Z16 - Laser Nd:YAG

II Pracownia Fizyczna
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z fizycznymi podstawami generacji promieniowania laserowego na przykładzie lasera Nd:YAG. W trakcie ćwiczenia badany jest wpływ rezonatora i szybkości pompowania kryształu Nd:YAG na parametry wiązki laserowej generowanej na długości fali $1064nm$. Wyznaczane są parametry rezonatora, przy których zachowuje się on jak rezonator stabilny. Studenci mierzą także moc optyczną powstałej wiązki laserowej w zależności od współczynnika transmisji jednego ze zwierciadeł. Na podstawie tak wyznaczonej charakterystyki wyliczane są: poziom strat w rezonatorze i wzmocnienie ośrodka laserowego. Kolejnym etapem ćwiczenia jest obserwacja generacji drugiej harmonicznej wewnątrz rezonatora lasera Nd:YAG. Ostatnią częścią ćwiczenia jest pomiar profilu i rozbieżności wychodzącej wiązki laserowej.

Zagadnienia do przestudiowania

1. Zasada generacji promieniowania laserowego, powstawanie różnicy obsadzeń w układzie trójpoziomowym vs. czteropoziomowym, podstawowe elementy lasera [1, 2]
2. Rozkłady modów wnęk laserowych (podłużne i poprzeczne) [1, 2]
3. Dopasowanie fazowe i metody dopasowania używane podczas generacji drugiej harmonicznej (ogólnie) [1, 2, 3]
4. Szerokość wiązki laserowej i metoda jej pomiaru zwana knife-edge [4]

Zadania obliczeniowe

1. Wyznaczyć względną różnicę obsadzeń pomiędzy poziomami laserowymi Nd^{3+} a stanem podstawowym, gdy układ znajduje się w równowadze termodynamicznej. Obliczenia wykonać dla temperatur z zakresu od 200 K do 320 K, a wyniki przedstawić w formie wykresu.
2. Rezonator jest zbudowany z dwóch wklęsłych zwierciadeł o promieniach krzywizny $r_1 = 50cm$ i $r_2 = 100cm$. Wyznaczyć maksymalną długość rezonatora przy której jest on jeszcze rezonatorem stabilnym.
3. Podać wzór opisujący dwuwymiarowy rozkład Gaussa o całkowitej objętości A i szerokościach mierzonych w $1/e^2$ wysokości równych w_x i w_y. Obliczyć z niego całkę $\int_{-\infty}^{x_0} dx \int_{-\infty}^{+\infty} dy$, gdzie x_0 jest parametrem.

Aparatura i materiały

Na zestaw do tego ćwiczenia składają się: stolik optyczny, ława optyczna, laser diodowy generujący na długości fali $\lambda = 808nm$, o mocy $P = 1,6W$, zwierciadło wklęsłe o promieniu krzywizny $r = -80mm$ i współczynniku odbicia $R = 90\%$, laser do justowania ($\lambda = 670nm$) o mocy $P < 5mW$, konwerter promieniowania podczerwonego na widzialne, miernik mocy lasera, kryształ KTP do podwajania częstotliwości, polaryzacyjna kostka światłodzieląca, ćwierćfalówka w oprawce obrotowej, zwierciadło płaskie o wysokim współczynniku odbicia, stolik przesuwny z przysłoną krawędziową, okulary ochronne.

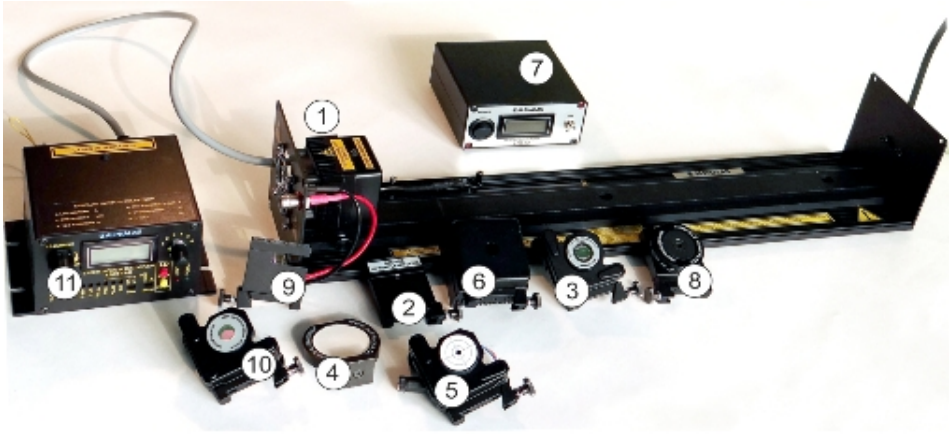
Program ćwiczenia

Czynności wstępne

1. Uruchomić laser diodowy @$808nm$ (pompujący). Zmierzyć moc wiązki lasera diodowego w zależności od wartości prądu zasilania
2. Zainstalować laser diodowy (@$670nm$) służący do justowania elementów optycznych lasera Nd:YAG (na drugim końcu ławy optycznej).
3. Zainstalować kryształ Nd:YAG w odległości ok. $5mm$ od lasera pompującego. Włączyć laser diodowy przy prądzie zasilania $1A$ i obserwując w okularach fluorescencję z kryształu ustawić go w odległości, dla której fluorescencja jest najsilniejsza.

Uzyskiwanie akcji laserowej oraz optymalizacja kształtu wiązki i jej mocy

4. W odległości około 50 mm od kryształu zainstalować zwierciadło zwrotne ($R = 90\%$, promień krzywizny $r = -80mm$). Wykorzystując laser justujący i kręcąc śrubami oprawki tego zwierciadła ustawić go tak, aby na ekranie wiązka odbita od sferycznej powierzchni zwierciadła pokryła się z wiązką odbitą od kryształu.
5. Wstawić konwerter podczerwieni za wnękę, ustawić prąd zasilania lasera pompującego na $2,0A$ i włączyć laser. Delikatnie regulować zwierciadłem zwrotnym tak, aby laser generował w modzie TEM_{00} a jego moc była maksymalna.
6. Zarejestrować zależność mocy lasera Nd:YAG w zależności od mocy wiązki pompującej.



1 laser diodowy
2 kryształ Nd:YAG
3 zwierciadło wklęsłe r = -80 mm
4 konwerter IR-VIS
5 laser justujący
6 głowica miernika mocy
7 miernik mocy
8 ćwierćfalówka
9 kostka światłodzieląca polaryzacyjna
10 zwierciadło HR płaskie
11 sterownik lasera diodowego

Rysunek 1: Zestaw elementów do budowy lasera Nd:YAG (LASKIT-500 firmy Alphalas GmbH)

Badanie stabilności rezonatora

7. Zmieniając odległość pomiędzy kryształem a zwierciadłem zwrotnym (sferycznym) w zakresie od 20 do $110mm$ zarejestrować maksymalną moc na wyjściu z lasera.

Wyznaczanie optymalnej wartości współczynnika transmisji zwierciadła zwrotnego

8. Wymienić lustro sferyczne na układ polaryzacyjnej kostki światłodzielącej, płytki ćwierćfalowej w oprawce obrotowej i lustra o dużym współczynniku odbicia. Ponownie wyjustować rezonator, ustawić konwerter podczerwieni przy otwartej, bocznej powierzchni kostki i uruchomić laser pompujący z prądem $2,0A$.

9. Obrócić ćwierćfalówkę tak, aby odbicie od kostki światłodzielącej obserwowane na konwerterze podczerwieni było maksymalne. Wstawić miernik mocy zamiast konwertera podczerwieni i dla pięciu zbliżonych wartości prądu diody $808nm$ wyznaczyć zależność pomiędzy mocą lasera a kątem ustawienia ćwierćfalówki.

Generacja drugiej harmonicznej

10. Zainstalować kryształ KTP (4x4x2 mm, oznaczony intracavity) jako wyjściowe lustro lasera (odległość od kryształu Nd:YAG powinna wynosić kilka mm). Wyjustować wnękę.

11. Przy prądzie diody $2,0A$ zoptymalizować wyjustowanie wnęki wykorzystując konwerter podczerwieni do obserwacji wiązki. Następnie zarejestrować zależność mocy drugiej harmonicznej lasera Nd:YAG w zależności od mocy wiązki pompującej ($808nm$).

Pomiar profilu i rozbieżności wiązki laserowej

12. Przygotować laser w konfiguracji z lustrem $r = -80mm$. Zanotować długość odległość powierzchni tworzących rezonator. Umieścić detektor na drodze wiązki laserowej w możliwie dużej odległości, ale tak by obejmował całą wiązkę. Można wykorzystać lustro HR $1064nm$, by „złamać" bieg wiązki i celować do detektora poza ławą optyczną.

13. Zainstalować stolik przesuwny tak by możliwe było przysłanianie wiązki. Przeprowadzić pomiar natężenia światła docierającego do detektora dla kilkudziesięciu istotnych położeń przesłony (Rys. 7). Uwaga na bezpieczeństwo tego pomiaru – wiązka odbita od przesłony powinna trafiać w konwerter podczerwieni.

14. Powtórzyć czynności z punktu powyżej dla kilku różnych odległości od rezonatora laserowego, za każdym razem notując tę odległość.

Opracowanie wyników

Szczegóły znajdują się w głównej instrukcji do ćwiczenia.

1. Wykreślić moc diody $808nm$ w funkcji jej prądu i wyznaczyć wartość prądu progowego

2. Wykreślić moc lasera Nd:YAG w funkcji mocy wiązki pompującej (wykorzystać charakterystykę z powyższego punktu). Przedyskutować tę zależność.

3. Wyznaczyć optymalną długość rezonatora, przy której laser osiąga największą moc oraz odległość, powyżej której wiązka laserowa znika. Wyznaczone wartości porównać z wartościami teoretycznymi. Omówić wpływ tzw. soczewki termicznej na wyniki doświadczenia.

4. Przedstawić wykres zależność mocy wyjściowej od współczynnika transmisji rezonatora (wyznaczonego z kąta ustawienia płytki ćwierćfalowej) dla kilku wartości prądu. Na podstawie tych zależności wyznaczyć optymalne wartości współczynnika transmisji zwierciadła oraz wzmocnienie i straty w rezonatorze.

5. Sporządzić wykres zależność mocy wiązki $532nm$ od mocy wiązki pompującej oraz współczynnika wydajności konwersji wyrażonego w %.

6. Wyznaczyć szerokości wiązki laserowej w zmierzonych położeniach dopasowując odpowiednie profile. Sporządzić wykres zależności wyznaczonych szerokości od odległości od wnęki. Wyznaczyć rozbieżność wiązki laserowej i podać jej wartość w mrad.

Zasady BHP

Proszę **bezwzględnie** zastosować się do następujących zasad bezpieczeństwa:

- Przed rozpoczęciem pracy proszę zdjąć z rąk rzeczy, które mogą spowodować przypadkowe odbicia wiązki światła. W szczególności chodzi o pierścionki, obrączki i zegarki.
- Pod żadnym pozorem nie wolno kierować wiązki światła bezpośrednio do oka.
- Obowiązkowo używać okularów ochronnych przewidzianych dla światła o długościach fali odpowiadających używanym źródłom światła.
- Nie wolno dotykać elementów optycznych palcami, gdyż może to doprowadzić do ich uszkodzenia.
- Nie umieszczać żadnych innych elementów niż kryształ Nd:YAG w odległości mniejszej niż $15mm$ od lasera pompującego.
- Zwrócić szczególną uwagę na rozproszenie światła laserowego podczas pomiaru profilu wiązki. Wszystkie osoby w pomieszczeniu muszą mieć założone okulary ochronne.

Literatura

[1] B.E.A. Saleh, M.C. Teich, *Fundamentals of Photonics*, Wiley 2007

[2] B. Ziętek, *Lasery*, Wydawnictwo UMK, Toruń 200)

[3] manual *LASKIT-500 ALPHALAS Theory + Experiment*

[4] materiały do ćwiczenia dostępne na stronie II PF