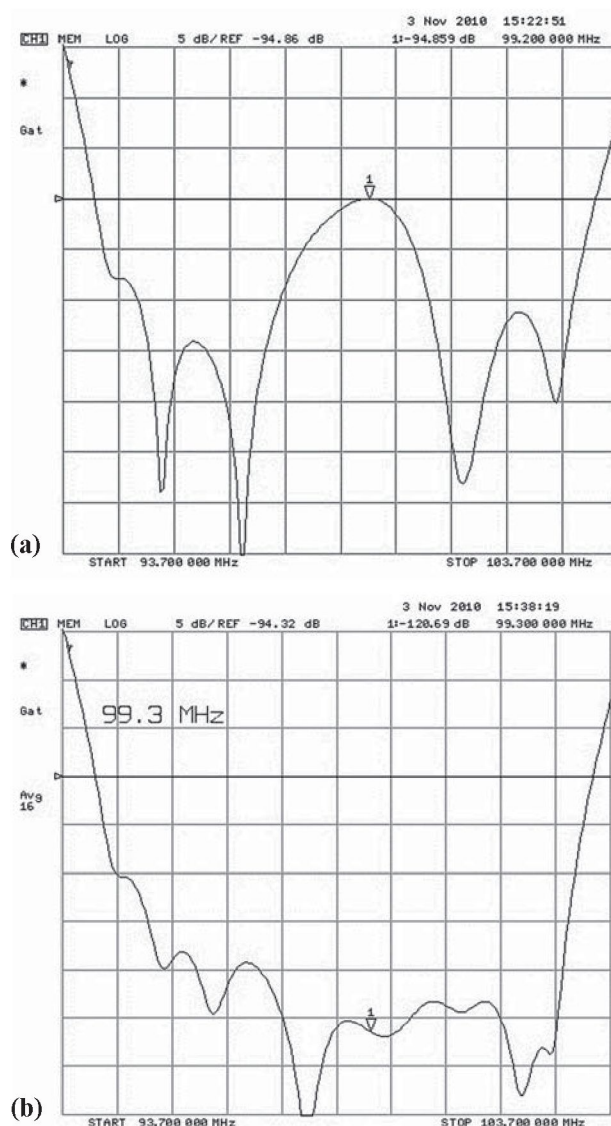
Średnica powierzchni, na której elektroda sondująca styka się z podłożem powinna być w przybliżeniu równa długości AFP [1]. Średnicę tę modyfikowano poprzez dociskanie elektrody sondującej do podłoża za pomocą ramienia z regulowaną siłą docisku. Najmniejszą tłumienność wtrącenia uzyskano przy spłaszczeniu ostrza elektrody dociskiem wynoszącym 150 N. Sondę justowano tak aby ruch elektrody odbywał się równolegle lub prostopadłe do osi PM (Rys. 6).



Rys. 6. Kierunek ruchu sondy nie justowanej (a) i justowanej (b).

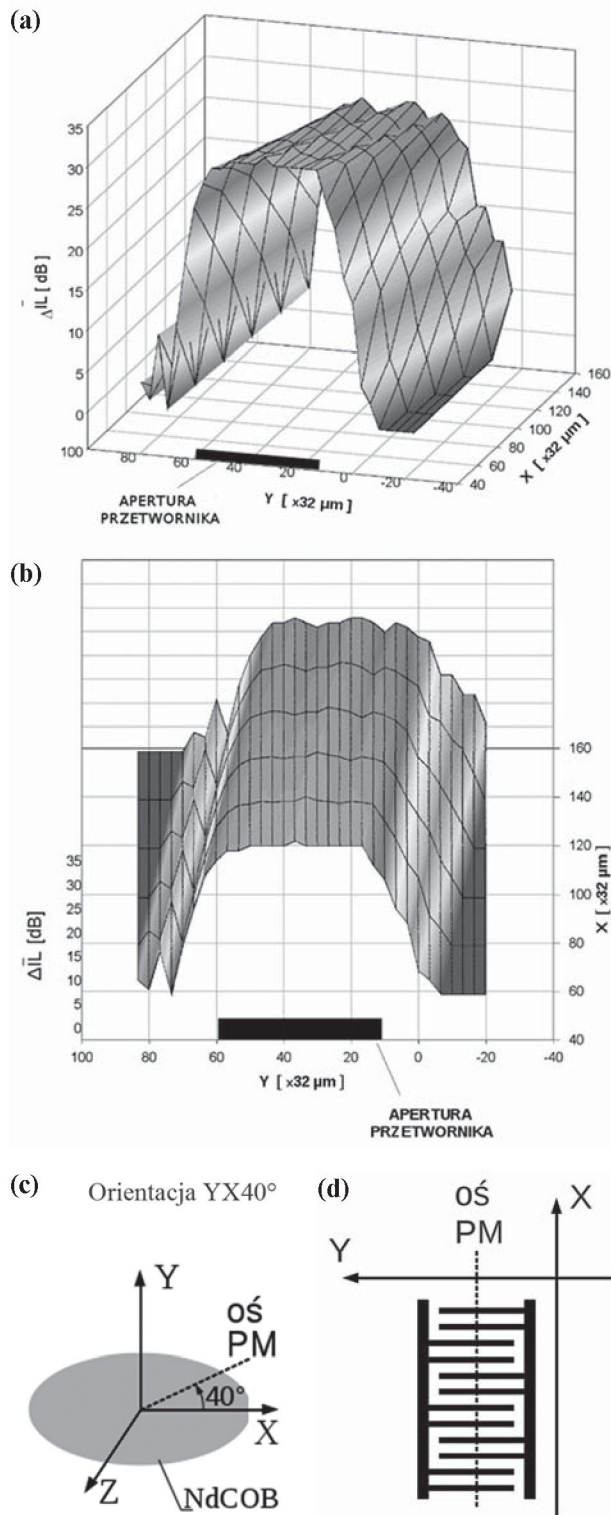
Fig. 6. Trace of unjustified (a) and justified (b) probe.

Do badań wybrano płaszczyzny X i Y kryształu $\text{NdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ (NdCOB) [2], na których wykonano przetworniki o orientacjach: XY20°, XY30°, YX10°, YX20°, YX40°. Z rozważań teoretycznych wynika, że w orientacjach tych występuje niezerowy KPM. W zapisie orientacji pierwsza litera oznacza oś kryształu prostopadłą do płaszczyzny, druga litera oznacza drugą oś kryształu, a cyfra to kąt między osią PM, a drugą osią kryształu (Rys. 8c). Charakterystykę amplitudową dla przykładowej orientacji YX40° w sytuacji kiedy sonda znajduje się w aperturze wiązki AFP i poza nią przedstawiono na Rys. 7. Różnica tłumienności ΔIL_1 wynosi ponad 25dB. Prezentowane przebiegi uzyskano po odcięciu zakłócającego sygnału bezpośredniego.



Rys. 7. Charakterystyka amplitudowa sondy w aperturze wiązki AFP (a) i poza aperturą (b).

Fig. 7. Amplitude response of electric probe immersed in SAW beam (a) and outside the beam (b)



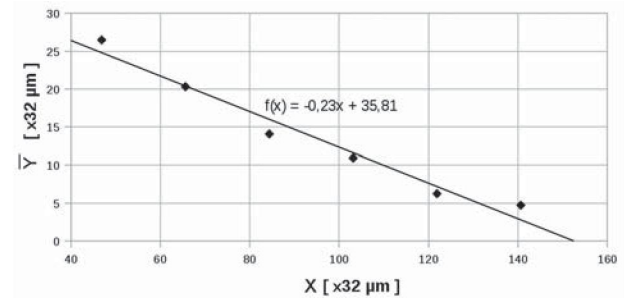
Rys. 8. Rozkład amplitud AFP w płaszczyźnie Y przy wzbudzeniu PM o orientacji YX40° (a) i (b); położenie osi PM o orientacji YX40° względem kryształu (c); osie X, Y pomiarowego układu odniesienia (d).
Fig. 8. SAW amplitude distribution in plane Y when excited by YX40° oriented IDT (a) and (b); relation between YX40° oriented IDT and crystal (c); X, Y coordinates used in the measurements (d).

Rozkład amplitudy AFP wyznaczono poprzez pomiar tłumienności wtrąceniowej sondy w różnych punktach powierzchni kryształu. Otrzymany rozkład amplitud AFP przedstawiono na Rys. 8a. Na Rys. 8b przedstawiono ten sam rozkład, ale w perspektywie, z której widoczne jest odchylenie kierunku propagacji wiązki AFP od osi PM. Oś X pomiarowego układu odniesienia wybrano tak aby była równoległa do osi PM (Rys. 8d).

Kierunek rozchodzenia się wiązki AFP wyznaczono obliczając położenie średniej ważonej :

$$\bar{Y} = \frac{\sum_n \Delta IL_n \cdot Y_n}{\sum_n \Delta IL_n} \quad (1)$$

gdzie: $n = 1, 2, \dots, 60$; $\Delta IL_n = IL_n - IL_{min}$. Przykładowy wykres $\bar{Y} = f(X)$ zamieszczono na Rys. 9.



Rys. 9. Średnia ważona położenia amplitudy AFP w funkcji odległości na osi X.

Fig. 9. Mean value of SAW amplitude versus distance at X axis.

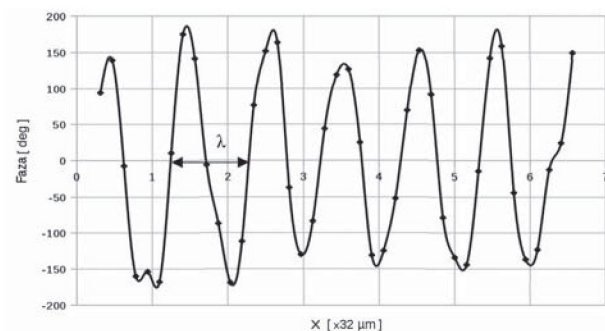
KPM obliczony z aproksymacji liniowej wynosi w tym przypadku $\arctg(-0,23) = -13,1^\circ$. Wyniki pomiarów KPM badanych orientacji zamieszczono w Tab. 2. Niepewność pomiaru określono na podstawie rozrzutów występujących w pięciokrotnym pomiarze próbki. Dla porównania zamieszczono wyniki

Tabela 2. Wyniki pomiarów i obliczeń KPM.
Table 2. PFA measurements and calculations results.

Kierunek orientacji	Obliczenia stałe mat. [2]	Obliczenia stałe mat. [3]	Pomiar sondą igłową	Niepewność pomiaru sondą igłową
XY20°	23°	22°	25°	±5°
XY30°	2,2°	3,2°	3,0°	±1,5°
YX10°	-7,0°	-6,1°	-7,0°	±1,5°
YX20°	-7,7°	-9,3°	-8,2°	±1,5°
YX40°	-10,9°	-10,8°	-13,1°	±1,5°

obliczeń KPM na podstawie stałych materiałowych z [2] i stałych wyznaczonych w ITME [3]. Prędkość AFP przy powierzchni swobodnej wyznaczono z pomiaru zmian fazy w funkcji odległości od przetwornika w kierunku osi X. Przykładowe zmiany fazy przedstawiono na Rys. 10. Przy danej częstotliwości f_0 wyznaczano długość λ z pomiarów na drodze $n\lambda$, gdzie $n = 100$. Następnie korzystano ze wzoru:

$$v_f = \lambda \cdot f_0 \quad (2)$$



Rys. 10. Zmiany fazy w kierunku osi X.

Fig. 10. Phase changes versus X direction.

Zmierzone prędkości fazowe AFP zamieszczono w Tab. 3 wraz z prędkościami zmierzonymi w ITME [3]. Niepewność pomiaru Δv oszacowano na podstawie wzoru:

$$\Delta v = \Delta \lambda \left| \frac{\partial v}{\partial \lambda} \right| + \Delta f_0 \left| \frac{\partial v}{\partial f_0} \right| \quad (3)$$

Tabela 3. Wyniki pomiarów prędkości fazowej.

Tabela 3. Phase velocity measurements results.

Kierunek w kryształach	Pomiar [3]	Pomiar sondą igłową	Niepewność pomiaru sondą igłową
XY20°	3160	3163,1	±3
XY30°	3334	3335,4	±1,5
YX10°	3483	3482,8	±1,0
YX20°	3377	3376,3	±1,0
YX40°	3180	3179,2	±1,0

4. WNIOSKI

Skonstruowana sonda elektryczna umożliwia pomiar rozkładu amplitudy i fazy AFP w płaszczyźnie propagacji. Na podstawie wyników pomiarów rozkładów można wyznaczyć prędkości fazowe i kąty przepływu mocy AFP. Wyznaczone w ten sposób parametry AFP pozostają w dobrej zgodności z obliczeniami teoretycznymi na podstawie znanych, wyznaczonych lub pochodzących z literatury stałych materiałowych. Zgodność ta potwierdza prawidłowość wyznaczenia stałych. Wyniki pomiarów swobodnej prędkości fazowej AFP również pozostają w dobrej zgodności z wynikami uzyskanymi na podstawie badań z wykorzystaniem linii opóźniających na kryształach NdCOB.

Sonda elektryczna może zostać wykorzystana do badań kryształów, których stałe materiałowe nie są znane oraz do analizy pracy podzespołów z AFP.

LITERATURA

- [1] Williamson R.C.: Improved electrostatic probe for measurement of elastic surface waves, *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, SU-19, 4, 436-441, (1972)
- [2] Karaki T., Adachi M., Kuniyoshi Y.: Evaluation of material constants in $\text{NdCa}_4\text{O}(\text{BO}_3)_3$ piezoelectric single crystal, *J. Electroceram.*, 21, 1-4, 823-826, (2008)
- [3] Brzozowski E.: A method for correction of elastic and piezoelectric constants of crystals using measured surface acoustic wave parameters, *Materiały Elektroniczne*, 39, 2, 8-13, (2011)