

OPTOELEKTRONIKA I FOTONIKA

Laboratorium dla studentów II roku EiT

7. Badanie charakterystyk widmowych różnych źródeł światła

Laboratorium – 523, C-2, V piętro

Mgr inż. Mateusz Kocoń

Dr hab. inż. Andrzej Brudnik

Dr hab. inż. Barbara Swatowska

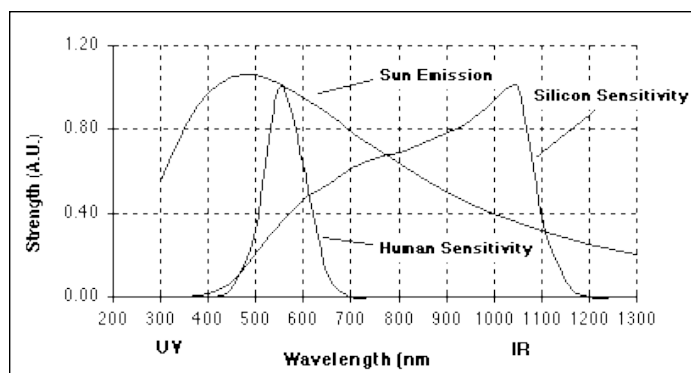
Ćwiczenie ma na celu zapoznanie studentów z parametrami najczęściej spotykanych źródeł światła. Testy będą wykonywane z wykorzystaniem spektrometru światłowodowego CCD UV-VIS-IR o zakresie pomiarowym 250 do 1100 nm, dwoma dedykowanymi stanowiskami służące do pomiarów elektronicznych źródeł światła oraz popularnych źródeł światła współpracujących z polską siecią elektroenergetyczną. Instrukcja spektrometru oraz oprogramowania sterującego znajduje się w załączniku – jej znajomość wraz z pojęciami w niej zawartymi jest **bezwzględnie** wymagana. Obowiązkiem do wykonania ćwiczenia są również zagadnienia opisane jako **problemy**. Biegłość pojęć będzie sprawdzana podczas wykonywania ćwiczenia przez prowadzącego i może skutkować niezaliczeniem laboratorium lub obniżeniem oceny.

Na zaliczenie wymagane będzie pisemne **sprawozdanie** z wykonanych pomiarów. Sprawozdanie należy dostarczyć **w terminie do 10 dni** po odbyciu ćwiczenia. Plik w formacie pdf należy wysłać na adres mailowy prowadzącego daną grupę laboratoryjną. Opóźnienie w dostarczeniu sprawozdania będzie miało odzwierciedlenie **w obniżeniu oceny**.

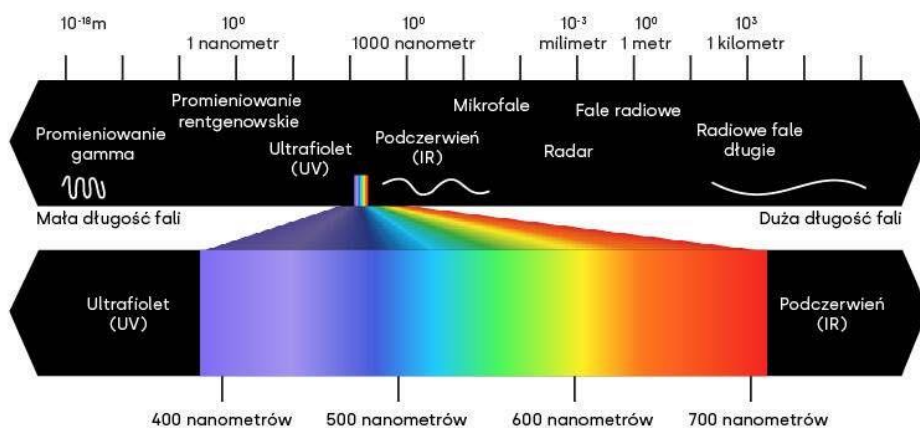
Podstawy teoretyczne ćwiczenia

Najbardziej podstawowym sposobem technicznego opisu źródła światła jest jego spektrum, czyli korelacja intensywności światła z jego długością fali. Dodatkowe parametry dotyczą stricte obudowy danego źródła i najczęściej rozważanymi są kierunkowość, wydajność świetlna czy współczynnik oddawania barw (CRI).

Dla gatunku ludzkiego uśredniony zakres widzialny to 400 do 750 nm. Są zwierzęta, które, w odróżnieniu od ludzi doskonale widzą światło w innych zakresach. Zakładając jako przykład zakres UV – widzi je większość ptaków, owadów i ryb, a śmy 'widzą' wyłącznie światło UV. Jest to uwarunkowane budową oka (czopków światłoczułych) z powodów ewolucyjnych oraz genetycznych.



Rys. 1. Porównanie czułości oka ludzkiego, promieniowania słonecznego oraz czułości krzemu.



Rys. 2. Zestawienie spektrum elektromagnetycznego wraz z wyeksponowaniem pasma widzialnego

Najpopularniejszymi źródłami światła, służącymi do oświetlania przykładowo pomieszczeń są żarówki. Sama nazwa jest zaszłością historyczną. Pierwsze, najbardziej prymitywne źródła światła polegają na kontrolowanym rozgrzaniu przewodnika (żarnika) prądem do temperatury, w której zaczyna on promieniować światło. Patent został zastrzeżony przez Thomasa Edisona w 1879 roku.

Rys. 3. Budowa konwencjonalnej żarówki



Ze względu na bardzo niską sprawność (można przyjąć standardowo 10 lumenów/W) rzędu 2 do 4%, można zaryzykować stwierdzenie, iż emisja światła jest efektem ubocznym działania żarówki.

Z tego powodu w 2009 roku w Europie stopniowo wprowadzano zakazy sprzedaży konwencjonalnych żarówek na poczet nowoczesnych rozwiązań o drastycznie wyższej sprawności, które zostaną zwięźle opisane w następnym paragrafie.

Problemy:

1. Jaka jest różnica między lm (Lumen) a kandelą (cd)?
2. Co to jest czułość spektrometru?
3. Co to jest zakres widmowy spektrometru?
4. Jak definiujemy transmitancję światła?
5. Jak definiujemy absorancję światła?
6. Jak definiujemy absorancję światła?
7. Co to jest czas integracji spektrometru?
8. Jaką średnicę ma włókno światłowodowe?
9. Co to jest matryca CCD?
10. Dlaczego żarówka pracuje w otoczeniu gazów obojętnych?

Jednym z bardziej popularnych zamienników są świetlówki CFL (Compact Fluorescent Lamp – w języku polskim funkcjonuje nazwa 'świetlówka'). Działają one na zasadzie emisji światła przez gazowy rozłysk jarzeniowy wewnątrz rury fluorescencyjnej. Skrócony opis zasady działania:

1. Początek działania: Kiedy włączamy lampę CFL, prąd elektryczny płynie przez spiralny lub zwinięty kształt lampy, przepływając przez elektronikę wewnętrzną, która kontroluje pracę lampy.

2. Pobudzenie gazów: Prąd elektryczny przepływający przez spiralną strukturę lampy CFL pobudza gazy wewnątrz lampy, zwykle mieszaninę argonu i rtęci.
3. Emisja promieniowania UV: Pobudzone atomy gazów emitują promieniowanie ultrafioletowe (UV) podczas kolizji elektronów z atomami gazów. Promieniowanie to jest niewidoczne dla ludzkiego oka.
4. Pobudzenie substancji fluorescencyjnej: Wewnętrzna powierzchnia rury fluorescencyjnej (pokryta substancją fluorescencyjną) absorbuje promieniowanie UV i staje się w rezultacie pobudzona.
5. Emisja światła widzialnego: Pobudzona substancja fluorescencyjna emituje światło widzialne, które jest widoczne dla ludzkiego oka. Ten proces konwersji promieniowania UV na światło widzialne jest właściwą zasadą działania lampy CFL.
6. Kontrola pracy: Elektronika w lampie CFL kontroluje pracę lampy, w tym stabilizację prądu i utrzymanie odpowiedniej temperatury wewnątrz lampy, co pozwala na stabilną i efektywną emisję światła.

Sprawność tego rozwiązania wynosi zwykle od około 50% do około 70%, zależnie od jakości wykonania oraz warunków pracy.



Rys. 4. Przykładowe żarówki CFL (światłówki)

Następnym wariantem jest żarówka halogenowa (lampa halogenowa), działające na zasadzie cyrkulacji cyklicznej halogenu. Poniżej została przedstawiona zasada działania:

1. Początek działania: Kiedy włączamy żarówkę halogenową, prąd elektryczny przepływa przez drut żarnika wykonany z wolframu.
2. Emisja światła: Prąd elektryczny przepływający przez żarnik powoduje wzrost jego temperatury, co powoduje, że żarnik emituje światło widzialne i ciepło.
3. Cyrkulacja cykliczna halogenu: Wewnątrz żarówki halogenowej znajduje się gazowy wypełniacz, zwykle mieszanka halogenu (na przykład jod lub brom) i gazu szlachetnego (np. argon lub krypton).
4. Reakcja chemiczna: Kiedy żarnik osiąga wysoką temperaturę, dochodzi do reakcji chemicznej między parą halogenu a oparowanym wolframem. W wyniku tej reakcji powstają związki chemiczne halogenu wolframu.

5. Reakcja odwracalna: Jednak pod wpływem wysokiej temperatury związki te ulegają rozkładowi, a wolfram powraca z powrotem do żarnika.
6. Regeneracja żarnika: W tym procesie, nazywanym regeneracją, opary halogenu ponownie reagują z rozproszonym wolframem, odkładając go z powrotem na żarniku. To pozwala na utrzymanie czystej powierzchni żarnika i wydłuża żywotność żarówki.
7. Efekt poprawionej żywotności i sprawności: Dzięki cyrkulacji cyklicznej halogenu żarówki halogenowe charakteryzują się dłuższą żywotnością oraz lepszą sprawnością w porównaniu do tradycyjnych żarówek żarnikowych.

Sprawność tego rozwiązania wynosi zwykle od około 2% do 7%, zależnie od jakości wykonania oraz warunków pracy. Jest to wartość niższa niż w przypadku żarówek CFL lub LED ale znacznie wyższa niż w przypadku konwencjonalnych żarówek.



Rys. 5. Przykładowa żarówka halogenowa

Obecnie, najbardziej popularnym rozwiązaniem, pozwalającym uzyskać dowolne spektrum światła są żarówki LED. W trakcie laboratorium nie będą rozważane sposoby sterowania diodami, a parametry optoelektroniczne oraz zasada działania samych diod LED. W tym przypadku wykorzystuje się elektroluminescencję półprzewodników:

1. Półprzewodnikowy materiał: Dioda LED składa się z dwóch warstw półprzewodnikowych: warstwy typu p oraz warstwy typu n. Warstwy te są umieszczone w takiej konfiguracji, że tworzą złącze p-n.
2. Elektrony i dziury: W warstwie typu n elektrony (ładowane ujemnie) przemieszczają się w kierunku złącza p-n, natomiast w warstwie typu p powstają dziury (brakujące elektrony, ładowane pozytywnie), które również przemieszczają się w kierunku złącza p-n.
3. Rekombinacja nośników ładunku: Kiedy elektrony i dziury przekraczają złącze p-n, następuje proces rekombinacji, w którym elektron ulega połączeniu z dziurą. Ten proces powoduje uwolnienie energii w postaci fotonów.
4. Emisja światła: Uwolniona energia w postaci fotonów manifestuje się jako światło widzialne lub inny rodzaj promieniowania, w zależności od charakterystyk materiałów półprzewodnikowych użytych w diodzie LED.

5. Barwa światła: Barwa emitowanego światła zależy od rodzaju i składu chemicznego użytych materiałów półprzewodnikowych. Diody LED mogą emitować światło o różnych barwach, w tym czerwoną, zieloną, niebieską oraz inne barwy widzialne, a także światło podczerwone i ultrafioletowe.
6. Sterowanie natężeniem światła: Natężenie emitowanego światła można regulować poprzez kontrolowanie prądu przepływającego przez diodę LED. Jest to możliwe dzięki charakterystyce półprzewodnika, która pozwala na precyzyjną kontrolę ilości elektronów i dziur w obszarze złącza p-n.

Sprawność tego rozwiązania wynosi nawet do 60% dla najbardziej efektywnych modeli. Należy mieć jednak na uwadze, iż dzięki presji rynkowej oraz postępowi technologicznemu sprawność rośnie z roku na rok.



Rys. 5. Przykładowa żarówka LED

Każda nowoczesna żarówka ma zadeklarowaną przez producenta temperaturę barwową, która jest miarą koloru emitowanego bądź odbijanego przez ciało doskonale czarne przy określonym zakresie widma światła.

Aby określić temperaturę barwową na podstawie pomiarów intensywności światła w funkcji jego długości fali, stosuje się tzw. krzywą ciała doskonale czarnego (ang. Planckian locus) oraz diagram barwowy CIE 1931. Krzywa ta reprezentuje barwy dla ciał doskonale czarnych przy różnych temperaturach. Diagram CIE 1931 z kolei jest graficznym odwzorowaniem widmowej czułości ludzkiego oka na różne długości fal.

Kroki do określenia temperatury barwowej na podstawie pomiarów intensywności światła w funkcji jego długości fali:

1. Wykonaj pomiar intensywności światła dla różnych długości fal. Możesz to zrobić za pomocą spektrofotometru lub spektroskopu. **Jest to część ćwiczenia zawartego w rozdziale II realizacji praktycznej ćwiczenia.**

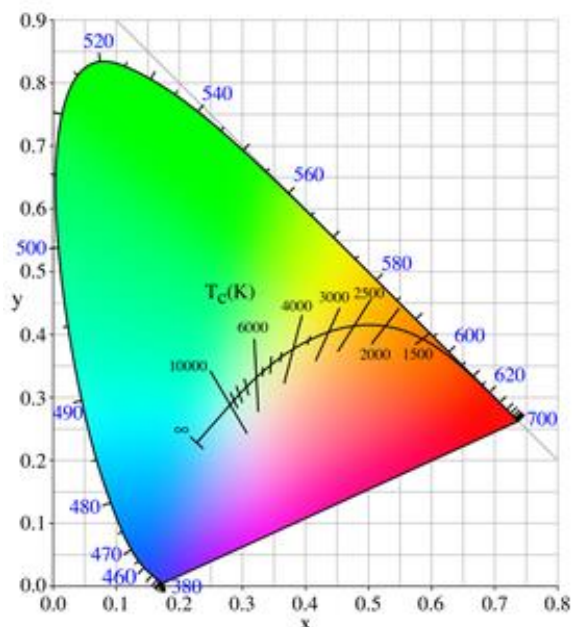
2. Przekonwertuj te pomiary na współrzędne barwowe. Możesz użyć standardowych przekształceń lub korelacji między intensywnością a współrzędnymi barwowymi.

3. Zlokalizuj te punkty na diagramie barwowym CIE 1931. Diagram ten przedstawia widmową czułość ludzkiego oka na różne długości fal światła.

4. Następnie zidentyfikuj krzywą ciała doskonale czarnego (Planckian locus) na diagramie CIE 1931. Krzywa ta reprezentuje barwy dla ciał doskonale czarnych przy różnych temperaturach.

5. Porównaj położenie Twoich punktów pomiarowych z krzywą ciała doskonale czarnego. Wartość temperatury barwowej, która najbardziej odpowiada Twoim pomiarom, będzie temperaturą, dla której Twoje punkty leżą najbliżej krzywej ciała doskonale czarnego.












6. Odczytaj temperaturę barwową. Po znalezieniu najbliższego dopasowania punktów pomiarowych do krzywej ciała doskonale czarnego, odczytaj odpowiadającą temu punktowi temperaturę barwową.



Rys. 6. Wykres chromatyczności CIE1931

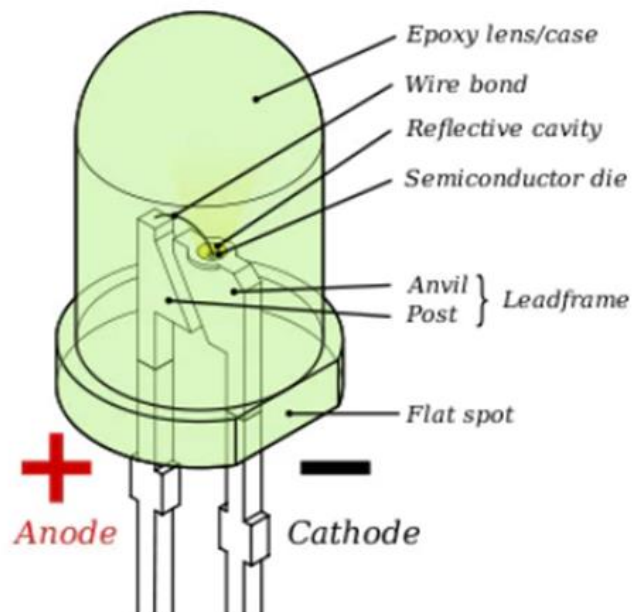
Pojedyncze diody LED występują szeroko jako punktowe źródła światła, wskaźniki lub elementy transmisyjne (IR). Powszechnymi problemami w praktyce inżynierskiej jest brak odporności na ESD, pękanie soczewek podczas montażu (najczęściej ze względu na niewłaściwe przechowywanie oraz zaciąganie cząsteczek wody z powietrza i ich gwałtownego rozprężania podczas lutowania) oraz odprowadzanie temperatury. Ich niewątpliwymi zaletami jest mnogość dostępnych obudów, kolorów (w tym niezwykle wąskie spektrum), mocy, brak zwłoki przy przełączaniu oraz relatywnie niska cena.

Rys 7. Porównanie obudów diod LED

Mould Type and SMT LED Packages - Standard Multi-Chip Wavelength Combinations				
Mould	660	850	SMT	405 850 730 850
	760	850		660 805 735 780 810
	770	840		660 805 940 735 810 850
	730	805 850		660 890 735 850
				660 910 735 890
				660 940 830 940
				680 850 850 890 940
				690 830 850 940
				700 940
λ = nanometres (nm)				
USHIO Applying Light to Life		epitex		

W trakcie laboratorium badane będą diody THT o rastrze 3 mm oraz 5 mm. Ich konstrukcja została przedstawiona na rysunku 8.

Dual In-line Package (DIP)



Rys. 8. Konstrukcja standardowej diody LED THT

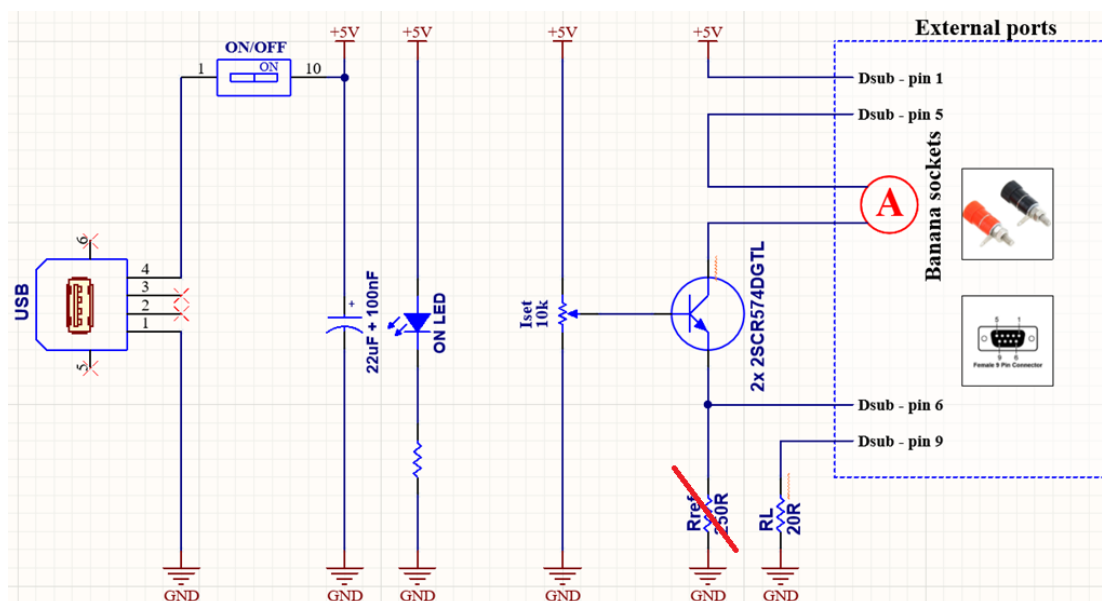
Studenci są zobligowani do znajomości parametrów katalogowych diod LED, wraz z ich charakterystykami (notę katalogową można pobrać z dowolnego sklepu z elektroniką, przykładowa znajduje się w załączniku do ćwiczenia). Należy posługiwać się wymiennie nomenklaturą angielską oraz polską w zakresie konstrukcji oraz parametrów LED.

Problemy:

1. Co to jest widmo emisyjne diody LED? Czym się różni szczytowa długość fali, od dominującej długości fali?
2. Jaki jest wpływ prądu diody na emisję światła?
3. Jaki jest wpływ polaryzacji diody LED na emisję światła?
4. Jaki jest wpływ materiału półprzewodnikowego na charakterystyki diod LED?
5. Jaki jest wpływ temperatury na charakterystyki diod LED?
6. Jakie są potencjalne przeciwwskazania co do łączenia równoległego diod LED?
7. Jakie są możliwe efekty uboczne związane z nadmiernym prądem przepływającym przez diodę LED?
8. Jak działa dioda LED z luminoforem?
9. Dlaczego i w jakim przypadku wykorzystuje się diody LED z luminoforem? Jakie są wady i zalety takiego rozwiązania?
10. Dlaczego diody LED o krótszej długości fali operują na wyższym napięciu przewodzenia?

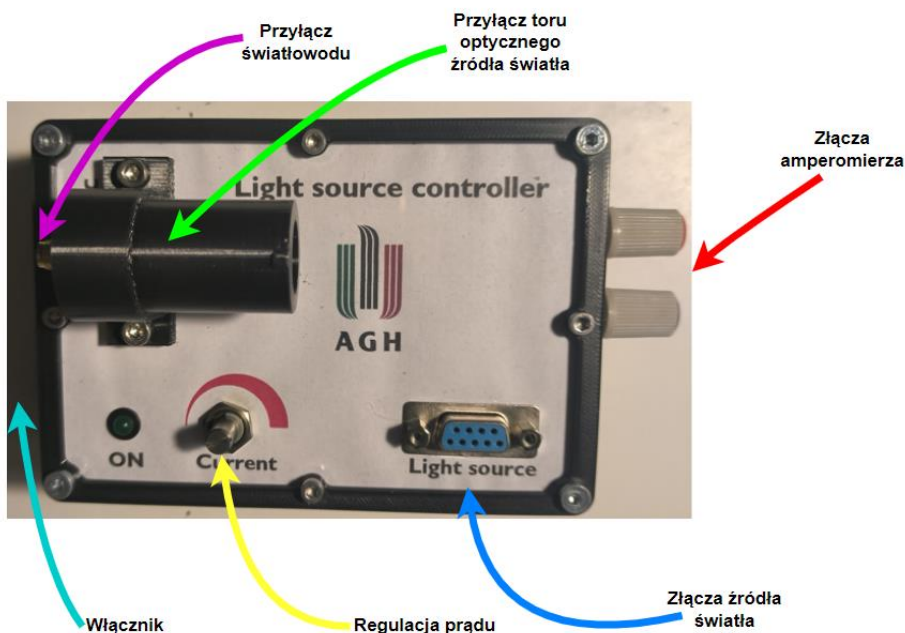
Opis stanowiska pomiarowego – kontroler źródła światła

Kontroler źródła światła, to regulowane źródło prądowe, którego schemat został przedstawiony na rysunku 9:



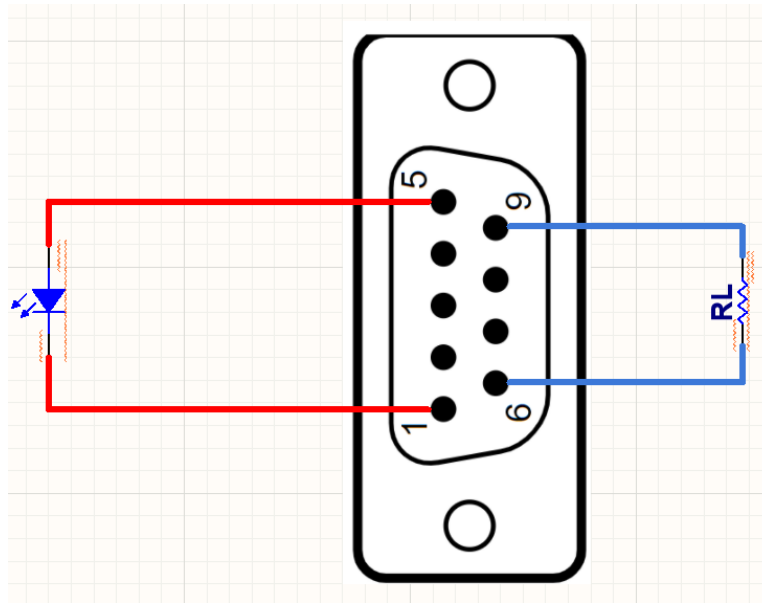
Rys. 9. Schemat zadajnika prądu do pomiaru źródeł światła

Do układu została zaprojektowana dedykowana obudowa, przedstawiona na rysunku 10. Znajduje się na niej adapter, pozwalający na dopięcie światłowodu oraz źródła światła (przyłącze bagnetowe):

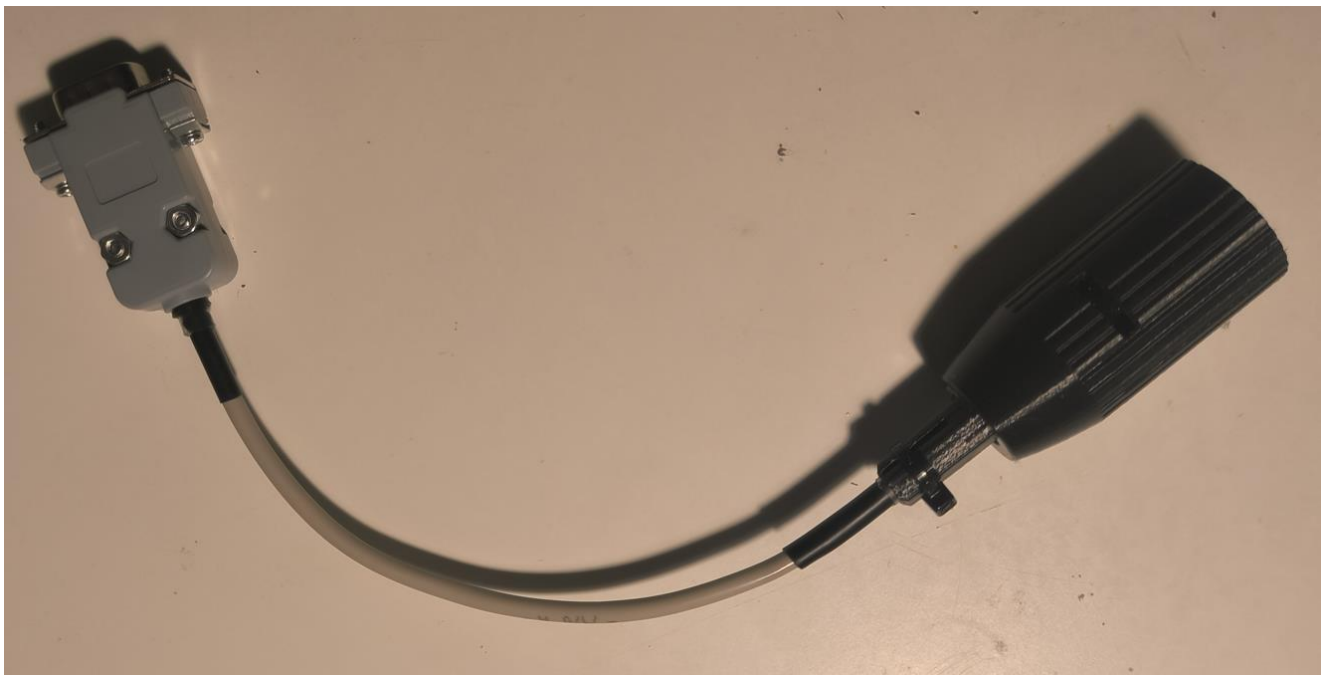


Rys. 10. Stanowisko pomiarowe źródeł światła

Drugą częścią układu jest przyłącze z źródłem światła. Jego schemat został zaprezentowany na rysunku 11 a źródło na rysunku 12. **Przy zmianie źródła w pierwszej kolejności należy dopiąć tor optyczny, następnie przyłącze elektryczne.**



Rys. 11. Schemat przyłącza z źródłem światła



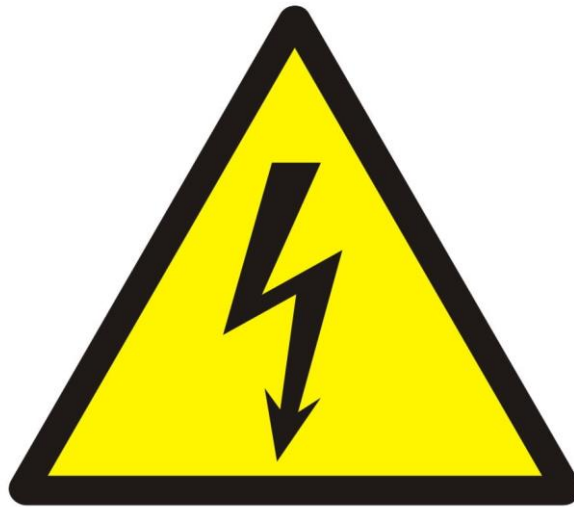
Rys. 12. Źródło światła

Problemy:

1. Jaka jest zależność prądu od położenia suwaka potencjometru?
2. Jak zmieni się prąd maksymalny diod LED/żarówek, zależnie od charakterystyk prądowo – napięciowych?

Opis stanowiska pomiarowego – komora do pomiaru żarówek

W drugiej części laboratorium wykorzystywane będzie komora odbiciowa, służąca do pomiaru spektrum żarówek.

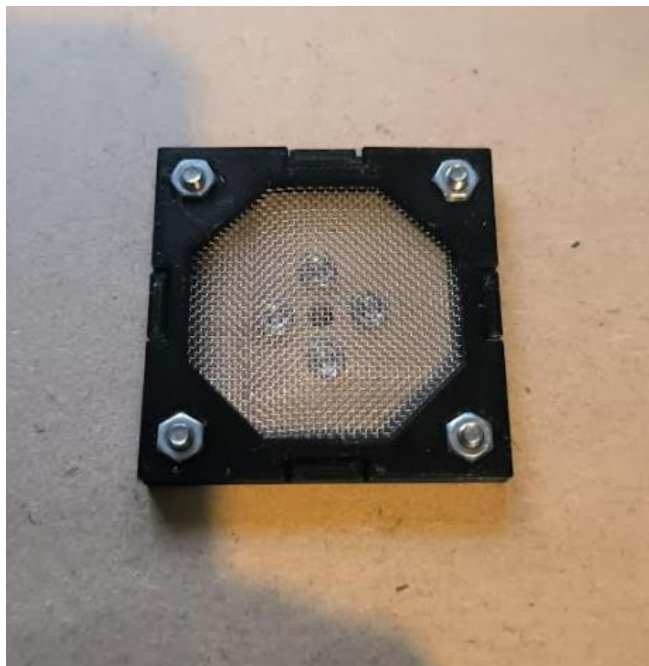


Ze względu na obecność napięcia sieciowego w badanym układzie, kategorię zabrania się samodzielnej wymiany żarówek. W trakcie wykonywania pomiarów należy o zmianę prosić prowadzącego.



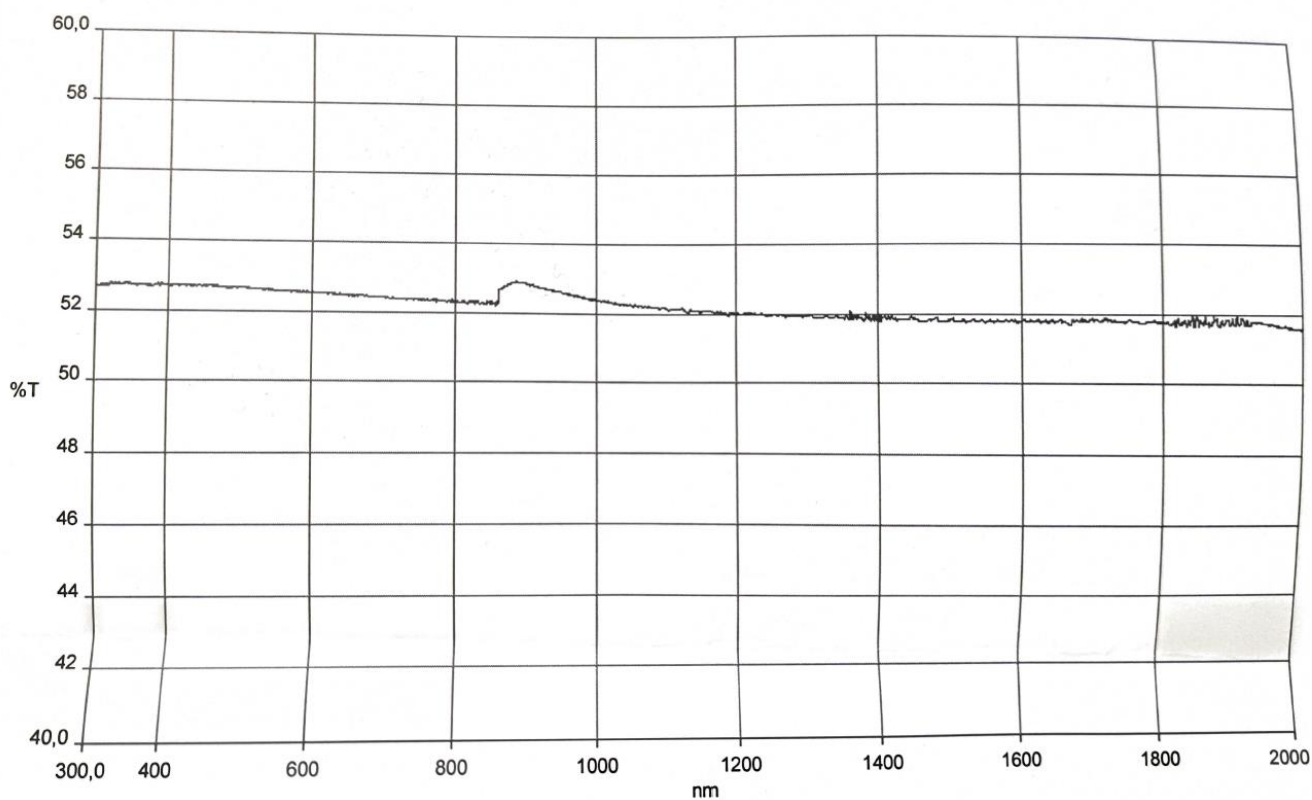
Rys. 12. Komora służąca do pomiaru żarówek.

Ze względu na bezpośrednie promieniowanie żarówek na włókno światłowodowe, tym samym oślepienie spektrometru, został wykorzystany filtr szary (rys. 13).



Rys. 13. Siatka tłumiąca

Pomiary transmisji siatki zostały przedstawione na rysunku 14.



Rys. 14. Pomiary transmisji siatki tłumiącej

Realizacja praktyczna ćwiczenia – część I (kontrolowane źródło światła)

Należy poprosić prowadzącego o wydanie pięciu źródeł światła, następnie z każdym wykonać przedstawione poniżej pomiary.

Światłowód do spektrometru podpiną się jednorazowo podczas wykonywania ćwiczenia. Ze względu na kruchość samego przewodu, nie wolno na niego naciskać ani wyginać. Przy wymianie należy szczególnie uważać, aby nie dotkać ani w żaden inny sposób nie zanieczyszczać końcówki feruli. Intencjonalne uszkodzenie światłowodu skutkuje brakiem zaliczenia ćwiczenia.

- 1) Do układu pomiarowego należy podpiąć spektrometr oraz miliamperomierz. Przed startem jakiegokolwiek pomiaru, prąd źródła ma zostać ustawiony na minimum.
- 2) Należy ustawić prąd tak, aby uzyskać maksymalną rozdzielczość spektrometru (dla czasu integracji 1ms), następnie stopniowo zmniejszać prąd co 10%. Przy każdym kroku należy odpowiednio zwiększać czas integracji spektrometru. Każdy pomiar musi zostać zapisany w formie możliwej do odtworzenia na poczet sprawozdania (spektrum oraz korespondujący do niego prąd źródła).
- 3) Pomiary należy powtórzyć dla kolejnych źródeł światła. Należy pamiętać o rejestracji danych – w przypadku ich braku (lub braku ich sensu) ćwiczenie pozostanie niezaliczone.

Uwagi:

- 1) **Wszystkie** parametry podane przez prowadzącego oraz ustawione w trakcie wykonywania laboratorium muszą zostać zanotowane oraz przeniesione do sprawozdania – inaczej niemożliwa będzie weryfikacja czy ćwiczenie zostało wykonane samodzielnie i pozostanie niezaliczone.
- 2) **Każdy** pomiar spektrometrem musi zostać wykonany na minimum połowie zakresu pomiarowego. Po przygotowaniu pomiaru, należy poprosić prowadzącego o weryfikację poprawności parametrów oraz jakości wykonania testu.
- 3) Po opracowaniu wyników, należy określić jakiego rodzaju źródło zostało zbadane w trakcie wykonywania ćwiczenia (można to również organoleptycznie potwierdzić w trakcie trwania laboratorium), zbadać temperaturę barwową. Ostatnim wymogiem jest charakterystyka intensywności świecenia w funkcji prądu wraz z aproksymacją dla większych prądów (można wspomagać się dostępnymi w sieci dokumentacjami źródeł światła, do których należy dodać odnośniki). Należy pamiętać o uwzględnieniu czasu integracji oraz dołączyć wyraźne obliczenia prowadzące do wyników.

Realizacja praktyczna ćwiczenia – część II (pomiar żarówek)

Należy trzykrotnie, każdorazowo poprosić prowadzącego o wkręcenie żarówki do stanowiska, następnie z każdym wykonać pomiary spektrum.

Światłowod do spektrometru podpiną się jednorazowo podczas wykonywania ćwiczenia. Ze względu na kruchość samego przewodu, nie wolno na niego naciskać ani wyginać. Przy wymianie należy szczególnie uważać, aby nie dotkać ani w żaden inny sposób nie zanieczyszczać końcówki feruli. Intencjonalne uszkodzenie światłowodu skutkuje brakiem zaliczenia ćwiczenia.

- 1) Należy ustawić czas integracji spektrometru na 1ms, następnie sprawdzić czy pomiar zawiera się minimum w połowie zakresu pomiarowego. Jeżeli nie, należy stosownie zwiększyć czas integracji spektrometru. Następnie należy zwiększyć dokładność pomiaru, manipulując czasem integracji, tak aby wydobyć z szumu spektrum niewidoczne dla najkrótszego całkowania (spektrometr zostanie oślepiony dla uprzednich szczytów). Należy to powtórzyć kilkakrotnie (przynajmniej 5 razy), tak aby całe spektrum zostało zarejestrowane i przygotowane do obróbki. Każdy pomiar musi zostać zapisany w formie możliwej do odtworzenia na poczet sprawozdania.
- 2) Pomiar należy powtórzyć dla dwóch kolejnych żarówek. Należy pamiętać o rejestracji danych – w przypadku ich braku (lub braku ich sensu) ćwiczenie pozostanie niezaliczone.

Uwagi:

- 3) **Wszystkie** parametry podane przez prowadzącego oraz ustawione w trakcie wykonywania laboratorium muszą zostać zanotowane oraz przeniesione do sprawozdania – inaczej niemożliwa będzie weryfikacja czy ćwiczenie zostało wykonane samodzielnie i pozostanie niezaliczone.
- 4) **Każdy** pomiar spektrometrem musi zostać wykonany na minimum połowie zakresu pomiarowego. Po przygotowaniu pomiaru, należy poprosić prowadzącego o weryfikację poprawności parametrów oraz jakości wykonania testu.
- 5) **Wszystkie zmierzone wyniki należy przeliczyć (odwzorować), uwzględniając tłumienie filtra oraz krzywej kalibracyjnej spektrometru. Ze względu na automatyczne usuwanie szumu przez oprogramowanie spektrometru, należy uwzględnić wyniki wydobyte z szumu podczas zwiększania czasu integracji. Pliki z tabelami zostaną załączone do instrukcji.**
- 6) Po opracowaniu wyników, należy określić jakiego rodzaju żarówka została zbadana w trakcie wykonywania ćwiczenia. Przy łączeniu zestawów danych należy pamiętać o przeliczaniu czasu integracji.
- 7) Ostatnim krokiem jest określenie temperatury barwowej, wraz z wyraźnym załączeniem obliczeń prowadzących do wyniku.

Proszę pamiętać o jednostkach poszczególnych parametrów !!!

Literatura:

1. Metrologia elektryczna – ćwiczenia laboratoryjne, Części 1 i 2, Praca zbiorowa pod red. Z. Biernackiego, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2000.
2. P. Horowitz, Sztuka elektroniki, Tom 1 i 2, WKiŁ, Warszawa 1997.
3. F.F. Driscoll, R.F. Coughlin, Przyrządy półprzewodnikowe i ich zastosowania, WNT, Warszawa 1987.
4. Strona internetowa: https://science.nasa.gov/ems/09_visiblelight/

Karta kontrolna (dla prowadzących):

Data i godzina laboratorium	
Studenci wykonujący pomiary	
Źródło światła 1 (rodzaj)	
Pomiar charakterystyki intensywności vs prąd	
Źródło światła 2 (rodzaj)	
Pomiar charakterystyki intensywności vs prąd	
Źródło światła 3 (rodzaj)	
Pomiar charakterystyki intensywności vs prąd	
Źródło światła 4 (rodzaj)	
Pomiar charakterystyki intensywności vs prąd	
Źródło światła 5 (rodzaj)	
Pomiar charakterystyki intensywności vs prąd	
Część II lab	
Żarówka 1	
Pomiar intensywności z odpowiednim czasem integracji dla żarówki 1	
Żarówka 2	
Pomiar intensywności z odpowiednim czasem integracji dla żarówki 2	
Żarówka 3	
Pomiar intensywności z odpowiednim czasem integracji dla żarówki 3	