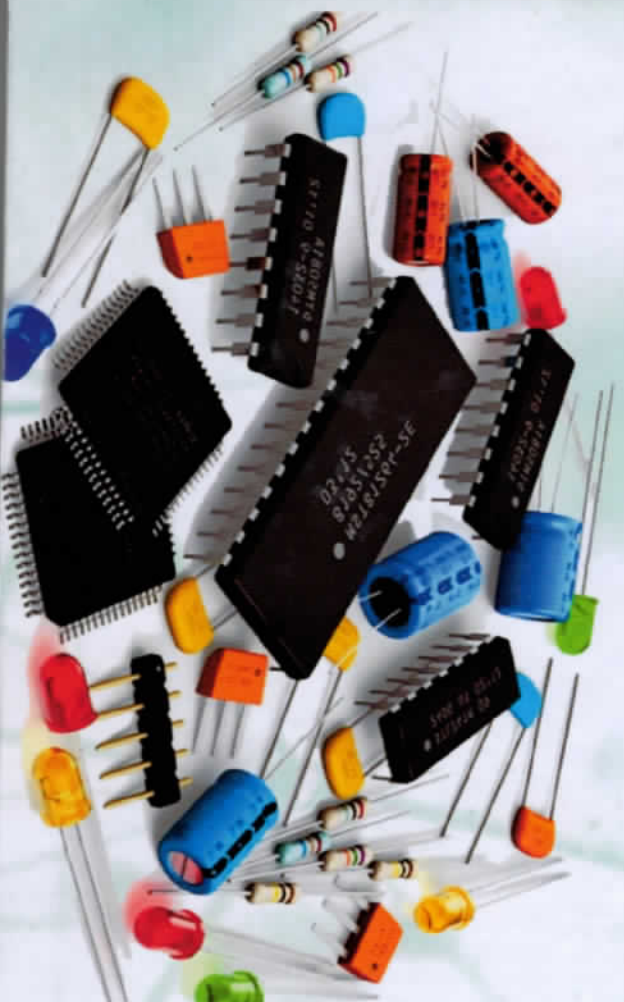


К.У. БОБОХҲАЕВ
Б. Х. ҚҶҶОРОВ
О. О. МАМАТКАРИМОВ

ЎРНИМЎТКАЗГИЧЛИ АСБОБЛАР ФИЗИКАСИ



ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА Ўрта МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРАЛИГИ
ТОШКЕНТ ВИЛОЯТИ ЧИРЧИК ДАВЛАТ
ПЕДАГОГИКА ИНСТИТУТИ
НАМАНГАН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

БОБОХЎЖАЕВ КУДРАТ УМАРОВИЧ

БЕҲЗОД ХОШИМЖАНОВИЧ КҮЧҚОРОВ

ОДИЛЖОН ОХУНДАДАЕВИЧ МАМАТКАРИМОВ

60110700-Физика ва астрономия

70530905-Яримўтказгичлар физикаси

**Яримўтказгичли асбоблар физикаси
(Ўқув кўлланима)**

Чирчик 2022

УДК 530.1

ББК 22.3

Б - 79

Яримўтказгичли асбоблар физикаси

БОБОХЎЖАЕВ КУДРАТ УМАРОВИЧ БЕХЗОД ХОШИМЖАНОВИЧ КЎЧҚОРОВ ОДИЛЖОН ОХУНДАДАЕВИЧ МАМАТКАРИМОВ

Мазкур кўланмада хозирги замон яримўтказгичли асбобларининг асосий иш тамойиллари тахлил этилиб, яримўтказгичли диод ва транзисторлар асосидати интеграл схемалар, майдонли транзисторларни кўлланиш соҳалари, уларни турли температура ва частоталарда хараактеристикаларини ўзгараши ва амалиётда фойдаланиш усулларини кўрсатиб берилган. Ушбу кўланма Давлат таълим стандартларининг 60110700-физика ва астрономия бакалавр ва 70530905-Яримўтказгичлар физикаси магистратура йўналишларининг ўқув дастурига мос ҳолда яратилган бўлиб, ундан «Яримўтказгичлар ва диэлектриклар физикаси» «Қаттиқ жисм физикаси» «Микроэлектроника» «Яримўтказгичли асбоблар» шу соҳа талаба ва магистлари, физика-техника муҳандислари, илмий тадқиқодчилар, радиоэлектроника соҳасида яримўтказгичли асбобларни амалиётда кўллашни хоҳловчилар фойдаланишлари мумкин.

Таърифчилар: физ.-мат. фанлари доктори
И. Г. Турсунов (ТВЧДПИ);
физ.-мат. фанлари номзоди
И. Х. Холматович (ЎзМУ);

ISBN 978-9943-9169-2-0

Кириш

Бугунги кунда фан ва техника соҳасида энг тез фан-бу яримўтказгич асбоблари физикасидир. Бунга сабаб, яримўтказгичли асбобларнинг инсон фаолиятини барча соҳаларида-тибиётдан то космик тадқиқотларгача кенг қўлланишидир. Бундай тез тараққиётга яримўтказгичли материалларнинг физик хоссаларини узоқ ва чуқур текширишлар олиб келди. 1900 йилдан бошлаб жаҳоннинг турли давлатларининг олимлари металл-яримўтказгич нуктавий контактини детектирлаш-тўғрилаш хоссаларини ўргана бошладилар. Бунда асосан яримўтказгич материал сифатида кремний карбиди, кремний, теллурлар ишлатилди. 1922 йилда манфий дифференциал каршиликка эга бўлган контактлар аниқланди ва ўрганилди. Булар асосида каттик жисм электр тебранишлари генераторлари яратилди. 1937 йилда эса экспериментлар асосида ҳар хил турдаги ярим ўтказгичлар четрасида токни тўғрилаш назарияси вужудга келди. 1940 йилда эса бу назария кўп сонли экспериментларда тасдиқланди.

Шу даврдан бошлаб, турли турдаги яримўтказгич-яримўтказгич контактидати оралик катламдати бўладиган жараёнлар ўрганила бошланди. Лекин, катор эксперимент натижалари металл-яримўтказгич контактидан ўтувчи ток назариясига мос эмас эди. 1947 йилда яримўтказгич юзасида, у бошқа яримўтказгич ва металл билан контактда бўлмаган ҳолда ҳам, электрон ҳолатлар мавжудлиги ҳақидаги фикр илгари сурилди. Бу асосида иккита яримўтказгич контактидан ток ўтиш механизмнинг назарияси вужудга келди ва у кенг тарқалиб, эксперимент натижаларига мос натижаларни берди. Бу назария замонавий яримўтказгичли тўғрилагичли диодларнинг ишлаш механизмига асос бўлди.

Турли турдаги икки яримўтказгич четрасида катта электр майдон бўлгандаги жараёнларни ўрганиш р-п ўтишининг тешилиш назариясини вужудга келишига ва бу асосда ишловчи яримўтказгичли асбоб-стабилитроннинг яратилишига олиб келди.

Шу жумладан, иккита яримўтказгич контактини ёруғлик энергиясини электр энергиясига айлантиришда қўллаш мумкинлиги кўрсатилди. Бу тамойилда ишлаб чиқилган фотоэлементлар ёруғлик сигналларини қайд қилишда ҳамда фотоэнергетикада қўлланилмоқда.

1948 йилда каттик жисмли яримўтказгичли қучайтиргич-трансформатор яратилди. Бу асбоб ишлаш асосини иккита ўзаро якин жойлаштирилган р-п ўтишларнинг ўзаро таъсири ташкил этади ва ток ўтказиш жараёнида икки ишорали заряд ташувчилар-электрон ва коваллар иштирок этади. 1952 йилга келиб, нуктавий ва ясси бикутбый транзисторлар каби яримўтказгичли асбоблар яратилди. Кейинчалик бикутбый яримўтказгичли транзисторларнинг қучайтириш хусусиятларини яхшилаш, ишлаш частота диапазонини кенгайтириш ҳамда иш қувватини ошириш борасида таджикотлар олиб борилди.

50-йилларнинг охирида ўзаро якин жойлаштирилган учта р-п ўтишларнинг ўзаро таъсирига асосланган яримўтказгичли асбоб транзистор ишлаб чиқилди. Транзисторларнинг асосий ишлатилиш соҳаси бу кичик инерцияли қувватли тоқларни коммутация қилишдир.

Яримўтказгичлар юзасида ва яримўтказгич-диэлектрик фаза чегарасидаги физик жараёнларни чуқур ўрганилиши уни поляри ёки майдонли транзисторларни яратилишига олиб келди. Бу транзисторларда заряд ташувчилар бир хил ишорали бўлиб, транзистордан ўтувчи ток катталиги затворга қўйилувчи электр майдон қучланганлигига боғлиқ.

Охириги бир неча ўн йилларда электрон техникага бўлган талаб яримўтказгичларнинг функционал имкониятларини ошириш ва уларнинг ўлчамларини кичрайтириш интеграл микросхемаларнинг яратилишига олиб келди. Кейинги тадқиқотлар эса наноўлчамдаги транзистор структураларини яратиш имконини туғдирди.

Яримўтказгичли асбоблар шундай катта тезликда ривожлантирилмоқдаки, бугунги тасаввур ва ютуқлар бир неча

инилдан сўнг эскириб қолимоқда. Шу сабабли, яримўтказгичли асбобларда рўй берувчи физик жараёнларни билиш аҳамиятта эгалдир. Бу эса мутахассисларнинг янги усул ва тамойилларни мустиқли ўрганишига имкон беради.

v_y ва v_z тезлик ташкил этувчилари турлича бўлган ҳолда 1 см^3 ҳажмда v_x ва $v_x + dv_x$ тезлик оралиғидаги тезликларга эга бўлган электронлар сонини аниқлайлик. Бунинг учун $+\infty$ дан $-\infty$ гача, v_y ва v_z тезликлар олиши мумкин бўлган қийматлар бўйича (1.1) ифодани интеграллаймиз

$$dn(v_x) = \frac{2m^3}{(2\pi\hbar)^3} \exp\left(-\frac{\frac{mv_x^2}{2} - F}{kT}\right) \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{mv_y^2}{2kT}\right) dv_y \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{mv_z^2}{2kT}\right) dv_z \quad (1.2)$$

(1.2) ифодада иккала интеграл ҳам бир хил. Уларни ҳисоблаш учун, уларнинг ихтиёрий биттасига янги ўзгарувчан қиритамиз

$$\xi = \left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{1}{2}} v_z$$

Энди

$$v_z^2 = \left(\frac{2kT}{m}\right) \xi^2 \quad \text{ва} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-\xi^2) d\xi = 2 \int_0^{\infty} \exp(-\xi^2) d\xi = \pi^{\frac{1}{2}} \quad (1.3)$$

эканлигини ҳисобга олиб, (1.2) ифодадаги сўнгги интеграл учун қуйидагини ёзамиз:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{mv_z^2}{2kT}\right) dv_z = \left(\frac{2kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-\xi^2) d\xi = \left(\frac{2\pi kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.4)$$

(1.2) ифодада иккала интегралнинг ҳам тенг қучли эканлигидан қуйидаги қийматни оламиз

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{mv_z^2}{2kT}\right) dv_z \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{mv_y^2}{2kT}\right) dv_y = \frac{2\pi kT}{m} \quad (1.5)$$

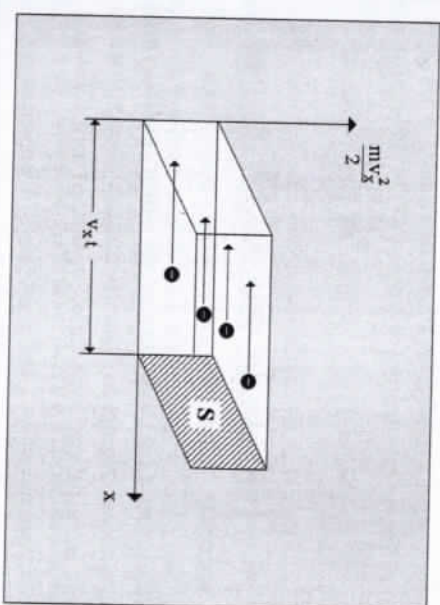
олинган (1.5) қийматни (1.2) ифодага олиб бориб қўямиз. Энди (1.2) ифода қуйидаги кўринишни олади:

$$dn(v_x) = \frac{m^2 kT}{2\pi^2 \hbar^3} \exp\left(-\frac{\frac{mv_x^2}{2} - F}{kT}\right) \quad (1.6)$$

x ўқи бўйича кристалл чегараси томон ҳаракатланаётган ва v_x тезликка эга бўлган электрон t вақт ичида $v_x t$ масофани босиб ўтди. Демак t вақт ичида v_x тезликка эга бўлиб, яримўтказгич сиртидан $v_x t$ масофада турган, яъни $V = v_x t$ S ҳажмда (2-расм) мавжуд бўлган барча электронлар бу сиртга етиб келади.

Бундай электронларнинг тула сони қуйидагича ифодаланади:

$dN = dn(v_x) S v_x t$, бу ерда, S -ажратилган ҳажмининг кесим нозаси. 1 см^2 сирт орқали электронлар ҳосил қилаётган оқим қуйидагига тенг бўлади:



2-расм. Ярим ўтказгич сиртига йўналган электронлар оқими

$$dI = \frac{dN}{St} = v_x dn(v_x) \quad (1.7)$$

Барча тезликлар бўйича яримўтказгич сиртига йўналган тула оқимни (1.7) ифодани интеграллаш орқали аниқлаш