

Instrukcja do ćwiczenia Nr 68

Temat: BADANIE ODWROTNEGO ZJAWISKA PIEZOELEKTRYCZNEGO

I. Cel ćwiczenia: Poznanie metody pomiaru bardzo małych deformacji, wyznaczanie wartości modułu piezoelektrycznego.

II. Zagadnienia:

1. Proste i odwrotne zjawisko piezoelektryczne.
2. Pojemność elektryczna.
3. Polaryzacja dielektryków.

III. Literatura:

1. S. Frisz, A. Timoriewa: „Kurs fizyki” t.II, PWN W-wa 1965, str. 64-68, 102-114.
2. Sz. Szczeniowski: „Fizyka doświadczalna” cz.III, PWN W-wa 1972, str. 85-98.
3. Ch.A. Wort, R.M. Thomson: „Fizyka ciała stałego”, PWN W-wa 1974, str. 418-426.

ZASADA POMIARU I UKŁAD POMIAROWY

Metoda statyczna badania odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego

Schemat układu do badania odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego metodą zaproponowaną przez Caspari i Merza przedstawiono na rysunku (str. 3).

Na badanej próbce oparta jest lekka rurka, do której przymocowana jest dolna okładka kondensatora powietrznego. Druga okładka tego kondensatora zamocowana jest do śruby mikrometrycznej. Taka konstrukcja kondensatora powietrznego umożliwia precyzyjną regulację odległości między jego okładkami, a w konsekwencji czułości pomiaru deformacji. Odkształcenie materiału wywołane przyłożonym do badanej próbki napięciem, powoduje zmianę odległości między okładkami kondensatora, a więc i zmianę jego pojemności elektrycznej. W laboratorium korzystając z miernika pojemności o czułości 0.1 pF (dostępne są mostki pojemności których czułość jest o dwa, trzy rzędy wyższa) mierzymy deformację z dokładnością 10^{-8} m! Dla porównania dodajmy, że długości fal światła w zakresie widzialnym dla człowieka mieszczą się w przedziale $400 \div 800$ nm czyli $(40 \div 80) \cdot 10^{-8}$ m.

Pojemność kondensatora przed przyłożeniem napięcia do badanej próbki oznaczmy przez C_1 a po przyłożeniu napięcia przez C_2 :

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{h_1} \quad C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{h_2}$$

gdzie: ϵ_0 - przenikalność elektryczna próżni, S - powierzchnia okładek kondensatora, h_1 i h_2 oznaczają odległości między okładkami kondensatora powietrznego odpowiednio przed i po przyłożeniu do badanej próbki pola elektrycznego.

Jeżeli do próbki o grubości l przyłożymy napięcie U to natężenie pola elektrycznego w próbce jest równe:

$$E = \frac{U}{l}$$

Pod wpływem tego pola następuje deformacja próbki:

$$\eta = d \cdot E$$

Próbka wydłuża lub kurczy się o:

$$\Delta h = \eta \cdot h = d \cdot E \cdot h = \epsilon_0 S \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right)$$

gdzie: h - wysokość próbki, U - napięcie przyłożone do próbki, l - odległość między elektrodami (grubość próbki).

W ćwiczeniu należy wyznaczyć stosunek $\Delta h/h$ dla różnych wartości E i z nachylenia wykresu $\Delta h/h = f(E)$ wyznaczyć moduł piezoelektryczny d .

PROSTE I ODWROTNE ZJAWISKO PIEZOELEKTRYCZNE

Zjawisko piezoelektryczne zostało odkryte w 1880 roku przez Piotra i Jakuba Curie. Proste zjawisko piezoelektryczne polega na indukowaniu ładunków elektrycznych Q na powierzchni dielektryka pod działaniem naprężeń mechanicznych.

$$Q = S \cdot d \cdot \sigma$$

W równaniu tym S oznacza powierzchnię elektrod nałożonych na dielektryk, d – moduł piezo-elektryczny, σ – naprężenie. Naprężeniem nazywamy stosunek siły F działającej na powierzchnię S do wielkości tej powierzchni:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Jednostką naprężenia jest N/m^2 czyli Pa.

Odwrotne zjawisko piezoelektryczne polega na deformacji piezoelektryka pod wpływem pola elektrycznego:

$$\eta = d \cdot E$$

gdzie: η – deformacja względna, d – moduł piezoelektryczny (taki sam jak w zjawisku prostym), E – natężenie pola elektrycznego. Deformacja względna jest to stosunek zmiany rozmiaru ciała do rozmiaru początkowego, np. przyrostu długości do długości początkowej. Deformacja względna jest wielkością niemianowaną.

Z równań wynika, że w zjawisku piezoelektrycznym związek między siłą i indukowanym przez tę siłę ładunkiem elektrycznym oraz natężeniem pola elektrycznego i indukowaną tym polem deformacją jest liniowy.

Zjawisko piezoelektryczne obserwowane jest tylko w materiałach nie posiadających środka symetrii.

METODY BADANIA I ZASTOSOWANIA ZJAWISKA PIEZOELEKTRYCZNEGO

Metody badania własności piezoelektrycznych materiałów można podzielić na statyczne, kwazistatyczne i dynamiczne.

– Metody statyczne polegają na bezpośrednim pomiarze ładunków piezoelektrycznych indukowanych na powierzchniach kryształu pod wpływem zewnętrznych naprężeń mechanicznych, lub na pomiarze odkształcenia kryształu pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego.

– Metody kwazistatyczne polegają na pomiarze deformacji kryształu pod wpływem periodycznie zmiennego pola elektrycznego (odwrotne zjawisko piezoelektryczne) lub pomiarze ładunku generowanego na powierzchni kryształu pod wpływem zmiennych naprężeń mechanicznych (zjawisko proste) o częstotliwości znacznie mniejszej od częstotliwości rezonansowych badanych próbek.

– Metody dynamiczne polegają na pomiarze częstotliwości rezonansowych i antyrezonansowych drgań własnych płytek wyciętych z materiałów piezoelektrycznych (kryształów, ceramiki lub folii) oraz wyznaczaniu parametrów zastępczych obwodów elektrycznych tych próbek (badaną próbkę opisujemy jako obwód elektryczny złożony z pojemności elektrycznej C , indukcyjności L rezystancji R_p , oraz równolegle do niego dołączonej pojemności własnej próbki C_0).

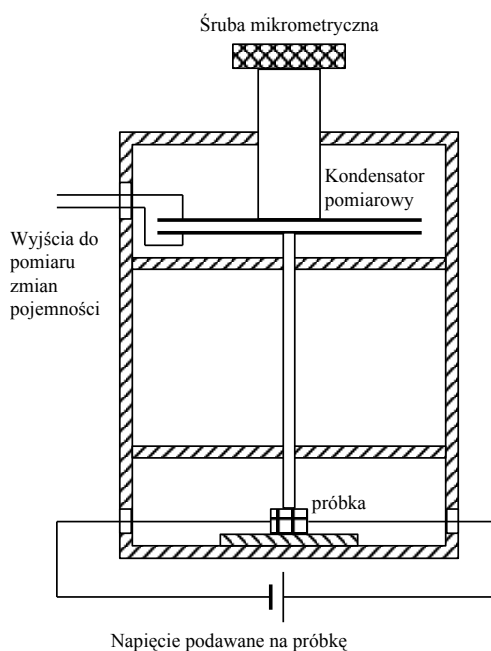
Proste zjawisko piezoelektryczne wykorzystywane jest do budowy przetworników mechano–elektrycznych np. czujników siły, naprężeń, ciśnienia, przyspieszenia, mikrofonów czy też sonarów. Zjawisko odwrotne jest stosowane w precyzyjnych pozycjonerach, mikromanipulatorach (np. w skaningowych mikroskopach tunelowych piezoelement pozwala na regulację odstępów ostrza od badanej powierzchni z dokładnością

rzędu rozmiarów atomów!), silnikach piezoelektrycznych, przetwornikach ultradźwiękowych, filtrach i stabilizatorach częstości. Zjawisko piezoelektryczne wykorzystywała Maria Skłodowska Curie podczas badań nad promienio-twórczością, Pound i Rebka w słynnym doświadczeniu podczas którego „zważono” fotony, korektę układu optycznego teleskopu Hubble’a na orbicie wykonano również za pomocą przetworników piezoelektrycznych.

BADANIE ODWROTNEGO ZJAWISKA PIEZOELEKTRYCZNEGO - POMIAR MAŁYCH DEFORMACJI

1. Zestaw pomiarowy:

- dylatometr pojemnościowy z próbką piezoelektryczną,
- miernik pojemności,
- zasilacz.



Schemat układu do badania odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego

2. Przebieg pomiarów:

2.1. Pomiar zależności pojemności kondensatora powietrznego od odległości między okładkami, wyznaczenie pojemności doprowadzeń oraz pojemności rozproszonych.

- Ustawić miernik pojemności na zakres 200 pF i wyzerować go bez przewodów doprowadzających.
- Podłączyć miernik pojemności do gniazd dylatometru oznaczonych symbolem "C" - biegunowość jest nieistotna.
- Za pomocą śruby mikrometrycznej ustawić pojemność kondensatora na około 180 pF. Odczytać wskazania śruby mikrometrycznej. Obliczyć odległość między okładkami kondensatora. Uwaga: odczyt ze śruby mikrometrycznej nie jest odległością między okładkami.
- Wyznaczyć zależność pojemności kondensatora powietrznego od odległości między okładkami zwiększając tę odległość co 0,25 mm (1/2 skoku śruby) w przedziale od 0 do 5 mm.

2.2. Pomiar zależności deformacji od napięcia przykładanego do próbki piezoelektrycznej.

- Podłączyć zasilacz do gniazda dylatometru oznaczonego symbolem "U".
- Za pomocą śruby mikrometrycznej nastawić pojemność kondensatora powietrznego na około 130 - 150 pF.

- Wykonać pomiary zależności pojemności kondensatora powietrznego od napięcia przykładanego do próbki w przedziałach: od 0 do +200 V , od +200 V do 0 , od 0 do –200 V i od –200 V do 0. Napięcie zmieniać co około 20 V.

2.3. Średnica okładek kondensatora $2r = 59 \text{ mm}$, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$.

3. Opracowanie wyników.

- 3.1. Wykonać wykres zależności pojemności kondensatora od odwrotności odległości między okładkami h . Aproxymując tę zależność do $1/h = 0$ odczytać sumę pojemności doprowadzeń oraz pojemności rozproszonych.
- 3.2. Wykonać wykres zależności pojemności kondensatora od napięcia przykładanego do badanej próbki.
- 3.3. Wykonać wykres zależności deformacji próbki od napięcia. Z nachylenia wykresu w pobliżu $U = 0$ obliczyć wartość modułu piezoelektrycznego badanej próbki i błąd wyznaczenia tego modułu.

Uwaga:

- przedmiotem badań jest podłużne zjawisko piezoelektryczne, dlatego znajomość grubości próbki nie jest konieczna do obliczenia wartości modułu piezoelektrycznego,
- mierzony jest moduł d_{333} dla ceramiki ferroelektrycznej.