

14. Puslaidininkinės p-n sandūros voltamperinės charakteristikos tyrimas

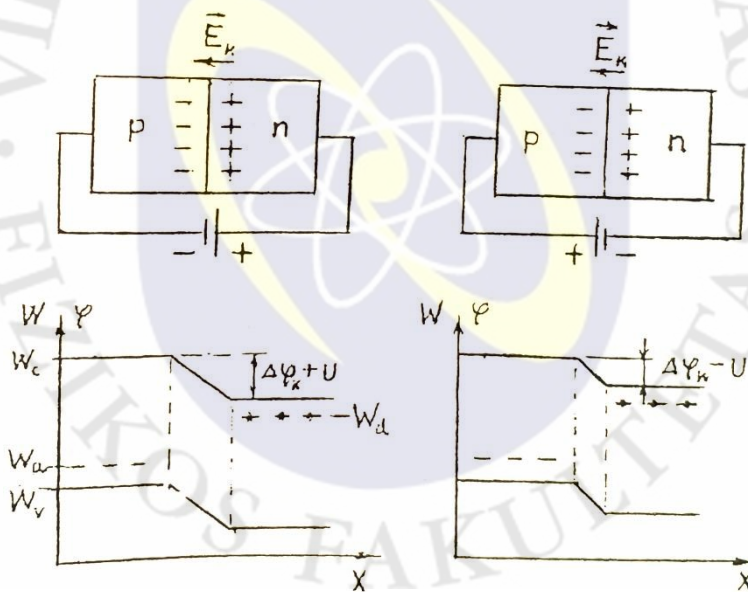
Užduotis.

1. Išmatuoti puslaidininkinio diodo voltamperinę charakteristiką voltmetro–ampermetro ir oscilografo metodais.

Pagrindiniai teoriniai klausimai.

1. Elektroninis ir skylinis puslaidininkių laidumas.
2. Elektrinio lauko ir potencialo pasiskirstymas p-n sandūroje ir jos energijos juostų schema.

Puslaidininkinis diodas – elektroninio (n) ir skylinio (p) laidumo tipų puslaidininkių sandūra (p - n sandūra). Kadangi elektroninio laidumo puslaidininkio laisvųjų elektronų koncentracija daug didesnė negu skylių, o skylinio laidumo atveju atvirkščiai, tai elektronai difunduoja į p sritį, o skylės – į n . Difundavę krūvininkai sukuria sandūroje elektrinį lauką, stabdantį šį vyksmą. Esant tam tikram šio kontaktinio lauko stipriui \vec{E}_k , nusistovi dinaminė pusiausvyra. Kontaktinis laukas sukuria pagrindiniams krūvininkams potencialinį barjerą $\Delta\varphi$, ribojantį jų perėjimą į kito laidumo tipo sritį (1 pav.). Barjero srityje elektronų ir skylių tankiai daug mažesni negu už jos ribų. Dėl to jos elektrinis laidumas mažas ir artimas savajam.



1 pav. Puslaidininkinė p-n sandūra ir jos potencialinis barjeras

Prijunkime prie n srities teigiamą srovės šaltinio polių, o prie p srities – neigiamą. Toks prijungimas vadinamas užtvariniu, nes elektrinis laukas sustiprės ir potencialo barjeras padidės. Tai padidins nuskurdintos pagrindiniais krūvininkais kontaktinės srities storį. Uztvarinės srovės stiprį lemia nepagrindiniai krūvininkai: p srities elektronai ir n srities skylės. Jų koncentracijos nepalyginamai mažesnės už pagrindinių krūvininkų koncentracijas, todėl srovės užtvarine kryptimi stipris daug mažesnis negu pralaidžiaja. Jo priklausomybė nuo įtampos pasireiškia tik pradinėje voltamperinės charakteristikos dalyje. Įtampai toliau didėjant, srovės stipris kinta silpnai, artėdamas prie įsotinimo

vertės I_s . Šiuo atveju srovės tankį bei stiprį lemia nepagrindinių krūvininkų difuzija į kontaktinio lauko sritį, silpnai priklausanti nuo išorinio elektrinio lauko.

Srovę pralaidžiąja kryptimi gausime prijungę prie n srities neigiamą srovės šaltinio polių, o prie p srities-teigiamą. Tokiu atveju išorinis elektrinis laukas priešingas kontaktiniam, todėl potencialinis barjeras sumažės ir praeinančių per jį skylių bei elektronų srautai padidės. Mažėjant barjero aukščiui, šių srautų tankiai eksponentiškai didėja, todėl galima įrodyti, kad srovės stiprio pralaidžiąja kryptimi priklausomybę nuo įtampos U aprašo eksponentinio tipo funkcija:

$$I = I_s \left(\exp \frac{q_e U}{kT} - 1 \right); \quad (1)$$

čia q_e - elektrono krūvis.

Matavimų metodai.

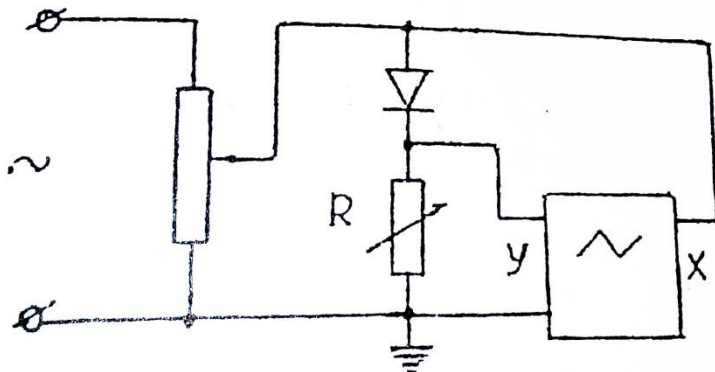
Voltmaperinės charakteristikos matavimo pralaidžiąja kryptimi schema pavaizduota 2 a pav. Matavimo grandinę sudaro įtampos daliklis R_d , miliampermetras (mikroampermetras), kintamo dydžio varža R , voltmetras V ir tiriamasis diodas. Diodo įtampa keičiama jos dalikliu R_d ir kintama varža R . Atliekant matavimus būtina žinoti leistino srovės stiprio vertę.

Srovės stiprio užtvarine kryptimi priklausomybė nuo įtampos matuojama pagal 2 b pav. pavaizduotą schemą. Srovės stiprį rasime išmatavę įtampą U_{12} varžoje R : $I = \frac{U_{12}}{R}$. Varža R parenkama daug mažesnė

už diodo sandūros užtvarine kryptimi varžą. Įtampą diodo gnybtuose U_{23} rasime išmatavę daliklio išėjimo įtampą U_{13} , nes $U_{23} = U_{13} - U_{12}$.

Voltamperinės charakteristikos matavimo oscilografu schema pavaizduota 3 pav. Kintamos srovės šaltinio įtampa per daliklį R_d paduodama į diodo ir kintamos varžos R grandinę. Ji registruojama oscilografo ekrano X ašyje. Į oscilografo Y įėjimą paduodama įtampa U_y , proporcinga srovės stipriui

$$I = \frac{U_y}{R}$$



2 pav. Diodo voltamperinės charakteristikos matavimo schemas

3 pav. Diodo voltamperinės charakteristikos matavimo oscilografu schema

Matavimo rezultatų analizė. Voltamperines charakteristikas pavaizduojame grafiškai. Patikriname,

ar voltamperinė charakteristika pralaidžiaja kryptimi atitinka (1) formulę. Pertvarkę ją ir išlogaritmavę gausime

$$\lg\left(\frac{I}{I_s} + 1\right) = bU ; \quad (2)$$

čia $b = \frac{q_e}{kT} \lg e$.

Jeigu išmatuotoji charakteristika atitinka šią priklausomybę, tai atidėję ordinačių ašyje $\lg\left(\frac{I}{I_s} + 1\right)$ vertes, o abscisių U , gausime tiesę. Suradę šios tiesės krypties koeficientą b , apskaičiuosime elektrono krūvį.

Tyrimo eiga.

Matavimai pralaidžiąją kryptimi.

1. Grandinę sujunkite pagal 2 pav. a) dalyje nurodytą schemą.
2. **Pakvieskite dėstytoją, kad šis patikrintų, ar teisingai sujungta grandinė.**
3. Diodo įtampą keiskite dalikliu R_d ir kintamąją varžą R .
4. Atlikite matavimus intervale 0-50 μ A (kas 10 μ A), intervale 50-200 μ A (kas 50 μ A), intervale 200-500 μ A (kas 100 μ A).
5. Matavimų rezultatus surašykite į lentelę.

U, V	I, μ A

Matavimai užtvarine kryptimi.

1. Sujunkite grandinę, parodytą 2 pav. b) dalyje (nepamirškite pakeisti šaltinio jungimo poliškumo).
2. Įtampą matuokite tarp taškų 1–2 ir 1–3.
3. Varžą R nustatykite tokią, kad būtų tenkinama sąlyga $U_{12} \ll U_{13}$ (pvz. $U_{12}/U_{23} \approx 0.1$). Tokiu atveju diodo įtampa $U_d \approx U_{13}$.
4. Grandine tekančią elektros srovę apskaičiuokite ant rezistoriaus R krentančią įtampą U_{12} padaliję iš jo varžos.
5. Atlikite kelis matavimus (pvz. intervale nuo -1V iki -13V, kas 1V). Matavimų rezultatus surašykite į lentelę

U_{12} , V	U_{13} , V

6. Diodo voltamperines charakteristikas laidžiaja ir užtvarine kryptimi atvaizduokite viename grafike parinkę tinkamą mastelį. Voltamperinės charakteristikos laidžioji dalis brėžiama pirmajame koordinatinių plokštumos kvadrante, o užtvarinė dalis – trečiajame.

Matavimai oscilografu.

1. Sujunkite grandinę pavaizduotą 3 pav.

2. Oscilografą nustatykite darbui XY režimu.
3. Atlikite matavimus su didesne ($\sim 10^5 \Omega$ eilės) bei mažesne ($10^2 - 10^3 \Omega$ eilės) varžomis. Abiejų matavimų duomenis persikelkite į USB atmintuką.

Duomenys iš oscilografo į USB atmintuką perkeliama tokiu būdu:

- Įjunkite USB atmintuką į tam skirtą lizdą oscilografe.
- Paspauskite mygtuką Save/Recall
- „Action“ laukelyje nustatykite „Save Waveform“.
- „Save To“ → „File“.
- „Source“ → „CH1“ (Jei naudojamas šis oscilografo kanalas).
- Spauskite „Select Folder“.
- Atsiradusiame parinkčių lauke išsirinkite norimą aplanką – tai galite padaryti sukdami apvalią rankenėlę, esančią virš mygtuko „Save“.
- Jei norite, kad duomenys būtų išsaugoti naujame aplanke, pasirinkite „New Folder“.
- Aplanką pasirinkite paspausdami „Change Folder“.
- Pasirinkę aplanką spauskite „Save ____ .CSV“. Čia ____ simbolizuoja bet kokią automatiškai sugeneruotą failo pavadinimą.
- Pagal failo esančius duomenis jums patinkančia programa nubrėžkite grafiką.

Literatūra.

1. A. Medeišis „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas.“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000.
2. A. Matvejevas, „Elektra ir magnetizmas“, Vilnius, *Mokslas*, 1991.
3. V. Rinkevičius, „Elektra ir magnetizmas“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2001.