

Katedra Fizyki Ciała Stałego Uniwersytetu Łódzkiego

Ćwiczenie 1

Badanie efektu Faraday'a w monokryształach o strukturze granatu

Cel ćwiczenia: Celem ćwiczenia jest pomiar kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji w efekcie Faraday'a w warstwach o strukturze granatu, dla różnych długości fali światła przechodzącego.

Plan prac badawczych

1. Badanie efektu Faradaya wykonuje się na trzech płytkach o grubości około 1 mm oznaczonych cyframi: I, II, III, wyciętych z monokryształów granatu o różnych własnościach magnetoptycznych.
2. Należy dokonać wyboru źródła światła dla danej serii pomiarowej. (lampa halogenowa lub lampa ksenonowa).
3. Wykorzystując prawo Malusa ustawić polaryzatory (Glana-Thompsona i dichroiczny-polaroid) pod kątem $\pi/4$ względem ich płaszczyzn polaryzacji.
4. Wykorzystywanie różnych typów polaryzatorów dichroicznych (polaroidy typu: M, 1.3-IR, 2.4-IR) w zależności od zakresu widmowego pomiarów.
5. Do detekcji światła w zakresie widzialnym używamy fotopowielacza **EMI 9524 S** do detekcji w zakresie podczerwieni fotodiody krzemowej **BPYP-07A**. Dobieramy odpowiednie szerokości szczelin monochromatora: wejściową i wyjściową.
6. Wykonujemy charakterystyki prądowe kąta skręcenia polaryzacji w funkcji prądu magnesującego dla wybranych zakresów prądu i ustalonych długości fal światła przechodzącego. Charakterystyki te służą do wyboru wartości prądu zmiennego wytwarzającego przemagnesowujące, zewnętrzne pole magnetyczne.

7. Wykonujemy charakterystyki widmowe kąta skręcenia polaryzacji w funkcji długości fali światła dla wybranych zakresów długości fal przy ustalonych na podstawie pkt.6 wartościach prądów magnesujących.
8. Dokonujemy pomiaru dyspersji monochromatora dla poszczególnych długości fal oraz stosowanych szerokości jego szczelin, wyniki nanosimy na wykresy charakterystyk widmowych, dla obydwu typów detektorów.

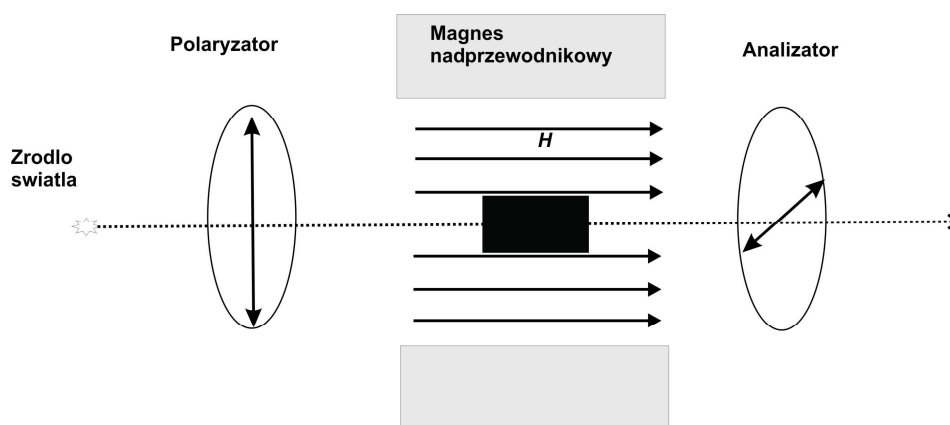
Wstęp teoretyczny

Pole magnetyczne zmienia własności optyczne ciał, co jest przyczyną powstawania zjawisk magnetoptycznych. Efekty magnetoptyczne można podzielić na efekty pierwszego rzędu, proporcjonalne do pierwszej potęgi natężenia zewnętrznego pola magnetycznego lub stopnia namagnesowania ciała oraz na efekty drugiego i wyższych rzędów.

Do efektów pierwszego rzędu zaliczamy zjawisko Faraday'a skręcenia płaszczyzny polaryzacji w polu magnetycznym oraz poprzeczny, biegunowy i podłużny efekt Kerra.

Do efektów drugiego rzędu zaliczamy zjawisko wymuszonej (zewnętrznym polem magnetycznym) dwójłomności, zjawisko Cottona – Moutona.

W ćwiczeniu badamy efekt pierwszego rzędu, zwany od nazwiska jego odkrywcy, zjawiskiem Faraday'a. Polega on na zmianie własności optycznych substancji pod wpływem przyłożonego do niej pola magnetycznego, równoległego do kierunku rozchodzenia się światła. Eksperymentalnie stwierdzono, że pole magnetyczne przyłożone do takiej substancji w kierunku rozchodzenia się światła, powoduje skręcenie płaszczyzny polaryzacji promienia płasko spolaryzowanego.



Schemat układu do badania efektu Faradaya.

Wartość kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji θ jest proporcjonalna do długości drogi l , którą światło pokonuje w ośrodku skręcającym, do natężenia pola magnetycznego H .

$$\theta = CHI$$

gdzie:

θ - kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji,

C - stała Verdet (zależy od częstotliwości promieniowania i temperatury),

H - zewnętrzne pole magnetyczne,

l - długość drogi jaką światło pokonuje w ośrodku skręcającym.

W przypadku magnetyków, efekty magnetoptyczne w nich występujące są proporcjonalne do namagnesowania ośrodka.

Niech na powierzchnię ośrodka magnetycznego, znajdującego się w zewnętrznym polu magnetycznym pada liniowo spolaryzowana fala. Falę tę można przedstawić jako sumę dwóch fal spolaryzowanych kołowo, prawo- i lewoskrętnie, rozchodzących się z różnymi prędkościami. W obecności pola magnetycznego, w magnetykach ma miejsce zjawisko precesji spinów elektronów wokół wektora pola magnetycznego. W ferromagnetykach wektor giracji można rozłożyć na dwa wektory – elektryczny i magnetyczny:

Metodyka pomiarowa

Próbkę pomiarową w formie fragmentu płytki płaskorównoległej umieszcza się w uchwycie pomiędzy dwoma polaryzatorami wewnątrz cewki wytwarzającej zewnętrzne pole magnetyczne. Jest ona oświetlana przez wychodzącą z monochromatora jednobarwną wiązkę światła o ustalonej długości fali. Światło po przejściu tego układu jest zbierane przez soczewkę i podawane na detektor, którym jest fotopowielacz lub fotoogniwo o odpowiedniej charakterystyce widmowej.

Pierwszy z filtrów polaryzacyjnych, który pełni rolę polaryzatora jest zamocowany w uchwycie umożliwiającym jego obrót wokół osi wyznaczonej przez wiązkę światła. Drugi, pełniący rolę analizatora stanu polaryzacji światła przechodzącego, jest nieruchomy i na trwale związany z układem.

Wstępnie, w nieobecności zewnętrznego pola magnetycznego orientujemy polaryzatory ustawiając, poprzez obrót jednym z nich, w dwóch kolejnych położeniach, dla których jest przepuszczane przez układ maksimum lub minimum światła. Ilość przepuszczanego światła

(wartość maksymalną i minimalną) odczytujemy w postaci stałego napięcia pojawiającego się na wyjściu detektora, proporcjonalnie do natężenia przechodzącej wiązki. Obliczamy różnicę wartości zarejestrowanych dla tych położań napięć.

Znając wartość różnicy natężenia światła transmitowanego przez układ polaryzatorów w położeniu równoległym (maksimum światła), a prostopadłym (minimum światła) i stosując prawo Malusa, ustawiamy kąt 45 o pomiędzy płaszczyznami polaryzacji tych polaryzatorów.

Przypis 1: Natężenie światła spolaryzowanego przepuszczanego przez dichroiczny polaryzator jest proporcjonalne do $\cos^2\phi$, gdzie ϕ jest kątem pomiędzy płaszczyzną polaryzacji światła padającego, a tzw. kierunkiem głównym analizatora. Wartość $\cos^2\phi$ dla kąta 45 o wynosi 1/2, więc ustalenie przez obrót polaryzatorem wartości sygnału na wyjściu, równego połowie zmierzonej poprzednio różnicy, zapewni ustawienie kąta $\phi = 45$ o tego polaryzatora.

Wartość napięcia stałego na wyjściu detektora odpowiadającą ustawieniu polaryzatora pod kątem $\phi = 45$ oznaczamy przez \bar{U} . W dalszej części ćwiczenia będziemy mierzyć ją każdorazowo przy wyznaczaniu charakterystyk kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji w badanym ośrodku w funkcji długości fali światła czy wartości prądu magnesującego.

Włączamy generator prądu zmiennego, który wytwarza w cewce sinusoidalnie zmienne, pole magnetyczne, dostatecznie jednorodne, w otoczeniu próbki pomiarowej. Pole to jest prostopadłe do badanej warstwy kryształu granatu, a jego natężenie jest proporcjonalne do prądu podawanego na cewkę z generatora.

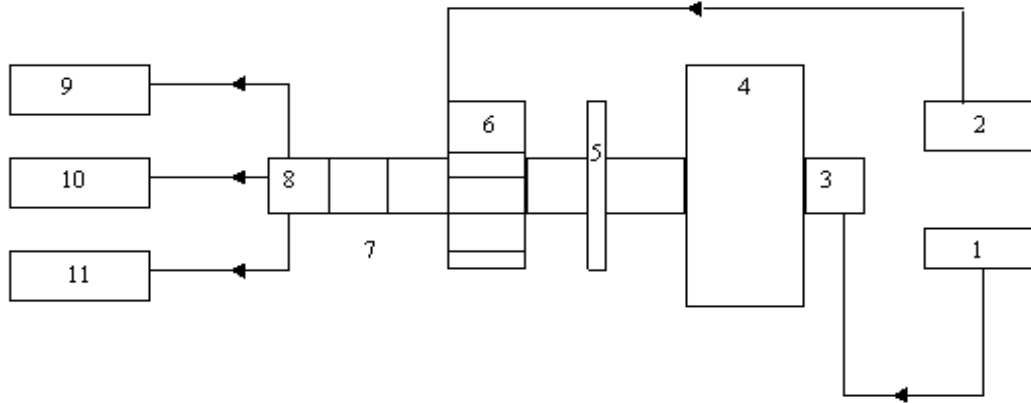
To zmienne pole spowoduje przemagnesowywanie badanej warstwy magnetycznej kryształu granatu z częstotliwością równą częstotliwości podawanego przez generator sygnału prądowego. Efektem tego będzie, zgodnie z teorią zjawiska Faraday'a, przemienne skręcanie płaszczyzny polaryzacji przechodzącego światła (w takt zmian namagnesowania warstwy). Wywoła to periodyczne zmiany natężenia przechodzącego przez układ światła i będzie rejestrowane jako zmienne napięcie \tilde{U} na wyjściu detektora. Amplituda tego napięcia będzie proporcjonalna do amplitudy przemiennych zmian płaszczyzny polaryzacji.

Kąt skręcenia płaszczyzny polaryzacji obliczamy (dla różnych długości fal, jak też dla różnych natężeń prądu magnesującego) z następującego wzoru:

$$\beta = (\tilde{U} / \bar{U}) \pi/4$$

Gdzie β jest miarą łukową kąta skręcenia płaszczyzny polaryzacji w ośrodku..

Schemat blokowy układu pomiarowego



1. zasilacz źródła światła
2. generator pola magnetycznego
3. lampa halogenowa lub ksenonowa,
4. monochromator
5. polaryzator (dichroiczny)
6. cewka wytwarzająca zewnętrzne pole magnetyczne
7. polaryzator analizujący (pryzmat Glana-Thompsona)
8. fotopowielacz lub fotoogniwo
9. miernik cyfrowy do pomiaru składowej stałej
10. nanowoltomierz selektywny do pomiaru składowej zmiennej
11. zasilacz wysokiego napięcia (w przypadku stosowania fotopowielacza)

Literatura

- [1] Encyklopedia fizyki współczesnej, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1983.
- [2] E.R.Mustiel, W.N.Parygin, Metody modulacji światła, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1974.
- [3] C.Kittel, Wstęp do fizyki ciała stałego, Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 1999.
- [4] A.Oleś, Metody doświadczalne fizyki ciała stałego, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998.