

LASERY I ICH ZASTOSOWANIE

Laboratorium

Instrukcja do ćwiczenia nr 4

Temat: Pomiar energii impulsu lasera neodymowego

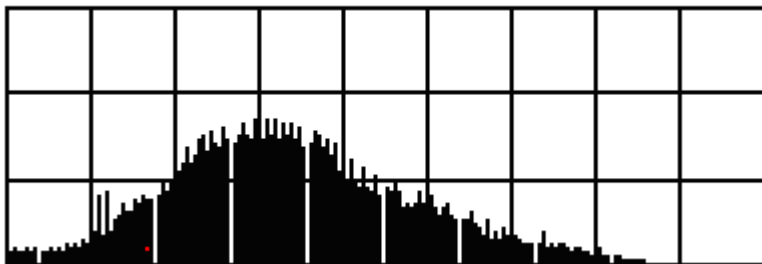
1. Cel i zakres ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z warunkami pracy impulsowego lasera na szkle neodymowym, zmierzenie energii impulsu. Ćwiczenie obejmuje wykonanie otworów w cienkiej metalowej blaszce oraz dyfrakcyjne pomiary parametrów geometrycznych tego otworu.

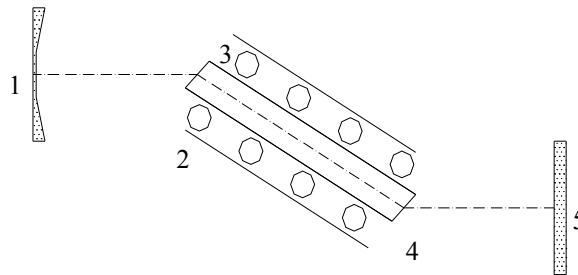
2. Wiadomości ogólne.

2.1 Laser na szkle domieszkowanym neodymem.

Szkła, będące ciałami bezpostaciowymi powstałymi przez stopienie tlenków krzemu, węglanów wapnia, sodu i potasu mogą być osnową materiałów czynnych, przy czym można uzyskać większe wymiary i lepsze właściwości optyczne prętów laserowych niż to ma miejsce w przypadku kryształów. Materiałem czynnym w szkle są najczęściej jony ziem rzadkich: neodym, terb, holm, europ. Najczęściej rozpowszechnionym materiałem jest szkło barowe domieszkowane neodymem. Impulsowo pobudzane lasery na szkle neodymowym stosowane w technologii elektronowej i obróbce materiałów są używane głównie do punktowego spawania małych elementów metalowych oraz drażenia małych otworów w metalach, diamentach, rubinach i ceramice. Pracują one wówczas najczęściej w sposób wielonożowy (tzw. Mody podłużne), w warunkach tzw. Swobodnej generacji tzn. przez prawie cały czas trwania impulsu pobudzającego. Laser jest pobudzany metodą pompowania optycznego, tzn. przez absorpcję promieniowania lampy błyskowej w pręcie laserowym. Energia impulsu promieniowania pobudzającego jest określona wartością energii zmagazynowanej w kondensatorze naładowywanym przez lampę błyskową. Laser emituje w sposób impulsowy wiązkę promieniowania o długości fali $\lambda=1,06\mu\text{m}$. Kształt swobodnie generowanego impulsu laserowego jest na ogół chaotyczny „wielospilkowy „ (rys. 1).



Rys.1 „Wielospilkowy” impuls promieniowania lasera neodymowego w warunkach swobodnej generacji (podstawa czasu 200 μ s/dz).



Rys.2 laser

Głowica lasera neodymowego:

1 – lustro $T=0\%$, $R=2000\text{mm}$,

2 – reflektor,

3 – spiralna lampa błyskowa,

4 – pręt na szkłe neodymowym $\varnothing 15\text{mm}$,

5 - lustro $T=30\%$, $R=\infty$.

Taki charakter generacji lasera jest spowodowany lokalnym wyczerpywaniem się pobudzenia pręta laserowego oraz jego termiczną deformacją optyczną. Widmo promieniowania jest złożone (zawiera wiele częstotliwości). Szerokość widma dla lasera neodymowego wynosi $\Delta \lambda=5\text{-}13\text{nm}$. Lasery neodymowe mogą również pracować w sposób jednomodowy, w modzie podstawowym TEM_{00} . Można to osiągnąć przez uniemożliwienie generacji modów wyższego rzędu np. wprowadzenie przesłon do rezonatora optycznego lasera. Energia impulsu promieniowania w drążarkach laserowych wynosi od 1÷10J. Sprawność laserów na szkłe neodymowym jest mała do kilku procent. Większość energii pobudzającej jest wydzielana w głowicy laserowej w postaci ciepła , powodując m.in. wzrost temperatury pręta laserowego. Powoduje to deformację optyczną i wpływa niekorzystnie na parametry promieniowania lasera. Jest to szczególnie ważne przy dużych częstotliwościach impulsów – pogarsza się powtarzalność wartości energii impulsów laserowych do ok. $\pm 10\%$.

Konstrukcja impulsowo pobudzanych laserów neodymowych zawiera:

1. Zespół głowicy laserowej (rys2) zawierający:

- pręt laserowy,
- rezonator optyczny,
- lampę błyskową,
- reflektor.

2. Baterię kondensatorów.

3. Zasilacz.

4. Układ chłodzenia głowicy laserowej.

Zespół głowicy laserowej musi zapewnić:

- maksymalne przekazywanie promieniowania pobudzającego z lamp do pręta laserowego,
- odpowiednie chłodzenie pręta laserowego i lampy błyskowej,
- odpowiednią sztywność mechaniczną rezonatora optycznego.

Wzrost temperatury pręta laserowego na skutek absorpcji promieniowania pobudzającego powoduje jego deformację optyczną wywołaną:

- zmianą wymiarów geometrycznych pręta,
- zmianą współczynnika załamania materiału pręta,
- powstaniem w pręcie naprężeń mechanicznych.

Rezonator optyczny w laserach z ciała stałego tworzą dwa selektywne, wiele warstwowe zwierciadła dielektryczne. Zwierciadła te są naparowane na płaskie lub wklęsłe podkłady ze szkła optycznego BK-7. Odchyłka płaskości lub sferyczności powierzchni podkładów wynosi najczęściej $\lambda/10$. Jedno ze zwierciadeł jest prawie w pełni odbijające (ze względów technologicznych współczynnik odbicia osiąga najwyżej 99,9%), drugie natomiast jest częściowo przepuszczające o współczynniku transmisji najczęściej w granicach 10-50%. Rezonator płaskosferyczne i sferyczne dają większą rozbieżność wiązki, są natomiast mniej wrażliwe na rozjustowanie. Zasilacz jest zasilany z sieci 230V, 50Hz i posiada regulację napięcia wyjściowego do $4\text{kV} \pm 1\%$. Natomiast pojemność baterii kondensatorów wynosi $150\mu\text{F}$.

3. Przebieg ćwiczenia.

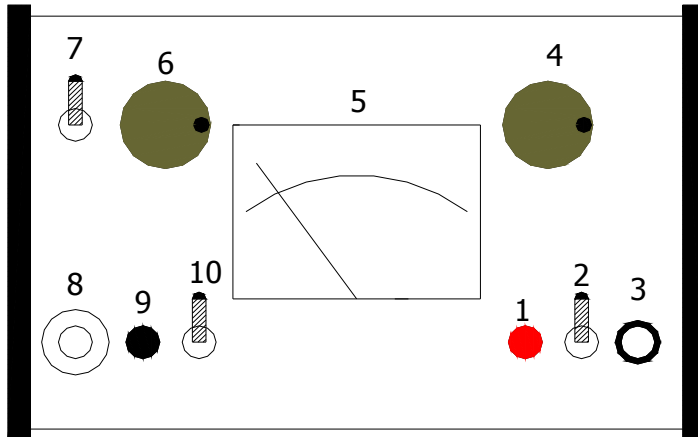
3.1. Pomiar energii impulsu laserowego.

Pomiar energii promienistej lasera impulsowego odbywa się przy pomocy miernika MODEL 142 INDIKATOR. Sonda pomiarowa miernika zamienia krótki impuls promieniowania laserowego na długi impuls elektryczny. Amplituda tego impulsu jest proporcjonalna do energii impulsu promieniowania laserowego. Sonda pomiarowa działa na zasadzie absorpcji objętościowej: Promień lasera pada na płytkę absorbenta, zamienia się na ciepło i podnosi jego temperaturę. Przyrost temperatury absorbenta jest mierzony za pomocą stosu termopar (rys.5).

Napięcie wyjściowe z sondy zostaje wzmocnione i można odczytać jego wartość na skali. Maksymalna wartość tego napięcia jest proporcjonalna do energii promienia laserowego tak, więc ze skali miernika odczytujemy wprost wartość energii promieniowania.

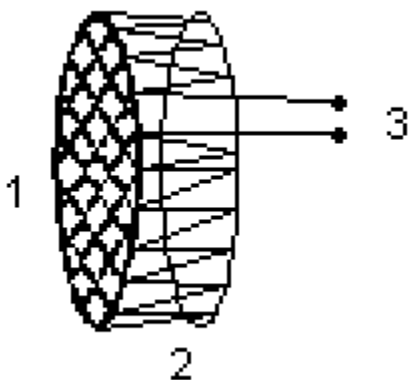
Obsługa przyrządu przy wykonywaniu pomiarów:

1. Przyrząd powinien być przyłączony do gniazdka z bolcem uziemiającym lub uziemiony dodatkowym przewodem.
2. Włączyć zasilanie miernika wyłącznikiem (2) i odczekać około 10 minut na nagrzanie przyrządu.
3. Przyłączyć przewodem koncentrycznym sondę pomiarową z gniazdem INP (8)
4. Przełącznik (7) ustawić w położenie górne.
5. Wyzerować miernik pokrętkiem zerowania (4) ADJUST OFFSET OR ZERO naciskając przycisk zero (9).
6. Ustawić sondę na drodze promienia laserowego.
7. Przełącznik (7) przestawić w położenie dolne PEAK HOLD.
8. Wyzwolić pojedynczy impuls lasera.
9. Odczytać na wskaźniku (5) wartość impulsu laserowego.
10. Następny pomiar można dokonać po upływie 60 sekund i wykonujemy czynności od punktu 4.



Rys.4. Miernik energii MODEL 142 INDIKATOR.

- 1- Lampka sygnalizacyjna włączanie zasilania MAINS.
- 2- Wyłącznik zasilania ON.
- 3- Gniazdo bezpiecznikowe.
- 4- Regulacja składowej stałej lub zera ADJUST OFFSET OR ZERO.
- 5- Wskaźnik wychyłowy.
- 6- Przełącznik zakresów.
- 7- Przełącznik rodzaju pracy: położenie górne – pomiary wartości chwilowej energii, położenie dolne – zatrzymanie maksymalnej wartości wskazań energii PEAK HOLD.
- 8- Wejście sygnału pomiarowego z sondy I.P.N.
- 9- Przycisk zerowania ZERO.
- 10- Przełącznik masy: położenie górne – wyłączenie, położenie dolne – włączenie ziemi MAINS EARTH.



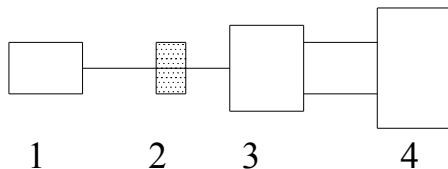
Rys. 5. Fotodetektor

1–Okrągła płytką absorbująca promieniowanie

2 –Stos termopar

3- Końcówki przylegające

Pomiar energii impulsu laserowego należ wykonać w układzie pomiarowym.



Rys.6. Schemat układu pomiarowego.

1- Laser.

2- Filtr neutralny.

3- Termostos.

4- Miernik energii.

- cała wiązka promieniowania laserowego powinna trafić do okienka wejściowego fotodetektora,
- filtry neutralne powinny być wyskalowane,
- średnica powierzchni czynnej okienka wejściowego fotodetektora powinna być większa od średnicy wiązki laserowej,
- Przed wykonaniem pomiaru należy sprawdzić czy energia wiązki laserowej nie przekracza energii dopuszczalnej czujnika, która wynosi 30 J/cm^2 .

Badania należy wykonać za pomocą filtru neutralnego.

3.2. Wykonanie otworu.

3.2.1. obliczanie średnicy wiązki zogniskowanej $2w'$ z zależności (2.1) dla $x_p = 0$ otrzymujemy

$$w' = \frac{\lambda f}{\pi w}$$

gdzie : λ - długość fali $1,06 \mu\text{m}$

f - ogniskowa soczewki (rys.9),

w – promień wiązki laserowej, w = 5 mm

Cienką blaszkę metalową umieszczamy w płaszczyźnie ogniskowej soczewki i wykonujemy otwór impulsem laserowym.

3.2.2 Pomiar średnicy wykonanego otworu (rys.7).

Schemat powstawania dyfrakcji Fraunhofera na kołowym otworze płaskim nieprzezroczystej przesłonie przedstawia rys.7. Wiązka oświetlająca otwór o średnicy a jest równoległa i ekran znajduje się w dostatecznie dużej odległości od otworu spełniając warunek

$$d \gg \left(\frac{a}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{\lambda}$$

Mierzmy odległości między ciemnymi prążkami tego samego rzędu. Sinus kąta φ_m z zależności :

$$\sin \varphi_m = \sin \arctg (l_m / 2a) \sim l_m / 2d$$

Średnicę a_m otworu obliczamy ze wzorów :

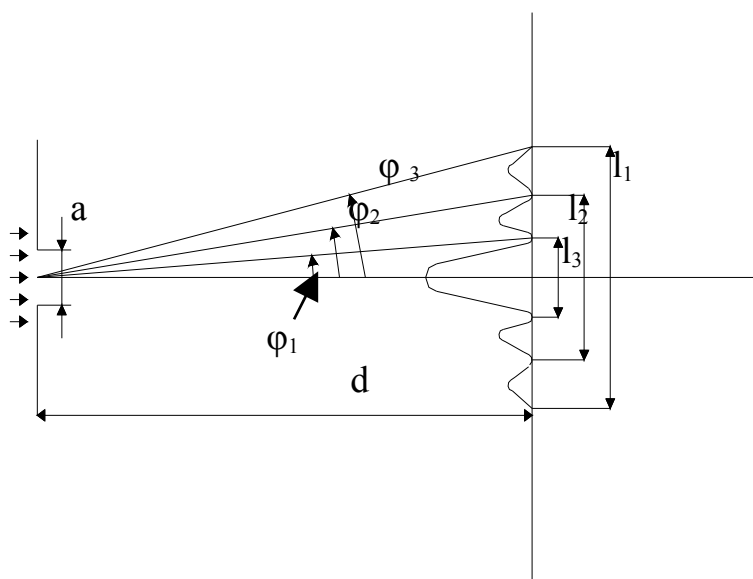
$$a_1 = 1,226 \cdot \lambda / \sin \varphi_1$$

$$a_2 = 2,333 \cdot \lambda / \sin \varphi_2$$

$$a_3 = 3,238 \cdot \lambda / \sin \varphi_3$$

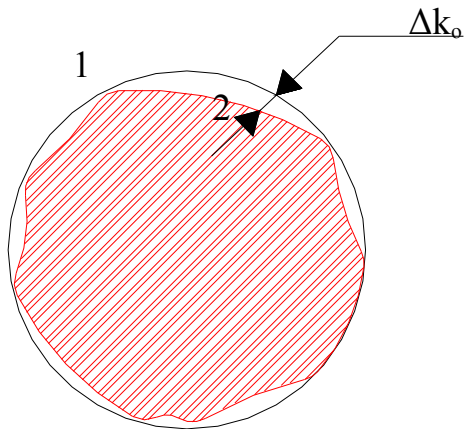
gdzie : $\lambda = 0,6328 \mu\text{m}$

Mamy do czynienia z serią pomiarową gdzie średnica otworu a_m jest otrzymana z różną dokładnością. Wartość średnią dla wszystkich pomiarów obliczamy wg następującego wzoru określającego tzw. Średnią ważoną a:



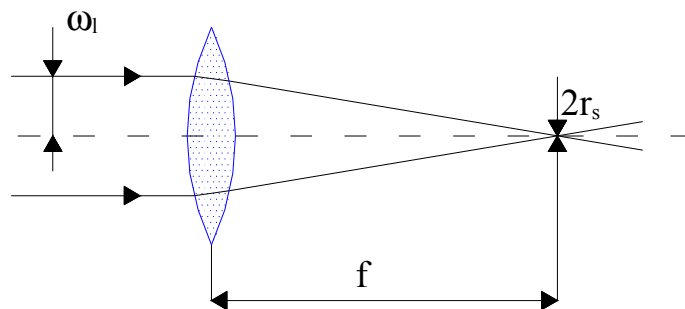
Rys.7. Pomiar średnicy otworu

a – średnica otworu, d – odległość od przedmiotu badanego, l_1, l_2, l_3 , - odległość pomiędzy minimami pierwszego, drugiego, trzeciego rzędu, $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – kąt ugięcia dla minimów pierwszego, drugiego, trzeciego rzędu



Rys.8. Odchyłka kołowości.

1 – okrąg rzeczywisty, 2 – okrąg przylegający, 3- Δk_0 – odchyłka kołowości.



Rys.9. Schemat ogniskowania wiązki laserowej.

$$a = \frac{\sum_{m/1}^n P_m \cdot a_m}{\sum_{m/1}^n P_m}$$

gdzie : p_m jest tzw. Waga poszczególnego pomiaru i wyraża się wzorem:

$$p_m = \frac{B}{(\Delta a_m)^2}$$

Błąd maksymalny średniej ważonej znajdujemy z zależności:

$$\Delta a = \frac{\sum_{m/1}^n P_m \cdot \Delta a_m}{\sum_{m/1}^n P_m}$$

gdzie: Δa_m – błąd maksymalny wyniku określony wg. wzoru.

$$\Delta a_m = \left| \frac{\partial a_m}{\partial d} \right| \cdot |\Delta d| + \left| \frac{\partial a_m}{\partial l_m} \right| \cdot |\Delta l_m|$$

4.3.2.4. odchyłka kołowości (rys.8).

Odchyłka kołowości – największa odległość między kołem rzeczywistym w przekroju poprzecznym walca kołowego do koła przylegającego.

Określamy odchyłkę kołowości otworu wg następującej zależności:

$$\Delta ko = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{2}$$

Gdzie: a_{\max} - średnica maksymalna otworu,

a_{\min} - średnica minimalna otworu.

4.3.2.4. Oblicz głębokości otworu.

$$d = \frac{H \cdot t_p}{\rho \cdot (C \cdot T_v + L_v)}$$

H - gęstość powierzchniowa mocy wiązki laserowej ($0,5 \cdot 10^{11}$ W/ m²),

t_p – czas trwania impulsu ($0,5 \cdot 10^{-3}$ s),

ρ – gęstość materiału z którego wykonana jest blaszka (7870 kg/m³),

C – ciepło właściwe (449 J/(kg · °K)),

T_v - temperatura wrzenia (3160° K),

L_v – ciepło parowania ($6,80 \cdot 10^6$ J/kg),

Literatura.

1. S. R. Meyer – Ardent: Wstęp do optyki , PWN W – wa 1997.
2. H. Klejman: Lasery, PWN W-wa 1977.
3. W. Wyrębski: Lasery właściwości budowa zastosowania specjalne, MON W-wa 1975.