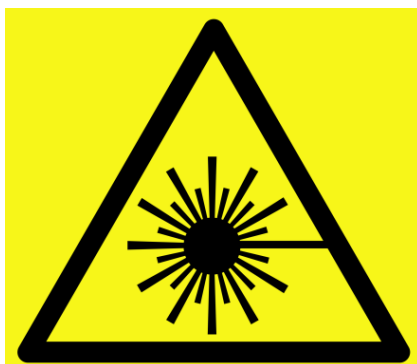


VILNIAUS UNIVERSITETAS
FIZIKOS FAKULTETAS
KVANTINĖS ELEKTRONIKOS KATEDRA
MOKOMOJI LAZERIŲ LABORATORIJA

Laboratorinis darbas Nr. KE-7

Puslaidininkinio lazerinio diodo tyrimas

Metodiniai nurodymai



Dėmesio! Darbo metu naudojami lazerinės spinduliuotės šaltiniai – būtina susipažinti ir griežtai laikytis atitinkamų saugos reikalavimų

Darbo tikslas

Ištirti AlGaInP puslaidininkinio lazerinio diodo veiką ir spinduliavimo charakteristikas.

Darbo uždutys

1. Išmatuoti išvadinės puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės pluošto skėsties kampus.
2. Išmatuoti išvadinės puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės galios priklausomybę nuo maitinimo srovės, esant skirtingoms puslaidininkinio lazerinio diodo temperatūroms.
3. Išmatuoti išvadinės puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės poliarizacijos laipsnio priklausomybę nuo maitinimo srovės.
4. Išmatuoti išvadinės puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės spektrinių charakteristikų priklausomybes nuo puslaidininkinio lazerinio diodo temperatūros.

Kontroliniai klausimai

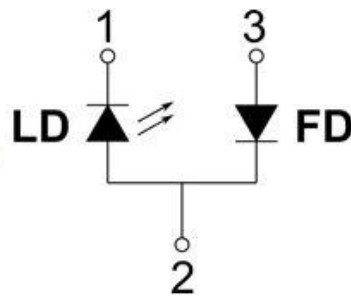
1. p ir n puslaidininkiai. pn sandūra.
2. Puslaidininkinis lazerinis diodas.
3. Puslaidininkinio lazerinio diodo spektrinės charakteristikos.

METODINIAI PAAIŠKINIMAI

Naudojami prietaisai:

1. AlGaInP puslaidininkiniai lazeriniai diodai.
2. Lazerinio diodo maitinimo blokas.
3. Lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo blokas.
4. Lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo bloko valdiklis.
5. Objektyvas.
6. Spinduliuotės galios matuoklis.
7. Spektrometras.
8. Kompiuteris.
9. Poliarizatorius.
10. Ekranas.
11. Filtras.

AlGaInP puslaidininkinis lazerinis diodas ADL-65103TL



1 pav. Lazerinis diodas

1 lentelė. Lazerinio diodo elektrinės ir optinės savybės

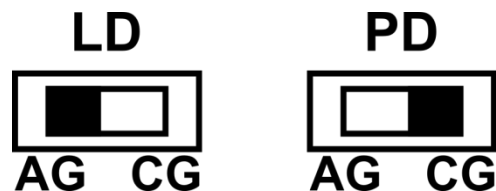
Parametrai	Žym.	Min.	Tip.	Maks.	Matai	Sąlygos
Spektr. smailės bangos ilgis	λ	645	650	660	nm	$P_o=10mW$
Slenkstinė srovė	I_{sl}	-	20	25	mA	
Darbinė srovė	I_d	-	31	40	mA	$P_o=10mW$
Darbinė įtampa	V_d	-	2.2	2.5	V	$P_o=10mW$
Atgalinė įtampa(FD)	V_{ai}		2	30	V	
Darbinė temperatūra	T	-10	25	+50	°C	
Lygiagretus skėsties kampas	$\theta_{ }$	6	9.5	12	°	$P_o=10mW$
Statmenas skėsties kampas	θ_{\perp}	25	28	32	°	

Lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo blokas

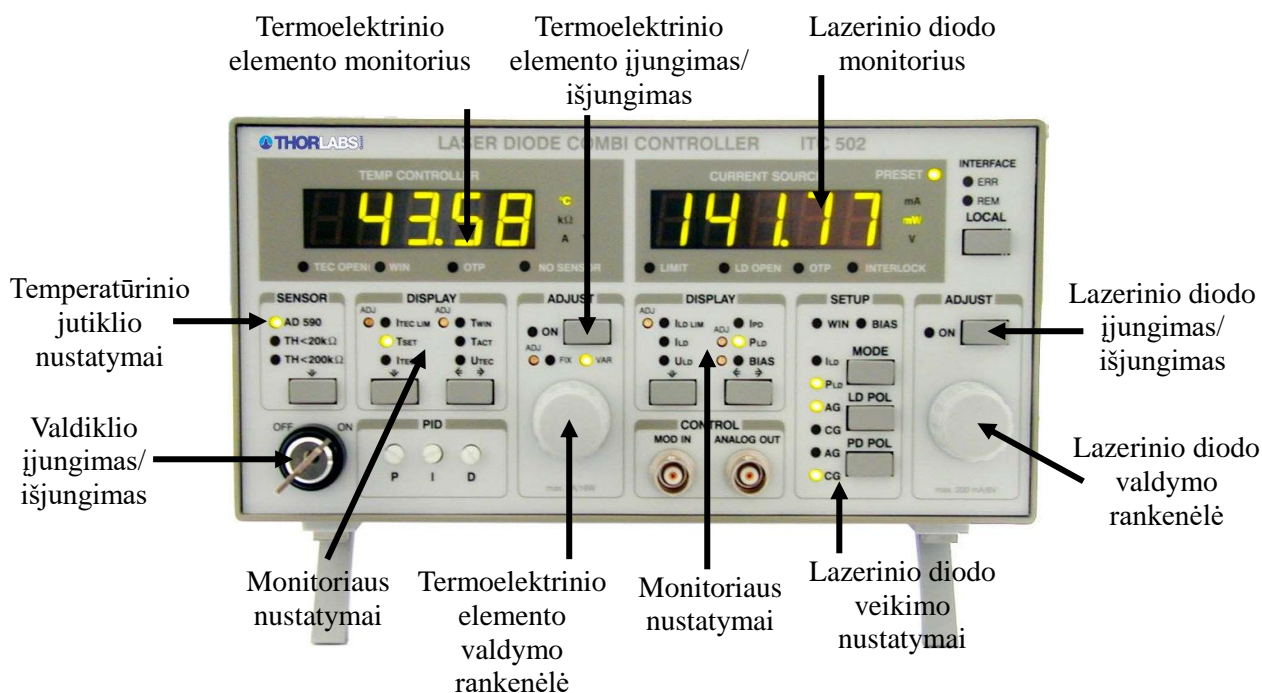


2 pav. Lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo blokas

Dėmesio! Viršutinėje bloko dalyje esančių lazerinio diodo jungčių nustatymų perjungiklių padėtys turi būti :



Lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo bloko valdiklio valdymas



3 pav. Lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo bloko valdiklis

Lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo bloko valdiklis yra naudojamas lazerinio diodo maitinimo srovės ir temperatūros nustatymui. Pagrindinis valdiklio įjungimo/išjungimo raktasjungiklis yra apatiniame kairiajame priekinės panelės kampe (**Dėmesio! Prieš įjungiant valdiklį prijungti lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo bloką.**). Priekinė panelė yra padalyta į dvi dalis. Dešinioji panelės dalis skirta lazerinio diodo maitinimo parametrų nustatymui. Kairioji dalis – lazerinio diodo temperatūriniams parametrams nustatyti. Lazerinio diodo ir stebėsenos fotodiodo prijungimo poliariškumas nustatomas dešinėje pusėje esančioje dalyje **SETUP**. Lazerinis diodas gali veikti tiek anodą žeminus (**AG**), tiek katodą žeminus (**CG**). Prijungimo poliariškumas nustatomas **LD POL** mygtuku (**Dėmesio! Turi būti nustatyta šviečiantis AG.**). Stebėsenos fotodiodas taip pat gali veikti tiek anodą žeminus (**AG**), tiek katodą žeminus (**CG**). Prijungimo poliariškumas nustatomas **PD POL** mygtuku. Jei prijungimo fotodiodo poliariškumas nustatyta teisingai, fotosrovė bus teigiama. Jei prijungimo poliariškumas nustatytas neteisingai, fotosrovė bus neigiama. Fotodiodas gali veikti su pajungta išorine įtampa (nuo 0 .. 10 V). Išorinės įtampos pajungimą nurodo **BIAS** šviestukas **SETUP** dalyje. Spaudžiant **PD POL** mygtuką nustatoma viena iš keturių padėčių:

AG (stebėsenos fotodiodo anodas žemintas)

AG+BIAS (stebėsenos fotodiodo anodas žemintas su pajungta išorine įtampa)

CG (stebėsenos fotodiodo katodas žemintas)

CG+BIAS (stebėsenos fotodiodo katodas žemintas su pajungta išorine įtampa).

DĖMESIO! Turi būti nustatyta šviečiantis CG! Prieš įjungiant išorinę įtampą įsitikinkite, kad stebėsenos fotodiodas pajungtas teisingai, kitaip galite sugadinti stebėsenos fotodiodą (lazerinį modulį)!

Lazerinis diodas gali veikti dviejuose režimuose: pastovios srovės (I_{LD}) ir pastovios galios (P_{LD}). Režimas nustatomas spaudžiant mygtuką **MODE** dalyje **SETUP**. Pastovios srovės režime yra palaikoma pastovi lazerinio diodo srovė. Pastovios galios režime yra palaikoma pastovi stebėsenos fotodiodo srovė.

Lazerinio diodo monitoriuje atvaizduojama dalyje **DISPLAY** pasirinkto matuojamo dydžio vertė. Jei yra atvaizduojama nustatoma vertė, tai dega **PRESET** šviestukas. Jei vertė yra matuojama, tai **PRESET** šviestukas nešviečia. **DISPLAY** dalyje mygtukais „↓“ ir „⇐⇒“ galima nustatyti lazerinio diodo monitoriuje atvaizduojamas dydžius: ribinę lazerinio diodo srovę $I_{LD\ LIM}$, lazerinio diodo maitinimo srovę I_{LD} , lazerinio diodo įtampą U_{LD} , stebėsenos fotodiodo srovę I_{PD} , optinę galią matuojama stebėsenos fotodiodu P_{LD} , stebėsenos fotodiodo išorinę įtampą **BIAS**. Lazerinio diodo srovė, stebėsenos fotodiodo srovė ar optinė galia yra keičiama lazerinio diodo valdymo rankenėle.

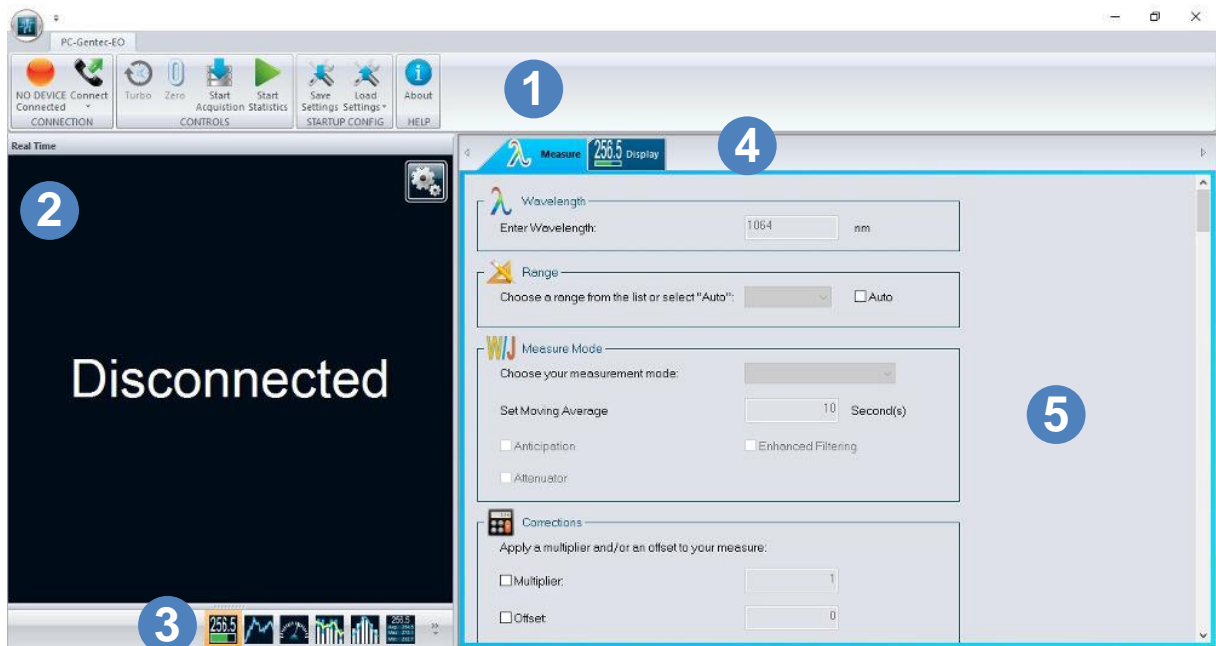
Temperatūrinis jutiklis nustatomas kairėje priekinės panelės pusėje esančioje dalyje **SENSOR** mygtuku „↓“ (**Dėmesio! Turi būti nustatyta šviečiantis AD 590.**). Termoelektrinio elemento monitoriuje atvaizduojama dalyje **DISPLAY** pasirinkto matuojamo dydžio vertė. **DISPLAY** dalyje mygtukais „↓“ ir „⇐⇒“ galima nustatyti termoelektrinio elemento monitoriuje atvaizduojamas dydžius: ribinę termoelektrinio elemento srovę $I_{TEC\ LIM}$, nustatomoji termoelektrinio elemento temperatūra T_{SET} , termoelektrinio elemento srovę I_{TEC} , temperatūrinį langą T_{WIN} , realią termoelektrinio elemento temperatūrą T_{ACT} , termoelektrinio elemento įtampą U_{TEC} .

Galios matuoklio valdymas

Lazerio spinduliuotės optinės galios matavimui naudojamas optinės galios matuoklis PH100-Si. Įjungus kompiuterį ir prijungus optinės galios matuoklį per USB sąsają prie kompiuterio, paleidžiama matuoklio valdymo programa PC-Gentec-EO .



4 pav. PC-Gentec-EO nuoroda



5 pav. PC-Gentec-EO programos valdymo langas.

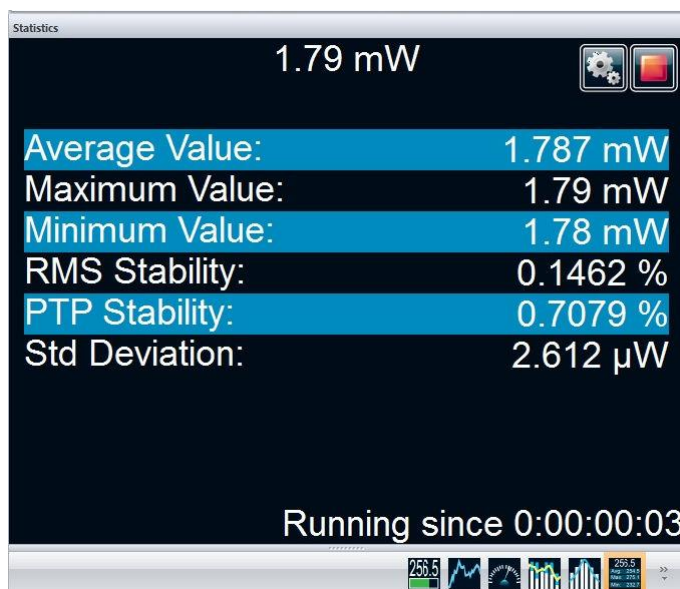
- 1 – Pagrindinis valdymo meniu, kurioje išskiriami Prijungimo, Valdymo, Konfigūravimo išsaugojimo-paleidimo bei Pagalbos skydeliai.
- 2 – Duomenų atvaizdavimo langas, kuriame atvaizduojami duomenys pasirinktu atvaizdavimo būdu.
- 3 – Duomenų atvaizdavimo keitimo meniu.
- 4 – Valdymo įrankių rinkinio pasirinkimo skirtukai.
- 5 – Valdymo įrankių rinkiniai, kuriais galima valdyti matavimo, registravimo ir atvaizdavimo parametrus.

Automatinis optinės galios matuoklio prijungimas atliekamas paspaudus mygtuką **Connect** Pagrindinio valdymo meniu Prijungimo (CONNECTION) skydelyje, o atjungimas paspaudus mygtuką **Disconnect**.



6 pav. Prijungimo skydelis, kai optinės galios matuoklis neprijungtas (kairėje) ir prijungtas (dešinėje).

Duomenų atvaizdavimo lange nustatyti matuojamų duomenų statistikos atvaizdavimą paspaudus mygtuką **Statistics** duomenų atvaizdavimo keitimo meniu.



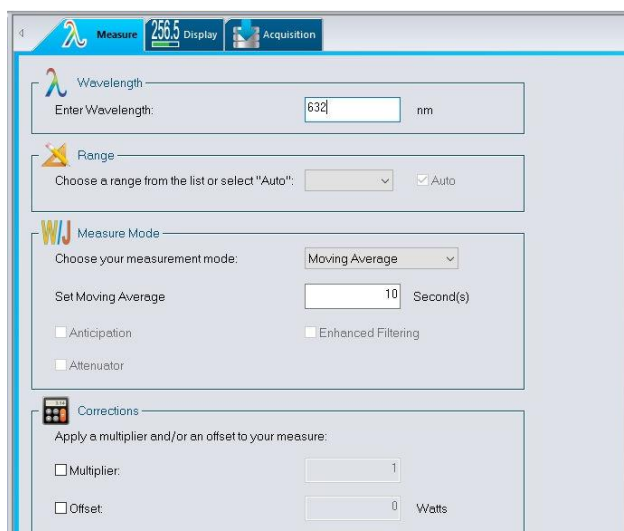
7 pav. Duomenų atvaizdavimo langas, pasirinkus optinės galios matavimų statistikos atvaizdavimą.

Prieš matavimus būtina nustatyti optinės galios matuoklio nulį. Uždengus lazerio spinduliuotę paspaudžiamas Pagrindinio valdymo meniu Valdymo (CONTROLS) skydelio mygtukas **Zero**.



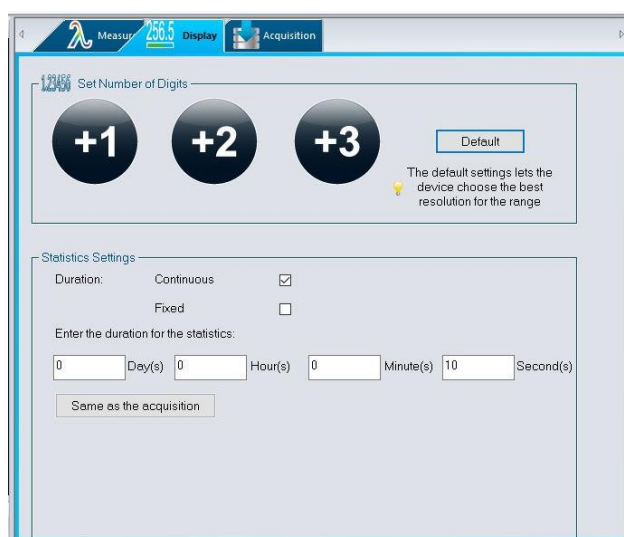
8 pav. Valdymo skydelis.

Pasirinkus Matavimų (Measure) nustatymų skirtuką, nustatyti Bangos ilgį (Wavelength) lygu **650 nm**.



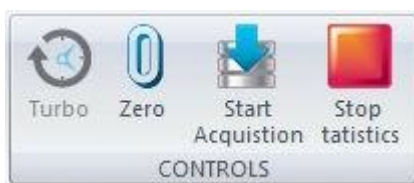
9 pav. Matavimų nustatymų skirtukas

Pasirinkus Duomenų atvaizdavimo lango (Display) nustatymų skirtuką, nustatyti Statistikos nustatymuose (Statistics Settings) matavimo trukmę (Duration) pastovią (Continuous) ir optinės galios matuoklio matavimų statistikos skaičiavimo trukmę lygia 10 s.



10 pav. Duomenų atvaizdavimo lango nustatymų skirtukas

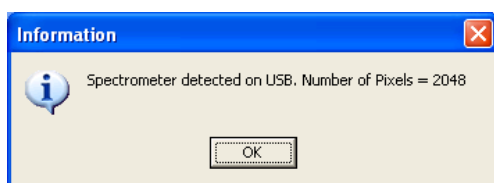
Optinės galios matuoklio matavimų statistikos skaičiavimas pradedamas paspaudus Pagrindinio valdymo meniu Valdymo (CONTROLS) skydelio mygtuką **Start Statistics** (8 pav.). Statistikos skaičiavimas stabdomas paspaudus mygtuką **Stop Statistics**.



11 pav. Valdymo skydelis paleidus matavimų statistikos skaičiavimą.

Spektrometro valdymas


„AvaSoft 6.1 for AvaSpec“ programa




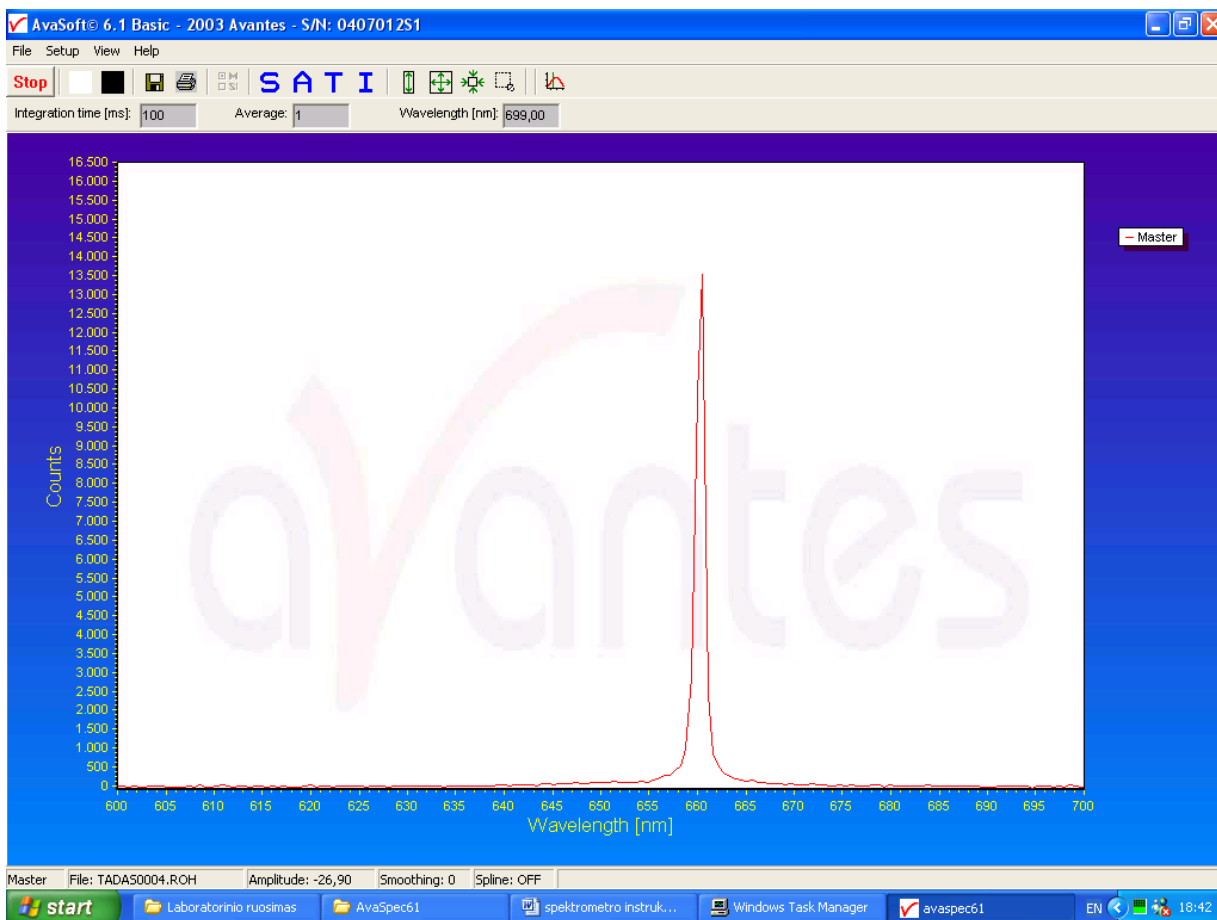
12 pav. Spektrometro prijungimas matome pranešimą (12 pav.).

Prijungiame spektrometrą prie kompiuterio USB jungties, galinėje sienelėje įjungiame jungiklį į „USB“ padėtį. Priekyje šviečia „POWER“ indikatorius.

Paleidžiame programą „AvaSoft 6.1 for AvaSpec“. Jei spektrometras prijungtas teisingai,

Paspaudus „OK“ matome programos darbinį langą. (13 pav.) Mygtukais „Start“/„Stop“ paleidžiamas ir sustabdomas matavimas. Programos pagrindiniame lange realiu laiku atvaizduojamas įėjusios spinduliuotės spektras (intensyvumo priklausomybės nuo bangos ilgio grafikas). Paspaudus  mygtuką galima pasirinkti norimą atvaizduoti spektrinį

diapazoną (600nm÷700nm arba mažesnę). Keičiant kursoriaus  padėtį pelės pagalba nustatoma užregistruotos lazerio spinduliuotės smailės padėtis (**Wavelength[nm]** laukelis).



13 pav. Spektrometro valdymo programa AvaSoft 6.1.

Norint sukurti naują matavimų seriją reikia pasirinkti: File > Start New Experiment. Išmatuoti spektrai išsaugomi paspaudus “**Save Experiment**” mygtuką. Matavimų bylos laikomos **C:\AvaSpec61\data 0407012S1** kataloge, pavadintos vardu, sudarytu iš eksperimento pavadinimo ir grafiko eilės numerio. Baigus matavimus, visus grafikus norint paversti į tekstinį formatą reikia pasirinkti: File > Convert > To ASCII.

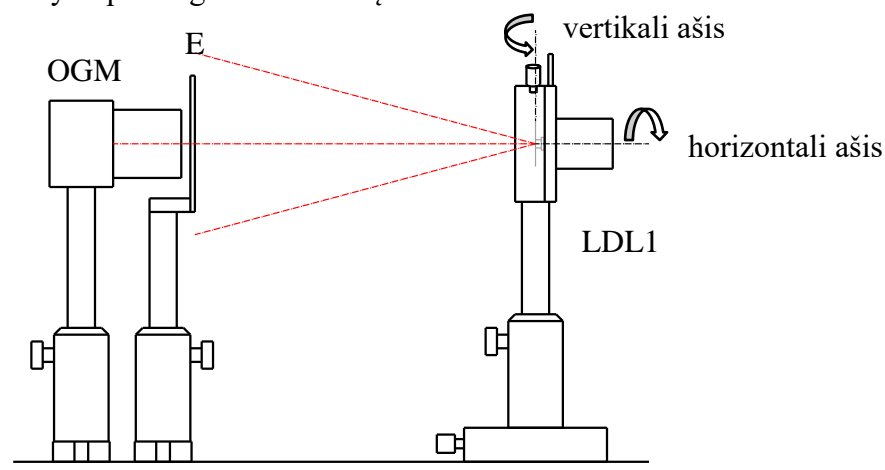
Laboratorinio darbo eiga

Tyrimai atliekami surenkant kiekvienai užduočiai optinę grandinę pagal pateikiamas schemas.

Dėmesio! Prieš pradėdant darbą, būtina susipažinti su naudojamų prietaisų aprašais ir saugaus darbo ypatumais.

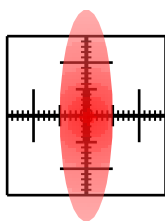
1. Išvadinės puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės pluošto skėsties kampų matavimai

- Įjungti puslaidininkinio lazerinio diodo maitinimo bloką LDM1 į tinklą.
- Sukant lazerinio diodo laikiklį LDL1 apie vertikalią ašį nustatyti ties 0° padala.
- Pastatyti ekraną E su vertikaliu plyšiu ($10\text{mm} \times 1\text{mm}$) $\sim 150\text{mm}$ atstumu nuo lazerinio diodo laikiklio LDL1. Generuojamo lazerinio pluošto centras turi sutapti su ekrano plyšio centru.
- Už ekrano E pastatyti optinės galios matuoklį OGM.



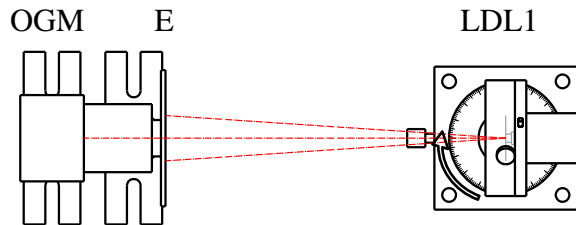
14 pav. Puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės pluošto skėsties kampų matavimo schema

- Sukant lazerinio diodo laikiklį LDL1 apie horizontalią ašį nustatyti, kad „greitoji“ eliptinio pluošto dedamoji būtų vertikali.



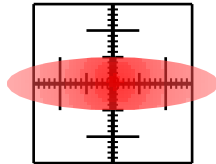
15 pav. Puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės pluošto skirstinys ant ekrano E, matuojant „lėtąją“ optinio pluošto dedamąją.

- Sukant lazerinio diodo laikiklį LDL1 apie vertikalią ašį 2° žingsniu, išmatuoti praėjusios pro plyšį ekrane lazerinio diodo spinduliuotės optinės galios priklausomybę nuo pasukimo kampo.



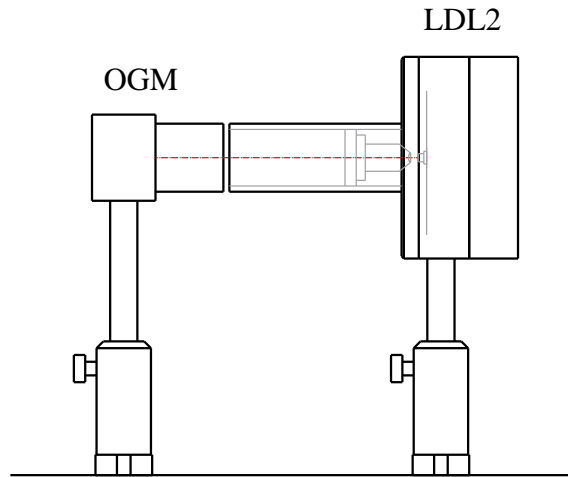
16 pav. Puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės pluošto skėsties kampų matavimo schema

- Pasukti lazerinio diodo laikiklį LDL1 apie horizontalę ašį 90° .



17 pav. Puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės pluošto skirstinys ant ekrano E, matuojant „greitąją“ optinio pluošto dedamąją.

- Sukant lazerinio diodo laikiklį LDL1 apie vertikalę ašį $2-8^\circ$ žingsniu, išmatuoti praėjusios pro plyšį ekrane lazerinio diodo spinduliuotės optinės galios priklausomybę nuo pasukimo kampo.
 - Apskaičiuoti lazerinio diodo generuojamos spinduliuotės pluošto skėsties kampus $1/2$ ir $1/e^2$ aukščiauose. Palyginti su duotomis vertėmis.
- 2. Išvadinės puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės galios priklausomybės nuo maitinimo srovės matavimai, esant skirtingoms puslaidininkinio lazerinio diodo temperatūroms.**
- Įjungti lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo bloko valdiklį.
 - Lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo bloke LDL2 nustatoma 20°C temperatūra. Srovės stiprio valdymo rankenėlė sukama prieš laikrodžio rodyklę, kol nebus nustatyta 0 mA .
 - Įjungiamas temperatūros reguliatorius ir lazerinio diodo maitinimas.
 - Po truputį sukant pagal laikrodžio rodyklę srovės stiprio nustatymo rankenėlę, srovės stipris nustatomas $25-30\text{ mA}$. Lazerinis diodas turi pradėti šviesti.
 - Spinduliuotės kelyje, kuo arčiau optinio pluošto išėjimo, pastatomas optinės galios matuoklis OGM. Visa spinduliuotė turi būti surenkama į optinės galios matuoklio detektorius.



18 pav. Puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės galios priklausomybės nuo maitinimo srovės matavimo schema

- Lazerinio diodo maitinimo srovės stipris vėl nustatomas lygus 0 mA. Nustatomas galios matuoklio nulis.
- Keliant srovės stiprį 2 mA žingsniu nuo 0 mA iki 40 mA, išmatuoti optinės galios ir maitinimo įtampos priklausomybę nuo lazerinio diodo maitinimo srovės stiprio, kai lazerinio diodo temperatūra yra 20°C.
- Išmatuoti spinduliuotės galios (**maitinimo įtampos matuoti nebereikia**) priklausomybę nuo maitinimo srovės kai lazerinio diodo temperatūra yra 25°C, 30°C, 35°C, 40°C ir 45°C.
- Atvaizduoti grafiškai spinduliuotės galios priklausomybę nuo maitinimo srovės stiprio prie įvairių lazerinio diodo temperatūrų, maitinimo įtampos priklausomybę nuo maitinimo srovės stiprio. Paaiškinti juos.
- Apskaičiuoti lazerinio diodo elektrinės galios konvertavimo į optinę galią našumo koeficiento priklausomybę nuo maitinimo srovės stiprio:

$$\eta = P_o / (UI). \quad (1)$$

- Norint nustatyti slenkstinio srovės stiprio dydį reikia rasti susikirtimo tašką tiesės, kuria aproksimuojama tiesinė dalis spinduliuotės galios priklausomybės nuo maitinimo srovės stiprio kai srovės stipris mažesnis nei slenkstinis srovės stipris, ir tiesės, kuria aproksimuojama tiesinė dalis spinduliuotės galios priklausomybės nuo maitinimo srovės stiprio kai srovės stipris viršija slenkstinį srovės stiprį. Nustatyti slenkstinio srovės stiprio priklausomybę nuo lazerinio diodo temperatūros.
- Apskaičiuoti išorinį diferencialinį kvantinį našumą tiesiniais spinduliuotės galios priklausomybės nuo maitinimo srovės stiprio, kai srovės stipris viršija slenkstinį srovės stiprį, daliai remiantis šią formulę:

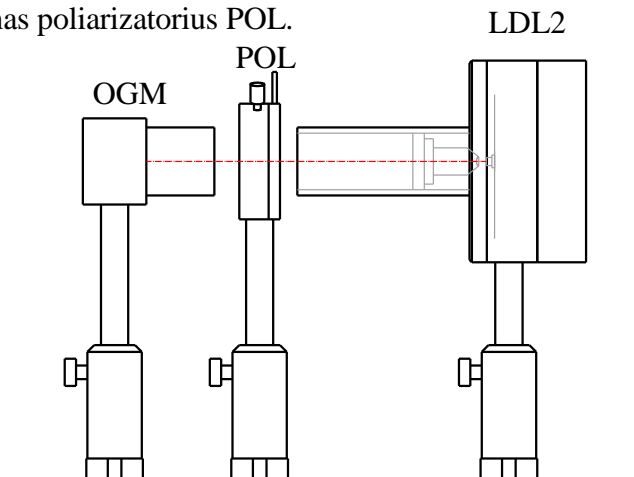
$$\eta_{ex} = d(P_o \lambda / hc) / d(I/e), \quad (2)$$

kur λ - bangos ilgis, h – Planko konstanta, c - šviesos greitis, e – elektrono krūvis.

Nustatyti išorinio diferencialinio kvantinio našumo koeficiento priklausomybę nuo lazerinio diodo temperatūros.

3. Išvadinės puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės poliarizacijos laipsnio priklausomybės nuo maitinimo srovės matavimas

- Lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo bloke nustatoma 20°C temperatūra. Srovės stiprio valdymo rankenėlė sukama prieš laikrodžio rodyklę, kol nebus nustatyta 0 mA.
- Tarp lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo bloko LDL2 ir optinės galios matuoklio OGM pastatomas poliarizatorius POL.



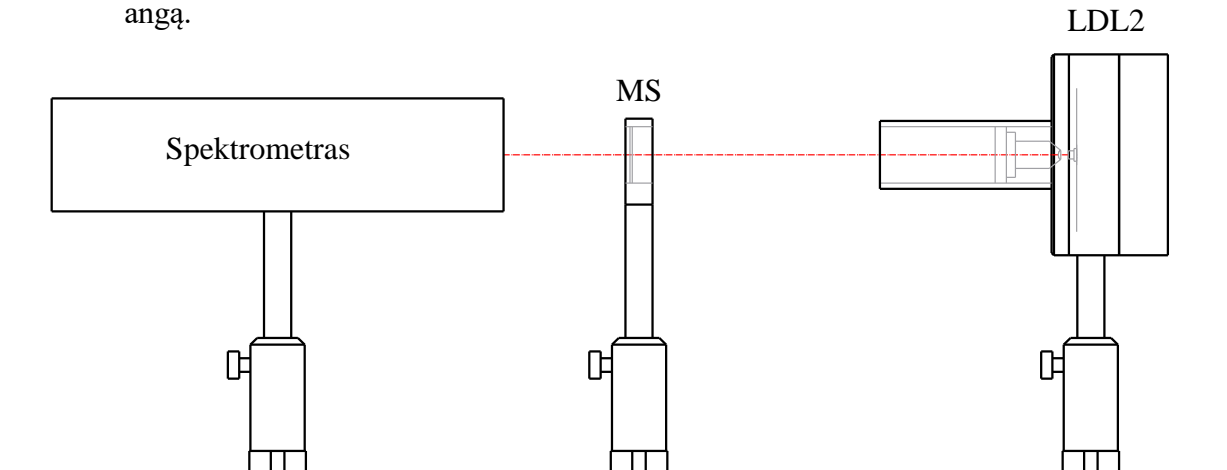
19 pav. Puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės poliarizacijos laipsnio priklausomybę nuo maitinimo srovės matavimo schema.

- Lazerinio diodo maitinimo srovės stipris nustatomas tarp 25mA ir 30mA.
- Sukant poliarizatorių kas 5° nuo 0° iki 355° pamatuoti lazerinio diodo spinduliuotės galios priklausomybę nuo poliarizatoriaus pasukimo laipsnio.
- Tiksliau išmatuoti minimalią (P_{min}) ir maksimalią (P_{max}) praėjusios per poliarizatorių spinduliuotės galią ir nustatyti poliarizatoriaus pasukimo padėtis.
- Atvaizduoti grafiškai polinėje koordinačių sistemoje poliarizacijos indikatrį.
- Poliarizatorius pasukamas į padėtį, ties kuria praeina maksimali spinduliuotės galia P_{max} .
- Keliant srovės stiprį kas 2 mA nuo 0mA iki 40 mA, išmatuoti optinės galios priklausomybę nuo maitinimo srovės.
- Poliarizatorius pasukamas į padėtį, ties kuria praeina minimali spinduliuotės galia P_{min} .
- Keliant srovės stiprį kas 2 mA nuo 0mA iki 40 mA, išmatuoti optinės galios priklausomybę nuo maitinimo srovės.
- Iš matavimų apskaičiuoti poliarizacijos laipsnio K_p priklausomybę nuo maitinimo srovės, kur poliarizacijos laipsnis lygus:

$$K_p = (P_{max} - P_{min}) / (P_{max} + P_{min}). \quad (3)$$

4. Išvadinės puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės spektro juostos centrinio bangos ilgio priklausomybės nuo puslaidininkinio lazerio temperatūros matavimas

- Lazerinio diodo maitinimo srovės stipris nustatomas tarp 25mA ir 30mA.
- Lazerinio diodo maitinimo ir šaldymo bloke nustatoma 20°C temperatūra.
- Lazerinio diodo spinduliuotė nukreipiama per matinį stiklą MS į spektrometro įėjimo angą.



20 pav. Puslaidininkinio lazerinio diodo spinduliuotės spektro juostos centrinio bangos ilgio priklausomybės nuo lazerinio diodo temperatūros matavimo schema

- Keliant lazerinio diodo temperatūrą kas 2-3°C nuo 20°C iki 45°C, nustatyti lazerinio diodo spinduliuotės spektro smailės padėties priklausomybę nuo lazerinio diodo temperatūros. Matavimo metu spektrometro išlaikymo trukmė turi būti tokia, kad matuojamas signalas būtų tarp 8000 ir 16000. Jeigu reikia tarp matinio stiklo ir spektrometro patalpinti optinį filtrą.
- Atvaizduoti grafiškai.

Literatūra:

1. E. Gaižauskas, V. Sirutkaitis, Kietojo kūno lazeriai, (Vilniaus universiteto leidykla, 2008),
2. O. Balachnaitė, A. Bargelis, A. Dementjev, R. Jonušas, G. Račiukaitis, V. Sirutkaitis, Lazerinė technologija, (Vilniaus universiteto leidykla, 2008),
3. H. Ghafouri-Shiraz, The principles of semiconductor laser diodes and amplifiers: analysis and transmission line laser modeling, (Imperial College Press, London, 2004.),
4. W. T. Silfvast, Laser fundamentals, (Cambridge University Press, Cambridge, 2004),
5. O. Svelto, Principles of lasers, 5th ed. (Springer, New York, 2010),
6. W. W. Chow, S. W. Koch, Semiconductor-laser fundamentals : physics of the gain materials, (Springer, Berlin, 1999).
7. B. E. A. Saleh, M. C. Teich, Fundamentals of photonics, (J. Wiley, New York, 1991),
8. A. Yariv, Quantum electronic, 3rd ed. (J. Wiley, New York, 1988).