

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Құттыбай Н.Б.

Электроника негіздері

«Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар», «Өндірістік электроника және басқару жүйелері» мамандықтары бойынша білім алушы студенттерге арналған

Алматы

13 Дәріс

Тақырыбы: Фотодиод. Фотоэлемент. Жұмыс жасау қағидалары. Қолданылу аясы

Дәрістің мақсаты мен міндеттері:

Дәрістің мақсаты: Фотодиодтар мен фотоэлементтердің жұмыс принциптері, олардың құрылымы және қолдану салалары туралы терең түсіну. Осы құрылғылардың физикалық негіздерін, олардың жарықтан электр энергиясына түрлендіру процесін түсініп, заманауи технологиялар мен инженериядағы ролін бағалай алу. Лекцияның барысында фотоэлементтерді әртүрлі тұрмыстық және өнеркәсіптік жүйелерде пайдалану мүмкіндіктерін зерттеп, олардың жарықпен әсерлесу принциптерін үйрену.

Міндеттері:

1. Фотодиодтар мен фотоэлементтердің құрылымы мен жұмыс істеу принципін түсіндіру.
2. Жарықты электр сигналына түрлендіру физикалық процесін қарастыру.
3. Фотоэлементтердің тұрмыстық, өнеркәсіптік және энергетикалық салалардағы қолдану мүмкіндіктерін көрсету.

Түйінді ұғымдар мен терминдер:

- Фотодиод (photodiode)
- Фотоэлемент (photoelectric cell)
- P-N ауысуы (p-n junction)
- Фотон, электрон-кемтік жұбы
- Жарық өткізетін терезе, линза
- Жарық қарқындылығы, кері қосылу
- Фотоэлектрондық элемент (vacuum phototube)
- Фотоөткізгіштік элемент (photoconductor)
- Фотогенераторлық элемент (photogenerator, solar cell)
- Фотоэлектрлік түрлендіру, электр қозғаушы күш (ЭҚК)
- Люксметр, оптикалық байланыс, IR детектор

Дәріс жоспары

Кіріспе

1. Фотодиод

2. Фотоэлемент

Білімді бекітуге арналған сұрақтар

Қорытынды

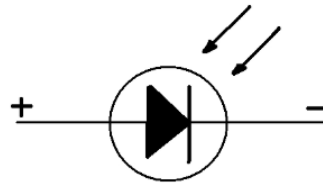
Әдебиеттер тізімі

Кіріспе

Жарық энергиясын электр энергиясына түрлендіретін элементтер бүгінгі таңда ғылым мен техниканың түрлі салаларында кеңінен қолданылуда. Бұл элементтерге фотодиодтар мен фотоэлементтер жатады. Олар күн сәулесін, жасанды жарықты немесе инфрақызыл сәулені қабылдай отырып, белгілі бір электрлік жауап (ток немесе кернеу) береді.

1. Фотодиод

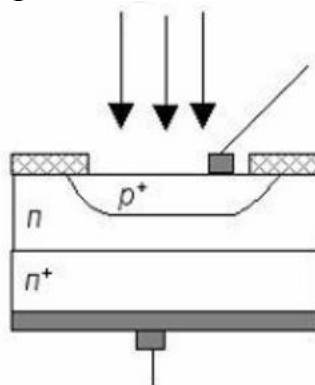
Фотодиод — бұл жарық сәулесін (фотондарды) электр тогына түрлендіруге арналған жартылай өткізгіш құрылғы. Ол жарық сезгіш элемент ретінде жұмыс істейді және көбінесе кері қосылған күйде қолданылады. Яғни, оған сырттан жарық түскенде, құрылғының ішкі процестері арқылы ток пайда болады. Бұл токтың шамасы жарықтың қарқындылығына (интенсивтілігіне) тікелей байланысты.



Фотодиодтың құрылымы

Фотодиодтың негізгі құрылымы жартылай өткізгіш материалдан тұрады. Оның ішінде басты элемент — р-п ауысуы (р және п типті жартылай өткізгіштердің қосылуы). Құрылымдағы әрбір бөлік маңызды рөл атқарады:

- ❖ р-п ауысуы — фотондардың әсерінен электрондар мен кемтіктердің (электрон жетіспейтін орындар) пайда болатын жері.
- ❖ Жарық өткізетін терезе — жарық сәулесі осы бөліктен құрылғы ішіне енеді. Бұл әйнек тәрізді мөлдір қабат болуы мүмкін.
- ❖ Корпус және линза — кейбір фотодиодтарда линза жарықты фокусқа түсіріп, сезімталдықты арттыру үшін қолданылады.



Жұмыс істеу қағидасы

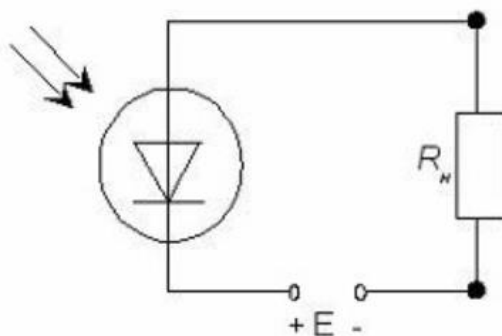
Фотодиодтың жұмысын толық түсіну үшін жарық пен жартылай өткізгіштің өзара әрекетін қарастырайық:

1) Фотондар әсері: Жарық сәулесі (фотондар түрінде) фотодиодтың p-n ауысуына түседі. Егер фотонның энергиясы жеткілікті болса, ол атомдардағы байланысқан электрондарды босатып, электрон-кемтік жұптарын тудырады.

2) Электр өрісі әсері: p-n ауысу аймағында ішкі электр өрісі бар, ол электрондарды n-аймаққа, ал кемтіктерді p-аймаққа қарай тартады. Бұл бөлінген заряд тасымалдаушылар кері бағыттағы ток тудырады.

3) Жарық қарқындылығы: Жарық неғұрлым күшті болса, соғұрлым көп фотон түсіп, көп электрон-кемтік жұбы пайда болады. Демек, ток күші де артады.

Яғни фотодиод – жарықтың қарқындылығын өлшей алатын құрылғы ретінде жұмыс істейді.



Фотодиодтың қолданылу аясы

Фотодиодтардың сезімталдығы мен жылдам әрекет ету қабілеті оларды көптеген салаларда пайдалануға мүмкіндік береді:

1) Фотоэлектрлік датчиктерде

❖ Қарапайым жарық деңгейін анықтайтын құрылғыларда (мысалы, автоматты шамдарды қосу/өшіру жүйелері).

❖ Өндірістік желілерде заттардың болуын анықтауға арналған сенсорлар.

2) Өлшеу құралдарында

❖ Люксметрлер (жарық өлшеу құралдары).

❖ Медициналық құрылғыларда (мысалы, қан құрамын талдайтын оптикалық құрылғыларда).

3) Оптикалық байланыс жүйелерінде

❖ Талшықты-оптикалық байланыс жүйелерінде фотодиодтар ақпаратты қабылдаушы ретінде қызмет етеді. Жарық сигналын қабылдап, оны электр сигналына айналдырады.

4) Қауіпсіздік және дабыл беру жүйелерінде

❖ Мысалы, жарық перделері (light curtain) – өндірістік қауіпсіздік құрылғыларында қол немесе бөгде зат өткенде сигнал береді.

❖ Қозғалыс сенсорларында қолданылып, жарық деңгейінің өзгерісіне байланысты сигнал береді

2. Фотоэлемент

Фотоэлемент — бұл жарық энергиясын қабылдап, оны электр энергиясына түрлендіретін құрылғы. Ол жарық түскенде электр қозғаушы күшін (ЭҚК) немесе электр тогын тудырады. Фотоэлементтер жарықтың бар-

жоғын, жарық қарқындылығын анықтауға немесе жарықты электр энергиясына тікелей айналдыруға арналған.

Кейбір фотоэлементтер жарық әсерінен өткізгіштігін өзгертсе (мысалы, фоторезисторлар), басқалары — жарық түскен кезде ток немесе кернеу тудырады (мысалы, күн батареялары).



Фотоэлемент түрлері

Фотоэлементтер қолдану мақсатына және жұмыс істеу қағидасына байланысты бірнеше түрге бөлінеді:

1) Фотоэлектрондық элементтер (немесе вакуумдық фотоэлементтер):

- ❖ Бұл элементтерде жарық фотондары металл бетінен фотоэлектрондарды шығарады (сыртқы фотоэффект).

- ❖ Фотоэлектрондар вакуум ішіндегі анодқа қарай қозғалып, ток тудырады.

- ❖ Ерте кезде фотоаппараттарда және жарық детекторларында қолданылған.

2) Фотоөткізгіштік элементтер (фоторезисторлар):

- ❖ Мұнда жарықтың әсерінен жартылай өткізгіштің өткізгіштігі артады.

- ❖ Жарық түскенде электрондар босап, өткізгіштік жақсарады, нәтижесінде тізбекте ток аға бастайды.

- ❖ Қарапайым жарық датчиктерінде, жарық шамдарын автоматты қосу жүйелерінде қолданылады.

3) Фотогенераторлық элементтер (күн батареялары):

- ❖ Бұл құрылғылар жарықтан электр қозғаушы күш (кернеу) тудырып, ток өндіреді.

- ❖ Фотоэлектрлік түрлендіру арқылы күн энергиясын тікелей электр энергиясына айналдырады.

- ❖ Негізінде, бұл — күн панельдерінің негізгі жұмыс элементі.

Фотоэлементтің жұмыс істеу қағидасы

Фотоэлементтердің жұмысы жарық фотондары мен жартылай өткізгіш материал арасындағы өзара әрекетке негізделген. Негізгі жұмыс сатысы төмендегідей:

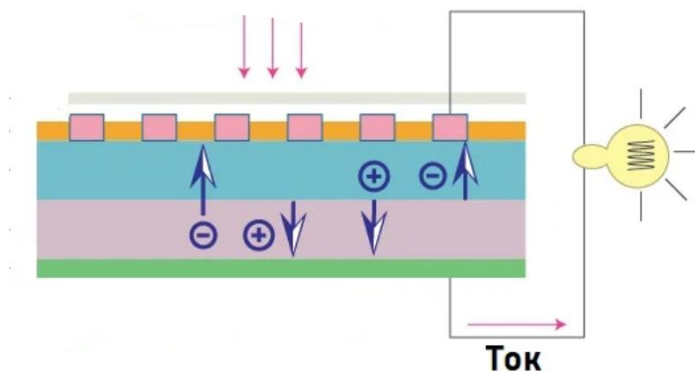
1) Жарықтың түсуі: Фотоэлементтің жарыққа сезімтал бетіне фотондар (жарық бөлшектері) түседі.

2) Энергияның жұтылуы: Егер фотонның энергиясы жартылай өткізгіш материалының тыйым салынған аймағынан (band gap) жоғары болса, ол электронды қоздырып, оны валенттік аймақтан өткізгіштік аймаққа ауыстырады.

3) Электрон-кемтік жұптарының түзілуі: Осы кезде электрон мен кемтік жұбы пайда болады. Бұл тасымалдаушылар тізбекте токтың ағып өтуіне себеп болады.

4) Токтың пайда болуы немесе өткізгіштіктің өзгеруі:

- ❖ Фотоөткізгіштік элементтерде жарық өткізгіштікті арттырады.
- ❖ Фотогенераторларда жарық түскен кезде тұрақты ток көзі сияқты жұмыс істейді.



Фотоэлементтердің қолданылу аясы

Фотоэлементтер күнделікті өмірде де, өндірісте де кеңінен қолданылады. Олардың көмегімен жарықты анықтауға, энергия өндіруге және әртүрлі автоматтандырылған процестерді іске асыруға болады.

1) Күн панельдерінде (күн энергиясын өндіру)

❖ Фотогенераторлық фотоэлементтер күн сәулесін электр тогына айналдырып, экологиялық таза энергия көзі ретінде қызмет етеді.

❖ Үйлерде, ғимараттарда, көліктерде, ғарыш аппараттарында қолданылады.

2) Көше шамдарын автоматты басқару

❖ Көше шамдарына орнатылған фоторезисторлар күн батқанда жарық жетіспеушілігін анықтап, шамдарды қосады.

❖ Таңертең күн шыққанда, шамдар автоматты түрде сөнеді.

3) Фотоаппараттарда (экспонетрия)

❖ Фотоэлементтер жарықтың қарқындылығын өлшейді.

❖ Бұл ақпарат камераның экспозициясын автоматты реттеуге көмектеседі.

4) Өнеркәсіп және тұрмыс техникасында

❖ Өндірістік роботтар мен автоматтандырылған желілерде заттың болуын немесе қозғалысын анықтауға арналған.

❖ Ақылды үй жүйелерінде жарық деңгейіне байланысты перделерді, жарықтандыруды немесе климатты басқару.

5) Медициналық жабдықтарда

❖ Пульсоксиметрлерде, жүрек соғу жиілігін, қандағы оттегі мөлшерін анықтау үшін инфрақызыл фотодетекторлар пайдаланылады.

Білімді бекітуге арналған сұрақтар:

1. Фотодиодтың негізгі жұмыс принципі қандай физикалық құбылыстарға негізделген?
2. Фотодиодтар кері қосылған күйде не үшін қолданылады?
3. P-N ауысуы фотодиодта қандай рөл атқарады?
4. Фотоэлемент пен фотодиод арасындағы негізгі айырмашылық неде?
5. Фотоэлемент түрлері және олардың жұмыс қағидалары қандай?
6. Фотогенераторлық элементтер қалай күн сәулесін электр энергиясына айналдырады?
7. Фотоэлементтерді көшедегі шамдарды автоматты басқаруда қалай қолдануға болады?
8. Оптикалық байланыс жүйелерінде фотодиодтар қандай рөл атқарады?
9. Медициналық құрылғыларда фотоэлементтер қандай функцияларды орындайды?
10. Фотоэлементтердің тиімділігін арттыру үшін қандай физикалық немесе конструкциялық әдістер қолданылады?

Қорытынды:

Фотоэлементтер — жарықтың әсерінен электр сигналын тудыратын заманауи және маңызды құрылғылардың бірі. Олардың жұмыс істеу қағидасы жарықтың жартылай өткізгіш материалға әсер етуі арқылы жүзеге асады, бұл физика мен техника арасындағы ерекше байланысты көрсетеді.

Бүгінгі таңда фотоэлементтер күн энергиясын тиімді пайдалануға, автоматты басқару жүйелерін іске асыруға, жарықты дәл өлшеуге, қауіпсіздік жүйелерін жетілдіруге мүмкіндік береді. Түрлі салада кеңінен қолданылуы — олардың сенімділігі мен функционалдығының дәлелі.

Фотоэлементтерді түсіну – тек электроника мен автоматика саласын меңгеру үшін ғана емес, сонымен қатар болашақта энергия үнемдеу, «ақылды» технологиялар және жасыл энергетика бағытында жұмыс істеуге мүмкіндік беретін маңызды қадам.

Әдебиеттер тізімі:

1. Абдиев А.Ж., Төлегенова М.А. Электроника негіздері. – Алматы: Қазақ университеті, 2018. – 240 б.
2. Кучуков Е.Н. Основы электроники и схемотехники. – Москва: Академия, 2020. – 320 с.
3. Соловьев А.А. Физические основы оптоэлектроники. – Москва: Радио и связь, 2015. – 280 с.
4. Пискунов Ю.К., Сивухин Д.В. Общая физика. Оптика и квантовая физика. – Москва: Наука, 2021. – 416 с.
5. Tokheim R. Digital Electronics: Principles and Applications. – McGraw-Hill Education, 2013. – 656 p.
6. Streetman B.G., Banerjee S. Solid State Electronic Devices. – Pearson, 2016. – 736 p.
7. Kasap S.O. Optoelectronics and Photonics: Principles and Practices. – Pearson Education, 2018. – 648 p.

8. Нұсқабаев А., Ергалиев Е. Электр және радиоөлшеу негіздері. – Алматы: Эверо, 2020. – 198 б.