

Ćwiczenie 20. Światłowody – propagacja światła

Zagadnienia obowiązujące na kolokwium

1. Co to jest światłowód, prawo Snella, całkowite wewnętrzne odbicie.
2. Typy światłowodów, budowa światłowodu, apertura numeryczna.
3. Co to są mody światłowodu, światłowody jedno- i wielomodowe, pole modu światłowodu.
4. Jaką informację uzyskuje się z warunku odcięcia? Częstość/długość fali odcięcia.
5. Tłumienność światłowodu – definicja, przyczyny tłumienia światła w światłowodzie.
6. Sprzęgacze światłowodowe czołowe (złącza światłowodowe) i kierunkowe. Przyczyny strat światła na złączach światłowodowych.
7. Okna transmisji telekomunikacyjnej w światłowodach a okno diagnostyczne/terapeutyczne. Jaki wniosek z ich porównania płynie dla inżyniera projektującego aparaturę diagnostyczną z wykorzystaniem światłowodów?
8. Wiązka gaussowska i podstawowe parametry opisujące wiązkę gaussowską.
9. Transformacja wiązki gaussowskiej przez soczewki (przewężenie, zakres Rayleigha, parametr konfokalny, kolimacja wiązki gaussowskiej).

Wykonanie ćwiczenia

1. Obserwacja czoła złączy światłowodów jedno- i wielomodowych.
 - a. Obserwowane będą czoła światłowodów jednomodowych dla długości fali $\sim 660\text{nm}$ i $\sim 1550\text{nm}$ oraz czoła światłowodów wielomodowych.
 - b. Za pomocą dostępnych mikroskopów do inspekcji światłowodów (ang. *fiber scope*) zaobserwować podstawowe elementy światłowodu widoczne na powierzchni czoła złącza światłowodowego.
 - c. Zapisać obrazy z wideoskopu do inspekcji światłowodów.
 - d. Ocenić stan czoła złączy światłowodowych (czy są zabrudzenia, zadrapania?). W razie zabrudzeń czoła światłowodów wyczyścić za pomocą przeznaczonych do tego celu taśm czyszczących. Po zakończeniu czyszczenia ponownie ocenić stan czoła złącza.
 - e. Sprawdzić jaki wpływ na czystość czoła złącza ma założenie ochronnej zatyczki (założyć zatyczkę, zdjąć ją i ocenić czystość czoła światłowodu) oraz dotknięcia czoła złącza. Po tych testach światłowody należy wyczyścić. Wyniki (obrazy) rejestrować za pomocą wideoskopu.

2. Pomiar apertury numerycznej światłowodów.
 - a. Pomiar zostanie przeprowadzony dla światłowodów jednomodowych dla długości fali $\sim 660\text{nm}$, jednomodowych dla długości fali $\sim 1550\text{nm}$ i wielomodowych.
 - b. Jako źródła światła zostaną wykorzystane półprzewodnikowe diody laserowe z wyprowadzeniem światłowodowym, jedna emitująca światło o długości fali 658nm a druga emitująca światło o długości fali 1554nm . Prze włączeniem źródeł światła sprawdzić w specyfikacjach jaka jest maksymalna dopuszczalna wartość prądu sterowania każdego ze źródeł.

UWAGA! Nie wolno kierować światła ze światłowodów diod laserowych do oka. Nie wolno umieszczać oczu w torze biegu wiązek światła laserowego. Grozi to uszkodzeniem wzroku lub jego utratą.

UWAGA! ŚWIATŁO O DŁUGOŚCI FALI 1550nm NIE JEST WIDOCZNE DLA LUDZKIEGO OKA MOŻE JEDNAK USZKODZIĆ WZROK. Należy zachować szczególną ostrożność przy pracy zwłaszcza ze światłem skolimowanym.

- c. Przed włączeniem diody laserowej upewnić się, że czoło złącza światłowodowego jest czyste. Umieścić wtyczkę światłowodową we właściwym uchwycie. Na osi biegu światła w odległości ok. 10 cm umieścić detektor światła (fotodioda przyłączona do multimetru ustawionego na pomiar napięcia) na stoliku przesuwным umożliwiającym przesuwanie detektora w poprzek wiązki światła. Zmierzyć odległość od czoła światłowodu do detektora i zanotować wynik.
 - d. Włączyć diodę laserową i ustawić prąd zasilania na ok. 45 mA. Wyregulować pozycję detektora tak, aby znalazł się na osi wiązki światła, o czym świadczy maksymalna wartość napięcia detektora. Zanotować maksymalną wartość napięcia detektora, V_M' .
 - e. Zasłonić wiązkę światła i odczytać wartość napięcia detektora (pomiar tła), V_T . Wynik zanotować.
 - f. Wyliczyć wartość napięcia (po odjęciu tła) odpowiadającą 13.5% maksymalnego napięcia (po odjęciu tła): $V_{13.5} = (V_M' - V_T) \cdot 0.135$. Do uzyskanej wartości dodać wartość napięcia tła: $V_{13.5}' = V_{13.5} + V_T$. Wynik zanotować.
 - g. Zmieniać położenie detektora za pomocą śruby mikrometrycznej stolika przesuwного i co ok. 1-2 mm notować napięcie wskazywane przez detektor. Upewnić się, że można przesunąć stolik przesuwny do pozycji, w której odczyt napięcia wynosi $V_{13.5}'$. Odczytać ze śruby mikrometrycznej położenie, dla którego wartość napięcia detektora wynosi $V_{13.5}'$. O ile to możliwe, przesunąć stolik tak, aby odczytać kilka położeń dla których odczytywane napięcie jest mniejsze od $V_{13.5}'$.
 - h. Umieścić detektor w innej odległości od czoła światłowodu i powtórzyć pomiar. Pomiarów wykonać dla ok. 3-5 różnych odległości między czołem światłowodu a detektorem.
3. Pomiar tłumienności światłowodów oraz strat światła wynikających z niedopasowania parametrów łączonych światłowodów.
- a. W zadaniu światłowodu diody laserowej emitującej światło o długości fali 658nm i 1554nm będą przyłączane do światłowodu telekomunikacyjnego oraz do krótkiego światłowodu „odniesienia”. Przed przystąpieniem do pomiaru wyłączyć diody laserowe i upewnić się, że czoła złączy są czyste (w razie konieczności wyczyścić). Zapisać obrazy uzyskane wideoskopem do inspekcji złączy światłowodowych.
 - b. Przyłączyć światłowód pierwszej z diod do krótkiego odcinka światłowodu i zmierzyć napięcie detektora na wyjściu ze światłowodu. Odłączyć światłowód. Nie zmieniając nastaw natężenia prądu zasilania diody laserowej przyłączyć jej światłowód do światłowodu telekomunikacyjnego. Odczytać i zapisać wartość napięcia detektora rejestrującego światło na wyjściu ze światłowodu. Pomiar powtórzyć dla drugiej diody laserowej.
 - c. Do światłowodu diody 1554nm (po wyczyszczeniu czoła złącza) przyłączyć detektor i po włączeniu diody odczytać wskazywane przez niego napięcie. Odłączyć detektor i do światłowodu diody przyłączyć światłowód tego samego typu (po wyczyszczeniu jego złączy) Odczytać napięcie detektora przyłączonego do drugiego końca tego światłowodu. Wynik zanotować. Do światłowodu diody laserowej przyłączyć światłowód jednomodowy dla długości fali 658nm i odczytać napięcie wskazywane przez detektor (wynik zanotować). Odłączyć światłowód jednomodowy i przyłączyć światłowód wielomodowy. Odczytać i zapisać napięcie wskazywane przez detektor światła. Do światłowodu wielomodowego przyłączyć światłowód jednomodowy dla długości fali 658nm i odczytać napięcie przyłączonego do niego detektora. Wynik zanotować
 4. Zależność współczynnika podziału światła kierunkowego sprzęgacza światłowodowego od długości fali.

- a. W specyfikacjach sprzęgacza kierunkowego znaleźć informacje o typie światłowodów, współczynniku podziału światła i długości fali dla której był zaprojektowany (dane te zanotować).
- b. Do jednego ze światłowodów sprzęgacza, po jego wyczyszczeniu przyłączyć diodę laserową 658nm. Odczytać napięcie detektora przyłączonego kolejno do obu światłowodów wyjściowych. Podobnego pomiaru dokonać po przyłączeniu diody 1554nm.

Sprawozdanie

1. Opisać wyniki obserwacji czoła złączy światłowodowych.
 - a. Na stronie producenta użytych w ćwiczeniu światłowodów znaleźć informacje o ich parametrach (średnica rdzenia i płaszcz, pole modu światłowodu, apertura numeryczna, współczynniki załamania rdzenia i płaszcz) i podać te dane w części „Materiały i metody” sprawozdania.
 - b. W „Materiałach i metodach” podać informację o typach złączy światłowodowych, które obserwowano w zadaniu.
 - c. W części „Wnioski”, ocenić łatwość użycia wykorzystanych w zadaniu przyrządów do inspekcji czoła złączy światłowodowych. Czy w przypadku przyrządów do bezpośredniej obserwacji okiem, zaobserwowano problem niedopasowania położenia źrenicy wyjściowej przyrządu i źrenicy oka? Opisać co dzieje się z polem widzenia w przypadku zaobserwowania takiego niedopasowania.
 - d. W części „Wyniki”, na zapisanych obrazach czoła światłowodów zaznaczyć rdzeń i płaszcz, zaznaczyć typ światłowodu (jedno- czy wielomodowy i dla jakiej długości fali) podać informacje o średnicach rdzenia i płaszcz dla każdego ze światłowodów. We „wnioskach” skomentować od czego zależy modowość światłowodu i w jaki sposób można odróżnić typowe światłowody jednomodowe od wielomodowych obserwując czoło złącza światłowodowego.
 - e. W części „wyniki” pokazać dla jednego ze światłowodów obrazy czoła złącza czystego, po dotknięciu palcem oraz po założeniu i zdjęciu zatyczki światłowodowej. Skomentować we „wnioskach” jaka z tego testu płynie nauka dotycząca obchodzenia się ze złączami światłowodowymi. We „wnioskach” skomentować jaki wpływ na łączenie światłowodów mogą mieć potencjalnie zabrudzenia czoła złączy.
2. Opisać wyniki pomiaru apertury numerycznej światłowodów.
 - a. Wyniki pomiaru przedstawić na wykresie zależności zmierzonego napięcia (po odjęciu tła) od położenia detektora. Za początek układu odniesienia przyjąć pozycję detektora dla której odczytano maksymalną wartość napięcia. Wyniki uzyskane dla różnych odległości między detektorem i czołem światłowodu przedstawić na tym samym wykresie. Zaznaczyć pozycje detektora, dla których wartość napięcia (po odjęciu tła) wynoszą 13.5% napięcia maksymalnego (po odjęciu tła). Wartości tych pozycji dla kolejnych odległości między detektorem i czołem światłowodu zebrać w tabeli. Odnotować dokładność przyrządów pomiarowych (przymiaru liniowego, śruby mikrometrycznej i miernika napięcia)
 - b. Z uzyskanych danych wyznaczyć aperturę numeryczną światłowodu: $NA = n \cdot \sin \alpha$, gdzie n jest współczynnikiem załamania ośrodka, w którym propaguje się światło (powietrze, $n=1$), a α jest połówkowym kątem rozbieżności wiązki gaussowskiej mierzonym na poziomie 13.5% maksymalnego natężenia światła w wiązce. Czy dla wszystkich odległości między detektorem a czołem światłowodu wartości apertury numerycznej są takie same (w granicy obliczonych niepewności pomiarowych)? Jeśli tak to policzyć średnią. Jeśli nie, to we wnioskach wyjaśnić co może być przyczyną uzyskania różnych wartości apertury numerycznej.

- c. Na stronach producenta światłowodów znaleźć informację o współczynnikach załamania rdzenia n_1 i płaszczka n_2 światłowodów, dla których wyznaczano apertury numeryczne. Wyliczyć apertury numeryczne ze wzoru: $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$. Porównać wyniki z uzyskanymi z pomiaru. Jeśli producent nie podaje współczynników załamania, to ze specyfikacji światłowodów odczytać apertury numeryczne. We „wnioskach” porównać wynik pomiaru ze specyfikacjami światłowodu i skomentować.
3. Opisać wyniki pomiaru tłumienności światłowodu.
- Przedstawić obrazy uzyskane wideoskopem. Czy badany światłowod telekomunikacyjny jest wielomodowy czy jednomodowy?
 - Obliczyć tłumienność światłowodu telekomunikacyjnego dla długości fali 658nm i 1554nm. We „wnioskach” wyjaśnić dlaczego tłumienność światłowodów jest niższa dla światła o długości fali 1554nm niż dla światła o długości fali 658nm.
 - Obliczyć straty światła wynikające z łączenia światłowodów różnych typów. Straty wyrazić w skali decybelowej, tj. jako $|10 \cdot \log(V_{WY}/V_{WE})|$, gdzie napięcie wejściowe V_{WE} jest mierzone dla światła wychodzącego ze światłowodu poprzedzającego złącza, a V_{WY} jest napięciem mierzonym na wyjściu z ostatniego światłowodu. W „wynikach” opisać które z połączeń było najmniej a które najbardziej stratne. We „wnioskach” skomentować, co może być przyczyną strat światła na tych łączeniach światłowodów.
4. Zależność współczynnika podziału światła kierunkowego sprzęgacza światłowodowego od długości fali światła.
- Wyznaczyć współczynnik podziału światła sprzęgacza kierunkowego dla obu długości fal. W „wynikach” porównać te wartości z danymi ze specyfikacji, skomentować.

Literatura

- Eugene Hecht, „Optyka”, PWN, 2019.
- Adam Smoliński, „Optoelektronika światłowodowa”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1985.
- Bernard Ziętek. *Optoelektronika*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2004.
- Piotr Targowski, Bernard Ziętek. *Badanie własności łącza światłowodowego*. opis ćwiczenia z roku 2002.
- David R. Goff, „Fiber Optic Reference Guide. A Practical Guide to Communications Technology”, Focal Press, Burlington, MA, USA, 2013.
- Katsunari Okamoto, „Fundamentals of Optical Waveguides”, Elsevier, 2006.
- https://youtu.be/N_kA8EpCUQo