

Ə.Ş.ABDİNOV, N.M.MEHDİYEV

OPTOELEKTRONİKA

Ali məktəblər üçün dərslik

*Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirinin
08.07. 2004-cü il tarixli 640 sayılı
əmri ilə təsdiq edilmişdir*

«MAARİF»

BAKİ – 2005

Müəlliflər:

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor Əhməd Şahvələd oğlu Abdinov,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor Nizami Mikayıl oğlu Mehdiyev.

Rəy verənlər:

621.3
+ A14

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor Z.Ə.İskəndərzadə,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor H.S.Seyidli.

Elmi redaktor:

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor A.H.Kazımzadə.

Optoelektronika. Ali məktəblər üçün dərslik, Bakı, «Maarif» nəşriyyatı, 2005-cü il. 411 səh, 214 şəkil.

Dərslik ali məktəblərdə fizika, fiziki elektronika, yarımkəçiricilər fizikası, sənaye elektronikasısı istiqamətlərində bakalavr pilləsində təhsil alan tələbələr üçün nəzərdə tutulmuşdur. Uyğun ixtisaslar üzrə magistrant, aspirant, mühəndis, elmi işçi və müəllimlər də ondan istifadə edə bilərlər.

GİRİŞ	7
--------------------	----------

I Fəsil. Optoelektronikanın ümumi prinsipləri və element bazası	12
§ 1.1. Optoelektronikanın ümumi prinsipləri.....	12
§ 1.2. Optoelektronikanın element bazası.....	15

II Fəsil. Optik şüalanma ilə mühitin qarşılıqlı təsiri	17
§ 2.1. Optik əmsallar.....	17
§ 2.2. Optik sabitlər.....	24
§ 2.3. Fundamental optik keçidlər.....	31
§ 2.4. Güclü aşqarlanmanın fundamental udmaya təsiri.....	41
§ 2.5. Temperaturun və təzyiğin fundamental udma kənarına təsiri.....	43
§ 2.6. Elektrik və maqnit sahələrində udulma.....	46
§ 2.7. Modulyasiya spektroskopiyası.....	53
§ 2.8. Eksiton udulması.....	55
§ 2.9. Aşqarlarla (lokal mərkəzlərlə) udulma.....	61
§ 2.10 Sərbəst yükdaşıyıcılarla udulma.....	64
§ 2.11. Qəfəs udulması.....	69

III Fəsil. Yarımkəçiricilərdə generasiya və rekombinasiya prosesləri	71
§ 3.1. Tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcıların generasiya və rekombinasiyası.....	71
§ 3.2. Zonalarası şüalanma rekombinasiyası.....	79
§ 3.3. Zonalarası zərbə rekombinasiyası.....	83
§ 3.4. Lokal mərkəzlərlə rekombinasiya.....	87
§ 3.5. Yapışma və rekombinasiya mərkəzləri.....	95
§ 3.6. Səth rekombinasiyası.....	98

IV Fəsil. Şüalanma	106
§ 4.1. İstilik şüalanması	107
§ 4.2. Bərk cisimlərdə lüminessensiya	114
§ 4.3. Yarımkəçiricilərdə rekombinasiya şüalanması	116
§ 4.4. Rekombinasiya şüalanmasının kinetikasi	128
§ 4.5. Lüminessensiyanın temperatur sönməsi	130
§ 4.6. Məcburi şüalanma	132
V Fəsil. Işıq mənbələri	140
§ 5.1. Şüalandıran yarımkəçirici cihazlar	140
§ 5.2. Işıqlanan diodlar	144
§ 5.3. Heteroqəçidli işıqlanan diodlar	150
§ 5.4. Işıqlanan diodların əsas parametr və xarakteristikaları	152
§ 5.5 Antistoks lüminoforlu işıqlanan diodlar	156
§ 5.6. Elektrolüminoforlar	157
§ 5.7 Lazerlər	161
§ 5.8. Lazerlərin növləri	165
§ 5.9. Yarımkəçirici lazerlər	175
VI Fəsil. İnformasiyanın optik işlənməsi	189
§ 6.1. Dalğaların modulyasiyası	189
§ 6.2. Optik modulyasiya	192
§ 6.3. Işığın qoşa şüa sınıması	194
§ 6.4. Süni qoşa şüasınma	197
§ 6.5. Akustooptik effektlər və akustooptik modulyatorlar	198
§ 6.6. Elektrooptik effektlər və elektrooptik modulyatorlar	204
§ 6.7. Maqnitooptik effektlər və maqnitooptik modulyatorlar	211
§ 6.8. Optik modulyatorların əsas parametrləri	215
§ 6.9. Optik deflektorlar	219
§ 6.10. Optik transparantlar	224
§ 6.11. Maye kristallar əsasında elektrooptik	

transparantlar	227
§ 6.12. Optik idarəli transparantlar	230
§ 6.13. Optik yaddaş və yaddaş elementləri.....	237
§ 6.14. İnformasiyanın holoqrafiya üsulu ilə yazılışı	243
§ 6.15. Optik traktıda rəqəm-analoq çevrilmələri.....	247
VII Fəsil. Fotoelektrik hadisələri.....	251
§ 7.1. Fotokeçiricilik	251
§ 7.2. Dember effekti	265
§ 7.3. Həcmi fotoelektrik hərəkət qüvvəsi	269
§ 7.4. Fotoelektromaqnit effekti	271
§ 7.5. <i>p-n</i> keçidə işığın təsiri	275
§ 7.6. Heteroqəçidlərə işığın təsiri	282
§ 7.7. Anomal fotogərginlik	284
§ 7.8. Varizon strukturlarda fotoelektrik hadisələri.....	285
VIII Fəsil. Fotoqəbuledicilər.....	288
§ 8.1. Fotoqəbuledicilərin xarakteristika və parametrləri	288
§ 8.2. Elektrovakuum fotoqəbulediciləri	294
§ 8.3. Fotorezistorlar	299
§ 8.4. Fotodiodlar	302
§ 8.5. Fototranzistorlar	307
§ 8.6. Tutumlu fotoqəbuledicilər.....	311
§ 8.7. Koordinata görə həssas fotoqəbuledicilər	313
IX Fəsil. Optik indikatorlar	316
§ 9.1. Optoelektronikada indikatorlar	316
§ 9.2. Vakuum indikator cihazları.....	318
§ 9.3. Qazboşalma indikatorları.....	322
§ 9.4. Maye kristallar əsasında indikatorlar	325
§ 9.5. Elektroxrom indikatorları	331
§ 9.6. Bərk cisim indikatorları.....	334
§ 9.7. Elektrolüminofor indikatorları	336

X Fəsil. Optronlar.....	343
§ 10.1. Optron cütleri.....	343
§ 10.2. Optronların əsas xarakteristika və parametrləri	346
§ 10.3. Optronların tipləri	348
§ 10.4. Optocütələr arasında əlaqə	355
XI Fəsil. İnteqral optika elementləri.....	359
§ 11.1. Müstəvi dalğaötürücüləri (işıqötürücüləri).....	359
§ 11.2. Müstəvi işıqötürücülərinin növləri.....	365
§ 11.3. İnteqral optika işıqötürücülərinə işıq şüalarının girişi və çıxışı	369
§ 11.4. İnteqral optik modulyator, deflektor və istiqamətli şaxələndiricilər	375
§ 11.5. Lifli optik işıqötürücüləri.....	384
§ 11.6. İşıq liflərində optik itkilər	389
§ 11.7. Lifli optik rabitə xətləri	391
§ 11.8. Rabitə elementlərinin optik vəhdəti.....	394
§ 11.9. Lifli və inteqral optikada şüalandırıcı və qəbuledicilər.....	397
§ 11.10. Lifli optika qeydediciləri	400
ƏDƏBİYYAT SİYAHISI	406

GİRİŞ

Tarixən insanlar, bəzən hətta mahiyyətini dərk etmədən belə, özlərinə lazım olan informasiyaların böyük hissəsini optik şüalanma vasitəsi ilə qəbul etmiş və ötürmüşlər. Bu, ilk növbədə optik şüalanmanın (ışığın) çox böyük yayılma sürətinə malik olması və istənilən əşya, cisim, eləcə də hadisə və proseslər haqqında daha ətraflı və dürüst məlumatın görmə vasitəsi ilə əldə oluna bilməsindən irəli gəlir.

Hələ çox-çox qədim zamanlarda insanlar müəyyən signal-ları bir-birinə məsafədən alov və tüstü vasitəsi ilə göndərmişlər. «*Min dəfə eşitməkdənsə, bir dəfə görmək yaxşıdır*» kəlamı da min illərin sınağı nəticəsində yarandığı kimi, onun min illər də yaşı var.

Əgər müasir texnikanın imkanları da nəzərə alınarsa, demək olar ki, bu gün insanlar informasiyanın 90%-dən çoxunu məhz görmə vasitəsi ilə əldə edirlər. Lakin bu, heç də son hədd deyildir və bir çox hallarda görmə imkanlarının daha da genişləndirilməsi zərurəti qaçılmazdır. Belə ki, insan gözü çox kiçik ölçüyə malik ($0,1 \text{ mm}$ -dən kiçik), eləcə də çox uzaq məsafələrdə və qaranlıqda yerləşən cisimləri görmür. O, yalnız dalğa uzunluğu $0,38 \div 0,78 \text{ mkm}$ olan şüalanmaları hiss edir. Ona görə də adi insan gözü ya bu dalğa uzunluğu oblastında şüalanan, ya da həmin oblastdan olan işıqla işıqlandırılan qaytarıcı səthləri görmək iqtidarındadır.

Optik şüalanma diapozonu, yeni görünən işıqla ümumi bir prinsip əsasında heyecanlaşdırılan, şüalanan, çevrilən və istifadə olunan şüalanmanın diapozonu isə çox genişdir. Dalğa uzunluğunun $0,01 \div 2000 \text{ mkm}$ diapozonunu əhatə edən bu şüalanma şərti olaraq $0,01 \div 0,38 \text{ mkm}$ – *ultrabənövşəyi*, $0,38 \div 0,78 \text{ mkm}$ – *görünən*, $0,78 \div 3,00 \text{ mkm}$ *yaxın infraqırmızı (İQ)*, $3,00 \div 10 \text{ mkm}$ *orta İQ* və $10 \div 2000 \text{ mkm}$ *uzaq İQ* şüalanma oblastlarına bölünür. Ətrafda olan cisimlərin demək olar ki, hamısı şüalanır və onların şüalandırdığı optik dalğalar bu diapozona daxildir. Lakin insan gözü belə geniş şüalanma spektrinin yalnız dar bir zolağına ($0,38 \div 0,72 \text{ mkm}$) həssasdır.

Əgər nəzərə alınsa ki, optik diapozonun yalın insan gözü ilə görünməyən hissələri, xüsusi ilə də İQ oblastdan olan şüalanmalar daha çox informasiya vermək və ötürmək imkanlarına malikdir; elmin, texnikanın və sənayenin çoxlu sayda ehtiyat problemləri var ki, onlar daha kiçik ($d < 0,1 \text{ mm}$) və daha uzaq (100 km -lərlə) məsafədə yerləşən obyektlər haqqında məlumat ala bilər. Işıq təbiətində mümkün olan ən böyük sürətlə yayılır; optik şüalanma vasitəsi ilə müxtəlif prosesləri onların gedişatına müdaxilə etmədən – birbaşa kontakt olmadan tədqiq etmək mümkündür. Belə geniş ($0,01-1000 \text{ mkm}$) bir diapozondan olan optik şüalanma atmosfer vasitəsi ilə və ya optik kəblə yayılaraq qəbul ediciyə çatıb burada xüsusi elektron qurğuları vasitəsi ilə elektrik siqnallarına çevrilə bilər. Onda optik şüalanma vasitəsi ilə informasiyanın ötürülməsi və qəbulunun nə dərəcədə maraqlı, əhəmiyyətli və böyük imkanlara malik olduğuna heç bir şübhə qalmaz.

Hər hansı siqnalı optik şüalanma vasitəsi ilə qəbul edici sistmə ötürərək burada onu elektrik siqnallarına çevirib ətraflı tədqiq etmək olar. Bu yolla görünməyən optik siqnalları görü-nənə, təhlili çətin olan işıq siqnallarını geniş təhlil imkanlarına malik elektrik siqnallarına çevirmək də mümkündür. Bütün bu «optik-elektrik-optik» (optoelektron) çevrilmələri prinsipi əsasında işləyən sistemlərin quruluşu, işləmə mexanizmi, onlarda baş verən fiziki proseslər optoelektronikanın predmetini təşkil edir.

Optoelektronika – eyni zamanda həm optik, həm də elektrik üsullarından istifadə etməklə informasiyanın formalaşması, verilməsi (ötürülməsi), qəbulu, işlənilməsi, qorunması (saxlanması) və lazım olduqda canlandırılması ilə məşğul olan elmi-texniki istiqamətdir. O, optik və elektrik proseslərinin bir araya gətirilməsi ilə yanaşı, bərk cisimlər, xüsusilə də yarımkeçirici materiallar əsasında mikrominatürləşmənin həyata keçirilməsi ilə də əlamətdardır.

Optoelektron sistemləri optik şüalanma mənbəyindən, şüalanmanın tənzimləndiyi optik sistemdən, fotoqəbul edicidən, optik siqnalın müqabilində yaranan elektrik siqnalının təhlil

olunduğu elektron sxemlərindən və yekun elektrik siqnalının qəbuledicisindən təşkil olunur.

Optoelektron qurğuları informasiyanın ötürülməsi və təhli-li məqsədlərinə xidmət göstərən elektrik və digər elektron sistemləri ilə müqayisədə informasiya tutumunun böyük olması, informasiyanın yazılışının yüksək sıxlığı, kiçik dağılma bucağına malik monoxromatik işıq dəstəsinin alınma bilməsi, mənbə və şüaqəbuledici arasında elektrik rabitəsinin olmaması və siqnalın bir istiqamətdə yayılması, arzuolunmaz kənar siq-nallardan yüksək dərəcədə mühafizə oluna bilmək, siqnalın həm zamana, həm də məkana görə modulyasiyasının mümkünlüyü kimi bir sıra əsaslı üstünlüklərə malikdir.

Bütün bu deyilənlər optoelektron qurğularının tətbiqini çox perspektivli edir və optoelektronikanın sürətlə inkişafı üçün güclü zəmin yaradır.

Optoelektron sistemləri kompleks sistemlərdir və bu komplekslik həmin cihazları xalis elektron və xalis optik cihazlardan fərqləndirir.

Optoelektronikanın element bazası da elektronikanın digər sahələri ilə müqayisədə daha rəngarəng və zəngindir. Buraya müxtəlif iş prinsipli və quruluşlu işıq mənbələri (lazerlər, qeyri-koherent işıq mənbələri, elektrolüminessent işıq mənbələri, injeksiya işıq diodları, katodolüminessensiya cihazları və s.), modulyatorlar (faza, polyarlaşma, tezlik və intensivlik modulyatorları), deflektorlar, işıq gücləndiriciləri, optik kabellər, qeyri-istilik fotoqəbulediciləri (fotoresistorlar, fotoqalvanik qəbuledicilər, fotovarikaplar, fotoelementlər və s.), elektrik sahəsi və ya işığın təsiri ilə idarə olunan transparantlar, optik yaddaş elementləri daxildir.

Bu elementlərin hər biri tam daxili qayıtma, interferensiya, pyezoeffekt, Frans-Keldış effekti, eksiton xəttinin genişlənməsi, difraksiya, injeksiya, metal-yarımkeçirici faza keçidi, Faraday effekti, Qann effekti, maye kristallara xas olan effektlər, akustooptik effekt, polyarlaşma, difraksiya, konsentrasiya qradienti, induksiyalanmış (məcburi) şüalanma, injeksiya, elektrolüminessensiya, elektrik deşilmələri, katodolüminessensiya,

müxtəlif növ qaz boşalmaları, fotokeçiricilik, fotoqalvanik effekt, fototutum, qalıq fotokeçiriciliyi, termomaqnit yaddaşı, faza keçidləri, fotoxrom effekt, termoplastik yaddaş, seqnetoelektriklərin yenidən polyarlaşması, elektroxrom effekti, optik zədələnmə, fotokimyəvi reaksiya, fotoelektrik yorulma və başqa bu kimi hadisələrdən biri və ya eyni zamanda bir neçəsi əsasında fəaliyyət göstərdiyindən, optoelektronikanın mövzusu çox mürekkəb və maraqlı bir fizikaya malikdir.

Optoelektron sistemlərinin tətbiq imkanları da çox genişdir. Belə ki, bu sistemlərdən dəqiq ölçmə, maddənin quruluşunun öyrənilməsi, asta və sürətli proseslərin tədqiqi, materialların emalı (işlənilməsi), müxtəlif texnoloji proseslərin idarə olunması, qaranlıqda (gecə) görmə, cisimlərin temperaturunun məsafədən ölçülməsi, naviqasiya, astronomik və astrofiziki tədqiqatlar, müxtəlif obyektlərin aşkar olunması və hərəkətlərinin idarə edilməsi, ətraf mühitin öyrənilməsi, atom, molekul, toxuma və qlobal əhəmiyyətli proseslərin tədqiqi sahələrində, eləcə də çoxlu sayda başqa işlərdə geniş istifadə olunur.

Optoelektronikanın belə geniş tətbiq imkanlarına, zəngin element bazasına və elmi əsaslara malik olması onun fiziki əsaslarının geniş mütəxəssis ordusunun-mühəndislərin, konstruktörlərin, fiziklərin, hesablama texnikası sahəsində çalışanların, texnoloqların, kimyaçıların, həkimlərin, bioloqların tanış olmasını zəruri edir.

Müəlliflərin Bakı Dövlət Universitetinin fizika fakültəsində müxtəlif fənnlər üzrə oxuduqları mühazirələr əsasında tərtib edilmiş bu dərslikdə optoelektronikanın fiziki əsasları və uyğun optoelektron cihazlarının işini tənzimləyən elektron hadisələrinin mahiyyəti şərh olunur, bir sıra optoelektron elementlərinin iş prinsipinə, əsas xarakteristika və parametrlərinə nəzər yetirilir.

Optoelektronika optik və elektrik siqnallarının qarşılıqlı çevrilməsi, elektromaqnit şüalanmasının mühitdə yayılması və mühitlə qarşılıqlı təsiri, şüalanma, fotokeçiricilik və fotoqalvanik hadisələri, bərk cisimlərdə sərbəst yükdaşıyıcıların genera-

siyası və rekombinasiyası proseslərini əhatə etməklə, bir sıra elm sahələrinin sintezindən yaranmışdır.

Deyilənləri nəzərə alaraq, kitabda işığın yayıldığı mühitlə qarşılıqlı təsiri, sərbəst yükdaşıyıcıların generasiya və rekombinasiyası, şüalanma, fotokeçiricilik, modulyasiya, işıq şüalan-dırıcıları, fotoqəbuledicilər, modulyatorlar və deflektorlar, in-formasiyanın optik üsulla işlənməsi, indikatorlar və optronlar, integral optika elementləri kimi məsələlərə baxılmışdır.

Kitab fizika, fiziki elektronika, yarımkəçiricilər fizikası, tətbiqi fizika, sənaye elektronikas, informatika, radiotexnika və radiorabitə istiqamət və ixtisasları üzrə təhsil alan bakalavr-lar üçün nəzərdə tutulsa da, ondan uyğun ixtisaslar üzrə magi-strant, aspirant, elmi işçilər də istifadə edə bilərlər.

Müəlliflər kitabın ərsəyə gəlməsinə göstərdikləri köməyə görə professor C.Ş.Abdinova, dosent H.M.Məmmədova, «Spektr» müəssisəsinin direktoru fizika-riyaziyyat elmləri namizədi M.H.Hətəmovə və «Qorqud holdinq»-in prezidenti H.H.Əliyevə minnətdarlıqlarını bildirirlər.

I FƏSİL

OPTOELEKTRONIKANIN ÜMUMİ PRİNŞİPLƏRİ VƏ ELEMENT BAZASI

Bütövlükdə elektronika dedikdə, maddələrdə baş verən elektron hadisələrinin öyrənilməsi, bu hadisələrin əsasında elektron cihazlarının düzəldilməsi, həmin cihazlar əsasında elektron sxemlərinin yaradılması, nəhayət bu sxem və cihazlardan təşkil olunmuş mürekkəb elektron sistemlərinin qurulması ilə məşğul olan elm və texnika sahəsi nəzərdə tutulur. Lakin onun enerji məqsədləri üçün istifadə olunan hissəsi istisna olunmaqla, qalan hissəsi demək olar ki, əsasən informasiyanın formalaşması, ötürülməsi, işlənilməsi, saxlanması (mühafizəsi) və canlandırılması məsələlərini həyata keçirən sistemlərin, yeni informasiya sistemlərinin yaradılmasına xidmət göstərir. İnformasiya sistemlərinin yaradılması işlərinin və tətbiq olunma sahələrinin genişlənməsi mərhələlərində məlumatın vizuallaşdırılması problemi də qarşıya çıxmışdır. Bu işə elektronikaya optik hadisələrin də cəlb edilməsi zərurətini yaratmışdır. Bundan başqa, elektron sxemlərində çoxlu sayda qalvanik kontaktların bir-birinə təsiri, etalətlilik və s. kimi çətinliklər də qarşıya çıxmışdır.

Bu məsələlərin uğurlu həlli yalnız optoelektronikanın imkanları hesabına mümkün olmuşdur.

Müasir və gələcək informasiya sistemlərində aparıcı rol oynayan optoelektronikanın geniş tətbiq imkanı və sahələrinə malik olması ilk növbədə onun özünəməxsus prinsiplərə və element bazasına malik olması ilə bağlıdır.

§ 1.1. Optoelektronikanın ümumi prinsipləri

Əgər optoelektronikanın əsas məlumat daşıyıcısı olan işıq funksiyalarını adi elektronikadakı məlumat daşıyıcısı olan elektrik siqnallarının funksiyaları ilə müqayisə etsək, deyə bilərik ki, optoelektronikada işıq şüaları ehtiva elektronikadakı elektrik

siqnalları kimi, idarəetmə, çevirmə və rabitə funksiyalarını yerinə yetirir. Lakin bu iki amilin oxşarlığı bununla bitir. Funksional dövrlərdə istifadə baxımından qalvanik və optik rabitələrin bundan başqa ümumi (ortaq) bir xüsusiyyəti yoxdur.

Optoelektronika elektronika ilə müqayisədə bir sıra vacib və prinsiplial üstünlüklərə malikdir. Bu üstünlüklər ilk növbədə işıq siqnalının elektrik siqnallarından keyfiyyətcə fərqlənməsindən irəli gəlir. Belə ki, elektrik siqnalları yüklü zərrəciklər hesabına yarandığı halda, işıq siqnalları yüksüz fotonlardan təşkil olunur. Işıq dəstəsindəki fotonlar bir-birinə qarşılıqlı təsir göstərmir, qarışmır və bir-birindən səpilmir. Əgər elektrik siqnallarının ötürüldüyü traktlarda daşınan informasiyaya zərərli təsir göstərən bir sıra induksiyanmış elektrik və maqnit hadisələri yarana bilirsə, işıq seli üçün belə hadisələr baş vermir. Bu xüsusiyyətlər işıq vasitəsi ilə sadə bir kanalla eyni zamanda çoxlu sayda bir-birinə qarşılıqlı təsir göstərməyən siqnallar göndərməyə imkan verir. Digər tərəfdən, bu xüsusiyyətlər optik siqnallar halında sxemin elementləri arasında tam qalvanik aralanmanın təmin olunmasına imkan verir. Bu halda əksinə optik rabitə təmin etmək mümkündür.

Optik siqnallar halında qalvanik əlaqənin tamamilə qırılması, elektrik siqnalları halında mövcud olan bir sıra ciddi çətinliklərin aradan qaldırılmasına imkan verir. Belə ki, məhz bunun nəticəsində yüksək və alçaq gərginlikli (voltage), yüksək və alçaq müqavimətli (omlu), alçaq və yüksək tezlikli dövrləri bir-biri ilə uyğunlaşdırmaq mümkün olur. Qalvanik əlaqənin qırılması işıq rabitəsi halında siqnalın mənbədən qəbulediciyə yönəlmiş tam biristiqamətliyini və idarə olunan (çıxış) elementinin idarəedən (giriş) elementə təsirini aradan qaldırır.

Optoelektronikanın prinsiplərindən biri də elektron sistemlərində olduğu kimi, optik siqnalın parametrlərinin tək-cə zəmandan deyil, həm də koordinatdan asılı olması, yəni tam xəyallarla işləyə bilmək və ya işıq dəstəsinin fəzada vəziyyətini dəyişə bilməklə işləmək imkanının olmasıdır.

Optoelektronikanın prinsiplərinin tətbiqi işığın bir çox parametrlərindən – intensivliyindən, tezliyindən, fazasından, po-

lyarizasiyasından faydalanmağa imkan verir.

Optik birləşmə kontaktları həm də əngəl siqnallardan yüksək dərəcədə qoruna bilmək xüsusiyyətinə malikdir. Bu sxemlərdə təmiz optik xarakterə malik çoxlu sayda aralıq əməliyyatların (difraksiyanın , interferensiyanın, holoqrafiyanın və s.) həyata keçirilməsi mümkündür.

Optoelektronikada informasiya daşıyıcısı yüksək tezliyə malik işıq fotonların olması çox geniş zolaqlı qurğular yaratmağa imkan verir.

Optik rabitənin effektivliyi üçün, dövrdə elektrik siqnalının işıq və işıq siqnalının elektrik siqnalına çevrilməsi mümkün qədər itkisiz baş verməlidir. İkinci çevirmə mərhələsində fotohəssas element tərəfindən üzərinə düşən işıq şüalarının daha çox hissəsinin udulması tələb olunur . Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, bütün elektromaqnit dalğaları spektrindən optoelektron foton rabitəsi üçün ən böyük effektivliyə malik olan görünən oblastın da daxil olduğu $0,40-1,2$ mkm dalğa uzunluğu oblastıdır.

Görünən oblasta uyğun şüalanmanı yaxşı uda bilən, habelə şəffaf olan əlverişli materiallar vardır. Bu oblastda işləyə bilən və əksəriyyəti bərk cisimlər əsasında olan çoxlu sayda idarə olunan işıq mənbələri kəşf edilmişdir. Görünən oblastdan daha qısa dalğalara doğru udulma kəskin artdığından, dalğaötürən boyunca yayılan siqnalın güclü sönməsi baş verir. Digər tərəfdən, indiki dövrdə daxili fotoeffekt əsasında işləyən və ultrabənövşəyi oblastda yüksək həssaslığa malik fotoqəbuledicilərin olmaması da ultrabənövşəyi oblastdan olan şüalanmanın optoelektronikada tətbiqini çətinləşdirir. Zəif udulan daha qısa uzunluqlu rentgen şüalarının optoelektronikada tətbiqi isə, bu şüaların alınmasının texniki çətinlikləri ilə məhdudlaşır.

Görünən şüalanmaya nisbətən daha uzun dalğalara həssas fotoqəbuledicilərin tətbiqində də çətinliklər mövcuddur. Bu, ilk növbədə onların çox aşağı temperaturlara qədər soyudulma zərurəti ilə bağlıdır. Bu halda, qızdırılmış cisimlərin, eləcə də sxemin təşkil olunduğu elementlərin yaratdığı fon da kəskin problem yaradır.

Digər tərəfdən ultrabönövşeyi və infraqırmızı şüalanmalar görünən oblastdan kənarda yerləşdiyindən onları görünən şüalara çevirmədən sistem üzərində vizual müşahidə aparmaq olmur. Buna görə optoelektronikada əsasən görünən oblastdan olan şüalanmadan istifadə edilir və onun bütün element bazası məhz bu dalğa uzunluğu diapozonuna hesablanır.

Yüksək dərəcədə inteqrasiya olunmuş və kiçik astana sıqnallarında işləyən elementlərin çox sıx qablaşdığı işıqötürənlərin uzunluğu *mikronun hissələri qədər* olduğundan, optoelektron qurğularında ultrabönövşeyi şüalardan istifadə etmək, görünən oblastdan olan şüalanmaya nəzərən daha əlverişli sayıla bilər. Digər eyni şərtlər şəraitində, qısdalğalı şüalanma əngəllərə qarşı daha çox davamlı olmaqla yanaşı, həm də daha çox informasiya tutumuna və daxili fotoeffektin daha böyük kvant çıxışına malikdir.

§ 1.2. Optoelektronikanın element bazası

Ümumi şəkildə optoelektron qurğu işıq mənbəyi (1), optik sistem (2), şüaqəbuledicisi (3) (*fotoqəbuledicisi*), signalın təhlil olduğu elektron sistemi (4) və qeydedici sistemdən (5) təşkil olunur (şəkil 1.1). Optoelektron qurğuların tərkibindəki hər bir komponent (ışıq mənbəyi, optik sistem, şüaqəbuledici, təhliledici və qeydedici sistemlər) ayrı-ayrılıqda optoelektronika elementləri adlanır. Bu elementlər çoxluğuna optoelektronikanın element bazası



Şəkil 1.1. Optoelektron cihazın prinsipial sxemi

deyilir. Elektronikanın istənilən başqa sahələri ilə müqayisədə optoelektronikanın element bazası daha rəngarəng və daha zəngindir. Məsələn, ən mürəkkəb elektron sxemləri sayılan inteqral sxemlər *p-n* keçidə, *metal-dielektrik-yarımkeçiricisi kontaktına*, yaxud da *Şottki keçidinə* malik az sayda elementlərdən təşkil olunur. Buraya bir neçə sadə passiv elementlər də daxil olunur. Optoelektron elementləri isə öz iş prinsiplərinə, konstruksiya və texnologiya xüsusiyyətlərinə görə xeyli fərqlənir-

lər. İndi optoelektronika cihazları əsasən müxtəlif işıq mənbələrindən – qeyri koherent şüalanma verən elektrolüminessensiya özlərlərindən, injeksiya işıq diodlarından və koherent işıq mənbələri olan müxtəlif qaz, maye, bərk cisim, yarımqeçirici injeksiya, elektron zərbələri ilə həyəcanlaşdırılan və s lazerlərdən, fotoqəbuledicilərdən (fotorezistorlar, fotodiodlar, fototranzistorlar, fototiristorlar, skanistorlar, fotovarikaplar, fotovaktorlar və s.), deflektorlardan (akustooptik, elektrooptik, difraksiya, interferensiya və s.), modulyatorlardan (elektrooptik, pyezoelektrik, polyarizasiya və s.), işıq gücləndiricilərindən (kvant gücləndiriciləri, laylı və s.), lifli və nazik təbəqəli (lentvari) – aktiv və passiv elementlərdən (lifli lazerlər, lifli generator və gücləndiricilər, işıq diodları, çevirici və ya aşırıcı elementlər və s.), elektrik və optik idarə olunan transparantlardan, (maye kristallar, termoplastiklər, elastometrlər və s.), optik reversiv yaddaş elementləri və mühitlərindən təşkil olunur.

Bu elementlərin hər birinin fəaliyyəti fotokeçiricilik, fotovoltaik effekt, xarici fotoeffekt, induksiyanmış və spontan şüalanma, elektrolüminessensiya, injeksiya, elektrik deşilmələri, katodolüminessensiya, seqnetoelektriklərdəki fiziki proseslər, termomaqnit effektləri, Frans-Keldiş effekti, həndəsi relyefin dəyişməsi, qadağan olunmuş zonanın eninin temperaturla dəyişməsi, qalıq fotokeçiriciliyi, eksiton udulması ilə baş verən yükyaşa, optik zədələnmə, termomaqnit yaddaş, interferensiya, difraksiya, Qann effekti, Faradey effekti, yarımqeçirici-metal faza keçidi, eksiton xətlərinin genişlənməsi, pyzoeffekt, elektrooptik effekt, tam daxili qayıtma (əks olunma), ekstraksiya kimi hadisələrə əsaslanır.

Əlbəttə, bu siyahıları xeyli genişləndirmək də olar. Lakin elə bu deyilənlər optoelektronikanın element bazasının nə qədər rəngarəng və zəngin, nəzəriyyəsinin isə necə mürəkkəb olduğunu təsəvvür etməyə kifayət edir. Əksər hallarda hər hansı bir element bir neçə elementlərin vəhdətindən ibarət, çox hallarda isə müəyyən bir optoelektron elementinin fəaliyyəti sadalanan fiziki hadisələrdən bir neçəsi ilə bağlı olur.

II FƏSİL

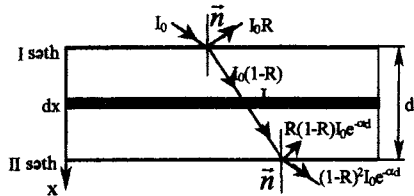
OPTİK ŞÜALANMA İLƏ MÜHİTİN QARŞILIQLI TƏSİRİ

Hər hansı mühiti işıqlandırdıqda səthdən qayıtma və həcmdə udulma kimi qarşılıqlı təsirlər nəticəsində mühitdən keçən işıq zəifləyir. Əgər mühitə düşən işıq tamamilə əks olunar və ya udularsa, belə mühit *qeyri-şəffaf*, qismən də olsa işıq mühitdən keçirsə, belə mühit həmin işığa qarşı *şəffaf mühit* adlanır. Şəffaf mühitdən keçdikdə işığın intensivliyi qayıtma və udulma hesabına müəyyən qədər azalır.

§ 2.1. Optik əmsallar

Mühitlə şüalanmanın qarşılıqlı təsirini kəmiyyətcə xarakterizə etmək üçün *optik əmsallar*, *optik sabitlər*, *optik keçidlər*, *qaytarma və udulma spektrləri* kimi anlayışlardan istifadə olunur. Optik şüalanma ilə mühitin qarşılıqlı təsirini araşdırmaq üçün sadə və ümumiləşdirilmiş hala – şəffaf mühit üzərinə monoxromatik işıq dəstəsinin düşməsinə baxaq (şəkil 2.1).

Mühitin üzərinə düşən monoxromatik işıq dəstəsinin intensivliyi I_0 olduqda, *qaytarma əmsalı* adlanan R kəmiyyəti düşən I_0 işıq intensivliyinin hansı I_R hissəsinin mühitin səthindən əks olunmasını müəyyənləşdirməklə,



Şəkil 2.1. Şəffaf mühitlə işıq şüasının qarşılıqlı təsiri

$$R = \frac{I_R}{I_0} \quad (2.1)$$

ifadəsi ilə təyin olunur.

Bərk cisimlər üçün işığın intensivliyinin kiçik qiymətlərində R – düşən işığın intensivliyindən asılı olmayıb, yalnız onun tezliyi (dalğa uzunluğu) ilə təyin olunur və $R(\nu)$ yaxud $R(\lambda)$ asılılıqları mühitin *qaytarma spektri* adlanır. İntensivliyin yüksək qiymətlərində şüalanmanın elektrik sahəsi atomdaxili sahə ilə müqayisə olunduqda qeyri-xətti optik hadisələr yaranır və optik əmsallar intensivlikdən asılı olur. Bu fəsilə yalnız xətti optik hadisələr nəzərdən keçirilir.

Qayıdan şüanın intensivliyi $I_R = I_0 \cdot R$ ifadəsi ilə təyin olunur. Bu halda mühitə sınıraq daxil olan işığın intensivliyi $I_0 - RI_0 = (1 - R)I_0$ olar. Mühitədə yayılan işıq düşmə səthindən uzaqlaşdıqca udulma nəticəsində zəifləyir və hər hansı dx qalınlıqlı qatı keçdikdə onun intensivliyinin azalması

$$dI_x = -\alpha I_x dx \quad (2.2)$$

ifadəsi ilə təyin edilir. Bu ifadədəki α mütənasiblik əmsalı uzunluq vahidinə bərabər qalınlıqlı qatda işığın intensivliyinin nisbi azalmasını göstərir və *udma əmsalı* adlanır. Qaytarma əmsalı kimi, udma əmsalı da mühitə düşən işığın intensivliyindən deyil, onun tezliyindən (dalğa uzunluğundan) asılıdır. Bu halda $\alpha(\nu)$ və ya $\alpha(\lambda)$ asılılıqları mühitin işığı *udma spektri* adlanır. (2.2) ifadəsini inteqrallamaqla, düşmə səthindən hesablanan d - qalınlığını keçdikdən sonra işığın intensivliyi üçün:

$$I = I_0 (1 - R)e^{-\alpha d} \quad (2.3)$$

ifadəsi alınır. Qalınlığı d - olan mühitin qarşı səthindən xaric olan işığın intensivliyi isə $(1 - R)^2 \cdot I_0 e^{-\alpha d}$ şəklində ifadə edilə bilər. Qarşı səthdən mühitin daxilinə əks olunan şüanın $I_0 \cdot R(1 - R) \cdot e^{-\alpha d}$ intensivliyi R qaytarma əmsalının kiçik qiymətində çox zəif olur. Mühitdən xaric olan işığın intensivliyinin düşən işıq intensivliyinə nisbəti kimi təyin olunan *şəffaflıq əmsalı* (T) çoxqat əksolunmalar nəzərə alınmaqla,

$$T = \frac{e^{-\alpha d} \cdot (1 - R)^2}{1 - R^2 e^{-2\alpha d}} \quad (2.4)$$

şəklində təyin olunur. Bu ifadədəki α - və R – kəmiyyətləri işığın dalğa uzunluğundan (tezliyindən) asılı olduğundan, $T(\lambda)$ yaxud $T(\nu)$ asılılıqları mühitin *şəffaflıq spektrləri* adlanır. Mühit üçün R -in qiymətini bilməklə şəffaflıq spektrləri əsasında (2.4) ifadəsindən α udma əmsalını təyin etmək mümkündür. Kifayət qədər mürəkkəb olan (2.4) ifadəsi R -in kiçik, (αd) -nin isə nisbətən böyük qiymətlərində xeyli sadələşib

$$T = (1 - R)^2 e^{-\alpha d} \quad (2.4, a)$$

şəklini alır və $\alpha(h\nu)$ spektrini hesablamağı nisbətən asanlaşdırır.

Mühitin α udma və R qaytarma əmsalları bir-biri ilə əlaqədardır: α artdıqca R də artır. Udma əmsalı $\alpha \gg 1$ olduqda isə $R \sim 1$ *metallik parıltı* halına uyğun gəlir. Maddənin R - və α - əmsalları həmin mühitin optik sabitləri olan n – *ışığı sındırma əmsalı* və ε - *dielektrik nüfuzluğundan* asılıdır.

İşığın udulması zamanı onun intensivliyinin zəifləməsi materialda mövcud olan udma mərkəzlərinin N miqdarından və fotonun həmin mərkəz tərəfindən σ - udulma effektivliyindən asılıdır:

$$\alpha = N \cdot \sigma \quad (2.5)$$

Əgər $L_{\text{fot}} = (\sigma \cdot N)^{-1} = \alpha^{-1}$ şəklində fotonun mühit daxilində sərbəst qaçış məsafəsi daxil edilərsə, α - udma əmsalının fotonun *vahid məsafədə udulma ehtimalını* xarakterizə edən fiziki kəmiyyət olduğu aydınlaşar. Fotonun udulma effektivliyi σ - həm fotonun enerjisindən, həm də uducu mərkəzin xarakterindən asılıdır. i - sayda müxtəlif növ uducu mərkəzlərin mövcudluğu halında $\alpha_i(\nu) = \sigma_i(\nu) \cdot N_i$ və $\alpha = \sum_i \alpha_i$ kimi təyin olunur. Foton qəfəs atomları ($N_i \approx 10^{22} \text{ sm}^{-3}$) tərəfindən udul-