

Ćwiczenie Nr 557:

Wyznaczanie stałej Kerra

I. Literatura;

1. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz II praca zbiorowa pod redakcją I. Kruk i J. Typka. Wydawnictwo Uczelniane PS. Szczecin 2007.

II. Problemy teoretyczne:

Polaryzacja światła, dwójłomność, anizotropia optyczna, modulatory elektro-optyczne, efekt Kerra, ceramika PLZT (związek ołowiu z cyrkonem i tytanem domieszkowany lantanem).

III. Metoda pomiarowa :

Większość przezroczystych kryształów wykazuje własność **podwójnego załamania (dwójłomności)**. Dwójłomność może mieć charakter naturalny wynikający z anizotropii ośrodka lub być wywołana przez czynniki zewnętrzne np. pole magnetyczne, pole elektryczne, naprężenie mechaniczne, czy też gradient temperatury. Zjawisko dwójłomności wywołane polem elektrycznym nazywamy zjawiskiem elektrooptycznym. Jeśli zmiana dwójłomności jest proporcjonalna do kwadratu natężenia pola (E)

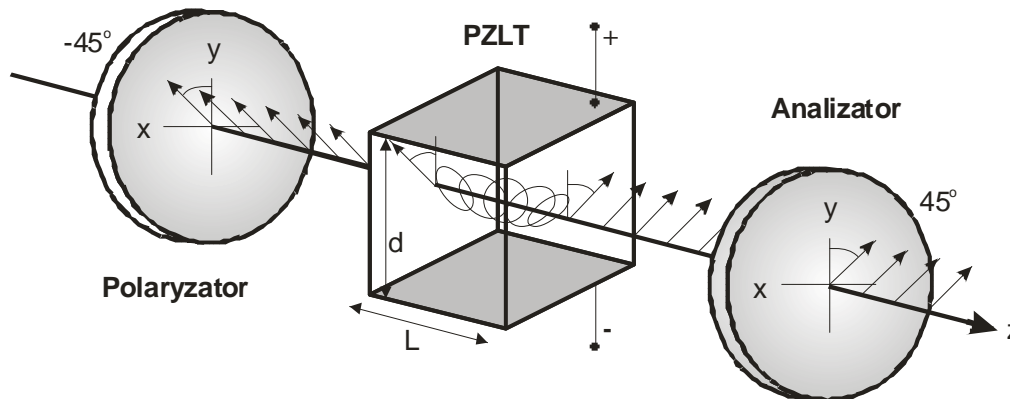
$$\Delta n = \lambda_0 K E^2$$

to mamy do czynienia z efektem Kerra, gdzie λ_0 – długość fali w próżni, K – stała Kerra.

Efekt Kerra jest obserwowany we wszystkich stanach skupienia (ciała stałe, stałe, ciecze i gazy) i charakteryzuje się praktycznie zerową inercją, tzn. czas przejścia danego materiału ze stanu izotropowości do anizotropowości i odwrotnie podczas włączania i wyłączania pola jest rzędu 10^{-9} ÷ 10^{-11} s. Fakt ten wykorzystano przy budowie tzw. komórki Kerra.

Na rys. 1 przedstawiono schemat układu wykorzystywanego w eksperymencie do badania zjawiska Kerra. Układ ten złożony jest z komórki Kerra umieszczonej między skrzyżowanymi polaryzatorami. Komórka Kerra składa się z ceramiki PLZT umieszczonej między elektrodami. Wiązka spójnego (o jednakowej częstotliwości i fazie) światła z lasera najpierw zostaje spolaryzowana przez polaryzator, następnie przechodzi przez komórkę Kerra i analizator. Aby zaobserwować zjawisko Kerra pole elektryczne musi być przyłożone prostopadle do propagującego się promienia światła spolaryzowanego liniowo pod kątem 45° do kierunku wektora E pola elektrycznego. Na wyjściu komórki światło spolaryzowane jest eliptycznie zależnie od drogi światła w ośrodku, natężenia pola elektrycznego i rodzaju substancji.

Pole to wywołuje dwójłomność ośrodka, z osią optyczną pokrywającą się z kierunkiem przyłożonego napięcia. Właściwości przezroczystej ceramiki PLZT zależą od jej składu chemicznego, temperatury i zastosowanego pola elektrycznego.



Rys. 1. Schemat układu do badania efektu Kerra

Przy braku pola elektrycznego ceramika PLZT zachowuje się jak substancja izotropowa. Po umieszczeniu w polu elektrycznym PLZT zachowuje się jak materiał dwójłomny, oznacza to, że biegnąca wiązka światła ulega rozdzieleniu na dwa promienie: zwyczajny (n_z) – stosujący się do prawa Snelliusa, oraz nadzwyczajny (n_n) – niespełniający tego prawa. Promienie te są spolaryzowane liniowo w płaszczyznach do siebie wzajemnie prostopadłych. Wartości współczynników załamania światła dla tych promieni są różne. W ceramice PLZT o długości L na drodze między promieniem zwyczajnym (n_z) i nadzwyczajnym (n_n) powstanie wówczas różnica dróg optycznych ($\Delta\lambda$)

$$\Delta\lambda = L(n_n - n_z)$$

odpowiadająca przesunięciu fazowemu

$$\Delta = 2\pi \frac{L}{\lambda} (n_n - n_z)$$

gdzie λ jest długością fali w próżni.

Przesunięcie fazowe jest proporcjonalne do odległości L i kwadratu wektora gęstości polaryzacji \mathbf{P} (gdzie, $P = \epsilon_0 \epsilon_r E$). Jeśli polaryzacja jest liniową funkcją natężenia pola elektrycznego \mathbf{E} , a współczynnik proporcjonalności oznaczmy jako $2\pi \cdot K$, to otrzymamy następującą zależność:

$$\Delta = 2\pi \cdot K \cdot L \cdot E^2$$

gdzie K jest stałą Kerra.

Natężenie światła przechodzącego przez ten układ jest mierzone przez fotoelement umieszczony za analizatorem i podłączony do wzmacniacza. Odczytywane na miliamperomierzu cyfrowym natężenie prądu jest proporcjonalne do natężenia światła po przejściu przez układ optyczny polaryzator - komórka – analizator, określonego jest wzorem:

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\Delta}{2}$$

gdzie, I_0 - jest natężeniem światła pomiędzy polaryzatorem i analizatorem, ustawionymi w tej samej pozycji, kiedy natężenie pola elektrycznego na elemencie PLZT jest równe zero. Po uwzględnieniu, że $E=U/d$ (U - napięcie, d - odległość między elektrodami) otrzymujemy następującą zależność

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\pi \cdot K \cdot L \cdot U^2}{d^2}$$

Aby wyrazić natężenie wiązki przechodzącej przez układ optyczny jako funkcję napięcia, równanie przekształcamy do postaci

$$U^2 = \frac{d^2}{\pi \cdot K \cdot L} \cdot \arcsin \sqrt{\frac{I}{I_0}}$$

W badanym układzie wymiary geometryczne komórki Kerra (PLZT) wynoszą odpowiednio:

$$L = 1,5 \text{ mm}, \quad d = 1,4 \text{ mm}, \quad \lambda_0 = 633 \text{ nm}.$$

4. Wykonanie ćwiczenia:

A. Układ pomiarowy składa się z zasilacza wysokonapięciowego z wbudowanym woltomierzem, lasera He-Ne (1mW), ławy optycznej, komórki Kerra (PLZT), polaryzatora i analizatora z podziałkami kątowymi, wzmacniacza, fotoelementu (fotodiody), cyfrowego multimetru pełniącego rolę miliamperomierza.

B. Czynności pomiarowe:

1. Włączyć laser He-Ne i wzmacniacz prądowy podłączony do fotoelementu. W celu osiągnięcia stabilnych warunków pracy laser He-Ne powinien być włączony przez około pół godziny przed rozpoczęciem pomiarów ilościowych.
2. Wyjustować układ tak, aby promień z lasera przechodził przez komórkę Kerra i trafiał na fotoelement. Przed komórką Kerra umieścić na ławie optycznej polaryzator a za nią analizator.

Uwaga: Pomiary powinny być przeprowadzone w zaciemnionym pomieszczeniu i nie należy przekraczać napięcia 1000V, ponieważ grozi to uszkodzeniem komórki Kerra.

3. Ustawić polaryzator i analizator równolegle do siebie tak, aby oba wskazywały kąt 0° . Włączyć miliamperomierz i ustawić jego zakres pomiarowy na 200mA.
4. Ustawić parametry wzmacniacza:
 - stopień wzmocnienia ustawić w pozycji $V=10^3$
 - stałą czasową filtra dolnoprzepustowego ustawić na $\tau=0$.
6. Włączyć zasilacz wysokiego napięcia zasilający komórkę Kerra. W tym celu:
 - a) Włączyć zasilacz przyciskiem ON z prawej strony przyrządu,
 - b) Sprawdzić, czy podświetlony jest na zielono napis SET, jeśli nie przyciskiem SELECT doprowadzić do jego podświetlenia,
 - c) Włączyć wysokie napięcie (HIGH VOLTAGE) przyciskiem z lewej strony panelu zasilacza- powinien pojawić się podświetlony na czerwono napis ON,
 - d) Wprowadzić za pomocą klawiatury numerycznej wymagane napięcie. Jego wartość zostanie pokazana na środkowym wyświetlaczu,
 - e) Wcisnąć przycisk ENTER- zaprogramowane napięcie zostanie podane na wyjście zasilacza, a jego wartość zostanie pokazana na lewym wyświetlaczu.
7. Włączyć miliamperomierz (wybrać zakres 200 mA). Na wzmacniaczu wysokiego napięcia ustawić napięcie zasilające komórkę Kerra na wartość zero. Przy tym ustawieniu wskazanie miliamperomierza powinno być maksymalne (I_0).
8. Skrzyżować polaryzator i analizator. W tym celu ustawić polaryzator na $+45^{\circ}$, a analizator na -45° (lub odwrotnie).

9. Zmienić zakres miliamperomierza na 20 mA. Zmierzyć zależność natężenia prądu I fotodiody od napięcia U przykładanego do komórki Kerra w zakresie od 300V do 1000V co 50V. Po nastawianiu danej wartości napięcia należy każdorazowo odczekać około 3-5 minut w celu ustabilizowania wartości prądu.

9. Wyniki pomiarów umieścić w tabeli:

| U [V] | I [mA] | $\frac{I}{I_0}$ | $\Delta = 2 \cdot \arcsin \sqrt{\frac{I}{I_0}}$ | $U^2 [V^2]$ |
|-------|--------|-----------------|---|-------------|
| 300 | | | | |
| 350 | | | | |
| 400 | | | | |
| 450 | | | | |
| 500 | | | | |
| 550 | | | | |
| 600 | | | | |
| 650 | | | | |
| 700 | | | | |
| 750 | | | | |
| 800 | | | | |
| 850 | | | | |
| 900 | | | | |
| 950 | | | | |
| 1000 | | | | |

$I_0 = \dots\dots\dots$

$\Delta I = \dots\dots\dots$

$\Delta U = \dots\dots\dots$

$U(\lambda/2) = \dots\dots\dots$

$L = 1,5\text{mm}$

$d = 1,4\text{mm}$

$\lambda_0 = 633\text{nm}$

10. Opracowanie wyników pomiarów:

1. Uzupełnić tabelę pomiarową wyliczając stosunek I/I_0 , wartości przesunięcia fazowego Δ oraz wartości U^2 .
2. Wykreślić zależność względnego natężenia światła (I/I_0) od wartości napięcia U przyłożonego do elementu PLZT.
3. Znaleźć na wykresie położenie kolejnych ekstremów. Możliwe, że dla danego natężenia uda się uzyskać tylko jedno ekstremum.
Oszacować napięcie półfali^(*) odczytując wartość napięcia odpowiadającego maksimum I/I_0 natężenia wiązki światła po przejściu przez układ optyczny.
4. Wykreślić zależność $\Delta (U^2)$ - przesunięcia fazowego pomiędzy promieniem zwyczajnym i nadzwyczajnym od kwadratu napięcia. Na wykresach zaznaczyć niepewności U , I oraz Δ .
5. Na podstawie wykresu $\Delta (U^2)$ wyznaczyć wartość stałej Kerra dla PLZT. W tym celu metodą regresji liniowej wyznaczyć wartość współczynnika kierunkowego „a” prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych, jego niepewność standardową $u(a)$ oraz współczynnik korelacji „r”.
Do tego celu wykorzystać tylko wyniki odpowiadające wartościom $\Delta (U^2)$ w zakresie od minimalnej do maksymalnej wartości tego parametru (wznoszące się ramię krzywej).
Ponieważ równanie otrzymanej prostej ma postać
$$\Delta = \left(K \cdot \frac{2\pi \cdot L}{d^2} \right) \cdot U^2 \quad \text{prosta typu :}$$
$$y = a \cdot x + b$$
to stała Kerra związana jest ze współczynnikiem kierunkowym zależnością:
$$K = \frac{d^2}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot a, \text{ a jej niepewność wyliczamy z zależności } u(K) = \frac{d^2}{2\pi \cdot L} \cdot u(a)$$
6. W analizie danych eksperymentalnych należy ocenić zgodność otrzymanych wyników z przewidywaniami teoretycznymi: kryterium stanowi m.in. wartość współczynnika korelacji, a także porównanie własnych wyników z wynikami dostępnymi w literaturze.

^(*)Wielkością charakteryzującą elektrooptycznie element PLZT jest, tzw. **napięcie półfali**, $U (\lambda/2)$ – czyli takie napięcie, przyłożone do kryształu, które wprowadza przesunięcie fazowe: $\Delta = \pi$.