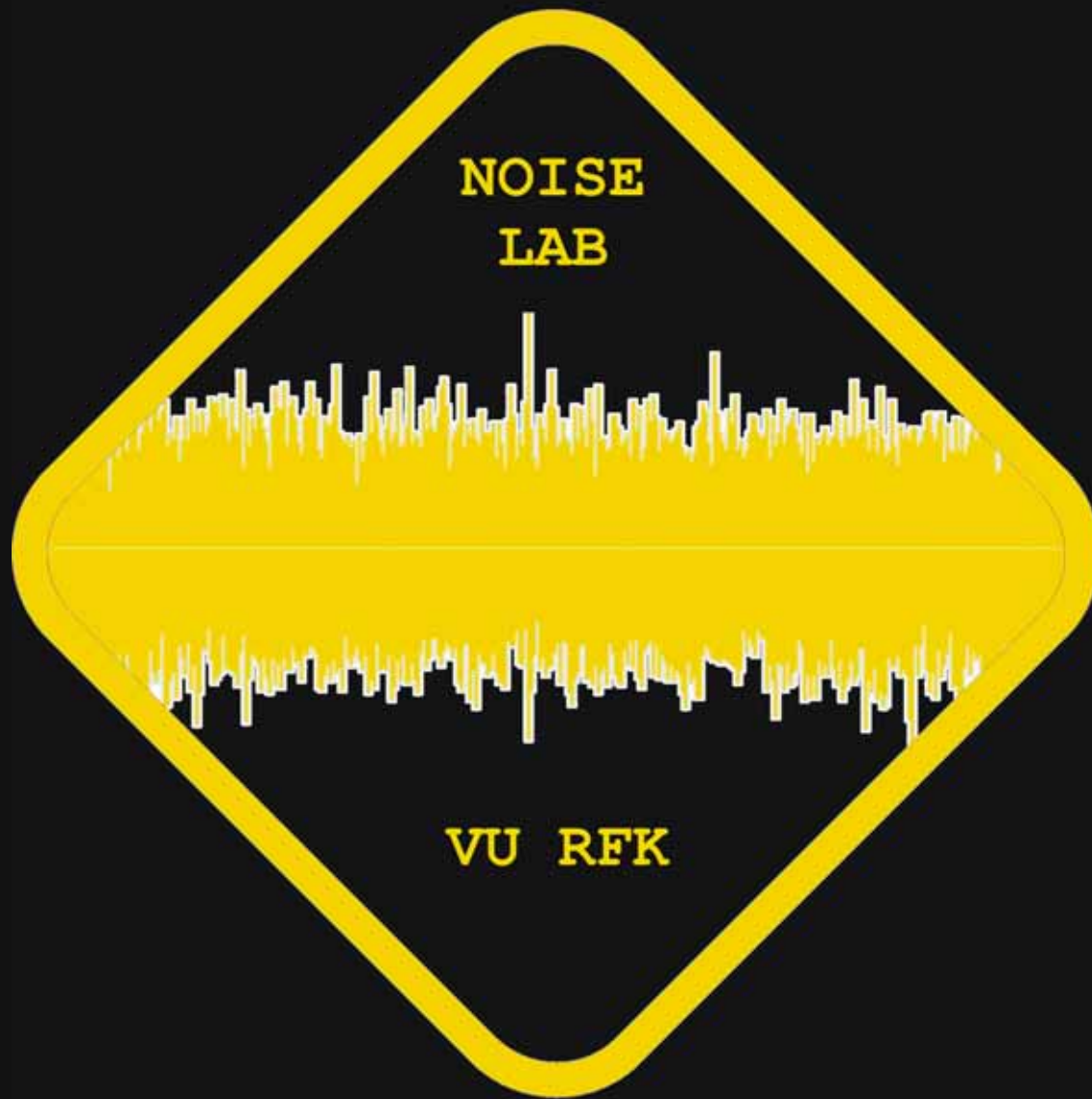


**NOISE  
LAB**



**VU REF**

# InGaAs/InP GRIŪTINIŲ FOTODIODŲ TRIUKŠMŲ TYRIMAS

AUGUSTINAS VIZBARAS

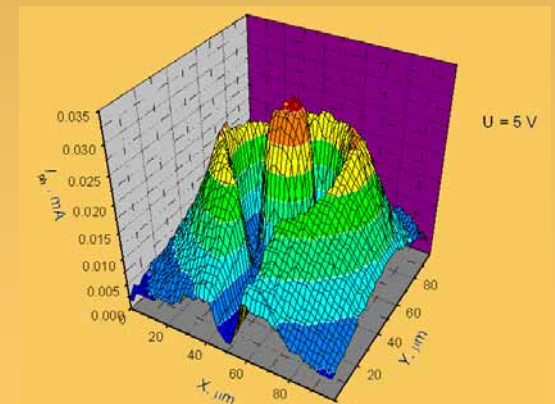
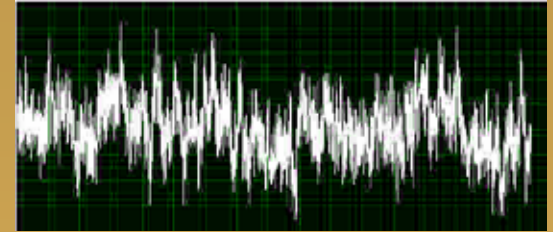
2006 02 09

VU TRIUKŠMŲ TYRIMO LABORATORIJA

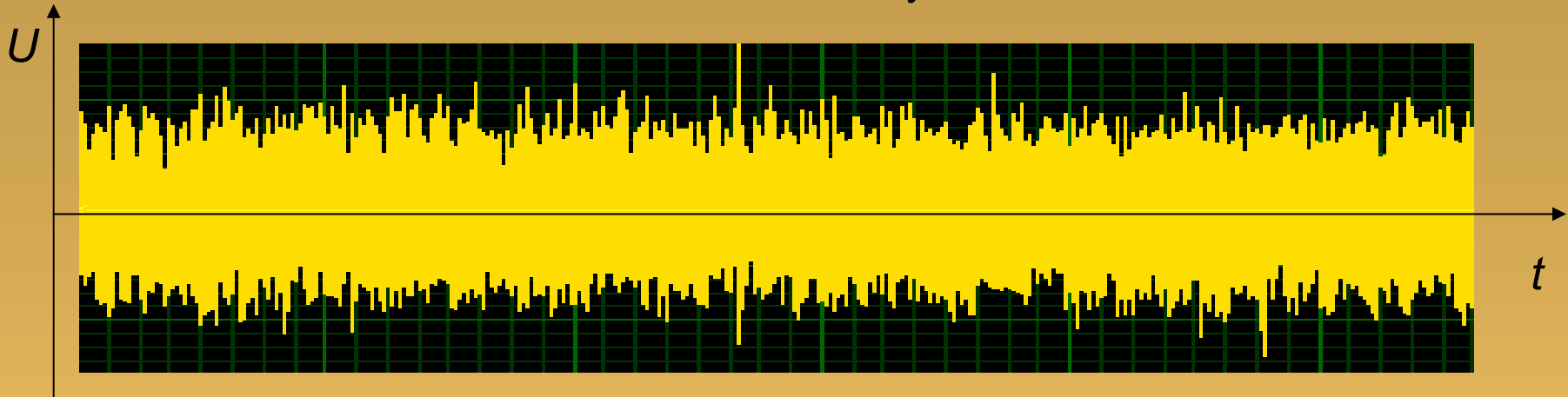


# TURINYS

- 1. TRIUKŠMAI.
- 2. GREITAVEIKIAI FOTODETEKTORIAI.
- 3. GFD TRIUKŠMŲ TYRIMAI



**Triukšmas** – didžiausią informacijos kiekį turintis signalas, bet kartais – didžiausias trukdys.



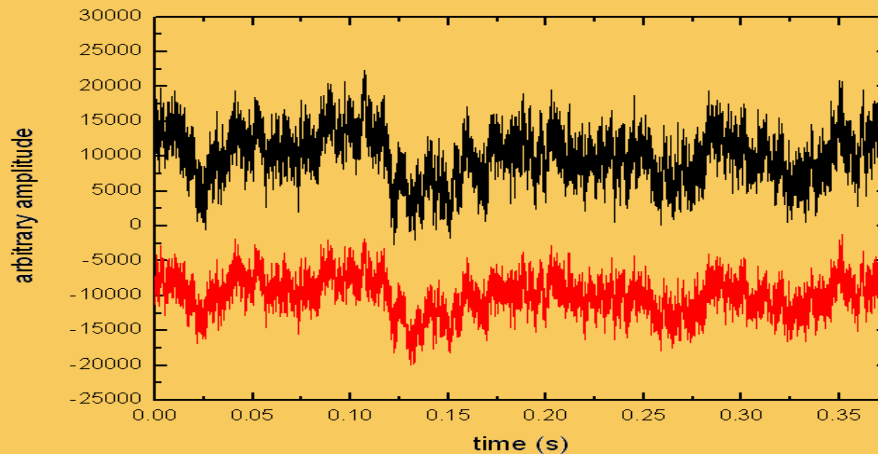
**Fliktuacijos (triukšmai) – atsitiktiniai makroskopinių dydžių nuokrypiai nuo jų vidutinės vertės**

*Fliktuacijų susidarymo mechanizmai:*

1. Šiluminis mikrodalelių judėjimas. (Šiluminiai triukšmai).
2. Atsitiktinis dalelių skaičiaus kitimas elektroniniuose srautuose. (Šratinis triukšmas).
3. Žemadažnės medžiagos laidumo fliktuacijos dėl krūvininkų emisijos ir pagavimo makroskopiniuose defektuose. ( $1/f$  triukšmas).
4. Feromagnetinių medžiagų domenų atsitiktinis persimagnetinimas. (Magnetiniai triukšmai, Barkhauzeno reiškinys).

## Istoriniai triukšmų tyrinėjimo faktai

- Iki 1925m. Triukšmai nagrinėjami tik teoriškai (1905-1906m. A.Einšteinas – Brauno dalelių judėjimas, 1918m. W. Shottky – šratinis triukšmas.).
- 1925-1928m. - šiluminis triukšmas. (H. Nyquist ir J.B. Johnson), Naikvisto teorema.
- 1925m.  $1/f$  triukšmas (J.B. Johnson ir A. Van der Ziel).
- 1966m.R.J.McIntyre GFD dauginimo triukšmas.



# Šiluminis triukšmas. Naikvisto teorema.

1927m. J. Johnson. Stiprintuvo įėjime prijungus varžą, išėjime stebimas triukšmas

$$\overline{\Delta U^2(t)} \sim \Delta R, T$$

Analogija su Brauno judesio teorija (A. Einstein)

1928m. H. Nyquist. Įtampos fliktuacijų spektrinio tankio priklausomybė nuo varžos ir temperatūros.

$$\overline{\Delta U^2(t)} = 4kTR\Delta f$$

$$S_U = 4kTR$$

Idealiu atveju įtampos fliktuacijų spektrinis tankis tiesiog proporcingas varžai R bei absoliučiajai temperatūrai ir nepriklauso nuo dažnio.

Realiu atveju:  $f \rightarrow \infty$

$$S_U \rightarrow 0$$

# Mikroskopinis šiluminio triukšmo modelis

A.Einstein Brauno judesio teorija:  $\langle x^2 \rangle = 2Dt$   $D$  – difuzijos koeficientas

Dalelės nuokrypio nuo pradinės vertės kvadrato vidurkis tiesiog proporcingas stebėjimo trukmei  $t$ .

Remiantis Vinerio – Chinčino teorema, fliktuacinės srovės spektrinis tankis žemų dažnių atveju:

$$S_j(f \rightarrow 0) = 4e^2 nD$$

$$D = \mu \frac{kT}{e}$$

$$S_j(f \rightarrow 0) = 4e^2 n \mu \frac{kT}{e} = 4kT \sigma$$

Šiluminio triukšmo taikymai:

1. Kalibravimo šaltinis (etaloninis triukšmų generatorius)
2. Temperatūros matavimas.
3. Bolcmano konstantos nustatymas.
4. Patogus būdas įvertinti tam tikrus medžiagų parametrus (laidį, varžą), nenaudojant įtampos šaltinių.

# Šratinis triukšmas. Shottky formulė.

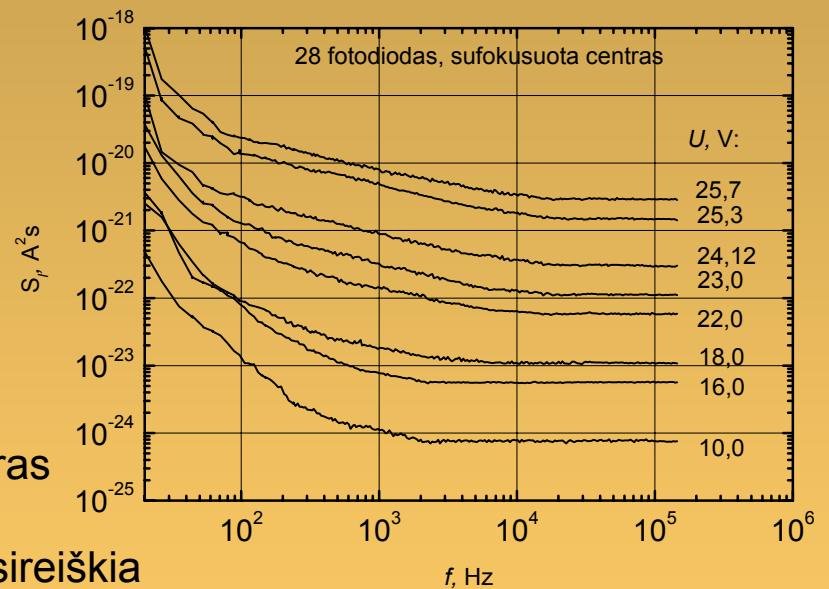
Puslaidininkinių diodų triukšmas:

- a) krūvininkai pralekia pro potencialų barjerą nepriklausomai vienas nuo kito;
- b) vyksmas atsitiktinis;
- c) pro potencialų barjerą tekančių srovių sukeltų srovės fliktuacijų spektrinis tankis išreiškiamas Shottky formule.

Šratinio triukšmo srovės fliktuacijų spektras pastovus plačiame dažnių intervale.

Žemuose dažniuose ( $f < 10\text{kHz}$ ) visada pasireiškia  $1/f$  triukšmas.

$$S_I = 2eI \quad 1918\text{m. W. Shottky}$$





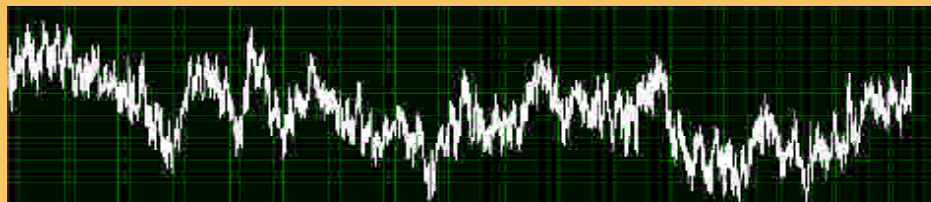
# Žemadažnis $1/f$ triukšmas

$1/f$  triukšmas – atsitiktiniai elektros srovės ir įtampos svyravimai, atsirandantys dėl medžiagos elektrinio laidžio arba elektroninių prietaisų parametrų atsitiktinių svyravimų ir nepastovumo.

$1/f$  triukšmas pasireiškia visur: puslaidininkiuose, metaluose, dielektrikuose, plonuose sluoksniuose, visuose elektroniniuose, joniniuose ir puslaidininkiniuose prietaisuose ir kt.

Dažniausiai didelį  $1/f$  triukšmą turi defektyvūs dariniai: blogi sąlyčiai, grūdėtos arba saelinės sandaros medžiagos, jonais bombarduoti ir neatkaitinti bandiniai.

Pagal  $1/f$  triukšmo dydį dažnai sprendžiama apie medžiagos arba prietaiso kokybę, jų parametrų pastovumą ir t.t.

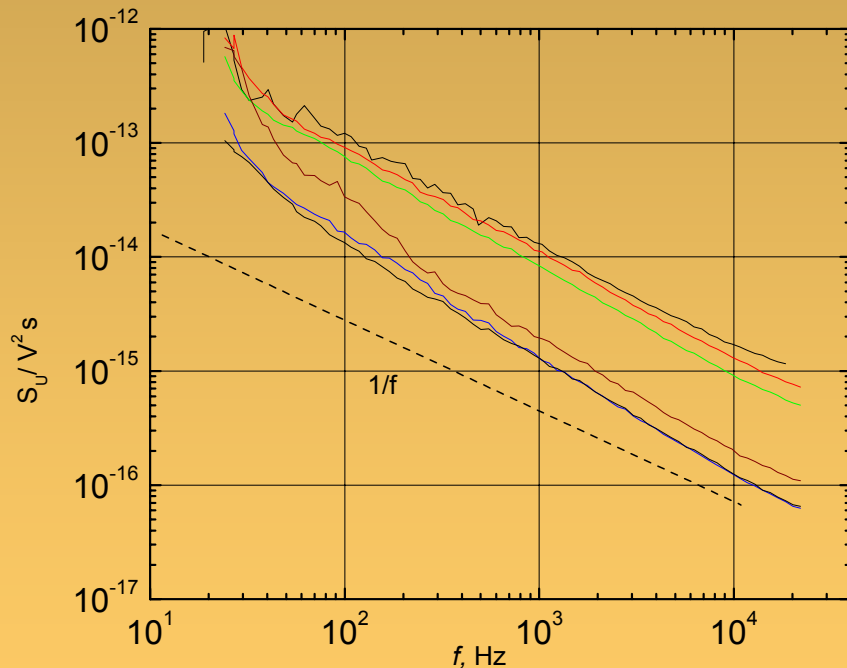


# 1/f triukšmo galios spektrinio tankio priklausomybė nuo dažnio

Galios spektrinio tankio priklausomybė nuo dažnio: **triukšmo galios spektrinis tankis didėja mažėjant dažniui.**

$$f: (5 \times 10^{-7} \div 10^4) \text{ Hz} \quad f^{-\gamma}, 0.7 < \gamma < 1.5$$

Problema Nr. 1: Ar gali galios spektrinis tankis neapibrėžtinai didėti, kai  $f \rightarrow 0$ ?



1/f triukšmo galia bandinyje, kurio varža R ir juo teka nuolatinė srovė I, lygi:

$$P_{1/f} = R \int_{f_1}^{f_2} S_i(f) df = R \int_{f_1}^{f_2} I^2 \frac{A}{f} df = AI^2 R \ln \frac{f_2}{f_1}$$

Matome, kad jei  $f_1 \rightarrow 0, P_{1/f} \rightarrow \infty$  ← neapibrėžtumas

Fizikinė uždavinio interpretacija:

Esant termodinaminės pusiausvyros sąlygoms šiluminio triukšmo galia lemia tik termodinaminė temperatūra.

Tekančios srovės fliktuacijų galia lemia pridėtas išorinis šaltinis:

$$P_{1/f} = AI^2 R \ln \frac{f_2}{f_1} < P_0 = I^2 R$$

$$A \ln \frac{f_2}{f_1} < 1 \Rightarrow \lim_{f \rightarrow 0} S_i(f) \propto f^{-\gamma}, \gamma < 1$$

## Tiesinių elementų 1/f triukšmas

Laidžioje medžiagoje tekančios srovės  
fliktuacijų spektrinis tankis:

$$S_i(f) \propto \frac{I^2}{N} \frac{1}{f} \propto I^2 R \frac{1}{f}$$

- 1) Srovės fliktuacijas lemia laidininko varžos arba laidžio fliktuacijos pusiausvyros sąlygose.
- 2) Srovės fliktuacijas lemia laidininke išskleidoma maitinimo šaltinio energija.

Jei varžas R yra termodinaminėje pusiausvyroje:

$$S_u(f) = 4kTR$$

$$R(t) = R_0 + \Delta R(t)$$

$$\overline{\sigma_u^2(t)} = \overline{\Delta u^2(t)} = 4kTR(t)\Delta f \leftarrow \text{Irgi fliktuos}$$

$$\frac{\overline{\Delta \sigma_u^2(t)}}{\sigma_u^2} = \frac{\Delta R(t)}{R_0}$$

arba

$$\frac{S_{\sigma_u^2}}{(\sigma_u^2)^2} = \frac{S_R}{R_0^2} = \frac{A}{f}$$

Vadinasi, termodinaminės pusiausvyros sąlygose  
šiluminis triukšmas yra moduluotas žemo dažnio varžos  
fliktuacijomis, turinčiomis 1/f spektrą.

# Pagrindinės teorijos, aiškinančios $1/f$ triukšmo prigimtį

- 1) Relaksacinis  $1/f$  triukšmo modelis.** Grindžiamas generacinių – rekombinacinių (relaksacinių) spektrų superpozicija. Triukšmo dydis atvirkščiai proporcingas suminiam judriųjų krūvininkų skaičiui bandinyje  $N$ .
- 2)  $1/f$  triukšmas – krūvininkų judrio fliuktuacijos.** *(Spektro pobūdis postuluojamas, nepaaiškina žemadažnių fliuktuacijų, kai krūvininkų pralėkimo trukmė pro mažus bandinius labai trumpa.)*
- 3) McWhorter tunelinis modelis.** Žemadažnės medžiagos laidžio fliuktuacijos dėl krūvininkų tuneliavimo į paviršinį oksido sluoksnį. *(Krūvininkų tuneliavimo trukmė kinta labai plačiame laiko intervale.)*

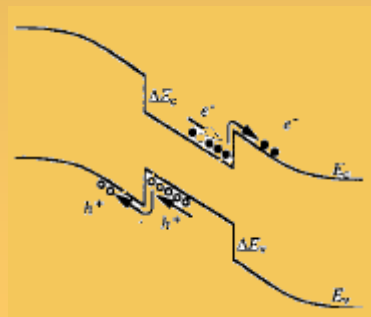
## 2. Greitaveikiai puslaidininkiniai fotodektoriai

- **Panaudojimas:**

- 1) Telekomunikacijų tinklai;
- 2) Plačiajuosčiai vietiniai tinklai (LAN);
- 3) Įvairūs instrumentai (jutikliai, apsaugos sistemos, karo pramonė, astronominiai instrumentai ir t.t.).

- **Klasifikacija:**

- 1) Medžiaga priklausomai nuo šviesos bangos ilgio (Si, GaAs, InGaAs, Ge, AlGaSb, GaSb, AlGaAs, GaN ir t.t.).
- 2) Tipai ( fotodiodai, pin fotodiodai, griūtiniai fotodiodai, fototranzistoriai ir t.t.).
- 3) Struktūra ir sandara (kontaktų konfigūracija, šviesos surinkimas, sugeriančioji medžiaga).



# Medžiagos ir bangos ilgiai

**Optinės telekomunikacijų sistemos:**

**(800 - 1600)nm**

Fotonų skaičiavimas:

(400 – 1800)nm

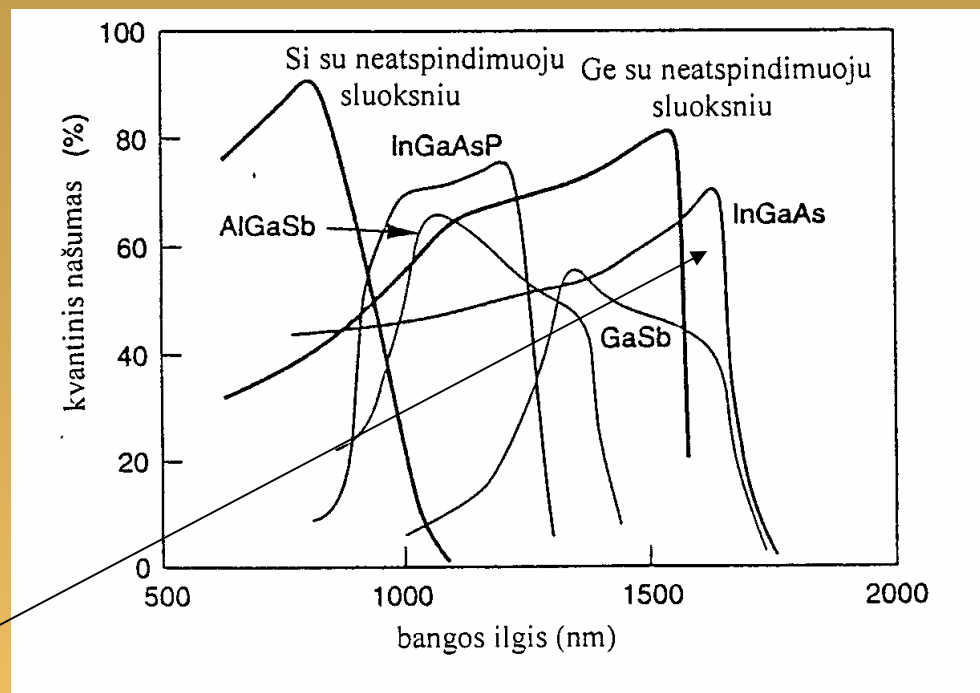
Astronomija:

(200 - 1200)nm

Spektroskopija:

(400 -6000)nm

Šiuolaikiniuose šviesolaidiniuose telekomunikacijų tinkluose efektyviausia naudoti  $\lambda=0,85\mu\text{m}$ ,  $1,3\mu\text{m}$  ir  $1,55\mu\text{m}$ .



Viena populiariausių medžiagų :



Keičiant elementų sudėtį, galima keisti draudžiamųjų energijų tarpą, t.y. suderinti priimamam bangos ilgiui.

- Sugeriamos šviesos bangos ilgį lemia puslaidininkio draudžiamosios energijos tarpas.

$$\lambda_c = \frac{1.24 \times 10^3}{E_g} \text{ nm}$$

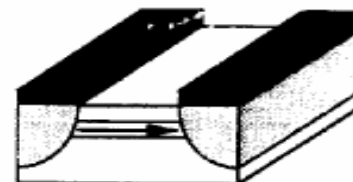
1a. Kontaktų konfigūracija



Vertikalaus surinkimo

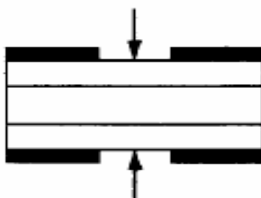


MPM šukinis



Horizontalaus surinkimo

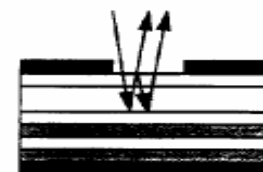
Optinė konfigūracija - vertikalus apšvietimas



Vieno praėjimo (paviršiaus, padėklo apšvietimas)

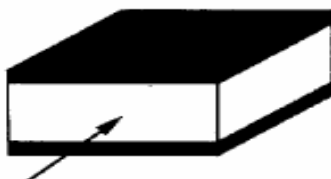


Dvigubo praėjimo



Rezonatorius

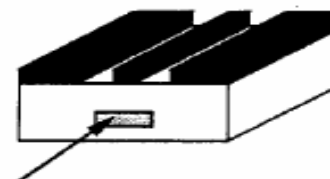
Optinė konfigūracija - horizontalus apšvietimas



Horizontali sugertis

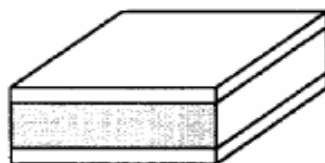


bangolaidinė struktūra

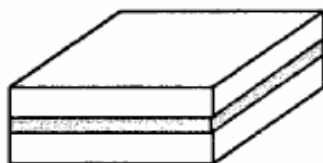


Traveling Wave

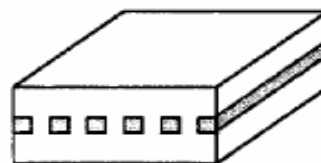
Sugerianti medžiaga



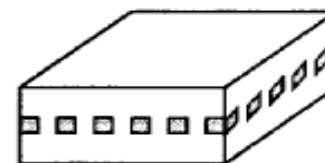
Tūris



Kvantinė duobė



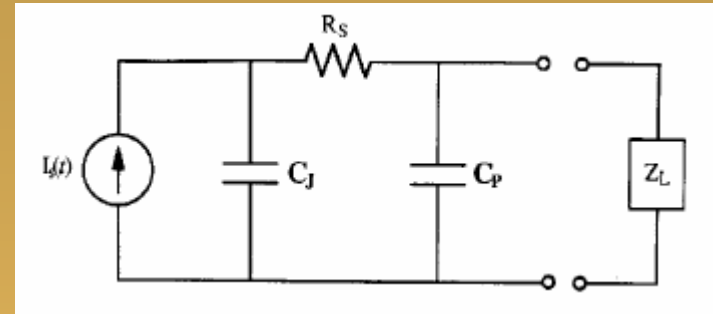
Kvantinė gija



Kvantinis taškas

## Pagrindiniai greitaveikių fotodetektorių parametrai

- 1) Dažnių juostos plotis.
- *Riboja lėkio trukmė (transit time), RC konstanta, difuzijos srovė ir krūvininkų pagavimas įvairiatarpėse sandūrose.*
- 2) Kvantinis našumas.
- *Kvantiniam našumui įtakos turi krintančios šviesos atspindys nuo fotodiode paviršiaus, šviesa sužadintų krūvininkų rekombinacija paviršiuje ir nuskurdintame sluoksnyje bei šviesos sugertis nuskurdinto sluoksnio išorėje.*
- 3) Triukšmų lygis.
- Šratinis triukšmas, dauginimo triukšmas,
- 1/f triukšmas, signalo – triukšmo santykis.



$$\eta_{fd.} = \frac{I_{foto}}{\frac{q}{P_{kr.}}} \cdot 100\% \\ h\nu$$

$$F = M \left\{ 1 - (1 - k_{ef}) \left[ 1 - \frac{1}{M} \right]^2 \right\}$$



# Krūvininkų lėkio trukmė

Šviesos fotono medžiagoje sužadinti krūvininkai, prijungus užtvarinę įtampą, per tam tikrą laiko tarpą pasieks elektrodus.

$$\tau = L/v$$

Judėdami krūvininkai sukurs srovę:

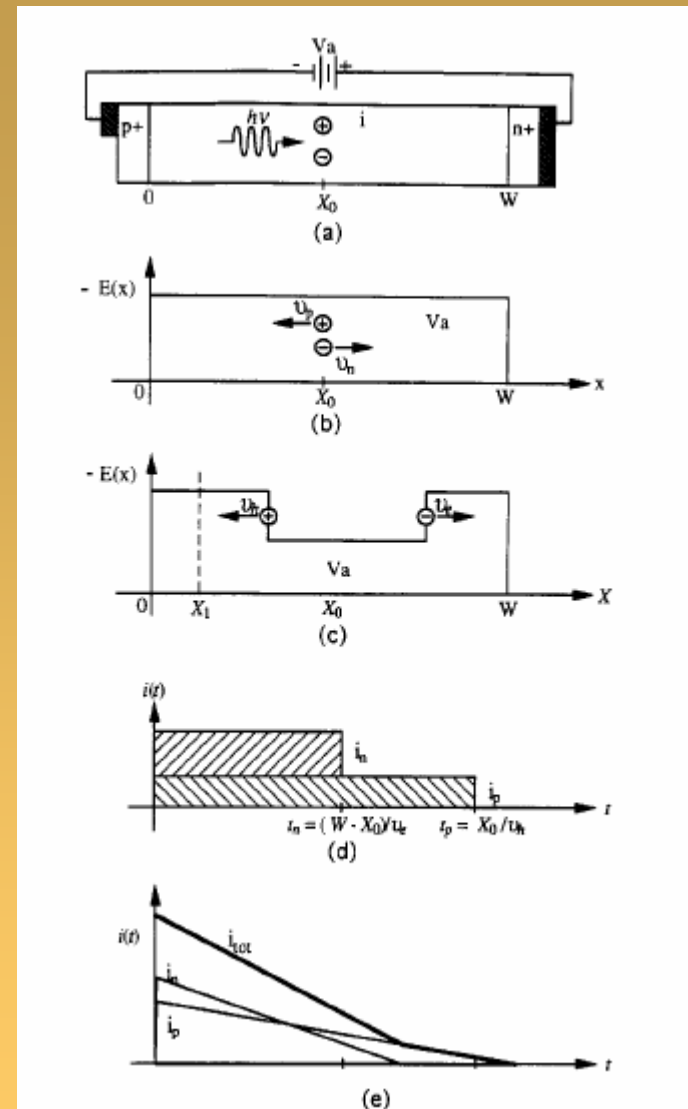
$$i(t) = -\varepsilon A \frac{\partial E}{\partial t} = \frac{qAv_e\sigma}{W} + \frac{qAv_h\sigma}{W}$$

Srovės impulso trukmė:

$$\tau_e = \frac{W - X_0}{v_e}$$

$$\tau_h = \frac{X_0}{v_h}$$

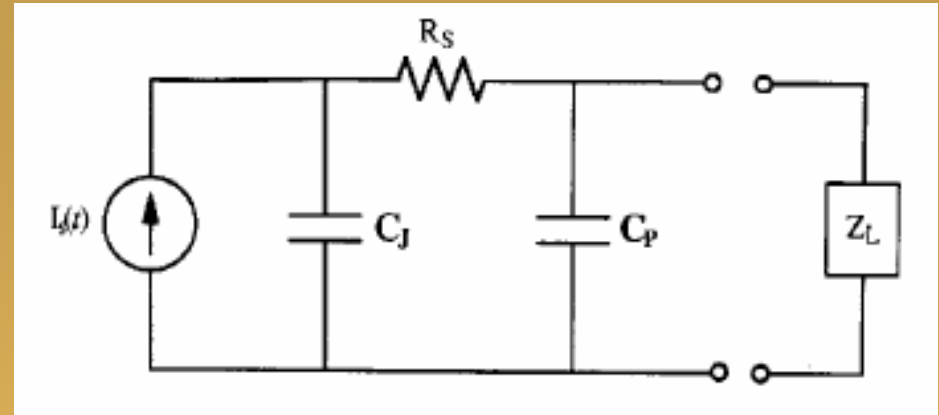
Pereigos trukmę galime mažinti, didindami krūvininkų soties dreifinį greitį  $v$ .



## RC konstanta

- Ekvivalentinė fotodetektoriaus schema
- $R_s$  – nuostolių varža,
- $C_j$  – pn sandaros barjerinė talpa,
- $C_p$  – pašalinė talpa,
- $Z_L$  – apkrovos varža

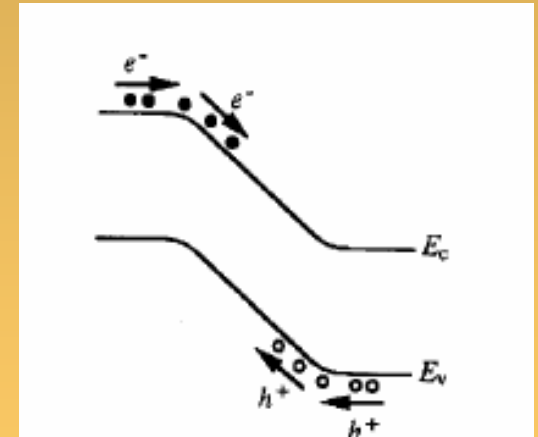
$$\tau_{RC} = (R_L + R_s)(C_j + C_p)$$



## Difuzijos srovė

$$J_{dif} = qn\mu_e \left( \frac{kT/q}{L_{dif}} \right)$$

Krūvininkai, eantys atstumu, artimu difuzijos nuotoliui, nuo nuskurdintos srities, gali į ją difunduoti, taip sukurdami pašalinę difuzinę srovę.

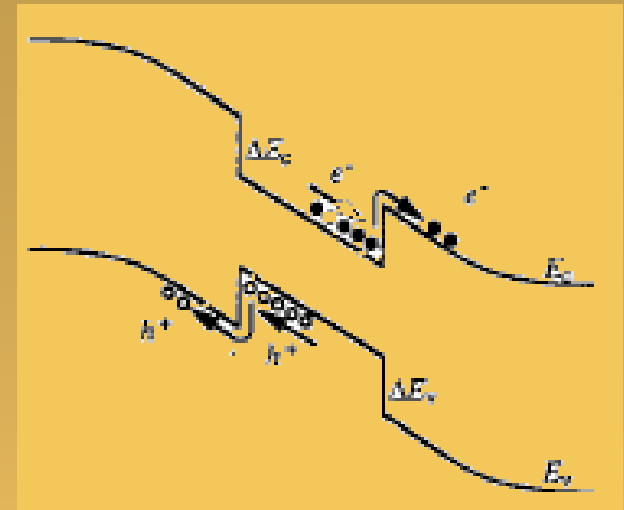


# Krūvininkų pagavimas įvairiatarpėse sandūrose

Įvairiatarpės sandūros lemia elektronų pagavimą laidumo juostos netolydumuose ir skylių pagavimą valentinės juostos netolydumuose.

$$e_n(t) = \left( \frac{1}{\tau_e} \right) \exp\left( -\frac{t}{\tau_e} \right) u(t)$$

$$e_p(t) = \left( \frac{1}{\tau_h} \right) \exp\left( -\frac{t}{\tau_h} \right) u(t)$$



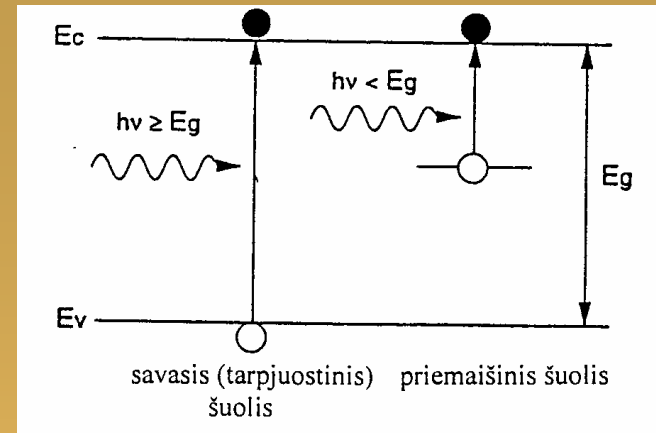
Skylių pagavimas ir emisija įvairiatarpėje InP/InGaAs sandūroje – didelė problema.

$$\frac{1}{\tau_e} = B \exp\left( -\frac{\phi_{be}}{kT} \right)$$

Tam, kad suderintume įvairiatarpės draudžiamąsias juostas, naudojami **gradientiniai sluoksniai** (InGaAsP) ir **supergardelės**.

# Kvantinis našumas ir optinė sugertis

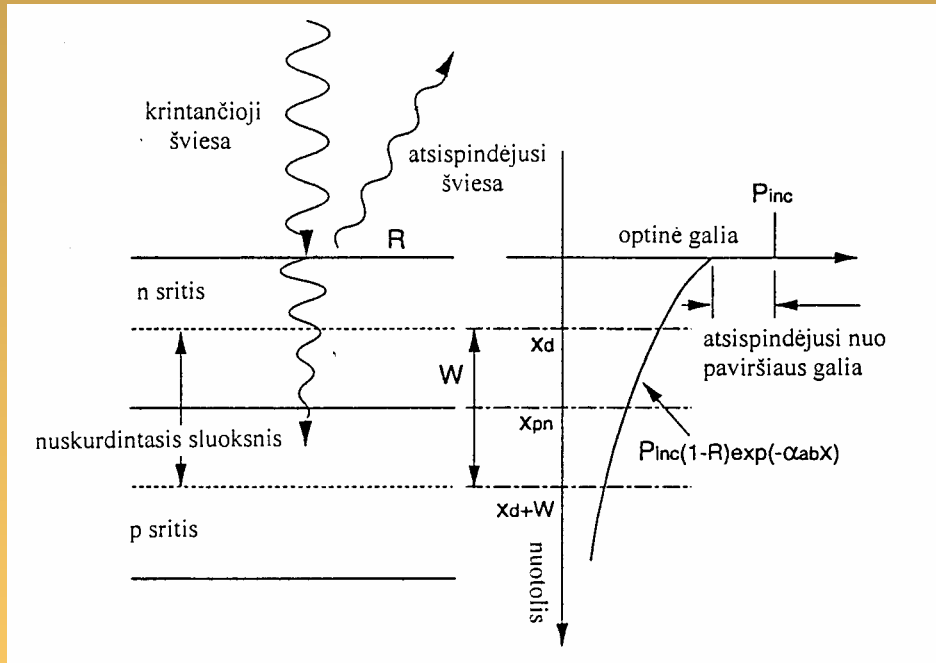
Apšviečiant puslaidininkį krūvininkai sukuriama tiek vykstant saviesiems (tarpjuostiniams) šuoliams per draudžiamosios energijos tarpą, tiek vykstant šuoliams iš priemaišinių centrų



## Kvantinis našumas

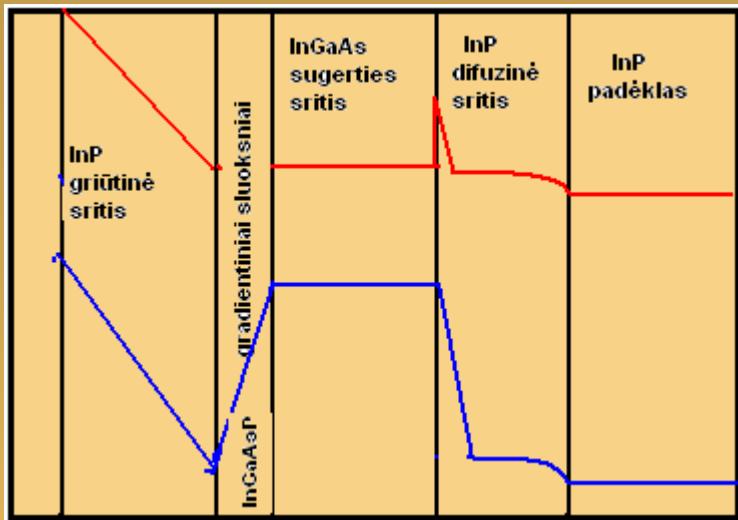
$$\eta_{fd.} = \frac{I_{foto}}{P_{kr.}} \cdot 100\% = \frac{q}{hw}$$

Laipsnišką kvantinio našumo mažėjimą trumpėjant bangos ilgiui daugiausia lemia didėjanti optinė sugertis tarp paviršiaus ir aktyviojo sluoksnio ir dėl krūvininkų rekombinacijos paviršiuje.



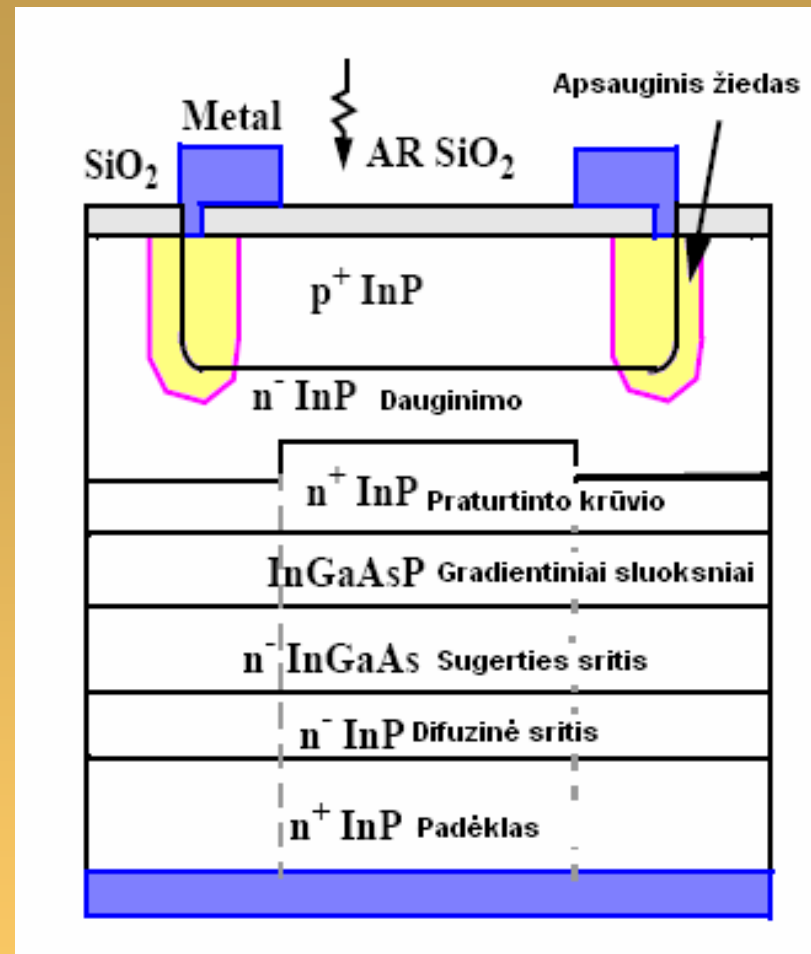
Optinė sugertis  $P = P_0 \exp(-\alpha_{ab} x)$

# Griūtiniai fotodiodai



Fotodiodas su griūtinio sluoksniu, kuriame sukuriama stiprus elektrinis laukas, pakankamas sukelti smūginę jonizaciją. Prasideda elektronų (skylių) griūtis – **griūtinis pramušimas**.

**Griūtinis fotodiodas** – fotodiodas, turintis vidinį stiprinimą.



# Griūtinė jonizacija ir pagrindiniai GFD parametrai

Pilnutinė fotosrovė:

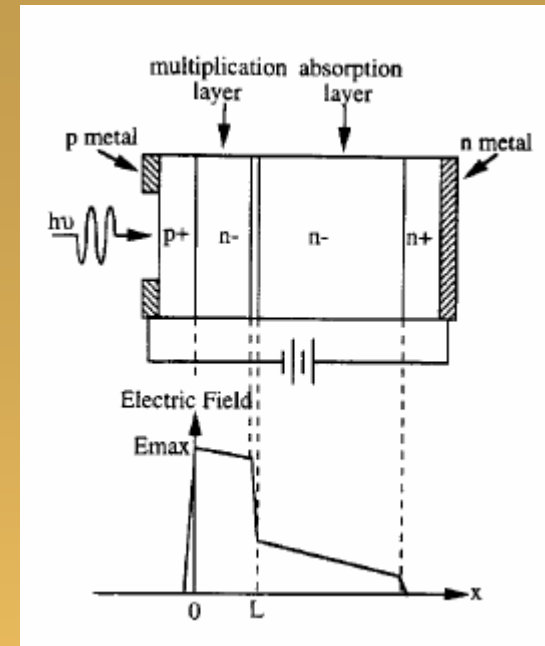
$$J = \frac{J_p(w) \exp\left[-\int_0^w (\alpha_i - \beta_i) dx\right] + J_n(0) + q \int_0^w g(x) \exp\left[-\int_0^x (\alpha_i - \beta_i) dx'\right] dx}{1 - \int_0^w \alpha_i \exp\left[-\int_0^x (\alpha_i - \beta_i) dx'\right] dx}$$

$J_p(w), J_n(w)$  Skylių ir elektronų srovės tankiai griūtinėje srityje.

$J_p(0), J_n(0)$  Injekuotų į griūtinę sritį krūvininkų srovės tankiai

$\alpha_i, \beta_i$  Elektronų ir skylių jonizacijos koeficientai

$g(x)$  Krūvininkų generacijos – rekombinacijos spartą apibūdinantis dydis



Pilnutinė tamsinė GFD srovė:  $I_d = I_{du} + MI_{dm}$

Triukšmų srovės spektrinis tankis:

$$S_i = 2qI_{du} + 2qI_{dm} M^2 F(M)$$

**McIntyre triukšmų faktorius**

$$F = M \left\{ 1 - (1 - k_{ef}) \left[ 1 - \frac{1}{M} \right]^2 \right\}$$

# InGaAs/InP griūtinių fotodiodų triukšmų tyrimas

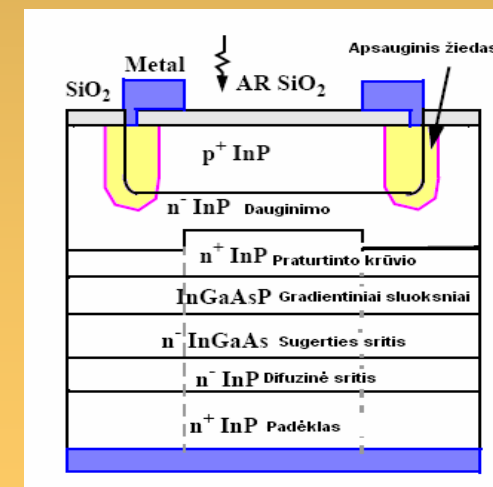
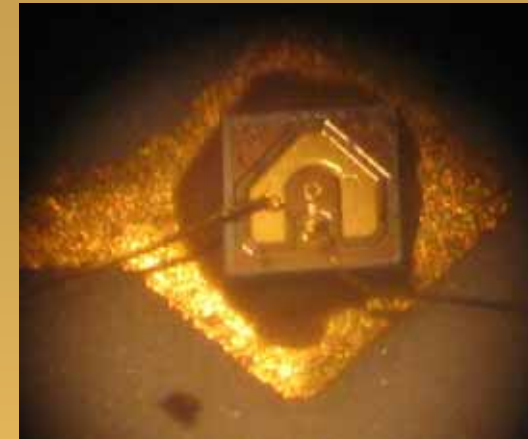
**Tiriami bandiniai:** 10Gbps Bookham™ griūtiniai InGaAs/InP fotodiodai, skirti šviesolaidiniams telekomunikacijų tinklams.  $\lambda = 1,55 \mu m$

## Tyrimo objektas:

- 1) Ištirti griūtinio fotodiodo aktyviosios srities ir periferijos triukšmų priklausomybę nuo koordinatės.
- 2) Ištirti jonizuojančios spinduliuotės įtaką fotodiodo triukšmams.
- 3) Įvertinti griūtinio fotodiodo kokybę ir patikimumą.
- 4) Apibendrinti gautus rezultatus ir pasiūlyti problemos sprendimą.

## Tyrimo apartūrinis kompleksas:

- 1) Žemadažnių triukšmų spektrų matavimo stendas. (VU Triukšmų Tyrimo Laboratorija).
- 2) National Instruments™ kompiuterinė plokštė – keitiklis(20Hz – 150kHz).
- 3) Mikromanipuliatorius NanoCube© P-611.3S ir jo valdiklis E-664.S3 (VU Triukšmų Tyrimo Laboratorija, VU Lazerinių Tyrimų Centras)
- 4) LabView™ duomenų apdorojimo programa.

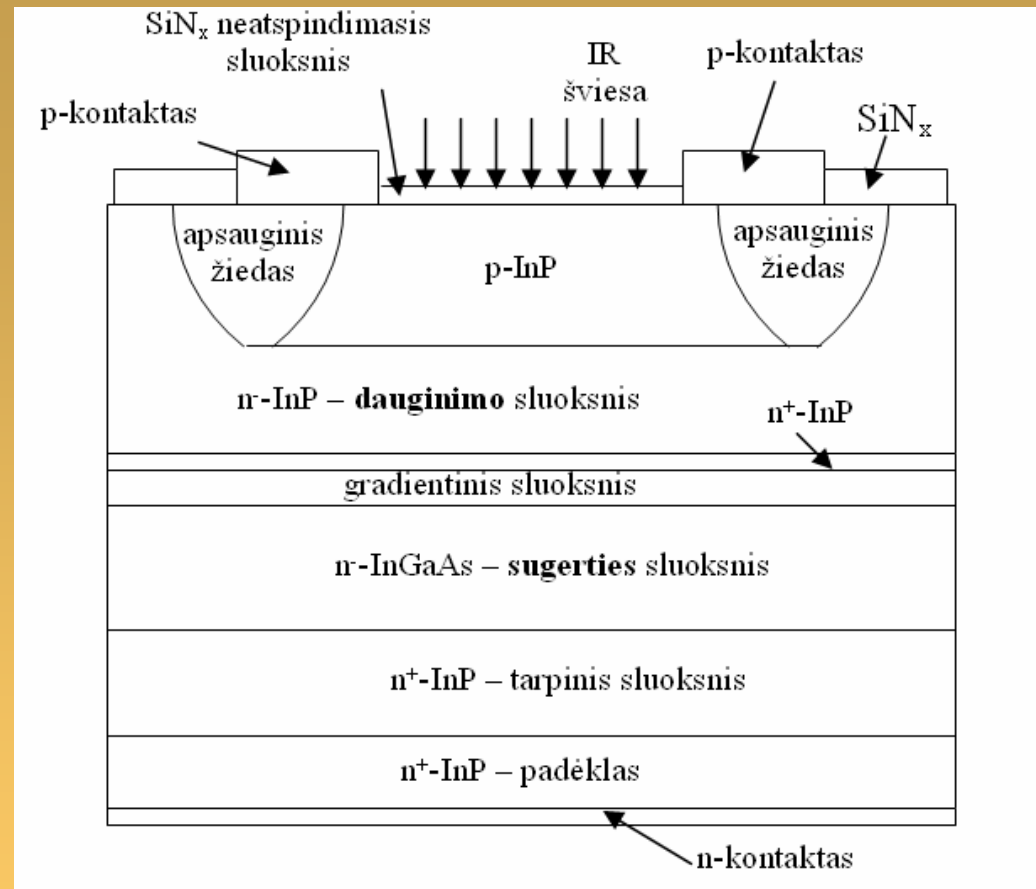


# Tiriamieji griūtiniai fotodiodai

Griūtiniai fotodiodų dariniai buvo užauginti vieno ciklo metu naudojant cheminį garinį nusodinimą iš metalo organinių junginių (MOCVD).

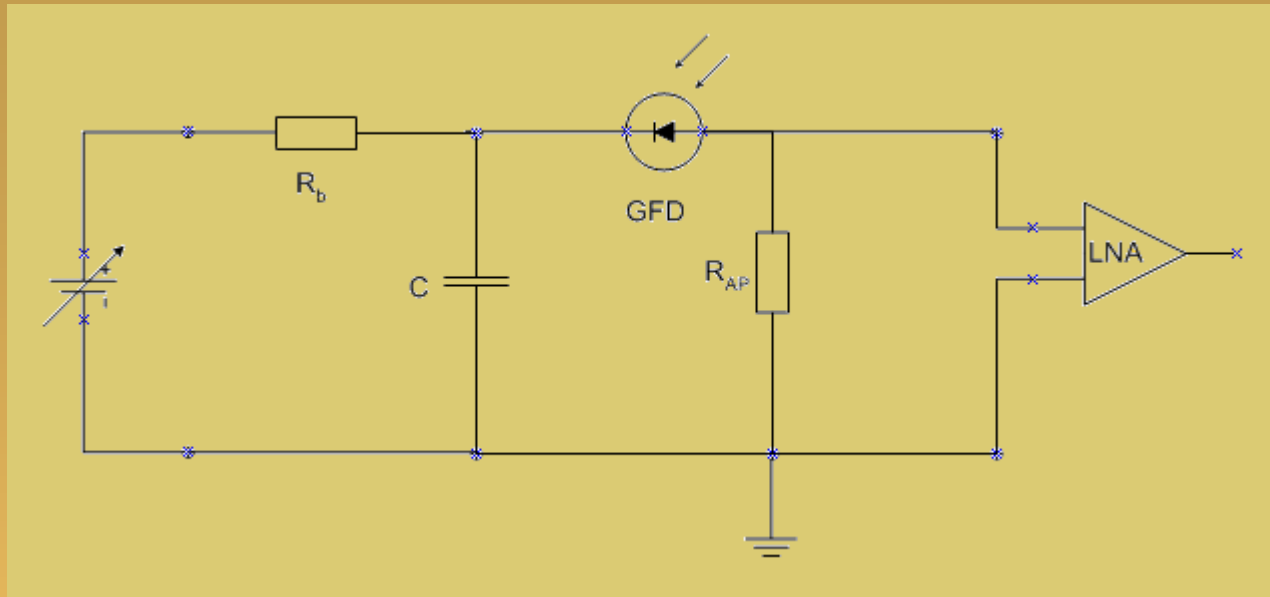
Sukurti elektronai elektrinio lauko veikiami yra ištraukiami į  $n$  kontaktą. Tik skylės yra injekuojamos į dauginimo sluoksnį.

Aktyvusis fotodiodo paviršius, kurio skersmuo lygus  $20\ \mu\text{m}$ , padengtas šviesos neatspindinčia medžiaga. Aktyvųjų sluoksnį supa apsauginis žiedas.





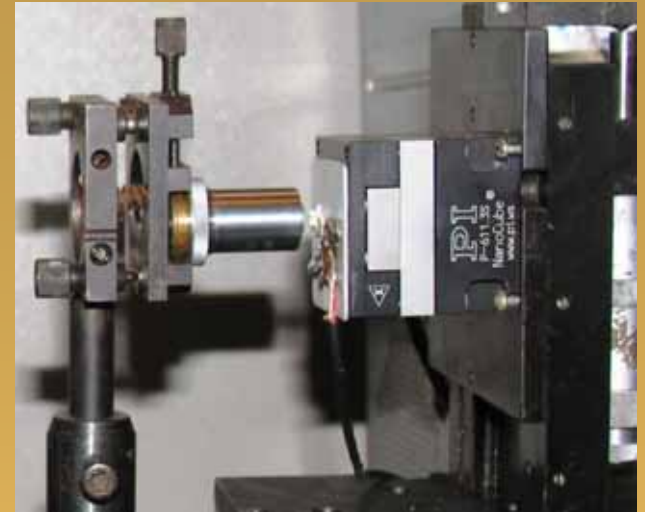
# Eksperimentas – triukšmų matavimas



$$S_U = \frac{\overline{U_D^2} - \overline{U_{st}^2}}{\overline{U_{et}^2} - \overline{U_{st}^2}} 4kT_0 R_{et} \longrightarrow S_I = \frac{S_U}{R_{Tr}} 4kT R_{et}$$

$$F(M)_{\text{eksp}} = \frac{S_I}{2qI_0 M^2}$$

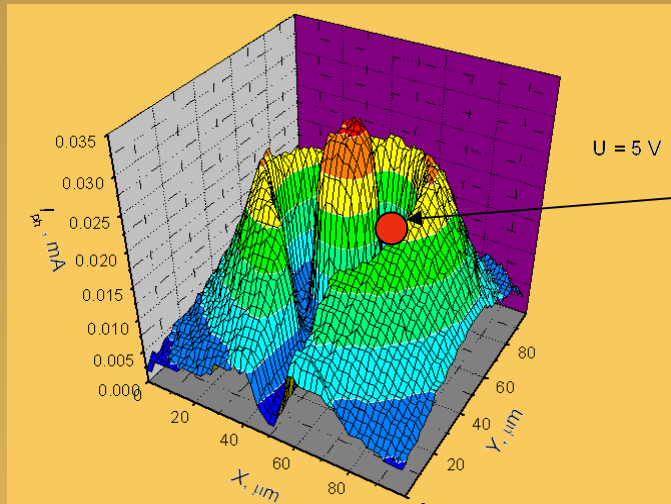
$$F = M \left\{ 1 - (1 - k_{ef}) \left[ 1 - \frac{1}{M} \right]^2 \right\}$$



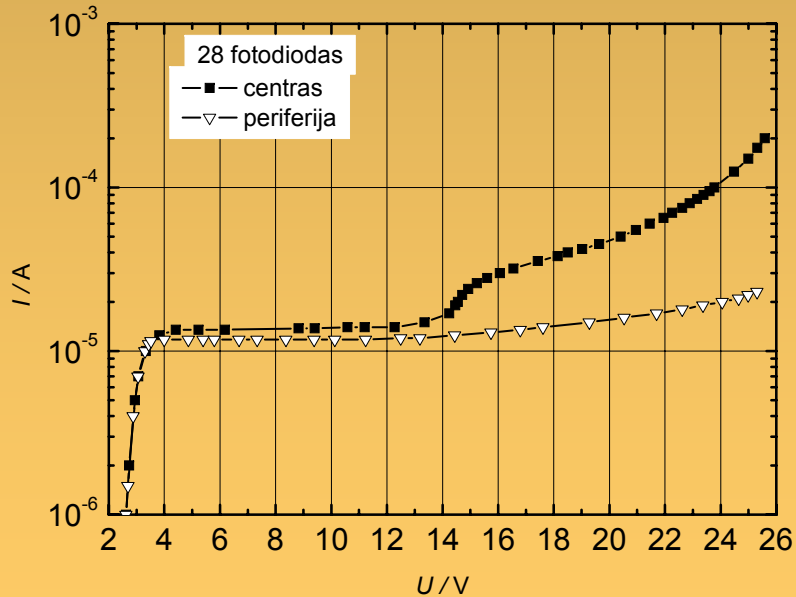
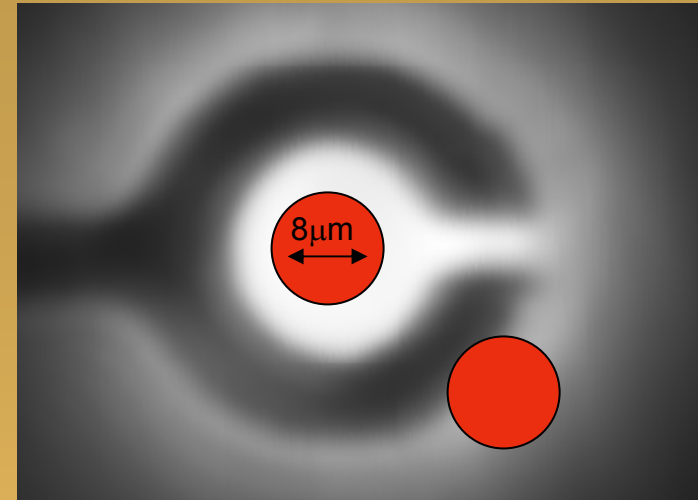
VU TRIUKŠMŲ TYRIMO LABORATORIJA



# Fotosrovės pasiskirstymas fotodiode paviršiuje



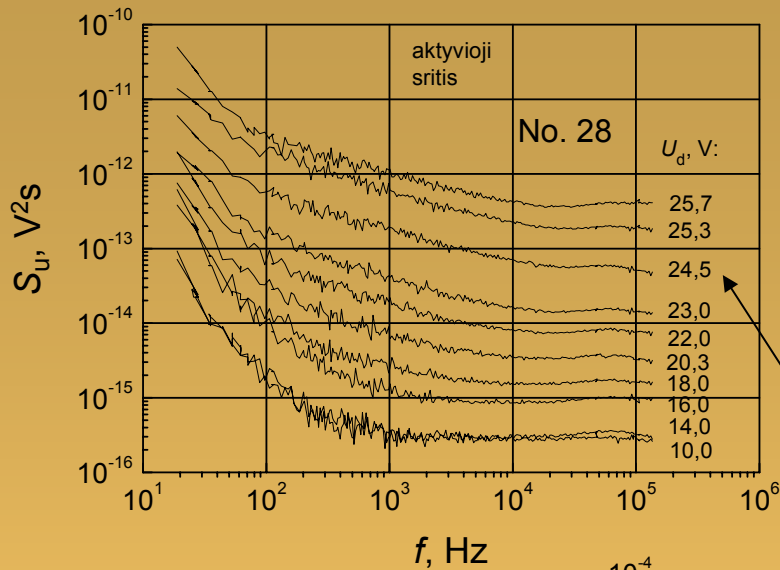
2-3 $\mu m$



Matome, kad įtampų intervale (0V – 14V) iki griūtinio pramušimo didžiausia suminė fotosrovė yra **periferijoje!**  
**Teoriškai, fotosrovės ten neturėtų būti.**  
Prasidėjus griūtiniam pramušimui, beveik visa fotosrovės padidėjimą lemia aktyvioji sritis.

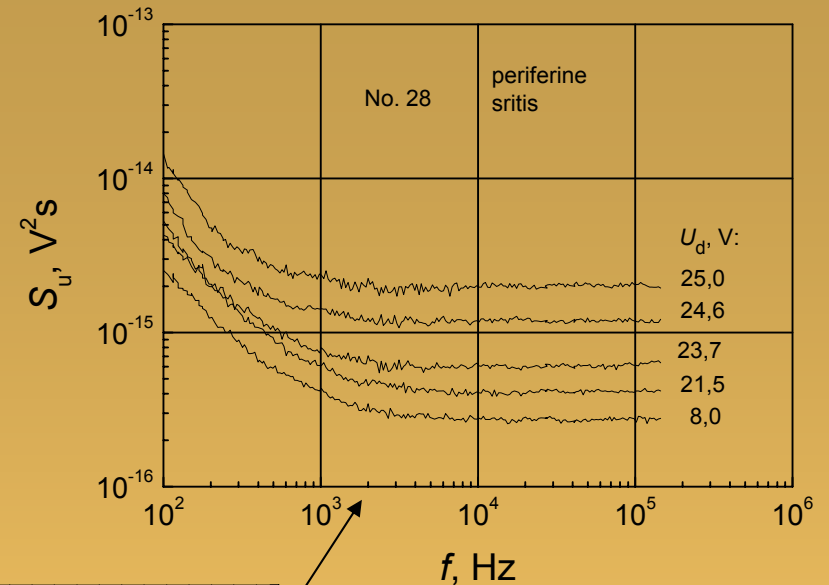
**Problema: Kokią įtaką fotodiode veikai ir triukšmams turi periferija?**

# Triukšmų spektrai aktyviosios srities centre ir periferijoje



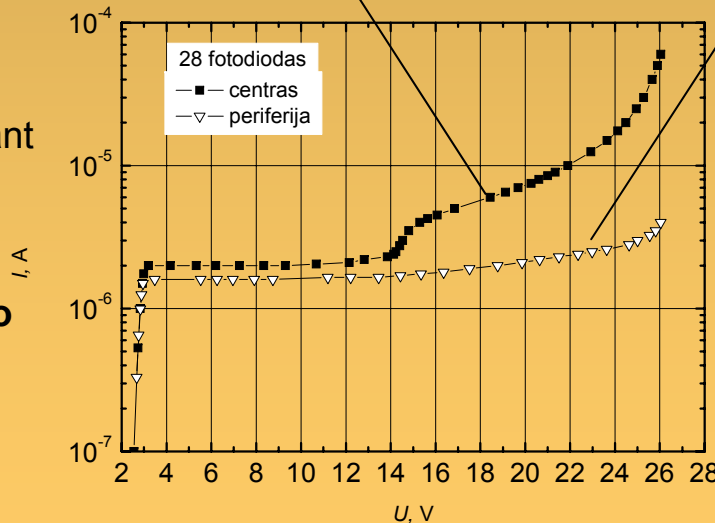
Centre triukšmų spektrai turi didesnę  $1/f$  triukšmo indelį visame dažnių intervale. Keičiant įtampą nuo 5V iki 25V, fotosrovės triukšmai padidėja apie 3 eiles.

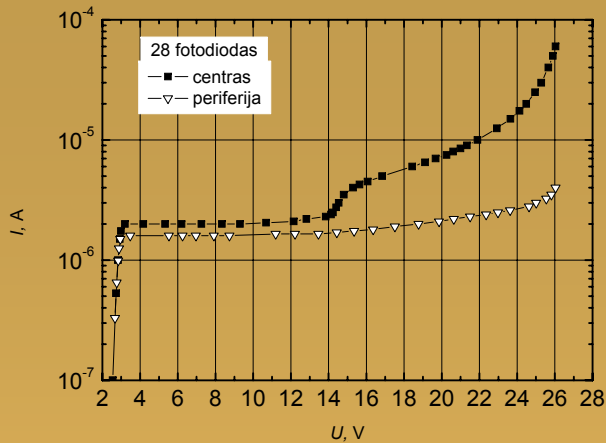
**Priežastis: Griūtinė fotodiodo veika. Intensyvi krūvininkų rekombinacija aktyviosios srities pakraščių defektuose.**



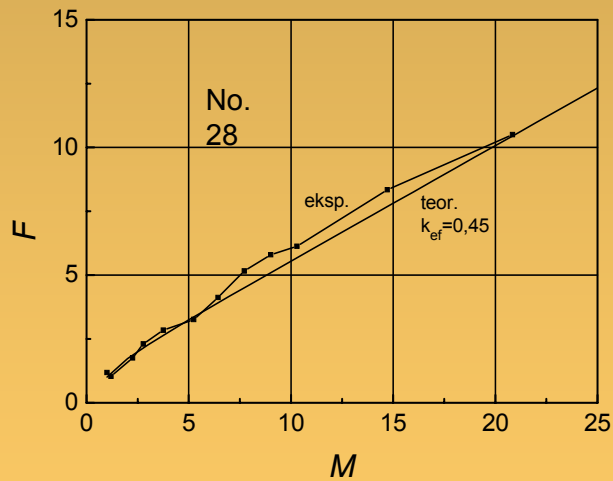
Periferijoje triukšmų spektrai demonstruoja labiau 'balta' spektro pobūdį. Keičiant įtampą, fotosrovės triukšmai Pakinta ~1,5 eilės.

**Priežastis: Periferijoje elektrinio lauko stipris žymiai silpnesnis nei aktyviojoje srityje. Krūvininkų dauginimas mažas.**

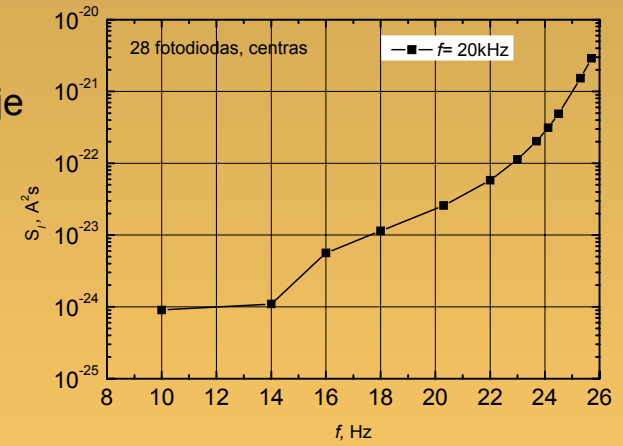
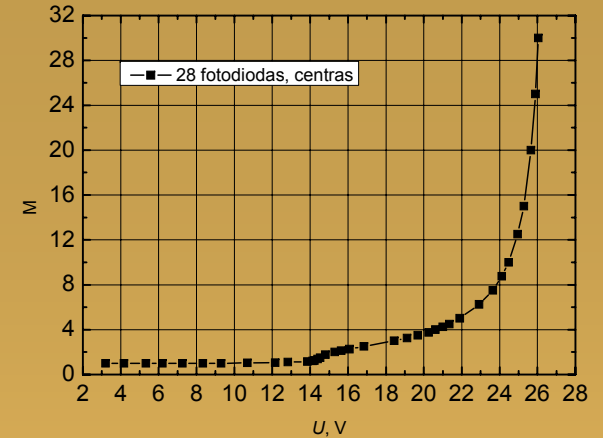




Aktyviosios srities centre,  
po griūtinio pramušimo  
(14V – 25V),  
fotosrovė išauga ~32 kartus.  
(griūtinė veika)  
eksperimentiškai apskaičiuotas  
triukšmų faktorius  
palyginamas su teorine kreive.



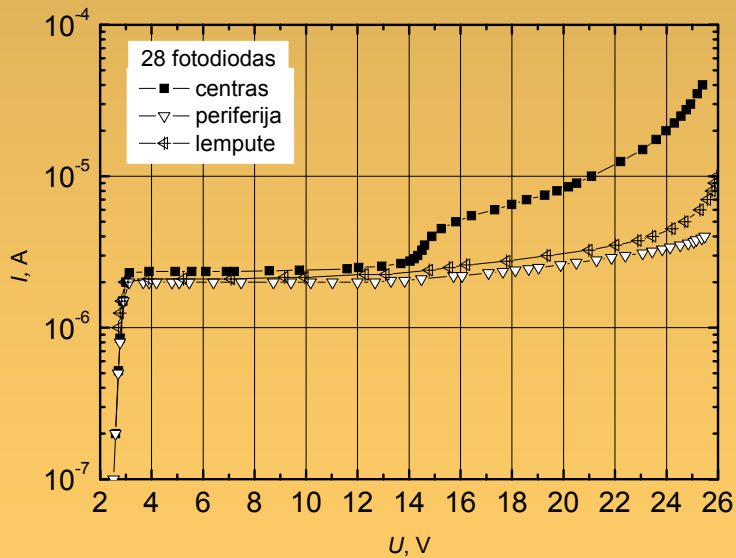
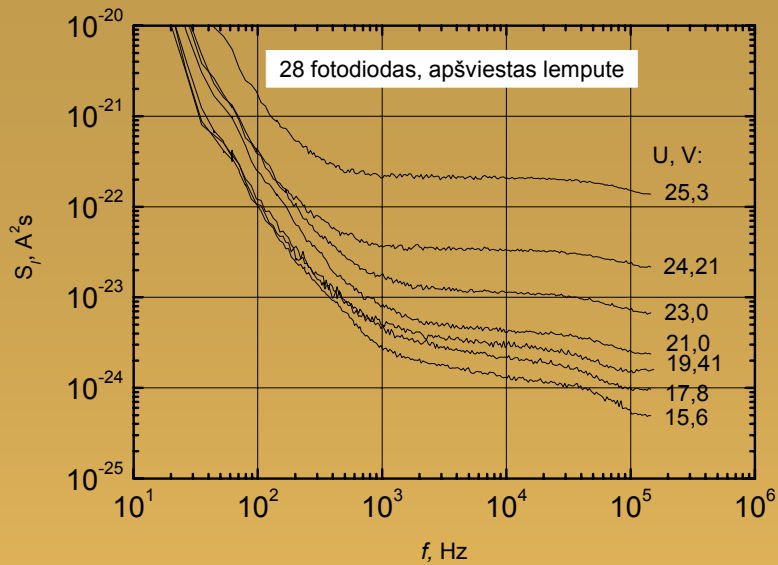
Efektyvusis jonizacijos  
koeficientas  $k_{ef} \approx 0,45$ . Literatūroje  
pateikiama vertė InGaAs  
medžiagai  
 $0,2 < k < 0,5$ .



**Centre viskas puiku.  
Tai kokia periferijos įtaka?**



# Apšvietime visa fotodiodo paviršių

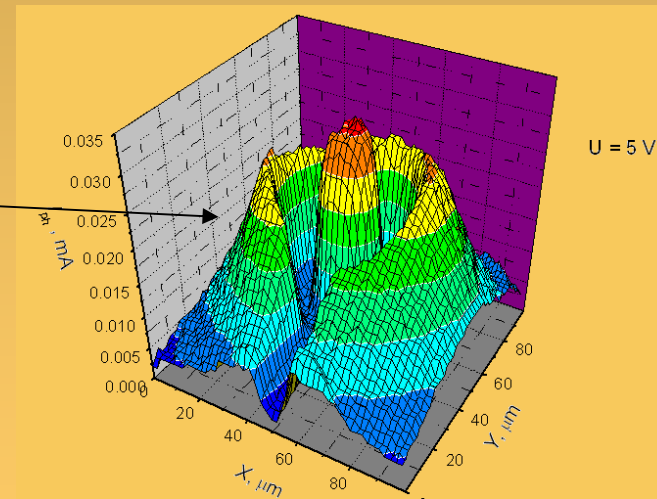
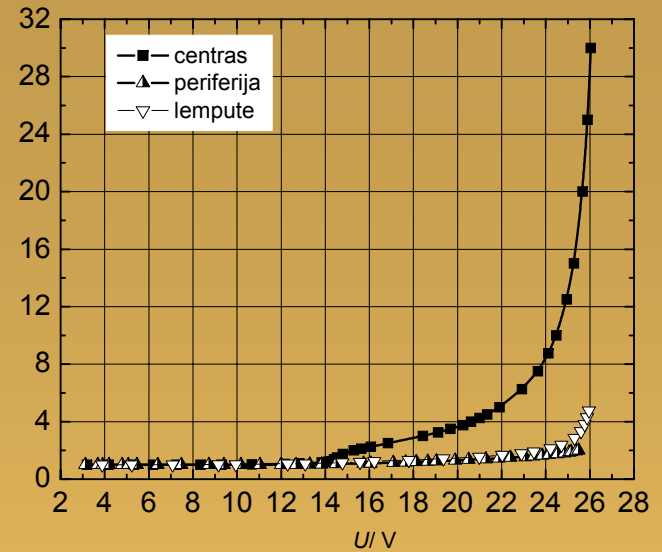


Triukšmų spektrai demonstruoja mažesnę  $1/f$  triukšmą, spektrų pobūdis "baltesnis" (panašiai kaip ir periferijoje). Voltamperinė charakteristika rodo, kad apšvietus visą

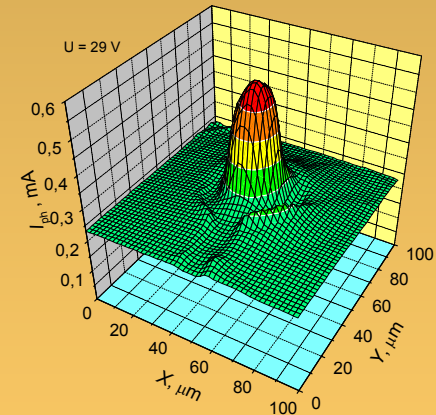
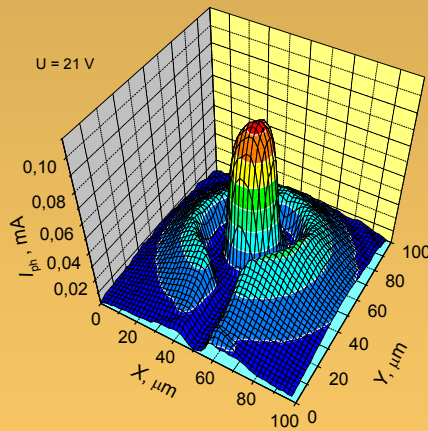
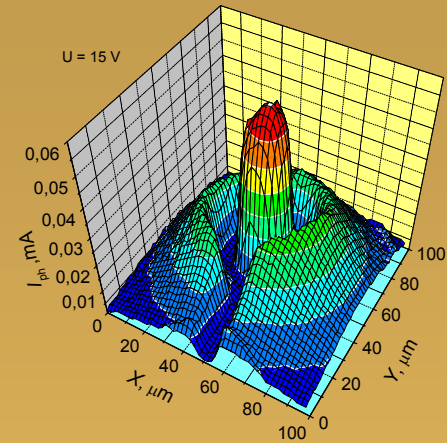
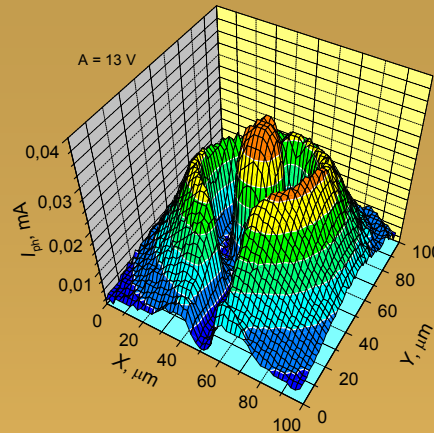
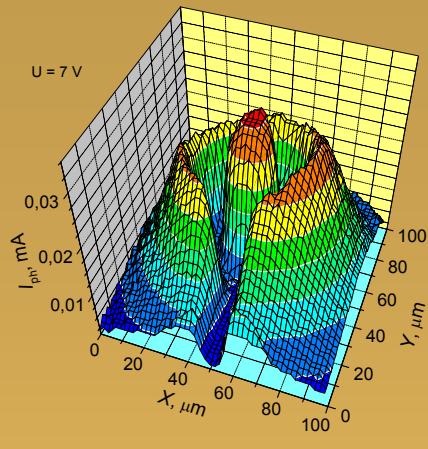
fotodiodo paviršių dominuoja periferija.

Kodėl?

Atsakymas – aktyviosios srities paviršius daug mažesnis nei periferijos.



# Fotosrovės pasiskirstymo fotodiode paviršiuje tyrimo išvados



Fotosrovės pasiskirstymas aiškiai rodo, kad apšviečiant fotodiode paviršių nekoherentine IR šviesa, t.y. apšviečiant ir visą aktyviają sritį, ir periferinę sritį, vertinti krūvininkų dauginimo koeficientą  $M$  ir šratinio dauginimo triukšmo koeficientą  $F$  nėra tikslinga, nes fotosrovė periferinėje ir aktyviojoje srityje nuo užtvarinės įtampos priklauso visiškai skirtingai.

**Norint teisingai įvertinti  $F$  ir  $M$ , reikia stipriai sufokusuoti spindulį, kad jo pluošto skersmuo neviršytų aktyviosios srities ploto.**

# Jonizuojančiosios spinduliuotės įtaka fotodiodų charakteristikoms

Yra žinoma, kad jonizuojančioji spinduliuotė kaip ir terminis atkaitinimas gali būti panaudoti tam tikrų darinių parametrų pagerinimui ir stabilizavimui.

## Eksperimentas:

### **Fotodiodai buvo švitinami Rentgeno spinduliais:**

Vamzdis su Cu anodu, kurio įtampa 30 kV.  
Spinduliuotės dozės galia  $3,4 \text{ Gy}/(\text{s}\cdot\text{cm}^2)$  .  
(VU Kieto kūno elektronikos katedra )

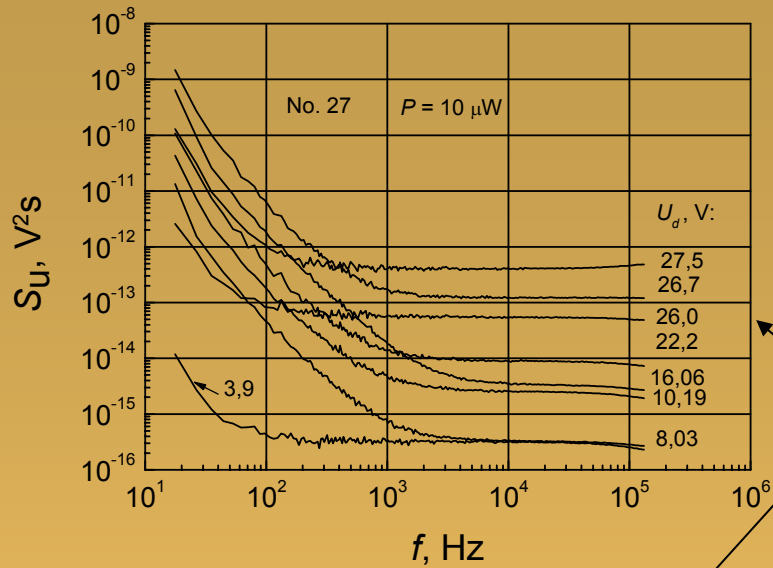


**Po to buvo atliekami tamsinės srovės, fotosrovės ir triukšmų matavimai.**

Fotodiodai buvo švitinami nuo 10min. iki 1,5h, siekiant išsiaiškinti spinduliuotės poveikio veiksmingumą ir taikymo galimybes

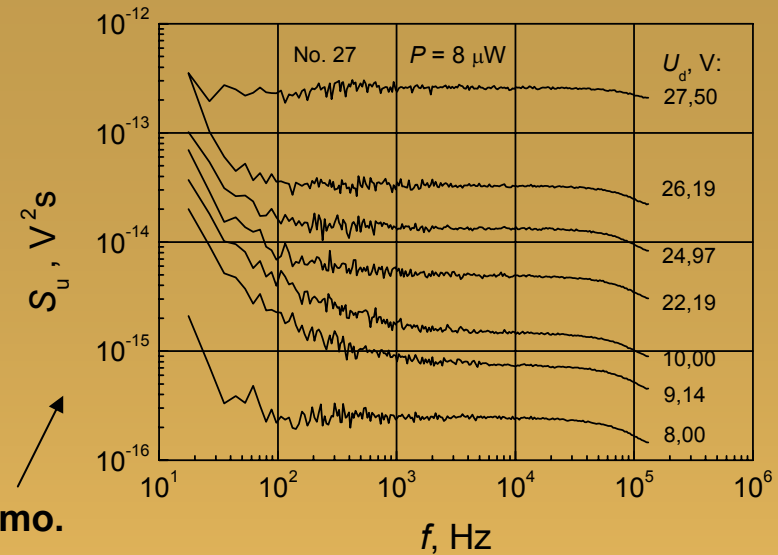


# Rezultatai. GFD No.27



Prieš švitinimą

Po 30min. švitinimo.

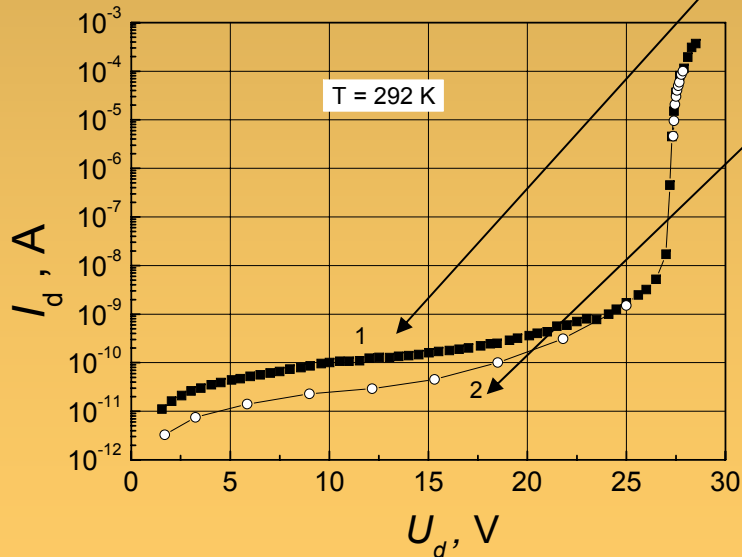


Tamsinė srovė, esant 10 V įtampai, sumažėjo nuo 100 pA iki 20 pA. Fotosrovė po švitinimo rentgeno spinduliuote beveik nepakito.

Nešvitinto bandinio įtampos fliktuacijų spektrinis tankis žemiau 1kHz yra  $1/f$  pavidalo. Ties 20Hz yra  $10^{-9} \text{V}^2\text{s}$  eilės.

Po 30min. švitinimo žemadažnių fliktuacijų spektrinis tankis neviršija  $10^{-12} \text{V}^2\text{s}$ .

**Toks tamsinės srovės ir  $1/f$  triukšmo elgesys rodo, kad švitinant rentgeno spinduliuote dalis aktyvių nepusiausvirinių defektų išnyko, panašiai kaip ir atkaitinimo atveju.**



VU TRIUKŠMŲ TYRIMO LABORATORIJA



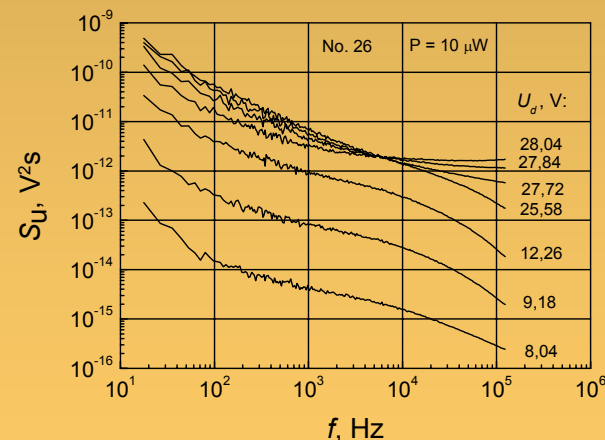
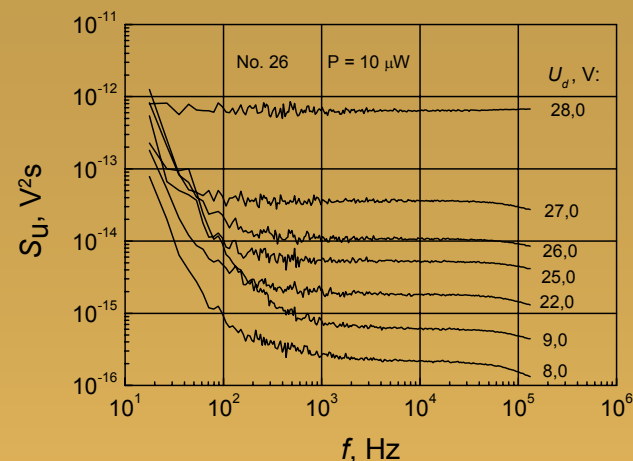
# Rezultatai. GFD No. 26

GFD No. 26 iš pradžių buvo 20min. švitinamas Rentgeno spinduliais. Rezultatai panašūs kaip ir GFD No. 27: sumažėjo tamsinė srovė, žemadažnis triukšmas sumažėjo apie 2 eiles.

Po pirminio švitinimo GFD No. 26 buvo pakartotinai 30min. švitinamas rentgeno spinduliais. Po švitinimo atlikti fotosrovės, tamsinės srovės ir triukšmų matavimai parodė ryškų fotodiodo charakteristikų pablogėjimą.

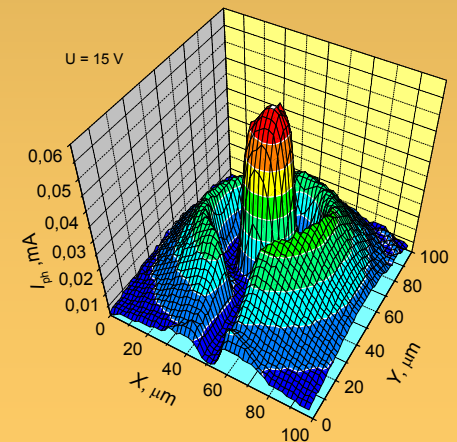
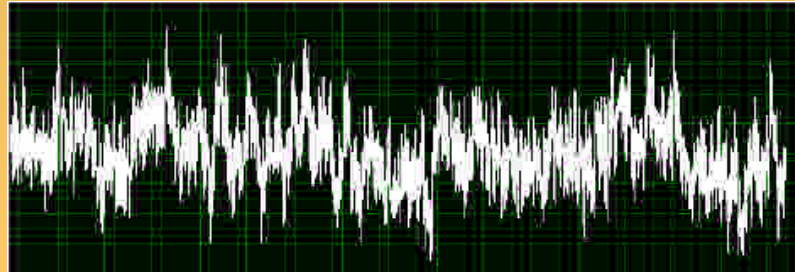
**Tai rodo, kad papildomas švitinimas sukūrė daug aktyvių defektų, turinčių labai platų relaksacijos trukmių pasiskirstymą. Panašūs rezultatai buvo gauti ir su kitais griūtiniais fotodiodais.**

**Švitinant tam tikros energijos rentgeno spinduliuote ir tam tikra doze galima gerokai sumažinti fotodiodų tamsinę srovę, o dar labiau galima sumažinti  $1/f$  triukšmo lygį. Tačiau švitinimo poveikis yra labiau efektyvus, kai jis yra vienkartinis. Kartotiniai švitinimai dažniausiai tik pablogina fotodiodo triukšmų charakteristikas.**



# Išvados

Nustatyta, kad triukšmų tyrimo rezultatai atspindi ne tik fundamentinius fotodiodo reiškinius, apibūdinančius krūvininkų pernašą ir jų dauginimą fotodioduose esant įvairioms užtvarinėms įtampoms, tačiau ir defektų kitimą tiek gaminant, tiek ir sendinant fotodiodus. Parodyta, kad veikiant atitinkamos energijos ir atitinkamos dozės rentgeno spinduliuote galima keliomis eilėmis sumažinti žemadažnio triukšmo lygį. Taip pat parodyta, kad norint įvertinti šratinio dauginimo triukšmo koeficientą, būtina labai stipriai sufokusuoti lazerio spinduliuotę, kad jos pluošto skerspjūvio plotas neviršytų aktyviosios srities ploto.



# VU Triukšmų Tyrimo Laboratorija

vad. prof. Vilius Palenskis  
doc. Jonas Matukas  
dr. Sandra Pralgauskaitė  
doktorantas Emilis Šermukšnis  
studentai Augustinas Vizbaras  
Kristijonas Vizbaras

Mes tiriamo:

InGaAsP/InP  
lazeriniai diodai su  
nanodariniiais

Greitaveikiai InGaAs  
grūtiniai fotodiodai

InSnO/Si  
saulės  
elementai



Bendradarbiaujame:

McMaster University  
(Kanada)

Bookham  
Technologies  
(D. Britanija)

Oslo University  
(Norvegija)

VU TRIUKŠMŲ TYRIMO LABORATORIJA



Mus galima rasti FF rūsyje:



Nori pradėti dirbti? -----→ Ateik ir dirbk! 😊 Mums kaip tik trūksta rankų!

VU TRIUKŠMŲ TYRIMO LABORATORIJA



## Literatūra:

1. V. Palenskis, “Fliktuacijos elektroninėse sistemose”, Vilnius (1998).
2. F. N. Hooge, T. G. M Kleipenning, L. K. J. Vandamme, “Experimental studies on 1/f noise”, *Rep. Prog. Phys.*, vol. 44, pp. 479 – 532 (1981).
3. V. Palenskis, “Flicker noise problem (review)”, *Lith. Phys. J.*, vol. 30, pp. 107–152 (1990).
4. J. E. Bowers, Y. G. Wey, “High Speed Photodetectors”, *Handbook of optics*, vol. 1, pp. 706-731 (1995).
5. M. Fukuda, *Optical semiconductor devices*. (John Willey& Sons, New York, 1999).
6. J. Matukas, V. Palenskis, S. Pralgauskaitė, R. Mallard, A. Vizbaras, “Photosensitivity and noise characteristics investigation of ultrafast InGaAs/InP avalanche photodetectors”, *MIKON- 2006*.
7. S. Smetona, J. Matukas, V. Palenskis, M. Olechnovičius, K. A. Kaminskas, R. Mallard, “Low- frequency noise, reliability and quality of high-speed avalanche photodiodes”, *Proc. SPIE*, vol. 5577, pp. 834-842 (2004).
8. 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”, *Lith. Phys. J.* vol?., pp. ??-?? (2006).

