

Ćwiczenie 2

Temat: Pomiar charakterystyk widmowych oraz statycznych różnych źródeł światła

1. Wstęp

Źródła światła można podzielić ze względu na szereg kategorii w zależności od właściwości emitowanego światła. Różnią się one mocą promieniowania, zakresem spektralnym, rodzajem widma, polaryzacją, spójnością. Bardzo ważną we współczesnej optoelektronice kategorią źródeł światła są lasery, ze względu na szczególne własności emitowanego światła.

Pierwszym celem ćwiczenia jest zapoznanie się z charakterystykami widmowymi różnych źródeł światła, konwencjonalnych i laserowych. W szczególności pokazanie różnicy w charakterystykach widmowych półprzewodnikowych źródeł światła stosowanych powszechnie we współczesnej optoelektronice.

Drugim celem niniejszego ćwiczenia jest wyznaczenie charakterystyk statycznych oraz charakterystyk widmowych diod emitujących promieniowanie o różnej barwie i przy różnych punktach pracy, tj. czterech diod LED emitujących światło o barwie czerwonej, zielonej, niebieskiej i białej.

2. Przygotowanie do ćwiczenia

W ramach przygotowania do ćwiczenia, należy zapoznać się z:

- zasadą działania spektrografu,
- instrukcja obsługi oprogramowania spektrografu – Spectra Suite,
- prawem Plancka,
- zasadą działania LED i DL,
- rodzajami widm.

3. Źródła światła

3.1. Źródła żarowe

Prąd elektryczny przepływając przez cienki drut metalowy – żarnik, rozgrzewa go do temperatury kilku tysięcy K. Rozgrzany żarnik emituje światło o widmie ciągłym zgodnie z prawem Plancka, zależnym od temperatury żarnika. Żarówki są najprostszymi i najtańszymi źródłami światła. Ich wadą jest niska sprawność i trudność w ogniskowaniu emitowanego światła.

3.2. Diody elektroluminescencyjne

Diody LED są to złącza półprzewodnikowe typu p-n, spolaryzowane w kierunku przewodzenia, w których zachodzi promienista rekombinacja par dziura-elektron. Materiał p charakteryzuje się tym, że posiada nadmiar dziur w paśmie walencyjnym, natomiast materiał n ma w tym paśmie nadmiar elektronów. Przyłożenie do złącza p-n napięcia w kierunku przewodzenia (plus do kontaktu p i minus do kontaktu n) spowoduje, że do pasma przewodnictwa materiału n będą wstrzykiwane elektrony wzbudzone polem elektrycznym, a do pasma walencyjnego materiału p wstrzykiwane będą dziury. Zarówno dziury w paśmie walencyjnym, jak i elektrony w paśmie przewodnictwa będą unoszone w kierunku złącza obu materiałów siłami zewnętrznego pola elektrycznego. W obszarze złącza (obszar aktywny) wzbudzone elektrony rekombinują z dziurami i pozbywają się nadwyżki energii emitując foton. Wartość energii fotonu emitowanego przez elektron w czasie rekombinacji jest w przybliżeniu równa różnicy energii między poziomem wzbudzenia, a poziomem podstawowym. Wartość przerwy energetycznej jest wielkością charakterystyczną dla danego materiału półprzewodnikowego. Dzięki wytwarzaniu związków półprzewodnikowych o regulowanym udziale procentowym poszczególnych pierwiastków składowych, możliwe jest wytwarzanie materiałów półprzewodnikowych o przerwach energetycznych odpowiadających energiom fal świetlnych od ultrafioletu po głęboką podczerwień.

Diody LED są emiterami wytwarzającymi promieniowanie w wąskim zakresie widma częstotliwości. Światło białe jest natomiast wrażeniem wzrokowym, które odczuwa człowiek w wyniku pobudzenia siatkówki oka światłem zawierającym fale świetlne z całego widma widzialnego od 425 nm do 675 nm. Nie jest więc możliwe bezpośrednio uzyskanie światła białego z pojedynczego złącza półprzewodnikowego p-n, które najczęściej emituje widmo o szerokości połówkowej nie przekraczającej kilkunastu nanometrów. Żeby wykonać białą diodę LED korzysta się z jednego z podstawowych praw kolorimetrii, a mianowicie sumowania addytywnego podstawowych barw światła. W wyniku dodania barw światła: czerwonej, zielonej i niebieskiej (RGB – ang. *Red Green Blue*) możliwe jest otrzymanie światła białego. Warunkiem jest, by natężenia poszczególnych barw pozostawały ze sobą w ściślejszych stosunkach ilościowych. Wychodząc od prawa addytywności barw stosuje się 3 główne metody otrzymania białej diody LED: mieszanie światła kilku barw, konwersja długości fali z wykorzystaniem luminoforu lub metoda hybrydowa będąca połączeniem 2 pierwszych.

3.3. Diody laserowe

Dioda laserowa to laser półprzewodnikowy, w którym medium emitującym światło jest złącze p-n analogiczne do źródła światła w diodzie LED. W odróżnieniu od zwykłej diody elektroluminescencyjnej, dioda laserowa jest zbudowana tak, by stworzyć wokół złącza rezonator optyczny, co przy odpowiednio wysokim napięciu i prądzie zasilania prowadzi do emisji wymuszonej, i powstaniu spójnej, monochromatycznej wiązki światła.

4. Przebieg ćwiczenia

• Etap I

Do przeprowadzenia ćwiczenia wykorzystać należy układ pomiarowy składający się z wielofunkcyjnego źródła światła, spektrografu Ocean Optics USB650, światłowodu, komputera PC z zainstalowanym oprogramowaniem Spektra Suite.

Jeden koniec światłowodu należy podłączyć do spektrografu a drugi do wielofunkcyjnego źródła światła. Spektrograf należy podłączyć do komputera PC za pomocą przewodu USB. Następnie uruchomić program Spektra Suite i sprawdzić czy w oknie programu widać sygnał ze spektrografu. Na obudowie wielofunkcyjnego źródła światła znajduje się 7 ponumerowanych przycisków. Wciśnięcie któregoś przycisku powoduje wybranie odpowiedniego źródła światła:

- 1- niebieska dioda LED,
- 2- czerwona dioda LED,
- 3- żarówka,
- 4- żółta dioda LED,
- 5- zielona dioda LED,
- 6- biała dioda LED,
- 7- laser diodowy 630-680 nm.

Przed włączeniem wielofunkcyjnego źródła światła należy zarejestrować prąd ciemny sensora CCD w spektrografie. W tym celu należy nałożyć na końcówkę światłowodu kapturek i wybrać w programie polecenie *File/Store/Store Dark Spectrum*. Następnie należy zdjąć kapturek z końcówki światłowodu i wybierając polecenie *File/Store/Store Reference Spectrum* zarejestrować widmo tła.

Po włączeniu wybranego źródła światła należy zmierzyć widmo jego promieniowania. Czas akwizycji ustawić w ten sposób aby maksymalne natężenie było bliskie ale nie przekraczało 4000 (**Uwaga!** Po każdej zmianie czasu akwizycji wymagane jest ponowne zarejestrowanie

prądu ciemnego i widma tła). Zmierzone widmo zapisać na dyskietce. W oknie dialogowym zapisywania należy wybrać w polu *File Type: Tab Delimited, No Header*.

Powtarzając powyższą procedurę należy zmierzyć widma dla pozostałych źródeł światła.

Opracowanie wyników

W sprawozdaniu z ćwiczenia należy:

- a) zamieścić zmierzone widma znormalizowane w maksimum promieniowania do jedności wraz z ich opisem,
- b) porównać na jednym wspólnym wykresie znormalizowane widma emiterów światła białego, z wyjątkiem wyświetlaczy,
- c) porównać na jednym wspólnym wykresie znormalizowane widma wyświetlaczy oraz diody LED zielonej, niebieskiej i czerwonej,
- d) porównać na jednym wspólnym wykresie znormalizowane widma diody laserowej oraz czerwonej diody LED,
- e) oraz:
 - wyjaśnić różnicę w widmie żarówki i białej diody LED,
 - pomierzyć szerokość połówkową widma diody LED (niebieskiej, zielonej, żółtej i czerwonej) i diody laserowej, wyniki zebrać w tabeli,
 - wyjaśnić różnicę szerokości połówkowej widma diody LED i diody laserowej.

Zadanie dodatkowe:

Dopasować do widma diody laserowej krzywą Gaussa. Wyjaśnić dlaczego widmo diody laserowej można opisać krzywą Gaussa?

• Etap II

Z wykorzystaniem klasycznego stałoprądowego układu pomiarowego zmierzyć charakterystyki statyczne, odczytując prąd diody oraz napięcie na diodzie ze wskazań podłączonych multimetrów, a za pomocą spektrometru Ocean Optics zmierzyć charakterystyki widmowe przy następujących wartościach prądu przewodzenia: 1 mA, 5 mA, 10 mA, 20 mA, 30 mA, 40 mA, 50 mA.

Wyboru badanych diod dokonuje się za pomocą przełącznika na płycie czołowej zestawu laboratoryjnego, a wartość prądu przewodzenia (ustalenie punktu pracy) jest regulowana za pomocą zewnętrznego zasilacza i dekady rezystancyjnej.

W programie obsługującym spektrometr ustawić wartość parametru Integration time

równą 3 ms. Przed włączeniem badanych diod należy zarejestrować prąd ciemny sensora CCD w spektrometrze. W tym celu należy nałożyć na końcówkę światłowodu kapturek i wybrać w programie polecenia File/Store/Store Dark Spectrum. Następnie należy zdjąć kapturek z końcówki światłowodu i wybierając polecenia File/Store/Store Reference Spectrum zarejestrować widmo tła w obudowie zestawu, w której znajdują się badane diody LED mocy.

Zapisać zaobserwowane charakterystyki w postaci pliku tekstowego. W tym celu należy kliknąć na ikonę przedstawiającą dyskietkę, a po wyświetleniu się okna dialogowego menu podać nazwę i lokalizację pliku wyjściowego, wybrać Desired Spectrum→Processed Spectrum oraz File Type→ Tab Delimited, No header.

Plik ten ma postać pliku tekstowego zawierającego 2 kolumny danych. Pierwsza kolumna zawiera wartości długości fali, a druga zmierzone wartości intensywności promieniowania. Dane te można wykorzystać do wykreślenia charakterystyk widmowych w programie Excel.

Opracowanie wyników

1. Wykreślić na wspólnym wykresie zmierzone charakterystyki statyczne badanych diod. Estymować napięcie progowe U_p (parametr odcinkami liniowego modelu diody) badanych elementów – wyniki zebrać w tabeli. Wykorzystując wyniki uzyskane dla trzech diod monochromatycznych wykreślić zależność napięcia progowego od dominującej długości fali w widmie uzyskanym dla prądu równego 10 mA.
2. Wykreślić charakterystyki widmowe poszczególnych diod – charakterystyki widmowe badanej diody dla wszystkich rozważanych wartości prądu przewodzenia umieścić na wspólnym wykresie.
3. Dla każdej z badanych diod wyznaczyć dominującą długość fali w widmie. Sprawdzić, czy ta dominująca długość fali zmienia się wraz z prądem przewodzenia diody i sporządzić stosowny wykres.
4. Wyznaczyć połówkową szerokość widma emitowanego promieniowania. Czy szerokość ta zależy od prądu przewodzenia diody?
5. Wyznaczyć pole pod wszystkimi zmierzonymi charakterystykami widmowymi. W oparciu o wyniki obliczeń wykreślić dla wszystkich badanych diod zależność energii promieniowania od prądu przewodzenia.
6. Skomentować uzyskane wyniki pomiarów.