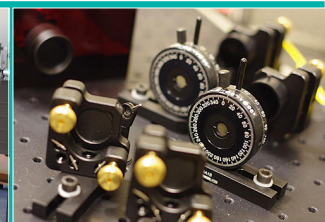


Ćwiczenie 23

Badanie własności laserów na ciele stałym



I. Zagadnienia do opracowania.

1. Czasowa i przestrzenna spójność światła.
2. Oddziaływanie fali elektromagnetycznej z ośrodkiem materialnym:
 - a) absorpcja promieniowania;
 - b) emisja spontaniczna ;
 - c) emisja wymuszona;
 - d) promieniowanie dipolowe i prawdopodobieństwa absorpcji oraz emisji spontanicznej i wymuszonej;
 - e) współczynniki Einsteina;
 - f) czasy życia w stanach wzbudzonych;
 - g) profil linii widmowej; profile Lorentza i Gaussa.
3. Inwersja obsadzeń stanów atomowych.
4. Powstawanie pasm energetycznych w kryształach.
5. Domieszkowane jony jako centra luminescencyjne w kryształach.
6. Rodzaje laserów na ciele stałym.
7. Budowa i zasada działania lasera na trójwartościowych jonach ziem rzadkich Nd:YAG.
8. Pompowanie laserów na ciele stałym.
9. Lasery półprzewodnikowe:
 - a) przejścia promieniste w półprzewodnikach;
 - b) przewodnictwo półprzewodników;
 - c) złącza p – n w laserach półprzewodnikowych (homo - i heterozłącza);
 - d) wzmocnienie promieniowania w laserach półprzewodniku.
10. Absorpcja promieniowania w kryształach Nd:YAG.
11. Podstawowe własności laserów i akcji laserowej:
 - a) próg akcji laserowej;
 - b) rodzaje wnęk rezonansowych i ich wpływ na warunki rezonansu;
 - c) struktura modowa promieniowania lasera;
 - d) krzywa wydajności lasera;
 - e) moc wyjściowa lasera.

II. Zadania doświadczalne.

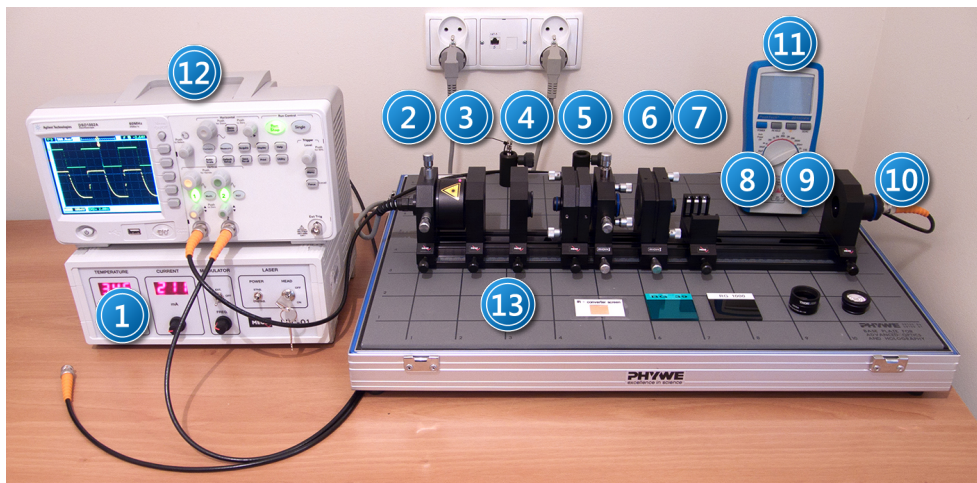
1. Zapoznać się z elementami stanowiska pomiarowego przedstawionymi na *Zdjęciach 1 – 4*.
2. Dokonać pomiarów mocy wyjściowej lasera półprzewodnikowego w funkcji natężenia prądu na złączu wykonując kolejno polecenia II.3. – II.12.



UWAGA!

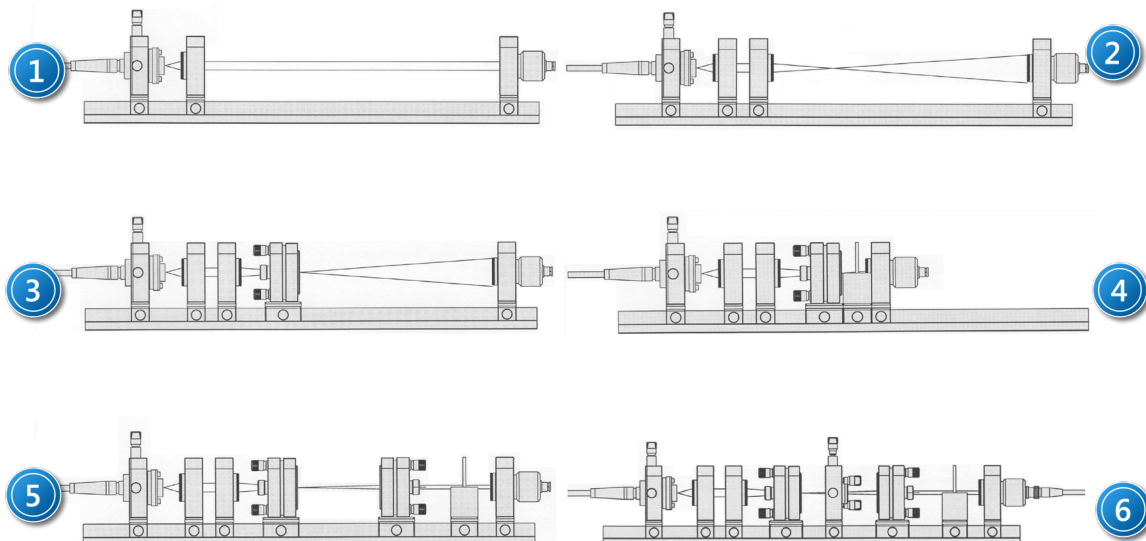
**Założyć okulary ochronne w trakcie pracy z laserem.
Ciągła moc wyjściowa lasera Nd:YAG przekracza 1mW a więc światło lasera jest niebezpieczne dla oczu !!!**

- Korzystając ze schematu 1 na Rysunku 2 zmontować na ławie optycznej układ składający się z następujących elementów: lasera półprzewodnikowego (z lewej strony ławy optycznej), kolimatora ($f = 6 \text{ mm}$) oraz fotodiody przesłoniętej ekranem wizualizacyjnym (na prawym końcu ławy).



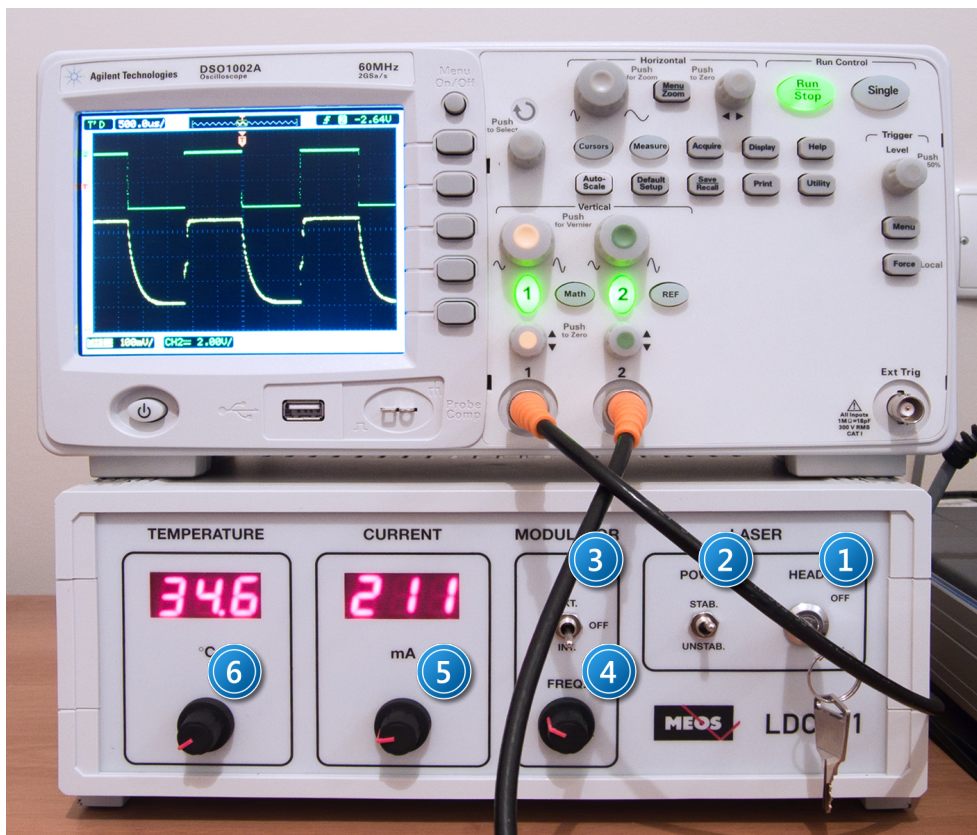
Zdjęcie 1 Stanowisko pomiarowe do badania własności lasera Nd:YAG: 1 – zasilacz diody laserowej; 2 – półprzewodnikowa dioda laserowa ($\lambda = 808,4 \text{ nm}$); 3 – kolimator ($f = 6 \text{ mm}$); 4 – soczewka ($f = 50 \text{ mm}$); 5 – kryształ Nd: YAG; 6 – kryształ KTP; 7 – lustro; 8 – uchwyty do filtrów; 9 – ława optyczna; 10 – fotodioda Si; 11 – miernik uniwersalny; 12 – oscyloskop; 13 – zestaw akcesoriów (karta wizualizacyjna IR; filtry: BG39, RG1000, filtr szary o gęstości optycznej 1,1; zatyczka do fotodiody).

- Włączyć kolejno zasilanie tak zestawionego układu. Sprawdzić czy głowica lasera półprzewodnikowego 2, Zdjęcie 1 jest podłączona do zasilacza (złącze 1 na Zdjęciu 4). Pokrętki kontroli prądu i temperatury (5 i 6 na Zdjęciu 3) skrócić maksymalnie w lewo. Włączyć zasilacz włącznikiem głównym 6, Zdjęcie 4 (na tylnej płycie zasilacza). Przekręcić kluczyk 1, Zdjęcie 3 w pozycję ON. Zapalenie się czerwonej diody na głowicy lasera oznacza, że można dokonać ustawień wartości temperatury i prądu na złączu lasera półprzewodnikowego.



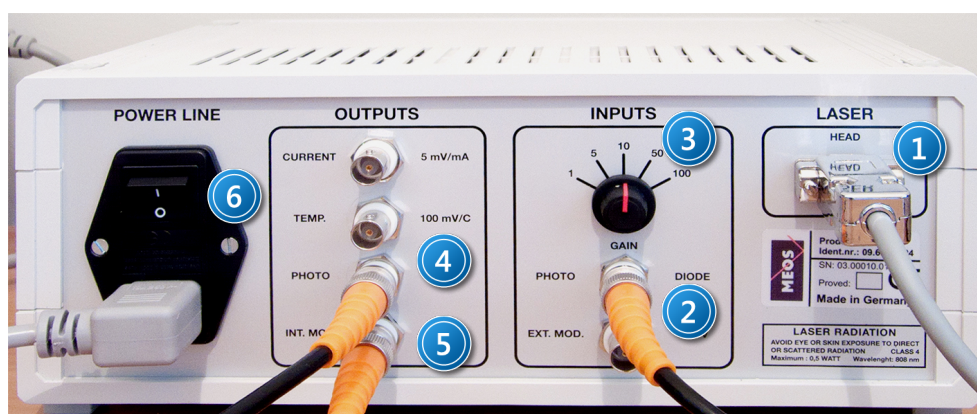
Rysunek 2. Widok poszczególnych etapów budowy układu lasera Nd:YAG: 1 – układ do pomiaru mocy półprzewodnikowego lasera pompującego; 2 – ustawienie soczewki skupiającej; 3 – ustawienie kryształu Nd:YAG; 4 – układ do pomiaru absorpcji kryształu Nd:YAG; 5 – układ optyczny lasera Nd:YAG; 6 – układ optyczny lasera Nd:YAG z podwajaczem częstości.

5. Przełączniki 2 i 3, *Zdjęcie 3* ustawić odpowiednio w pozycję trybu pracy stabilizowanej (Stab.) i w pozycję OFF trybu pracy ciągłej.



Zdjęcie 3. Widok płyt czołowych zasilacza lasera półprzewodnikowego LDC-01 oraz oscyloskopu DSO1002A: 1 – włącznik zasilania lasera; 2 – przełącznik stabilizacji prądowej; 3 – przełącznik pracy ciągłej/impulsowej lasera; 4 – pokrętło częstotliwości w trybie pracy impulsowej lasera; 5, 6 – moduły kontroli prądu oraz temperatury na złączu p-n lasera.

6. Ustawić maksymalną wartość natężenia prądu 560 mA kręcąc pokrętłem 5, *Zdjęcie 3* w prawo.



Zdjęcie 4. Widok tylnego panela zasilacza lasera półprzewodnikowego: 1 – złącze zasilające głowicę laser; 2 – wejście BNC do podłączenia sygnału wejściowego z fotodiod; 3 – pokrętło wzmacnienia sygnału wejściowego z fotodiody; 4 – wyjście BNC sygnału z fotodiody; 5 – wyjście BNC synchronizujące; 6 – włącznik główny.

7. Ustawić kolimator tak (1 – 2 mm od lasera), aby otrzymać równoległą wiązkę światła.
8. Regulując położenie głowicy lasera naprowadzić wiązkę na środek ekranu wizualizującego.
9. Podłączyć fotodiodę do wejścia przedwzmacniacza 2, *Zdjęcie 4*. Przełącznik wzmacnienia 3, *Zdjęcie 4* ustawić w pozycji x1.
10. Usunąć przed fotodiody ekran a włożyć filtr szary o gęstości optycznej 1 D lub większej.
11. Wyjście wzmacniacza 4, *Zdjęcie 4* połączyć z miernikiem uniwersalnym 11, *Zdjęcie 1* ustawionym na pomiar napięcia stałego, DC.
12. Zmierzyć moc wyjściową P lasera dla dwóch temperatur 5 °C i 45 °C w funkcji natężenia prądu I płynącego przez złącze lasera półprzewodnikowego w zakresie od 0 mA do 560 mA co 25 mA.
13. Sporządzić wykres $P = f(I)$ dla obu temperatur $T = 5\text{ °C}$ i $T = 45\text{ °C}$.
Określić próg generacji emisji wymuszonej lasera półprzewodnikowego.
14. Zmierzyć moc wyjściową lasera półprzewodnikowego w zależności od temperatury wykonując polecenia z punktów II.15. – II.18.
15. Pokrętle 5, *Zdjęcie 3* ustawić maksymalną wartość natężenia prądu 560 mA.
16. Przełącznik wzmacnienia 3, *Zdjęcie 4* ustawić w pozycji x1.
17. Pokrętle 6, *Zdjęcie 3* zmieniać temperaturę od 5 °C do 45 °C co 2 °C notując każdorazowo wskazania miernika uniwersalnego 11, *Zdjęcie 1*.
18. Przekręcić kluczyk 1, *Zdjęcie 3* w pozycję OFF.
19. Korzystając z wykresu na *Rysunku 5* w *Dodatku A* przeliczyć wartości napięć na wartości mocy (uwzględnić ustawioną wartość wzmacnienia i tłumienie filtra).
20. Sporządzić wykres $P = f(T)$, $I = \text{const}$.
21. Wykonać pomiary absorpcji kryształu YAG domieszkowanego neodymem Nd od II.21. do II.28.
22. Umieścić ekran wizualizujący przed fotodiodą.
23. Umieścić na ławie optycznej, za kolimatorem soczewkę skupiającą 4, *Zdjęcie 1*. Przesuwając ją w stronę kolimatora dobrać takie jej położenie, aby ekran wizualizacyjny był oświetlony jak na schemacie 2 na *Rysunku 2*.
24. Wstawić kryształ Nd:YAG 5, *Zdjęcie 1* w tor optyczny, usunąć ekran wizualizacyjny – układ ma wyglądać jak na schemacie 3, *Rysunek 2*.
25. Przekręcić kluczyk 1, *Zdjęcie 3* w pozycję ON, ustawić maksymalną wartość prądu 560 mA.
26. Przemieszczając delikatnie kryształ dobrać takie jego położenie, przy którym wskazania miernika uniwersalnego będą maksymalne.
27. Przełącznik wzmacnienia 3, *Zdjęcie 4* ustawić w pozycji x10.
28. Zmieniając temperaturę od 5 °C do 45 °C co 2 °C notować wartości napięć na mierniku.
29. Sporządzić wykres $A = f(T)$, $I = \text{const}$.
Określić obszar największej absorpcji jonu Nd^{3+} .
30. Wyznaczyć profil zaniku luminescencji kryształu Nd:YAG według punktów II.31 – II.36.
31. Ustawić natężenie prądu na wartość 560 mA kręcąc pokrętle 5, *Zdjęcie 3* w prawo.
32. Pokrętle 6, *Zdjęcie 3* dobrać taką wartość temperatury, dla której absorpcja kryształu Nd:YAG jest największa.
33. Przełącznik 3, *Zdjęcie 3* ustawić w pozycji INT.
34. Zmontować układ jak na schemacie 4, *Rysunek 2* wstawiając uchwyt na filtr (8, *Zdjęcie 1*) z filtrem FG 1000 i dosunąć fotodiodę blisko do filtra.

35. Na kanał 1 oscyloskopu podłączyć sygnał z fotodiody; na kanał 2 – z wyjścia synchronizującego 5, *Zdjęcie 4*.
36. Obserwowane przebiegi zapisać w zewnętrznej pamięci USB według opisu w *Dodatku B*.
37. Wykonać pomiary mocy wyjściowej lasera Nd:YAG w funkcji mocy lasera półprzewodnikowego według punktów II.38. – II.43.
38. Ustawić natężenie prądu na wartość 560 mA kręcąc pokrętką 5, *Zdjęcie 3* w prawo.
39. Przełącznik 3, *Zdjęcie 3* ustawić w pozycji OFF.
40. Zmontować układ jak na schemacie 5 na *Rysunku 2* mocując tuż przed fotodiodą filtr o gęstości optycznej 1 D lub większej a za nim filtr RG 1000 (w uchwycie 8, *Zdjęcie 1*) oraz zwierciadło (7, *Zdjęcie 1*) w odległości około 100 mm od kryształu Nd:YAG.
41. Podłączyć fotodiodę do wejścia przedwzmacniacza 2, *Zdjęcie 4* a przełącznik wzmocnienia 3 ustawić w pozycji x10.
42. Zmieniając położenie oraz równoległość lusterek 5 i 7 *Zdjęcie 1* dobrać ich położenie tak, aby sygnał obserwowany na mierniku był maksymalny.
43. Korzystając z wykresu na *Rysunku 6* sporządzić wykres mocy wyjściowej P_{YAG} lasera Nd:YAG w funkcji mocy P lasera półprzewodnikowego $P_{YAG} = f(P)$, T const.
44. Wykonać pomiary mocy wyjściowej P_{SHG} lasera SHG (z podwajaczem częstotliwości) wstawiając pomiędzy lustro rezonatora kryształ KTP (6, *Zdjęcie 1*) podwajający częstotliwość tak jak na schemacie 6 na *Rysunku 2*.
45. Zmieniając położenie kryształu KTP we wnęce jak i jego prostopadłość względem osi optycznej ustalić takie jego położenie, przy którym sygnał na mierniku będzie maksymalny.
46. Posługując się wykresem na *Rysunku 7* sporządzić wykres $P_{SHG} = f(P)$, T const.
47. Zinterpretować wyniki uzyskane w punktach 13, 29, 30, 43, 46.

III. Zestaw przyrządów.

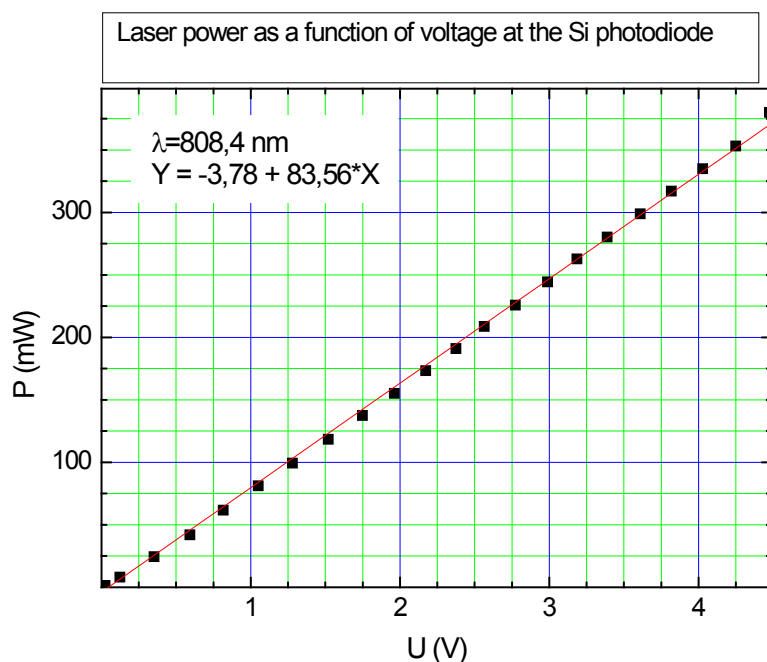
1. Zasilacz LDC-01 głowicy lasera półprzewodnikowego.
2. Głowica lasera półprzewodnikowego model LDS 1200.
3. Kolimator wiązki o ogniskowej 6 mm.
4. Soczewka o ogniskowej 50 mm.
5. Kryształ Nd:YAG z napyłonym lustrem zamocowany w uchwycie XY.
6. Kryształ KTP generujący drugą harmoniczną zamontowany w uchwycie XY.
7. Lustro zamontowane w uchwycie XY.
8. Uchwyt do filtrów.
9. Ława optyczna.
10. Detektor - dioda półprzewodnikowa z ekranem wizualizacyjnym.
11. Miernik uniwersalny.
12. Oscyloskop dwukanałowy model DSO 1002 A (Agilent Technology)
13. Zestaw akcesoriów: ekran wizualizacyjny IR, filtr pasmowy 532 nm (BG39) oraz 1064 nm (RG 1000), filtr absorpcyjny o gęstości optycznej 1,1D, ekran wizualizacyjny zakładany na fotodiodę.

IV. Literatura.

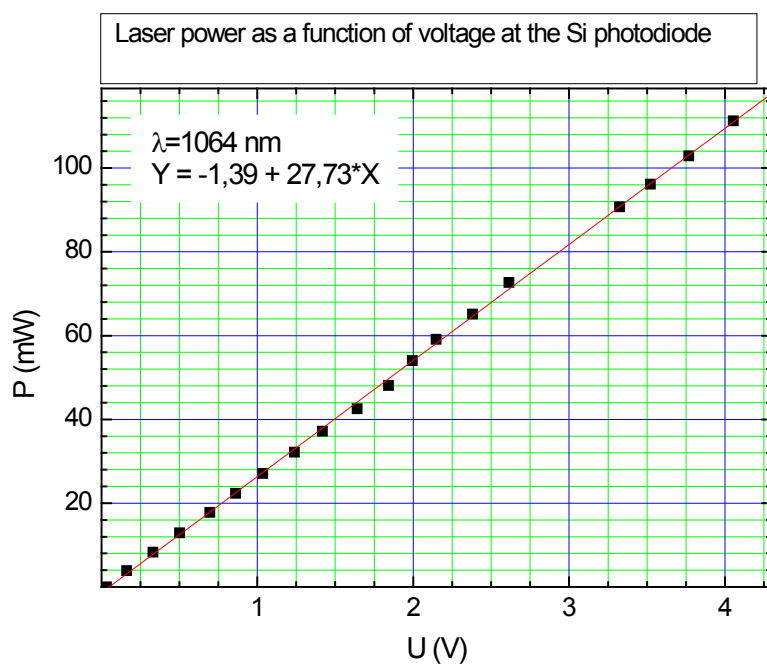
1. H. Klejman – „*Lasery*”, PWN, Warszawa 1974.
2. W. Brunner – „*Elektronika kwantowa, wprowadzenie do fizyki laserów*”, WNT, Warszawa 1980.
3. N.V. Karlov – „*Wykłady z fizyki laserów*”, WNT, Warszawa 1989.
4. W. Demtröder – „*Spektroskopia laserowa*”, PWN, Warszawa 1993.
5. Z. Bielecki – „*Detekcja sygnałów optycznych*”, WNT, Warszawa, 2001.
6. B. Ziętek – „*Optoelektronika*”, Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń 2005.
7. B. Ziętek – „*Lasery*”, Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń 2008.
8. K. Shimoda – „*Wstęp do fizyki laserów*”, PWN, Warszawa 1993.
9. A. Kujawski, P. Szczepański – „*Lasery. Podstawy fizyczne*”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
10. N.W. Ashcroft, N.D. Mermin – „*Solid State Physics*”, Saunders College, Philadelphia 1976.
11. K. Shimoda – „*Introduction to Laser Physics*”, Springer, 1986.
12. W.W. Chow, S.W. Koch, M. Sargent – „*Semiconductor – Laser Physics*”, Springer, Berlin 1997.
13. W. Demtröder – „*Laser Spectroscopy. Basic Concepts and Instrumentation*”, Springer, 1988.
14. H. Abramczyk – „*Introduction to Laser Spectroscopy*”, Elsevier Science, Amsterdam 2005.
15. W. Demtröder – „*Atoms, Molecules and Photons: an Introduction to Atomic-, Molecular- and Quantum-Physics*”, Springer, Berlin 2006.

Dodatek A

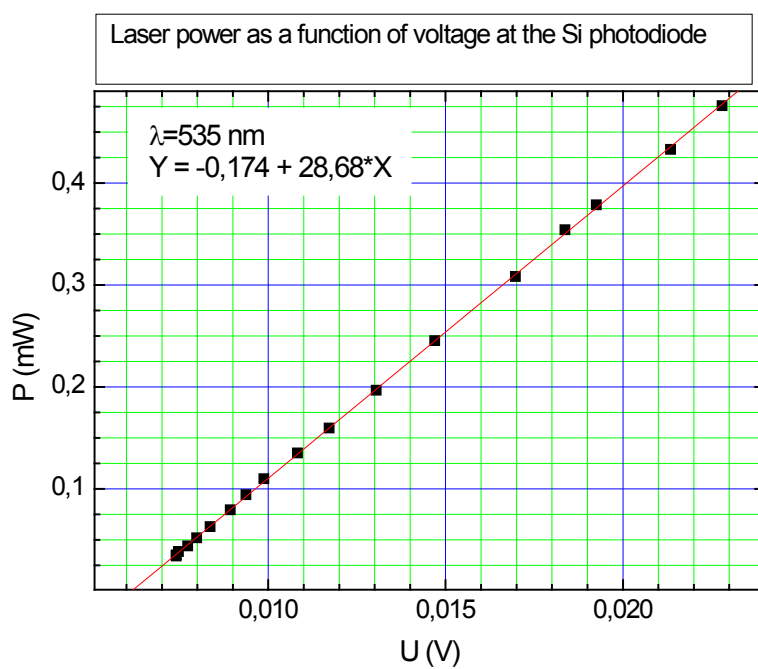
Zależność mocy laserów od sygnału fotodiody.



Rysunek 5. Wykres skalujący moc wyjściową lasera półprzewodnikowego o długości fali $\lambda=808,4 \text{ nm}$ w zależności od napięcia fotodiody.



Rysunek 6. Wykres skalujący moc wyjściową lasera Nd:YAG o długości fali $\lambda=1064 \text{ nm}$ w zależności od napięcia fotodiody.



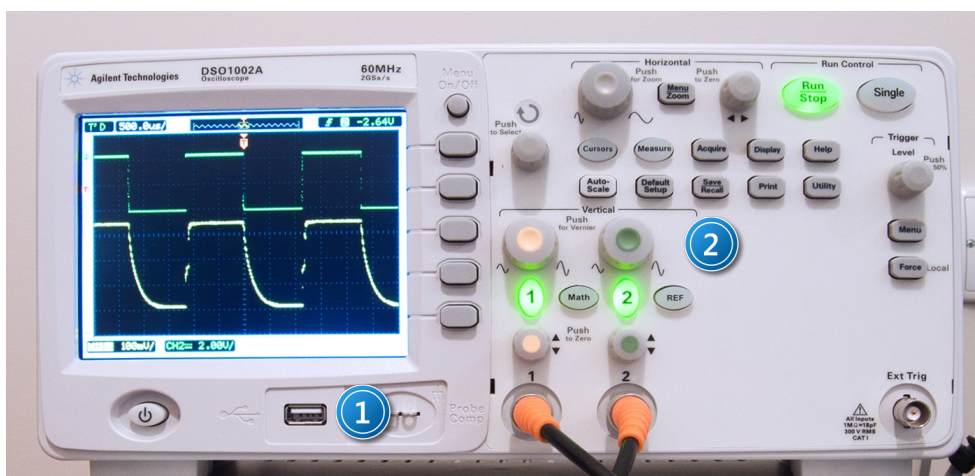
Rysunek 7. Wykres skalujący moc wyjściową lasera SHG o długości fali $\lambda=535 \text{ nm}$ w zależności od napięcia fotodiody.

Dodatek B

Zapis i odczyt danych w oscyloskopie DSO 1002 A (Agilent Technology)

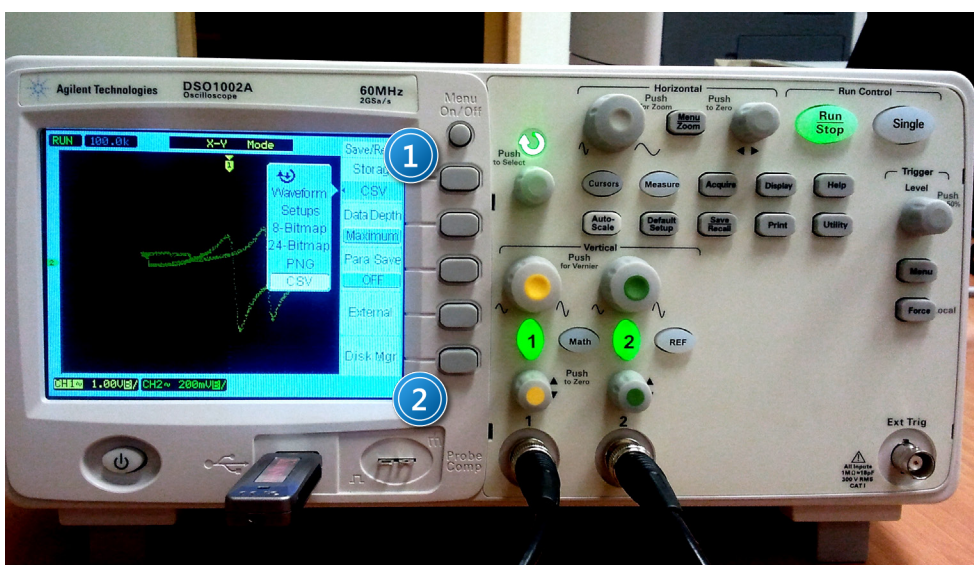
Oscyloskop posiada nieulotną pamięć wewnętrzną oraz wejście USB (1 na *Zdjęciu 8*) pozwalające na podłączenie pamięci zewnętrznej lub drukarki. Zapisu/wczytania danych można dokonać do/z jednej z dziesięciu pamięci wewnętrznych lub do pamięci zewnętrznej poprzez wykonanie następujących czynności:

1. Zapisanie na nośniku zewnętrznym co wymaga włożenia zewnętrznej pamięci do gniazda USB (1 na *Zdjęciu 8*).



Zdjęcie 8. Widok płyty czołowej oscyloskopu: 1 - miejsce na zewnętrzną pamięć USB; 2 – przycisk zapisz/odczytaj dane.

2. Wciśnięcie *Save/Recall* (2 na *Zdjęciu 8*) na panelu frontowym oscyloskopu.
3. Wybranie wewnętrznego formatu danych "Waveform" lub ASCII (CSV) (1 na *Zdjęciu 9*) poprzez wciśnięcie klawisza *Storage* lub obrót pokrętki ↻.



Zdjęcie 9. Widok panelu frontowego oscyloskopu z włączonym menu zapisz/odczytaj: 1 – przycisk wyboru typu danych; 2 – przycisk menadżera pamięci.

Aby zapisać lub odczytać dane z pamięci wewnętrznej należy:

- a) Wybrać *Internal*.
- b) Nacisnąć *Location* w menu *Internal*.
- c) Nacisnąć przycisk *Location* lub obrócić pokrętkę ↻, aby wybrać miejsce zapisu w pamięci wewnętrznej.
Przyrostek *N* oznacza, że pamięć jest pusta, natomiast przyrostek *S* oznacza, że w danej pamięci zapisany jest przebieg.
Nacisnąć *Save* lub *Load*.

Aby zapisać lub odczytać dane z pamięci zewnętrznej należy:

- a. Wybrać *External*.
- b. Za pomocą przycisku *Disk Manager* wybrać folder, w którym plik ma być zapisany bądź odczytany - 2, Zdjęcie 9.
- c. W menu *External* nacisnąć *New File*, wprowadzić nazwę pliku i nacisnąć *Save*.
W celu odczytu danych nacisnąć *Load* (wczytywane są pliki z rozszerzeniem *wfm*).
- d. Nacisnąć przycisk *Location* lub obrócić pokrętkę ↻, aby wybrać miejsce zapisu w pamięci wewnętrznej.
Przyrostek *N* oznacza, że pamięć jest pusta, natomiast przyrostek *S* oznacza, że w danej pamięci zapisany jest przebieg.
- e. Nacisnąć *Save* lub *Load*.