

Jolanta ZABAWA

Andrzej KLIMASEK

WŁASNOŚCI SPRĘŻYSTE MONOKRYSTAŁÓW TLENKU BIZMUTOWO-GERMANOWEGO
($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$) I TLENKU BIZMUTOWO-KRZEMOWEGO ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$)

Streszczenie. W pracy podaje się sposób wyznaczenia modułów sprężystości, a przez to stałych sprężystych monokrystałów $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ i $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$. Do wyznaczenia kompletu stałych sprężystych kryształów o symetrii regularnej wystarczy pobudzić do drgań giętnych płytki kolowe o płaszczyznach środkowych prostopadłych do krystalograficznych kierunków $[100]$ i $[110]$. Otrzymane rezultaty wystarczająco dobrze pokrywają się z wynikami uzyskanymi stosując inne metody. W tej pracy podaje się również wzory teoretyczne wyprowadzone przez nas w innej pracy (patrz cytowana literatura).

1. Wstęp

Monokryształy $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ i $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ należą do kubicznej klasy (23). Wykazują własności piezoelektryczne oraz elastooptyczne. Są optycznie aktywne i fotoprzewodzące. Wykorzystuje się je bardzo często jako podłoże do propagacji fal powierzchniowych przy badaniu oddziaływania tych fal z falami elektromagnetycznymi [1], [2]. Materiały te stosuje się również do budowy modulatorów i deflektorów światła.

Z tych i wielu innych powodów własności mechaniczne omawianych kryształów wymagają wszechstronnego zbadania. Własności mechaniczne kryształu będą określone jeżeli wyznaczymy jego stałe sprężyste.

Kryształy o symetrii regularnej opisywane są przez trzy stałe sprężyste C_{11} , C_{12} , C_{44} lub trzy współczynniki sprężystości S_{11} , S_{12} , S_{44} . Można wzamian wyznaczyć również, tzw. stałe techniczne, tj. moduł Younga E , moduł sztywności G oraz stała Poissona ν . Jedne wyrażają się przez drugie [3].

W niniejszej pracy stosując metodę rezonansową wyznaczono stałe sprężyste monokrystałów $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ i $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ [4, 5]. Podano również zależność stałych sprężystych od temperatury, wykorzystując kriostat pomiarowy opisany w pracy [5].

2. Rezonansowa metoda wyznaczania stałych sprężystych

W tej metodzie wykorzystuje się fakt, że częstotliwości rezonansowe drgających układów mechanicznych zależą od stałych sprężystych, gęstości i geometrii układu.

Autorzy pobudzali do drgań układy w postaci płyt kołowych o swobodnym brzegu.

Szczegóły aparatury, sposób umocowania płyty opisano w pracach [4, 5]. W pracy [6] pokazano, że dla ciał anizotropowych o symetrii kubicznej, w celu wyznaczenia wszystkich stałych sprężystych, należy dokonać pomiaru dwu najniższych częstotliwości rezonansowych próbek kołowych. Wystarczy tego dokonać dla dwu próbek różniących się orientacją płaszczyzn środkowych. Do pomiarów wykorzystano płyty kołowe, dla których płaszczyzny środkowe były równoległe do krystalograficznych płaszczyzn (100) i (110).

W pierwszym przypadku wyrażenie dla częstotliwości pierwszego rezonansu dane jest równaniem [6].

$$\varphi_{100}^2 = D \left(\frac{16X_1^4}{R^4} - \frac{2 \iint W_0 \frac{\partial^4 W_0}{\partial x^2 \partial y^2} dx dy}{\iint W_0^2 dx dy} \right) + D_3 \frac{2 \iint W_0 \frac{\partial^4 W_0}{\partial x^2 \partial y^2} dx dy}{\iint W_0^2 dx dy} \quad (1)$$

W drugim przypadku częstotliwość pierwszego rezonansu podana jest przez równanie [6].

$$\begin{aligned} \varphi_{110}^2 = & D_1' \frac{\iint W_0 \frac{\partial^4 W_0}{\partial x^4} dx dy}{\iint W_0^2 dx dy} + D_3' \frac{2 \iint W_0 \frac{\partial^4 W_0}{\partial x^2 \partial y^2} dx dy}{\iint W_0^2 dx dy} + \\ & + D_2' \left(\frac{16X_1^4}{R^4} - \frac{2 \iint W_0 \frac{\partial^4 W_0}{\partial x^2 \partial y^2} dx dy}{\iint W_0^2 dx dy} - \frac{\iint W_0 \frac{\partial^4 W_0}{\partial x^4} dx dy}{\iint W_0^2 dx dy} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

W powyższych równaniach wprowadzono następujące oznaczenia:

ρ - gęstość materiału płyty,

h - grubość płyty,

X_1^4 - współczynnik dla pierwszego rezonansu, zależny od stałej Poissona

ν (współczynniki te podaje praca [8]),

W_0 - funkcja ugięcia płyty izotropowej,

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}$$

$$D_3 = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} + \frac{Gh^3}{6}$$

$$D'_1 = \frac{E^2 + 2EG(1-\nu)}{E + 2G(1-\nu - 2\nu^2)} \frac{h^3}{12}$$

$$D'_2 = \frac{4EG}{E + 2G(1-\nu - 2\nu^2)} \frac{h^3}{12}$$

$$D'_3 = h^3 \left[\frac{G}{6} + \frac{1}{12} \frac{E^2\nu + 2EG\nu(1-\nu)}{E + 2G(1-\nu - 2\nu^2)} \right]$$

Wartości całek we wzorach (1) i (2) obliczono dla różnych stałych Poissona ν w pracy [6]. Podaje je tablica 1.

Tablica 1

Wartości całek we wzorach (1) i (2)

ν	Z	$\frac{R^2}{\pi} \iint_{\Omega} \frac{\partial^4 w_0}{\partial x^2 \partial y^2} dx dy$	$\frac{1}{\pi R^2} \iint_{\Omega} w_0^2 dx dy$	$\frac{R^2}{\pi} \iint_{\Omega} \frac{\partial^4 w_0}{\partial x^4} dx dy$
0,0	5,435	0,549	0,116	1,648
0,1	5,283	0,522	0,119	1,566
0,2	5,102	0,486	0,122	1,457
0,3	4,889	0,440	0,123	1,320
0,4	4,637	0,385	0,122	0,155
0,5	4,336	0,321	0,119	0,963

Stałą Poissona można wyznaczyć ze stosunku częstotliwości drugiego do pierwszego rezonansu jak w pracach [5, 8].

Podstawiając do równań (1) i (2) jej wartość dla orientacji płaszczyzn środkowych (100) i (110) oraz korzystając z tablicy 1 otrzymujemy układ równań dający możliwość wyliczenia E i G.

3. Wyniki pomiarów

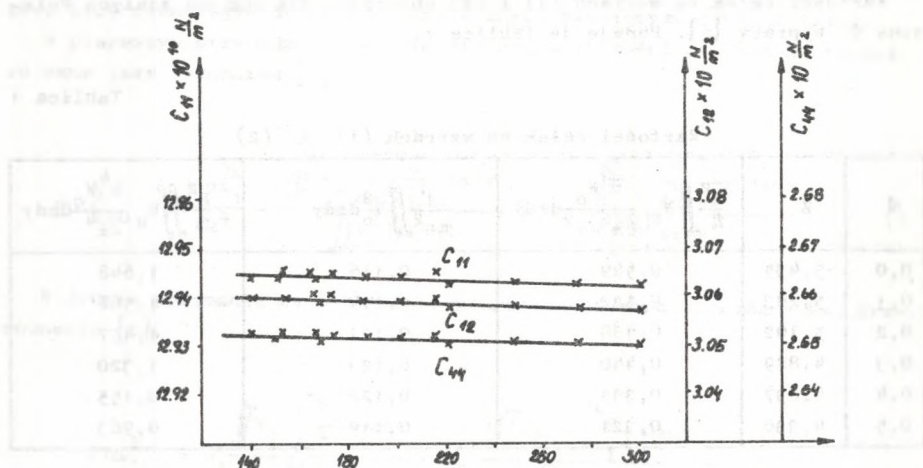
Wyznaczono stałe sprężyste monokryształów $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$. Tablica 2 podaje otrzymane rezultaty w temperaturach pokojowych. Rys. 1, 2 podają zależność stałych sprężystych od temperatury w zakresie od 140 do 300°K.

Tablica 2

Wyniki pomiarów

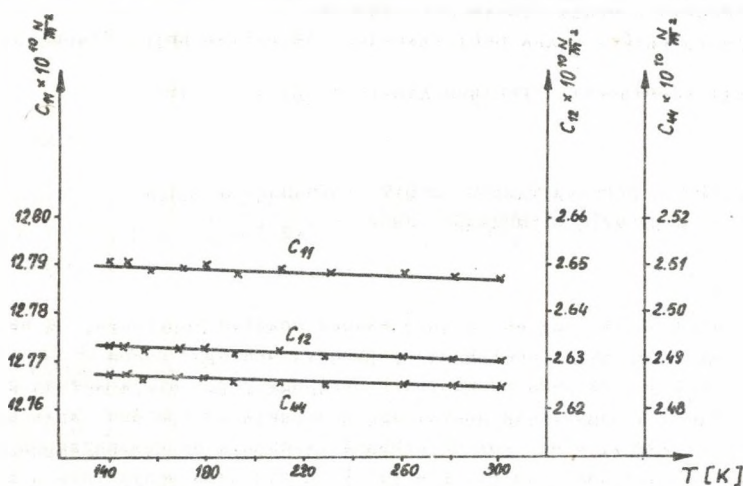
	$C_{11}^a)$	$C_{12}^a)$	$C_{44}=C_{44}^a)$	$S_{11}^b)$	$-S_{12}^b)$	$S_{44}^b)$	$E_{100}^a)$	100
$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$	12,942	3,057	2,650	0,849	0,163	3,774	11,779	0,192
$\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$	12,787	2,630	2,485	0,841	0,144	4,024	11,890	0,171

- a) w jednostkach 10^{10} N/m^2 ,
 b) w jednostkach 10^{-11} N/m^2 .

Rys. 1. Zależność stałych sprężystych od temperatury dla $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$

Do pomiarów użyto próbek o następującej geometrii i gęstości:

- a) $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ orientacja $[100]$ i $[110]$,
 średnica $\phi \approx 25 \text{ mm}$,
 grubość $h = 1,5 \text{ mm}$, $h = 2,5 \text{ mm}$,
 gęstość $\rho = 9,20 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$,
- b) $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ orientacja $[100]$ i $[110]$,
 średnica $\phi \approx 20 \text{ mm}$,
 grubość $h = 1,5 \text{ mm}$, $h = 2 \text{ mm}$,
 gęstość $\rho = 9,20 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.



Rys. 2. Zależność stałych sprężystych od temperatury dla $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$

4. Uwagi końcowe

Błędy wyznaczenia stałych C_{11} , C_{12} i C_{44} odpowiednio wynoszą:

$$\frac{\Delta c_{11}}{c_{11}} \leq 0,023, \quad \frac{\Delta c_{12}}{c_{12}} \leq 0,032, \quad \text{ i } \quad \frac{\Delta c_{44}}{c_{44}} \leq 0,026$$

Błędy te mogą być znacznie zmniejszone przez bardzo dokładną mechaniczną obróbkę próbki (idealna równoległość płaszczyzn). Wyniki pomiarów wystarczająco dobrze pokrywają się z danymi w pracach [2], [7] otrzymanymi innymi metodami. Zakres temperatur można oczywiście znacznie rozszerzyć zarówno w kierunku temperatur niższych i wyższych.

LITERATURA

- [1] M. Onoe, A.W. Warner, A.A. Ballman: IEEE Trans. Son Ultrason SU-14, 165, 1967.
- [2] J. Zelenka, J. Czech: Phys B28, 165, 1978.
- [3] R.F.S. Hearmon: Uvod do teorie pružnosti anizotropnich latek. Praha 1965 (tłum. z ang.).
- [4] A. Opilski, A. Klimasek, J. Zabawa: Archiwum Akustyki 10, 151, 1975.
- [5] A. Opilski, A. Klimasek, J. Zabawa, J. Rauluszkiwicz, S. Szrajber, H. Bagiński: J. of. Techn. Phys. 18, 231, 1977.

- [6] A. Klimasek, A. Opilski, J. Zabawa: Archives of mechanics, Engineering reports - praca będzie publikowana.
- [7] Z. Kleszczewski: Praca habilitacyjna, ZN Politechniki Śląskiej, z. 37 1979.
- [8] J. Ryll-Nardzewski: Archiwum Akustyki 10, z. 1, 1975.

УПРУГИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ ВИСМУТО-ГЕРМАНИЕВОЙ ОКИСИ
($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$) И ВИСМУТО КРЕМНИЕВОЙ ОКИСИ ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$)

Резюме

В настоящей работе дан метод определения модулей упругости, а на их основе - метод определения постоянных упругости монокристаллов $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$. Для определения множества постоянных упругости кристаллов обладающих кубической симметрией достаточно возбудить поперечные колебания в круговых пластинках, в которых срединные плоскости перпендикулярны кристаллографическим направлениям [100] и [110]. Полученные результаты достаточно соответствуют результатам полученным при применении других методов. В настоящей работе даны тоже теоретические уравнения выведенные нами в другой работе (смотри приведенная литература).

ELASTIC PROPERTIES CONCERNING THE MONOCRYSTALS OF BISMUTH-GERMANIUM
OXIDE ($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$) AND BISMUTH-SILICEOUS OXIDE ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$)

Summary

The paper gives the way of calculating modules of elasticity and thereby constant elastic monocrystals $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ and $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$. In order to calculate the complete set of constant elastic crystals with regular symmetry it is enough to excite circular plates to transverse vibrations. These plates should have middle surfaces perpendicular to crystallographic directions [100] and [110]. The obtained results agree well enough with the results obtained by means of other methods. This paper gives also theoretical formulas calculated in another paper (see quoted literature).

Recenzent: Doc. dr hab. Zygmunt Kleszczewski

Wpłynęło: 15.04.1982 r.