

Z25 – OPTYCZNY WZMACNIACZ ŚWIATŁOWODOWY EDFA

II Pracownia Fizyczna

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński

Ćwiczenie dotyczy badania zjawisk absorpcji, nasycenia absorpcji oraz wzmocnienia w aktywnym ośrodku optycznym w postaci światłowodu, którego rdzeń domieszkowany jest jonami erbu Er^{3+} (*ang. erbium - doped fiber* - EDF). Na podstawie zbadanych właściwości absorpcyjnych wyznaczane są liniowy współczynnik absorpcji, koncentracja jonów Er^{3+} w światłowodzie oraz moc i natężenie nasycenia absorpcji. Ponadto, badane są właściwości wzmacniające EDF w zależności od mocy wiązek pompującej ($\lambda = 980 \text{ nm}$) i sygnałowej/wzmacnianej ($\lambda = 1550 \text{ nm}$). W wersji rozszerzonej wykonywane są symulacje numeryczne krzywych wzmocnienia jako rozwiązań równania transportu promieniowania oraz tzw. równań kinetycznych opisujących zmianę obsadzenia poziomów energetycznych ośrodka wzmacniającego poddanego jednoczesnemu działaniu wiązek światła – pompującej i sygnałowej.

Zagadnienia do przestudiowania

1. Oddziaływanie światła z materią, współczynniki absorpcji i wzmocnienia oraz ich nasycenie [3, 4].
2. Metody uzyskiwania inwersji obsadzeń w ośrodkach optycznych 2-, 3- i 4-poziomowych poprzez pompowanie optyczne [3, 4].
3. Równanie transportu promieniowania w ośrodku aktywnym optycznie [4].
4. Zasada prowadzenia światła w światłowodzie, w tym prawa odbicia i załamania, całkowite wewnętrzne odbicie, fala zanikająca, apertura numeryczna światłowodu, tłumienność światłowodu i jej źródła [1, 2].
5. Wzmacniacz światłowodowy EDFA (*ang. erbium-doped fiber amplifier*) - jego budowa i właściwości.
6. Sposoby wprowadzania światła do światłowodu [2].

Kolokwium wstępne ma formę ustną.

Zadania obliczeniowe

1. Wyznaczyć względną różnicę obsadzeń pomiędzy poziomem energetycznym $^4I_{15/2}$ a poziomami $^4I_{13/2}$ i $^4I_{11/2}$ w jonie Er^{3+} w temperaturach ciekłego azotu i pokojowej.
2. Wyrazić energię przejścia pomiędzy stanami $^4I_{15/2}$ i $^4I_{13/2}$ Er^{3+} w liczbach falowych [cm^{-1}], elektro-woltach [eV] i milidżulach [mJ].
3. Wyliczyć gęstość strumienia fotonów wiązki lasera He-Ne pracującego w modzie podstawowym TEM_{00} , o mocy 1 mW i skupionej do plamki o średnicy przewężenia $2w_0 = 0.1 \text{ mm}$.

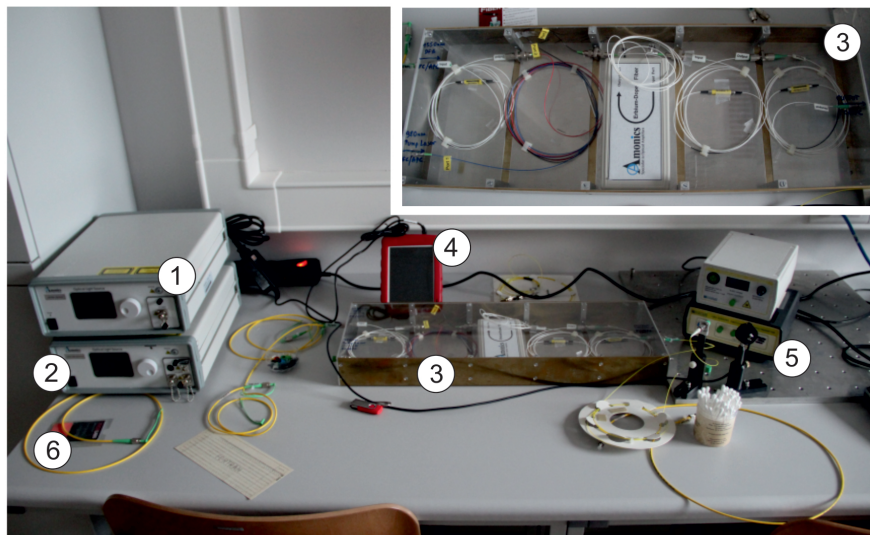
Aparatura i materiały

Układy eksperymentalne (alternatywne) zostały przedstawione na rysunkach 1 i 2. W skład każdego z nich wchodzi: laser diodowy generujący promieniowanie o długości fali $\lambda = 1550 \text{ nm}$ i mocy do 2 mW, laser diodowy generujący promieniowanie o długości fali $\lambda = 980 \text{ nm}$ i mocy do 100 mW i służący do pompowania światłowodu EDF, światłowód typu EDF (średnica rdzenia $14 \mu\text{m}$), spektrometr optyczny I-MON firmy Ibsen na zakres spektralny 1500-1600 nm, filtr optyczny, układ zwielokrotnienia falowego (tzw. WDM) 980nm/1550nm, izolatory optyczne, światłowody osłabiające światła laserowego, mikroskop optyczny do oceny jakości końcówek kabli światłowodowych, kable światłowodowe na długości fal 980 nm oraz 1550 nm, miernik mocy lasera, zestaw do czyszczenia końcówek kabli światłowodowych, okulary ochronne na zakres optyczny 800-1700 nm oraz komputer do sterowania spektrometrem, akwizycji danych i wykonywania obliczeń numerycznych z zainstalowanym oprogramowaniem *Mathematica*.

Program ćwiczenia

Przed rozpoczęciem zasadniczej części ćwiczenia, opiekun przeprowadza krótkie szkolenie dotyczące obchodzenia się z elementami światłowodowymi, ich łączenia oraz oceny jakości końcówek światłowodów i ich ewentualnego czyszczenia. Ponadto, studenci zobowiązani są zapoznać się z obsługą laserów diodowych, spektrometru optycznego i miernika mocy lasera, wykorzystując w tym celu dostarczone instrukcje obsługi tych urządzeń. W dalszej kolejności, po uruchomieniu komputera, należy założyć kartotekę `d:\users\nazwisko_studenta`, w której będą zapisywane wszelkie dane pomiarowe oraz wyniki obliczeń i symulacji. Zasadniczy program ćwiczenia obejmuje:

1. Wyznaczenie zależności mocy sygnału optycznego mierzonego na wyjściu światłowodu EDF od mocy lasera sygnałowego 1550nm na wejściu tego światłowodu przy wyłączonym laserze pompującym.
Uwaga: do tego celu należy użyć zarówno mier-



- | | |
|--|--|
| 1. laser diodowy (pompujący) 980 nm | 4. miernik mocy lasera |
| 2. laser diodowy 1550 nm | 5. spektrometr optyczny I-MON |
| 3. wzmacniacz światłowodowy EDF zawierający:
izolatory optyczne, światłowód EDF,
układ zwielenokrotnienia falowego WDM, filtr optyczny | 6. karta wizualizująca
promieniowanie podczerwone |

Rysunek 1: Zestaw eksperymentalny I.

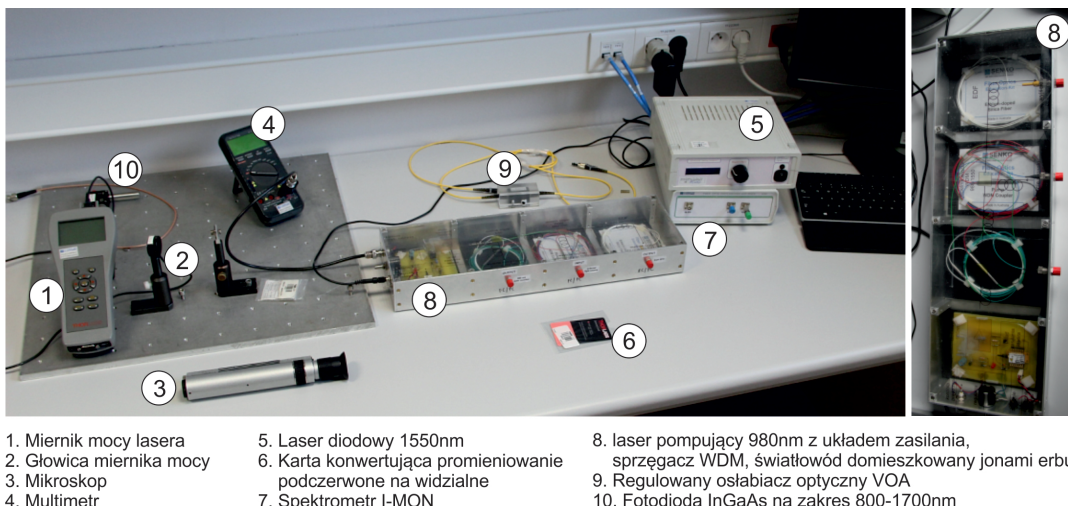
nika mocy lasera jak i spektrometru. Używając zewnętrznego miernika mocy lasera skalibrować wskazania wewnętrznego miernika mocy w sterowniku lasera z mocą mierzoną na wyjściu światłowodu dołączonego do modułu lasera.

- Wyznaczenie zależności mocy sygnału optycznego mierzonego na wyjściu światłowodu EDF od mocy lasera pompującego 980nm, przy ustalonej mocy lasera sygnałowego 1550nm. Pomiary należy wykonać dla co najmniej 3 istotnie różnych mocy lasera sygnałowego.
- Wyznaczenie zależności mocy sygnału optycznego mierzonego na wyjściu światłowodu EDF od mocy lasera sygnałowego 1550nm na wejściu tego światłowodu, przy ustalonej mocy lasera pompującego 980nm. Pomiary należy wykonać dla co najmniej 3 istotnie różnych mocy lasera pompującego.

Opracowanie wyników pomiarów

- Na podstawie wyznaczonych mocy wiązek laserowych oraz parametrów światłowodu EDF wyznaczyć natężenia tychże wiązek na wejściu (sygnałowa i pompująca) oraz wyjściu (sygnałowa) ze światłowodu EDF.
- Na podstawie rozwiązania równania transportu promieniowania, dla przypadku małych natężeń wiązki sygnałowej w porównaniu z wartością natężenia nasycenia, wyznaczyć liniowy współczynnik absorpcji γ_0 dla badanego światłowodu EDF i wartość natężenia nasycenia I_s [4].

- Na podstawie rozwiązania równania transportu promieniowania w postaci funkcji W Lamberta, wyznaczyć liniowy współczynnik absorpcji γ_0 dla badanego światłowodu EDF i wartość natężenia nasycenia I_s , a następnie porównać otrzymane wyniki z otrzymanymi w poprzednim punkcie [4].
- Na podstawie wyznaczonych współczynnika absorpcji γ_0 i natężenia nasycenia I_s wyliczyć odpowiednio koncentrację jonów Er^{3+} w badanym światłowodzie EDF oraz gęstość nasyceniową strumienia fotonów. W obliczeniach przyjąć, że przekrój czynny dla przejścia pomiędzy stanem podstawowym i wzbudzonym w strukturze energetycznej Er^{3+} o $\lambda_s = 1550$ nm, wynosi $\sigma = 2.5 \times 10^{-21} \text{cm}^2$, średnica rdzenia światłowodu $2r = 14 \mu\text{m}$, jego długość $L = 10$ m, a współczynnik wypełnienia rdzenia wiązką pompującą $\Gamma = 0.4$.
- (dla wersji rozszerzonej)
W oparciu o dane literaturowe [4] i wyznaczone wartości parametrów światłowodu EDF wykonać symulacje numeryczne zależności obserwowanych w punktach 2 i 3.
W tym celu należy w sposób numeryczny rozwiązać układ równań kinetycznych, uzupełniony o równanie transportu promieniowania, zakładając trójpoziomową strukturę jonów Er^{3+} .



Rysunek 2: Zestaw eksperymentalny II.

Zasady BHP

Ponieważ w ćwiczeniu wykorzystywane jest promieniowanie laserowe oraz niezwykle delikatne elementy optyczne, wobec tego od studenta wymaga się stosowania do poniższych zasad.

- Nie wolno patrzeć wprost w wiązkę laserową i światłowody do których wprowadzono światło lasera, gdyż może to doprowadzić do trwałej utraty wzroku.
- Nie wolno dotykać końcówek światłowodów ani innych powierzchni optycznych, gdyż może to spowodować ich trwałe uszkodzenie.
- Końcówki nieużywanych światłowodów i wejścia elementów zestawu światłowodowego oraz spektrometru – jeśli nie są używane – należy bezwzględnie zabezpieczać odpowiednimi zaślepkami.
- Nie zginać światłowodów w pętle o średnicy mniejszej niż 4 cm.
- Przed każdym podłączeniem sprawdzać, za pomocą mikroskopu, końcówki kabli światłowodowych i w razie potrzeby należy je przeczyszczyć.
- Uruchamianie laserów i spektrometru może się odbywać wyłącznie za zgodą i przy obecności prowadzącego ćwiczenie.

Literatura

- [1] E. Hecht, *Optyka*, PWN 2012.
- [2] B. Ziętek, *Optoelektronika*, Wydawnictwo UMK, Toruń 2005.
- [3] B. Ziętek, *Lasery*, Wydawnictwo UMK, Toruń 2009.
- [4] Szczegółowa instrukcja do ćwiczenia (<https://www.2pf.if.uj.edu.pl>).