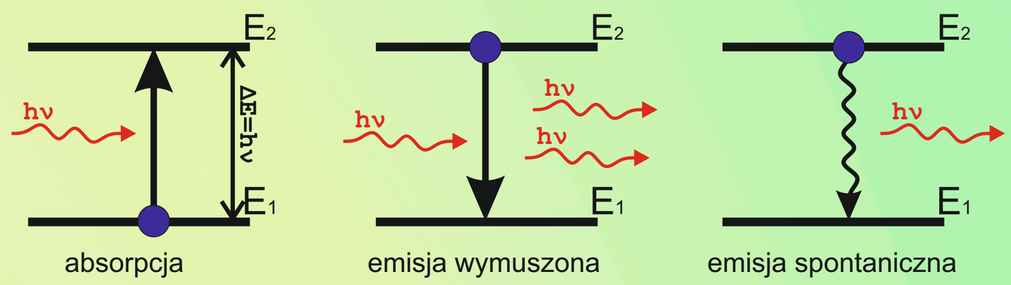
Wyznaczenie stałych zaniku obsadzeń przy pomocy wzmacniacza EDFA

Agnieszka Tyran

Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński, ul. Reymonta 4, 30-059 Kraków

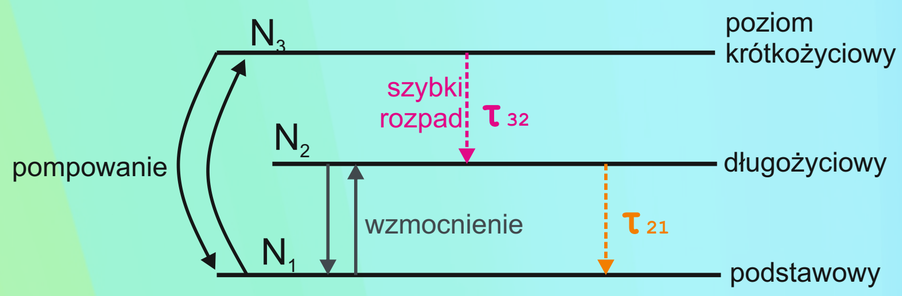
Oddziaływanie z materią



Światło może oddziaływać z materią na 3 sposoby: zostać zaabsorbowane, wywoływać emisję wymuszoną lub powstać w procesie emisji spontanicznej. Prawdopodobieństwa absorpcji i emisji wymuszonej są sobie równe.

Poprzez pochłonięcie fotonu o energii równej różnicy energii poziomów energetycznych, atom przejdzie do stanu wzbudzonego E_2. W procesach emisji kreowany jest foton o tej samej energii. Podczas emisji wymuszonej foton wymuszający i wykreowany mają identyczne własności.

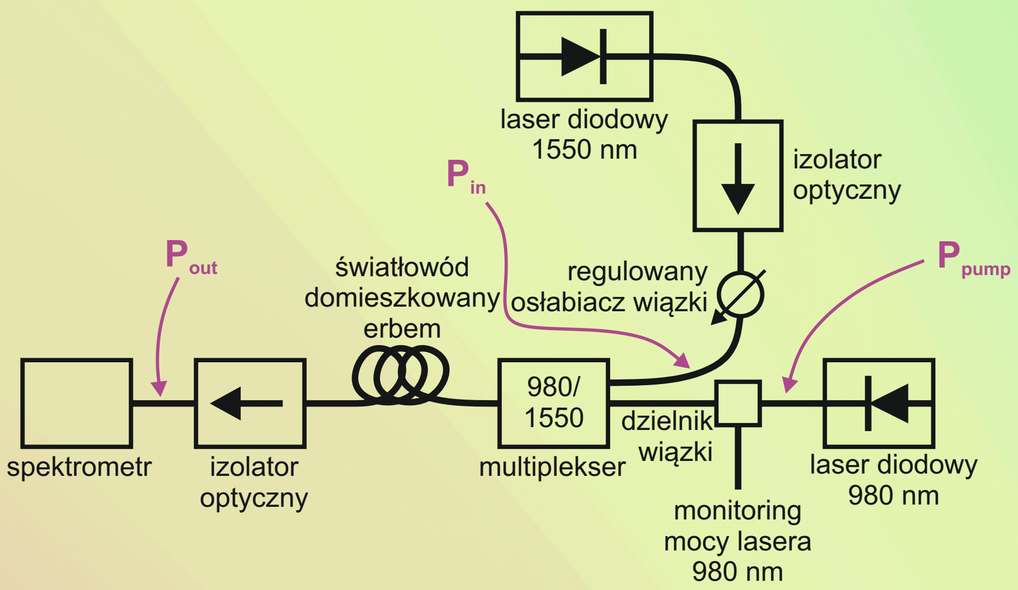
Układ trzypoziomowy



Ośrodek, w którym różnica obsadzeń poziomów $N=N_2-N_1$ jest dodatnia to ośrodek wzmacniający. Aby utworzyć inwersję obsadzeń potrzebne jest zewnętrzne źródło energii (pompa) wzbudzające atomy ośrodka.

W praktyce wymaga to zaangażowania w proces pompowania wyższego, krótkożyciowego poziomu, ponieważ pompowanie dwupoziomowego ośrodka może co najwyżej wyrównać ich obsadzenia (akty emisji równoważą akty absorpcji).

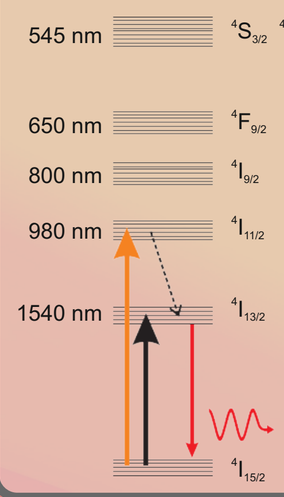
Układ doświadczalny



Powyższy schemat przedstawia *układ wzmacniacza typu EDFA* (*Erbium-Doped Fiber Amplifier* – wzmacniacz optyczny ze światłowodu domieszkowanego erbem) wraz z zaznaczonymi miejscami mierzenia mocy światła. Na podstawie pomiarów można wyznaczyć stałe zaniku τ_{21} oraz τ_{32} dla materiału ośrodka wzmacniającego.

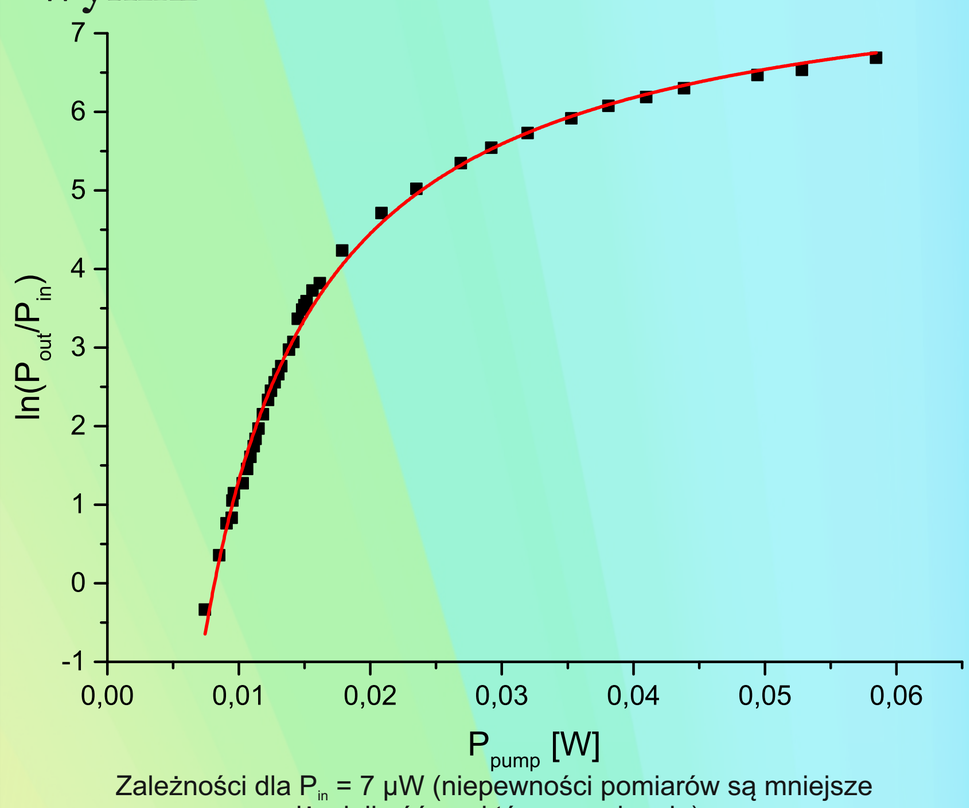
Wykorzystywanym ośrodkiem wzmacniającym był światłowód domieszkowany jonami erbu Er^{3+}. Jego powłoka 4*f* jest rozszczepiona na wiele poziomów, na skutek oddziaływań spin-spin i spin-orbita.

Przejście ze stanu wzbudzonego $^4I_{13/2}$ do podstawowego $^4I_{15/2}$ zachodzi z emisją fali 1540 nm. Widmo charakterystyczne jonów erbu cechuje się szerokim pasmem emisyjnym wyśrodkowanym na długości fali 1550 nm (ze względu na zanieczyszczenia światłowodów jonami OH^- efektywne wzmacnianie światła możliwe jest w okolicach okien transmisyjnych czyli lokalnych minimów absorpcji wokół długości fal 850 nm, 1300 nm i 1550 nm). Emisja w tym zakresie spektralnym otrzymywana jest przez pompowanie światłem 800 nm, 980 nm lub 1480 nm. Dzięki tym efektom w układzie możemy uzyskać inwersję obsadzeń, pozwalającą nam wzmocnić światło.



Schematyczny układ poziomów energetycznych 4*f* jonu Er^{3+}; przejście 1540 nm (wzbudzenie światła o długościach fal 980 nm i 1480 nm)

Wyniki



Zależności dla P_{in} = 7 μW (niepewności pomiarów są mniejsze niż wielkość punktów na wykresie).

Do danych pomiarowych dopasowano krzywą postaci:

$$\ln(P_{out}/P_{in})=N_A\sigma_{1550}L\,\frac{(\tau_{21}-\tau_{32})W_p-1}{W_p(2\tau_{32}+\tau_{21}+3\tau_{21}\tau_{32}W_i)+2\tau_{21}W_i+1}=\frac{ax-b}{cx+d}$$

$$W_p=\frac{P_{pump}\sigma_{980}}{0{,}6\,Sh\nu}$$

Współczynniki wyznaczone przy pomocy programu Mathematica 9:

a = 2946.17(57) [W^{-1}] b = 24.00(21)

c = 366.9(4.6) [W^{-1}] d = 0.51(14)

$d < 1 \longrightarrow \tau_{21} = \tau_{21}(d) < 0 \longrightarrow$ nie można wyznaczyć $\tau_{32} = \tau_{32}(\tau_{21})$

Wnioski

Chcąc wyznaczyć τ_{21} okazało się, iż wyliczana wartość jest ujemna, co jest sprzeczne z logiką. Wydaje się, że dopasowana krzywa dobrze odpowiada punktom pomiarowym. Niepoprawne wartości mogą wynikać z pomijania niektórych zjawisk podczas analizowania doświadczenia (np. oddziaływanie fotonów z innymi poziomami energetycznymi), stratami ze względu na jakość łączeń układu, zgięcia światłowodów, rozproszenie Rayleigha, jakość (chropowatość) materiału oraz jego zanieczyszczenia. Model jest również bardzo czuły na wartość gęstości jonów N_A, która jest trudna do wyznaczenia.

Oczekiwane wartości stałych zaniku [1]:

τ_{21} = 10 ms, τ_{32} = 2 μs

Literatura

[1] *Instrukcja do doświadczenia O2*, Uniwersytet Jagielloński, Instytut Fizyki, II pracownia fizyczna

[2] Ziętek, Bernard, *Optoelektronika*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, 2004