

Электроника негіздері

Лекция 11

Жарық диодтары мен лазерлердің жұмыс принципін, құрылымын, түрлерін және қосу ерекшеліктерін түсіндіру, олардың өлшеу әдістерімен танысу арқылы бұл құрылғылардың қолданылу салаларындағы маңыздылығын көру.

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.

1. Жарық диодтарының және лазерлердің жұмыс принципі және құрылымы

1. Жарық диоды (LED — Light Emitting Diode)

Жарық диоды — электр тогы өткенде жарық шығаратын жартылай өткізгіш элемент. Оның жұмыс принципі кванттық құбылыстарға — электрон мен кемтіктің рекомбинациясы нәтижесінде фотонның бөлінуіне негізделген.

Жарық диодының жұмыс принципі:

Жарық диодтың негізінде р-п өтпесі бар жартылай өткізгіш құрылым жатыр.

- ❖ Р-облысы (positive) — артық кемтіктермен (дырыстармен) қаныққан.

- ❖ N-облысы (negative) — еркін электрондарға бай.

- ❖ Бұл екі қабат қосылғанда, олардың түйіскен жерінде өтпелі қабат (depletion layer) пайда болады.

Электр тогын тура бағытта бергенде (анодқа — «+», катодқа — «-»):

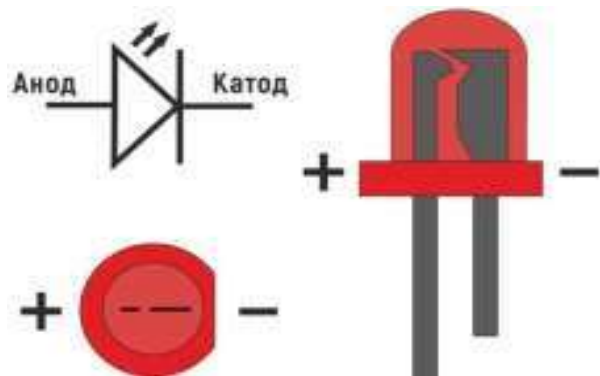
- ❖ Электрондар п-облыстан р-облысқа өтеді.

- ❖ Онда олар кемтіктермен кездесіп, рекомбинация процесі жүреді.

- ❖ Рекомбинация кезінде артық энергия фотон түрінде бөлінеді — яғни жарық шығарылады.

Фотонның энергиясы жартылай өткізгіш материалдың тыйым салынған

зонасының еніне (bandgap) байланысты, ал бұл жарықтың түсін анықтайды (қызыл, жасыл, көк және т.б.).



Жарық диодының құрылымы:

1) Жартылай өткізгіш кристалл:

- ❖ Арнайы материалдардан (мысалы, GaAs — галлий арсениді, GaN — галлий нитриді) жасалады.

- ❖ Бұл материалдың тыйым салынған зонасы фотонның энергиясына әсер етеді.

2) P-n өтпесі:

- ❖ Негізгі жарық шығаратын аймақ.

❖ Электрон мен кемтіктің рекомбинациясы дәл осы жерде жүреді.

3) Металлдық электродтар:

❖ Ток көзіне қосу үшін арналған.

❖ Біреуі кристалдың төменгі жағында, екіншісі үстінде орналасады.

4) Рефлектор (шағылдырғыш):

❖ Жарықты бір бағытта шығару үшін.

❖ Жарықтың тиімділігін арттырады.

5) Корпус және линза:

❖ Жарық диодтың сыртқы қорғанышы.

❖ Линза жарықты фокустау үшін қажет.

❖ Көп жағдайда пластиктен немесе мөлдір эпоксидтен жасалады.

Жарық диодтың артықшылықтары:

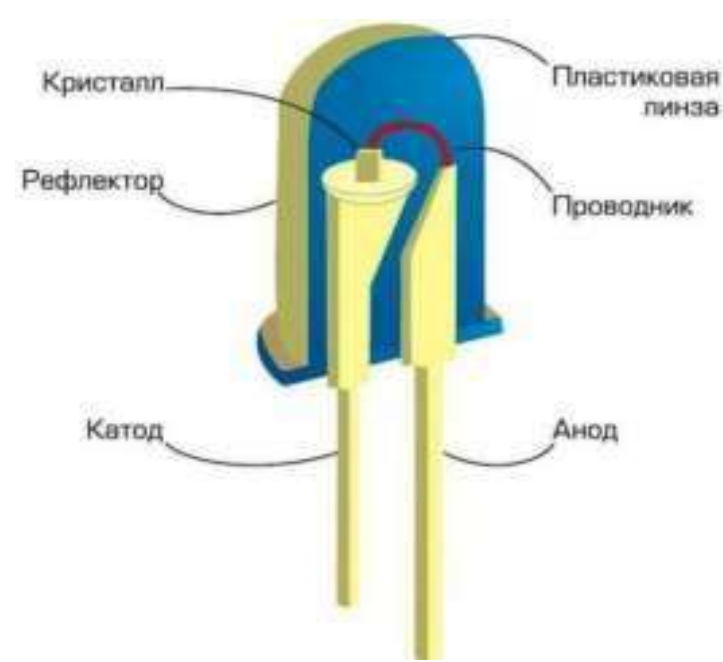
❖ Ұзақ қызмет ету мерзімі (50 000 сағатқа дейін)

❖ Төмен ток тұтыну

❖ Кішкентай өлшем

❖ Сенімділік және механикалық беріктік

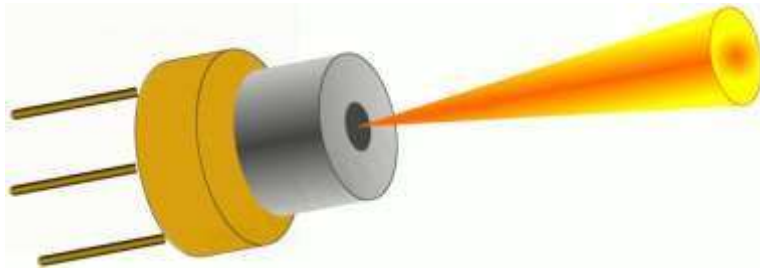
❖ Жоғары жарық тиімділігі



1.2 Лазер (LASER — *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)

Лазер — жарықты күшейту арқылы бағытталған, когерентті және монохроматты сәуле шығаратын құрылғы.

Лазер сөзі ағылшын тілінен аударғанда — «Жарықты индукцияланған сәуле шығару арқылы күшейту» деген мағынаны білдіреді.



Лазердің жұмыс принципі:

Лазердің жұмысы үш негізгі кванттық процестен тұрады:

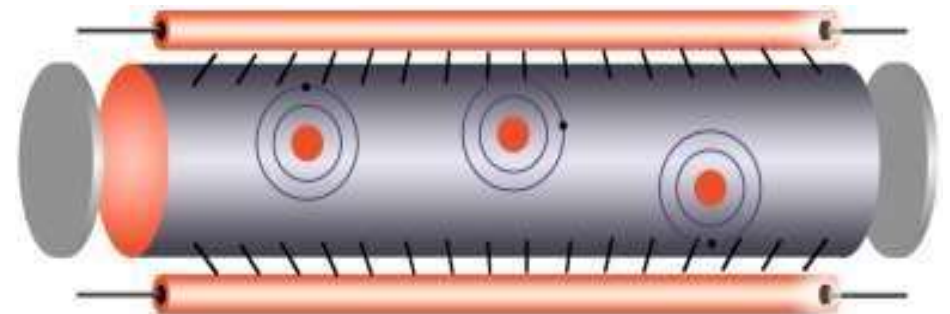
1) Энергетикалық деңгейлер:

❖ Атом немесе молекула белгілі бір энергия деңгейінде болады.

- ❖ Оған сырттан энергия берілсе (жылу, жарық, электр), ол қозған күйге өтеді. 2) Индукцияланған (еріксіз) сәуле шығару (Stimulated Emission):
 - ❖ Қозған атом егер дәл сондай энергиялы фотонмен соқтығысса, дәл сондай екінші фотон шығарады.
 - ❖ Екі фотон да бір бағытта, бір фаза мен жиілікте болады — когерентті сәуле. 3) Кері байланыс пен резонатор:
 - ❖ Екі жағына айна орнатылады — бірі толық шағылдырғыш, екіншісі жартылай өткізгіш.
 - ❖ Фотондар бұл кеңістікте алға-артқа қозғалса, олар жаңа фотондарды тудыра береді.
 - ❖ Осылайша, жарық күшейіп, жартылай өткізгіш айна арқылы сыртқа шығарылады.
- Лазердің құрылымы:
- 1) Белсенді орта:
 - ❖ Жарық шығаратын материал (жартылай өткізгіш, газ, кристалл, сұйықтық).
 - ❖ Бұл жерде қоздырылған атомдар орналасады.
 - 2) Энергия көзі (насос):
 - ❖ Белсенді ортаны қоздыруға арналған.
 - ❖ Қоздыру әдісі: электрлік ток, жарық импульсі, химиялық реакция.
 - 3) Резонатор (айна жүйесі):
 - ❖ Жарықты күшейтетін аймақ.
 - ❖ Жоғары шағылыстыратын екі айнадан тұрады.
 - 4) Шығару тесігі:
 - ❖ Бір айна жартылай мөлдір, сол арқылы лазер сәулесі сыртқа шығады. Лазердің негізгі қасиеттері:
 - ❖ Когеренттік – толқындар бір фаза мен жиілікте.
 - ❖ Монохроматтылық – бір ғана толқын ұзындығымен жарық шығарады.
- ❖ Бағытталғандық – сәуле өте тар әрі қашықтыққа шашырамай таралады.
 - ❖ Жоғары қуаттылық – энергияны шоғырландыру қабілеті жоғары.

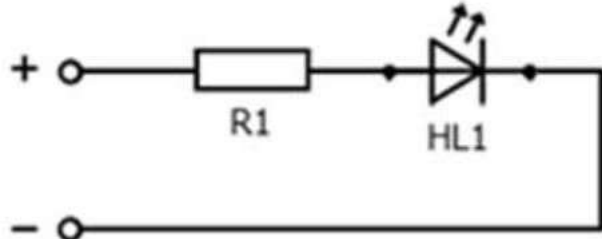
2. Жарық диодтарын және лазерді қосу схемасы

Жарық диодтар мен лазер диодтар — сезімтал жартылай өткізгіш құрылғылар, олар тұрақты ток пен кернеудің нақты шектерінде ғана тиімді әрі қауіпсіз жұмыс істей алады. Сондықтан оларды электр тізбегіне қосқанда арнайы қорғау және басқару элементтері қолданылады.



2.1 Жарық диодын қосу схемасы

Жарық диод ешқашан тікелей кернеу көзіне қосылмайды. Оған әрқашан тізбектей резистор жалғанады, бұл артық токтан қорғау үшін қажет.



Резисторды есептеу формуласы:

$$R = (U_{\text{корек}} - U_{\text{LED}}) / I$$

Мұндағы:

- ❖ $U_{\text{корек}}$ — қорек көзі кернеуі (мысалы, 5 В)
- ❖ U_{LED} — жарық диодтың кернеуі (мысалы, 2 В)
- ❖ I — жарық диод арқылы өтуі тиіс ток (әдетте 10–20 мА)

Жарық диодты қосу схемаларының түрлері:

1) Бір жарық диодты тікелей қосу:

❖ Ең қарапайым әдіс, бір резистормен.

2) Бірнеше жарық диодтарды параллель қосу:

❖ Әр жарық диодқа жеке резистор қажет.

3) Жарық диодтарды тізбектей қосу:

❖ Жалпы ток ағады, бірақ қорек кернеуі барлық LED үшін жеткілікті болуы керек.

4) PWM (impulse-width modulation) басқару:

❖ Арнайы контроллер немесе микроконтроллер арқылы жарық диодтың жарықтығын басқаруға мүмкіндік береді.

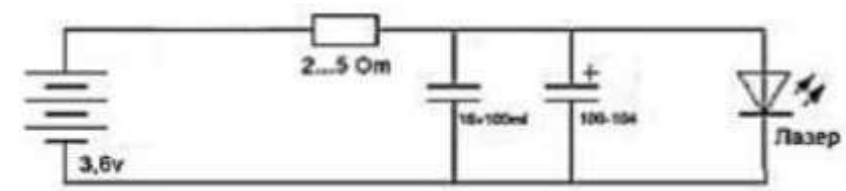
2.2 Лазер диодын қосу схемасы

Лазер диод туралы ескерту:

Лазер диод — жарық диодқа ұқсас құрылғы болғанымен, ол өте сезімтал және тұрақты токты қажет етеді. Қуат шегі сәл ғана артса, ол жанып кетуі мүмкін.

Сондықтан лазер диодты басқару үшін:

- ❖ Ток тұрақтандырғыш схемалар
- ❖ Қорғау тізбектері
- ❖ Аналогтық немесе сандық басқару құрылғылары қолданылады.



Лазер диодтың ішкі кедергісі өте төмен. Егер тек резистормен қосылса, қызу мен ток жылдам артады → құрылғы зақымданады. Сондықтан токты нақты шектейтін активті басқару элементтері қажет.

Лазер диодты қосу үшін пайдаланылатын схемалар:

1) LM317 реттегішімен схема:

- ❖ LM317 — тұрақты ток көзі ретінде қолданылады.

- ❖ Токты анықтайтын резистор таңдалады: $I = 1.25 / R$

2) MOSFET арқылы PWM-басқарылатын схема:

- ❖ Лазер қуаты импульстік сигналмен басқарылып, қуатты реттеу мен қорғаныс жүзеге асады.

3) Арнайы лазер драйвер модульдері (мысалы, TTL input):

- ❖ Бұл модульдер ішінен дайын қорғаныс, ток шектеу, температура бақылауы бар.

Тұрақтылық пен қорғау шаралары:

- ❖ Феррит фильтрлер – ток шуы мен импульстік артықтарды жояды.

- ❖ Термиялық бақылау – лазердің қызуын шектейді.

- ❖ Оптикалық оқшаулағыштар (optocouplers) – сыртқы тізбектерден оқшаулау.

- ❖ **3, Жарық диодтарының түрлері**

Жарық диодтар (LED) түрлі түстерде, өлшемде және қолдану сипаттамаларында шығарылады. Олардың әрқайсысы нақты міндеттер үшін бейімделген. Төменде кеңінен таралған жарық диодтардың негізгі түрлері және олардың ерекшеліктері мен қолдану салалары берілген.

1) Стандартты жарық диод (Standard LED)

2) SMD жарық диоды (Surface-Mount Device LED)

3) RGB жарық диоды (Red-Green-Blue LED)

4) Инфрақызыл жарық диоды (Infrared LED)

5) Ультракүлгін жарық диоды (Ultraviolet LED)

4. Жарық диодтарын өлшеу

Жарық диодтарының (LED) сапасы мен тиімділігі олардың электрлік және оптикалық сипаттамаларына байланысты. Бұл сипаттамаларды дәл өлшеу — жобалау, сынақтан өткізу және сапаны бақылау процестерінің маңызды бөлігі.

Негізгі параметрлер:

1) Тура кернеу (Forward Voltage, U_f)

- ❖ Бұл — жарық диодты қосу үшін қажетті ең аз кернеу.

- ❖ Әдетте қызыл жарық диодтарда $\sim 1.8\text{--}2.2$ В, ал көк және ақ түсті диодтарда $\sim 2.8\text{--}3.6$ В.

- ❖ Өлшеу үшін жарық диодты ток көзіне тізбектей қосып, мультиметр арқылы кернеуді өлшейді.

2) Кері кернеу (Reverse Voltage, U_r)

- ❖ Бұл — жарық диодқа рұқсат етілмейтін полярлықта берілетін кернеудің шекті мәні.

- ❖ Кері кернеу диодтың бұзылуына алып келуі мүмкін.

- ❖ Көбінесе $5\text{--}30$ В аралығында болады.

- ❖ Өлшеу арнайы кері кернеу көздері арқылы жүзеге асырылады (жоғары дәлдік қажет).

3) Ток тұтыну (Forward Current, I_f)

- ❖ Жарық диод арқылы өтетін ток оның жарықтық деңгейіне әсер етеді.
- ❖ Стандартты LED үшін: 10–20 мА. Қуатты LED үшін: 350 мА, 700 мА, тіпті 1 А-дан жоғары.

Өлшеу үшін тізбектей қосылған ток резисторы немесе дәл мультиметр қолданылады.

4) Жарық ағыны (Luminous Flux, люмен — lm)

Бұл — жарық диодтың нақты жарық шығару мүмкіндігін сипаттайтын маңызды оптикалық параметр.

- ❖ Люмен мәні неғұрлым жоғары болса — жарық соғұрлым жарықырақ.

Ақ түсті SMD жарық диодтарда ~10–200 люмен аралығында болуы мүмкін.

- ❖ Өлшеу интеграциялық сфера (integrating sphere) көмегімен

өлгізіледі. 5) Жұмыс ұзақтығы (Lifespan) Қазіргі жарық диодтардың жұмыс мерзімі: 30 000–100 000 сағат.

Нақты уақыттағы өлшеу мүмкін емес, бірақ жылдамдатылған қартаю сынақтары (accelerated aging test) қолданылады.

- ❖ Температура, ток шамасы және сыртқы әсерлер маңызды.

6) Толқын ұзындығы (Wavelength, нм)

- ❖ Бұл — жарық диод шығаратын жарықтың түсіне жауапты параметр.

- ❖ Мысалы:

- Қызыл: ~620–630 нм
- Жасыл: ~520–530 нм
- Көк: ~460–470 нм
- Ақ жарық — спектрлік құрамының қосындысы. Өлшеу үшін спектрометр пайдаланылады.

Өлшеу құралдары:

1) Мультиметр Ең кең таралған өлшеу құралы. Тура кернеу мен токты анықтауға қолайлы.

Диодты "диод" режимінде тексеріп, оның өткізгіштігін және шамамен кернеу түсуін анықтауға болады.

- ❖ Кері кернеу режимі үшін жарамайды.

2) Осциллограф

Пульсация мен импульстік режимдердегі ток пен кернеу өзгерісін көрсетуге мүмкіндік береді.

PWM басқарылатын жарық диод жүйелеріндегі жарықтың жыпылықтауын (flicker) бағалауға қолданылады.

- ❖ Тиімді жарықтандыру жүйелерін жобалауда қажет.

3) Спектрометр

- ❖ Жарық диод шығаратын жарықтың спектрлік құрамын анықтайды.

Толқын ұзындығы, түс температурасы (CCT), түс көрсеткіш индексі (CRI), спектрлік қуат тығыздығы сияқты көрсеткіштер өлшенеді.

- ❖ Түстің сапасын бағалауға және медициналық немесе арнайы

жарықтандыру үшін диод таңдауға мүмкіндік береді.

4) Интеграциялық сфера (Integrating Sphere)

- ❖ Жарық ағынын толық жинап, оның жалпы жарықтық қуатын (люмен) анықтауға қолданылады.
- ❖ Ішкі беті жарықты диффузиялық түрде шағылдыратын ақ материалмен қапталған.
- ❖ Спектрометрмен бірігіп жұмыс істейді.

Қорытынды:

Жарық диодтары мен лазерлер — қазіргі заманғы электрониканың, жарықтандырудың және байланыс жүйелерінің маңызды элементтері болып табылады. Олардың жұмыс принципі жартылай өткізгіштік физикасына негізделген және электрон-кемтік рекомбинациясы арқылы жарық шығару құбылысына сүйенеді.

Жарық диодтарының түрлері олардың қолданылу саласына тікелей әсер етеді — қарапайым индикаторлардан бастап күрделі жарықтандыру және дисплей жүйелеріне дейін. Жарық диодтар мен лазерлерді қосу кезінде электрлік қауіпсіздік пен ұзақ мерзімді жұмысты қамтамасыз ету үшін тиісті схемалар мен қорғаныс элементтері міндетті түрде қолданылады.

Бұл құрылғылардың негізгі сипаттамаларын өлшеу — олардың сапасын, тиімділігін және сенімділігін бағалауға мүмкіндік береді. Мультиметр, спектрометр, интеграциялық сфера сынды құралдар осы процесте маңызды рөл атқарады.

Бүгінгі таңда жарық диодтары мен лазерлер ғылым мен техниканың көптеген салаларында кеңінен қолданылып, энергия үнемдеу, шағын габарит, ұзақ жұмыс мерзімі сияқты артықшылықтары арқасында болашақ технологиялардың негізіне айналып отыр.

Әдебиеттер тізімі:

1. С.Г. Калашников — Электроника: Полупроводниковые приборы — М.: Высшая школа, 2018.
2. И.Ю. Кулаков — Светодиоды и их применение — М.: РадиоСофт, 2020.
3. А.В. Кудрявцев — Оптоэлектроника — СПб.: Питер, 2017.
4. Б.С. Коротеев, А.Г. Шевченко — Физика лазеров — М.: Наука, 2016.
5. Д.В. Савельев — Основы оптоэлектроники и квантовой электроники — М.: Физматлит, 2019.