

ULTRAKRÓTKIE IMPULSY ŚWIATŁA I ICH POMIAR

Materiały przeznaczone dla studentów kierunku
Zaawansowane Materiały i Nanotechnologia w IFUJ – rok akademicki 2017/18
prowadzący: dr hab. Krzysztof Dzierżęga

Laser femtosekundowy jest urządzeniem generującym ultrakrótkie impulsy światła, o czasie trwania od kilku do kilkudziesięciu femtosekund ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$). Impulsy takie mają zastosowanie tam, gdzie wymagana jest olbrzymia czasowa zdolność rozdzielcza i/lub duże chwilowe natężenie światła, a co za tym idzie - bardzo duże natężenie pola elektrycznego fali świetlnej. Laserem femtosekundowym zawdzięcza rozwój femtochemia (Nagroda Nobla z chemii w 1999), a także nowe metody w precyzyjnej spektroskopii laserowej (Nagroda Nobla z fizyki w 2005). Generacja ultrakrótkich impulsów światła jest możliwa dzięki szerokiemu pasmu wzmocnienia ośrodka czynnego lasera oraz zjawisku synchronizacji modów.

Celem tego ćwiczenia jest zapoznanie się z włóknowym (światłowodowym) laserem femtosekundowym - urządzeniem wytwarzającym ultrakrótkie impulsy światła w oparciu o włókno domieszowane jonami Er^{3+} oraz zasadami pomiaru parametrów tych impulsów takich jak energia, czas trwania i widmo.

Zagadnienia do samodzielnego przestudiowania

1. Właściwości światła laserowego [1].
2. Zasada generacji promieniowania laserowego, podstawowe elementy lasera [1, 2] oraz budowa lasera włóknowego [1].
3. Wytwarzanie ultrakrótkich impulsów laserowych metodą synchronizacji modów [1].
4. Efekty optyki nieliniowej, w szczególności generacja drugiej harmonicznej światła [1].
5. Metody autokorelacyjne pomiaru czasu trwania impulsu i budowa autokorelatora [1, 4].

Zadania

1. Wiązka lasera emitującego femtosekundowe impulsy światła została zogniskowana do plamki o średnicy $2w = 10 \mu\text{m}$. Energia pojedynczego impulsu wynosi 100 mJ a jego czas trwania $\Delta t = 50 \text{ fs}$. Obliczyć szczytowe natężenie światła I oraz amplitudę natężenia pola elektrycznego fali świetlnej E_0 w ognisku. Uzyskany wynik porównać z natężeniem pola elektrycznego, jakie „czuje” elektron na pierwszej orbicie atomu wodoru w modelu Bohra.

Wskazówka: związek pomiędzy natężeniem światła a amplitudą natężenia pola elektrycznego fali ma postać $I = \frac{1}{2}cn\epsilon_0|E_0|^2$, gdzie: c - prędkość światła w próżni, n - współczynnik załamania światła w ośrodku, ϵ_0 - przenikalność elektryczna próżni.

Aparatura i materiały

Zestaw ćwiczeniowy składa się z femtosekundowego lasera światłowodowego z podwajaczem częstości, półprzewodnikowych detektorów światła, oscyloskopu,

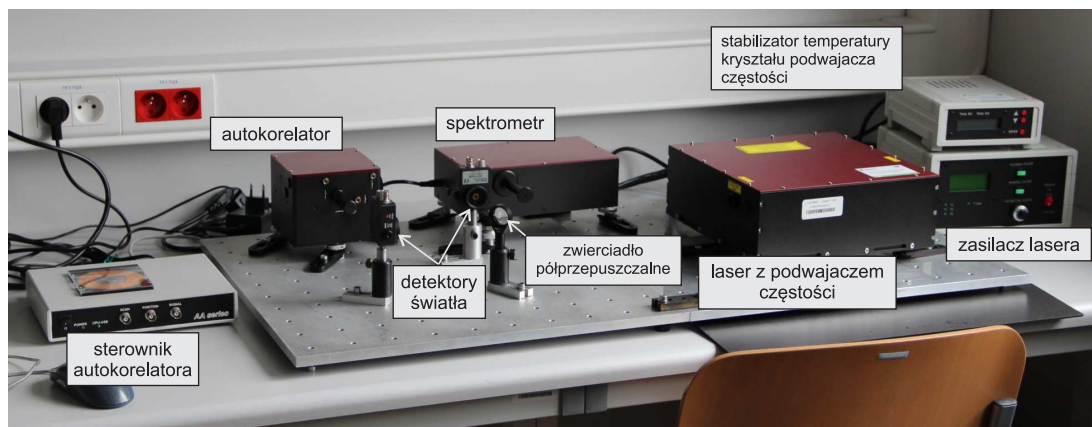
miernika mocy lasera, autokorelatora, spektrometru, elementów optycznych (soczewka skupiająca, lustro, dzielnik wiązki, filtry szare), opravek i uchwytów elementów optycznych, konwertera podczerwieni, wskaźnika laserowego.

W celu osiągnięcia stabilnych warunków pracy laser femtosekundowy oraz układ stabilizacji temperatury kryształu podwajania częstości powinny być włączone przez około pół godziny przed rozpoczęciem jakichkolwiek pomiarów ilościowych.

Natężenie prądu diody pompującej w laserze femtosekundowym oraz parametry stabilizacji temperatury kryształu podwajania częstości są ustawione fabrycznie i nie należy ich zmieniać.

Program ćwiczenia i opracowanie wyników pomiarów

1. Włączyć laser femtosekundowy, układ stabilizacji temperatury kryształu podwajania częstości oraz oscyloskop.
2. Laser femtosekundowy przestawić w tryb „FH” (generacji częstotliwości podstawowej).
3. Za pomocą konwertera podczerwieni zaobserwować wiązkę światła wytwarzanego przez laser.
4. Zmierzyć moc wiązki lasera.
5. Wyłączyć wzmacniacz, laser femtosekundowy przestawić w tryb „SH” (generacji drugiej harmonicznej), włączyć wzmacniacz.
6. Za pomocą konwertera podczerwieni zaobserwować wiązkę światła wytwarzanego przez laser.
7. W pobliżu czerwonej wiązki lasera można zaobserwować dwie plamki: zieloną i niebieską. Wyjaśnić ich pochodzenie.



Rysunek 1: Zestaw eksperymentalny lasera femtosekundowego wraz z autokorelatorem.

8. Zmierzyć moc wiązki lasera oraz obliczyć współczynnik sprawności konwersji kryształu drugiej harmonicznej. Obliczyć natężenie światła.
9. Za pomocą spektrometru zmierzyć widmo światła wytwarzanego przez laser, podać jego szerokość połówkową.
Uwaga! Do wejścia światłowodu należy wprowadzić osłabioną wiązkę lasera.
10. Do wejścia oscyloskopu podłączyć półprzewodnikowy detektor światła. Wiązkę światła z lasera skierować na detektor. Zaobserwować sygnał na oscyloskopie w zależności od ustawienia parametru „Termination” (50 Ω lub 1 MΩ). Zmierzyć częstotliwość impulsów oraz ich czas trwania. Wyniki porównać z parametrami podanymi przez producenta lasera, skomentować rozbieżności.
11. Na podstawie powyższych pomiarów obliczyć energię pojedynczego impulsu światła.
12. Do drugiego kanału oscyloskopu podłączyć drugi detektor światła. Za pomocą płytki światłodzielnącej podzielić wiązkę światła z lasera na dwie wiązki. Skierować te wiązki światła na detektory. Zaobserwować sygnały na oscyloskopie w zależności od odległości drugiego detektora od dzielnika wiązki. Zmierzyć prędkość światła w powietrzu.
13. Sprawdzić, czy na poprawność wykonanego wcześniej pomiaru ma wpływ odpowiedni dobór długości kabli łączących detektory z oscyloskopem. Zaproponować metodę pomiaru prędkości propagacji impulsu elektrycznego w kablu koncentrycznym.
14. Przy pomocy układu dwóch lusterek skierować część wiązki lasera do wejścia autokorelatora.
Uwaga! Do wejścia światłowodu należy wprowadzić osłabioną wiązkę lasera o mocy mniejszej niż 20 mW. Wyjustować układ. Zmierzyć czas trwania impulsu.
15. Korzystając z wyników powyższych pomiarów sprawdzić, czy spełniona jest zasada nieoznaczoności czas – energia $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$.

Zasady BHP

Ponieważ w ćwiczeniu wykorzystywane jest silne promieniowanie laserowe widzialne i niewidzialne oraz delikatne elementy optyczne wymagane jest od studenta stosowanie się do poniższych zasad.

- Nie wolno patrzeć wprost w wiązkę laserową, gdyż może to doprowadzić do trwałej utraty wzroku.
- Długotrwałe patrzenie wprost na plamkę laserową może doprowadzić do trwałej utraty wzroku.
- Nie wolno kierować wiązki laserowej na inne osoby.
- Jakiegokolwiek zmiany układu optycznego, tj. przedstawianie lusterek, płytki światłodzielnącej itp., mogą być dokonywane tylko przy wyłączonym wzmacniaczu lasera lub przy zasłoniętej wiązce laserowej.
- Nie wolno dotykać elementów optycznych (lustra, dzielniki wiązki laserowej, okienka komórki, detektory), gdyż może to doprowadzić do ich zniszczenia.
- Przed rozpoczęciem zajęć zapoznać się z instrukcją obsługi lasera [3].

Literatura

- [1] B.E.A. Saleh, M.C. Teich, *Fundamentals of Photonics*, Wiley 2007.
- [2] B. Ziętek, *Lasery* (Wydawnictwo UMK, Toruń 2008).
- [3] *User Manual Femtosecond fiber laser with a SHG unit Model EFOA-SH Instruction Manual* (Avesta Ltd.).
- [4] *Scanning Autocorrelator Model: AA-20DD Instruction Manual* (Avesta Project Ltd.).