ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 30

Nr kol. 560

1978

Zenon CEROWSKI Janina GROCHOWSKA Danuta KWATERSKA

PROPAGACJA POWIERZCHNIOWYCH FAL ULTRADŹWIĘKOWYCH W MONOKRYSZTAŁACH TGS

<u>Streszczenie</u>. Zmierzono prędkość powierzchniowych fal ultradźwiękowych na monokryształach TGS metodą rezonansową. Okazało się, że prędkość tych fal zależy silnie od orientacji kryształu. W pewnych kierunkach nie można wzbudzić powierzchniowych fal ultradźwiękowych przy pomocy przetworników międzypalczastych, co zostało w niniejszym artykule uzasadnione.

Ostatnio duże zainteresowanie wzbudza szczególna postać fal sprężystych, jakimi są fale Rayleigha. W odróżnieniu od fal objętościowych prawie cała energia powierzchniowych fal ultradźwiękowych koncentruje się przy powierzchni ośrodka, po której się one propagują, a grubość obszaru przypowierzchniowego jest rzędu jednej długości fali. Ta cecha powierzchniowych fal ultradźwiękowych ułatwia bardzo projektowanie elementów ze względu na swobodę geometrycznego kierowania energii po powierzchni ciała sprężystego [1, 2]. Umożliwia ona również pomiar parametrów fali w każdym dowolnie wybranym punkcie układu. Z pomiarów prędkości i tłumienia powierzchniowych fel ultradźwiękowych można uzyskać wiele istotnych informacji odnośnie stanów powierzchniowych. Prędkość rozchodzenia się tych fal jest około 10⁵ razy mniejsza niż prędkość fal elektromegnetycznych i w ciałach anizotropowych zależy od orientacji. Dokładna znajomość predkości powierzchniowych fal ultradźwiękowych umożliwia ich zastosowanie w elektronice do konstrukcji między innymi linii opóźniajacych. Do wzbudzania i odbioru powierzchniowych fal ultradźwiękowych stosuje się najczęściej przetworniki międzypalczaste [m.in. 5, 6, 7, 8]. W niniejszej pracy zastosowano układ takich przetworników do dokładnego pomiaru prędkości powierzchniowych fal ultradźwiękowych w kryształach TGS.

Siarczan trójglicyny (NH₂CH₂COOH)₃.H₂SO₄ [TGS] należy do grupy ferroelektryków [9, 10, 11, 12], jest kryształem dipolowym, w którym występują wiązania wodorowe. Posiada własności piroelektryczne i jest wykorzystywany w badaniach tego zjawiska. Matthias i Remeika odkryli jego własności ferroelektryczne. W temperaturze 49[°]C przechodzi z fazy ferroelektrycznej do fazy paraelektrycznej. Badania rentgenograficzne pozwoliły określić symetrię i wymiary komórki elementarnej siarczanu trójglicyny. Należy on do układu jednoskośnego. Jego stałe sieciowe są następujące:



Rys. 1. Przekrój kryształu TGS w płaszczyźnie łupliwości

W przekroju można TGS przedstawić tak jak pokażano na rysunku 1. Płaszczyzna (010) jest płaszczyzną łupliwości kryształu, Płytki TGS można więc otrzymać rozłupując duży monokryształ. Oś Z jest równoległa do rzeczywistej ściany tworzącej kąt 105° z najbardziej rozwinieta ściana kryształu. Oś X jest prostopadła do osi Y i Z, tak że powstaje prawoskrętny układ współrzędnych. Prostopadła do płaszczyzny łupliwości oś Y jest osię fer- roelektryczna. W związku z tym w fazie ferroelektrycznej kryształ TGS ma silnie anizotropowe właściwości pie-

zoelektryczne. Można więc wzbudzać w nim powierzchniowe fale ultradźwiękowe za pomocą przetworników międzypalczastych, przy czym zarówno sprawność przetwarzania, jak i prędkość rozpatrywanych fal zależą od orientacji tego kryształu. W paraelektrycznej fazie TGS posiada środek symetrii i nie jest piezoelektrykiem. Jego piezoelektryczne, elektrostrykcyjne i sprężysta właściwości zostały opisane m.in. w pracy [15].

W niniejszej pracy została zmierzona w różnych kierunkach prędkość powierzchniowych fal ultradźwiękowych na kryształach TGS metodą rezonansową, stosowaną przez innych autorów wcześniej, m.in. w pracach[13, 14]. Schemat blokowy tej metody jest przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy do pomiaru prędkości powierzchniowych fal ultradźwiękowych metodą rezonansową

Przetworniki międzypalczaste z warstwy Al o grubości około 2000 Å zostały naniesione metodą fotolitograficzną na płytkę szklaną. Na tę samą płytkę naniesiono, jako elektrody, 4 prostokątne warstwy Al o grubości około 5 razy większej. Następnie, na tę płytkę położono odpowiednio wyciętą i wypolerowaną płytkę TGS. Dodatkowa warstwa Al pozwalała zachować małą stałą odległość między płytką szklaną z przetwornikami a badanym materiałem (rys. 3).



Rys. 3. Rozmieszczenie przetworników międzypalczastych i elektrod na płytce szklanej oraz położenia płytki TGS Na oscyloskopié obserwowano sygnał odbierany przez przetwornik odbiorczy a częstość generatora regulowano do wartości f_{max}, przy której sygnał odbierany posiadał maximum. Prędkość fazową obliczono ze wzoru:

Mierząc okres przetworników stwierdzono, że długość fali $\lambda = 0.48$ mm. Pomiary prędkości powierzchniowych fal ultradźwiękowych zostały wykonane na wypolerowanych powierzchniach kryształów TGS o cięciach X, Y i Z. Częstość rezonansowę wyznaczono z błędem maksymalnym $\Delta f = 10$ kHz, a więc $\frac{\Delta f}{f} =$ $= \frac{10 \text{ kHz}}{4000 \text{ kHz}} \approx 0.003$. Okres przetworni-

ków zmierzone z dokładnością 0,2%, ponieważ szerokość 10 par pałców przetwornika odczytanego pod mikroskopem z błędem 0,01 mm,czyli $\frac{4\lambda}{\lambda} = \frac{0,01 \, \text{mm}/10}{0.48}$ = 0,002. Prędkość powierzchniowych fal ultradźwiękowych zestała określona z dokładnością 0,05%, co odpowiada $\Delta v \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Na wykresach (4, 5, 6) przedstawiono zależność prędkości powierzchniowych fal ultradźwiękowych od orientacji dla trzech wymienionych wyżej powierzchni kryształów TGS. Amplituda sygnału wzbudzającego wynosiła 10 V. Na każdym wykresie przedstawiono zależność amplitudy sygnału odbieranego przy częstości rezonansowej od orientacji. Widać wyraźnie spadek tej amplitudy w pewnych kierunkach, co wiąże się ze zmniejszeniem sprawności przetwarzania przetworników międzypalczastych w tych kierunkach. W niektórych kierunkach nie można byłe przy użyciu tych przetworników wzbudzić powierzchniowych fal ultradźwiękowych. Uzasadnienie tych przypadków otrzymujemy rozpatrując równanie piezoefektu i równanie ruchu:

$$5_{ik} = C_{iklm}^{E} S_{lm} - d_{jik} E_{j}, \qquad (1)$$

$$D_n = d_{nlm} S_{lm} + \mathcal{E}_{jn}^{\mathfrak{S}} E_j, \qquad (2)$$

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}_i}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial \mathbf{x}_k} , \qquad (3)$$

gdzie:

 δ_{ik} - tensor naprężenia,

C^E_{iklm} – składowe tensora modułów sprężystości przy E=const,

5:

djik - składowe tensora stałych sprzężenia piezoelektrycznego,
e^s_{jn} - składowe tensora przenikalności dielektrycznej, dla S = const,
e - gęstość materiału,
S_{lm} - tensor odkształcenia, S_{lm} = ^{Du}₁/_{Oxm}; u - przemieszczenie,
D_n - składowe wektora indukcji elektrycznej.



Rys. 4. Prędkości powierzchniowych fal ultradźwiękowych i amplitudy sygnału odbieranego w zależności od kierunku propagacji na płytce TGS o cięciu X

W przypadku wzbudzania powierzchniowych fal ultradźwiękowych za pomocą przetworników międzypalczystych związek między tensorem naprężeń a składowymi pola elektrycznego jest dla TGS następujący:

Równania (4) zostały napisane przy uwzględnieniu własności tensora naprężeń i tensora stałych piezoelektrycznych dla układu jednoskośnego, do którego nalezy TGS. Z wykresów widać, że powierzchniowe fale ultradźwiękowe nie zostały wzbudzone na powierzchni o cięciu X w kierunku Z i na powierzchni o cięciu Z w kierunku X. W obydwu przypadkach składowa pola elektrycznego $E_2 = 0$. Wówczas równania (4) przyjmą postać:





55

Ζ



Rys. 6. Prędkości powierzchniowych fal ultradźwiękowych i emplitudy sygnału odbieranego w zależności od kierunku propagacji na płytce TGS o cięciu

Wobec tego na podetawie równania (3) otrzymujemy:

56

(6)

Propagacja powierzchniowych fal...

Z układu równań (6) wynika, że przetworniki międzypalczaste przyłożone w kierunku osi X nie wywołuję powstania żadnych odkształceń, a więc powierzchniowe fale ultradźwiękowe w tym kierunku nie mogę być przy ich użyciu wzbudzone.

LITERATURA

- [1] Mason W.: Fiziczeskaja akustika, t. 6, 7.
- [2] Landau L., Lifszic E.: Mechanika ośrodków ciągłych. PWN, Warszawa 1958
- [3] Wierewkina L.W., Mierkułow L.G., Tursunow D.A.: Fale powierzchniowe w kryształe kwarcu. Akusticzeskij Żurnał, t. 12, r. 1, 289-295.
- [4] Chin-Chong Weng, White R.M.: Propagacja sprężystych fal powierzchniowych w heksagonalnym piezoelektrycznym krysztale, J. Appl. Phys. vol. 38, 11, 1967, p. 4274-4280.
- [5] Czechowska Z., Weies K.: Sprężyste fale powierzchniowe w materiałach piezoelektrycznych. Elektronika nr 9, 1974.
- [6] Danicki E.: Fale w ciałach stałych Zastosowanie akustyki mikrofalowej w radiotechnice.
- [7] Coquin G., Tiersten H.: Journal Acoustic Soc. Amer. 41, 921, 1967.
- [8] Wiktorowa J.: Fizyczne podstawy stosowania ultradźwiękowych fal Rayleigha i Lemba w technice - Nauka - 1966.
- [9] Jona F., Szirana D.: Ferroelektryczne kryształy, 1965.
- [10] Sonin A.S., Wasilewskaja A.S.: Elektroopticzeskije kryształy, 1971.

[11] Smoleński G.A., Krajnik N.N: Ferroelektryki i antyferroelektryki.

- [12] Handerek J.: Wstęp do fizyki ferroelektryków.
- [13] Journal Acoustic Soc. Amer. t. 49, nr 5, cz. 2, 1971.
- [14] Journal Appl. Phys. t. 44, nr 3, str. 1061, 1973.
- [15] Lambert i inni: Optical and Elektro-Optical Information Processing, 1965.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В МОНОКРИСТАЛАХ TGS

Резюме

Была измерена скорость поверхностных удьтразвуковых волн на монокристаллах TGS резонансовым методом. Оказалось, что скорость этих волн сильно зависит от ориентирования кристала.

В некоторых направлениях нельза генерировать поверхностные ультразвуковые волны при помощи междупальцевых преобразователей, что было доказано в представленной статье. PROPAGATION OF ULTRASONIC SURFACE WAVES ON THE TGS MONOCRYSTALS

Summary

The velocity of ultrasonic surface waves on TGS monocrystals has been measured using the resonance method. The velocity of these waves depends strong on crystal orientation, as it has been observed. In some directions the ultrasonic surface waves cannt be excited using the interdigital transducers, what has been inpresent paper explained.