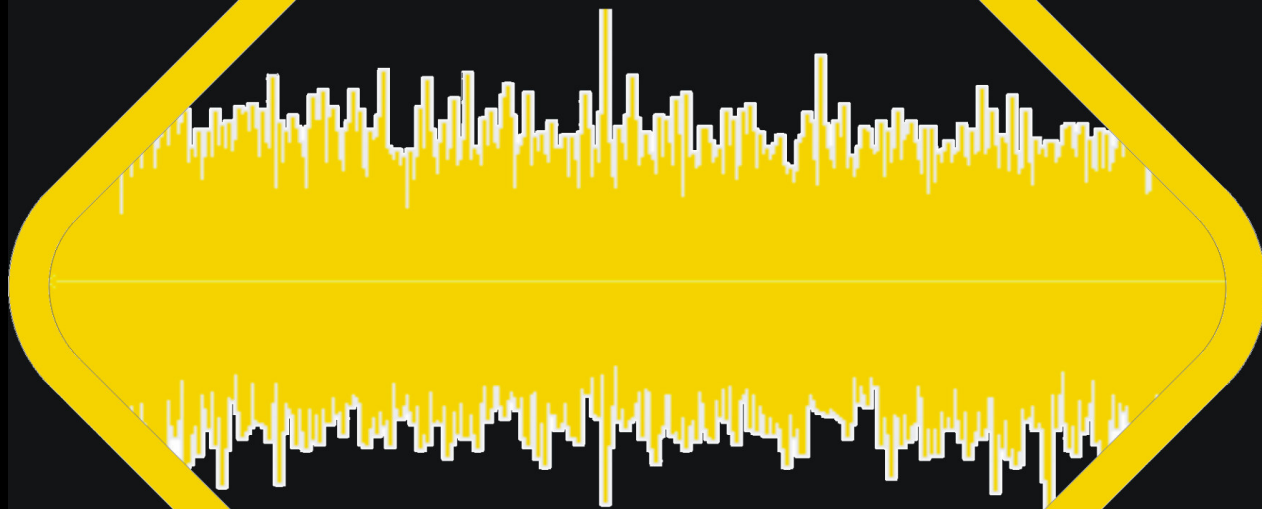


**NOISE
LAB**



VU REF

PUSLAIDININKINIAI LAZERIAI IR ŽEMADAŽNIŲ
TRIUKŠMŲ SPEKTROSKOPIJOS TAIKYMAS JŲ
KOKYBEI NUSAKYTI



KRISTIJONAS VIZBARAS

VILNIUS UNIVERSITY

NOISE RESEARCH LABORATORY



TURINYS

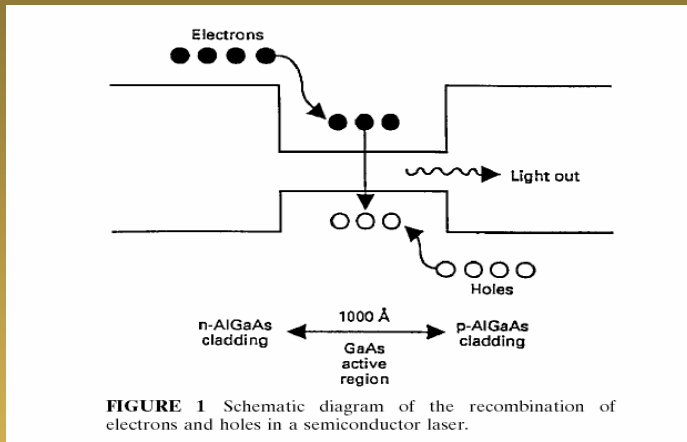
- **Lazeriniai diodai: jų sandara ir veikimo principai**
- **Triukšmų tyrimų taikymas lazerinių diodų kokybei ir patikimumui nusakyti**
- **Matavimo metodika ir aparatūrinis kompleksas**
- **InGaAsP/InP lazerinio diodo triukšmų tyrimas**

VILNIUS UNIVERSITY

NOISE RESEARCH LABORATORY



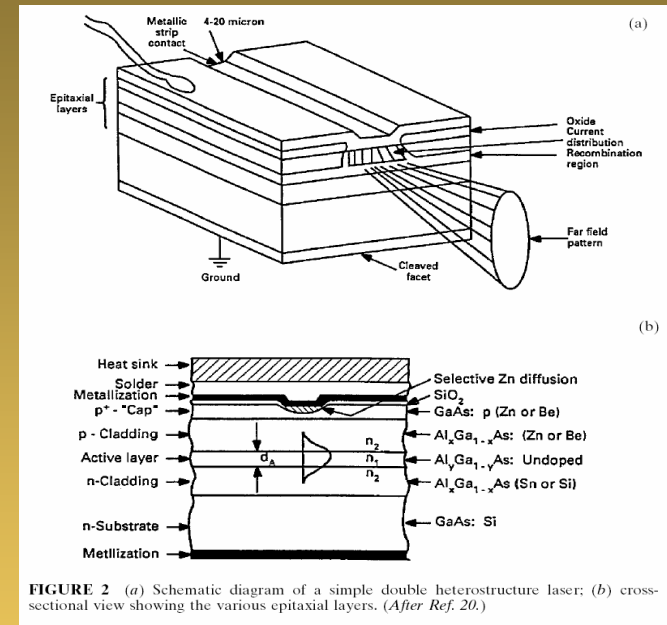
Lazerinio diodo veikimo principai



$$g_{th} = \alpha_i + \frac{1}{2L} \ln \left(\frac{1}{R_F R_R} \right) \quad (1)$$

$$J_0 = \frac{N_0 L_z e}{\tau_s} \quad (2)$$

$$g_{th} = A(J - J_0) \quad (3)$$



$$J_{th} = J_0 + \frac{\alpha_i}{A} + \frac{1}{2AL} \ln \left(\frac{1}{R_F R_R} \right) \quad (4)$$

Tipiniai LD dariniai

- Juostelinis lazeris (laser-stripe)
- Jonais apšaudytas lazeris
- Su paslėptu įvairiatarpiu dariniu (BH)
- Su paslėptu įvairiatarpiu dariniu (BH)
- Su keteriniu bangolaidžiu
- Su skersinės sandūros juostele

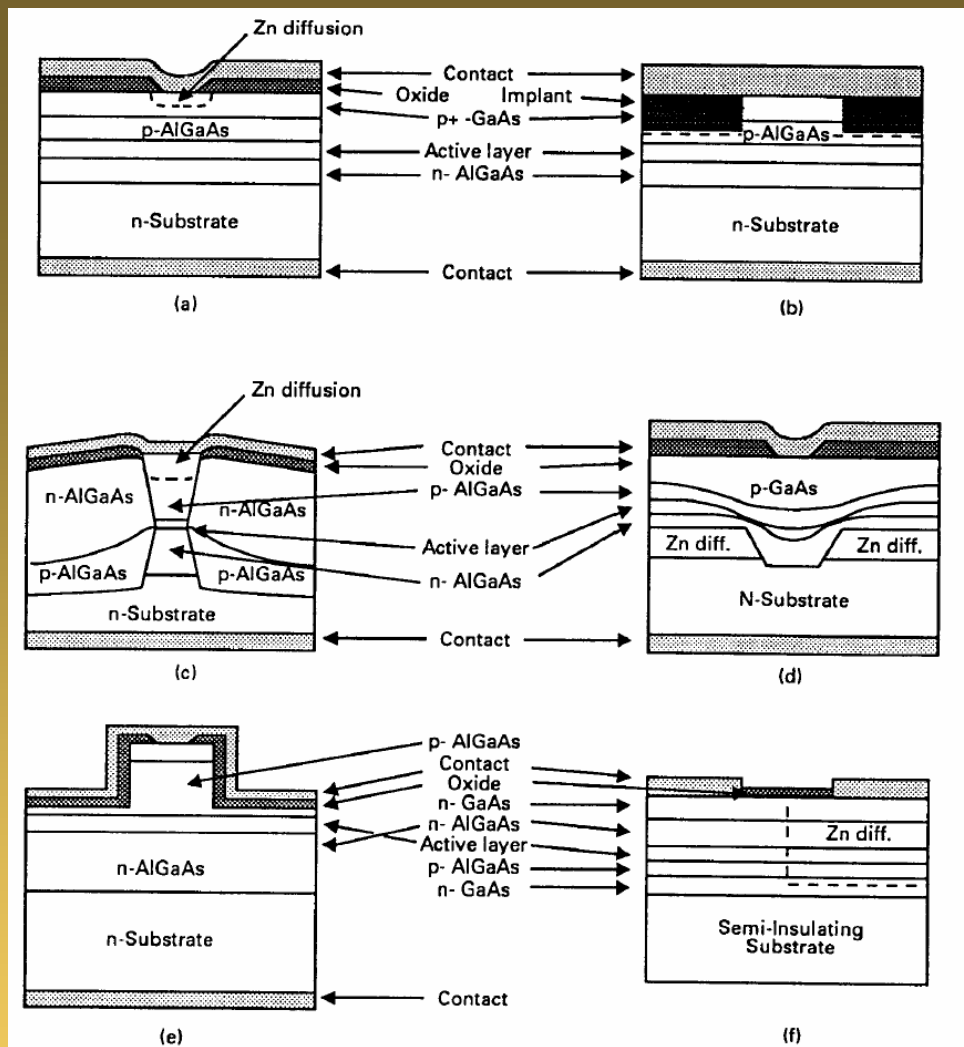


FIGURE 4 Schematic diagrams of GaAs/AlGaAs stripe laser structures. (a) Oxide stripe laser; (b) ion bombardment laser, (c) buried heterostructure (BH) laser; (d) variation on buried heterostructure laser; (e) ridge waveguide (RWG) laser; and (f) transverse junction stripe (TJS) laser.

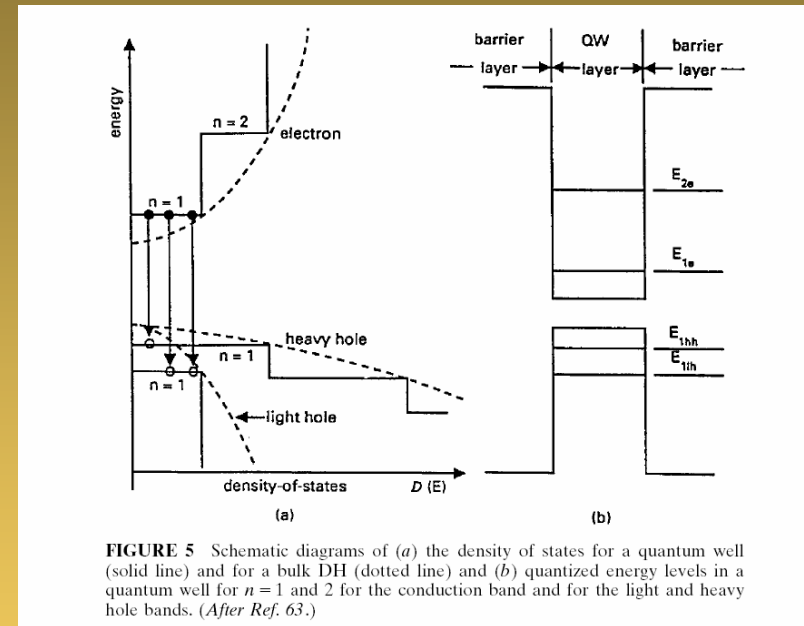
Lazeriai su kvantinėmis duobėmis (QW)

$$D(E) = \sum_{i=l,h} \frac{m_r^i}{\pi^2 \hbar^3} \sqrt{2m_r^i (E - E_g)}, E > E_g \quad (5)$$

$$E_n = \frac{(n\pi\hbar)^2}{2mL_z^2} \quad (6)$$

$$E = E_g + E_n^c + E_n^v + \frac{\hbar^2 \vec{k}^2}{2m_r} \quad (7)$$

$$D(E) = \sum_{i=l,h} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m_r^i}{L_z \pi \hbar^2} H(E - E_g - E_n^c - E_{n,i}^v) \quad (8)$$



Ilgabangiai(1,3-1,55 μm) lazeriai su kvantinėmis duobėmis

- Aktyvi Ožė (Auger) rekombinacija

Skylės ir elektrono rekombinacijos energija perduodama kitam krūvininkui, kuris relaksuoja išskirdamas fononą.

- Rekombinacija juostos viduje

Išskiriamo fotono energija yra sunaudojama skylutei peršokti iš SO juostos į sunkiųjų skylių juostą.

- Pastarieji veiksniai lėmė, kad MQW InGaAsP lazerių slenkstinė srovė mažesnė.

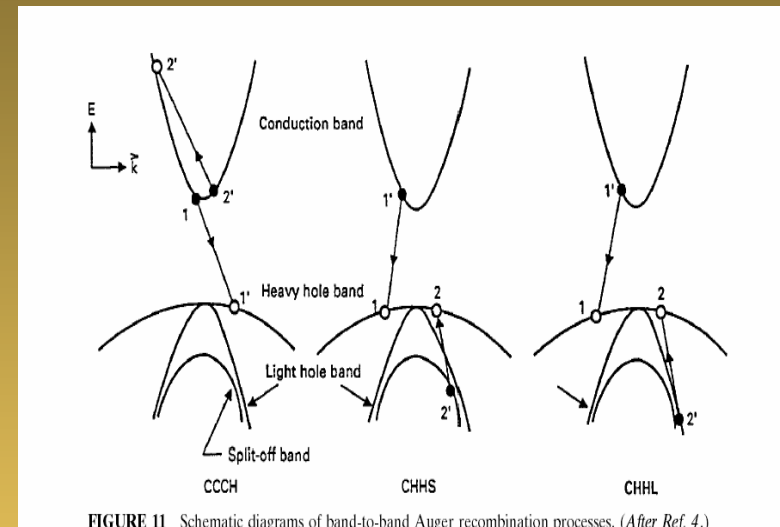


FIGURE 11 Schematic diagrams of band-to-band Auger recombination processes. (After Ref. 4.)

Lazeriai su įtemptomis kvantinėmis duobėmis

- Sumažino būsenų tankį.
- Padidino atsparumą temperatūriniais pokyčiams.
- Gerokai sumažino slenkstinę srovę.
- Lazeriai su įtemptomis kvantinėmis duobėmis yra ilgaamžiškesni, atsparesni temperatūros pokyčiams ir labiau patikimi.

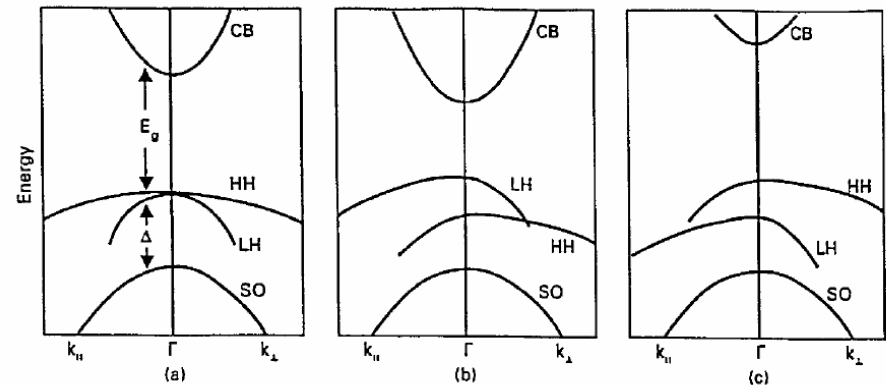
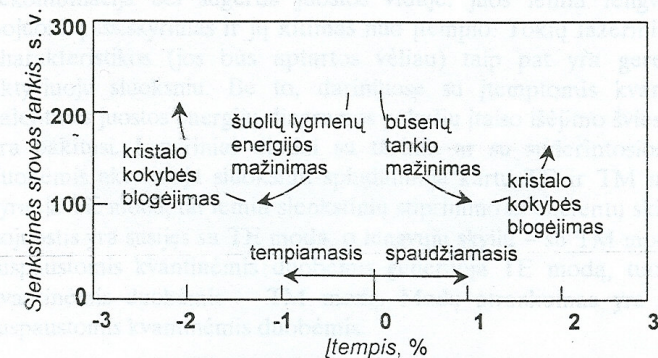


FIGURE 10 Schematic diagrams of the band structure of a III-V semiconductor: (a) unstrained; (b) under tensile strain; and (c) compressively strained. (After Ref. 81.)

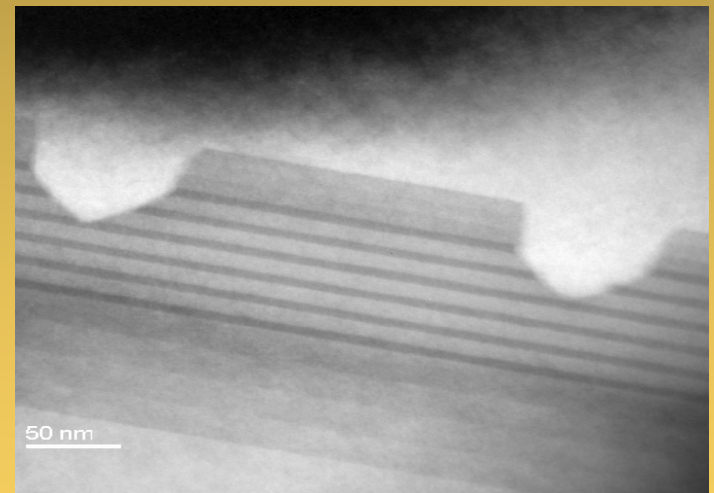
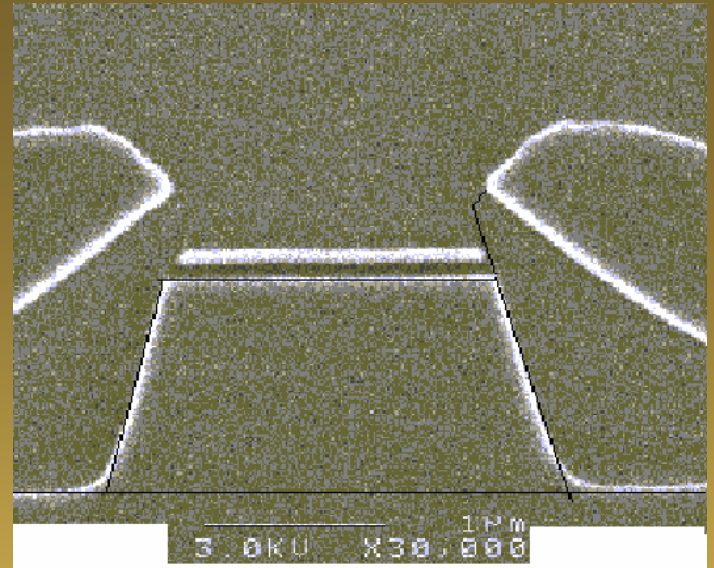


23 pav. Kvantinių duobių įtempties įtakos slenkstinei srovei schematiška diagrama.

Šiuo metu (2005-2006 m.) pasaulinis optoelektroninių prietaisų lyderis BOOKHAM™ telekomunikacijų srityje, siūstuvų gamyboje koncentruojasi į InGaAsP/InP BH SMQW DFB lazerinių diodų gamybą.

1,55 μm MQW BH DFB lazeris

- QW yra 4-6 nm (spinduliuojamas 1,55 μm bangos ilgis).
- DFB atrankioji gardelė sinusinė arba zigzaginė, gaunama cheminiu ėsdinimu.
- Nuotėkio sroves apriboja BH auginami MOCVD technologija.
- Gaminami lazeriai naudojami moduluose, skirtuose perduoti informaciją 175 – 360 km, 2,7 Gbit/s sparta.



VU Triukšmų Tyrimo Laboratorijos tirti puslaidininkiniai lazeriai

	Serija	Džs.	Darinyys	Įtempiamas	MQW	λ , μm	Z_1 , μm	E_g , eV	Pastabos	
"iš pirmųjų FP"	SI592	A	FP GRIN SCH RWG Grown by MOCVD on n' substrate	Comp. 0,7%	10 QW 4 \times $\mu\text{m}/10$ \times μm	1,3	250 500 750 1000	1,03		
	SI590							1,08		
	SI588							1,13		
	SI593							1,18		
	SI591							1,24		
"Rū 5"	SI2042	D	DFB RWG g' substrate		4 QW	1,55	375	1,0	Vieną gardelė zigzaginė, kitą sinusinė	
	SI2224	E							Apverstų kontaktų ant radiatoriaus	
	ETK	F								
"Rū 6"	FP	B	RWG g' substrate	Comp. 1,3%	5 QW 5 \times $\mu\text{m}/10$ \times μm	1,55			FP ir DFB iš tos pačios plėkštelės	
	DFB									
"Nortel 1"	A1373_1A	G	DFB BH	Comp.	6 QW 5,5 \times $\mu\text{m}/10$ \times μm	1,55	350	1,03	Nepatikimi	
	A2003_6	H							Patikimi	
"Nortel 2"	A2401_7A	C	FP BH	Comp.	6 QW 5,5 \times $\mu\text{m}/10$ \times μm	1,55	350	1,03	FP be mode hopping	
	A2099_4B	I	DFB BH						Tiristorinis efektas	
"Nortel 3"	A2106_4B	J	DFB BH	Comp.	6 QW 5,5 \times $\mu\text{m}/10$ \times μm	1,55	350	1,03	Geresni	
	A2106_1A	K							Blogesni	
"Nortel 4"	A3031_3A	-	FP			1,55			Nepatikimi, įraiši senkinimo trukmė	
	A3031_3D	-	DFB			1,55			Veidroščiai nedengti	
	A2401_7A	-	FP			1,55			Nepatikimi, įraiši senkinimo trukmė	
	A2401_7D	-	DFB			1,55			Veidroščiai padengti (5/70%)	

GRIN SCH, grown by MOCVD



Mokslų daktaro disertacijos iš puslaidininkinių lazerių triukšmų tyrimų

- Sandra Pralgauskaitė “*Optinis ir elektrinis vienmodžiū ir daugiamodžiū InGaAsP/InP lazerinių diodų su daugelio kvantinių duobių dariniais triukšmas žemų dažnių srityje*”, 2003.
- Emilis Šermukšnis “*Puslaidininkinių InGaAsP/InP lazerių sparta ir triukšmai*”, 2006.
- Vilius Palenskis “*Puslaidininkinių, superlaidininkų ir magnetikų bei jų darinių savybių triukšminė diagnostika*”, *habilitacijos procedūros mokslo darbų apžvalga*, 2004.



Triukšmų matavimo metodika

- Lazeriniai diodai pasižymi $1/f$ pobūdžio žemadažniu tiek elektriniu (įtampos ant lazerio fliktuacijos), tiek galios išeigos fliktuacijomis (įtampos ant fotodetektorių fliktuacijomis).
- $1/f$ triukšmas – atsitiktiniai įtampos ar srovės svyravimai, atsirandantys dėl atsitiktinių elektrinio laidžio ar elektroninių prietaisų parametrų atsitiktinių svyravimų ar nepastovumo.
- $1/f$ triukšmu pasižymi defektyvūs dariniai: blogi sąlyčiai, grūdėtos arba salelinės sandaros medžiagos, jonais bombarduoti ir neatkaitinti bandiniai.
- Pagal $1/f$ triukšmo lygį galime spręsti apie bandinio kokybę, jo parametrų pastovumą. Lazerių kokybės nustatyme didelį vaidmenį vaidina koreliacinė optinio ir elektrinio triukšmų analizė.

Triukšmų spektrų skaičiavimas

$$S_u = \frac{\bar{U}_D^2 - \bar{U}_S^2}{\bar{U}_e^2 - \bar{U}_s^2} \cdot 4kT_0R_e$$

$$k = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i^{el} V_i^{op}}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_i^{el})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_i^{op})^2}}$$

Koreliacinis metodas

$$U_1(t) = U_{op1}(t) + U_{fd1}(t)$$

$$U_2(t) = U_{op2}(t) + U_{fd2}(t)$$

$$k(\tau) = \langle U_1(t)U_1(t+\tau) \rangle =$$

$$\langle U_{op1}(t)U_{op2}(t+\tau) \rangle +$$

$$\langle U_{op1}(t)U_{fd2}(t+\tau) \rangle +$$

$$\langle U_{fd1}(t)U_{op2}(t+\tau) \rangle +$$

$$\langle U_{fd1}(t)U_{fd2}(t+\tau) \rangle$$

$$\left. \right\} = 0 \Rightarrow S(\omega) = \left\langle 4 \int_0^T k(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau \right\rangle$$

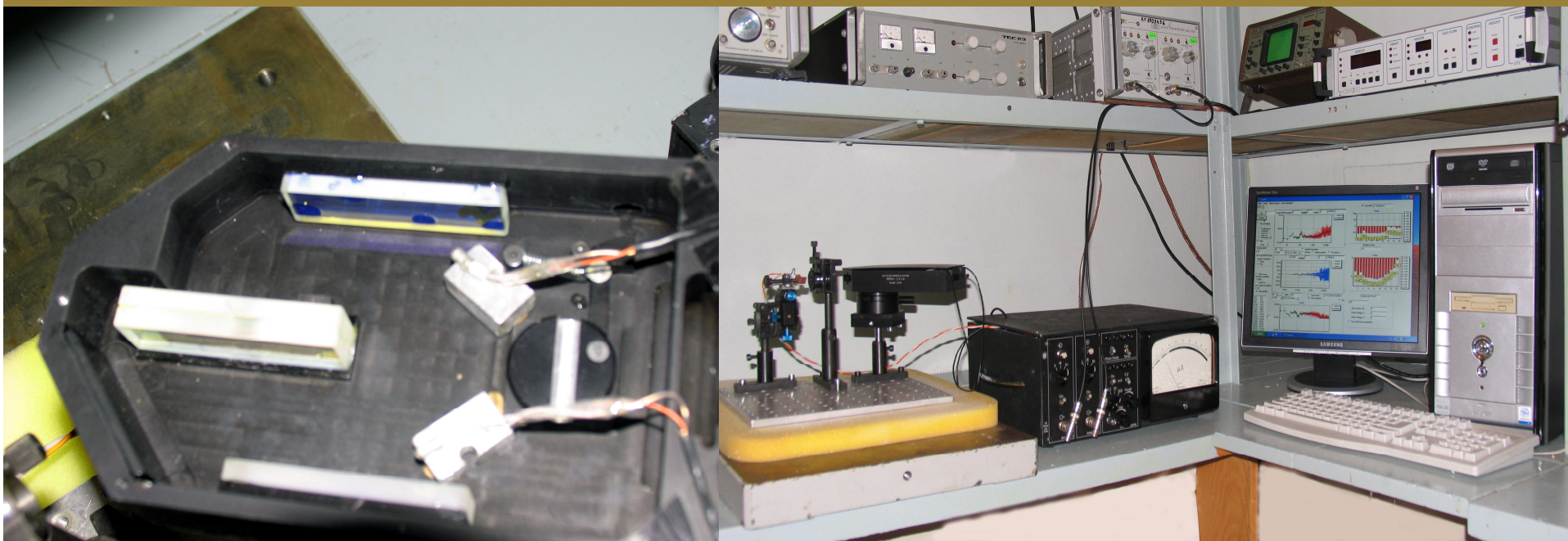
Kompleksinio koherencijos laipsnio skaičiavimas

$$\Gamma_{xy} = \frac{\dot{S}_{xy}(\omega)}{\sqrt{\dot{S}_{xx}(\omega)\dot{S}_{yy}(\omega)}}$$

$$\Gamma_{xy} = \begin{cases} 1 & \text{Visiška teigiama koreliacija} \\ 0 & \text{Nekoreliuoti signalai} \\ -1 & \text{Visiška neigiama koreliacija} \end{cases}$$

$\text{Re}\{\Gamma_{xy}\}$ -Koreliacijos koeficientas nuo dažnio

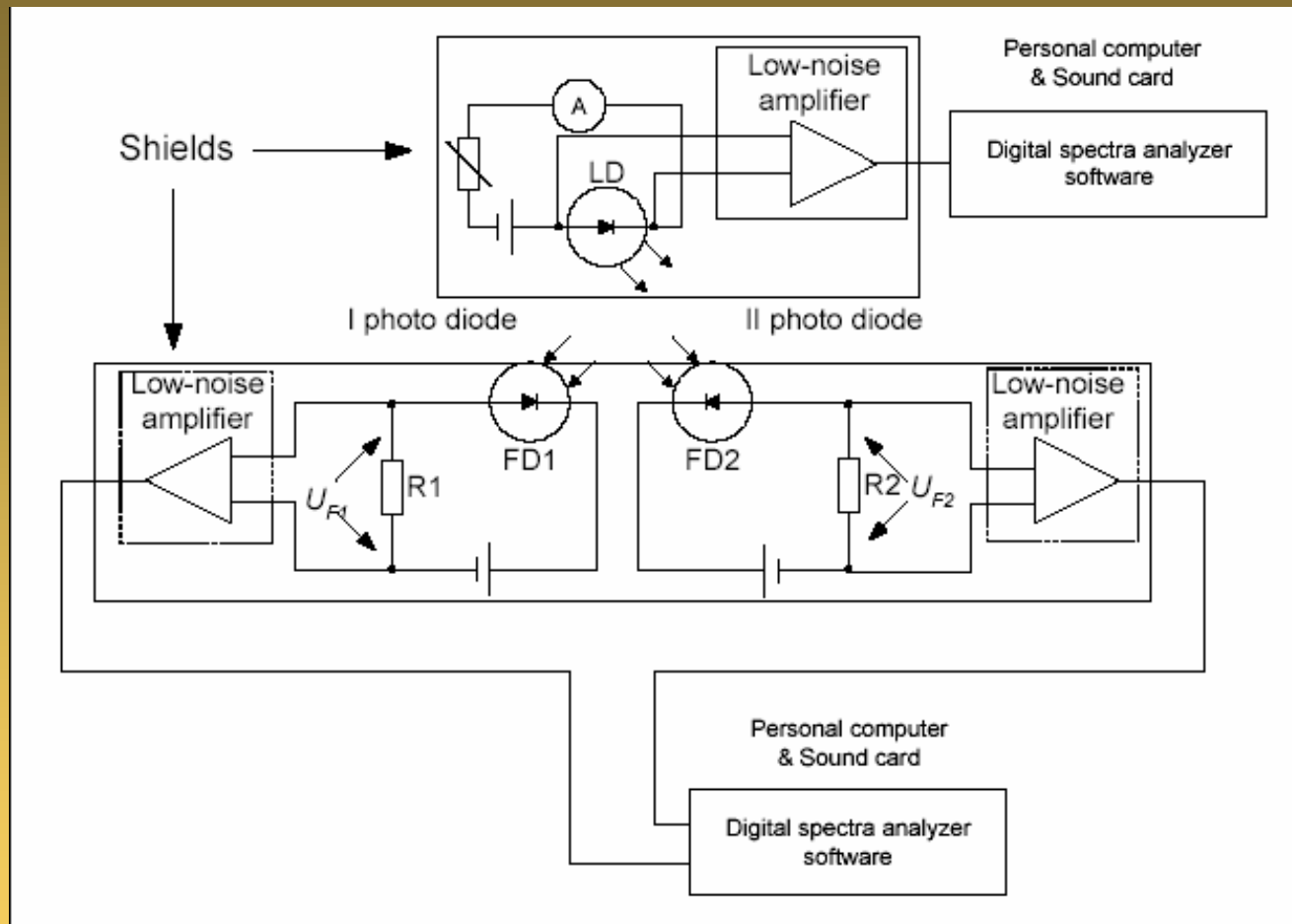
Aparatūrinis kompleksas



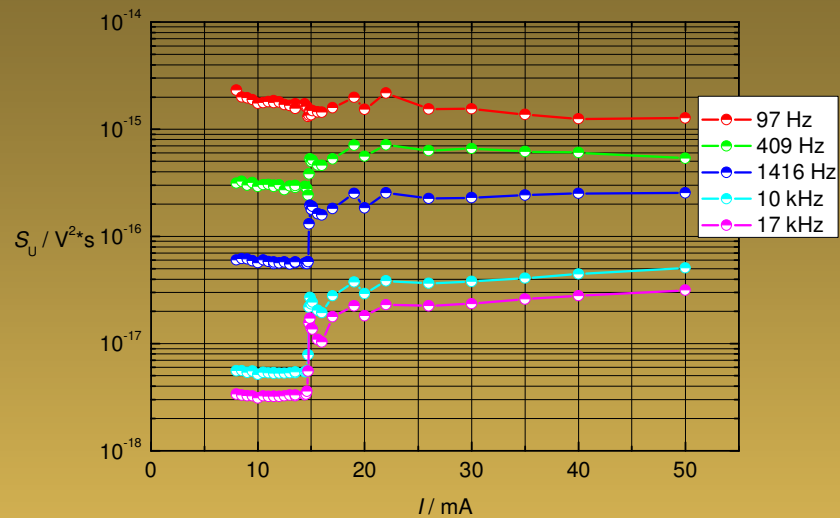
VILNIUS UNIVERSITY
NOISE RESEARCH LABORATORY



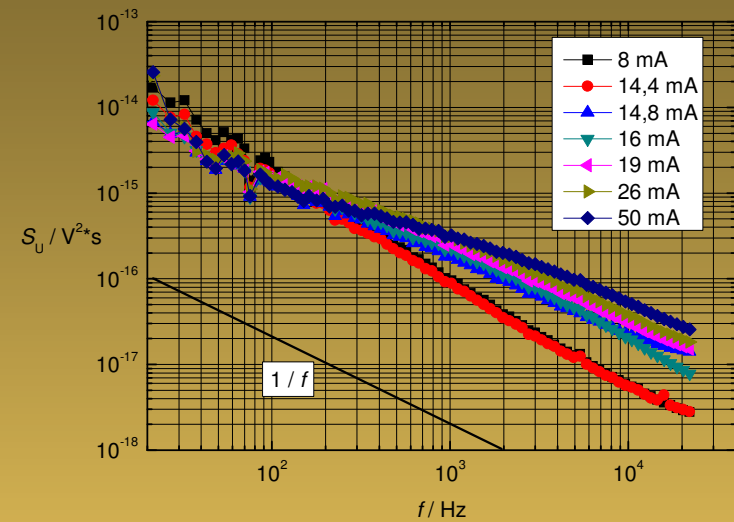
Triukšmų tyrimo schema



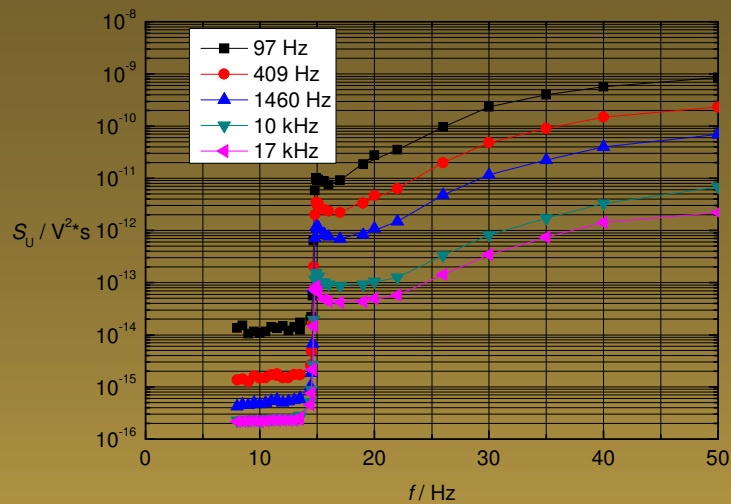
InGaAsP/InP lazerinio diodo triukšmų tyrimas



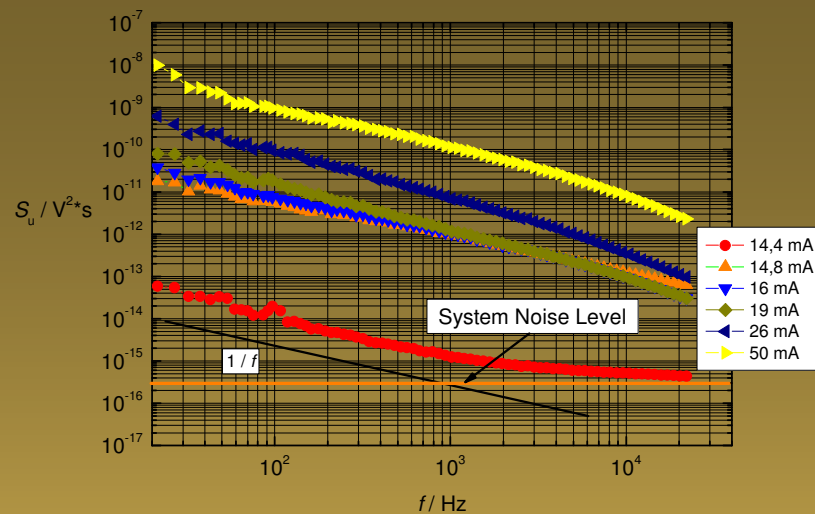
1 pav. Elektrinio triukšmo galios spektrinio tankio priklausomybė nuo lazerio srovės.



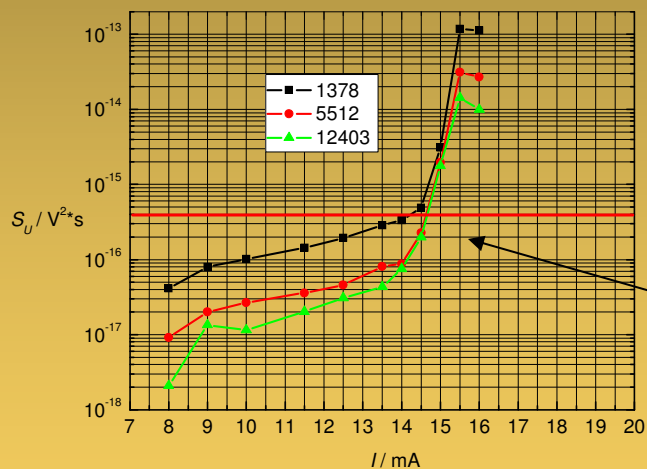
2 pav. Elektrinio triukšmo galios spektrinio tankio priklausomybė nuo dažnio.



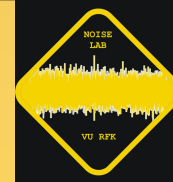
3 pav. Optinio triukšmo galios spektrinio tankio priklausomybė nuo lazerio srovės.

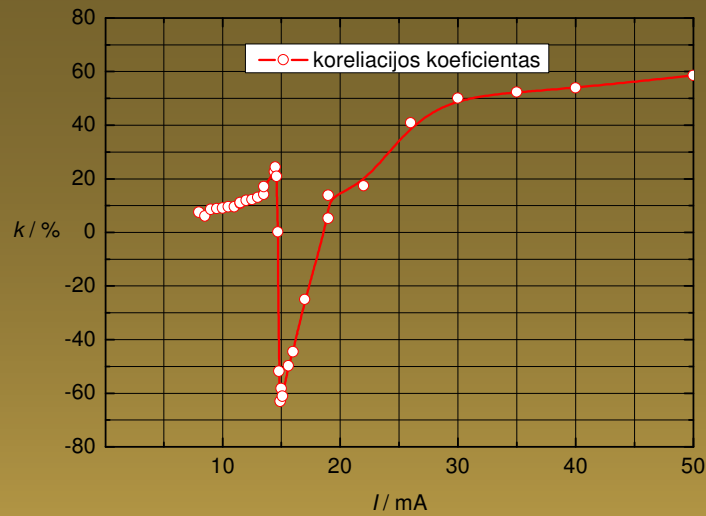


4 pav. Optinio triukšmo galios spektrinio tankio priklausomybė nuo dažnio.

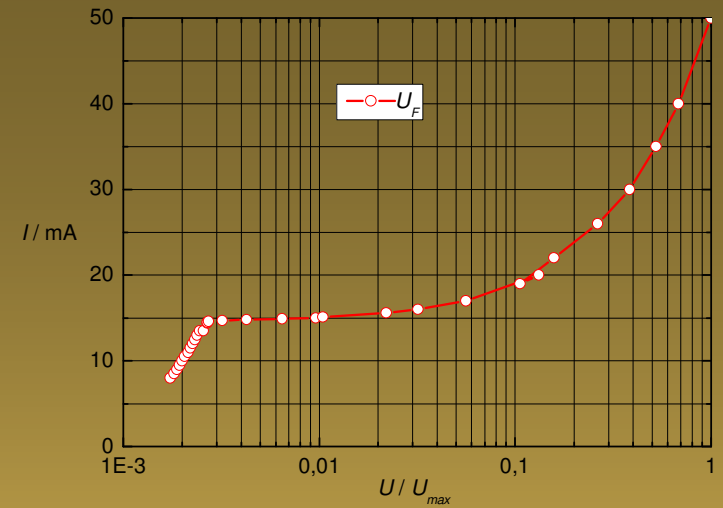


5 pav. Optinio triukšmo galios spektrinio tankio priklausomybė nuo lazerio srovės, matuojant koreliaciniu metodu.

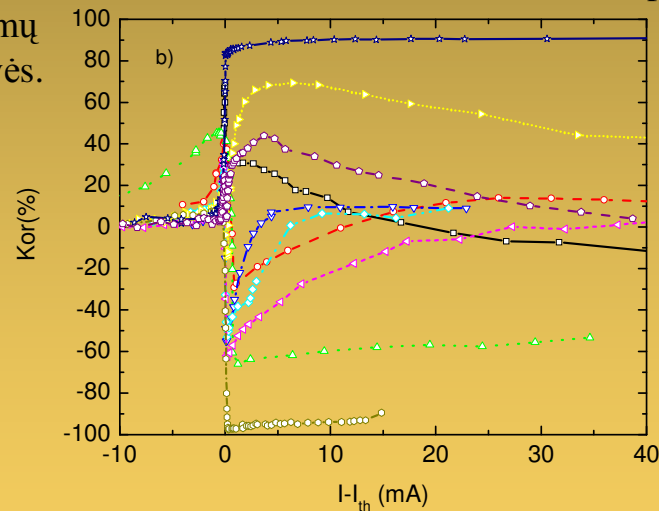




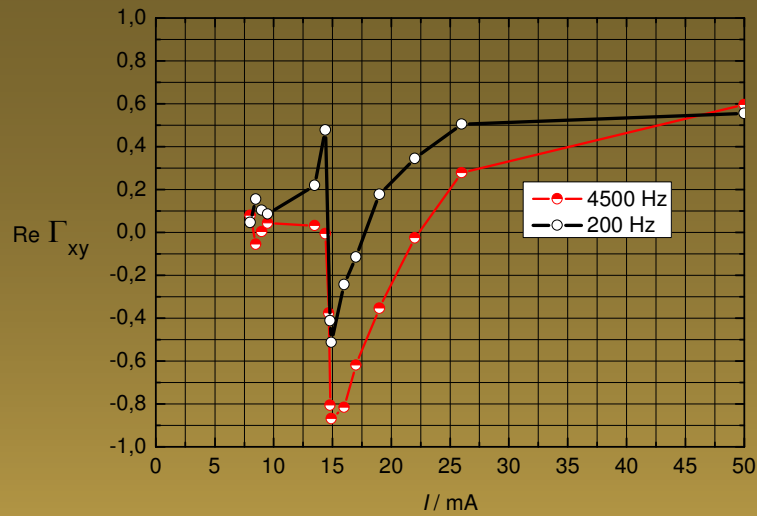
6 pav. Suvidurkinto koreliacijos koeficiento tarp optinio ir elektrinio triukšmų priklausomybė nuo lazerio srovės.



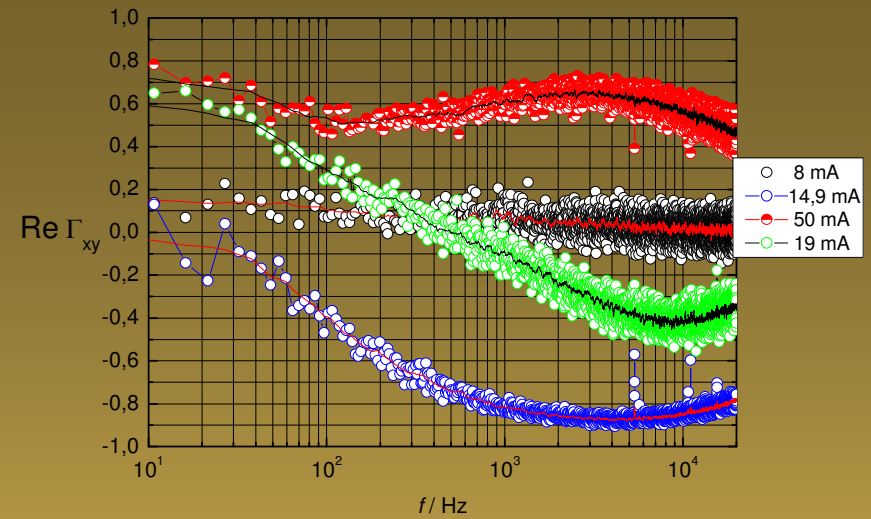
7 pav. Lazerinio diodo voltamperinė charakteristika.



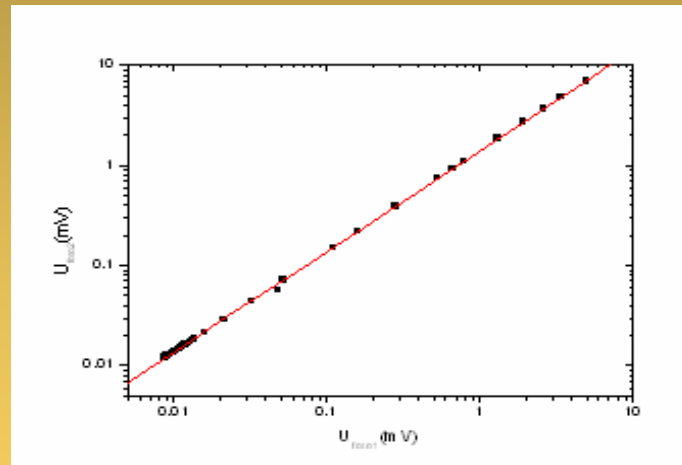
7 pav. Daugelio lazerinių diodų koreliacijos koeficiento priklausomybė nuo srovės..



9 pav. Koreliacijos koeficiento priklausomybė nuo srovės tam tikruose dažniuose.



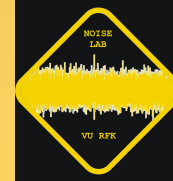
10 pav. Koreliacijos koeficiento priklausomybė nuo dažnio prie tam tikrų srovių.



11 pav. Abiejų fotoįtampų priklausomybė nuo srovės.

Rezultatų aptarimas ir išvados

- Triukšmų charakteristikų matavimas yra jautrus būdas lazerinio diodo kokybei ir patikimumui nustatyti.
- Koreliacijos koeficientas tarp optinio ir elektrinio triukšmų yra jautrus parametras nusakant lazerinių diodų kokybę ir patikimumą.
- Kompleksinio koherencijos laipsnio skaičiavimas suteikė papildomos informacijos apie koreliacijos koeficiento priklausomybę nuo dažnio.
- Koreliacinis metodas gerokai padidino matavimų jautrumą (išmatuoti signalai ~3 eilėmis žemiau sistemos triukšmų lygio) ir suteikė papildomos informacijos apie triukšmų spektrinį pobūdį žemiau lazerinės generacijos slenksčio.



Paskutiniai darbai apie lazerinių diodų triukšmų tyrimus

- *K.Vizbaras “InGaAsP lazerinių diodų triukšmų tyrimas”, Laisvieji skaitymai 2005.*
- *E.Šermukšnis, V.Palenskis, J.Matukas, S.Pralgauskaitė, J.Vyšniauskas, K.Vizbaras, R.Baubinas “Noise measurements of InGaAsP/InP laser diodes near the threshold current”, Lithuanian Journal Of Physics, Vol.45, No.6, pp. 471-476 (2005).*
- *S.Pralgauskaitė, J.Matukas, V.Palenskis, E.Šermukšnis, K.Vizbaras, J.Vyšniauskas “Correlation function method for semiconductor laser optical noise investigation and fluctuations of directivity diagram of laser radiation”, MIKON-2006.*
- *S.Pralgauskaitė, V.Palenskis, J.Matukas, K.Vizbaras “Laser diode degradation investigation via correlation between optical and electrical fluctuation measurements in the threshold current range”, 10th International Conference ELECTRONICS’2006.*
- *K.Vizbaras “Investigation of semiconductor laser optical noise spectra using correlation function method and calculation of a complex degree of coherence”, Laisvieji skaitymai 2006.*



A photograph showing a green, rectangular piezoelectric transducer mounted on a circular metal surface. The metal surface has some white residue or solder. The background is a plain, light-colored wall.

Ačiū už dėmesį!

VILNIUS UNIVERSITY
NOISE RESEARCH LABORATORY

