



Politechnika Wrocławska

Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki

LABORATORIUM

Elementy i Układy Optoelektroniczne (Advanced Optoelectronics)

Ćwiczenie opracował: dr inż. Damian Pucicki

Ćwiczenie nr 2

Pomiary kolorymetryczne modułów oświetleniowych RGBW-LED

I. Zagadnienia do samodzielnego przygotowania

- promieniowanie optyczne, wielkości charakteryzujące (energia, długość fali, częstotliwość, temperatura barwowa)
- modele liczbowe barw RGB i CMYK,
- diagram chromatyczności CIE – własności, barwa podstawowa i dopełniająca
- współczynnik oddawania barwy CRI, temperatura barwowa
- spektrometr optyczny
- diody LED światła białego – konstrukcje, zasada działania, sposób uzyskiwania światła białego

II. Program zajęć

- Pomiar charakterystyk spektralnych diod modułu RGBW (R – czerwonej, G – zielonej, B – niebieskiej oraz W - białej) oraz wyznaczenie podstawowych parametrów spektralnych i emisyjnych (długość fali, szerokość połówkowa widma, detekowana moc optyczna).
- Pomiar temperatury światła białego emitowanego z diody W – białej modułu w różnych warunkach zasilania diody.
- Wyznaczenie charakterystyk zasilania modułu RGB oraz RGBW dla kilku wybranych wartości temperatury światła białego.
- Pomiar charakterystyk spektralnych światła białego, o kilku wybranych temperaturach barwowych, emitowanego z modułu RGB oraz RGBW.

Wykonując pomiary PRZESTRZEGAJ przepisów BHP

Źródła ilustracji:

1. <http://www.swiatobrazu.pl/fotografia-od-a-do-z-swiatlo-23988.html>
2. <http://www.coolskan.pl/artykuly.htm>
3. http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Siatka_dyfrakcyjna_wsb.svg
4. <http://lo28.internetdsl.pl/kolor/richardson/algorytm%20Richardsona.htm>

1 Cel ćwiczenia

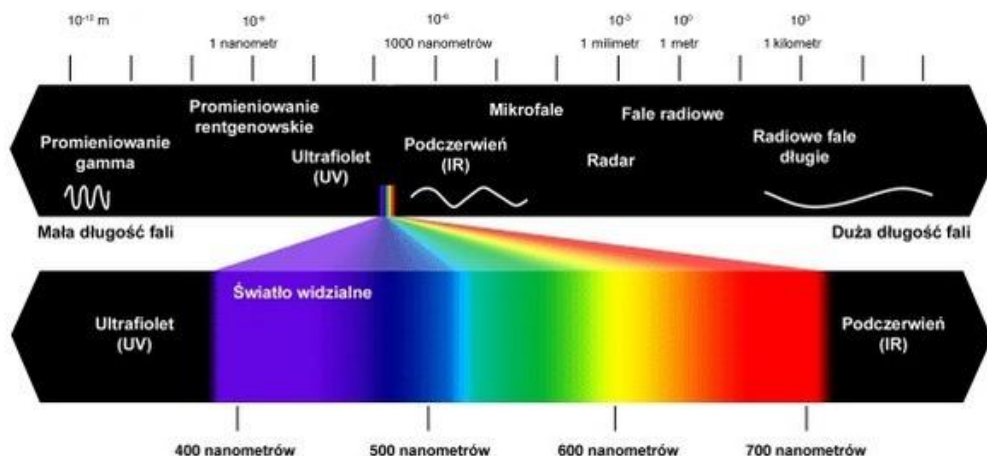
Źródła Światła LED są coraz częściej wykorzystywane w technice oświetleniowej. Wykorzystując moduły zintegrowanych diod różnokolorowych, w wyniku addytywnego mieszania barw, istnieje możliwość sterowania kolorem uzyskanego światła oraz, w przypadku światła białego, regulacji temperatury światła białego.

Głównym celem ćwiczenia jest zapoznanie się z charakterystyką spektralną promieniowania świetlnego, parametrami opisującymi widmo światła oraz sposobami uzyskiwania światła białego. W trakcie realizacji ćwiczenia zdobywa się praktyczną wiedzę z zakresu charakteryzacji spektralnej diod LED oraz warunków pracy i zasilania półprzewodnikowych źródeł światła białego. Kolejnym celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze sposobem addytywnego mieszania barw oraz parametrami opisującymi emitery światła białego. Pomiarów charakterystyk widmowych badanych diod LED oraz pomiarów kolorymetrycznych są przeprowadzane wykorzystując nową klasy kalibrowany spektrometr optyczny z matrycą 2048 fotodetektorów krzemowych, umożliwiającą obserwację widma w czasie rzeczywistym.

2 Wiadomości wstępne

2.1 Promieniowanie optyczne

Promieniowanie optyczne, nazywane potocznie światłem, obejmuje zakres promieniowania elektromagnetycznego o długości fal w zakresie od 10 nm do 1 mm i mieści się w niewielkim zakresie wykorzystywanych obecnie długości fal promieniowania elektromagnetycznego (rys. 1.). Dzieli się na ultrafiolet UV (od 10 do ~380 nm), światło widzialne VIS (od ~380 do ~780 nm) i podczerwień IR (od ~780 nm do ~1 mm).



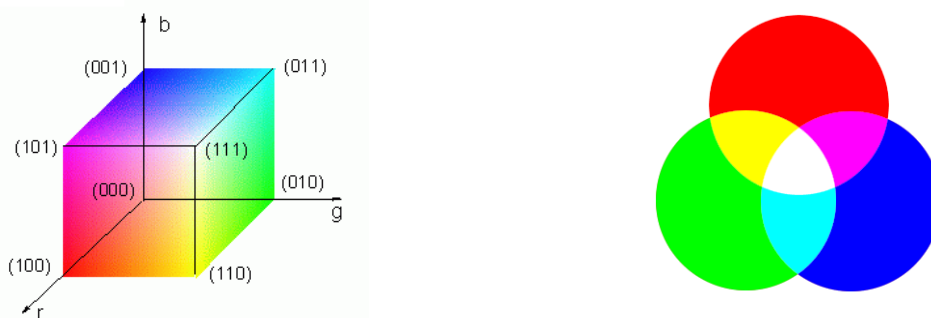
Rys. 1. Widmo promieniowania elektromagnetycznego [1]

Wielkością charakteryzującą fale jest częstotliwość, czyli liczba pełnych zmian pola magnetycznego i elektrycznego w ciągu jednej sekundy, wyrażona w hercach. Drugą wielkością jest długość fali, czyli odległość między sąsiednimi punktami, w których pole magnetyczne lub elektryczne ma ten sam zwrot i amplitudę. Zależność tych wielkości opisuje wzór $\lambda = c/f$, gdzie λ - długość fali, c - prędkość fali w danym ośrodku, a f - częstotliwość. Częstotliwość dla danej fali jest stała i niezależna od ośrodka, natomiast długość fali zmienia się, bowiem prędkość propagacji fali zależy od gęstości ośrodka, w którym fala się przemieszcza. Długości fal podane w tej instrukcji odnoszą się do próżni, gdzie prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej wynosi w przybliżeniu 3×10^8 m/s.

2.2 Modele barw

Fale z zakresu światła widzialnego o jednej częstotliwości odpowiadają konkretnej barwie czystej (prostej). Pozostałe barwy powstają w wyniku zmieszania wielu barw prostych w różnych proporcjach. Widzenie kolorów jest subiektywnym wrażeniem psychicznym powstającym w mózgu. Z fizycznego punktu widzenia barwa jest jednak wielkością mierzalną możliwą do przedstawienia w postaci liczbowej w określonej przestrzeni barw. Opis za pomocą rozkładu widmowego nie zawsze jest praktyczny, ponieważ różne spektra mogą wywoływać takie samo wrażenie barwowe. Powstało więc wiele matematycznych modeli trójwymiarowych przestrzeni barw. Do najważniejszych należą RGB i CMYK.

Addytywny model RGB opisuje kolory za pomocą współrzędnych R (*red* – czerwony), G (*green* – zielony) i B (*blue* – niebieski). Przez kombinację tych trzech barw można uzyskać szeroki zakres barw pochodnych zawartych w sześcianie kolorów RGB przedstawionym na rysunku 4. Punkt o współrzędnych (0, 0, 0) odpowiada czerni, (1, 1, 1) - bieli, a przekątna łącząca te punkty jest osią szarości. Model RGB jest addytywny, co oznacza, że kolory powstają przez dodawanie barw podstawowych. Taki model odpowiada sprzętowej metodzie generowania koloru w wyświetlaczach, gdzie jednemu pikselowi odpowiada suma trzech strumieni światła: czerwonego, zielonego i niebieskiego. Sprzętowe odwzorowanie kolorów zależy od przyjętych barw podstawowych (ich charakterystyki widmowej).



Rys. 2. Sześcian kolorów RGB [4] i zasada addytywnego mieszania barw

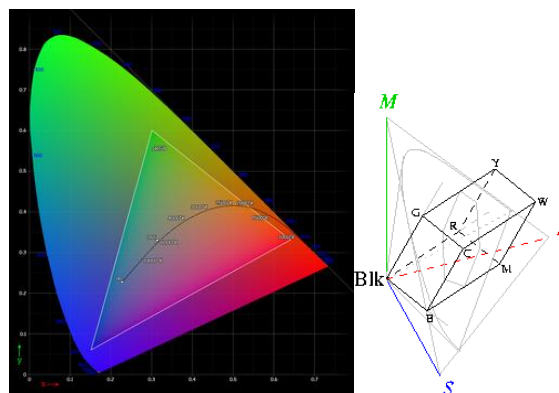
Model CMYK jest modelem odwrotnym do RGB. Kolory uzyskuje się przez usuwanie barw ze światła białego dlatego model ten jest nazywany modelem subtraktywnym i jest wykorzystywany w poligrafii, drukarkach i ploterach. Podstawowymi barwami są *cyan* (zielono-niebieski), *magenta* (karmazynowy), *yellow* (żółty), które pochłaniają selektywnie składowe padającego światła białego – *cyan* pochłania barwę czerwoną, *magenta* zieloną a *yellow* niebieską. Aby otrzymać w czasie wydruku dobrze odwzorowaną czerń do barw podstawowych dodano kolor czarny – *black*. Sześcian kolorów CMY i zasada mieszania barw jest przedstawiona na rys. 5.



Rys. 3. Sześcian kolorów CMY i zasada subtraktywnego mieszania barw

2.3 Model CIE XYZ

Model CIE XYZ zdefiniowała w 1931 roku Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*). Za pomocą trzech fikcyjnych (leżących poza zakresem widmowym) barw podstawowych X , Y i Z , które są nieujemne w całym zakresie fal, można przedstawić każde światło. Składowe X i Z niosą informację o barwie, natomiast Y o luminancji światła. Po podzieleniu składowych X , Y , Z przez czynnik normalizujący $(X+Y+Z)$ otrzymuje się współrzędne trójchromatyczne x , y , z . Umieszczenie wszystkich barw na wykresie x - y daje **diagram chromatyczności** przedstawiony na rys. 4.

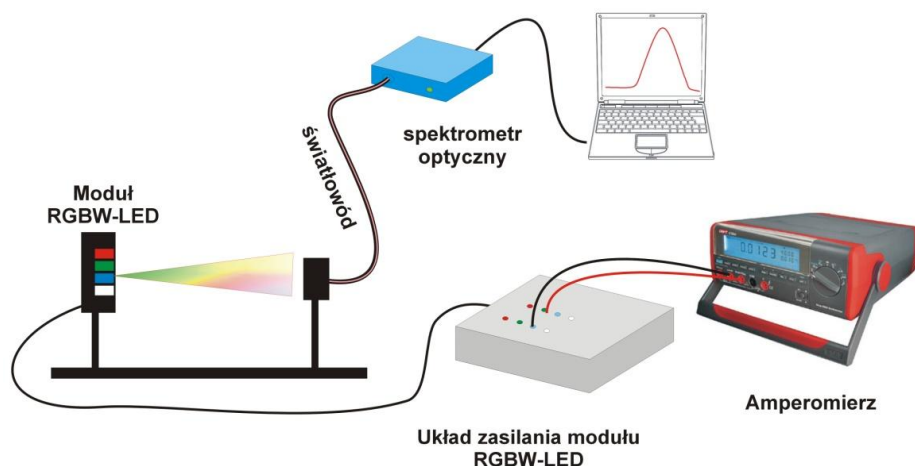


Rys. 4. Diagram chromatyczności z zaznaczoną linią promieniowania ciała doskonale czarnego i trójkątem Maxwella [5].

Na brzegu obszaru znajdują się barwy czyste oznaczane odpowiadającą im długością fali. Połączenie dowolnych dwóch kolorów daje punkt leżący na prostej je łączącej. Podobnie wybierając trzy barwy można z ich kombinacji otrzymać wszystkie kolory leżące wewnątrz trójkąta o wierzchołkach w punktach odpowiadających wybranym początkowo barwom. Na rys. 4. zaznaczono linię bieli – linię promieniowania ciała doskonale czarnego. Kolorem białym określana jest bowiem cała gama barw i aby jednoznacznie opisać wizualne wrażenie pożądanego odcienia wprowadzono termin temperatury barwowej. Temperatura barwowa jest z definicji temperaturą ciała doskonale czarnego, które wysyła promieniowanie o takiej samej barwie jak obserwowane światło białe. Do wartości około 3500 K barwa jest ciepła, w przedziale od 3500 do 6000 K mieści się barwa naturalna, a powyżej 6000 K odcień jest chłodny. Obserwowana barwa przedmiotów zależy od oświetlającego go światła. Parametrem określającym zdolność źródła światła do oświetlenia obiektu w sposób najlepiej oddający barwy jest **współczynnik oddawania barwy CRI** (*Color Rendering Index*), którego maksymalna wartość wynosi 100 i oznacza źródło odniesienia, w którym kolory są oddawane jednoznacznie. CIE ustaliła najpowszechniejszy *standard illuminant C*, w którym źródłem odniesienia jest światło słoneczne o temperaturze barwowej 6770 K. Wrażenie barwy obiektu zależy też od absorpcji i współczynników odbicia jego powierzchni. Jeżeli dwie powierzchnie w świetle dziennym mają taki sam kolor, a przy innym oświetleniu właściwości widmowe wywołują dwa różne wrażenia barwowe to takie zjawisko nosi nazwę **metameryzmu**.

3 Układ pomiarowy

Na stanowisku pomiarowym (rys. 1) dostępny jest układ zasilania modułu RGBW-LED umożliwiający pomiar zadanych napięć i uzyskanych prądów płynących w każdej diodzie modułu. Moduł RGBW-LED umieszczony w oprawie jest zamontowany na słupku w uchwycie w taki sposób aby strumień światła skierowany był w stronę układu detekcyjnego. Jako układ detekcyjny wykorzystano spektrometr z wielomodowym włóknem światłowodowym. Praca ze spektrometrem jest możliwa dzięki dedykowanemu oprogramowaniu „SpectraWiz” zainstalowanemu na dostępnym komputerze.

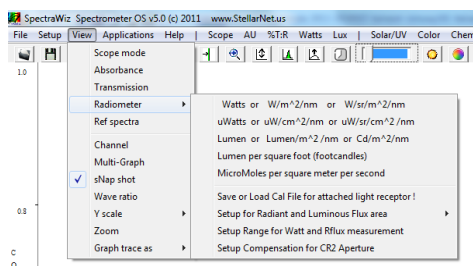


Rys. 1. Układ pomiarowy do pomiarów charakterystyk zasilania modułu RGBW-LED

4 Pomiary i obliczenia

4.1 Pomiar charakterystyk spektralnych diod R, G, B oraz W

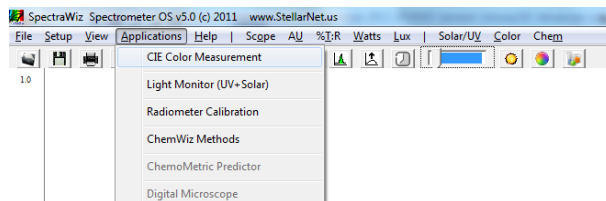
- Uruchomić komputer i podłączyć spektrometr do interfejsu USB komputera. Upewnić się czy spektrometr sygnalizuje gotowość do pracy zieloną diodą sygnalizacyjną na panelu przednim.
- Uruchomić program „SpectraWiz”, wybrać tryb pracy „Scope mode” i ustawić czas integracji sygnału równy 10 ms.
- Podłączyć układ zasilania modułu RGBW-LED do zasilania i włączyć kolejno jedną z diod modułu (R, G, B, W).
- Regulując odpowiednimi potencjometrami układu zasilania ustawić maksymalne prądy zasilania diod. Gdy obserwowany sygnał zacznie nasycać matrycę detektorów spektrometru (płaska charakterystyka w maksymalnym zakresie intensywności) należy odsunąć źródło światła od czoła światłowodu podłączonego do spektrometru. Optymalny poziom sygnału to około 50 000 zliczeń.
- Na pulpicie komputera, w katalogu EiUO_AO założyć katalog o nazwie wg. algorytmu: rok_miesiąc_dzień_godzina (2014_10_20_11) i w nim zapisać mierzone charakterystyki.
- Wybrać tryb pracy „Radiometer – wat na metr kwadratowy”
W opcjach programu „SpectraWiz” wybrać sposób pomiaru natężenia światła (View>>Radiometer>>Watts...):



- Zmierzyć i zapisać charakterystyki spektralne diod R, G, B oraz W dla maksymalnych prądów zasilania.
- Wyznaczyć i zanotować następujące parametry

Dioda	Długość fali [nm]	Natężenie światła [W/m ²]	Szerokość połówkowa widma FWHM	Współrzędne x/y na diagramie CIE XVZ
R				/
G				/
B				/
W				/

- Następnie włączyć funkcję pomiaru parametrów kolorymetrycznych światła (Applications>>CIE Color Measurements):



i odczytać z diagramu chromatyczności CIE współrzędne mierzonych barw.

- Pomiarzy wykonać dla każdej diody modułu
- Wyjaśnić dlaczego punkty określające kolory badanych diod nie znajdują się w miejscach kolorów podstawowych?

4.2 Pomiar temperatury światła białego emitowanego z diody W – białej modułu w różnych warunkach zasilania diody

- Włączyć diodę białą modułu i ustawić maksymalny prąd zasilania.
- Zmierzyć detekowaną moc optyczną diody w różnych warunkach zasilania wyznaczając za każdym razem współrzędne kolorymetryczne na diagramie CIE XYZ oraz temperaturę światła białego.

Nr pomiaru	Prąd [mA]	Natężenie światła [W/m ²]	Temperatura barwowa [K]	Współrzędne x/y na diagramie CIE XVZ
1				
2				
3				
...				

- Wyjaśnić dlaczego temperatura emitowanego światła białego zmienia się wraz ze zmianą prądu jej zasilania?

4.3 Wyznaczenie charakterystyk zasilania modułu RGB dla wybranej wartości temperatury światła białego

- Wyłączyć diodę białą modułu.
- Włączyć pozostałe trzy diody R, G, B i ustawić tak prądy zasilania każdej z diod aby przy największej mocy optycznej uzyskać światło białe o temperaturze barwowej równej temperaturze diody białej (przy największej wartości prądu zasilania)
- Uruchomić plik *Driving_RGBW_LED.opj* z katalogu EiUO_AO i zapisać go w swoim katalogu.
- Dane pomiarowe (temperaturę barwową, detekowaną moc optyczną, oraz wartości prądów zasilania każdej z diod) wprowadzić do arkusza kalkulacyjnego w pliku *Driving_RGBW_LED.opj*
 - W arkuszu „*Driving_RGBW_LED.opj*” wyniki pomiarów dotyczące modułu RGB należy wprowadzać do karty „*Temp RGB*”. Wyniki pomiarów dotyczące modułu RGBW dla pierwszej wybranej wartości temperatury światła białego należy wprowadzać do karty „*Temp A RGBW*”, a dla drugiej do karty „*Temp B RGBW*”.
- Regulując potencjometrami układu zasilania każdej z diod zmniejszyć natężenie emitowanego promieniowania zachowując stałe parametry kolorymetryczne modułu i dokonać pomiaru prądów każdej diody. Dane kolejno wprowadzać do arkusza kalkulacyjnego.
- Wykreślić charakterystyki zasilania modułu RGB emitującego światło białe o wybranej temperaturze.

4.4 Wyznaczenie charakterystyk zasilania modułu RGBW dla kilku wybranych wartości temperatury światła białego

- Włączyć wszystkie diody modułu i ustawić tak prądy zasilania każdej z diod aby przy największej mocy optycznej uzyskać światło białe o temperaturze barwowej równej temperaturze diody białej (przy największej wartości prądu zasilania)
- Dane pomiarowe (temperaturę barwową, detekowaną moc optyczną, oraz wartości prądów zasilania każdej z diod) wprowadzić do arkusza kalkulacyjnego w pliku *Driving_RGBW_LED.opj*
- Regulując potencjometrami układu zasilania każdej z diod zmniejszyć natężenie emitowanego promieniowania zachowując stałe parametry kolorymetryczne modułu i dokonać pomiaru prądów każdej diody. Dane kolejno wprowadzać do arkusza kalkulacyjnego.
- Wykreślić charakterystyki zasilania modułu RGBW emitującego światło białe o wybranej temperaturze.
- Pomiary powtórzyć ustalając inną temperaturę światła białego.
- Porównać otrzymane wyniki i ustosunkować się do różnic w sposobie sterowaniem każdej z diod modułu RGBW-LED.

4.5 Opracowanie wyników

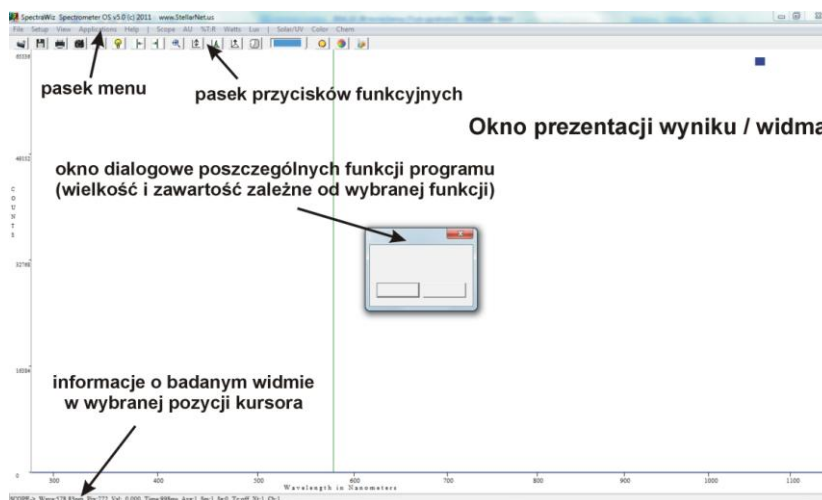
Opracować sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia wykorzystując edytor tekstu (Microsoft Office Word) dostępny na dostępnym komputerze.

Do sprawozdania dołączyć (wkleić) wykres z charakterystykami diod R, G, B oraz W uzyskanymi w częściach 4.1, 4.3 oraz 4.4 ćwiczenia.

4.6 Załącznik A: Instrukcja obsługi oprogramowania SpectraVis








Spektrometr optyczny BlueWave UV-VIS firmy StellarNet jest przenośnym urządzeniem służącym do analizy promieniowania świetlnego. Jego kompaktowa zwarta konstrukcja jest pozbawiona elementów ruchomych, jednak **jest to urządzenie precyzyjne, wymagające szczególnej uwagi w trakcie pracy. Nie można narażać spektrometru na wstrząsy lub uderzenia z uwagi na precyzyjnie skalibrowany przez producenta układ optyczny. Nie można w sposób ciągle narażać matrycy detektorów spektrometru na zbyt wysoką moc promieniowania z uwagi na bardzo czuły układ detekcji.** Miniaturowy spektrometr optyczny jest urządzeniem bezobsługowym i oprócz podłączenia światłowodu wprowadzającego światło wraz z ewentualnymi elementami wyposażenia nie wymaga dodatkowych czynności obsługowych.







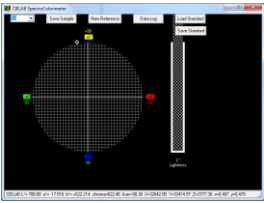
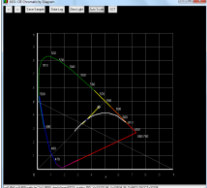
Obsługa spektrometru wymaga podłączenia go do komputera klasy PC z firmowym oprogramowaniem „SpectraWiz” wykorzystując port USB, który również zapewnia zasilanie spektrometru. Widok okna głównego oprogramowania „SpectraWiz” przedstawiono na rysunku 8.



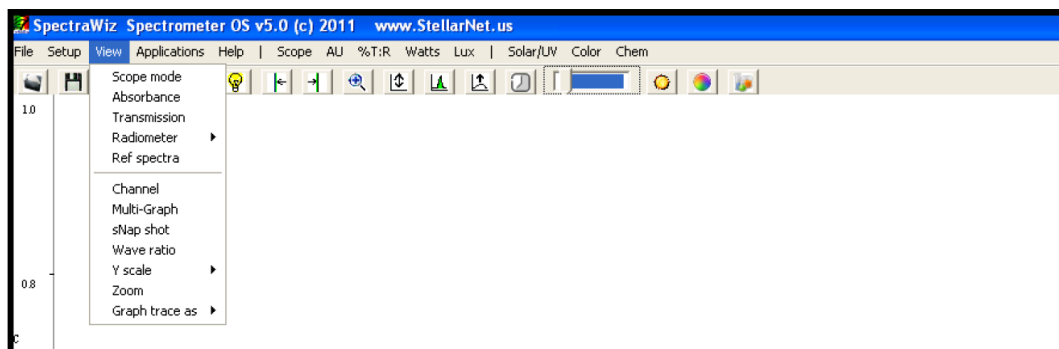
Rys. 8. Widok okna głównego oprogramowania „SpectraWiz”

W tabeli podano i wyjaśniono główne funkcje dostępne w pasku przycisków funkcyjnych.

	Otwórz zapisany wcześniej plik
	Zapisz obserwowane spektrum
	Drukuj
	Kliknij lewym przyciskiem myszy aby zatrzymać wyświetlane widmo, kliknij ponownie w celu odświeżenia pomiaru. Kliknij prawym przyciskiem myszy aby skopiować wykres do schowka.
	Zapisz widmo ciemne (widmo tła)
	Zapisz widmo referencyjne
	Przesuń kursor w prawo/w lewo

	Po przeciągnięciu myszką w oknie głównym programu i powiększeniu fragmentu widma, przywraca widok całego zakresu
	Przeskalowanie w osi Y
	Analiza piku. Podaje dane wynikające z analizy obserwowanego sygnału (długość fali w maksimum intensywności piku, szerokość połówkową..)
	Automatycznie dobierany czas integracji sygnału
	Ręcznie dobierany czas integracji sygnału (podać wartość po naciśnięciu ikony z zegarem lub przesunąć suwak)
	<p>Funkcje analizy kolorymetrycznej badanego widma (dostępne dla kalibrowanych układów w trybie pomiaru „Radiometer”).</p> <ul style="list-style-type: none"> w trybie pomiaru refleksyjności możliwa jest analiza kolorów dominujących uwzględniając standardowe źródła światła definiowane przez CIE  <ul style="list-style-type: none"> w trybie pomiarów radiometrycznych możliwa jest analiza barw zgodnie z diagramem chromatyczności 

Spektrometr BlueWave UV-VIS może pracować w kilku trybach pracy, wyświetlając mierzone widmo i parametry analizowanego promieniowania bądź obiektu stosownie do wybranego trybu. Tryby pracy można przełączać wybierając je z głównego paska menu lub rozwijanego menu View (rys. 9):



Rys. 9. Widok paska menu głównego z rozwiniętym paskiem wyboru trybu pracy

1. Scope mode – tryb obserwacji widma emisji (LED, Lasery, światło słoneczne, fluorescencja...). Jest to domyślny tryb przy rozruchu programu, który wyświetla nieskompensowane/względne dane obserwowanego spektrum. Sygnał z każdego piksela matrycy CCD jest wyświetlany na osi x jako długość fali w nanometrach. Widok obserwowanego spektrum zmieni się w zależności od następujących parametrów: czas integracji sygnału, ilość pomiarów uwzględnionych przy uśrednieniu, kompensacji temperatury.
2. AU – tryb pomiaru absorbancji ABS – wymagany jest pomiar referencyjny widma ciemnego i referencyjnego

$$ABS = \log \left(\frac{I_0}{I} \right) \quad A_n = - \log \left(\frac{\text{sample}_n - \text{dark}_n}{\text{ref}_n - \text{dark}_n} \right)$$

3. %T:R – tryb pomiaru transmitancji T lub reflektancji R – wymagany jest pomiar referencyjny widma ciemnego i referencyjnego

$$R, T = \frac{I}{I_0}, \quad T_n = \left(\frac{\text{sample}_n - \text{dark}_n}{\text{ref}_n - \text{dark}_n} \right) \times 100$$

4. Radiometer – tryb pomiaru natężenia oświetlenia umożliwiający pomiar i wyświetlenie widma m.in. w następujących jednostkach:
 - wat na metr kwadratowy (W/m²)
 - mikrowat na centymetr kwadratowy (W/cm²)
 - lumen na metr kwadratowy LUX (illuminance)

Ten tryb pracy zapewnia skalibrowany sposób wyświetlania mierzonych danych. W celu skorzystania z tego trybu pracy, urządzenie wymaga podania plików z danymi kalibracyjnymi spektrometru do poszczególnych komponentów firmowego wyposażenia.

Wybierając tryby pracy wymagające pomiarów referencyjnych należy wykonać następujące czynności: Przełączyć się na tryb „Scope mode” i dobrać takie warunki pracy układu pomiarowego aby nie dochodziło do nasycania się matrycy detektorów (dobrac odpowiedni czas integracji sygnału lub wyregulować badane źródło światła). Wyłączyć źródło światła lub całkowicie zasłonić element wprowadzający światło do spektrometru. Zapisać widmo ciemne. W razie potrzeby (zależne od trybu pracy i układu pomiarowego), włączyć źródło światła i zapisać widmo referencyjne. Przełączyć spektrometr w odpowiedni tryb pracy.