



I. Badanie charakterystyki spektralnej źródła termicznego i nietermicznego promieniowania elektromagnetycznego

Cel ćwiczenia: Wyznaczenie charakterystyki spektralnej termicznego źródła promieniowania (lampa halogenowa) przy pomocy detektora termicznego oraz diod półprzewodnikowych przy pomocy detektora fotonowego.

Opis stanowiska:

Oświetlacz - lampa halogenowa (napięcie zasilania do 16V).

Lampa sodowa 589nm

Zasilacz halogenu Z 3020.

Zwierciadło M1

Modulator

Monochromator - SPM2 z pryzmatem szklanym - 0.4 μm do 3.5 μm

Detektor termiczny - termoelement VTh-1 z okienkiem CaF_2 o powierzchni światłoczułej 7 mm^2 .

Nanowoltomierz selektywny 233 lub nanowoltomierz homodynowy do pomiaru napięcia na wyjściu termopary.

Niedokładność wskazań nanowoltomierza selektywnego: $\pm \Delta U = \pm \frac{(4U + 2U_c)}{100}$ gdzie U_c

–zakres, U – aktualne wskazanie miernika.

Jeśli używany jest przedwzmacniacz, to niepewność pomiaru jest równa $\pm (7 + 2 U_c / U)\%$.

Niedokładność wskazań nanowoltomierza homodynowego:

$\pm 3\%$ dla $f=15 \text{ Hz} - 15 \text{ kHz}$ oraz $\pm 5\%$ dla $f=1,5 \text{ Hz} - 15 \text{ Hz}$ i dla $f=15\text{kHz} - 150 \text{ kHz}$.

Wzmacniacz pomiarowy – szerokopasmowy woltomierz AC, alternatywnie do pomiaru napięcia termopary.

Detektor fotonowy – fotodiody Si.

Przebieg ćwiczenia:

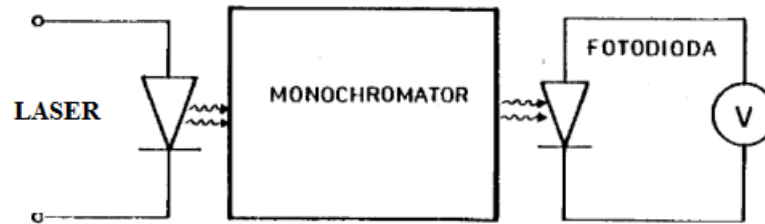
A) Badanie charakterystyki spektralnej źródła termicznego

1. Sprawdzić kalibrację monochromatora.



Inżynieria kwantowa

- Zestawić układ według schematu przedstawionego na rys.1. Ustawić laser naprzeciw szczeliny wejściowej monochromatora.

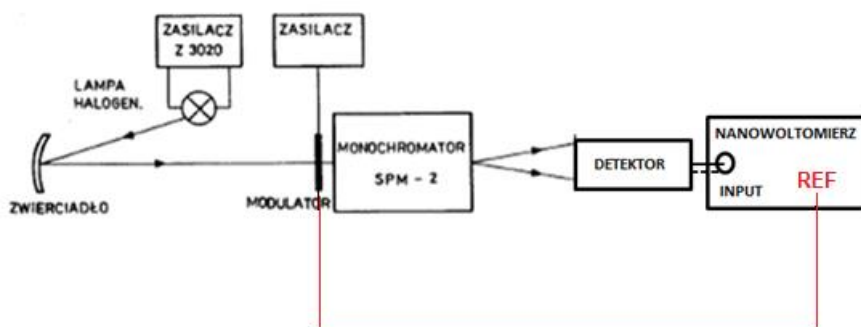


Rys.1.Schemat układu do kalibracji monochromatora

- Odczytać długość fali emitowanej przez laser (napis na obudowie lasera).
- Ustawić na skali monochromatora taką samą długość fali.
- Otworzyć szczeliny monochromatora.
- Włączyć laser.
- Ustawić fotodiode krzemową naprzeciw szczeliny wyjściowej monochromatora, tak, aby optymalnie ją oświetlić.
- Połączyć wyjście detektora z wejściem multimetru V640.
- Regulując pokrętkiem służącym do wyboru długości fali znaleźć takie położenie, przy którym sygnał na wyjściu detektora jest maksymalny.
- Jeśli długość fali na skali różni się od długości fali emitowanej przez laser, skorygować położenie skali za pomocą śruby służącej do kalibracji monochromatora (tzn. ustawić na skali długość fali równą długości fali lasera).
- Powtórzyć tę procedurę dla lasera emitującego falę o innej długości.

2. Pomiar charakterystyki widmowej lampy halogenowej

Zestawić układ wg. schematu przedstawionego na rys.2 stosując, jako źródło światła halogen i jako detektor - termoparę lub detektor piroelektryczny.





Inżynieria kwantowa

Rys.2. Schemat układu do pomiaru charakterystyki spektralnej fotonapięcia detektora przy pomocy nanowoltomierza selektywnego. Na czerwono zaznaczono połączenie, które trzeba zrealizować aby wykonać ten sam pomiar przy pomocy nanowoltomierza homodynamicznego.

- Ustawić na zasilaczu halogenu napięcie $U = 10V$
- Otworzyć szczeliny monochromatora. Ustawić szerokość szczelin monochromatora na 0.7 mm
- Oświetlić detektor światłem o długości fali z zakresu widzialnego. W tym celu wybrać odpowiednią długość fali na skali monochromatora i ustawić detektor naprzeciwko szczeliny wyjściowej monochromatora.
- Jeśli pomiar napięcia na wyjściu detektora odbywa się przy pomocy nanowoltomierza homodynamicznego, połączyć wyjście referencyjne z modulatora z wejściem REFERENCE nanowoltomierza.
- Połączyć wyjście detektora z wejściem INPUT nanowoltomierza selektywnego lub homodynamicznego. W celu wzmocnienia sygnału z termopary można użyć transformatora 233.7 oraz przedwzmacniacza 233.7. Wówczas wyjście detektora należy połączyć z wejściem transformatora, wyjście transformatora z wejściem przedwzmacniacza i wyjście przedwzmacniacza z wejściem nanowoltomierza. Na wyjściu przedwzmacniacza znajdują się dwa przewody koncentryczne, obydwa łączymy z gniazdami wejściowymi nanowoltomierza.
- Ustawić maksymalny zakres pomiarowy nanowoltomierza.
- Włączyć modulator. Ustawić możliwie niską częstotliwość modulatora (ok. 8Hz).
- Ustawić częstotliwość nanowoltomierza selektywnego równą częstotliwości modulatora natomiast w przypadku nanowoltomierza homodynamicznego wybrać odpowiednimi przyciskami zakres częstotliwości, w którym mieści się częstotliwość modulatora.
- **W obecności przewodzącego** włączyć nanowoltomierz.
- Jeśli na największym zakresie pomiarowym sygnał jest bliski zeru, zmniejszać skokowo zakres pomiarowy tak, aby wychylenie wskazówki osiągnęło wartość równą ok. 2/3 zakresu pomiarowego.
- Skorygować położenie detektora tak, aby uzyskać maksymalne napięcie na wyjściu.
- Zmierzyć napięcie na wyjściu detektora termicznego w funkcji długości fali w zakresie od $0.45\mu m$ do $3.5\mu m$.
Zmieniać długość fali zgodnie z zaleceniami przewodzącego.



- Powtórzyć pomiary dla innego napięcia zasilania lampy halogenowej, podanego przez prowadzącego.

4. Pomiar kąta bryłowego wiązki światła padającego na monochromator.

- Zmierzyć suwmiarką średnicę lustra oświetlającego szczelinę wejściową monochromatora oraz jego odległość od szczeliny wejściowej.

Opracowanie wyników:

1. Narysować charakterystyki spektralne źródła światła + monochromator, czyli wykres napięcia na wyjściu detektora termicznego w funkcji długości fali dla obydwu napięć zasilających halogen. Na wykresach zaznaczyć niepewności pomiarowe napięcia i długości fali. W obydwu przypadkach przyjąć niepewność równą niepewności pojedynczego pomiaru $u(x) = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}}$. Poniżej przedstawiono jak należy dokonać odczytu na skali monochromatora i jak wyznaczyć dokładność pomiaru.

Rys. 3. Przykładowy odczyt wyniku ze skali monochromatora SPM-2

Górna skala – długość fali w μm .

Dolna skala – szerokość szczeliny w mm

Przy szczelinie 1mm: $(1200 \pm 30)\text{nm}$

Przy szczelinie 0.5mm: $(1200 \pm 15)\text{nm}$

Przy szczelinie 0.1mm: $(1200 \pm 3)\text{nm}$

Przy szczelinie x mm: $(1200 \pm x \cdot 30)\text{nm}$



2. Dopasować charakterystyki rozkładem Plancka.

3. Wyznaczyć maksimum zdolności emisyjnej dla obydwu charakterystyk i korzystając z prawa Wiena, oszacować temperaturę włókna żarówki w obydwu przypadkach.

4. Porównać wyznaczony kąt bryłowy z kątem bryłowym monochromatora (0.125sr).

Literatura:

Wykłady: 2, 3 „Źródła i detektory”

Pytania kontrolne

1. Termiczne i nietermiczne źródła promieniowania
2. Prawa promieniowania ciała doskonale czarnego
3. Zasada działania termopary jako detektora promieniowania elektromagnetycznego



B) **Badanie charakterystyki spektralnej diod elektroluminescencyjnych**

Opis stanowiska:

Detektory fotonowe: fotodiody Si, Ge, InGaAs

Diody elektroluminescencyjne na zakres widzialny i na podczerwień.

Woltomierze: METEX , V640 lub cyfrowy V544; amperomierz METEX lub V623

Monochromator siatkowy na zakres widzialny prom. e.m.

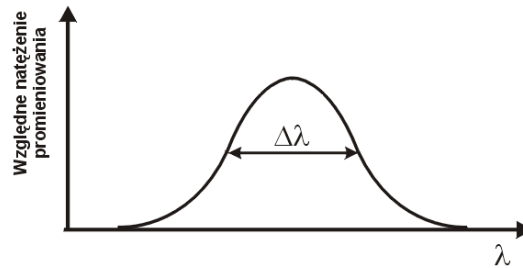
Monochromator siatkowy na zakres podczerwony prom. e.m.

Wstęp teoretyczny.

Długość fali promieniowania emitowanego przez diodę półprzewodnikową w skutek rekombinacji par elektron – dziura wyraża się wzorem:

$$\lambda = \frac{hc}{E_G} \quad (1)$$

gdzie E_G jest szerokością przerwy wzbronionej półprzewodnika. Zatem aby oszacować E_G należy wyznaczyć długość fali odpowiadającej maksymalnej zdolności emisyjnej diody. Należy zdawać sobie sprawę z faktu, iż w praktyce dioda elektroluminescencyjna (ang. Light Emitting Diode, LED) emituje światło w pewnym zakresie spektralnym, a nie jedynie światło o długości fali odpowiadającej maksimum zdolności emisyjnej. Wartość tego przedziału charakteryzuje wielkość zwana **szerokością półówkową** spektrum diody. Szerokość półówkowa to parametr, który charakteryzuje linię widmową. Jest to przedział długości fal, dla którego natężenie linii widmowej jest większe od połowy maksymalnego natężenia. W przypadku LED szerokość półówkowa zawiera się w przedziale 40 -190 nm (w przypadku laserów jest to przedział od 0.00001 do 10 nm). Na rys. 1 przedstawiono profil linii widmowej wraz z zaznaczoną szerokością półówkową $\Delta\lambda$.

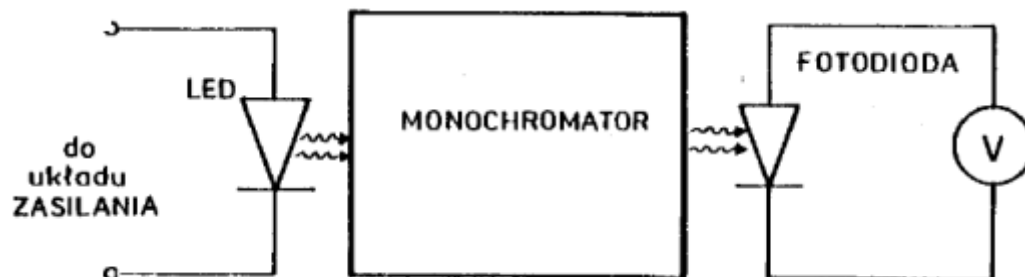


Rys.1. Przykładowy profil linii widmowej.

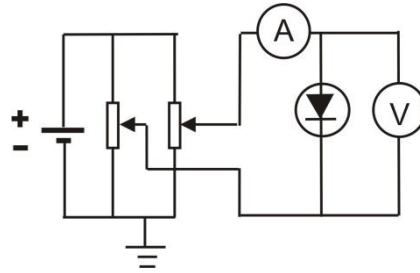
Przebieg ćwiczenia:

1. Pomiar charakterystyk spektralnych LED

- Zestawić układ wg. schematu przedstawionego na rys.2, stosując jako źródło światła LED. Schemat układu zasilającego LED przedstawia rys. 3. Jako detektor fotonowy zastosować fotodiode krzemową (dla LED z zakresu widzialnego) lub detektory: Ge lub InGaAs (dla LED z zakresu podczerwieni). Wybrać układ z odpowiednim monochromatorem na określony zakres spektralny.
- Spolaryzować LED największym możliwym napięciem, tak, aby jej zdolność emisyjna była maksymalna.
- Zmierzyć charakterystyki spektralne wybranych LED, tzn. zmierzyć zależność fotoprądu fotodiody ustawionej naprzeciwko szczeliny wyjściowej monochromatora w funkcji długości fali. Pomiar wykonać w następujący sposób: ustawić długość fali, przy której napięcie na fotodiodzie jest największe. Odczytać tę długość fali λ_{\max} . Zmieniając długość fali w stronę fal krótszych, znaleźć taką długość fali λ_1 , przy której prąd fotodiody spadnie do 10% wartości maksymalnej. Podzielić zakres długości fal $\Delta\lambda = \lambda_{\max} - \lambda_1$ na 8 części i dla każdej wartości λ zmierzyć prąd fotodiody. W ten sam sposób powtórzyć pomiary zmieniając długość fali w stronę fal dłuższych.



Rys.2. Układ do pomiaru charakterystyk spektralnych diod elektroluminescencyjnych



Rys.3. Układ zasilający diody LED, służący również do pomiaru charakterystyk I-V.

- Dla długości fali odpowiadającej maksimum zdolności emisyjnej badanej LED (czyli maksimum prądu fotodiody) zmierzyć zależność prądu fotodiody w funkcji prądu zasilającego LED.

Opracowanie wyników:

Ad 1.

- Narysować charakterystyki spektralne LED tzn. zależność prądu fotodiody w funkcji długości fali. Na wykresach uwzględnić niepewności pomiarowe fotoprądu i długości fali korzystając ze wzoru na niepewność odpowiedniego miernika $u(I) = \frac{\text{dokładność pomiaru prądu}}{\sqrt{3}}$ oraz $u(\lambda) = \frac{\text{dokładność monochromatora}}{\sqrt{3}}$. Przyjąć dokładność monochromatora 5nm.
- Na podstawie tych charakterystyk określić wartość energii wzbronionej półprzewodnika, z którego wykonano badaną diodę korzystając z zależności $E_g = hc/\lambda_{\max}$, gdzie h – stała Plancka, c – prędkość światła w próżni, λ_{\max} - długość fali odpowiadająca maksimum zdolności emisyjnej LED. Wyznaczyć niepewność $u(E_g)$ korzystając z różniczki zupełnej.
- Wyznaczyć szerokość połówkową spektrum diody i porównać z danymi katalogowymi. Wyznaczyć niepewność szerokości połówkowej $u(\lambda_p) = 2u(\lambda)$.
- Narysować zależność prądu fotodiody w funkcji prądu zasilającego LED. Obliczyć niepewności ze wzorów $u(I) = \frac{\text{dokładność pomiaru prądu}}{\sqrt{3}}$ i $u(U) = \frac{\text{dokładność pomiaru napięcia}}{\sqrt{3}}$, korzystając z odpowiednich formuł dla użytych mierników. Zaznaczyć niepewności na wykresie.
- We wnioskach uzasadnić otrzymane wyniki.



Literatura:

Wykłady: 6, 7 i 10, „Źródła i detektory”.

J.Piotrowski, A.Rogalski, "Półprzewodnikowe detektory podczerwieni" WNT 1985, rozdz.1,2 i 11.

Pytania kontrolne

1. Złącze p-n. Charakterystyka prądowo-napięciowa.
2. Emisja spontaniczna i wymuszona.
3. Półprzewodniki z prostą i skośną przerwą wzbronioną.
4. Zasada działania diody elektroluminescencyjnej.