



Laboratorium TECHNIKI LASEROWEJ

Ćwiczenie 1. Modulator akustooptyczny



**Katedra Metrologii
i Optoelektroniki
WETI
Politechnika Gdańska
Gdańsk 2018**

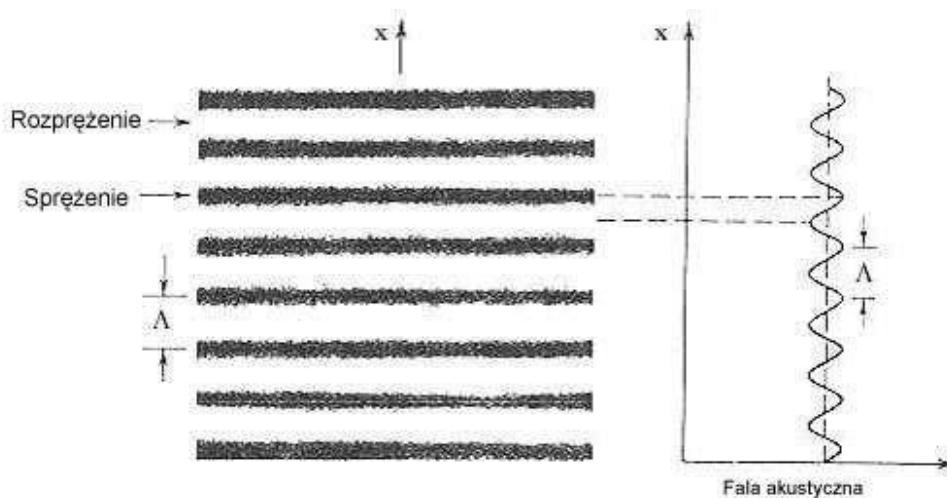
1. Wstęp

Ogromne zapotrzebowanie na informację oraz dynamiczny rozwój telekomunikacji wymagają stosowania coraz to wydajniejszych metod modulacji i detekcji światła. Celem ćwiczenia jest zaprezentowanie sposobu modulacji światła, bazującego na efekcie akustooptycznym, czyli wzajemnego oddziaływania na siebie fal akustycznych i świetlnych.

2. Efekt akustooptyczny

Założmy, że w pewnym ośrodku optycznym rozchodzi się fala akustyczna. Powoduje ona lokalne i okresowe zmiany gęstości danego ośrodka optycznego. Zjawisko to jest przyczyną lokalnych zmian współczynnika załamania. W rezultacie powstaje przestrzenna siaka dyfrakcyjna, którą można wykorzystać do modulacji światła. Dyfrakcja światła może zachodzić na falach akustycznych objętościowych, poprzecznych i podłużnych, zarówno w wypadku fal stojących jak i bieżących, rozchodzących się w materiałach optycznie izotropowych (woda, szkło) bądź anizotropowych (kryształy).

Rozpatrzmy ultradźwiękową falę akustyczną o długości Λ i częstotliwości f , rozchodzącą się w ośrodku optycznym w kierunku x .



Rysunek 1. Przykładowy rozkład współczynnika załamania w ośrodku z falą akustyczną.

Rozkład współczynnika załamania w ośrodku optycznym można przedstawić w następujący sposób:

$$n(x, t) = n_0 + \Delta n \cdot \cos \left[2\pi \left(f \cdot t - \frac{x}{\Lambda} \right) \right], \quad (1)$$

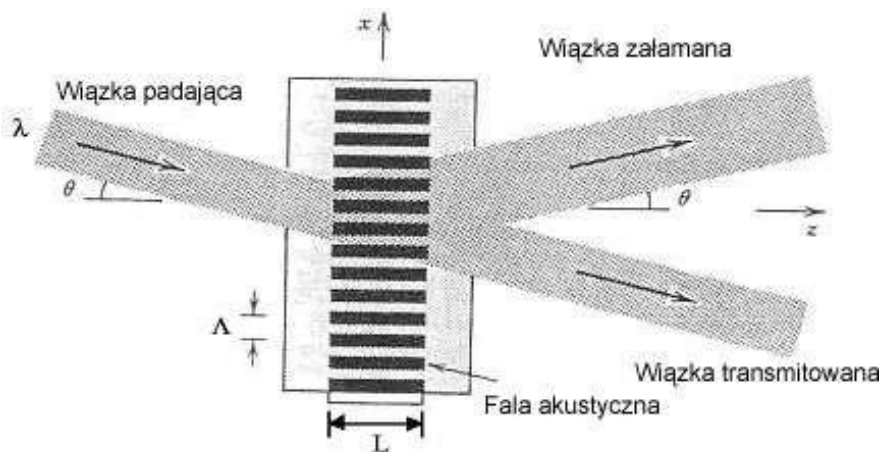
gdzie: t – czas, n_0 – współczynnik załamania ośrodka niezaburzonego, Δn – amplituda zmian współczynnika załamania występujących pod wpływem fal akustycznych, Λ – długość fali akustycznej.

Powstaje fazowa, sinusoidalna siatka dyfrakcyjna o stałej d równej długości fali ultradźwiękowej Λ . Siatka ta przesuwa się zgodnie z kierunkiem rozchodzenia się fali akustycznej, z prędkością v równa prędkości fali w danym ośrodku (tzw. bieżąca siatka dyfrakcyjna) oraz ma skończoną grubość L w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku propagacji fali. Skoro prędkość światła jest około 10^6 razy większa od prędkości fali akustycznej można przyjąć, że dla fali świetlnej bieżącej w ośrodku optycznym siatka dyfrakcyjna jest nieruchoma.

Do rozważań analitycznych zagadnienia należy określić rodzaj dyfrakcji światła. Decyduje o tym parametr Kleina-Cooke'a:

$$Q = \frac{2\pi}{\cos\theta} \cdot \frac{\lambda L}{\Lambda^2}, \quad (2)$$

gdzie: λ – długość fali światła padającego na siatkę (rysunek 2), θ – kąt między kierunkiem propagacji fali świetlnej a normalną do kierunku propagacji fali ultradźwiękowej, L – szerokość wiązki fali akustycznej.



Rysunek 2. Wiązka padająca na komórkę akustooptyczną.

Jeżeli $Q \ll 1$ – siatkę dyfrakcyjną określa się jako ciekłą, a problem rozpatruje się w oparciu o dyfrakcję Ramana-Natha, Jeżeli $Q \gg 1$ – siatkę dyfrakcyjną określa się jako grubą, a problem rozpatruje się w oparciu o dyfrakcję Bragga.

Jak można zauważyć, parametrem mającym decydujący wpływ na wybór metody dalszych rozważań jest kąt padania θ promienia świetlnego na powierzchnię graniczną ośrodka optycznego.

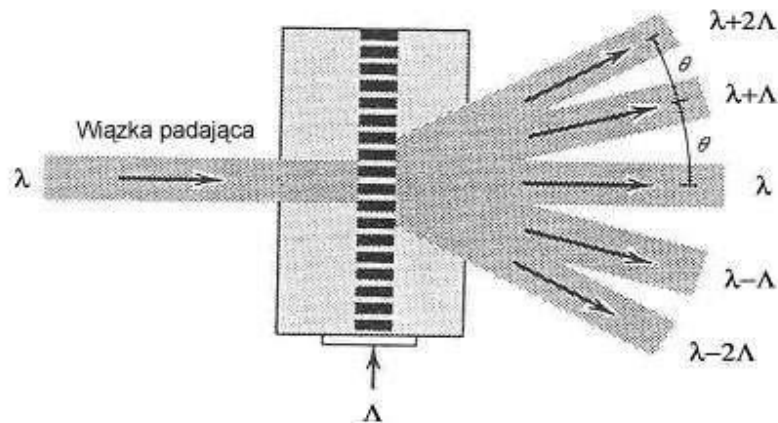
3. Zjawisko dyfrakcji

Dyfrakcja Ramana-Natha na fali bieżącej

Przyjmując, że na płaską, fazową, akustooptyczną siatkę dyfrakcyjną pada prostopadle fala świetlna o długości λ , wówczas rozkład prążków interferencyjnych można przedstawić zależnością:

$$\sin\theta_m = \frac{m\lambda}{\Lambda}, m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (3)$$

gdzie: θ_m – kąt, pod jakim obserwowany jest m-ty prążek dyfrakcyjny.



Rysunek 3. Dyfrakcja Ramana-Natha na fali akustycznej.

W wypadku bieżącej fali akustycznej natężenie światła w m-tym prążku proporcjonalne jest do kwadratu funkcji Bessela m-tego rzędu:

$$I_m = I_0 J_m^2(\Gamma_0), m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (4)$$

gdzie: I_m – natężenie światła w m-tym prążku, I_0 – natężenie światła w wiązce zerowego rzędu po przejściu przez ośrodek nie zaburzony akustycznie, J_m – funkcja Bessela pierwszego rodzaju m-tego rzędu argumentu Γ_0 , Γ_0 – argument funkcji Bessela wyrażony wzorem:

$$\Gamma_0 = \frac{2\pi}{\lambda} L \Delta n, \quad (5)$$

Δn - amplituda zmian współczynnika załamania światła.

Dla wartości Δn natężenie we wszystkich prążkach jest stałe. Ruch siatki dyfrakcyjnej nie ma wpływu na natężenie światła w maksimach, lecz skutek występowania efektu Dopplera zmienia jego częstotliwość ($\lambda \pm m\Lambda$).

Wielkość argumentu Γ_0 funkcji Bessela zależy bezpośrednio od Δn . Z kolei efekt elastoptyczny wiąże zmiany Δn z odkształceniami sprężystymi ośrodka u . Dla bieżącej fali akustycznej istnieje następujący związek między odkształceniem i mocą P tych fal:

$$u^2 = \frac{2P}{S\rho v^3}, \quad (6)$$

gdzie: S - powierzchnia przekroju poprzecznego słupa fali akustycznej, ρ – gęstość ośrodka, v – prędkość rozchodzenia się fali akustycznej w ośrodku.

Podstawiając wielkość u wyznaczoną z równania (6) otrzymamy:

$$\Gamma_0 = \frac{\pi n^3 p}{\lambda} \sqrt{\frac{2PL^2}{S\rho v^3}}, \quad (7)$$

gdzie: p – efektywny współczynnik elastoptyczny.

Dla małych Γ_0 natężenie światła w pierwszym maksimum dyfrakcyjnym może być opisane wyrażeniem:

$$I_1 \approx I_0 \frac{\pi^2 n^6 p^2 L^2}{2\lambda^2 \rho v^3 S} P, \quad (8)$$

Z powyższego wynika, że jakość materiału elastoptycznego może być scharakteryzowana wielkością:

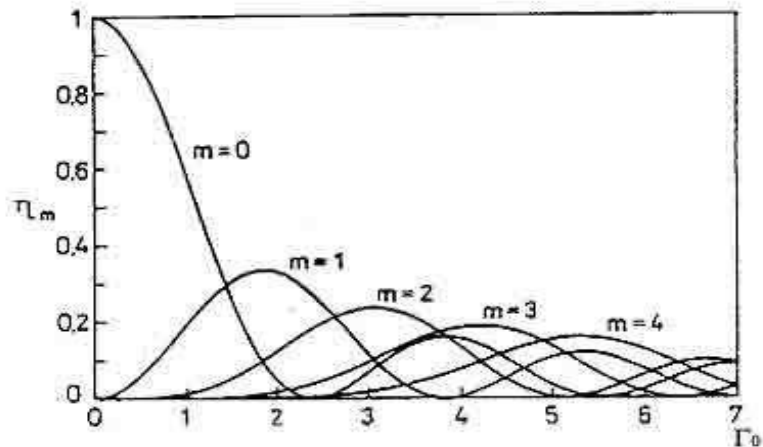
$$M = \frac{n^6 p^2}{\rho v^3}, \quad (9)$$

Wygodniej jest jednak wprowadzić wielkość, zwaną wydajnością dyfrakcyjną η_m , w m -tym prążku dyfrakcyjnym:

$$\eta_m = \frac{I_m}{I} = J^2(\Gamma_0), \quad (10)$$

Zależność opisaną równaniem (10), dla początkowych pięciu rzędów dyfrakcyjnych przedstawiono na rys. 4. Z własności funkcji Bessela wynika, że są one funkcjami oscylującymi i mają nieskończenie wiele miejsc zerowych.

Przy odpowiednio dobranym parametrze Γ_0 (patrz wzór (5)) możliwe jest, czego nie ma w amplitudowych siatkach dyfrakcyjnych, wygaszenie prążka zerowego rzędu (całe światło zlokalizowane jest wyłącznie w wiązce ugiętej).



Rysunek 4. Zależność wydajności dyfrakcyjnej od parametru Γ_0 dla początkowych pięciu rzędów dyfrakcyjnych.

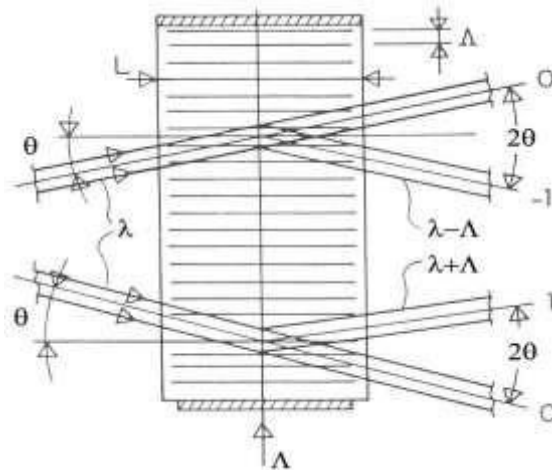
W ogólnym wypadku możliwe jest wygaszenie pary prążków symetrycznie położonych względem wiązki nieugiętej. Ponieważ parametr Γ_0 zależy od amplitudy współczynnika załamania Δn , a ta zależy m.in. od mocy fali ultradźwiękowej P , możliwe jest wygaszenie prążków określonych rzędów zmieniając moc P fali ultradźwiękowej. Ponadto z rys. 4. wynika, że maksimum natężenia prążków dyfrakcyjnych dosyć szybko maleje ze wzrostem numeru prążka, co prowadzi do tego, że w praktyce można zaobserwować przeciętnie 6-7 rzędów ugięcia.

Dyfrakcja Bragga na fali bieżącej

Przy spełnieniu nierówności $Q \gg 1$ (parametr Kleina-Cooke'a – siatka gruba) oraz jeśli wiązka światła pada na słup fali akustycznej pod kątem θ , przy czym:

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{2\Lambda}, \quad (11)$$

to zostaje naruszona symetria maksimów dyfrakcyjnych. Ten kąt padania nosi nazwę kąta Bragga, a obserwowane zjawisko nazywamy dyfrakcją Bragga. Natężenie we wszystkich prążkach dyfrakcyjnych, oprócz minus pierwszego jest wówczas pomijalnie małe. Bieg promieni ulegających dyfrakcji Bragga przedstawiono na rysunku 5.



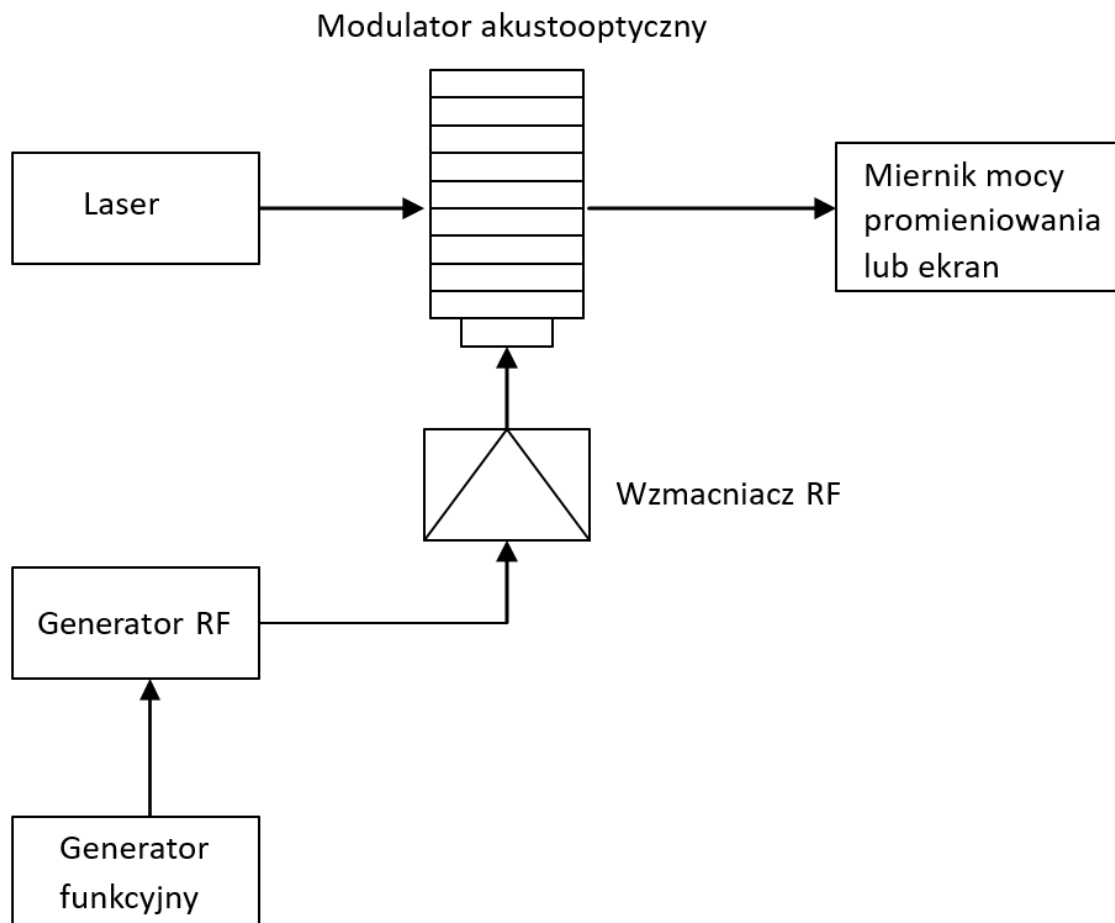
Rysunek 5. Bieg promieni świetlnych ulegających dyfrakcji Bragga.

W tym wypadku fala świetlna jest odchylona o kąt równy 2θ . Moc odchylonej fali świetlnej z reguły nie przekracza 20% mocy fali pierwotnej. Trzeba jeszcze zwrócić uwagę, że tak samo jak dla wypadku dyfrakcji Ramana-Natha na fali bieżącej, tak i dla dyfrakcji Bragga na fali bieżącej, w skutek efektu Dopplera częstotliwość odchylonego promieniowania różni się od częstotliwości fali padającej. Przechodząca wiązka światła zostaje ugięta, przy czym częstotliwość wzrasta lub maleje o wartość częstotliwości wzbudzonej w przetworniku fali akustycznej, w zależności od kierunku propagacji. Przy dyfrakcji Bragga, natężenia światła we wszystkich maksimach dyfrakcyjnych, oprócz zerowego i minus pierwszego, można zaniedbać.

4. Opis stanowiska laboratoryjnego

Źródłem światła jest laser półprzewodnikowy o długości fali 650 nm. Do modulacji światła został wykorzystany układ **1205C-2** produkcji Isomet Corporation (szerszy opis w załączniku nr 1). Modulator akustooptyczny sterowany jest przebiegiem sinusoidalnym o częstotliwości od 50 do 100 MHz wytwarzanym przez generator RF. Sygnał sterujący dodatkowo może być zmodulowany przebiegiem o niskiej częstotliwości z generatora funkcyjnego.

Jako detektor został użyty miernik mocy promieniowania laserowego SANWA LP1. Detektor jest skalibrowany w jednostkach mocy [mW] dla długości fali 633 nm.



Rysunek 6. Schemat blokowy układu pomiarowego.

5. Zadania laboratoryjne

1. Zamontować ekran na ławie optycznej i wyjustować układ optyczny.
2. Przy wyłączonej modulacji sygnału nośnego (sterującego modulatorem) zaobserwować zmiany rozkładu prążków interferencyjnych względem częstotliwości sygnału sterującego (zakres 30÷100 MHz).
3. Pomierzyć odległości pomiędzy prążkami interferencyjnymi rzędu 0 i +/- 1 oraz 0 i +/- 2 (jeżeli będzie to możliwe) względem częstotliwości sygnału sterującego (zakres 30÷100 MHz). Ćwiczenie należy wykonać przy wyłączonej modulacji sygnału sterującego modulatorem akustooptycznym. Aby uzyskać wyraźny obraz interferencyjny można zwiększyć amplitudę sygnału sterującego modulatorem akustooptycznym. Pomierzyć i zanotować odległość pomiędzy modulatorem i ekranem.
4. Podłączyć generator funkcyjny do wejścia modulacji generatora RF. Dla jednej ustalonej częstotliwości fali nośnej (sugerowane 80 MHz) zaobserwować zmiany obrazu interferencyjnego przy włączonej modulacji AM sygnałem zewnętrznym. Obserwacje przeprowadzić

dla różnych przebiegów sygnału modulującego (sinus, prostokąt) dla małych wartości częstotliwości (1÷5 Hz).

5. Zdemontować ekran i zamontować głowicę detektora. Pomierzyć charakterystykę zmian mocy promieniowania w prążkach rzędu 0, +/-1, +/-2 w zależności od amplitudy sygnału (od -10 do +13 dBm). Pomiar należy wykonać dla częstotliwości 50 MHz przy wyłączonej modulacji sygnału sterującego.

6. Opracowanie wyników

1. Dla każdego z pomiarów wykonanych w zadaniu laboratoryjnym nr 3. obliczyć prędkość fali akustycznej, rozchodzącej się w modulatorze. Przyjąć, że dla fali akustycznej $v = \Lambda f$, a Λ jest jednocześnie stałą siatki dla fali optycznej. Uśrednioną wartość prędkości należy porównać z danymi w specyfikacji urządzenia (załącznik nr 1).
2. Wyznaczyć charakterystykę wydajności dyfrakcyjnej η_m w funkcji amplitudy sygnału generatora RF.

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_0},$$

P_m – moc prążka m-tego rzędu, P_0 – moc prążka głównego przy wyłączonej modulacji.

3. Przedstaw wnioski i spostrzeżenia wynikające z realizacji ćwiczenia.

Załącznik nr 1 – specyfikacja modulatora akustooptycznego Isomet 1205C-2



Isomet Corporation
1205C *
ACOUSTO-OPTIC MODULATOR

Application: Modulator / Low Resolution Deflector / Frequency Shifter
Features: Low Drive Power / Good Temperature Stability / Small Size

1205C-1	1mm Active aperture
1205C-2	2mm Active aperture

DRIVERS: FOR 1205C-1, 1205C-2

Model 222A-1 (Digital Modulation)	Model D301B (Variable Frequency)
Model 232A-1 (Analog Modulation)	Model D322B (Variable Frequency)

SPECIFICATIONS

Spectral Range:	442->1.5 μ m*
Standard Operating Wavelengths:	442nm, 488-633nm
Interaction Medium:	Lead Molybdate (PbMoO ₄)
Acoustic Velocity:	5.63mm/ μ s
Active Aperture:	1.0mm and 2.0mm (see below)
Center Frequency:	80MHz
RF Bandwidth:	30MHz
Input Impedance:	50 Ohms Nominal
VSWR:	<1.5:1 @ 80MHz
DC Contrast Ratio:	> 1000:1
Dimensions:	Click here for diagram.

PERFORMANCE VS. WAVELENGTH

Wavelength(nm):	442	488	515	633	830*
RF Drive Power, 1205C-1 (W)	<0.3	<0.4	<0.4	<0.6	<0.8
RF Drive Power, 1205C-2 (W)	<0.4	<0.5	<0.6	<1.0	<1.5
Bragg Angle (mr):	4.9	5.4	5.7	7.0	9.1
Beam Separation (mr):	9.7	10.7	11.3	13.9	18.3
Static Insertion Loss (%):	<10	<5	<3	<3	<3

* Operation at near IR wavelengths with reduced efficiency and modulation bandwidth. Special A/R coatings (to 1.5 μ m) are available. [Click here for Data Sheet Addendum.](#)

PERFORMANCE VS. BEAM DIAMETER

Beam Diameter (mm):	2.0	1.0	0.34	0.2	0.14
Risetime (ns):	360	180	60	35	25
Modulation Bandwidth (MHz)@ MTF= 0.5:	1.0	1.9	5.8	10	15
Deflection Efficiency (% @ CF):	90	85	85	80	75