|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | EUROPOS SĄJUNGA |  |  |

2004-2006m. Bendrojo programavimo dokumento 2 prioriteto 5 priemonė

„Žmogiškųjų išteklių kokybės gerinimas mokslinių tyrimų ir inovacijų srityje“

**Projektas:**

**Fizinių mokslų II ir III studijų pakopų pertvarka, jas pritaikant prioritetinių MTEP sričių vystymui**

Projekto numeris BPD2004-ESF-2.5.0-03-05/0012

Vilniaus Universitetas

Fizikos Fakultetas

**Puslaidininkių fizikos katedra**

**Puslaidininkių fizikos mokomoji laboratorija**

**Krūvininkų dreifinio judrio matavimas impulsiniu metodu**

**Laboratorinis darbas Nr. 3**

Parengė**:**

**prof. V. Gavriušinas**

 **prof. E. Kuokštis**

2013

Turinys

[1. Darbo tikslas 3](#_Toc367612052)

[2. Darbo užduotys 3](#_Toc367612053)

[3. Darbo teorija 4](#_Toc367612054)

[3.1. Maksvelo relaksacijos laikas 4](#_Toc367612055)

[3.2. Didelio laidumo medžiagos 6](#_Toc367612056)

[3.3. Difuzija elektriniame lauke 7](#_Toc367612057)

[3.4. Savasis puslaidininkis 13](#_Toc367612058)

[4. Tyrimo metodika 15](#_Toc367612059)

[4.1. Tyrimo metodo teorija 15](#_Toc367612060)

[4.2. Darbo priemonės ir matavimo tvarka 18](#_Toc367612061)

[4.2.1 Darbo priemonės 18](#_Toc367612062)

[4.2.2 Matavimo tvarka 19](#_Toc367612063)

[4.3 Pagrindiniai skaičiavimai analizuojant duomenis 20](#_Toc367612064)

# 1. Darbo tikslas

Susipažinti su šalutinių krūvininkų injekcijos ir dreifo ypatumais bei dreifinio judrio matavimo metodika. Patikrtinti šalutinių krūvininkų injekcijos ir dreifo teorijos dėsningumus, išmatuoti krūvininkų laisvojo lėkio trukmę nuo elektrinio lauko stiprio, paokaičiuoti krūvininkų dreifinį judrį.

# 2. Darbo užduotys

1. Nustatyti šalutinių krūvininkų tipą.
2. Išmatuoti puslaidininkinio bandinio lėkio trukmės () priklausomybes nuo elektrinio lauko stprio.

3. Iš funkcijos  nustatyti krypties koeficientą, apskaičiuoti krūvininkų dreifinį judrį.

# Darbo teorija

 Šalutinių krūvininkų judris yra labai svarbus puslaidininkių parametras. Nuo jo priklauso puslaidininkinių prietaisų charakteristikos.

 Laisvi elektronai ir skylės puslaidininkyje juda chaotiškai. Šita būsena nusistovi dėl sąveikos su akustiniais gardelės virpesiais, jonizuotomis priemaišomis,dislokacijomis ir kitais gardelės netobulumais. Be elektrinio lauko ir krūvininkų gradiento srautas bet kuria kryptimi yra lygus nuliui.

 Atsiradus puslaidininkyje elektriniam laukui, prie kiekvieno krūvininko chaotiško judėjimo prisideda kryptingas dreifas. Greičio prieaugis elektriniame lauke *vd* paprastai nebūna didelis ir silpnuose laukuose yra proporcingas elektrinio lauko stipriui *E:*

 (1)

 Proporcingumo koeficientas vadinamas dreifiniu judriu. Jis parodo, kokiu greičiu judėtų elektronų visuma vienetiniame elektriniame lauke prieš lauko kryptį.

## Maksvelo relaksacijos laikas

 Jei į kietojo kūno bandinį injektuojame krūvininkus, tai dėl vidaus elektrinių jėgų jie išsilaksto arba pritraukia priešingo ženklo krūvius ir sudaro neutralią lokalinę padidinto krūvininkų tankio sritį, kuri vėliau dėl difuzijos gali išplisti, o dėl rekombinacijos išnykti.

Jei turime erdvinį krūvį, kurio tankis *,* tai jo relaksacija sąlygoja srovę:

 , (2)

čia  - srovės tankis.

Be to, atsiranda elektrinis laukas, kurio stipris *E* nusakomas

 . (3)

*Kadangi *, *tai*

* (4)*

Čia pažymėta

. (5)

Taigi,

. (6)

 Gavome, kad erdvinis krūvis ekranuojamas (neutralizuojamas) per charakteringą laiką *,* vadinamą **Maksvelo** (ominės) **relaksacijos laiku.** Jį nulemia medžiagos elektrinis laidumas. Galėtume pasinaudoti plokščiojo kondensatoriaus, kurio plokštelių plotas *S*, atstumas tarp jų *d*, o erdvė tarp plokštelių užpildyta laidumo  medžiaga, modeliu. Žinome, kad toks kondensatorius išsielektrina per charakteringą laiką, lygų *RC*. Taigi šiuo atveju

 , ,

taigi

. (7)

 Matome, kad Maksvelo relaksacijos laikas atitinka nagrinėjamo kondensatoriaus *C* išsielektrinimą per varžą *R.* Kietojo kūno atveju turime geometrinės talpos išsielektrinimą per jo vidaus varžą. Priklausomai nuo  dydžio  kinta plačiose ribose. Pvz., jei , o , tai ; jei , tai . Bendresne prasme  yra pusiausvyros tarp įvairių krūvių nusistovėjimo laikas.

 Remiantis sąvoka galima suskirstyti medžiagas (reiškinius) į dvi grupes. Vieną grupę sudaro reiškiniai medžiagose, kuomet nekompensuotųjų krūvių judėjimo laikai žymiai mažesni už . Tokios medžiagos - izoliatoriai (arba didelės varžos puslaidininkiai). Kita grupė – tai procesai, kurių metu turime difuzijos ir dreifo pusiausvyrą. Tai mažos varžos puslaidininkiai. Aišku, kad šis atskyrimas tiesiogiai priklauso ir nuo eksperimento metodikos. Jei aparatūros skiriamoji geba (laiko atžvilgiu) pakankama ir vykstantys procesai aprašomi su laiko skyrimu , tiriame reiškinius, būdingus izoliatoriams. Tai reiškiniai, susiję su erdvinio krūvio nusistovėjimo procesais. Jei priešingai, t.y. *,* tai tiriame neutralaus krūvininkų paketo judėjimo dėsningumus. Skirstymas sąlyginis, nes, pvz., jei tiriame laikuose *t* < 10-12 s, tai ir didelio laidumo puslaidininkiuose galėsime nustatyti tuos pačius dėsningumus kaip ir izoliatoriuose.

## Didelio laidumo medžiagos

 Jei puslaidininkis yra monopolinis ir į jį injekuojami pagrindiniai krūvininkai, tai per laiką  jie bus ekranuoti (kiek jų injektuosime, tiek ir išlėks pro kitą kontaktą). Taigi, padidinto krūvininkų tankio nepastebėsime. Jei eksperimentą atliksime trukmėse, mažesnėse už , tai turėsime krūvininkų judėjimą pastoviame elektriniame lauke (jei injektuotas krūvis mažas) ir laiką, per kurį paketas pasieks kitą elektrodą, nusakys krūvininkų judėjimo greitis (lygtis užrašome *x* ašies kryptimi):

 (8)

. (9)

 Jei injektuosime šalutinius krūvininkus, tai per  jie bus kompensuoti tokiu pat skaičiumi pagrindinių krūvininkų ir judės lauke kartu su pagrindiniais. Lyg ir paradoksas - krūvis nepernešamas, o srovė teka. Tačiau reikia suprasti, kad juda injektuoti šalutiniai krūvininkai, o pagrindiniai taip persiskirsto, kad kompensuotų jų krūvį ir sąveika su lauku vyksta dėl šio paketo poliarizacijos.

 Jei injektuosime šalutinius krūvininkus į didelio laidumo puslaidininkį (pvz., *n*-tipo puslaidininkyje šalutinių krūvininkų – skylių - tankio pokytis )ir nėra išorinio elektrinio lauko, tai tolydumo lygtis bus:

 . (10)

Pusiausviruoju (stacionariuoju) atveju, kai ties  yra injektuojami šalutiniai krūvininkai, t.y. , turėsime:

 . (11)

Pusiau begalinio bandinio atveju sprendinys yra

****  *(12)*

Čia . Dydis  - skylių (šalutinių krūvininkų) difuzijos ilgis.

 Reikia pastebėti, kad visų nepusiausvirųjų skylių tankis lygus nepusiausvirųjų elektronų tankiui, t.y.  (*1 pav*.).

Δ*p*=Δ*n*

Δ*p*0

0

*L*p

*x*

Δ*p*0

e

***1 pav.*** *Nepusiausvirųjų krūvininkų pasiskirstymas tolstant nuo jų generacijos taško ties .*

*Čia  – šalutinių krūvininkų (šiuo atveju skylių) difuzijos ilgis.*

## Difuzija elektriniame lauke

 Panagrinėkime siaurą *n* tipo puslaidininkio strypelį, kurio nedidelė dalis apšviečiama labai siauru šviesos, kurios  (savoji sugertis), pluošteliu. Apšviestoji strypelio dalis yra labai siauras ruoželis, kuriame žadinamos elektronų ir skylių poros (žiūr. brėž.). Apšviesto ruoželio pakraščiuose yra nepusiausvirųjų elektronų ir skylių tankio gradientas, todėl šie krūvininkai difunduoja į neapšvietą strypelio dalį. Šis reiškinys vadinamas nepusiausvirųjų krūvininkų (paprastai šalutinių mažos varžos atveju) injekcija.

 Tegul išilgai strypelio yra įjungtas elektrinis laukas. Priminsime, kad puslaidininkis yra *n* tipo, tarkime, jis stipriai legiruotas, bet neišsigimęs (). Tarkime, kad neapšviestojoje puslaidininkio dalyje erdvinio krūvio nėra (tenkinama neutralumo sąlyga) – Maksvelo relaksacijos laikas labai mažas. Tai reiškia, kad perteklinių elektronų ir skylių tankiai yra lygūs (). Be to tariame, kad nors neapšviestojoje puslaidininkio dalyje krūvininkų tankis ir nepusiausvirasis, bet jų pasiskirstymas pusiausvirasis. Pagal Puasono lygtį neutralumo sąlyga reiškia, kad elektrinio lauko gradientų kristale nėra, t.y. . Stacionariuoju atveju visos išvestinės pagal laiką lygios 0.

*x*

 Šviesos pluoštelis

0

(a)

*x*

*Lp*





0



*Lp*

(b)



*x*





0

*L*2

*L*1

(c)

***2 pav.*** *Siauru šviesos pluošteliu apšviestas puslaidininkio strypelis (a) ir nepusiausvirųjų šalutinių krūvininkų (skylių) tankio pasiskirstymas strypelyje, kai išorinis laukas  (b) ir (c).*

Tolydumo lygtis, atsižvelgus į krūvininkų difuziją, dreifą elektriniame lauke ir krūvininkų rekombinaciją, šalutiniams krūvininkams neapšviestojoje puslaidininkio dalyje yra

 . (13)

(13) turi tenkinti kraštines sąlygas

, kai , ir , kai . (14)

Bendras (13) lygties sprendinys yra

. (15)

Čia charakteringos lygties sprendiniai

 (16)

Vienas iš šių sprendinių teigiamas, kitas – neigiamas.

 Tegul elektrinis laukas pridėtas išilgai *x* ašies (). Aišku, kad skylės stengiasi skverbtis į neapšviestas strypelio dalis ( ir). Kai , taikome antrąją kraštinę sąlygą (14), todėl

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (17) |
| čia |  | (18) |
| ir |  bei  |  |

 Kai , skylės difunduoja prieš elektrinį lauką, todėl pasinaudojame teigiamu (18) sprendiniu. Taigi,

. (19)

čia . (20)

*2 pav. (c)* iliustruoja šalutinių krūvininkų (skylių) tankio priklausomybę nuo koordinatės.

Galima atskirai panagrinėti silpno ir stipraus elektrinio lauko atvejus:

 **1.** Elektrinis laukas labai silpnas, t.y. . Tuomet formulėje (16) atmetę narius su  gauname, kad

. (21)

Kai ,

. (22)

Kai ,

. (23)

 Šiuo atveju į abi puses nuo apšviesto ruoželio nepusiausvirųjų šalutinių krūvininkų tankis mažėja eksponentiškai su charakteringu ilgiu  (*2 pav., b*), kuris vadinamas skylių difuzijos nuotoliu. Tai vidutinis nuotolis, kurį įveikia nepusiausvirosios skylės, veikiamos gradientinių jėgų ir pakeliui rekombinuodamos per poros gyvavimo trukmę . Nelygybė  reiškia, kad , arba skylių dreifo greitis elektriniame lauke yra daug mažesnis už difuzijos greitį.

 **2.** Elektrinis laukas yra stiprus (). Išskleidžiame (16) Teiloro-Makloreno eilute ir paliekame tik pirmos eilės mažus dydžius. Tuomet

 (24)

Kai , imame fizikinę prasmę turintį neigiamą sprendinį, t.y.

, (25)

todėl

 . (26)

Taigi, skylių tankis mažėja eksponentiškai su charakteringu nuotoliu , vadinamu skylių dreifo nuotoliu.

 Kai , (24) formulėje imame „+“ ženklą ir gauname

. (27)

Tuo būdu,

 . (28)

Tai sprendinys, kuris aprašo skylių difuziją stabdančiame lauke. Dydis  yra skylės potencinės energijos padidėjimas prieš lauko kryptį nuėjus kelią *x*. Tuo būdu, (28) nusako skylių Bolcmano pasiskirstymą pagal energijas.

**Reziumė:** Elektrinis laukas deformuoja difuzijos procesų sąlygotą krūvininkų tankio pasiskirstymą. Jei injekcija pastovi, tai matome, kad esant stipriam elektriniam laukui krūvininkai bus atitraukiami nuo injekcijos taško ir judės elektrinio lauko kryptimi (*2 pav., c*).

 Dabar panagrinėkime difuzinio pasiskirstymo nusistovėjimo kinetiką, t.y. atsižvelgsime į krūvininkų tankio priklausomybę nuo elektrinio lauko. Grįžtame prie

, (29)

kurios sprendinys

 . (30)

Čia  *-* visų injektuotų skylių, tenkančių šio strypinio bandinio skerspjūvio plotui, skaičius. Gautas sprendinys rodo, kad impulsas laikui bėgant plinta, o amplitudė mažėja, o visas nepusiausvirųjų skylių skaičius bandinio skerspjūviui laiko omentu *t* bus .

 *3 pav.* pavaizduoti skylių tankio koordinatinis profilis  skirtingais laiko momentais *t,* kai ***.*** Matome, kad be elektrinio lauko krūvininkų tankis mažėja dėl rekombinacijos ir kartu plečiasi aplink zoną, kurioje vyksta injekcija, dėl difuzijos.

Dabar įjunkime elektrinį lauką *E,* ir laikykime jį pastoviu. Sprendinį gausime, (30) išraiškoje vietoje *x* imdami :

 . (31)

Šis sprendinys rodo, kad skylių paketas slenka lauko kryptimi *Ep* greičiu ir plinta judėdamas dėl difuzijos ( jo plotis *)*, o amplitudė mažėja dėl rekombinacijos proporcingai . Iš esmės, mes išsprendėme lygtį

  . (32)

 Taigi, matuojant skylių profilį skirtingais laiko momentais *n* tipo puslaidininkyje, galima sužinoti  ir . Tokiu būdu surastą judrį bendruoju atveju vadina ambipoliniudreifiniu judriu. Jei  arba , šis judris lygus atitinkamai skylių ir elektronų judriu.



***3 pav.*** *Šalutinių krūvininkų tankio mažėjimas dėl rekombinacijos ir plitimas dėl difuzijos aplink sritį, kurioje vyksta injekcija, nuo laiko, kai  [formulė (30)].*



***4 pav.*** *Krūvininkų tankio mažėjimas (dėl rekombinacijos) ir plitimas dėl difuzijos nuo srities, kurioje vyksta injekcija, bei jų dreifas kristale išilgai elektrinio lauko, kai 
[formulė (31)].*

 Iš *4 pav.* matome, kad injektuojami krūvininkai dreifuoja kristale išilgai elektrinio lauko, o jų tankis relaksuoja lygiai taip pat kaip ir be tempiančiojo lauko.

 Ši analizė galioja, kol yra vienos rūšies priemaišinis puslaidininkis, kada elektrinio lauko pasiskirstymą sąlygoja pagrindiniai krūvininkai, o ta jų dalis, kuri kompensuoja šalutinių krūvininkų sudarytą erdvinį krūvį, neperskirsto elektrinio lauko.

## Savasis puslaidininkis

 Savajame puslaidininkyje ir esant pakankamam injekcijos lygiui, nebegalime nekreipti dėmesio į elektrinio lauko kitimą nuo koordinatės. Tada reikia spręsti tolydinumo lygtį bendru pavidalu:

 , (33)

 (34)

ir Puasono lygtį:

 . (35)

Įrašius  iš Puasono lygties į (33) ir (34), gauname

, (36)

 . (37)

Čia  ir  - atitinkamai skylinis ir elektroninis puslaidininkio laidumas.

Padauginame (36) iš , o (37) iš  ir šias lygybes sudėję gauname:

 (38)

Tardami, kad , gauname

 . (39)

čia

 . (40)

Pasinaudoję Einšteino sąryšiu , galime užrašyti

 . (41)

Taip pat

 . (42)

Koeficientą *D* įprasta vadinti dvipolės difuzijos koeficientu, o  - dvipolis judris.

 (39) lygtis analogiška lygčiai priemaišinio puslaidininkio atveju, tik turime efektinį (dvipolės) difuzijos koeficientą ir efektinį (dvipolį) dreifinį judrį. Matome, kad savajame puslaidininkyje injektuotų krūvininkų paketo dreifo nebus (nes ), o vyks tik krūvininkų difuzija, ką galima paaiškinti tokiu būdu. Savojo puslaidininkio atveju injektuotųjų krūvininkų skaičius yra visiškai kompensuotas kito ženklo krūvininkais, bet dėl abiejų krūvininkų lygiavertiškumo negali vykti paketo poliarizacija. Kiek išorinis laukas poliarizuoja paketą, tiek atsiradantis lauko gradientas kompensuoja šią poliarizaciją (pritraukia iš abiejų pusių *n* ir *p,* t.y. sąlygoja lyg difuzinį plitimą, tik charakteizuojamą kitu, efektiniu *D*)*.*

# Tyrimo metodika

## 4.1. Tyrimo metodo teorija

Dreifinio judrio matavimo metodas paremtas injektuotų vienoje bandinio vietoje šalutinių krūvininkų judėjimo greičio matavimu, pasirenkant injekciją per kontaktą. Tai realizuojama klasikiniame **Haynes-Shockley eksperimente (**1949 m.**).**

*I*

Oscilografas

mA

G1

G2

*R*a

B

E

K

**5 pav.** *Šalutinių krūvininkų dreifinio judrio matavimo schema.*

Metodo esmė tokia. Puslaidininkio tiriamasis bandinys turi būti strypelio pavidalo, jo ilgis turi būti žymiai didesnis už kitus matmenis. Jame elektrinį lauką sukuria pastovus įtampos šaltinis arba ilgų stačiakampių impulsų generatorius G1. Jei tiriamasis puslaidininkis yra mažos varžos, tai pastovios įtampos šaltinis netinka, nes bandinys kais. Šis kaitimas priklauso nuo įtampos ir trukdo matavimams. Generatoriaus G2 formuoja žymiai trumpesnį atitinkamo poliariškumo impulsą, kuris po užlaikymo paduodamas į emisinį elektrodą *E,* tokiu būdu injektuojant šalutinius krūvininkus (injekcija per kontaktą). Tempiantis elektrinis laukas turi būti tokios krypties, kad bandinyje injektuotieji krūvininkai dreifuotų kolektoriaus *K* kryptimi. Kolektorius *K* yra jungiamas užtveriamąja kryptimi pagrindiniams krūvininkams. Šiuo tikslu jungiama baterija *B.*

Šalutiniams krūvininkams pasiekus kolektorių, jo grandinėje pradeda tekėti srovė, kurios stipris proporcingas krūvininkų tankiui, ir oscilografu (Osc) užregistruojame įtampos signalą apkrovos varžoje *Rn.* Kadangi oscilografas registruoja tiek impulso įjungimo, tiek išjungimo momentus (dėl postūmio ir injektuotųjų krūvininkų erdvinio krūvio neutralizavimo srovės), tai galima išmatuoti trukmę, kurios metu krūvininkai dreifuoja atstumą *l* nuo emiterio iki kolektoriaus. Šis atstumas išmatuojamas mikroskopu.

Elektrinis laukas, kurį sukuria generatorius *G1*, yra matuojamas voltmetru arba oscilografu, jungiamo prie emiterio zondo ir rodo jo potencialą. Jei potencialas bandinyje tiesiškai priklauso nuo koordinatės (o tai yra patikrinama, esant vienai tempiančiojo lauko generatoriaus G1 įtampos vertei, keičiant zondo padėtį,), tai lauko stipris nusakomas gautos tiesės polinkiu. Jei tiesinė priklausomybė gaunama tik tam tikroje bandinio dalyje, tai abu zondai ir įtaisomi joje. Šis išmatuotas elektrinis laukas bus bandinyje tol, kol nėra injektuojami krūvininkai. Injektavus krūvininkus kinta lauko pasiskirstymas, todėl būtina atlikti matavimus, esant labai mažam injektuotam krūviui arba panaikinti jo įtaką. Tai galima atlikti panaudojus dvejopas injektuojančio generatoriaus impulso trukmes.

Jei impulso G2 trukmė (1-2 s) yra žymiai mažesnė už laiką, per kurį krūvininkai įveikia atstumą *l* (t.y. krūvininkų tranzito nuo emiterio iki kolektoriaus trukmę ), tai oscilografe matoma oscilograma, kuri pavaizduota 7 pav.

 (a)

*G*1

*t*

*G*2

*t*

*U*K

*t*

*t*1

*t*2

Δ*t*

 (b)

 (c)

***6 pav.*** *Kolektoriaus srovės oscilograma esant trumpam injektuojančiajam emiterio srovės impulsui*.

1. Generatoriaus G1 įtampos impulsas;
2. Generatoriaus G2 kuriamas emiterio srovės impulsas;
3. Kolektoriaus K srovės impulso oscilograma.

Pirmasis impulsas yra generatoriaus G2 įtampos impulsas, o antrasis yra sąlygotas srovės kolektoriaus grandinėje dėl šalutinių krūvininkų dreifo tarp E ir K kontaktų. Šis impulsas yra išplitęs dėl kelių priežasčių.

1. Difuzijos procesas. Išplitimas dėl difuzijos tuo mažesnis, kuo geriau tenkinama sąlyga *,* čia *Li* – šalutinių krūvininkų (arba dvipolis) difuzijos ilgis. Kai *,* difuzijos įtaka labai didelė, ji lemia injektuotųjų krūvininkų paketo judėjimą, todėl tuo atveju jau neįmanoma nustatyti .

2. Didelis krūvininkų skaičius. Dėl didelio krūvininkų kiekio paketo laukas prie paketo fronto didesnis, o tai lemia lėkštesnį priekinį ir statesnį galinį frontus.

3. Prilipimo lygmemnys. Priešingas vaizdas gali atsirasti dėl prilipimo lygmenų, kurie užlaiko tam tikram laikui dalį krūvininkų, o dėl to išplinta galinis frontas.

Mažinant injektuotą krūvį, *tt* šiek tiek keisis. Ekstrapoliuojant ** iki nulio, gausime *t*to, kuris surištas su elektriniu lauku bandinyje sąryšiu:

  , nes , (43)

čia ** - dreifinis judris. Priklausomai nuo pagrindinių krūvininkų tankio vertės jis gali sutapti su pagrindinių krūvininkų dreifiniu judriu. Priešingu atveju ši vertė surišta su puslaidininkio parametrais (42) formule. Šis metodas yra akivaizdus, tačiau techniškai realizuoti jį yra gana sunku, nes reikalinga labai jautri aparatūra.

Srovės oscilogramoje tranzito trukmė atitinka maksimaliai padėčiai, kai *U* = 0 ir, matuojant trukmės priklausomybę [*t*2 – *t*1] nuo injektuoto krūvio, galima nustatyti *t*to,ir pagal (43) formulę apskaičiuoti dreifinį judrį *μ*d.

## 4.2. Darbo priemonės ir matavimo tvarka

### 4.2.1 Darbo priemonės



***7 pav.*** *Nepagrindinių krūvininkų dreifinio judrio matavimo įrenginiai.*

1. Užtveriamos įtampos šaltinis su mili-ampermetru.
2. Tiriamojo bandinio talpa.
3. Generatorius G1.
4. Generatorius G2.
5. Oscilografas.
6. Mikroskopas, skirtas išmatuoti atstumą tarp taškinių kontaktų.

### 4.2.2 Matavimo tvarka

**1.** Išmatuoti laisvojo lėkio trukmę (pažymėkime ją )keičiant generatoriaus G1 tempiančiąją įtampą.

*U*os

*t*

*t*1

*t*2

Δ*t*

**8 pav.** *Oscilograma, matoma oscilografo ekrane*

**2.** Išmatuoti mikroskopu puslaidininkinio bandinio ilgius L ir d

G2

G2

G1

G1

*d*

*L*

***9 pav.*** *Puslaidininkinis bandinys*

## 4.3 Pagrindiniai skaičiavimai analizuojant duomenis

**1.** Šalutinių krūvininkų ženklas (taigi, ir tipas) nustatomas iš baterijos *B* prijungimo krypties, nes būtina sudaryti užtveriamąjį kontaktą pagrindiniams krūvininkams. Atkreipiame dėmesį, kad oscilografo ekrane stebimų impulsų poliškumai gali būti ir priešingi nei pateikti metodinėje dalyje priklausomai nuo generatorių ir oscilografo prijungimo.

**2.** Nubrėžti grafiką  pagal gautus duomenis.

**3**. Krūvininkų judrį *μ* nustatome iš nubrėžtos priklausomybės tiesinės dalies polinkio, pasinaudodami šią priklausomybę nusakančia formule:

 (44)

**Pagrindinė literatūra:**

Laboratorinio darbo aprašymas.

**Papildoma literatūra:**

1. Р.А. Смит. Полупроводники, Мир, 1982, с.202-222.

2. B. G. Streetman and S. Banerjee. Solid State Electronic Devices, Prentice Hall, NJ, 2006., p. 124-141.

3. A. Juodviršis, M. Mikalkevičius, S. Vengris, Puslaidininkių fizikos pagrindai, „Mokslas“, Vilnius, 1985, p. 253-261.