

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM
VAZIRLIGI
Z.M.BOBUR NOMIDAGI ANDIJON DAVLAT UNIVERSITETI
Magistratura bo'limi
Fizika kafedrası

“TASDIQLAYMAN”
Bo'lim boshlig'i N.I. Asqarov

“HIMOYAGA QO'YILDI”
Kafedra mudiri Sh.A. Ermatov

“ ” _____ 2017 yil

“ ” _____ 2017 yil

Qo'lyozma huquqida
UDK _____

“LAZERLARNING MIKROELEKTRONIKADA QO'LLANILISHI”

MAVZUSIDA

MAGISTRLIK DISSERTATSIYASI

Bajardi: Gulsanamxon Fazliddin qizi Karimova
“Lazer fizikasi” yo'nalishi magistranti

Ilmiy rahbar: X.M.Madaminov
fizika-matematika fanlari nomzodi, katta o'qituvchi

ANDIJON – 2017

MUNDARIJA

Kirish	3
I BOB. LAZER QURILMALARI HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR	
1.1. Optik kvant generatorlari va ularning yaratilish tarixi	10
1.2. Optik kvant generatorlarining tavsifi	23
1.3. Elektromagnit to'liqin chiqarilishi va yutilishidagi kvant jarayonlar	28
1.4. Spektral chiziqlar kengligi va shakllari	35
Bob yuzasidan qisqacha hulosalar	40
II BOB. MIKROELEKTRONIKADA QO'LLANILADIGAN LAZERLAR- NING TUZILISHI VA ISHLASH TAMOYILLARI	
2.1. Uglarod ikki oksidli lazer.....	43
2.2. Argon gazi asosidagi lazer	49
2.3. Yoqutli lazer	51
2.4. Shisha asosli neodim lazerlar	53
2.5. Ittiri-y-aluminiy granatli (IAG) lazerlar	56
2.6. Arsenid galliyli va arsenid galliy-aluminiyli lazerlar.....	58
2.7. Nanolazerlar	61
Bob yuzasidan qisqacha hulosalar	66
III BOB. LAZERLAR VA ULARNING MIKROELEKTRONIKADA QO'LLANILISHI	
3.1. Lazerlarning mikroelektronikada qo'llanilishi haqida	68
3.2. Materiallarni lazerli kesish va qizdirish	69
3.3. Materiallarni lazerli payvandlash	72
3.4. Materiallarni lazerli parmalash	74
3.5. Lazerlar yordamida yarimo'tkazgichlarga ishlov berish	76
Bob yuzasidan qisqacha hulosalar	84
Umumiy xulosalar	86
Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati	88

KIRISH

Mavzuning asoslanishi. Hozirgi zamonning ajoyib belgilaridan biri bu mikrozarralarning majburiy nurlanish berish jarayoni asosida ishlovchi lazerlarning yaratilishi va ularning kogerent nurlanishidan sanoatda turli maqsadlarda foydalanishga mo'ljalangan lazerli qurilmalarning va texnologik komplekslarning yaratilishiga olib keldi. Ushbu kunda xalq ho'jaligining turli tarmoqlarida lazerlar va lazerli texnologiyalar ishlatilmoqda. Xususan, mikroelektronika sanoatida turli-tuman materiallarni kesish, payvandlash va ularning mustahkamligini oshirishda, lazer nuridan tibbiyot sohasida tashxis qo'yishda, kasalliklarni davolash va jarrohlik jarayonida, aloqa tizimida ma'lumot uzatuvchi sifatida, fan-texnika sohasida o'lchash va tashxis qo'yish vositalari sifatida, o'quv jarayonida esa kogerent nurlanishning to'lqin va zarracha xususiyatlarini namoyon etishda keng foydalanilmoqda.

Lazer texnikasining rivojlanishi tufayli lazerlarning qo'llanilishining taraqqiy ettirish masalalariga qiziqish tobora ortib bormoqda. Bu esa o'z navbatida, yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, lazerlar yordamida materiallarni qayta ishlash va ularga ishlov berishni tadqiq etishga bo'lgan e'tiborni kuchaytiradi.

Keyingi 20 yil ichida qayta ishlanayotgan materiallarni lazer qurilmalarini qo'llash bilan qizdirish usuli keng ishlatila boshlandi. Hozir to'la asos bilan shuni aytish mumkinki, "lazer texnologiyasi" deb maxsus termin bilan ataluvchi bu yangi yo'nalish to'laligicha shakllandi: ya'ni, uning asosiy fizik xususiyatlari o'rganildi, asbob-uskunalar turkumi ishlab chiqildi, sanoat va ishlab chiqarish masshtabida yuzaga keluvchi qator texnologik muammolar hal etildi. Lazerlarni qo'llash natijasida mehnat unumdorligi keskin ortib, ishlab chiqarilayotgan mahsulotning sifati yaxshilanib, tannarxi pasaydi.

Hozirgi kunda ishlab chiqarishning ba'zi turlarini lazerlarsiz tasavvur qilish qiyin. Lazer texnologiyasi turli soha mutaxassislari – texnologlar,

injenerlar, turli asbob-uskunalar yaratuvchilarini hamda boshqa sohada ishlovchi barcha tadqiqotchilarni borgan sari o'ziga ko'proq jalb etmoqda.

Xo'sh, lazer texnologiyasi qanday xususiyati bilan bunday e'tiborga sazovor bo'lmoqda? Bu savolga javob berishdan oldin qudratli lazer nurlarining moddalarga qanday ta'sir etishini ko'rib o'tamiz.

Mavzuning dolzarbligi shundaki, lazer nurlarining moddalarga ta'sirida uning kvantlari atom va molekularlar orqali qayta ishlanayotgan materialning ustki qatlamlariga energiya berib turadi. Lazer bilan nurlantirilgan sirtidagi zichlik quvvati qisqa vaqt ichida bir kvadrat santimetrda yuzlab milliard Wattga teng bo'ladi.

Moddaning sirtiga kuchli lazer nurini yo'naltirib, nurning intensivligini tobora oshirib boramiz. Nurning intensivligi 10^5 Wt/cm²ga yetganda moddaning erishi boshlanadi. Sirtning yaqinida nurli dog' ostida suyuq modda paydo bo'ladi. Lazer nurining intensivligini 10^6-10^7 Wt/cm²gacha yetkazamiz. Endi erish bilan birga moddaning intensiv ravishda bug'lanishi ham boshlanadi, natijada modda sirtida chuqurcha hosil bo'ladi. Nurning intensivligi o'rtacha 10^9 W/cm²ga yetganda nur moddaning bug'larini tezlik bilan ionlashtirib plazmaga aylantiradi. Bunda nur intensiv ravishda plazmaga yutila boshlaydi. U lazer nurlarini moddaning sirtiga o'tishini to'sib qo'yadi. Moddani lazer nuri bilan qayta ishlashda plazmaning hosil bo'lishiga yo'l qo'ymaslik lozim. Demak, nurning intensivligi uncha katta bo'lmasligi kerak. Shundan ko'rinib turibdiki, moddaning xususiyati va qaysi turda ishlanishidan qat'iy nazar, nurlanishning ma'lum energetik va vaqtinchalik xarakteristikali turlaridan to'la foydalanish mumkin. Masalan, materialni bir-biriga payvandlab ulash uchun unga intensiv bo'lmagan va shu bilan birga uzoq vaqt davom etadigan impulslar (davomiyligi $10^{-2}-10^{-3}$ cm) kerak bo'ladi, teshik ochish uchun esa materialning bug'lanish tezligini oshirish maqsadida juda qisqa impulslar qo'llanadi.

Lazerli texnologiyaning afzalligini materialni qayta ishlashdagi yuqori sifatli aniqlikka erishish, turlicha fizikaviy va mexanik xususiyatga ega bo'lgan har xil turdagi materiallarni payvandlash, texnologik jarayonlarni

avtomatlashtirish imkonini yaratadi, ishlab chiqarish madaniyatini oshirib, mehnat sharoitini yaxshilaydi.

Yuqorida sanab o'tilgan afzalliklar asosida qator diqqatga sazovor yangi va samarador lazerli texnologik jarayonlar yaratildi.

Shulardan kelib chiqqan holda, ushbu ishda mikroelektronikada keng qo'llaniladigan lazer qurilmalar, ular yordamida ishlov va qayta ishlovni amalga oshirishning fizik asoslari haqida ma'lumot berishga harakat qildik. Bundan tashqari, moddalarni qayta ishlovni amalga oshirishda lazerlardan foydalanish va uning fizik mexanizmlarini o'rganish, kelajakda yuz beradigan energiyaviy tanqislikni bir qadar kamaytirishga xizmat qilishi bilan, mazkur tadqiqot ishini bajarish ayniqsa, dolzarbdir.

Tadqiqot ob'ekti va predmeti. Dissertatsiya ishining tadqiqot ob'ekti lazerlar yordamida mikroelektronika materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlash metodlarini o'rganishdan iborat. Predmeti esa, mikroelektronika materiallariga lazerli ishlov berish metodlarining natijalari asosida, yarimo'tkazgich materiallarni kesuvchi, teshuvchi, erituvchi qurilmalar tuzilishi, ishlash tamoyillarini o'rganishdan iboratdir.

Tadqiqotning maqsadi: Lazer qurilmalari yordamida yarimo'tkazgichlarga ishlov berishning texnologik jarayonlari va qurilmalarini o'rganish, olingan natijalarni adabiyotlar orqali tahlil qilish.

Tadqiqotning vazifalari:

1. Mikroelektronikada qo'llaniladigan impulsli lazerlarning yaratilish tarixi va ilmiy asoslari, konstruktiv jihatlari va ularning qo'llanilishi bilan bog'liq masalalarni o'rganish va bayon qilish;

2. Mikroelektronikada keng qo'llaniladigan yarimo'tkazgich materiallarga lazerlar yordamida ishlov berishning fizikaviy asoslarini, imkoniyatlarini, qo'llanilish sohaslarini va boshqa amaliy jihatlarni solishtirish, afzalliklarini yoritishdan iborat.

Tadqiqot natijalarining ilmiy jihatdan yangilik darajasi shundaki, lazerli texnikaga bag'ishlangan tadqiqot natijalarida, matbuotda e'lon

qilinayotgan maqolalarda o'rganilayotgan jarayonlarning yuz berish mexanizmlari, ayniqsa, kam energiyali zarralarning materiallar bilan ta'sirlashuviga, xususan, mikroelektronikada yordamchi materiallar sifatida ishlatiladigan plastmassa, fanera, matolarga ta'siri haqida ma'lumotlar berilmaydi. Shu sababli mazkur dissertatsiyada lazer nurlarining yumshoq, mo'rt va tekstil materiallariga ta'siri ham o'rganildi.

Tadqiqotning asosiy masalalari va farazlari. Tadqiqotda olingan natijalardan ilmiy maqsadlarda, shuningdek, ma'lumotnoma sifatida foydalanilishi mumkin. Shu sababli, dissertatsiya ishida hal qilingan asosiy masalalar lazer nurlari yordamida materiallarni yuqori aniqlikda kesish, teshish, silliqlash usullarining yo'l-yo'riqlarini o'rganishdan iborat. **Tadqiqotning asosiy farazi** yuqori energiyali lazer zarralarining ta'siri natijasini fizika qonunlari to'liq tavsiflay oladi degan g'oyaga asoslanadi.

Tadqiqot mavzusi bo'yicha adabiyotlar sharhi. Mikroelektronika sohasida qo'llaniladigan lazerlar erishilgan taraqqiyot tufayli yarimo'tkazgich moddalarni elektrofizik, fotoelektrik va optik xossalarni yaxshilash bilan bir qatorda, ularni kesish, payvandlash, sirtga ishlov berish, teshish kabi vazifalarni bajara olishi tufayli ham katta qiziqish uyg'otmoqda. Hozirgi vaqtda, lazerlar yordamida yarimo'tkazgichlarni katta aniqlikda kesish, teshish sohasida ayniqsa, yuqori natijalarga erishilgan. Ushbu tadqiqotlarda qo'llanilgan qator lazer qurilmalari, materiallarga ishlov berish sohasida o'zining ancha afzalliklarga ega ekenligidan, keyingi tadqiqotlarga istiqbolli yo'nalishlarni ham belgilab beradi [1, 2].

Xo'sh, lazer texnologiyasi qanday xususiyati bilan bunday e'tiborga sazovor bo'lmoqda? Bu savolga javob berishdan oldin, qudratli lazer nurlarining moddalarga qanday ta'sir etishini ko'rib o'tamiz.

Lazer nurlarining moddalarga ta'siri shundan iboratki, uning kvantlari atom va molekulalar orqali qayta ishlanayotgan materialning ustki qatlamlariga energiya berib turadi. Lazer bilan nurlantirilgan sirtidagi zichlik quvvati qisqa vaqt ichida bir kvadrat santimetrda yuzlab milliard vattga teng bo'ladi [3, 4].

Katta quvvatli lazer nurlari bilan qattiq jismlarga ishlov berishdan oldin ularni yuqori bosimlarga siqish va qizdirish sohasida bir qator tadqiqotlar o'tkazilgan. Ushbu tadqiqotlar asosan, yuqori quvvatli, biroq iqtisodiy jihatdan ko'p chiqimli qurilmalarda bajarilgan.

Lazerli texnologiyaning afzalligini materialni qayta ishlashdagi yuqori sifatli aniqlikka erishish [5-6], turlicha fizikaviy va mexanik xususiyatga ega bo'lgan har xil turdagi materiallarni payvandlash [7], texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish imkonini yaratadi [8-9], ishlab chiqarish madaniyatini oshirib, mehnat sharoitini yaxshilaydi.

Yuqorida sanab o'tilgan afzalliklar asosida qator diqqatga sazovor yangi va samarador lazerli texnologik jarayonlar yaratildi. Shulardan ba'zilarini ko'rib o'tamiz.

Lazer texnologiyasini qo'llab tashkilar ochishda dinamik muvozanatlashgan tez aylanuvchi detallar, turbina, rotorlar istiqbolli soha hisoblanadi. Bir impuls lazer nurlanishida keragidan ortiq o'rtacha massadan bir milligrammgacha metall olib tashlanadi [10].

Tashkilar ochish lazer texnologiyasi, shuningdek EHMlarda xotira plastinkasi, mikroskop va elektron-nurlanish trubkalari diafragrammalarini tayyorlashda ham qo'llaniladi.

Ayniqsa, so'nggi yillarda lazerlarni gidrodinamika va aerodinamikada ham qo'llash o'z samarasini ko'rsatmoqda. Jumladan, bilvosita usulni qo'llamasdan, oqim tezligi va oqim gradientini aniqlash [11], shamol tezligi va yo'nalishini aniqlash [12], turli aviatsion mashina-mexanizmlarning tezligi va manevr texnikasini lazerli dopler anemometriyasi yordamida o'rganish ham o'zining qator ijobiy natijalarini berayabdi [13-14].

Tadqiqotda qo'llanilgan metodikaning tavsifi. Tadqiqot metodi sifatida – materiallarga ishlov beruvchi lazer qurilmalar tuzilishi va ular yordamida olingan natijalarni adabiyotlar orqali o'rganish, bular asosida materiallarga lazerlar ta'sirining termodinamik va kinetik parametrlarni hisoblash imkoniyatini o'rganish belgilandi. Tadqiqot usullari sifatida adabiyotlarda

keltirilgan tajribaviy tadqiqotlar natijalarini tahlil qilish, nazariy hisoblashlar va ularning natijalarini tahlil qilish usullaridan foydalanildi.

Tadqiqot natijalarining nazariy va amaliy ahamiyati. Ishda materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlash usullarining nazariy jihatlari va qurilmalari adabiyotlar orqali o'rganildi. Materiallarga ishlov berishning lazerli metodining, boshqa metodlardan farqlari o'rganilib, ular o'zaro solishtirildi. Mazkur natijalar lazer qurilmalari va texnologiyalari bo'yicha nazariy ma'lumotnoma sifatida qo'llanilishi mumkin.

Tadqiqot ishining tuzilishi va tarkibi. Dissertatsiya ishi kirish, 3 ta bobdan iborat asosiy qism, umumiy hulosalar va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Har bir bobning oxirida qisqacha hulosalar keltirilgan. Magistrant tomonidan chop ettirilgan ilmiy ishlar dissertatsiyaning ilovalar qismida keltirilgan. Bundan tashqari dissertatsiya matni mazmunini oydinlashtiruvchi 20 dan ortiq rasm, grafik, formula va jadvallar ham keltirib o'tilgan.

Xulosa va takliflarning qisqacha umumlashtirilgan ifodasi va aprotatsiyasi. Olingan natijalar asosida quyidagi ma'ruza tezislari va maqolalar e'lon qilindi:

A. Chop etilgan maqolalar				
№	Chop etilgan maqola nomi	hajm (bet)	Maqola chop etilgan jurnal, To'plam nomi, yili, beti	Hammualiflar
1.	Микроэлектроника ва лазер технологиялари	5	“Машинасозлик” Илмий хабарно-маси, №4, 2016 й., 38-43 бетлар.	Зайнабидинов С.З., Мадаминов Х.М., Қўчқарова М.О.
2.	Применение лазеров в полупроводниковой технологии	4	Молодой ученый (Young scientist), №1 (91), 2017 г., Россия, г. Казань. - С. 4-7.	Мадаминов Х.М.
B. Ilmiy anjuman va seminarlar to'plamlarida chop etilgan tezislar				
№	Chop etilgan tezislar nomi	hajm (bet)	Tezislar chop etilgan to'plam nomi, yili, beti	Hammualiflar
1.	Лазерларни	2	“Конденсатланган	Мадаминов Х.М.,

	микроэлектроника да қўлланилиши		мухитлар физикаси ва физика ўқитишнинг долзарб муаммолари” Республика илмий-амалий анжумани мате-риаллари, Наманган, 2016 йил, 8-9 июль, 83-84 бетлар.	Мадумаров Ш.А.
2.	Яримўтказгичларнинг лазер технологияси	1	Академик А.К.Отахўжаев хотирасига багишланган, Конденсатланган мухитлар молекуляр спектроскопиясининг долзарб муаммолари бўйича 5 Ҳалқаро конференция материаллари тўплами, Самарқанд, 2016 й., 23-24 сентябрь, 91-бет.	Зайнабидинов С.З., Мадаминов Х.М.
3.	Микроэлектроника да қўлланиладиган самарали лазер технологиялари	3	“Инновацион ривожланиш муаммолари: илм-фан, таълим ва ишлаб чиқариш ҳамкорлиги” мавзусидаги профессор-ўқитувчилар, ёш олимлар, катта илмий ходим-изланувчилар, магистрлар ва иқтидорли талабаларнинг Вазирлик миқёсидаги илмий-амалий конференция мақолалар тўплами, Андижон, 2016 йил 24-ноябрь, 196-199 бетлар.	Зайнабидинов С.З., Қўчқарова М.О., Мадаминов Х.М.

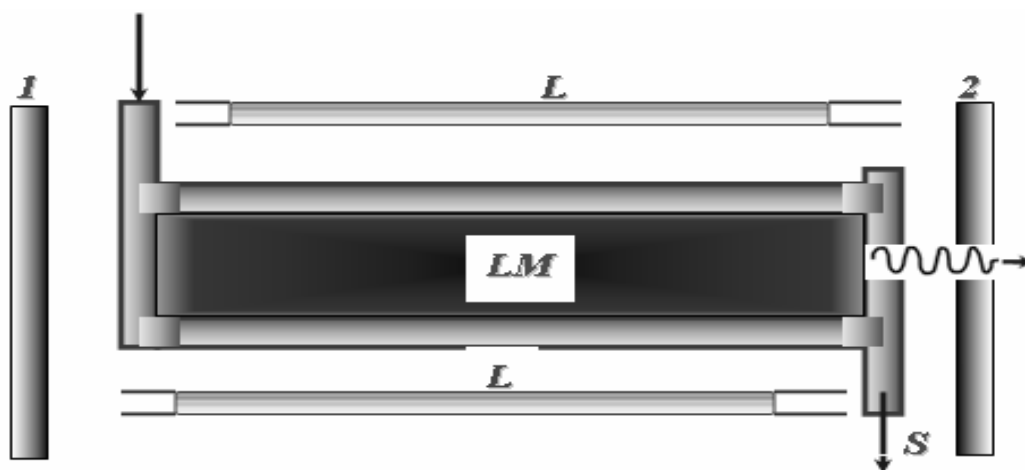
I BOB. LAZER QURILMALARI HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

1.1. Optik kvant generatorlari va ularning yaratilish tarixi

Lazer (inglizcha “laser”) so’zi “Light amplification by stimulated emission of radiation” so’zlarining bosh harflaridan tuzilgan bo’lib, “Majburiy nurlanish tufayli yorug’likning kuchayishi” ma’nosini anglatadi. Lazer nurlari ultrabinafsha, infraqizil va ko’zga ko’rinadigan diapazondagi elektromagnit to’lqinlar hisoblanadi. Bu to’lqinlar atom va molekullarning majburiy (stimullangan) nurlanishiga asoslanib hosil qilinadi. Bunday nurlanish hosil qiluvchi qurilmani lazer yoki optik kvant generator (OKG) deyiladi.

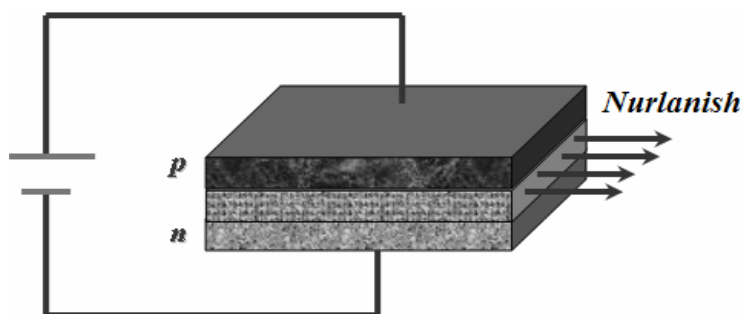
Rus fizigi V.A.Fabrikant 1940-1941 yillarda gaz razryadi spektrini o’rganish ishlari davomida “majburiy nurlanish hisobiga” yorug’likning intensivligini kuchaytirish mumkinligini isbotladi. 1955-yilda rus fiziklari A.M.Proxorov va N.G.Basov o’ta yuqori chastotali birinchi kvant generatorini yaratdi. Bu mikroto’lqin diapazonidagi optik kvant generator - mazer edi. 1958-yilga borib A.M.Proxorov va N.G.Basov bilan ayni bir vaqtda AQSh fizigi Ch.Tauns ko’zga ko’rinadigan yorug’lik spektri diapazonida kvant generatori - lazer qurish mumkinligini ilmiy va amaliy isbotladilar.

Lazer qurilmalarida ishlatiladigan ishchi materiallarni lazer materiallar deyiladi yoki ularni faol (aktiv) moddalar deb ataladi. Faol muhit sifatida yoqut (rubin) kristali ishlatiladigan lazer 1960-yil yaratildi (1.1-rasm).



1.1-rasm. Yoqutli lazer (LM - lazer materiali, L - optik rezonator).

Keyingi kashfiyotlarda neon Ne va geliy He gazlari aralashmasi qo'llaniladigan lazer (1960 y), neodim Nd^{2+} ionlari qo'shilgan silikat shisha qo'llanilgan lazer (1961 y), yarimo'tkazgich birikma galliy arsenid GaAsli kristallari qo'llanilgan lazer (1962 y), anorganik suyuqlikdagi neodim eritmasi selenoksixlorid $SeOCl_2$ va organik bo'yoq eritmalari ishlatiladigan lazerlar (1966 y) yaratildi. 1974 yilga kelib, faol moddalar (lazer materiallar) soni 200 ga etgan edi. Har xil aralashmalar qo'shilgan ion kristallar eng katta lazer materiallari guruhini tashkil etadi. Tartibsiz ichki tuzilishga ega bo'lgan shisha lazerlar shisha hosil qiluvchi komponentalar va faol aralashmalar sifatida olingan ionlardan iborat bo'ladi. Yarimo'tkazgichli lazer materiallar A^2B^6 va A^3B^5 birikmali kristallardan iborat bo'ladi. Ularda ishchi element qalinligi 0,1 mkm bo'lgan p-n o'tish bo'lib, o'lchamlari 1x1x0,2 mmli plastinka ko'rinishda tayyorlanadi (1.2-rasm).



1.2-rasm. Yarimo'tkazgichli lazer

Demak, faol muhitga bog'liq holda lazerlarning qattiq jisml, suyuqlikli (kimyoviy), gazli, yarimo'tkazgichli va bo'yoq moddali turlarga ajratish mumkin (1-jadval).

1-jadval. Turli faol muhitli lazerlarning xossalari va qo'llanilishi

Lazerning turi	To'lqin uzunligi, mkm	Xossalari	Qo'llanilish sohasi
Gazli			

Geliy-neonli (Ge-Ne)	0,6328 3,39 1,15	Yuqori monoxromatiklik; spektrning ko'rinish sohasidagi nurlanishi; tannarxining pastligi; yuqori ishonchlilik, nurlanish quvvatining pastligi	Optik yustirovka; nivelirlash; ma'lumotni qayta ishlash; interferometriya; golografiya
Geliy- kadmiyli (Ne-Cd)	0,4416 0,3250	Yuqori monoxromatiklik; spektrning ko'rinish va UB sohasidagi nurlanishi	Fotoximiya; spektroskopiya; qayd etish tizimi; bioximiya
Uglerod ikki oksidli (CO ₂)	10,6	O'ta yuqori quvvat va FIK li; spektrning IQ sohasidagi nurlanishi	Materiallarni qayta ishlash (kesish, payvandlash, teshish); aloqa tizimi; tibbiyot
Argonli (Ar)	0,5145 0,5017 0,4966 0,4880 0,4765 0,4579 0,3638 0,3511	Yuqori quvvat, yuqori monoxromatiklik; FIK ning pastligi; spektrning ko'rinadigan va UB sohasidagi nurlanishi	Golografiya; tibbiyot; sirlarni qayta ishlash; parametrik qurilmalarni damlash
Kriptonli (Kr)	0,6471 0,5682 0,5208 0,4762 0,4680	Argonli lazerniki kabi; FIK ning o'ta past	Golografiya; tibbiyot; spektroskopiya; qayd etish tizimi
Azotli (N ₂)	0,3371	UB – nurlanish manbai; FIK ning pastligi; o'ta qisqa to'lqinlar impulslar	Fotoximiya; spektroskopiya; bioximiya; ma'lumotlar

			to'plash
Kristalli			
Yoqutli	0,6943	Yuqori impulsli quvvat; o'rtacha fazoviy kogerentlik	Yarimo'tkazgichlar texnologiyasi; materiallarni qayta ishlash; tibbiyot
IAG : Nd	0,421 0,532 1,0648	FIK ning yuqori; ixcham lazer kallaklar	Yarimo'tkazgichlar texnologiyasi;
Shishali			
Neodim Nd ⁺ kirishmali shishali	1,06	Juda yuqori impulsli quvvat; katta bo'lmagan o'rtacha quvvat; nisbatan kichik monoxromatiklik; tannarxning pastligi	Materiallarni qayta ishlash; plazmani tadqiq etish
Suyuqlikli			
Azotli N ₂ suyuq bo'yoq moddalarda va chaqnovchi lampa bilan damlanuvchi	0,36- 0,65 0,32- 1,00	Spektrning keng sohasiga moslashuvchanlik; suyuqlikli sovutishning zarurati	Kontaktsiz o'lchov va tahlil tizimlari (atmosfera nazorati uchun); fotoximiya; fotobiologiya; tibbiyot
Yarimo'tkazgichli			
Arsenid galliy (GaAs) li va arsenid	0,85- 0,91	O'lchamlarning o'ta kichikligi; FIK ning yuqoriligi; o'ta kichik kogerentlik; quvvatning	Kichik masofalarga mo'ljallangan aloqa tizimlari; signalizatsiya qurilmalari

galliy- alyuminiy (GaAlAs) li		kichikligi; to'liqin uzunligining haroratga bog'liqligi	
-------------------------------------	--	---	--

Hozirgi kunda lazer asosida ishlaydigan juda ko'p turdagi kvant asboblari, uskunalari va sistemalari yaratilgan. Ammo ulardan samarali foydalana oladigan mutaxassislar juda kam. Ikkinchidan turli-tuman maishiy va ilmiy kvant qurilmalarini loixalashtiraoladigan mutaxassislar ham yetishmaydi. Bu esa kvant elektronika buyumlarini loyihalashtirishda, ularni biladigan mutaxassislarni tayyorlashning samarali yo'llarni va metodlarini yaratishni talab qiladi.

Kvant elektronikasi – qattiq jismlar tarkibiga kiruvchi elektronlar bilan elektromagnit nurlanishning o'zaro ta'sirlashuvi natijasida sodir bo'luvchi hodisalarni o'rganuvchi fizikaning sohasidir. Bu sohadagi tadqiqotlardan olingan ma'lumotlar asosida turli sohalarda qo'llanishga mo'ljallangan kvant elektronika asboblari yaratilmoqda.

Shuni ta'kidlash kerakki, nurlanish manbai sifatida lazerlar asosida qo'llaniladigan qurilmalar keng foydalanilmoqda. Bunday metod va qurilmalar moddalarning tuzulishini, ularda sodir bo'layotgan jarayonlar mexanizmlarini va kinetikasini o'rganishda eng samarali metodlar bo'lib qolmoqda. Spektroskopik, interferometrik va shu kabi ko'plab fiziko-kimyoviy metodlar shular jumlasidandir.

Muhit hususiyatlarini ancha batafsil o'rganish borasidagi zamonaviy talablarga optik usullarga asoslangan barcha spektroskopik metodlar deyarli to'la javob beradi. Lazer nurlanishining monoxromatikligi, faza, amplituda, qutublanishi va tarqalish koeffitsientining kichikligi, apparat funksiyasining tor sohada bo'lishi, katta quvvatga egaligi kabi xususiyatlari ulardan foydalanishning sohasini kengaytiradi va katta imkoniyatlarni yaratib bermoqda. Muhit bilan elektromagnit to'liqlar o'zaro ta'sirlashganda qayd etilayotgan parametrlar shu ta'sir natijasida o'zgarishi mumkin. Masalan,

qutublanish-anizotropiya hodisalari bilan ifodalansa, faza-tarqalish geometriyasi va ta'sirlashish natijasida sinish ko'rsatkichi orqali aniqlanadi. Shu yerda majburiy nurlanishning yuqori darajadagi kogerentligi, monoxromatikligi va yuqori darajadagi spektral energiya zichligiga ega bo'lgan yorug'lik manbai ekanligini e'tirof etish joizdir.

Golografiya bir qarashda biz tanlagan ilmiy tadqiqot yo'nalishidan biroz chetda qolib ketayotganga o'xshaydi, ya'ni ta'rifiga ko'ra bu elektromagnit to'lqinlar interferensiyasi asosida shakllangan hajmiy tasvir olishning usulidir. Ammo, lazerlarning kogerent nurlanishsiz golografiyani amalga oshirib bo'lmas edi. Bu sohada ham lazerlarning tadbqiqisiz hech narsani amalga oshirib bo'lmas edi.

Umuman olganda, kvant elektronikasi va lazer texnikasining xalq ho'jaligining qaysi sohasida qo'llash chegaralarini aniqlash ancha qiyin ish. Mana shunday holat tezda rivojlanayotgan fanlarga xos deb hisoblasak xato bo'lmaydi. Shunga qaramasdan, lazer texnikasi predmetini ko'rib chiqsak o'rinli bo'lardi.

Lazer texnikasi – bu lazer nurlanishi asosida ishlaydigan kvant qurilma va sxemalarni optimal tarzida yaratishga qaratilgan ilmiy asoslangan hisoblashlar, muxandislik ixtirolari va kvanto-optik metodikalar majmuidir.

1964 yilda Stokgolmda Nobel mukofotini topshirish marosimida A.M.Proxorov shunday degandi: “Kvant elektronikasi 1954 yil oxiri va 1955 yil boshlarida paydo bo'ldi, uning asosi 1917 yilda A.Eynshteyn tomonidan aytilgan induksion nurlanish hodisasi deb hisoblasak bo'ladi”.

Qayd etilgan hodisaning ma'nosi shuki, tashqi ta'sir ostida faollashgan atomlar kichik energiyali holatga o'tadi, o'tish vaqtida elektromagnit to'lqin chiqaradi. Ammo, uzoq vaqt bu mexanizmdan amaliy jihatdan foydalanish imkoni bo'lmadi. V.A.Fabrikantga berilgan mualliflik guvohnomasida (SSSR, 18.06.1951, №123209) shunday yozilgan: “Elektromagnit nurlanishni kuchaytirish usuli (ultrabinafsha, ko'rinuvchi, infraqizil va radiodiapazonidagi to'lqinlar) qo'shimcha nurlanish yoki boshqa usul bilan yuqori energetik sathda

joylashgan atomlarga ko'p miqdorda ega muhit orqali kuchaytirilayotgan nurlanish o'tkaziladi, mana shu holat faollashgan holatga mos keladi". Ular tomonidan berilgan sharh "kvant kuchaytirish" atamasiga mos keladi.

Majburiy nurlanish hodisasi zamonaviy kvant elektronikasi va lazer texnikasi asosi sifatida foydalanila boshlandi. Biroq keyinroq (1953 y) J.Veber tomonidan kvant kuchaytirgich taklif etildi.

1956 yilda N.Blombergen uch sathli qattiq jisimli paramagnetik kuchaytirgichning nazariy asoslarini ishlab chiqadi va 1957 yili G.Skovil shunday kuchaytirgichni tayyorlab beradi. Ammo, 1960 yilgacha qurilgan hamma kvant asboblari radioto'lqinlar o'ta yuqori chastota (O'YuCh) diapazonini qamrab olgandi va shuning uchun mazer deb nomlanardi.

Birinchi molekulyar generator (mazer) 1954 yil Moskvadagi P.N.Lebedev nomli sobiq SSSR FA Fizika institutida N.G.Basov, A.M.Proxorov va bir vaqtni o'zida AQShdagi Kolumbiya universitetida Ch.Tauns, J.Gordon, va X.Sayger tomonidan ishlab chiqiladi. Bu hodisani rasmiy tarzda kvant elektronikasini amaliy fan sifatida rivojlanishining boshlanishi deb hisoblasa bo'ladi.

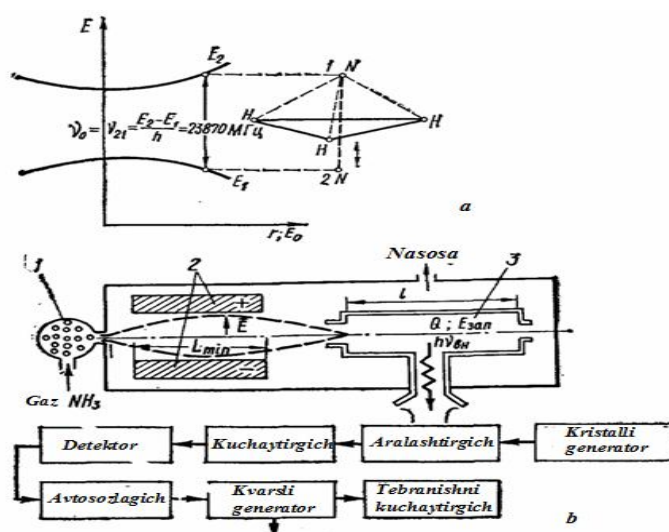
Mazerlar nazariyasi N.G.Basov, A.M.Proxorov tomonidan yana rivojlantirildi va shu sohadagi ishlarga katta ta'sirini o'tkazdi. Azot molekulasining tebranishi fizik hodisasini yoritish va zaryadlarning flyuktuatsiyasini o'rganish uchun hamda ularning kompleks qabul qiluvchanligini χ , dielektrik doimiysi ϵ bilan bog'liqligini tushuntirish maqsadida ular tomonidan quyidagi tenglama taklif etildi;

$$\frac{d^2 E}{dt^2} + \frac{\omega_0}{Q} \frac{dE}{dt} + \frac{\omega_0^2}{\epsilon} E = 0 \quad (1.1)$$

bu yerda ω_0 - ammiak (NH_3) molekulasida azot molekulasining doirasimon tebranish chastotasi (rezonatorda tebranish maydoni mavjudligida); Q - rezonator ishlash koeffitsienti.

Ammiak (NH_3) ning molekulasini avtotebranishli sistema deb hisoblash bo‘ladi, uning stabiligi tebranishini o‘zini-o‘zi sozlash jarayoni bilan belgilanadi. Azot atomi 1 va 2 holat orasida tebranadi. Shu nuqtadan o‘tgan sirt asosida vodorod (H) atomlari joylashgan (1.3.-rasm, a). Tebranishni chastotasi 23870 MHz ga teng. Chastotasi xuddi shu chastotaga teng chastotali radioto‘lqin shu tebranishdagi azot atomi bilan to‘la yutiladi. Yutilish jarayoni kvant sistemaning parametrlarini dielektrik o‘tkazuvchanlikka noxizizqli bog‘lanishi bilan ifodalanadi. Uning ko‘rinishi quyida keltirilgan:

$$\varepsilon = \varepsilon_1(\omega, E, t) - j\varepsilon_2(\omega, E, t) \quad (1.2)$$



1.3-rasm. Ammiak molekulasini (a) va standart kvant tebranishi (b) uchun Shtark effekti

Dielektrik o‘tkazuvchanlik ε , elektr maydon kuchlanganligi E va qutblanishi P orasida bog‘lanish esa quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\varepsilon E = E + 4\pi P \quad (1.3)$$

Faol modda sifatida ammiak bekorga tanlanmagan. Radiospektroskopik tadqiqotlar natijasida NH_3 spektrida o‘ta yuqori to‘lqinlar (O‘YuT) diapozonida joylashgan energetik sathlar aniqlandi. Ularning energetik farqi $\lambda=1.26$ cm to‘lqin chastotasiga mos keladi va eng katta tebranish intensivligi $\nu_0=23870$ MHz chastotadagi kvant o‘tish chastotasiga to‘g‘ri keladi.

NH_3 molekulasi manba (1) (2-shakl)dan chiqib tartiblovchi sistema tomoniga qaratilgan (kvadrupol kondensator (2) molekulyar oqimini hosil qiladi. Sistema past energetik holat (E_1) ga ega molekullarni bekor qiladi, faqatgina ammiak rezonator (3) da yuqori (E_2) holatga ega molekullarni qoldiradi (1.3a-rasm).

Tebranishlar sistemasida bir jinsli bo‘lmagan elektr maydon (E) o‘qda 0 ga teng, undan uzoqlashgan sari ortib boradi. Natijada NH_3 molekulasi yuqori energetik holatda bo‘lganida sistema o‘qi bo‘ylab harakatlanadi, past energetik (E_1) holatda bo‘lgan molekullar yoyilib ketadi.

(E_2) va (E_1) invertlangan sathlar NH_3 ning 2 ta qarama-qarshi yo‘nalgan dipol momentiga to‘g‘ri keladi. Tashqi elektr maydon E da tartiblanayotgan sistemada Shtark effekti sodir bo‘ladi, ya’ni elektr maydoni ta’sirida energetik sath parchalanishi va siljishi ro‘y beradi. Yuqori energetik sath dipol momenti vektori (E_2) elektr maydon E kuchlanganligiga qarshi yo‘nalishga ega bo‘lib, sath energiyasi pastdan kuchlanganligi E ga proporsional ravishda ortadi. Pastki energetik sath (E_1) energiyasi shuncha miqdorga kamayadi, chunki uning vektori yo‘nalishiga mos keladi.

Tartiblangan molekullar xajmiy rezonatoridan uchib o‘tadi. Yarim majburiy nurlanishga uchraydi, u ham ν_0 ga mos keladi. Shu esa rezonator ichida elektromagnit maydon kuchayishiga olib keladi va shu bilan elektromagnit maydon kuchlanishiga o‘zining ulushini beradi. Keyingi molekullar shu holatdagi maydon bilan ta’sirlashadi. Shunday qilib musbat teskari bog‘lanish ro‘y beradi, ya’ni kvant generator ishlashi uchun zaruriy shartlar hosil qilinadi. Natijada to‘lqin chastotasi quyidagi formula asosida topila digan stabillashgan elektromagnit nurlanish hosil bo‘ladi.

$$\nu_0 = \nu \left(1 - \frac{\nu - \nu_P}{\nu} \frac{Q}{Q_n} \right) \quad (1.4)$$

bu yerda ν - spektral chiziq chastotasi, $\nu_0 = \nu_P$ - rezonatorning xususiy chastotasi.

Rezonator ishlash qobiliyati yoki aslliligi Q -yigʻilgan elektromagnit maydon energiyasining tebranish sistemasining bir tebranish davrida yoʻqolayotgan oʻrtacha energiyasiga nisbatan hisoblanadi.

Shu yerda kvant generatorining yana bir xarakteristikasi - Q_n spektral chiziqning ishlash qobiliyatini keltiramiz. Bu spektral chiziq ν_0 ning rezonans chastotasini yarim intensivlik holatida shu chiziqning kengligi $\Delta\nu_N$ ga nisbatan, yaʼni $Q_n = \frac{\nu_0}{\Delta\nu_N}$ ga teng boʻladi.

$\frac{\nu - \nu_0}{\nu} = \eta$ kattalikni, odatda, rezonator sozlanishining buzilishi deb nomlanadi. Ammiak molekulasida ishlashga moʻljallangan generator uchun $\eta \approx 10^{-4}$ ga teng.

Rezonatorlarda maʼlum masofada molekularlar toʻplami (puchogi) joylashish inversiyasini yoʻqotadi va keyinroq rezonator energiyasini yuta boshlaydi. Ishlangan ammiak nasos bilan soʻrib olinadi va maxsus adsorbent bilan toʻla yoʻq qilinadi.

Kvant elektronikasining keyingi bosqichi shu prinsiplarni elektromagnit toʻlqinlarning optik diapozoniga qoʻllanishi bilan uzviy bogʻliq. 1958 yilda Ch.Tauns, A.L.Shavlov va A.M.Proxorov optik nurlanish diapozonida majburiy tebranish hodisasidan foydalanish imkoni borligi toʻla isbotlab berdilar (2-jadval).

Oʻtkazilgan tadqiqotlarning natijasida bu kashfiyotchi olimlar quyidagicha taqdirlandilar: 1959 yilda N.G.Basov va A.M.Proxorovga Lenin mukofoti, 1964 yilda ular va Ch.Tauns Nobel mukofotini oldilar.

2-jadval. Kvant elektronika rivojlanishining xronologik jadvali

Yil	Rivojlanish bosqichlari	Mualliflar	Nobel mukofotiga sazovor

			bo'lganlar
1917	Majburiy (induksion) nurlanish tushunchasini kiritilishi	A. Eynshteyn	
1928	Majburiy nurlanishning tajribada aniqlanishi	R. Ladenburg, X. Kopferman	
1950	Bandlik inversiyasining tajribada aniqlanishi	E. Parsell, R.aund	
1951, 1953-1955	Majburiy nurlanish hisobiga kuchayish takliflar berilishi	V.A. Fabrikant, J. Veber, N.G. Basov, A.M. Proxorov	N.G. Basov, A.M.Proxorov
1954	Birinchi mazer yaratildi	J. Gordon, X. Sayger, Ch. Tauns	Ch.Tauns
1957	Birinchi qattiq jisimli mazer yaratildi		
1958	Optik diapazonda majburiy nurlanish hisobiga kuchayishi g'oyalari paydo bo'lishi	A. Shavlov, Ch.Tauns	
1959	Gazli lazer yaratish to'g'risidagi taklif berildi	A. Javan	
1959	Yarimo'tkazgichli lazer yaratish taklifi berildi	N.G. Basov, B.M. Vul, Yu.M. Papov	
1960	Birinchi qattiq jism (rubin)li lazer yaratildi	T. Meyman	
1961	Birinchi <i>He-Ne</i> – gazli lazer yaratildi	A. Javan, V. Bennet, D.Erriot	
1961	Nochiziqli optik effekt	P. Franken,	

	aniqlanishi (garmonik generatsiyasi): nohiziqli optika rivojlanishini boshlanishi	A. Xill, Ch. Pitters, G. Veynrayx	
1962	Yarimo'tkazgichli lazer yaratildi	M. Natan, V. Dumke, G.Byorns, F.Dil, G.Lasher	
1962-1963	Golografiyani kashf qilishdi	Yu.N. Denisyuk (SSSR), E. Leyt va Yu. Upatinekse (AQSh)	
1965	Bo'yalish markazlarida ishlaydigan lazer yaratildi	B.Frits, E.Menke	
1966	Bo'yoqlarda ishlaydigan birinchi lazer yaratildi	P. Sorokin, J. Lanakrd	
1969	Optika va elektron elementlar bilan injeksion lazerlarda birlashtirish	S. Miller	
1971	Taqsimlangan teskari bog'lanishli lazer yaratildi	K. Shenk, J. Byorkxolm, X. Kogelnik	
1977	Erkin elektronlar yordamida ishlaydigan birinchi lazer yaratildi	D. Dikon, L.Elayes, J.Meydi, G. Reymen, T. Smit	
1984	Birinchi solitonli lazer yaratildi	L. Mollenauer, R. Shtolen	
1984	O'zRFA Issiqlik fizikasi	P.Q.Xabibullaev,	

	institutida solitonli lazerlar ustidagi tadqiqotlar boshlandi	M. Qosimjonov va boshqalar	
--	---	----------------------------	--

Yoqutli sterjen asosida ishlaydigan lazerlar 1960 yilda T.Meyman tomonidan yaratilgan bo'lsa, 13.06.1961 yilda esa unga №3353115 raqamli patent berildi. Bu ixtiro lazer texnikasining rivojlanishiga katta turtki bo'ldi. Zamonaviy lazerlar asosida Meyman lazer elementlari mavjud.

A.Javan neon va geliy aralashmasida ishlaydigan birinchi gazli lazerni yaratdi. Unda neon atomlari infraqizil kogerent nurlanishni chiqaradi. 1960 yilda u muvaffaqiyatga erishdi va ko'rinadigan diapazonda to'lqin uzunligi 6328 Å ga teng bo'lgan lazerni yaratilishiga olib keldi.

Lazerlarni yaratilishi fizikaning yangi sohasi, kuchli majburiy nurlanish yordamida muxitning nochiziqli optik effektlarini o'rganuvchi - nochiziqli optikaning rivojlanishini tezlashtirdi. Bunga S.I.Vavilov, S.A.Axmanov, G.S.Gorelik, R.V.Xoxlov, N.Blombergen, D.Djordmeyn, R.Terxyun va boshqalarning xizmatlari juda katta bo'ldi.

Ko'riladigan optik diapozoni $\lambda_0=0.6328$ mkm to'lqin uzunligida nurlanish hosil qilingandan so'ng 34 ta kimyoviy elementlarning neytral atomlari sathlari orasida 460 turli o'tishlar kuzatildi.

Birinchi molekulyar lazer 1964 yilda R.Patel tomonidan yaratildi. Bu lazer taxminan 10 % FIK ga ega bo'lib, 10 W ga yaqin quvvatga erishdi. Birinchi yarimo'tkazgichli induksion geliy arsenid asosida ishlaydigan lazer yaratildi (R.Xall, 1962 y). N.G.Basov, B.M.Vul va Yu.M.Popov tomonidan 1958-1961 yillarda yarimo'tkazgichli monokristallarga bag'ishlangan nazariy izlanishlar zamin yaratib berdi. Keyingi 2 yil davomida asosiy urinishlar lazerlarning uzoq vaqt ishlashi, ixchamligi, quvvatini oshirishga qaratildi.

Mana shu davrdan boshlab lazer nurlanishining amaliy qo'llanilishi boshlandi. Ko'p sonli amaliy foydalanish va uskunalarni ishlatishda lazer nurini ajoyib xususiyatga ega optik signal sifatida qarash o'rinli bo'ldi. Bu turdagi

asboblari qatoriga lazerli masofani o'lchash qurilmalari, tezlanishni o'lchaydigan moslama, kvant giroskop, golografik qurilmalarni kiritish mumkin.

Birinchi yorug'lik yordamida masofani o'lchash vositasini 1934-1936 yillarda akademik A.A.Lebedev tomonidan yaratilgan edi. U buning uchun yorug'lik to'lqinlari chekli masofani bosib o'tishidan foydalangan. Lazerlar paydo bo'lishi masofani o'lchaydigan yanada himoyalangan presizion sistemalarni yaratishga asos bo'ldi. Modulyatsilgan nurlanishli galliy arsenidda ishlaydigan yarimo'tkazgichli lazer birinchi masofani o'lchash moslamasida qo'llanildi.

1913 yilda fransuz fizik M.Sanyak Nyuton "efiri"ni tekshirish jarayonida yangi optik effektini kashf qildi.

1962 yilda A.Rozental, U.Manenlar yerning aylanish tezligini o'lchash uchun Sanyak effektiga asoslangan burchak tezligini o'lchaydigan datchikdan foydalanishni taklif qildilar. Bunda nurlanish manbai sifatida o'zgaruvchan to'lqinli lazerni yaratish mo'ljallangan. Qayd etilgan sxema kvant giroskop sxemasining asosini o'zgartirdi. Bu qurilmaning yaratilmishiga turtki bo'ldi.

1948 yilda D.Gabor elektron mikroskopda tasvir sifatini yaxshilash bo'yicha ishlar olib borayotganda yorug'lik to'lqinlarining fazasi va amplitudasini tiklashning yangi usulini kashf qildi. Bu xajmiylik hissiyotini beruvchi uch o'lchamli tasvirlarni hosil qilish golografiyaning ajoyib imkoniyatlarini ko'rsatdi. Keyingi bosqich 1962-1963 yillarda Yu.N.Denisyuk (SSSR), E.Leyt va Yu.Upatinekse (AQSh)lar golografiya hosil qilishda lazer texnika usullari hamda lazerlardan foydalandilar.

Lazer texnikasi va lazer fizikasining rivojiga o'zbek olimlaridan akademik P.Q.Habibullaevning shogirdlari bilan qo'shgan hissasi ham salmoqlidir. O'zbekiston FA Issiqlik fizikasi institutining Moskva davlat universiteti Fizika instituti olimlari R.V.Xoxlov, A.G.Gulyaev va boshqalar bilan hamkorlikdagi tadqiqotlari shular jumlasidandir.

1.2. Optik kvant generatorlarining tavsifi

Kvant uskunalari sinfining eng katta qismini lazerlar tashkil etadi. Ularning uch xili mavjud: ishlash rejimi, faol muhit turi va damlash (nakachka) usuli bo'yicha klassifikatsiyalash.

Ishlash rejimi bo'yicha lazerlarni uzluksiz (bir modali, ko'p modali va bir chastotali) va impulsli (erkin generatsiya rejimi, rezonator ishlash qobiliyatini modulyatsiyalash va monoimpulsli) generatorlarga ajratish mumkin.

Lazerlar uchun faol elementlar sifatida hozirgi vaqtda juda ko'p moddalardan foydalaniladi. Lazerlar faol muhiti bo'yicha to'rt xil guruhga bo'linadi: qattiq jisimli lazerlar (faollashgan oynada kristallarning ionlarida, kam uchraydigan faollashgan elementlar), gazli lazerlar (atomli, molekulyar, gazodinamik, ionli, metal bug'lanishli, kimyoviy plazmali va shu kabilar), suyuqlikli lazerlar (noorganik va organik birikmalar aralashmasida), yarimo'tkazgichli lazerlar (injeksion, geterostrukturali, taqsimlangan teskari aloqali va boshqalar).

Faol muhitda joylashgan inversiyasini hosil qilish maqsadida turli xil faollashtirish usullari ishlatiladi. Mana shu belgi bo'yicha lazerlarni optik, kimyoviy, elektron, rentgen nurlari, plazmali shnurli, yadroviy va boshqa turdagi damlashlilarga ajratish mumkin.

Har qanday nurlanish turi nurlanish chiqarayotgan va yutilayotgan sistemaga qarab ko'chish bilan xarakterlanadi. Harorati Kelvin shkalasi bo'yicha absolyut noldan katta bo'lgan haroratga ega hamma material jismlar energiyani nurlantiradi yoki yutadi. Demak, hayotda uchraydigan hamma jismlarda uzluksiz tarzda energiya almashish jarayoni ro'y beradi. Shuning uchun nurlanish ob'ekti yoki mabai real modda hisoblanadi. Nurlanish ikki xil tabiatga xos xususiyatga ega – to'lqin va korpuskulyar.

Yorug'likning zarrachalar oqimi to'g'risidagi tushunchani I. Nyuton (1643-1727 y) fanga kiritgan. U 1704 yilda chop etilgan "Yorug'likning rangi va burilishi, siljishi, qaytishlari haqida traktat yoki optika" nomli ishida emission

nazariya asoslarini tushuntiradi. Bu esa asrlar davomida turli ilmiy mulohazalarga turtki bo'ldi. Bir vaqtda Nyuton yorug'likning korpuskulyar va to'lqin xususiyatlarini birlashtiruvchi nazariyasini taklif etdi. Kompromission va emission nazariyasining atrofida uzoq vaqt baxslar bo'lib o'tdi. Nyuton yorug'likning barcha xodisalarini yorug'lik zarrachasi va muhit zarralarining o'zaro ta'siri bilan bog'lab tushuntirishga harakat qildi.

Nursimon energiya - to'lqinning vaqt va fazoda tarqalish davriy jarayoni interferensiya, difraksiya va qutblanish kabi xususiyatlarni tushuntiradi. Shu hodisalarning ilmiy asoslariga G.Gyuygens (1629-1695 y), T.Yung (1773-1829 y), O. Frenel (1788-1827 y) larning fundamental tadqiqotlari asos bo'la oldi.

Yorug'likning elektromagnit tabiatini tushuntirishda D.Maksvellning mashxur nazariyasi (1831-1879 y) va tenglamalari katta muvaffaqiyat qozondi. Tenglamada biron-bir had o'zgarsa, boshqa maydon hosil bo'ladi. Xulosa sifatida, shuni ta'kidlash kerakki, optik shaffof muhitda to'lqin tarqalishining fazaviy tezligi yorug'lik tezligiga mos keladi. Mana shunday tarzda yorug'likning elektromagnit tabiati kashf etildi.

Fazaviy tezlikni quyidagicha tushuntirish mumkin: fazoda monoxromatik to'lqin ko'chish tezligi ϑ ,

$$\vartheta = \frac{dx}{dt} = \frac{\lambda}{T} = \frac{c}{n} \quad (1.5)$$

ga teng bo'lib, bu yerda T-tebranishlar davri, n-muhitni sindirish ko'rsatkichi, c-yorug'lik tezligi.

G.Gers (1857-1894 y)ning eksperimental tadqiqotlari D.Maksvell nazariyasini tasdiqladi. Ammo, XX asr boshlarida yorug'likning klassik elektromagnit nazariyasi absolyut qora jismning nurlanish spektri bo'yicha energiyaning taqsimlanish qonunini, fotoeffekt xodisasini, spektrlarning chiziqchilikni tushuntirishda qiyinchilikka uchradi. Nazariyaga ko'ra, to'lqin uzunligi kamaygan sari spektral intensivlik ortishi kerak bo'lgan, lekin, amalda bu kuzatilmadi. Mana shu tabiatning real hodisasi nazariya asosidagi tafovuti "ultrabinafsha falokat" deb nom oldi. Buning sababini tushuntirish uchun nemis

fizigi M.Plank (1858-1947 y) nurlanish tabiati moddalardagi agregat holatdagi atom va molekulyar jarayonlar bilan uzviy bog‘liq degan fikrni yuritadi. So‘ng u mana shunday elementar nurlanish manbalari (garmonik ossillyator)ning energiyasi qayd etilgan nurlanishiga mos keladigan chastotaga mos ravishda davriy $h\nu$ ga teng holatda o‘zgarishi mumkin degan fikrni yuritadi. Aniqlangan doimiy kattalikni M.Plank energiyaning kvanti deb nomladi va quyidagicha belgiladi:

$$E = h\nu \quad (1.6)$$

Yuqoridagi muammoni hal etish maqsadida M.Plank absolyut qora jism spektrida energiya nurlanish taqsimoti formulasini keltirib chiqardi:

$$\rho_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{\exp[h\nu/kT]} \quad (1.7)$$

bu yerda $h=6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s - Plank doimiysi, $k=1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K - Bolsman doimiysi, $c=2.9979 \cdot 10^{10}$ cm/s - yorug‘lik tezligi, T - absolyut harorat, K.

A.Eynshteyn 1905 yilda yig‘ilgan o‘sha davrdagi eksperimental ma’lumotlar va Plankning nazariy izlanishlari natijalarini taxlil qilib, fotoeffektning fotonli nazariyasini yaratdi, undagi nurlanish $h\nu$ energiyali zarrachalar oqimi deb qarashni taklif etdi. Shunday energiyaga teng zarrachalarni fotonlar deb nomlashdi. Ular energiyani diskret tartibda nurlantiradi va yutadi. Tarqalayotgan energiya P impuls bilan xarakterlanadi.

Agarda foton energiyasi $E = h\nu$ bilan ifodalansa, uning impulsi quyidagicha aniqlanadi:

$$P = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (1.8)$$

Bundagi $\lambda = \frac{h}{P}$ - de Broyl to‘lqin uzunligi deb ataldi.

R.Kirxgof (1824-1887 y) issiqlik nurlanishining asosiy qonunlarini o‘rnatdi:

$$\rho_{\nu_1} / \alpha_1 = \rho_{\nu_2} / \alpha_2 = \dots = \rho_{\nu_n} / \alpha_n = \rho_{\nu_s} \quad (1.9)$$

bu yerda ρ_{ν_s} - absolyut qora jismning energiyasining spektral zichligi, ya'ni unga tushayotgan nurlanishni yutuvchi hamma jism, α_n - n-chi jismning yutish koeffitsienti.

Plank formulasini quyidagicha ko'rishda yozsak:

$$\rho(\lambda T) = \frac{c_1 T^5}{c_2^5} \frac{x^5}{e^x - 1} \quad (1.10)$$

bu yerda $x = \frac{c_2}{\lambda T}$, $c_1 = 2\pi^5 h c^2$, $c_2 = \frac{hc}{k}$.

Undan so'ng (1.10)ni integrallasak,

$$\rho_{\lambda_s} = \int_0^{\infty} \rho(\lambda T) d\lambda = 2,21 \frac{c_1}{c_2} T^4$$

ni olamiz, bu yerda $d\lambda = -\frac{c_2}{T^2} dx$. Bu absolyut qora jismning nurlanish energiyasining spektral zichligini beradi. I.Stefan (1835-1893 y) va L.Bolsman (1844-1906 y)lar qonunni quyidagicha ko'rishda keltirdilar:

$$\rho_{\lambda_s} = \sigma T^4 \quad (1.11)$$

bu yerda $\sigma = 2,21 \frac{c_1}{c_2} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Bm} \cdot \text{M}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ - Stefan-Bolsman doimiysi.

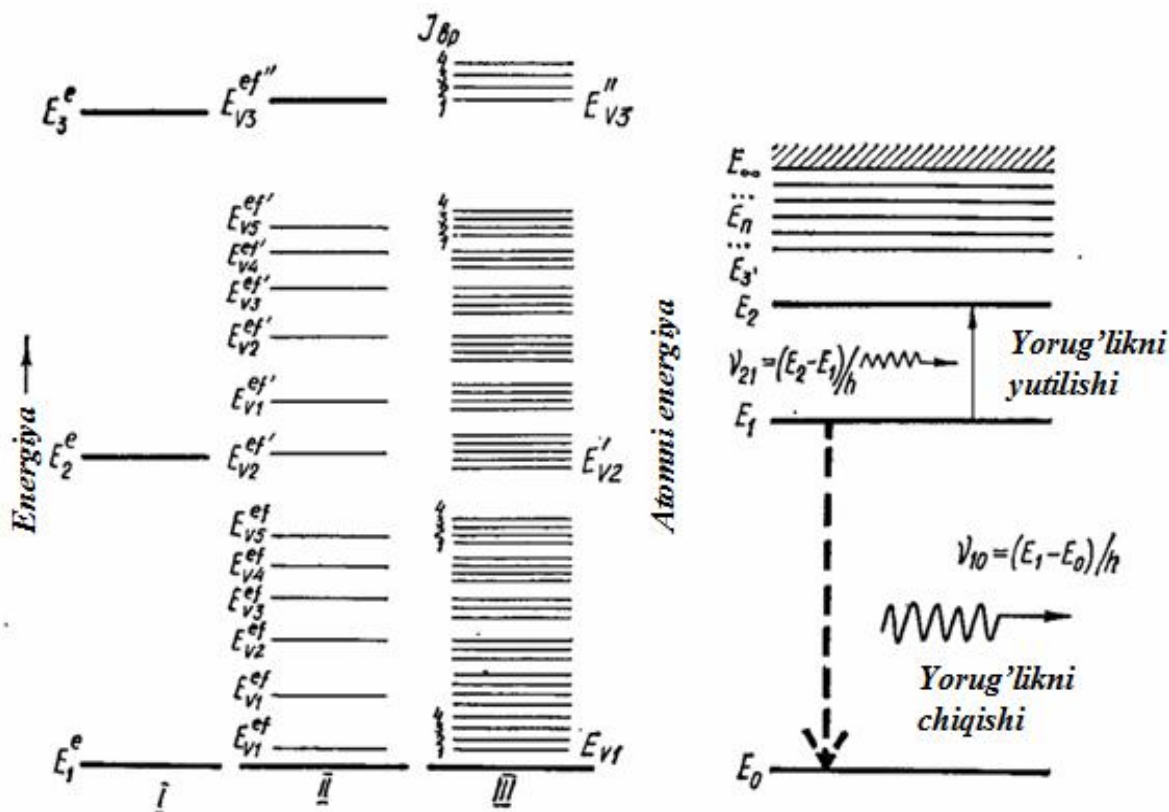
ρ_{λ_s} ning chegaraviy yechimini topib, V.Vin (1864-1928 y)ning siljish qonunini topamiz:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}$$

bu yerda λ_{\max} - belgilangan haroratdagi absolyut qora jismning nurlanish energiyasining spektral zichligi maksimumiga mos keladigan to'liq uzunligi. Uning birligi *mkm* da beriladi.

Keltirilgan tenglamalar tahlili shuni ko'rsatyaptiki, energiyani nurlantirayotgan jismning harorati ortishida nurlanish quvvatining intensiv ortib borishi kuzatiladi, ya'ni bunda o'zgarishlar 4-daraja bilan ifodalanadi. Bu holatda ρ_{λ_s} spektral xarakteristika maksimumi qisqa to'liq uzunlik sohasiga siljiydi, chunki fizik sistema zarrachalari to'g'ri, tebranishli va aylanma

harakatlari energiyasi ortishi kuzatiladi. Natijada nurlanishning o'rtacha kvant energiyasi va nurlanish oqimi kuchayadi.



1.2-rasm. Ikki atomli molekula va vodorod atomining energetik spektrlari I-elektronli, II-elektron-tebranishli, III-elektron-tebranishli-aylanishli sathlar, E_0 – eng kichik energiyali sathlar, qolgan $E_1, E_2, \dots, E_\infty$ - faollashgan sathlar.

O'zining o'qi atrofida molekulaning aylanishi infraqizil spektrning chet sohalarida qisqa to'lqin uzunligidagi nurlanishni hosil qiladi. Ancha yuqori haroratga mos keladigan molekula yadrosining tebranishi qisqa to'lqinli infraqizil va uzun to'lqin uzunlikka ega ko'rinadigan nurlanishni yaratadi.

Molekulalarning nurlanish spektr chastotasi diskret qiymatlar qatorini hosil qiladi. Demak, molekulalarning aylanma, tebranishli energiyasi va elektronlarning holat energiyasi hisoblanadi (1.2a-rasm):

$$E_{mol} = h\nu_{mol} = \Delta\varepsilon_{ayl} + \Delta\varepsilon_{teb} + \Delta\varepsilon_{el} \quad (1.12)$$

Odatda, aylanma sathlar orasidagi farq $\Delta\varepsilon_{ayl} = 10^{-3} - 10^{-2} eV$, bu $\nu_{ayl} \approx 10^4 - 10^{12} Hz$ yoki infraqizil va millimetrli to'lqin uzunlik sohasiga mos

keladi. Tebranishli sathlar orasidagi farq $\Delta\varepsilon_{teb} = 10^{-2} - 1eV$ va $\nu = 10^{14} - 10^{15} Hz$ ni tashkil qilsa, bu ko‘rish va ultrabinafsha to‘lqin uzunligiga to‘g‘ri keladi.

Oxirgi nurlanish spektrlari (ko‘rish va ultrabinafsha) kvant sistemalar (ion, atom, elektron va x.k) faollashuvi natijasida hosil bo‘ladi va mikroduyo uchun xos bo‘lgan kvant qonunlariga bo‘ysunadi. Boshqa tomondan, molekularning aylanma energiyasi tebranishdan ancha kam, u esa o‘z navbatida elektronlar energiyasidan kichik bo‘lishi nazariya va tajribada o‘zining tasdig‘ini topdi.

1.3. Elektromagnit to‘lqinlar chiqarilishi va yutilishidagi kvant jarayonlar

Kvant mexanika qonunlariga ko‘ra elektronning energiyasi ixtiyoriy qiymatlarni qabul qila olmaydi. Unnng energetik xolatlari energiyaning ma’lum diskret qiymatlari qatori bilan belgilanadi: E_0, E_1, \dots, E_n . Qatordagi har bir had energiya sathi deb nomlanadi va qator to‘laligicha atomning energetik spektrini ifodalaydi. Xuddi shunday xarakter molekula, ion, qattiq jims yoki o‘zaro ta’sirlashayotgan barcha kvant sistemalarga tegishlidir.

Eng kichik energiyali E_0 ga teng atomning sathi asosiy, qolgan E_1, \dots, E_n - qiymatlarga ega sathlar esa, faollashgan sathlar deb nomlanadi. Ma’lumki, ta’sirlashish sharoitida elektron yoki elementar kvant zarracha boshqa sathga o‘tishi kuzatiladi. Shu kabi o‘tishlarda atom elektromagnit to‘lqinlarni chiqaradi yoki yutadi. Bu jarayon ma’lum miqdor - kvant (foton) yutulushi yoki chiqarilishi orqali ro‘y beradi. Tebranish chastotalari N.Bor (1885-1962 y)ning ikkinchi postulatining asosiy formulasi bilan aniqlanadi.

$$\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h} \quad (1.13)$$

yoki

$$h\nu_{nm} = E_n - E_m = \Delta E \quad (1.14)$$

Oxirgi tengliklar foton nurlanishining to‘lqinsimon (ν_{nm}) va kvantli $h\nu_{nm} = \Delta E$ xususiyatlarni uzviy bog‘lab beradi.

Foton energiyasi $h\nu_{nm}$ ni atom tomonidan yutilganda, uning energiyasi xuddi shu energiya qiymaticha ortadi va quyi energetik E_n sathdan yuqoridagi E_m sathga o'tish ro'yi beradi. Fotolni $h\nu_{nm}$ chiqarish holatida esa, aksincha jarayon sodir bo'ladi (1.2b-rasm).

Chastotalar spektri uzviy ravishda atomning energetik spektri bilan bog'liq, shuning uchun atomlar tomonidan elektromagnit to'lqinlarni yutilishi yoki chiqarish spektrlari chiziqli xarakterga ega bo'ladi.

Shu kabi fizikaviy hodisalarni tushuntirishda bir vaqtning o'zida to'lqinsimon va kvant hodisalarga tayaniladi.

O'z-o'zidan (spontan) kvant o'tish - vaqt va fazodagi tasodifiy statistik kvant jarayonidir. Amalda, faqatgina bu hodisaning sodir bo'lishi ehtimolligi, ya'ni E_n holatidan E_m ga spontan kvant o'tish ehtimolligi A_{nm} haqidagina gapirish mumkin xolos.

Tashqi elektromagnit maydon ta'sirida ro'yi beradigan kvant o'tishlarni majburiy (induksiyalangan) o'tishlar deb atiladi. Majburiy o'tishlar faollashgan energetik sathida $h\nu_{nm}$ fotonlarni yutishi natijasida sodir bo'lishi mumkin. Spontan o'tish singari majburiy o'tishlar ham ehtimolli jarayonlar hisoblanadi. Majburiy nurlanishda 1cm^3 hajmda 1sek vaqt davomida chiqarilgan Z_{nm} fotonlar soni N_n yuqori sath bandligi va nurlanishning ρ_ν spektral zichligiga proporsionaldir:

$$Z_{nm} = B_{nm}N_n\rho_\nu = W_{nm}N_n \quad (1.15)$$

bu yerda B_{nm} koefitsientini A.Eynshteyn kiritgan. U spontan va majburiy o'tishlarni xarakterlovchi A_{nm} va B_{nm} koefitsientlardan foydalanadi.

Kiritilgan koefitsientlar o'zaro quyidagi nisbiyatlar bilan bog'langan:

$$A_{nm} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{g_m}{g_n} B_{nm} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{nm}; \quad (1.16)$$

$$B_{mn} = \frac{g_m}{g_n} B_{nm} \quad (1.17)$$

bu yerda g_n, g_m - sathlar soni (ma'lum energetik sathdagi sistemaning turli holatlar soni).

E_n va E_m energiyali sathlarni ko'rib chiqaylik, aynan $E_n > E_m$ ga teng bo'lsin. Har bir energetik sathdagi zarrachalar soni mos xolda N_n va N_m ga teng. Agar kvant sistema tashqi elektromagnit maydon ta'sirida bo'lsa, u holda unda eng kamida uch xil jarayonlar sodir bo'ladi: vaqt birligida W_{nm} ehtimollik bilan majburiy yutilish, W_{nm} ehtimollik bilan majburiy nurlanish, A_{nm} ehtimollik bilan sodir bo'ladigan spontan nurlanishlar. Bu muloxazalarni yuritayotganda shu energetik o'tishlarning fizik mexanizmlari va boshqalarga to'xtalmadik. Shuning uchun, induksiyalangan o'tish ehtimolligi nurlanish energiyasi spektral zichligiga proporsional ($W_{nm} = B_{nm}\rho_\nu$) bo'ladi deb muloxaza yuritiladi. A. Eynshteyn tahlillar asosida quyidagini ko'rsatdi,

$$N_n A_{nm} + N_n B_{nm} \rho_\nu = N_m B_{mn} \rho_\nu \quad (1.18)$$

u holda energiyasi spektral zichligi

$$\rho_\nu = \frac{A_{nm}}{B_{nm}} \frac{N_m}{N_m - N_n} \quad (1.19)$$

bo'ladi.

Bu holdagi Bolsman taqsimoti quyidagicha ifodalanadi:

$$N_m = N_n \exp\left(\frac{h\nu}{RT}\right), \quad B_{mn} = B_{nm}, \quad A_{nm} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} B_{nm} \quad (1.20)$$

bu yerda B_{nm} - nurlanishning $\rho = 1$ zichligida vaqt birligida nurlanish chiqarishi (yutilish) ehtimolligi.

Agar $g_n = g_m = 1$ bo'lsa, u holda Plankning energiya spektral zichlik formulasi kelib chiqadi:

$$\rho_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{\exp[h\nu/kT] - 1} \quad (1.21)$$

Mana shu formulada $\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$ - koeffitsient, erkin fazoda birlik tebranish davri oralig'ida va birlik hajmda tebranishlar sonini aniqlaydi, to'g'rirog'i bu

yerda gap berilgan sharoitda ossillyatorlar tebranishi haqida gap ketadi. $\{\exp[h\nu/kT]-1\}^{-1}$ - kvazimonoxromatik nurlanishning bir tebranishiga to'g'ri keladigan fotonlarning o'rtacha soni; $h\nu$ - fotonning energiyasi.

Bundan ko'rinib turibdiki, chastota ortishi bilan spontan o'tish ehtimolligi keskin ortishi kuzatiladi. Masalan, santimetrli to'lqin ($\lambda = 5\text{cm}$) ko'rinadigan spektrga ($\lambda = 0,5\text{MKM}$) o'tilganda spontan nurlanish ehtimolligi 10^{15} marta ko'payadi. Shuni ta'kidlash kerakki, quyidagi shartlarda: $h\nu \gg RT$ da sistema kvantomexanik, $h\nu \ll RT$ da esa klassik mexanik sistemaga aylanib qoladi.

Aniqroq qilib aytganda, majburiy o'tishlar to'g'risida gapirilganda, E_m va E_n energetik sath orasida o'tish ehtimolligi matritalsali element $|D_{mn}|^2$ modulining elektr dipol momentiga proporsional bo'ladi. Kvantomexanik kattalik $\vec{D} = \vec{er}$, nurlanish chiqarishi bilan sodir bo'lgan mikrozarining ruxsat etilgan o'tishidagi elektr xususiyatlarining o'zgarishini xarakterlaydi va dipol zarrachalar orasidagi o'rtacha masofa \vec{r} ga bog'liq bo'ladi.

Agar matritalsali element 0 ga teng bo'lmasa, unda E_m va E_n orasidagi o'tish ruxsat etilgan, $D_{mn} = 0$ bo'lganda esa, o'tish man etilgan hisoblanadi.

Hamisha ham kvant o'tishlar sodir bo'lavermaydi. Ularning ayrimlariga o'tishga ruxsat beriladi, boshqalari esa man etiladi. Kvant mexanikada saralash qoidasi mavjud bo'lib, unga ko'ra kvant o'tishlar ajratiladi. Ruxsat etilgan va man etilgan kvant o'tishlar o'tish ehtimolligi bilan belgilanadi.

Saralash qoidasiga ko'ra biron-bir energetik sathda o'tishlar man qilingan va bu sath qachondir faollashgan holatga kelsa, shunday holatda uzoq vaqt tura olsa, bu sathni metastabil satx yoki xolat deb ataladi. Demak, saralash qoidasining boshqa ko'rinishi o'tish ehtimolligi bilan chambarchas bog'liq ekan.

$D_{mn} = 0$ shart E_m va E_n sathlar orasida hech qanday o'tishlar sodir bo'lmayapti degan xulosa bermaydi. Ehtimollikni hisoblash formulasida $\cos(\omega t - Rr)$ ni $\lambda \gg a$ da $\cos \omega t$ bilan almashtirishi mumkin, ya'ni bunda uzun to'lqin uzunliklar diapozonidagi hodisa nazarda tutiladi. Haqiqatda ham,

$R_a = \frac{2\pi a}{\lambda} \approx 10^{-3}$ ($a = 10^{-8} \text{ cm}$) ga teng. Bu esa ko‘rish spektri uchun ancha kam, sistema va magnit maydon orasida ta’sirni hisobga olmasa ham bo‘ladi.

Magnit maydon bilan ta’sirlashishi va ancha keng hisoblashlar $D_{mn} = 0$ da ham o‘tish ehtimolligi 0 ga teng bo‘lmasligini ko‘rsatadi. Shunday, qilib, agar $D_{mn} = 0$ bo‘lsa, faqatgina elektr dipolga nisbatan energetik o‘tishlarni man etilishini ta’kidlashimiz mumkin, xolos.

Molekulalarning tebranish spektrida saralash qoidasi buzilish holatda kvant o‘tishlar kuzatiladi. Ammo, bunday o‘tishlar ehtimolligi juda ham kichik.

Ruxsat etilgan kvant o‘tishlarning yana boshqa yaqinlashishlari ham mavjud: kvadratsion, magnitli, nurlanish chiqarishsiz va shu kabilar.

Lazerlarning ishlash mexanizmini tushuntirish uchun eng muhimi nurlanishsiz o‘tishlar hisoblanadi. Bunda kvant zarrachalar energiyani berishadi yoki olishadi – boshqa sistema bilan ta’sirlashish natijasida, ya’ni zarrachalar bilan to‘qnashuv, bir nechtasining to‘qnashuvi va boshqalar. Bunday jarayonlar ham ehtimollik kattaliklari bilan xarakterlanadi.

Nurlanishsiz sodir etiladigan o‘tish ehtimolligi S_{nm} kattalikda, bir vaqt birligida bitta zarra tomonidan berilgan yoki olingan o‘rtacha kvant sonning aktlar miqdori tushuniladi.

Agarda nurlanishli va nurlanishsiz o‘tishlar mumkin bo‘lsa, u holda kvant o‘tishlarning to‘la ehtimolligi quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{nm} = A_{nm} + W_{nm} + S_{nm} \quad (1.22)$$

bu yerda $W_{nm} = B_{nm} \rho_\nu$ ga teng.

Endi lazerli faol muhitga o‘tsak. Unda ikkita faollashgan E_n va E_m sathlar bor, har birida holatlar bandligi N_n va N_m bilan xarakterlanadi. Bir muhim tushunchani kiritib ketish joiz deb o‘ylayman.

Agar E_n ning bandligi N_n boshqa E_m bandligi N_m dan katta bo‘lsa, shu yerda $N_n > N_m$ shart bajarilganda, shunday muhit faol deb aytiladi.

Boshqa tashqi elektromagnit maydon ta'sirida faol muhit orqali foton uchib o'tishi yangi va yangi fotonlarning majburiy nurlanishini vujudga keltiradi. Mabodo, nurlangan hodisalar soni yutilish hodisasidan ortiq bo'lsa, u holda lavinasimon fotonlarning oqimi paydo bo'ladi. Oqim intensivligining faol muhit uzunligiga qarab ortib borishi eksponensial qonunga bo'ysunadi:

$$I_z = I_0 \exp(G_z) \quad (1.23)$$

bunda majburiy nurlanish intensivligi faol muhitda $z = \frac{1}{G} (cm^{-1})$ da o'rganadi)

masofada e marta ortadi. $G \approx \frac{16\pi^2}{hc} \frac{\nu_0}{\Delta\nu} (N_n - N_m) |D_{mn}|^2$ - kvant kuchayish koeffitsienti deyiladi.

$N_n - N_m = \Delta N$ - kattalik sathlarning bandlik inversiyasi (faol muhitning sathlardagi bandlik nisbati), ya'ni ko'rib chiqilayotgan faol muhitning energetik sathlarida bandlikni o'rganishda yuqori sathda quyiga qaraganda kvant zarrachalar soni ko'pligini ko'rish mumkin.

Tabiiy sharoitda Bolsman qonuniga ko'ra quyi sathlar yuqoridagi sathlarga qaraganda ancha zich bandlikka ega bo'lishi shart, ya'ni termodinamik muvozanat sharoitida har qanday haroratda past energiyali holatda yuqori energiyali holatga qaraganda bandligi kattaroq bo'lishi kerakligi kelib chiqadi:

$$N_n = N_m \frac{g_m}{g_n} e^{-(E_n - E_m)/(RT)} \quad (1.24)$$

Shuning uchun majburiy nurlanishning kuchayishiga erishish uchun sun'iy ravishda yuqori energetik sath bandligini oshirish yoki quyi sathning bandligini kamaytirish lozim bo'ladi, ya'ni bandlikni inversiyalash kerak.

Sistemaning nomuvozanat holati uchun adabiyotlarda ko'pincha manfiy haroratli holat deb nomlanadigan tushunchadan foydalaniladi. Bu atama sistemaning "bandlik inversiyasi" ga ekvivalentdir. Agarda tashqaridan energiya kirish kuzatilmasa, sistema muvozanatli holatga o'tib qoladi –spontan nurlanish sababli musbat holatga. Manfiy harorat sharoitida sistema energiyaga ega bo'lib,

uni elektromagnit to‘lqinlar shaklida nurlantirishi mumkin. Aynan shu hodisa asosida kvant uskunalar ishlash prinsipini ishlab chiqiladi.

Moddaning inversiyali holatini hosil qilish 50-yillargacha asosiy muammo bo‘lgandi. Uning yechimi quyidagida mujassamlangandi.

Faol moddada, ya’ni bandlik inversiyali muhitda, relaksatsiya hodisasi ro‘y beradi.

Relaksatsiya issiqlik muvozanat o‘rnatilish jarayonidir (agarda muhitning holati shungacha buzilgan bo‘lsa). Muvozanatni buzilishi har qanday urinishlar shunga mos qarama – qarshi harakatni vujudga keltiradi, chunki moddalarning issiqlik harakati sistemani boshlang‘ich holatga olib kelishga urinadi, ya’ni Bolsman taqsimotini tiklashga harakat qiladi. Boshqa shunday omil sifatida to‘yinish effektini aytish mumkin, ya’ni yutilish spektral chizig‘ining intensivligi kamayishi va faol muhitda turli xilda elektromagnit energiya yo‘qotishlar mavjudligi.

Tashqi elektromagnit maydon quvvatining borishini majburiy kvant o‘tishlar ehtimolligi $W_{nm} = B_{nm} \rho_\nu$ relaksatsion o‘tishlar ehtimolligidan ancha katta bo‘lib ketadi, natijada Bolsman taqsimoti buzilib ketadi.

Bandlik inversiyasi 0 ga teng bo‘lmaydi, ya’ni

$$\Delta N = N_n - N_m \neq 0 \quad (1.25)$$

Energiya yutilishi ma’lum chegaraviy qiymatga intiladi. U relaksatsiya tezligi bilan ifodalanib, faollashgan kvant zarralar o‘rab turgan atrof muhitga o‘zining energiyasini berishi jarayonini anglatadi. Bu yerda, shuni gumon qilish mumkin-ki, energiya uzatish kanali chegaralangan o‘tkazuvchanlikka egadir va yutilish spektral chiziq intensivligining o‘zgarish jarayonida (kamayganda) – shu chiziq to‘yinadi.

Qayd etilgan jarayon kvant elektronikada muhim rol o‘ynaydi, chunki u optik kvant kuchaytirgichlarda kvant kuchaytirish koeffitsientini chegaralaydi va kvant generatorlarda tebranish amplitudasini ma’lum doirada ushlab turadi.

Mana shu holatda faol muhit uzunligi bo'yicha fotonlar oqimining intensivligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_z = I_0 \exp[(G - \beta_z)z] \quad (1.26)$$

bu yerda β_z - muhitda energiyaning umumiy yo'qolish miqdori.

Umumiy holatda majburiy tebranishni hosil qilish uchun quyidagi shartlar bajarilishi lozim:

1. Bo'lingan energiya sathlarga ega modda mavjudligi: $\Delta E = E_n - E_m = h\nu_{nm}$,
2. Shu moddada bandlik inversiyasini va ikkita qo'shni energetik sathlar orasida kvant o'tishni hosil qilishga erishish (invertlangan muhitni paydo qilish):
 $\Delta N = N_n - N_m > 0$,
3. Faol muhitda kvant kuchaytirish koeffitsienti shu muhitdagi barcha energiya yo'qotilishlardan ortiq bo'lishini ta'minlash: $G \geq \beta_z$

1.4. Spektral chiziqlar kengligi va shakllari

Nurlanishning eng muhim xarakteristikasi uning spektri hisoblanadi, ya'ni nurlanishni hosil qilayotgan elektromagnit maydonni tashkil etuvchi monoxramatik to'lqinlar to'plami tushuniladi. Monoxramatik to'lqin – qat'iy monoxramatik tebranish yo'q, ideallashtirilgan hodisa hisoblanadi. Har bir real lazer manbai nurlanishi to'lqinlarning kvazimonoxramatik turiga mansub bo'ladi, ya'ni $\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ o'rtacha tebranish chastotasi va spektr kengligi $\Delta\nu_N$ bilan xarakterlanadigan elektromagnit to'lqinlar turini ifodalaydi. Bu kabi to'lqinlar kichik chegarali spektr bilan chegaralangan spektrga ega bo'lib, ayrim holatda bir necha monoxramatik tashkil etuvchilardan iborat bo'lishi mumkin.

Xuddi shunday monoxromatik lazer nuri, yani yorug'lik to'lqinining apparat funksiyasi ma'lum $\delta\nu$ kenglikka ega bo'ladi. Moddaga tushgach undan sochilayotgan to'lqinning apparat funksiyasi modda bilan to'lqinning o'zaro ta'sirlashuvi tufayli kengayadi va $\delta\nu''$ qiymatga ega bo'lib qoladi. Bu funksiyalar uchun $\delta\nu < \delta\nu''$ shart bajariladi. Sochilayotgan Mandelshtamm-

Brillyuen yoki har qanday spektrda yutulishga mos komponentalar ham paydo bo‘ladi. Ularni o‘qish orqali modda tuzulishi, ularda sodir bo‘layotgan jarayonlar mexanizmlari va kinetikasi haqida qimmatli ma’lumotlarni olish mumkin bo‘ladi.

Bor postulati bo‘yicha $\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}$ ideal garmonik ossillyator nurlanish spektri cheksiz ingichka chiziqqa o‘xshaydi, chunki mana shu nisbatda energetik sathlar kengligi aniq ifodalangan emas, balki uning kengligi cheksiz holatda tushuniladi. Umuman, energiya sathlari cheklangan kenglikka egadir. Shuning uchun nurlanish ma’lum ν_0 atrofida chastotalar oralig‘ida ro‘y beradi. Belgilangan ν_0 chastotasida energiya nurlanishi eng katta qiymatga ega bo‘lib, undan chetlashgan tarzda kamayib boradi.

Endi o‘tishlar sodir bo‘ladigan chastotalarni ko‘rib chiqsak.

Belgilangan chastota intervalida nurlanish intensivligi yoki uning yutilishi maksimal qiymatga qaraganda teng yarimiga o‘zgarsa, bu oraliq spektral chiziq $\Delta\nu_N$ kengligi deb aytiladi. Spontan o‘tishlar orqali aniqlanadigan spektral chiziq kengligi tabiiy kenglik(shirina) deb nomlanib, quyidagicha topiladi:

$$\Delta\nu_N = A_{nm} / (2\pi) \quad (1.27)$$

bu yerda $A_{nm} = \frac{1}{\tau_{nm}}$ - spontan o‘tish ehtimolligi, ya’ni zarralarning faollashgan energetik holatdagi o‘rtacha vaqtiga teskari proporsional bo‘lgan kattalik. Boshqacha aytganda, tanlangan energetik sath bandligi $\nu = 2,7$ marta kamaygan holat tushuniladi.

Spektral chiziqning tabiiy kengligi bilan boshqa kvant mexanika muhim tushunchasi τ_{nm} - faollashgan sathda zarrachaning yashash vaqtiga bog‘liqdir. Faollashgan energetik sathni dt vaqt oralig‘ida spontan tarzida tanlangan sathni tark etayotgan zarralar soni quyida keltirilgan formula bilan aniqlanadi:

$$dN_n(t) = -A_{nm}N_n(0)dt \quad (1.28)$$

yoki

$$\frac{dN_n(t)}{N_n(0)} = -A_{nm} dt \quad (1.29)$$

Bundan kelib chiqadiki,

$$N_n(t) = N_n(0)e^{-A_{nm}t} = N_n(0)e^{-\frac{t}{\tau_{nm}}} \quad (1.30)$$

bu yerda $N_n(0)$ - boshlang'ich $t=0$ vaqtidagi n – chi faollashgan energetik sath bandligi. SHunday qilib, kvant zarraning o‘rtacha yashash vaqti

$$\tau_{nm} = \frac{1}{A_{nm}} = \frac{1}{2\pi\Delta\nu_n} \quad (1.31)$$

bilan belgilanadi.

Odatda, chiziqning tabiiy kengligi kichik bo‘ladi. U hech qanday tashqi omil bilan bog‘liqmas va sun’iy ravishda uning intervalini kamaytirish mumkin emas. Ko‘rinadigan nurlanish diapazonning holatida shunday chiziq kengligi bir nechta o‘n kHz, santimetrli to‘lqinlarda – 1 Hz dan ham kam qiymatga tengdir.

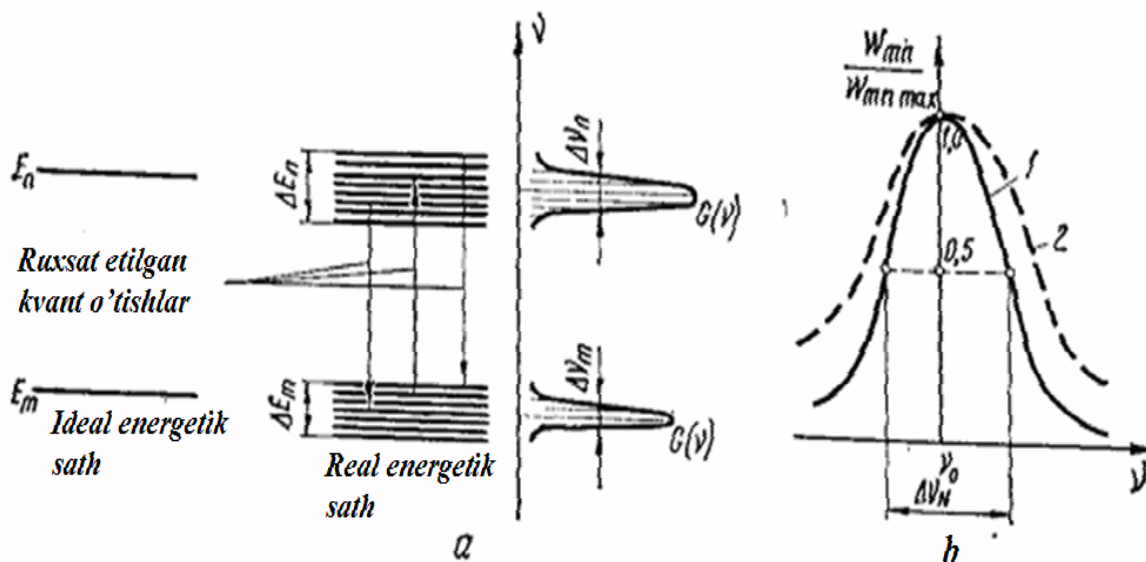
Yana shu yerda ta’kidlash kerakki, spektral chiziq kengligi ΔE_m va ΔE_n sathlar orasida kvant o‘tishlar sodir etilayotgandagi umumiy shu sathlar kengligi bilan aniqlanadi, ya’ni biz buni quyidagi formula shaklida ifodalashimiz mumkin:

$$\Delta\nu_{mn} = \frac{\Delta E_m + \Delta E_n}{h} \quad (1.32)$$

Chiziqlar shakli nurlanish chiqarilish va yutilish uchun bir xil bo‘lib, $F(\nu)$ spektral chiziqning kontur tenglamasi bilan ifodalanadi. Bu spektral chiziqni Lorens chizig‘i shakli yoki form – omil deb nomlanadi va quyidagicha aniqlanadi:

$$F(\nu) = \frac{1}{\pi} \frac{\Delta\nu_N}{(\nu - \nu_0)^2 + \Delta\nu_N^2} \quad (1.33)$$

Grafik ko‘rinishda 1.3-rasmda bu holat keltirilgan.



1.3-rasm. Lorens chizig'i shakli yoki form-omil

Agar Lorens shakldagi chiziqni normallashtirish kerak bo'lsa, u holda

$$\int_{-\infty}^{\infty} F(\nu) d\nu = 1 \quad (1.34)$$

Real vaziyatda faol muhitlarda spektral chiziq ke'gayishiga (1.3b-rasm, 2-chiziq) deb nomlangan holatga olib keladigan bir qancha sabablar mavjud, ya'ni real kvant ossillyator nurlanish spektri chastotalar qatoriga o'xshab ketadi.

Mana shunday hodisaning asosiy sabablaridan biri sifatida elektromagnit maydon bir xil tuzilgan emasligi tufayli faollashgan holatda kvant zarrachalarning yashash vaqtining kamayishini ko'rsatish mumkin.

Energetik sath kengligi noaniqlik prinsipi bilan belgilanadi. Bu prinsipga ko'ra, holat va impulsi qat'iy tarzda aniq bo'lgan fizik jinsdan farqli kvant zarrachaning inersiya markazi va impulsi aniq qiymatlarni qabul qila olmaydi [11]. Agarda biron-bir faollashgan energetik sathda kvant zarraning yashash vaqti τ_{nm} ga teng bo'lsa, u holda noaniqlik prinsipiga asosan bu energetik sath kengligi aniq emas (1.3a-rasm) [11]:

$$\Delta E_{mn} \approx \frac{\hbar}{\tau_{nm}} \quad (1.35)$$

bu yerda $\hbar = \frac{h}{2\pi} = (1,0545887 \pm 0,0000054) \cdot 10^{-34} \text{ c}$ - Plank doimiysi.

Bulardan kelib chiqadiki, ΔE_{nm} energetik sath kengligi muayyan energetik holatda zarraning yashash vaqtiga bog'liq ekan. Kam yashash vaqtiga ega zarralar nisbatan katta bo'lgan, keng bo'lgan sathlarga ega bo'ladi. A_{nm} kattalik ortgan sari, yashash vaqti kamayib boradi.

Kvant elektronikada ishlatilayotgan faol muhitlar elektromagnit maydon bilan uzoq vaqt ta'sirlashishni ta'minlash uchun metastabil sathga ega bo'lishi shart. Metastabil sathlar kichik kenglikka ega bo'ladi. Asosiy energetik sathda unda joylashgan cheksiz yashash vaqtiga ega zarrachalar bo'lsa, unda bu sath shuncha cheksiz kichik energetik sathni tashkil etadi. Mabodo energetik sath kengayishi ro'y bersa, demak, u holda chastota bo'yicha quvvat taqsimlanishi ro'y beradi va bu holat yutilish yoki nurlanish chiqarishining chiziqli shakli bilan xarakterlanadi.

Amalda spektral chiziq kengligi tabiiy chiziq kengligiga qaraganda ancha katta bo'ladi. Masalan, lyuminitensiya kondensirlangan faol muhitda chiziq kengligi 10 cm^{-1} , unga nisbatan tabiiy kengligi 10^{-8} cm^{-1} ga tengdir. Bunday bo'lishining sabab deb, real jarayonlarda chiziqlarning kengayishiga olib keladigan omillarni ko'rsatish mumkin. Chiziq shakli saqlangan holda kengligi ortishi bir jinsli kengayish deb nomlanadi. Spektral chiziqning bir xilda kengaymasligi, har bir o'tish atomi o'zining chastotasiga ega bo'lganda ro'y beradi. Unga xos gazli faol muhitlardagi Doppler kengayishini misol sifatida ko'rsatish mumkin.

Atomlar har xil yo'nalishda va turli \vec{g} tezlik bilan xarakatlanishi tufayli nurlanish spektrida yoki yutilishining spektral chizig'i chastotalarning Doppler siljishi $\nu - \nu_0 = \pm \frac{\nu_0 g}{c}$ bilan aniqlanadigan chastotalar paydo bo'lib qoladi. Termodinamik muvozanat holatida spektral chiziq shakli Gauus qonuni [11] bilan yoritish mumkin:

$$G_0(\nu) = \sqrt{\ln \frac{2}{\pi}} \frac{1}{\Delta\nu_0} \exp\left[-\ln 2(\nu - \nu_0)^2 / \Delta\nu_0^2\right] \quad (1.36)$$

tezlik bo'yicha zarralar taqsimotini hisobga olingan holatda Doppler spektral chiziq kengayishi quyida keltirilgan formula asosida topiladi:

$$\Delta\nu_0 = 2\nu_0 \sqrt{\frac{2RT}{Mc^2} \ln 2} \quad (1.37)$$

bu yerda T – harorat (K), $M=0.911 \cdot 10^{-30}$ kg - elektron massasi.

Gazli faol muhitlarda doppler kengayishi 1000 MHz – gacha borishi kuzatiladi. Ammo, qattiq jismlarda bunday o'zgarish juda kichik, chunki gazli muhitdan farqli ravishda aktivator ionlari kristal bog'lar bilan qattiq bog'langan va birinchi yaqinlashish uchun harakatsiz deb hisoblash xato bo'lmaydi. 1.2-rasmdagi b – holatda tabiiy (1) va dopler (2) spektral chiziqlari ko'rsatilgan.

Agarda kvant sistema tashqi magnit maydon ta'siriga tushib qolsa, birlamchi holatga nisbatan ΔE_m qiymatga E_m energetik sath siljishi tasdiqlanadi. Bunday yagona E_m sath bir nechta kichik sathlarga parchalanadi.

Parchalanish, tashqi magnit maydon ta'sirida energetik sath kengayishi Shtark effekti, bir xil energiyali g_m holatlar soni - sath qayta shakillanish darajasi (soni) deb aytiladi. Xuddi shunday parchalanish va spektral chiziq kengayishi elektromagnit maydon ta'sirida kuzatilsa, u holda bunday hodisa Shtark effekti deb nomlanadi.

Ikkala hodisa - Shtark va Zeeman effekti spektral chiziq kengayishiga o'zining hissasini qo'shadi.

Bob yuzasidan qisqacha xulosalar

1. Lazerlarning yaratilish tarixi o'rganildi. Uning bashorat qilinishi A. Eynshteyn, kashf etilishi Basov, Proxorov, Tauns va boshqalarning faoliyati bilan bevosita bog'liq ekanligi o'rganildi;

2. Lazerlarning ishlash prinsiplari va fizik asoslari o'rganildi. Kvant elektronikasi – qattiq jismlar tarkibiga kiruvchi elektronlar bilan elektromagnit

nurlanishning o‘zaro ta’sirlashuvi natijasida sodir bo‘luvchi hodisalarni o‘rganuvchi fizikaning sohasi ekan;

3. Lazer texnikasi va lazer fizikasining rivojiga o‘zbek olimlaridan akademik P.Q. Habibullaevning shogirdlari bilan qo‘shgan hissasi ham salmoqlidir. O‘zbekiston FA Issiqlik fizikasi institutining Moskva davlat universiteti, Fizika institutlari olimlari R.V. Xoxlov, Gulyaev va boshqalar bilan hamkorlikdagi tadqiqotlari shular jumlasidandir;

4. Hamisha ham kvant o‘tishlar sodir bo‘lavermaydi. Ularning ayrimlariga o‘tishga ruxsat beriladi, boshqalari esa man etiladi. Kvant mexanikada saralash qoidasi mavjud bo‘lib, unga ko‘ra kvant o‘tishlar ajratiladi. Ruxsat etilgan va man etilgan kvant o‘tishlar o‘tish ehtimolligi bilan belgilanadi;

5. Nurlanishning eng muhim xarakteristikasi uning spektri hisoblanadi, ya’ni nurlanishni hosil qilayotgan elektromagnit maydonni tashkil etuvchi monoxromatik to‘lqinlar to‘plami tushuniladi;

6. Parchalanish, tashqi magnit maydon ta’sirida energetik sath kengayishi Shtark effekti, bir xil energiyali g_m holatlar soni – sath qayta shakillanish darajasi (soni) deb aytiladi. Xuddi shunday parchalanish va spektral chiziq kengayishi elektromagnit maydon ta’sirida kuzatilsa, u holda bunday hodisa Shtark effekti deb nomlanadi;

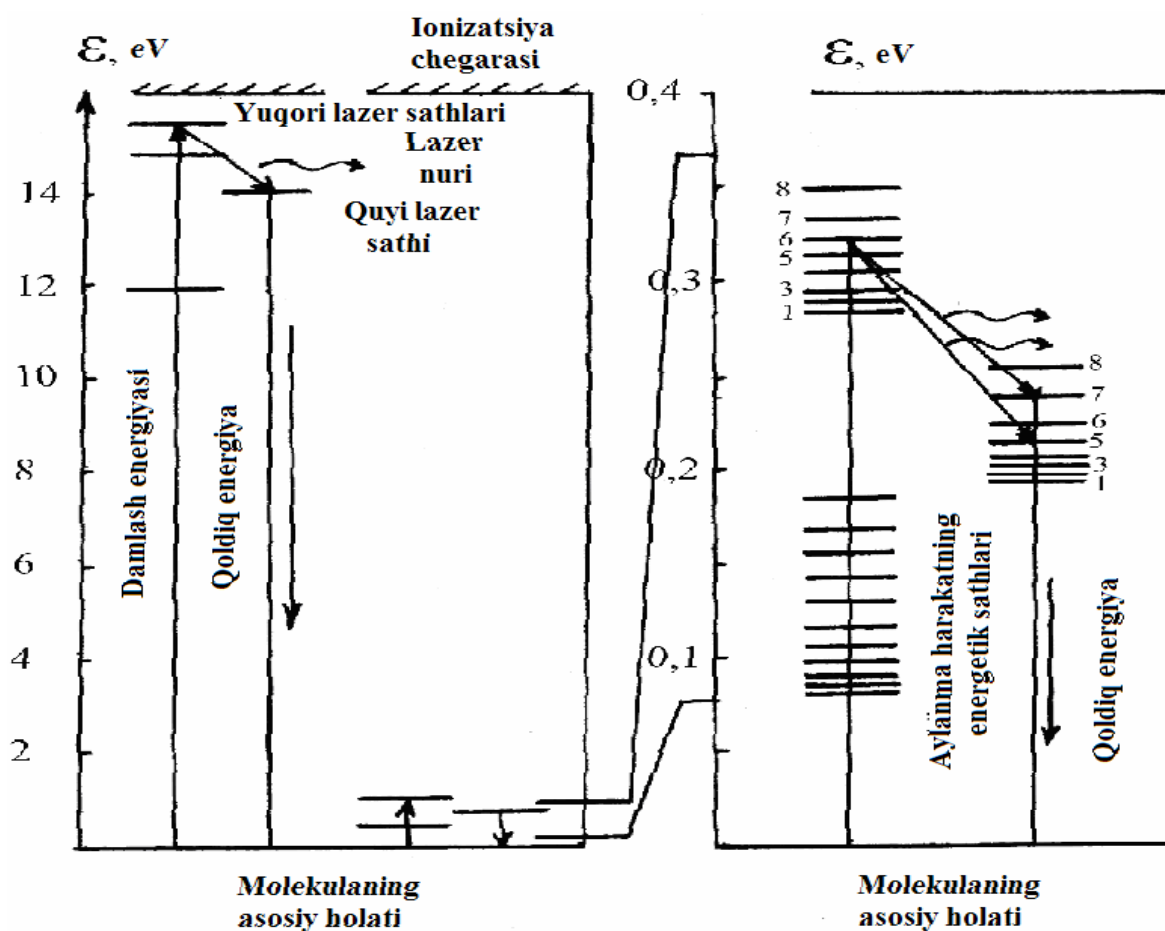
7. Energiya yutilishi ma’lum chegaraviy qiymatga intiladi. U relaksatsiya tezligi bilan ifodalanib, faollashgan kvant zarralar o‘rab turgan atrof muhitga o‘zining energiyasini berishi jarayonini anglatadi.

II BOB. MIKROELEKTRONIKADA QO'LLANILADIGAN LAZERLARNING TUZILISHI VA ISHLASH TAMOYILLARI

2.1. Uglrod ikki oksidli lazer

Hozirgi kunda mikroelektronika sanoatida turli lazerlardan foydalanilmoqda. Shulardan biri bu uglrod ikki oksid (CO_2) gazida ishlovchi va o'rta infraqizil ($\lambda=10,6$ mkm) diapazonda nurlanish beruvchi lazerdir.

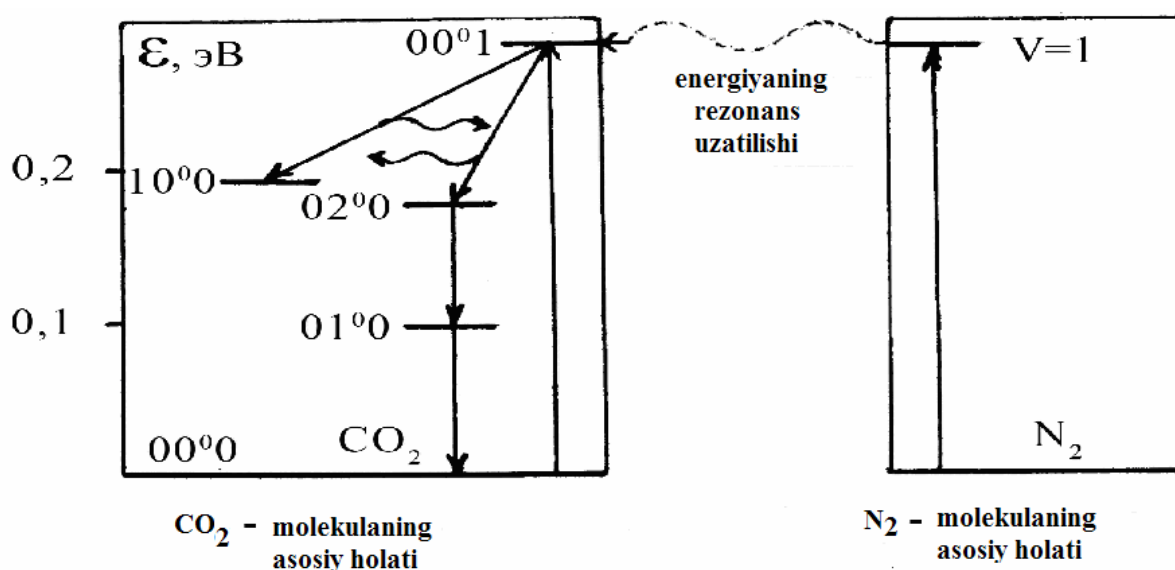
Uglrod ikki oksidi asosidagi lazerning uzluksiz ish rejimidagi kogerent nurlanish quvvati yuzlab kilovattga etadi. Shu sababli, ushbu lazerlardan mikroelektronikaning turli jabhalarida foydalanish imkoniyatlari keng.



2.1-rasm. Molekulaning elektron, tebranma va aylanma harakat energetik sathlari va ularda joylashgan zarrachalarning kogerent nurlanish berib o'tishlarining diagrammasi [4].

Gaz molekulasining energetik sathlari elektronlarning molekuladagi holatidan tashqari molekulaning tebranma va aylanma harakatlariga ham bog'liq bo'lganligi uchun molekulyar gazlarning nurlanishi molekulaning elektron energetik sathida bir-biridan teng oraliqda joylashgan bir qancha tebranma energetik sathlar, va o'z navbatida har bir tebranma sathda esa qator aylanma energetik sathlar joylashgan bo'ladi (2.1-rasm).

Tarixan birinchi molekulyar gazli lazerlarda ikki atomli molekulaning elektron sathlari orasidagi o'tishlarda kogerent nurlanish olingan (2.2-rasm).



2.2-rasm. CO₂ va N₂ molekularining quyi tebranma enegetik sathlari va ulardagi lazer nurlanishli o'tishlar [9].

Molekulaning biror "yuqori" tebranma–aylanma energetik holatidan "quyi" tebranma-aylanma energetik holatiga o'tishda kogerent nurlanish olish uchun birinchidan «yuqori» energetik sathdagi molekular soni "quyi" energetik sathdagi molekular sonidan katta bo'lishi va ikkinchidan kvant tanlov sharti bajarilib, aylanma harakat momenti faqat $\pm h/2\pi$ ga (bu yerda h - Plank doimiysi bo'lib, qiymati $6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s) o'zgarishi kerak. Ikki tebranma-aylanma energetik holatlardagi o'tishlar natijasidagi molekularning nurlanish spektrida tebranma-aylanma nurlanish yo'lkalari hosil bo'ladi. Uzunroq to'lqin

uzunlik tomonli nurlanish chiziqlari $+h/2\pi$ shartni qanoatlantiruvchi molekula harakat momentining o'zgarishga mos keladi va "P-shoxcha"ni hosil qilinadi. Qisqaroq to'lqin tomonli nurlanish chiziqlari molekula harakat miqdorining- $h/2\pi$ ga o'zgarishini qanoatlantiradi va "P-shoxcha" nurlanish to'plamini hosil qiladi.

Shunday tebranma-aylanma energetik holatlardagi o'tishlar, infraqizil sohada nurlanish hosil qilib, barcha ko'p quvvatli molekulyar lazerlardagi jarayonlarning asosini tashkil etadi. Birinchi erkinlik darajasi molekula atomlarining, molekula o'qi bo'ylab simmetrik tebranishga bog'liq va v_1 deb belgilanadi. Ikkinchisi ham simmetrik tebranishga bog'liq. Faqat bu holda CO_2 molekulasi o'z o'qiga nisbatan ko'ndalang yo'nalishdagi tebranish-larini hosil qilib, uni deformatsiyali tebranishlar deyiladi va v_2^e deb belgilanadi. va nihoyat molekula o'qi bo'ylab nosimmetrik tebranish bo'lib, u v_3 deb belgilanadi.

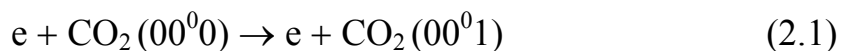
Sodda holda, bu uch xil tebranishlar bir-biridan mustaqil deb olinishi mumkin. Shuning uchun molekulaning tebranma harakatiga bog'liq holatlari uchta kvant raqamlar bilan belgilanishi mumkin va ular mos ravishda v_1 , v_2^e , v_3 -lar bilan belgilanadi. Bu kvant raqamlar ma'lum bir tebranish holatiga mos keluvchi kvantlar sonini va ushbu e-belgi deformatsiyali tebranishlarni qutblanganligini bildiradi. CO_2 molekulasining va inversiya uchun muhim bo'lgan N_2 -molekulasining quyi energetik sathlarining belgilanishi 2.6-rasmda keltirilgan.

To'lqin uzunliklari 10,6 va 9,6 mkm bo'lgan kogerent nurlanish generatsiyasi CO_2 molekulalarining mos ravishda yuqori 00^01 sathidan 10^00 ($\lambda = 10,6$ mkm) yoki 02^00 ($\lambda = 9,6$ mkm) sathlarga majburiy nurlanish berib o'tishda hosil bo'ladi. Nurlanish generatsiyasi optimal bo'lishi uchun CO_2 gaziga azot va geliy qo'shiladi.

Inversiya hosil bo'lishini 2.6-rasmdagi soddalashtirilgan energetik sathlar va asosiy elementar jarayonlar orqali tushuntirish mumkin. CO_2 molekulasining

yuqori 00^01 sathi CO_2 molekulari bilan quyidagi ikki jarayon orqali effektiv ravishda to'ldirilish mumkin:

1) CO_2 -molekulasi gaz razryadidagi energiyasi etarli bo'lgan erkin elektronlar bilan to'qnashganda 00^00 sathdan 00^01 sathga o'tadi, ya'ni



Bu jarayonni vujudga keltiruvchi to'qnashuv kesimining qiymati juda katta.

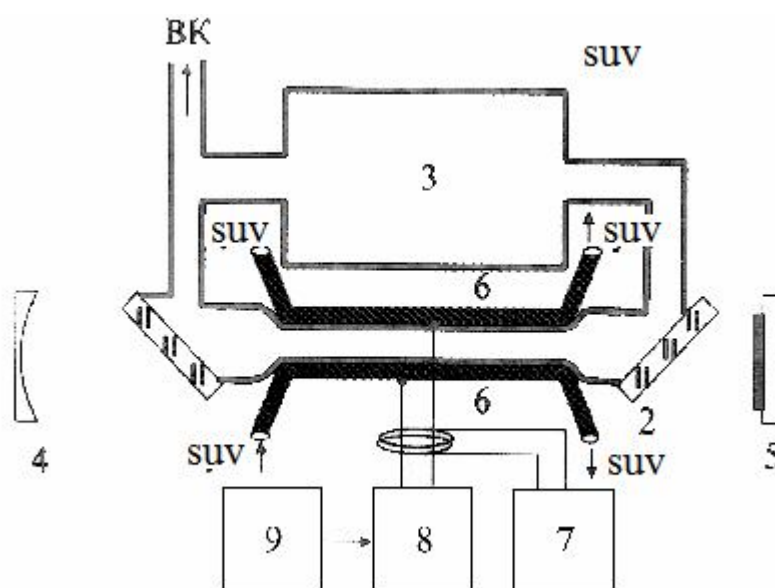
2) Azot molekulasidan CO_2 molekulasiga rezonans ravishda energiyaning uzatilishi. Azot molekulasining tebranma sathlari CO_2 molekulasining nosimmetrik tebranma energetik sathlari bilan mos tushadi va shuning uchun yuqori energetik sathlarda joylashgan azot molekulari o'z energiyalarini CO_2 molekulariga uzatadi. Azot molekulasining tebranma energetik sathlardagi holati metastabil holat bo'lib, uning bu holatlarda yashash vaqti bir necha sekundlar bo'ladi. Azot molekulasi gazli razryaddagi erkin elektronlar bilan to'qnashganda yuqori sathlarga o'tkaziladi va bu jarayonning kesimi ham katta bo'lib, gaz razryaddagi erkin elektron-larning 50 % gacha energiyasini o'ziga olishi mumkin. CO_2 molekula-sining quyi 10^00 sathidan tushib ketishi, qo'zg'atilmagan, ya'ni 00^00 sathda joylashgan molekula bilan to'qnashib, 01^00 sathda ikki molekula hosil bo'lishi bilan ro'y beradi. O'z navbatida 01^00 sathda joylashgan CO_2 molekulasi o'z energiyasini ishchi gaz aralashmasiga kiritilgan geliy atomlarga to'qnashib uzatadi va 00^00 sathga tushadi. Geliy atomi yuqori ionizatsiyali potensialga ega bo'lib, razryaddagi erkin elektronlarning o'rtacha energiyasini ko'tarishi bilan bir qatorda, issiqlikni yaxshi o'tkazuvchanligi uchun gaz aralashmasini sovutishga yordam beradi. CO_2 -molekulasining asosiy 00^00 sathi bilan qo'yi 01^00 lazer sathlari orasidagi energiya farqi kichik bo'lganligi sababli gaz aralashmasini sovutib turish kerak. Ishchi gaz aralashmasining temperaturasi 700-800K dan oshmasligi kerak. SHuning uchun gaz razryadiga kiritilayotgan elektr quvvatining miqdori (issiqlik) chegaralangan bo'ladi va lazer nurlanish quvvati ham chegaralangan bo'ladi. Gaz aralashmasining sovushi qo'zg'atilgan molekularning razryad nayi devori

tomon diffuziyasi va o'z navbatida to'qnashuvlarda energiyasini berish bilan ro'y beradi. SHuning uchun ham razryad nayi diametrini juda ham kattalashtirib bo'lmaydi. Odatda gaz molekulalarining diffuziyasi hisobiga sovuvchi lazerlarda razryad nayining diametri 10 cm dan oshmaydi. Molekulyar lazerlardagi gazli razryad xususiyati "o'xshash" lik qonuniga bo'ysunadi va berk hajmli holatda ishlovchi CO₂-lazeri uchun R-d ko'paytma 530 Pa. cm ga teng deb olinishi mumkin (bu yerda R-CO₂ gazining parsial bosimi, d-nayining ichki diametri).

Berk hajmli va diffuziya asosida sovutiluvchi CO₂ lazerining birlik hajmidan olinadigan nurlanishning maksimal quvvati quyidagi

$$W_{b.h.} \sim v_t N_m \cdot (\lambda / d^2) \quad (2.2)$$

ifoda bilan aniqlanishi mumkin.



2.3-rasm. CO₂ lazerining konstruksiyasi. Uning tavsif va parametrlarini o'lchash qurilmasining sxematik chizmasi. 1-razryad nayi, 2-NaCl shishasi, 3-qo'shimcha hajm, 4 va 5-sferik va yassi ko'zgular, 6-mis nayli YuCH-elektrodlar, 7-YuCH ossillograf, 8-YuCH generator, 9-Past chastotali generator [7].

Bu yerda v_t , N_m va λ lar mos ravishda CO₂ molekulasining issiqlik harakatidagi tezligi, konsentratsiyasi va erkin yugurish yo'li; d-razryad nayining

ichki diametri. Bu holda faol muhitning birlik uzunligidan olinadigan quvvat quyidagi

$$W(e) = S \cdot N_m \cdot \lambda \quad (2.3)$$

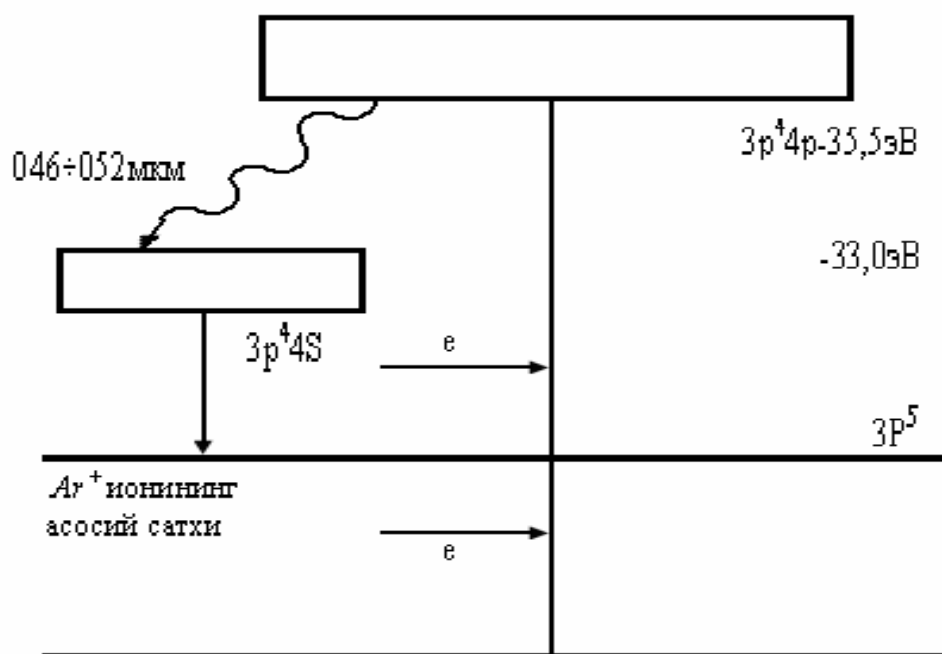
ifoda bilan aniqlanadi va u d ga bog'liq emas (S -o'zgarmas kattalik). $N_m \cdot \lambda = \text{const}$ bo'lgani uchun $W(e)$ kattalik ham bosimga bog'liq emas va doimiy qiymatga (taxminan 50 W/m) ega.

Yuqori chastota ko'ndalang razryadli CO₂ lazerining sxematik chizmasi 2.3-rasmda ko'rsatilgan.

Rasmdan ko'rinib turibdiki CO₂ lazeri chetlari Bryuster burchagi ostida NaCl shishasi 5 bilan yopilgan va yonida silindrik ko'rinishga ega 2 hajmdan va asosiy razryad 1 nayidan, hamda optik rezonator vazifasini bajaruvchi mos holda sferik 3 va yassi 4 ko'zgulardan iborat. Razryad nayining ichki diametri 6 mm va uzunligi 300 mm. Razryad nayida yuqori chastotali razryad hosil qilish va undagi gaz aralashmasini sovutib turish uchun mis nayli 6 elektrodlar joylashtirilgan. Bu mis naychadan sovuq suv uni sovutib turadi. O'z navbatida mis naylar razryad nayini hamda uning ichidagi gaz aralashmasini sovutadi. Vakuum qurilma (VQ) razryad nayi ichidagi gaz aralashmasini so'rib olib, uning ichiga kerak nisbatda va bosimda gaz aralashmasi kiritish imkonini beradi. Yuqori chastotali razryad hosil qilish uchun tashqi mis elektrodarga YuCh generatordan 8 YuCh kuchlanish beriladi. YuCh tebranish chastotasi 80 MHz va quvvati esa 150 Wgacha etishi mumkin. Optik rezonator aks ettirish koeffitsienti 100% bo'lgan alyuminiyli 3 sferik va o'tkazish koeffitsienti 7 % dielektrikli qatlarga ega bo'lgan germaniyli yassi 4 ko'zgulardan iborat. Razryad nayi ichiga ishchi gaz aralashmasi kiritilib, unda YuCh kuchlanish yordamida razryad hosil qilinsa, faol muhitda invers bandlik vujudga keladi va CO₂ molekulasiining 00⁰1 sathga o'tishda to'lqin uzunligi 10,6 yoki 9,6 mkm bo'lgan nurlanish hosil bo'lib, u ko'zgular oralig'ida tebrana boshlaydi, hamda bir qismi yassi ko'zgu tomonidan foydali nurlanish sifatida chiqadi.

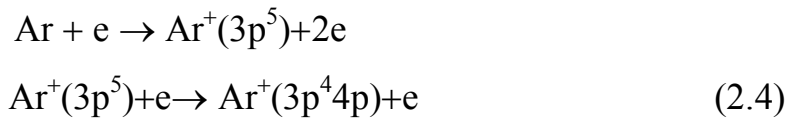
2.2. Argon gazi asosidagi lazer

Ionli lazerlarda kogerent nurlanish olishda g'alayonlantirilgan ionlardagi energetik sathlar orasida ionlarning majburiy o'tishlardan foydalaniladi. Ionli lazerlar ichida eng ko'p ishlatiladigani argonli lazerdir. Bu lazerda ko'plab spektral chiziqlarda kogerent nurlanish olingan. Argon lazerning asosiy quvvati 0,488 va 0,514 mkm to'lqin uzunliklarda jamlangan. Argon lazerning ishlash tamoyilini ko'rish uchun argon ionining energetik sathlarining soddalashtirilgan (2.4-rasm) diagrammasidan foydalanamiz.



2.4-rasm. Argon ioni energetik sathlarining soddalashtirilgan diagrammasi

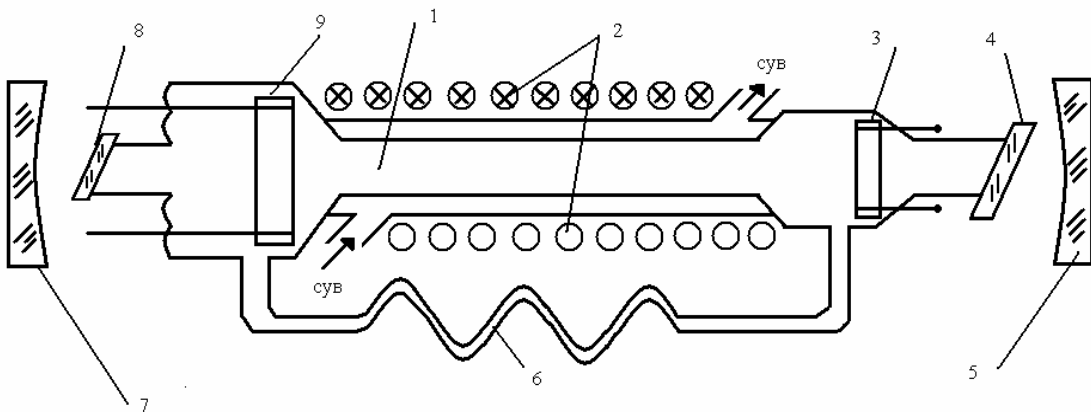
Argon lazerida invers bandlik va undagi majburiy kogerent nurlanishlar argon ionining $3p^4p$ va $3p^4s$ sathlar orasidagi o'tishlarida olinadi. Yuqori lazer $3p^4p$ sathni elektronlar bilan to'ldirilishi, ya'ni sathni g'alayontirilishi zinapoya usulida hosil qilinadi. Avval gaz razryadidagi erkin elektronlar argon atomini ionlashtiradi, undan so'ng argon ionidagi elektronlar bilan to'qnashib, ularni $3p^4p$ yuqori lazer sathiga chiqariladi. Bu jarayon quyidagi



tenglama bilan ifodalanadi.

Elektronlarning yuqori, ($3p^44p$) lazer sathida yashash vaqti $\sim 10^{-8}$ s bo'lib, bu vaqt quyi ($3p^44s$) lazer sathida elektronlarning yashash ($\tau \sim 10^{-9}$) vaqtidan 10 marta katta. Shu sababga ko'ra invers bandlik va majburiy o'tishlar orqali kogerent nurlanish olish imkonini beradi. Ushbu jarayonlar gaz razryadidagi elektronlarning katta konsentratsiyasida ro'y beradi. Buning uchun yoy razryadidan foydalaniladi razryad nayida elektr tokining zichligi $\sim 100 \text{ A/sm}^2$ gacha yotishi mumkin).

Argon lazer qurilmasining konstruksiyasi 2.5-rasmda keltirilgan. Faol element keramik kapillyardan tashkil topgan.



2.5-rasm. Ionli argon lazerining tuzilishi.

1-kapilyar razryad nayi, 2-doimiy magnit, 3-anod, 4 va 8-chiqish oynalari, 5 va 7-rezonator ko'zgulari, 6-aylanma nay, 9-katod.

Razryad nayiga anod va katod elektrodlar joylashtirilgan. Bu elektrodlar orasiga katta tok hosil qila oladigan doimiy elektr kuchlanishi beriladi. Razryad nayining chetlari Bryuster burchagi ostida o'rnatilgan kvarts shisha oynalar bilan berkitilgan. Razryad nayida yoy razryad hosil qilingani uchun unda katta issiqlik ajralib chiqadi. Shuning uchun razryad nayi suv bilan sovutilib turilishi shart. Razryaddagi elektronlar konsentratsiyasini orttirish, shu orqali lazer

nurlanishi quvvatini orttirish uchun razryad nayi o'qi bo'ylab joylashgan magnit maydonini hosil qilinadi.

Lazerning optik rezanatorini o'zaro parallel va razryad nayi o'qiga ko'ndalang joylashgan 5 hamda 7 ko'zgular hosil qiladi.

Razryad nayining ichida anod va katod oralig'iga qo'yilgan doimiy kuchlanish natijasida katod tomon harakatlanayotgan musbat ionlar oqimi argon gazini katodli qismiga siljitadi va buning natijasida, gaz bosimining farqini yo'qotish uchun razryad nayining anodli qismini katodli qismi bilan tutashtiruvchi uzunligi razryad nayi uzunligidan bir necha bor katta bo'lgan ingichka shisha nay ulanadi.

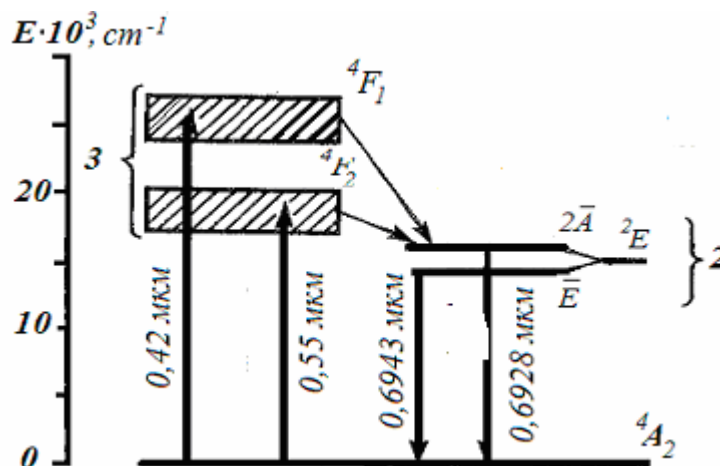
Argon lazerlari uzluksiz va impulsli holatlarda ishlashi mumkin. Impulsli holatda nurlanish olish uchun anod va katod oralig'iga impulsli kuchlanish beriladi. Sanoat miqyosida xalq xo'jaligi uchun ishlab chiqilgan argon lazerining maksimal quvvati uzluksiz ish holatida 20 Vt ni tashkil etadi. Argon lazerlar mikroelektronika sohasida, meditsinada va ilmiy tadqiqot ishlarida foydalaniladi.

2.3. Yoqut lazeri

Yoqut lazeri 1960 yili amerikalik olim T.Meyman tamonidan yaratilgan va u dunyodagi birinchi optik kvant generator edi. Bu lazerning paydo bo'lishi bilan lazerli texnikaning yaratilishi boshlandi.

Ushbu lazerda ishchi jism sifatida sun'iy (sintetik) yoqut, ya'ni Al_2O_3 alyuminiy oksidning kristali olingan. Bu moddadagi alyuminiyning bir qismi xrom moddasi bilan almashtirilgan. Ishchi jism bo'lgan Al_2O_3 ning ichida Cr_2O_3 ning massa bo'yicha miqdori taxminan 0,05% ni tashkil etadi. Faol ionlarning konsentratsiyasi 10^{18} cm^{-3} ni tashkil etadi. Yoqut kristalining panjarasida joylashgan va uch karra ionlashgan xrom atomi tashqi qobig'ida uch elektron joylashgan. Kristall panjaraning hosil bo'lishida xrom atomi 4s qobiqdan bir elektronni yo'qotadi.

Yoqut kristalining ba'zi bir issiqlik xususiyatlarining parametrlarini 2-jadvaldan aniqlasa bo'ladi. Yoqut kristali yorug'lik spektrining yashil va zangori sohalarida nurlanishni yaxshi yutib, qizil rang sohasida ($\lambda=0,6943$ mkm) nurlanish beradi. Bu nurlanish chizig'ining eni 0,4 nmni tashkil etadi.



2.6-rasm. Yoqut lazerida generatsiya hosil bo'lishining soddalashtirilgan chizmasi [9]

Ushbu lazerning ishlash tamoyilini tushuntirish uchun kerak bo'ladigan Cr^{3+} ionining energetik diagrammasi 2.6-rasmda keltirilgan.

Optik damlash lampasining nurlanishi ta'sirida xrom ionining asosiy "A" sathidagi elektronlar yuqori " 4F_1 " yoki " 4F_2 " satxlarga chiqariladi. Bu sathdan elektronlar nurlanishsiz qisqa vaqt (10^{-8} s) ichida 2E metastabil sathlardan biriga o'tadi. Bu sathda elektronning yashash vaqti 3 ms atrofida. Ushbu yoqut lazeri uch energetik sathli sistemada 1 va 2 sathlar orasida invers bandlik hosil qilib, kogerent nurlanish generatsiyasi olinadi. Asosiy sath quyi lazer satxi bo'lgani uchun barcha faol zarralarning yarmidan ko'pini g'alayonlantirish zarur. (Asosiy satxdagi barcha elektronlarning yarmidan ko'prog'i yuqori (4F_1 va 4F_2) lazer sathlariga chiqarilishi zarur.) Yoqut lazerining ushbu kamchilligi 5,1-jadvaldan xam ko'rinib turibdi. Yoqut uchun chegaraviy optik damlash energiyasi ~ 100 dan 1000 J atrofida bo'ladi, ya'ni 1 cm^3 hajmiga 50 J energiya to'g'ri keladi.

Yoqutda majburiy o'tishning kesimi $\sigma=3\cdot 10^{-20}$ cm² ni tashkil etadi. Agar xrom ionlarining konsentratsiyasi $N_0\approx 10^{18}$ cm⁻³ bo'lsa, yoqutli faol elementning kuchaytirish koeffitsienti $K_0=\sigma\cdot N_2\approx 10^{-2}$ cm⁻¹ ni tashkil etadi.

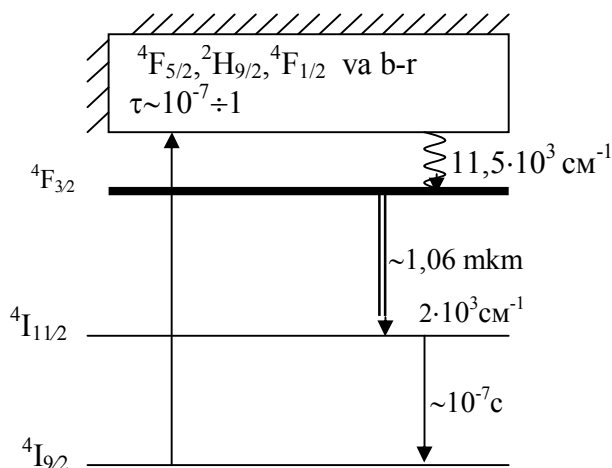
Lazerlarda faol element sifatida ishlatiladigan yoqut kristallarning o'lchamlari quyidagicha: diametri 5÷10 mm, uzunligi 10÷15 cm va bunday kichik qiymatlar bo'lishiga sabab, bir jinsli sun'iy yoqut kristallini tayyorlashning texnologik jihatdan qiyinligidir, hamda optik damlashning bir jinsli emasligidir. Bunday o'lchamli yoqut kristallida nurlanishning difraksiyon yoyilishlari kichik qiymatlarga ($\lambda/bd\sim 10^{-4}$ rad) ega. Real sharoitda generatsiya jarayoni ko'p modali bo'lgani uchun nurlanishning yoyilish burchagi $10^{-3}\div 10^{-2}$ radianni tashkil etadi. Yoqut kristallining kichik o'lchamlari, bu lazerning energetik imkoniyatlarini cheklaydi. Real sharoitlarda, optik rezanatorning asilligini modulyatsiya qilingan holda, yakka lazer impulsining energiyasi 1 Joul atrofida bo'lib, nurlanish vaqti 10 ns ni tashkil etadi. Erkin generatsiya holatida esa 100 Joulgacha nurlanish energiyasini olish mumkin.

Yoqut lazeriga bag'ishlangan bayonning oxirida ushbu lazerning musbat va manfiy sifatlarini sanab o'taylik. Musbat sifatlariga kogerent nurlanish ko'zga ko'rinadigan sohada va lazer impuls-larining tez takrorlanishining mumkinligidir. Kamchiliklariga esa katta damlash energiyasi zarurligi, FIK-ning kichikligi, umumiy nurlanish energiyasining kichik (10 J) bo'lganligi, uzluksiz generatsiya olib bo'lmasligi hamda faol kristallarning o'lchami katta bo'lmasligidir.

2.4. Shisha asosli neodim lazerlar

Olim E.Snitser tamonidan 1961 yili optik damlashli asosidagi qattiq jism lazerining faol elementini hosil qilish uchun shisha asosga neodim ionlarini kiritishni taklif qilgan edi. Neodim ionining asosiy lazerli energetik satxlarining

diagrammasi 2.7-rasmda keltirilgan. Yoqut lazeridan farqli ravishda neodim lazeri to'rt sathli sxema asosida ishlaydi.



2.7-rasm. Neodim ionini energetik sathlarining soddalashtirilgan chizmasi [9].

Damlash lampasining nurlanishi spektrining 0,35-0,9 mikmli qismi neodimli shisha tamonidan yutiladi va bu jarayonda neodim ionining quyi asosi $I_{a/2}$ sathda yotgan elektronlar yuqori (${}^4F_{5/2}, {}^2H_{9/2}, {}^4F_{1/2}$ va boshqa) sathlarga chiqaziladi. Elektronlar bu satxlarda juda qisqa vaqt ($\tau \sim 10^{-7} \div 10^{-11}$ s) bo'lib, nurlanishsiz yo'l bilan metastabil ${}^4F_{3/2}$ sathga tushib to'planadilar. Bu sathda elektronlarning yashash vaqtlari $10^{-3} \div 10^{-4}$ s atrofida bo'lib, shisha turiga va neodim ionlari konsentratsiyasiga bog'liq. Elektronlarning ${}^4F_{3/2}$ yuqori lazer sathidan quyi ${}^4I_{1/2}$ lazer sathiga majburiy o'tishida $\lambda=1,06$ mikm to'lqin uzunligida kogerent nurlanish beradi. Bu nurlanish chizig'ining eni $20 \div 40$ nm atrofida yotadi. Pastki ${}^4I_{1/2}$ lazer sathi, asosiy ${}^4I_{9/2}$ sathdan atigi $2,2 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$ balandlikda joylashgan bo'lib, bu sathda elektronlarning yashash vaqti $10^{-7} \div 10^{-8}$ s ni tashkil etadi. Bu sathdan elektronlar o'z energiyalarini kristall panjaraga berib, nurlanishsiz asosiy ${}^4I_{9/2}$ sathga o'tadilar. Shuning uchun bu ikki lazer sathlari orasida osongina invers bandlik holati olinadi va buning uchun kichik damlash energiyasi (1 J/cm^3) sarf bo'ladi. Shunday qilib, to'rt sathli sistema, yoqut lazeridagi ko'p kamchiliklarini yo'qotish imkonini beradi.

Shishaga kiritilgan neodim ionining ichki ishchi sathlaridagi elektronlarni tashqi elektronlar tomonidan ekranirovka qilinishi natijasida yoqut lazeridagiga nisbatan shi-shaga kiritilayotgan neodim ionlarini konsentratsiyasini 10^{21} cm^{-3} gacha etkazish mumkin (optimal konsentratsiya $2,5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) va shishaga kiritilgan neodim uchun majburiy o'tishlarning kesimi $\sim 5 \cdot 10^{-20} \text{ cm}^2$ ni tashkil etgani uchun, faol zarralarnig atigi 5...10 % yuqori ishchi sathga chiqarilishi bilan 1 cm^{-1} li kuchaytirish darajasiga ega bo'lishi mumkin. SHisha asosli neodimning muhim xususiyatlaridan biri shuki, uning asosida katta o'lchamga ega va izotrop faol elementlarni yasash mumkin.

Hozirgi paytda lazerli texnikada, ko'ndalang kesimi 5...10 cm va uzunligi 2 m gacha yetadigan faol elementlar ishlatilmoqda. Katta o'lchamli faol elementlar impulsli rejimda katta energiyalar olish imkonini beradi. Hozirgi paytda neodimli shisha lazerlarda erkin generatsiya rejimida 1 kJ gacha energiya olingan. Neodimli shisha lazerlarining konstruksiyasi yoqut lazeri konstruksiyasidan kam farq qiladi. Faqat faol elementlarning o'lchamlari katta bo'lganligi uchun ularni optik damlash uchun bir nechta yorug'lik lampalari ishlatiladi. Bunday lazer-lardan chiqayotgan kogerent nurlanishning yoyilish burchagi katta ($\sim 10 \text{ mrad}$) bo'ladi. Bunga sabab lazer generatsiyasining ko'p modalarda ro'y berishidir. Yoyilish burchagini kamaytirish va katta energiyali nurlanish uchun odatda lazer-kuchaytirgich sistemasidan foydalaniladi. Buning uchun avval kam quvvatli lazerda parametrlari yaxshilangan sifatli kogerent nurlanish olinadi, so'ngra sifatli nurlanishni bir nechta kuchaytirgichlardan o'tkaziladi. Shunday "lazer-kuchaytirgich" sistemalarda impuls davomiyligi 10^{-9} s va energiyasi $10^4 \dots 10^5 \text{ J}$, ya'ni quvvati $10^{13} \dots 10^{14} \text{ W}$ bo'lgan kogerent nurlanish olinadi. Bunday energiyali nurlanishlar termoyadro reaksiya hosil qilish qurilmalarida ishlatiladi.

2.5. Ittiriy-alyuminiy granatli (IAG) lazerlar

Shisha asosli neodim lazerning asosiy kamchiliklaridan biri bu-uning faol elementining issiqlik o'tkazuvchanligining yomonligidir. Shuning uchun lazer nurlanishining takrorlanish chastotasi kichik, o'rta hisobda 1 minutda 1 impulsli nurlanish beradi. Ushbu kamchilikdan holi bo'lgan qattiq jisimli lazerlardan biri bu ittiriya-alyuminiy granatga faol zarra sifatida neodimli ionlari kiritilgan lazerlardir ($Y_3Al_5O_{12}$). Ushbu lazerlar ko'pincha IAG-lazerlar deb ataladi. V Geysits degan olim tomonidan taklif etilgan.

Ittiriya-alyuminiy granat asosga joylashgan neodim ioni to'lqin uzunliklari 500 dan 900 nm oraligida yotuvchi juda ko'plab nurlanishni yutuvchi yo'lkalarga ega, ya'ni 2.7-rasmda keltirilgan neodim ionining energetik sathlarining soddalashtirilgan chizmasida ko'rsatilgandek eng yuqori kengaytirilgan sathlarga ega. Lekin yuqori ishchi lazer sathiga o'tishida spektrining eni juda kichik (~ 1 nm) bo'lgan lazer nurlanishini beradi. Yuqori ishchi lazer sathida elektronning yashash vaqti $\sim 200 \div 300$ mks bo'lib, majburiy o'tishlarning kesimi $\sim 3 \cdot 10^{-19}$ cm^2 atrofida yotadi. Faol elementdagi neodim ionlarining konsentratsiyasi katta ($\geq 10^{20}$ cm^{-3}) bo'lgani uchun faol ionlarning kam qismini ($\sim 3 \div 5\%$) g'alayonlantirish bilan kuchaytirish koeffitsientini katta olish mumkin. Shu xususiyatlari uchun bunday lazer kichik damlash quvvatida ishlay oladi. IAG elementi qattiq izotrop kristall bo'lgani uchun undan diametri 1 cm gacha, uzunligi 10 cm gacha bo'lgan shaffof optik faol elementlar tayyorlash mumkin. Asosiy xususiyati yaxshi issiqlik o'tkazuvchanligi va haroratning katta farqlarda o'zgarishni ko'tara olishidir. Shu issiqlik xususiyatlari, katta kuchaytirish koeffitsientiga egaligi va kichik optik damlash quvvatlarida ishlay olishi tufayli bunday lazerda nafaqat impulsli va davriy impulsi hamda uzluksiz generatsiya olish mumkin.

Bunday lazerning faol elementining hajmi chekli bo'lgani uchun nonoimpulsli holatdagi nurlanishning energiyasi maksimal 10 J dan oshmaydi. Shuning uchun bu lazer ko'pincha davriy impulsli yoki uzluksiz holatda

ishlatiladi. Davriy impulsli holatda lazer nisbatan uzun (0,5...10 ms) impulsli va takrorlanish chastotasi 100 Hz gacha, uzluksiz holatda qisqa (< 10 mks) impulsli va takrorlanish chastotasi 100 kHz bo'lgan nurlanishni optik rezonatorning asilligi modulyatsiya qilish orqali olinadi.

Uzluksiz holatdagi nurlanishning quvvati 1 kW gacha yotishi mumkin. Ushbu lazerning umumiy FIK katta bo'lib, kripton yorug'lik lampalari bilan uzluksiz rejimda damlanganda 2÷3% ni tashkil etadi. Nurlanishning ko'p modali holatdagi yoyilish burchagi 5 mrad, bir modali holatda 1 mradni tashkil etadi. Ushbu lazerlar texnologik qurilmalarda ishlatiladi.

3-jadval

Eng ko'p ishlatiladigan gazli lazerlarning asosiy parametrlari [9, 11]

Lazer turi	Modda turi	To'lqin uzunligi, mkm	Nurlanish rejimi	Nurlanish quvvati, mW
GN-1	Ne-Ne	0,6328	Uzluksiz	1,0
GN-3	Ne-Ne	0,6328	Uzluksiz	3,0
GN-5	Ne-Ne	0,6328	Uzluksiz	5,0
GN-10M	Ne-Ne	0,6328	Uzluksiz	10,0
GN-15	Ne-Ne	0,6328	uzluksiz	15,0
GN-25	Ne-Ne	0,6328	uzluksiz	25,0
GN-40	Ne-Ne	0,6328	uzluksiz	40,0
GN-50	Ne-Ne	0,6328	uzluksiz	50,0
GN-80	Ne-Ne	0,6328	uzluksiz	80,0
GKL-5U	Ne-Cd	0,32	uzluksiz	6,0
GKL-10U	Ne-Cd	0,32	uzluksiz	12,0
GKL-25V	Ne-Cd	0,44	uzluksiz	55,0
GKL-50V	Ne-Cd	0,44	uzluksiz	70,0
GKL-60V	Ne-Cd	0,44	uzluksiz	90,0
GKL-70V	Ne-Cd	0,44	uzluksiz	95,0

GKL-75VM	Ne-Cd	0,44	Uzluksiz	100,0
GKL-100V	Ne-Cd	0,44	Uzluksiz	120,0
GKL-100V	Ne-Cd	0,44	Uzluksiz	180,0
LG-106M5	Ar	0,4579- 0,5145	Uzluksiz	5000,0
LGN-512	Ar	0,4579	Uzluksiz	5000,0
LG-513	Ar	0,3511	Uzluksiz	250,0
LGN-514	Ar	0,4880	Uzluksiz	25,0
D-20	Kr	0,4880	Uzluksiz	4000,0
D-5K	Kr	0,6764	Uzluksiz	1000,0
LCD-1A	CO ₂	10,6	Uzluksiz	1500,0
LCD-10A	CO ₂	10,6	Uzluksiz	10000,0
LCD-15A	CO ₂	10,6	Uzluksiz	15000,0
LCD-25W	CO ₂	10,6	Uzluksiz	30000,0
LCD-50W	CO ₂	10,6	Uzluksiz	50000,0

2.6. Arsenid galliyli va arsenid galliy-alyuminiyli lazerlar

Yarimo'tkazgichli kristallar asosida tuzilgan qattiq jisimli lazerlar yarimo'tkazgichli lazerlar deyiladi. Bu lazerlarda ruhsat etilgan energetik zonalardagi nurlanishli kvant o'tishlardan foydalaniladi (1.2-rasm). Yarimo'tkazgichli faol muhitda katta optik kuchaytirish ko'rsatkichiga (10^4 sm^{-1}) erishish mumkin. Bu lazerlarda rezonator uzunligi 50 mkm – 1mm oralig'ida bo'ladi.

Yarimo'tkazgichli lazerlar (YAL) nihoyatda kichikligi bilan birga inertsizligi (10^{-9} s), FIK yuqoriligi (30 %), spektral tarkibini sozlab o'zgartirish mumkinligi, faol muhit sifatida ishlatiluvchi moddalar ko'pligi, nurlanish to'liq uzunligi $\lambda=0.3-30 \text{ mkm}$ bo'lishi bilan birga boshqa lazerlardan ajralib turadilar.

YAL larda faol zarrachalar erkin elektronlar va kovaklar bo'lib, ular faol muhitda injeksiyalanishi, diffuziyalanishi va dreyflanishi mumkin bo'lgan erkin zaryad tashuvchilar hisoblanadilar.

YAL larda asosiy damlash usuli $p-n$ o'tish yoki getereperexod orqali injeksiya bo'lib, elektr energiyasini to'g'ridan-to'g'ri aniq kogerent nurlanish energiyasiga aylantiradi. Bu injeksion lazer deyiladi.

Damlashning elektr teshib o'tish usuli (strimer lazer), elektron bilan bombardimon qilish usuli (elektron damlashli YAL), optik damlash usullari mavjud.

N.G. Basov va uning xodimlari xavola etilgan optik damlashli YAL $p-n$ o'tishda GaAs kristallida birinchi marta R. Xoll, M.I. Neyten (AQSH) tomonidan, elektron damlashli YAL esa Basov va uning xodimlari tomonidan yaratildi.

Jadal damlash ta'sirida yarimo'tkazgichlarda optik kuchaytirish invers bandlik shartini o'tkazuvchanlik zonasining tubidagi E_s va valent zonaning yuqori chegarasida E_v bajarilganda amalga oshiriladi.

Ruhsat etilgan (o'tkazuvchanlik) zonasining yuqori energetik ishchi sathlarini elektron bilan to'ldirish, valent zonaning quyi sathlarini to'ldirish ehtimolligidan kattadir. Shu sababli majburiy nurlanishli o'tish yutilish o'tishlaridan ustunroq bo'ladi.

Optik kuchaytirish kattaligi damlash intensivligiga hamda nurlanish rekombinatsiyasi ehtimolligiga va temperaturaga bog'liq bo'ladi.

YAL larda lazer materiali (faol muhit) sifatida to'g'ri zonali yarimo'tkazgichlar qo'llaniladi (masalan: $GaAs$, CdS , PbS). Ularda nurlanishning kvant chiqishi 100 % ga etishi mumkin. To'g'ri bo'lmagan zonali yarimo'tkazgichlarda Ge , Si xozircha YAL lar bunyod etishga erishilganicha yo'q. YAL lar uchun lazer materiallarining ko'p turli ekanligi YAL da keng spektral diapazonda lazer nurlanishi olishga imkon beradi.

Injeksion YAL yarimo'tkazgichli diod bo'lib, $p-n$ o'tish va getereperexod tekisligiga pedpendikulyar bo'lgan ikki yassiparallel qirralari

optik rezonator ko'zgorulari vazifasini o'taydi (qaytarish koeffitsienti 30 %) Ayrim hollarda tashqi ko'zgu ishlatiladi. Diod orqali katta to'g'ri elektr toki yordamida ortiqcha zaryad tashuvchilarning o'tish yonidagi qatlamlarda to'planishi natijasida invers bandlik holatiga erishiladi. Chetki lyuminescentsiya polosasida optik kuchaytirish nurlanishni tashqariga chiqarish, faol muhitda yutilish va rezonator ichidagi yo'qotish (sochilish) energiyalaridan ortiq bo'lganda kogerent lazer nurlanishi sodir bo'ladi. Generatsiya boshlanadigan elektr toki "bo'sag'a toki" deyiladi. Injektsion YAL larda bo'sag'aviy elektr toki zichligi $j=1000A/sm^2$ ga boradi.

Geterostrukturali YAL lar keng qo'llanilmoqda. Bu lazerlar geterolazerlar deyiladi. Geteroo'tishlar $T=300 K$ da kichik "bo'sag'aviy tok zichligiga" ega bo'ladilar. Geterolazer (GL) ikkita geteroo'tish asosida ishlaydi, ulardan biri elektronlarni injeksiyalovchi $p-n$ o'tish bo'lsa (emitter), ikkinchisi faol muhitdan diffuz oqib o'tishni chegaralovchi $p-p$ o'tishdan iborat bo'lib, faol zona har ikkisi orasida joylashgan bo'ladi.

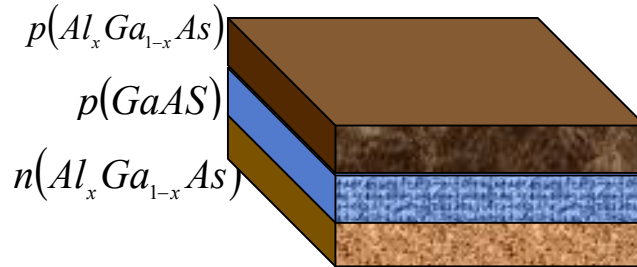
Faol muhiti kengligi 1-20 mkm bo'lgan yupqa tasma ko'rinishidagi lazerni polosali (tasmali) lazer (PL) deyiladi. Polosali geterolazerda temperatura $T=300 K$ bo'lganda tokning 5-150 mA qiymatida uzuluksiz generatsiyada nurlanish quvvati $P \approx 100mVt=0.1Vt$ ga etadi. Tokning katta qiymatlarida faol muhit qizishi xisobiga nurlanish quvvati kamayadi.

Ko'p elementli injektsion YAL larda impuls ish rejimida nurlanish quvvati 10 kVt gacha etadi.

YAL lar yasashda foydalaniladigan turli kimyoviy tuzilishli geteroo'tishda ishlatilgan yarimo'tkazgichlarning kristall panjaralari davri bir xil bo'lishi lozim. YAL larda ko'p komponentali qattiq qotishmalar ko'p ishlatiladi. Ulardan o'zgarmas davrli fazoviy panjarali moddalar sistemasini olish mumkin (ular izoperiodik sistemalar deyiladi).

Qattiq aralashmali geterolazerda $Al_xGa_{1-x}As$ dan iborat geterostrukturada $p(Al_xGa_{1-x}As)$, $p(GaAs)$, $n(Al_xGa_{1-x}As)$ qatlamlari mavjud bo'ladi (2.8-rasm).

YAL larning elektron damlashli turlarida energiyalari $E=10^4-10^6 eV$ ga teng bo'lgan katta tezlikdagi elektron dastasidan foydalaniladi. Energiya qiymati kristallarda radiatsion defekt hosil qilish bo'sag'asiga etmasligi zarur. Ortiqcha zaryad tashuvchilar katta tezlikli elektronlarni sekinlatish orqali hosil qilinadi.



2.8-rasm. $Al_xGa_{1-x}As$ geterostrukturali lazer

Elektronning energiyasiga bog'liq holda u turli chuqurlikkacha ta'sir etishi mumkin va bu holat $10^{-2}sm$ ga etishi mumkin. Bu kabi lazerlar faol element bilan birga, yuqori kuchlanish manbasi, elektron pushka, dastani fokuslovchi va boshqaruvchi qurilmalarga ega bo'ladilar. Bu lazerlarda faol muhitdagi nurlanishni skanirovat qilish, katta ekranga tushirish mumkin ekanligidan ular yordamida uch o'lchamli lazer televizorlari yaratish mumkin. Ushbu lazerlar nurlanish quvvati 1 MWt gacha etadi.

2.7. Nanolazerlar

Ma'lumki, lazer - yorug'lik nuri yo'nalganligi yuqori darajada bo'lgan monoxromatik kogerent yorug'lik manbaidir. «Lazer» so'zi «majburiy nurlanish tufayli yorug'likning kuchayishi» ma'nosini anglatuvchi inglizcha so'z birikmalarining bosh harflaridan tuzilgan. Lazerning ta'sirini belgilaydigan asosiy fizik jarayon bu nurlanishning majburiy chiqishidir. U foton energiyasi atom (yoki molekula) ning uyg'onish energiyasi bilan aniq mos tushganda va uyg'ongan atom bilan o'zaro ta'sirlashganda yuz beradi. Bunday o'zaro ta'sir natijasida uyg'ongan atom uyg'onmagan holatga o'tadi, ortiqcha energiya esa yangi foton tarzida nurlanadi, bu yangi fotonning energiyasi, qutblanish va

tarqalish yo'nalishi xuddi birlamchi fotonnikidek bo'ladi. SHunday qilib, bu jarayonning oqibati endi aynan bir xil bo'lgan ikki fotonning mavjudligi hisoblanadi. Bu fotonlar birinchi atomga o'xshash uyg'ongan atomlar bilan o'zaro ta'sirlashganda, bir xil fotonlarning ko'payish «zanjir reaksiyasi» vujudga kelishi mumkin, bu fotonlar juda aniq tarzda bir yo'nalishda «uchadi», bu esa ensiz yo'nalgan yorug'lik nuri paydo bo'lishiga olib keladi. O'xshash fotonlar quyuni hosil bo'lishi uchun uyg'ongan atomlar uyg'onmagan atomlardan ko'p bo'lgan muhit zarur, chunki fotonlar uyg'onmagan atomlar bilan o'zaro ta'sirlashganda fotonlar yutilishi yuz beradi. Bunday muhit energiya sathlari invers joylashgan muhit deb ataladi.

1955 yilda bir vaqtda va bir-biridan mustaqil ravishda sobiq ittifoqda N.G.Basov va A.M.Proxorov, AQSHda CH.Tauns dunyoda birinchi invers joylashgan muhitda elektromagnit nurlanish kvantlari generatorini taklif qilishdi. Unda teskari bog'lanishdan foydalanish natijasida majburiy nurlanish o'ta monoxromatik nurlanishni generatsiyalashga olib keldi.

Hozirgi vaqtda turli-tuman muhitlar - gazlar, suyuqliklar, shishalar, kristallardagi lazerlar yaratilgan. Lazerlar juda ko'p sohalarda keng qo'llaniladi, xususan sanoatda materiallar: metall, beton, shisha, gazlama, teri va h.k. ga turli ishlov berishda foydalaniladi.

Nanolazerlar — bu o'lchami $\sim 10^{-9}$ tartibida bo'lgan yarimo'tkagichli nanogeterostrukturalardir. Geterostruktura ikki ximiyaviy tarkibga ega bo'lgan materialdan yasalgan monokristaldir: yarimo'tkagichga shunday yod qatlam joylashtirilganki, turli materiallar orasidagi chegarada umuman nuqson yo'q. Aynan shunga anchadan erisha olinmayotgan edi.

Yarimo'tkazgichli lazerlarning rivojlanishi yupqa plenkalardagi kvant o'lchamli effektlar bilan bog'liq bo'lib, chegaraviy tok olishga erishildi. Tor zonali qatlamda potentsial zaryad tashuvchilar soxasi qalin edi. Agar qatlamni yanada yupqalashtirilsa, yupqa benzin plenkada elektron yorug'lik kabi boshqa elektronlar bilan interferentsiyalashadi. Amalda bu geterolazer yorug'lik oqimining kuchayishiga olib keladi, bu uni axborot saqlashda ishlatilishiga

imkon beradi. Nanolazerlarning yangi fizik xususiyatlari CD disklarga o'ta katta ma'lumotlarni yozishga imkon yaratadi.

Ch.Liber boshchiligidagi amerikalik olimlar yarimo'tkazgichli chiplarda qo'llanilishi mumkin bo'lgan sulfid kadmiyli yarimo'tkazgich materialdan bir trubkali o'ta kichik minilazerlar yaratishdi. Bu nanotrubkalar kelgusida axborot texnologiyalarida qo'llanilib, kompyuterlarni o'ta kompakt va o'ta tezkor qilishga imkon beradi.

Lazerlar hozirgi kunda telekommunikatsiya soxalarida va meditsinada keng qo'llanilmoqda. Lekin ularning o'lchamlarini kichraytirish ularni qo'llash soxalarini yanada kengaytirishga yordam beradi.

Hozirgi lazerlarning o'lchami juda katta bo'lganligi uchun ularni yarimo'tkazgichli chiplarda qo'llash mumkin emas, lekin nanomasshtablarga o'tish bu muammoni hal qilishga imkon yaratadi. Bir qancha olimlar guruhlarini nanolazerlar yaratishga erishdilar, lekin ularni yoqish va o'chirish uchun optik damlash kerak, buning uchun esa boshqa lazerlar ishlatilmoqda. Buning uchun shuningdek, elektr tokidan ham foydalanilmoqda.

Ch.Liber guruxi yaratgan kremniy taglikka o'rnatilgan sulfid kadmiyli nanotoladan tayyorlangan lazerda elektr tokidan foydalaniladi. Bu yerda elektr kontakti nanotola sirtiga metal o'tkazgich qatlami orqali amalga oshiriladi. Agar bu kontaktga kuchlanish berilsa, struktura bo'ylab tok o'ta boshlaydi va nanotola chekkalari 490 mkm li moviy-zangori yorug'lik chiqara boshlaydi.

Tok ma'lum qiymatga erishganda nurlanish o'ta monoxrom bo'lib qoladi va bu nurlanish lazer ekanligini ko'rsatadi. Nitrid galliy va fosfid indiy kabi boshqa yarimo'tkazgich materiallardan foydalanilsa, ultrabinafsha nurlardan infraqizil nurlargacha bo'lgan butun spektrni qamrab oluvchi lazerlarni olish mumkin.

Bu lazerlar hali bir qator kamchiliklarga ega bo'lsa ham, ularni ularni ximiyaviy va biologik sensorlarda, mikroskopiyada va lazerli xirurgiyada qo'llanish boshlandi.

Svetodiodli geterostrukturalar olish uchun qo'llaniladigan nanostrukturali texnologiyalar yorug'lik berish bo'yicha rekord xarakteristikalariga ega bo'lgan baquvvat yarimo'tkazgichli yorug'lik manbalari olishga imkon bermoqda. Biz yorug'lik texnikasi soxasida revolyutsion o'zgarishlar bo'sag'asida turibmiz: kuchli oq svetodiodlar cho'g'lanish lampalari va lyumenistsentsion lampalarni butunlay siqib chiqaradi.

Yarimo'tkazgichli yorug'lik manbalari odatdagi manbalarga nisbatan quyidagi afzalliklarga ega:

Umumiy yoritish uchun elektr energiya iste'molini 5-7 marta kamaytiradi;

Lampalarning ishlash muddati 50000 soat bo'lganligi uchun tannarx 4-5 marta kamayadi;

Insonga elektromagnit nurlanishning salbiy ta'siri umuman bo'lmaydi;

Past kuchlanish (36 V dan kam) ga o'tilganligi uchun elektroavfsizlik;

Ekologik toza va yoritish qurilmalarining xavfsizligi.

Yarimo'tkazgichli svetotexnika energiya tejamkor texnologiya bo'lganligi uchun keyingi yillarda barcha davlatlarda keng rivojlanmoqda. Bu davlatlar orasida Xitoy birinchi, Osiyo mamlakatlari ikkinchi, yevropa mamlakatlari uchinchi, Amerika to'rtinchi o'rinda bormoqda.

Yarimo'tkazgichli yoritish issiqlik kam ajralgani va o'lchami kichik bo'lganligi uchun aviatsiyada va temir yo'l transportida keng qo'llanilmoqda.

Diametri lazer nurining to'lqin uzunligidan kichik bo'lgan egilgan pdan nanolazer yaratildi.

Xitoylik olimlar tomonidan taklif etilgan bu yangilik o'ziga xos sodda yechimga ega: bu «nanolazer» faqat bitta ipdan tashkil topgan va sozlanuvchi bitta modadan iborat. Uning bu hususiyati katta amaliy ahamiyatga ega. Nanolazer unga tushayotgan chastotasiga va fazoviy xarakteristikalariga mos keluvchi nur chiqaruvchi rezonatoridan tashkil topgan. Lazerlarlar odatda bir necha modalardan tashkil topgan bo'ladi. Bir modali lazerlar ortiqcha energiyani boshqa modalarga sarf qilmay, uzoq aloqa va lazerli payvandlash kabi mas'ul joylarda qo'llaniladi.

Nanolazerning nurlanish chastotasi ko'rish spektrining eng yuqori chegarasida joylashgan – 738 nm. Ipnig diametri bor yo'g'i 200 nm, uzunligi esa 50-75 mkm. Lazer ishga tushishi uchun ma'lum chastotali boshqa lazer bilan qo'zg'otiladi. Ipdagi bir juft halqalarning o'lchamlarini o'zgartirib, lazerning chastotasini o'zgartirish mumkin.

Novosibirsklik olimlar yaratgan nanolazerlar yangi materiallar va texnologiyalar yaratishda keng imkoniyatlar yaratadi: abadiy monitor va televizorlar hamda ko'rinmas kiyimlar.

Hozirgi displeylar egiluvchan tagliklarda tayyorlanadi va tasvirni ixtiyoriy burchak ostida ko'rish mumkin, lekin ular xizmat qilish muddati juda oz. Ikki uch yildan so'ng organik materiallar anorganik materiallarga almashtirilsa, monitorlarning ishlash muddati ncha uzayishi mumkin.

Bunga birinchi bo'lib Janubiy koreyalik olimlar erishdilar. Ular “kvant nuqtalar” asosida barcha ranglarga ega bo'lgan displey yaratdilar. Kvant nuqtalar yarimo'tkazgichli nanokristallar bo'lib, o'lchamlariga qarab, turli ranglarni hosil qiladilar. Ular yaratgan to'rt dyumli displey uncha yorqin bo'lma, na'muna sifatida yaratildi. YOrug'likni qanday kuchaytirish mumkin? Bu masalani Rossiya FA avtomatika va elektrometriya hamda neorganik ximiya institutlari olimlari hamkorlikda hal qilishdi. Ular kvant o'radagi nanozarralarga rangli metallarni birikdilar.

Bu sistema nanolazer kabi ishlaydi. Bu yerda kvant nuqtalar faol muxit vazifasini, metall nanozarrasi esa rezonator vazifasini o'taydi. Nanozarralarda sirtiy to'lqinlar- plazmonlar yuzaga keladi. Bunga sabab o'tkazuvchanlik elektronlarining ionlarga nisbatan kollektiv tebranishidir. Kvant nuqtalar plazmonlar tebranishi uchun energiya donori vazifaini o'tadi. Nanolazerda yuzaga keluvchi elektromagnit tebranishlar modasi plazmonlarning rezonans to'lqin uzunligiga mos keladi. Rezonans to'lqin uzunlik metall turi va nanozarra shakli bilan aniqlanadi. Ya'ni turli metallar olinsa, turli rangdagi lazerlar hosil bo'ladi: kumush - ko'k rangli, oltin - zangori rangli, mis – qizil rangli lazer nurini hosil qiladi.

Olimlar hozircha 10 nanometrli oltin nanozarralardan tashkil topgan va atrofida 6 nanometrli kremniy qobiq hosil qilingan hamda bo'yagich bilan to'ldirilgan nanolazer tayyorlashdi. Nanolazerlar "foton kristall" deb ataluvchi yupqa qattiq plenkaga joylashtirildi, bu kristall lazer generatsiyasi chegarasini pasaytirishga va lazer nurini bir omonga yo'naltirishga imkon beradi. Bunday struktura AQSHlik olimlar tomonidan suyuq fazada olingan, lekin amaliy qo'llash uchun qattiq plenkali lazerlar katta ahamiyatga ega.

Bunday nanolazerli monitorlar boshqa monitorlarga nisbatan ishonchligi va ishlash muddati, ravshanligi va tasvir sifati bo'yicha ancha ustunliklarga ega. Bu bilan nanolazerlarning imkoniyatlari tugamaydi.

Bu nanolazerning o'ziga xos hususiyati uning o'lchami nurlovchi lazerning to'lqin uzunligidan ham kichik. Uning o'lchami viruslarning o'lchamlari tartibida, bu biomeditsinada bir qadam olg'a bosishga imkon yaratadi. Bu nanolazerlar alohida xujayralar va hatto molekulalarni tadqiq qilishga imkon beradi.

Nanolazerlar o'ta tez nanoelektronikaning yangi avlodini yaratishga yordam beradi, bu yerda lazer elektr tokining o'rnini egallaydi. Bundan tashqari, nanolazerlarni metamateriallar yaratishda qo'llash muhokama qilinmoqda. Ular yordamida "ko'rinmaslik" effektiga erishish mumkin. Yorug'lik foton kristaldan o'tganda hech qanday to'siqqa uchramaydi va ob'ekt ko'rinmaydi!

Bobga doir qisqacha xulosalar

1. Yoqut lazeri 1960 yili amerikalik olim T.Meyman tomonidan yaratilgan va u dunyodagi birinchi optik kvant generator edi. Bu lazerning paydo bo'lishi bilan lazer texnikasi davri boshlangan ekan;
2. Mikroelektronika sanoatida turli-tuman lazerlar qatorida karbonat anhidrid (CO_2) gazida ishlovchi va o'rta infraqizil (10,6 mkm to'lqin uzunlikli) diapazonda nurlanish beruvchi lazer keng qo'llanilar ekan;

3. Qattiq jisimli lazerlarga juda ko'p turdagi optik kvant generatorlar kirishi, ularning ishchi jismlarida invers bandlik optik damlash yo'li bilan hosil qilinar ekan. Bunday lazerlar faol muhitining asosini qattiq jismga kiritilgan aralashmaning ionlari tashkil etadi;
4. Shisha asosli neodim lazerning asosiy kamchiliklaridan biri bu-uning faol elementining issiqlik o'tkazuvchanligining yomonligidir. Shuning uchun lazer nurlanishining takrorlanish chastotasi kichik, o'rta hisobda 1 minutda 1 impulsli nurlanish beradi. Ushbu kamchilikdan holi bo'lgan qattiq jisimli lazerlardan biri bu ittiriy-alyuminiy granatga faol zarra sifatida neodimli ionlari kiritilgan lazerlardir ($Y_3Al_5O_{12}$). Ushbu lazerlar ko'pincha IAG-lazerlar deb ataladi. V Geysits degan olim tomonidan taklif etilgan;
5. Mikroelektronikada keng qo'llaniladigan lazer turlari barfsil o'rganildi, ushbu lazerlarning konstruksiyalari, ishlash prinsiplari va ilmiy asoslari yoritildi;
6. Lazerlarning quvvatiga qarab mikroelektronikada ishlatilishiga asos bo'luvchi lazer kattaliklari aniqlandi. Ularning me'yoriy qiymatlari adabiyotlar orqali aniqlandi;
7. Eng ko'p ishlatiladigan gazli lazerlarning turi, ishchi moddasi, nurlanishining to'lqin uzunligi, rejimi, quvvati kabi kattaliklar keltirib o'tildi.

III BOB. LAZERLAR VA ULARNI MIKROELEKTRONIKADA QO'LLANILISHI

3.1. Lazerlarning mikroelektronikada qo'llanilishi haqida

Keyingi 20 yil ichida qayta ishlanayotgan materiallarni lazer qurilmalarini qo'llash bilan qizdirish usuli keng ishlatila boshlandi. Hozir to'la asos bilan shuni aytish mumkinki, "lazer texnologiyasi" deb maxsus termin bilan ataluvchi bu yangi yo'nalish to'laligicha shakllandi: ya'ni, uning asosiy fizik xususiyatlari o'rganildi, asbob-uskunalar turkumi ishlab chiqildi, sanoat va ishlab chiqarish masshtabida yuzaga keluvchi qator texnologik muammolar hal etildi. Lazerlarni qo'llash natijasida mehnat unumdorligi keskin ortib, ishlab chiqarilayotgan mahsulotning sifati yaxshilanib, tannarxi pasaydi [18].

Hozirgi kunda ishlab chiqarishning ba'zi turlarini lazerlarsiz tasavvur qilish qiyin. Lazer texnologiyasi turli soha mutaxassislari – texnologlar, apparaturachilar, turli uskunalar yaratuvchilarini hamda boshqa sohada ishlovchi barcha tadqiqotchilarni borgan sari o'ziga ko'proq jalb etmoqda.

Xo'sh, lazer texnologiyasi qanday xususiyati bilan bunday e'tiborga sazovor bo'lmoqda? Bu savolga javob berishdan oldin qudratli lazer nurlarining boshqa modda – narsalarga qanday ta'sir etishini ko'rib o'tamiz.

Lazer nurlarining moddalarga ta'siri shundan iboratki, uning kvantlari atom va molekulalar orqali qayta ishlanayotgan materialning ustki qatlamlariga energiya berib turadi. Lazer bilan nurlantirilgan sirdagi zichlik quvvati qisqa vaqt ichida bir kvadrat santimetrda yuzlab milliard vattga teng bo'ladi.

Metallning sirtiga kuchli lazer nurini yo'naltirib, uning intensivligini tobora oshirib boramiz. Nurning intensivligi 10^5 Wt/cm² ga etganda metallning erishi boshlanadi. Sirtning yaqinida nurli dog' ostida suyuq metall paydo bo'ladi. Lazer nurining intensivligini 10^6 – 10^7 Wt/cm² gacha etkazamiz. Endi erish bilan birga materialning intensiv ravishda bug'lanishi ham boshlanadi, natijada metall sirtida chuqurcha hosil bo'ladi. Nurning intensivligi o'rtacha 10^9

Wt/cm^2 ga etganda nur moddaning bug'larini tezlik bilan ionlashtirib plazmaga aylantiradi. Bunda nur intensiv ravishda plazmaga yutila boshlaydi. U lazer nurlarini materialning sirtiga o'tishini to'sib qo'yadi. Materialni lazer nuri bilan qayta ishlashda plazmaning hosil bo'lishiga yo'l qo'ymaslik lozim. Demak, nurning intensivligi uncha katta bo'lmasligi kerak. Shundan ko'rinib turibdiki, materialning xususiyati va qaysi turda ishlanishidan qat'iy nazar, nurlanishning ma'lum energetik va vaqtinchalik xarakteristikali turlaridan to'la foydalanish mumkin. Masalan, materialni bir-biriga payvandlab ulash uchun unga intensiv bo'lmagan va shu bilan birga uzoq vaqt davom etadigan impulslar (davomiyligi $10^{-2}-10^{-3}$ cm) kerak bo'ladi, teshik ochish uchun esa materialning bug'lanish tezligini oshirish maqsadida juda qisqa impulslar qo'llanadi.

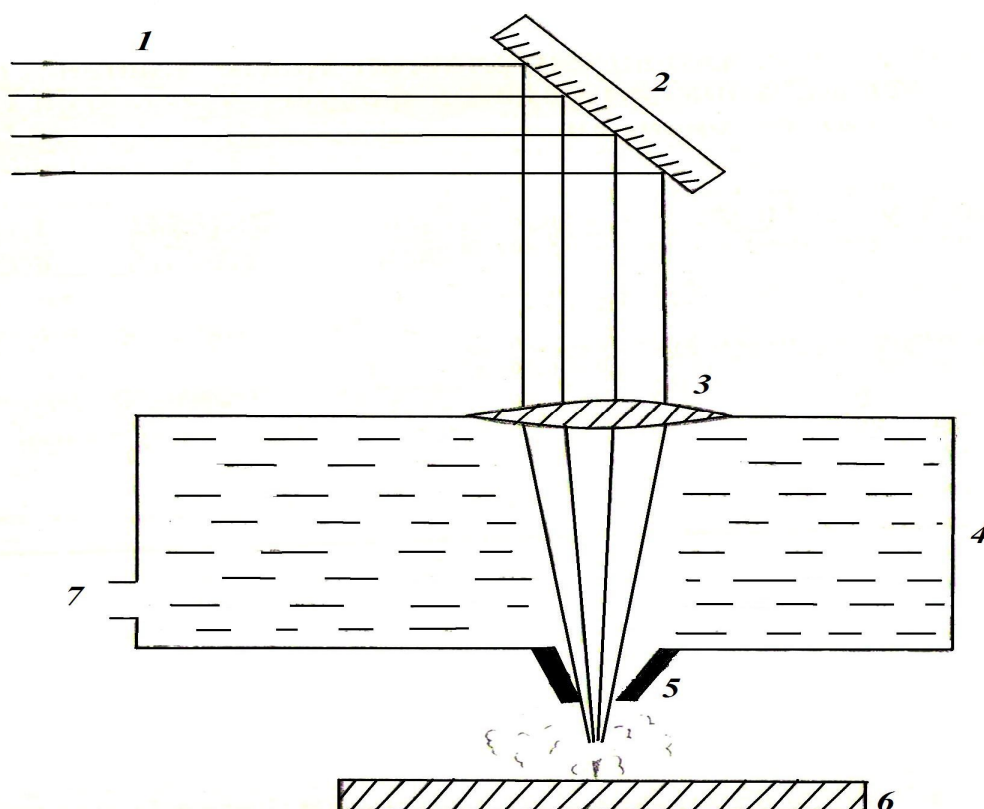
Lazerli texnologiyaning afzalligini materialni qayta ishlashdagi yuqori sifatli aniqlikka erishish, turlicha fizikaviy va mexanik xususiyatga ega bo'lgan har xil turdagi materiallarni payvandlash, texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish imkonini yaratadi, ishlab chiqarish madaniyatini oshirib, mehnat sharoitini yaxshilaydi.

Yuqorida sanab o'tilgan afzalliklar asosida qator diqqatga sazovor yangi va samarador lazerli texnologik jarayonlar yaratildi. Shulardan ba'zilarini ko'rib o'tamiz.

3.2. Materiallarni lazerli kesish va qizdirish

Ko'p yillardan beri kimyoviy reaksiya energiyasidan materiallarni kesishda kislorodli-atsetilenli olov foydalanib kelinar edi. Bunda materialni qirqish oksidlanish jarayonida ajralib chiqqan issiq energiya hisobiga yuz berar edi. Shunga o'xshash lazerli isitish va kislorodli oqimlar (3.1-rasm) karbonat anhidrid gazidagi lazerlar (CO_2 lazerli) yordamida metallarni qirqishda foydalaniladi. Gaz oqimi bu holda qirqish zonasini oksidlanishidan saqlovchi muhim vazifani bajaradi. To'lqin uzunligi 10,6 mkm bo'lgan CO_2 lazeri bilan nurlangan qayta ishlanayotgan materialga qaytarmali oyna va fokusga

to'plangan linzalar orqali yuboriladi. Nur bilan birga kesish joyiga kislorod ham yuboriladi. Kesish jarayoni linza fokuslari bilan detallarning aralashishi orqali yuz beradi. Bu texnologik jarayonning ahamiyati shundaki, 0,4 mmdan oshmagan kichik kesish kengligida eng yuqori tezlikda ish olib borish mumkin [19]. Masalan, yo'g'onligi 10 mmli titan minutiga 2,5 m tezlikda kesiladi. Shuni ta'kidlash kerakki, titanga nisbatan issiqlik o'tkazuvchanligi yuqori bo'lgan alyuminiy va mis kabi metallarga bunday qayta ishlash ta'sir etmaydi. Biroq kislorod o'rniga reaktiv (kimyoviy reaksiyani amalga oshirish uchun ishlatiladigan modda) bo'lmagan gazlar (azot va inert gazlari) ishlatilganda bu usulni yuqoridagi metallarga ham ishlatish mumkin bo'ladi. Bundan tashqari, bu gazlar kesish maydoni mato, fanerlar, qog'ozlar va plastiklarni bichish paytida materialni kuydirib qo'yishni oldini oladi (4-jadval). Bunda inert gazning oqimi kesilgan joyning o'rnini sovutib, materialning emirilgan qismlarini ajratib olish imkonini beradi.



3.1-rasm. Materiallarni gaz lazerli kesish qurilmasining sxemasi:

- 1) CO₂ lazer nuri; 2) burilish oynasi; 3) germaniyli linza; 4) kesuvchi; 5) soplo;
- 6) qayta ishlanadigan buyum; 7) gazni yuborish [19].

CO₂ lazer nurlari bilan materillarni kesish jadvali [19]

Materiallar	Yo'g'onligi Mm	Tezligi m/min	Kengligi mm	Quvvati kWt
Alyuminiy	12	2	1	10
Uglerodli (karbonli) po'lat	6,25	2	1	15
Zanglamaydigan po'lat	5	1,25	2	20
Kompozitlar (bor, uglerod, karbon)	8	1,65	1	15
Kompozitlar (shishaplastikli)	12,5	4,6	0,6	20
Fanerlar	25	1,5	1,5	8
Pleksiglass	25	1,5	1,5	8
Shisha	9	1,5	1	10
Beton	40	0,05	6,2	8

Materialni gazli lazerlar bilan qirqishning o'ziga xos tomonlarini ko'rib o'taylik: mexanik ta'sir etmasdan turib lazerlar bilan juda mo'rt, to'qilgan va juda yumshoq bo'lgan materiallarni ham kesish mumkin. Kesish zonasidagi yuqori harorat faqat olmosli asbob (metalli keramika, shishali uglerod va boshqalar) bilangina ta'sir etish mumkin bo'lgan eng chidamli va qiyin eriydigan materiallarni ham qayta ishlash imkonini beradi. Lazerli kesish usuli bugungi kunda qanchalik keng qo'llanilayotganini ko'rsatish maqsadida bir necha misollar keltirib o'tamiz.

Birinchi misol – zamonaviy to'quv fabrikasida lazerli kesish va matoni bichishni olaylik. Ushbu holda ishlatiladigan qurilma CO₂ lazerli fokuslangan sistema va lazer nurlari aralashishidan, EHM dan iborat. Kesish jarayonida nur matoning ustki qismida 1m/sek tezlikda aralashib turadi. Nurlarning shunday aralashuvi va matolarni EHM boshqarib turadi. Bunday qurilmalar bir soat davomida materiladan 50 ta kostyumni bichib bera oladi. Yana boshqa misol – lazerli kesishni aviatsiya sanoatida, jumladan kosmik uchuvchi–apparatlarni

ishlab chiqishda qo'llash. Bunda lazerlar yordamida titan, po'lat, alyuminiy varaqlarni avtomatik qirqish amalga oshiriladi.

Keyingi paytlarda mutaxassislarni materiallarni lazerli termik qizdirish usuli o'ziga jalb etmoqda. U nimalardan iborat? Ko'pgina mo'rt materiallar temperaturaning keskin o'zgarishi bilan qiziydi. Termik qizdirishni boshqarish maqsadida hozir CO₂ lazerini qo'llay boshlashdi. Qizish lazer nurlari bilan isitish liniyasi bo'ylab ketadi. Bunday usulda issiq o'tkazish darajasi past bo'lgan va uncha mustahkam bo'lmagan materiallar qayta ishlanadi. Keyingi yillarda tog' jinslarini yemirish va tonellar qazishda lazer nurlaridan foydalanib yasalgan qurilmalar keng qo'llanila boshlandi.

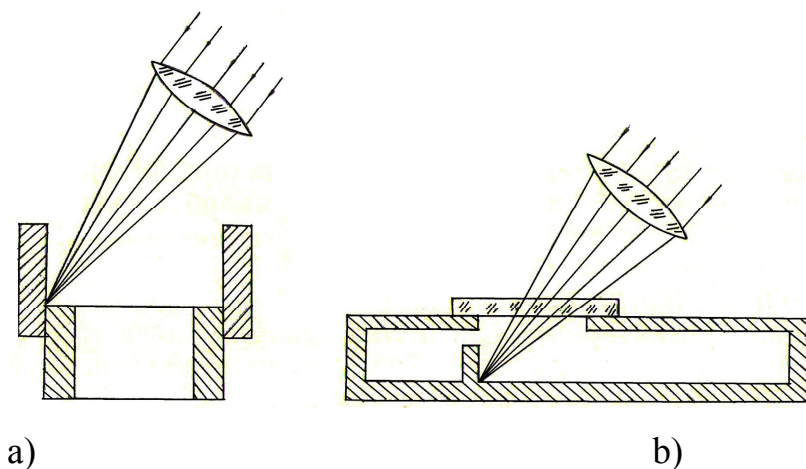
CO₂ lazeri bilan nurlantirilgan yoqut va marmarning shakli o'zgartirilganda ularning mustaxkamligi ancha kamayadi. CO₂ lazerini tonellar o'tkazish va tog' jinslarini yemirish maqsadida qo'llashning ahamiyati bir necha laboratoriyalarda o'rganilmoqda.

3.3. Materiallarni payvandlash va qayta toblash

Mikroelektronikada keng qo'llash urfga aylanayotgan lazerli payvandlashni boshqa turdagi payvandlash bilan solishtirib ko'raylik. Lazer nurlari bilan payvandlash argon-elektr nurlari bilan payvandlashga nisbatan qayta ishlanayotgan material sirtiga energiyaning qo'proq to'planishini ta'minlaydi. Elektr nuri bilan payvandlashga nisbatan lazerli payvandlashni ishlatish ancha qulay: vakuumli sistema talab qilinmaydi va bu usulda payvandlashni "shaffof oyna" orqali amalga oshirish mumkin. Lazerli payvandlash turlicha materiallarni ham bir-biriga ulay oladi. Hosil bo'lgan choklar ham xuddi o'sha, ulangan metallardek puxta, chidamliligi bilan ajralib turadi. Bu payvandlash mikroelektronikada simlarni bir-biriga ulash kabi katta operatsiyalarda keng qo'llaniladi. Hozirgi paytda 1-10 kWt quvvatli lazerlar yordamida payvandlash usuli qo'llanilmoqda.

Mikroelektronikadan tashqari, avtomatik lazerli payvandlash avtomobillarning kuzovini va kardan (avtomobilda va xususan mashinalarda oshiq–moshiqsimon mexanizm) devorlarini payvandlashda, titan va amominid varaqlarini, gazli simlarni ulashda ishlatiladi.

So'nggi yillarda, shuningdek, metall bo'lmagan materiallarni ham payvandlash rivojlanmoqda. Faraz qilaylik: elektron–nurli trubka ichidagi qandaydir sim uzilib kontakt buzildi. Shu qiyin joyni payvandlashda lazer nurlari qo'llaniladi (3.2–rasm).



3.2-rasm. a) O'ta qiyin joylarni lazerli payvandlash; b) Vakuumli yoki ichi gaz bilan to'ldirilgan kameralarni shaffof materiallar orqali lazerli payvandlash [20]

Chunki, faqat lazergina vakuumli ballonning oynasidan o'ta olishi mumkin. Xuddi shu yerda, lazer nurlarining eng ahamiyatli uning eng qiyin joylarda hama payvandlash imkoniyatiga ega ekanligida ko'rinadi. Shu bilan bog'liq ravishda inert gazi bilan to'ldirilgan kameradagi u yoki bu mikroelektronika elementlarini ham payvandlash juda katta qiziqish uyg'otadi. Bu holda oksidlanish reaksiyasining oldi olinadi.

Keyingi yillarda ko'pgina mamlakatlarda lazerli qayta toblash usuli juda avj olib ketdi. U turli mikroelektron qurilmalarning asosi hisoblangan rezistorlar qarshiligini to'g'rilash, yarimo'tkazgich sirtini chiniqtirish kabi parametrlar vakuum pechlarida oddiy usulda qayta ishlangandan 2–3 marta ortadi. Lazerlarning mikroelektronikada qo'llanilishi haqida quyida to'xtalib o'tamiz.

Yarimo'tkazgich sirtni lazerli qayta toblash ayrim uncha katta bo'lmagan sohalarning mustahkamligini yanada oshirish maqsadida qo'llaniladi. Lazerdan foydalanish yarimo'tkazgich sirt qatlamini toblash, qayta ishlanayotgan detalni umumiy qizdirishsiz amalga oshirish imkoniyatini yaratadi, sirtqi va ichki qatlamni barobar toblantiradi, jarayonni tez amalga oshirish paytida yarimo'tkazgichni oksidlanishidan saqlaydi. Shunday qilib, lazerli toblash tanlangan maydon sirtiga ta'sir etishdir.

Lazerli toblash avtomobil sanoatida dvigatel silindri (golovka) boshchasini, yetakchi klapanlar va taqsimlovchi vallarni mustahkamlashda ishlatiladi.

Yarimo'tkazgich sirtning qattiqligini ta'minlash maqsadida ham lazerli legirlash (yarimo'tkazgichga boshqa modda qo'shib fizik-kimyoviy xususiyatlarini yaxshilash) qo'llaniladi. Legirlovchi prisadkalar kukun ko'rinishida qayta ishlanadigan maydon sirtiga sepiladi. Lazer bilan nurlantirish jarayonida qizdirilgan kukun va material aralashib yupqa qatlamli modda paydo bo'ladi.

Keyingi yillarda termik qayta ishlashga oid yangi lazerli texnologik jarayonlar paydo bo'ldi. Shunday jarayonlardan biriga materialni shisha bilan qoplash jarayoni ham kiradi. Agar lazer bilan nurlantirilgan materialning ustki qismi tez sovutilsa, uning sirtida yupqa (shishasimon) amorfli qatlam paydo bo'ladi, u juda yuqori sifatli bo'lib, korroziyalarga bardoshlilik bilan ajralib turadi.

3.4. Materiallarni lazerli parmalash

Lazer texnologiyasi bilan parmalash istalgan materialni tesha olish imkonini beradi. U ayniqsa, chidamliligi yuqori bo'lgan olmos, yoqut, sopol kabi materiallarni qayta ishlashda juda qo'l keladi. Lazerli parmalash mexanik parmalashdan o'zining sifatlilik bilan ajralib turadi, chunki qayta ishlanayotgan material bilan parmalash asbobi o'rtasida mexanik kontaktning yo'qligi

asbobning sinishiga yo'l qo'ymaydi hamda teshiklarning aniq ochilishini ta'minlaydi. Shuning bilan birgalikda ishlab chiqarish unumdorligini oshiradi. Lazer texnologiyasi bilan parmalash, ayniqsa soatsozlikda yoqut toshlar, olmos tola va filerlarni ishlab chiqarishda keng qo'llanilmoqda. Shunday toshlarni parmalab ma'lum katta–kichiklikda parmalar yordamida teshikchalar ochish (diametri 0,05 mm) uchun 10-25 minutgina kifoya.

O'tgan asrning 60-yillaridan beri kam unumli parmalash metallarni bug'lantirish yo'li bilan teshik ochishga mo'ljallangan lazerli asboblar bilan almashtirilgan. Lazer qurilmalarining ishlab chiqarish unumdorligi bir sekundda bir teshik parmalash bilan tengdir. Bu esa mexanik parmalashdan ming marta yuqori unumdorlikka ega degan gapdir.

Juda ingichka sim olish uchun simlar juda kichik diametrli teshikchalardan o'tkazilib ingichkalashtiriladi. Bu teshikchalar (ingichkalashtirish kanallari) juda qattiq metallar, masalan olmosli qotishmalarga o'tkaziladi. Hammadan ham olmosdan o'tkazilgan teshikchalardan simni tortish (olmosli tola va filerlar) qulaydir. Lekin, eng yuqori qattiqlikka ega bo'lgan olmoslarni qanday qilib parmalash mumkin? Masalan, ularni mexanik parmalash 10 soatdan ortiqroq vaqtni talab etadi. Lekin, bu teshikchalarni kuchli lazer impulslariga ega bo'lgan seriyalar bilan parmalash juda oson kechadi.

Lazerli usullar bilan olingan olmos tolalar ko'p mehnat talab qiladigan operatsiyalar – filerlarda qora teshiklar ochish uchun qo'llaniladi. Lazerli parmalar faqat qattiq materiallardagina emas, balki o'ta mo'rtligi bilan ajralib turadigan materiallarda ham teshikcha ochish uchun qo'llaniladi. Misol uchun kulolchilikni olaylik. Lazerlar bilan sopolda diametri 10 mikrometrli teshikchalarni ham hosil qilish mumkin. Mexanik parmalash bilan bunday teshikchalar hosil qilish aslo mumkin emas.

To'quvchilik sanoati uchun filerlarni tayyorlash oddiy mexanik yo'l bilan filer ishlab chiqarishda qo'llaniladigan plastinkalardan voz kechish imkonini

beradi. Darvoqe, kulolchilikda filerlardagi teshikchalarni faqat lazerlar yordamidagina ochish mumkin.

Lazer texnologiyasini muvaffaqiyatli qo'llab teshikchalar ochishda dinamik muvozanatlashgan tez aylanuvchi detallar, turbina, rotorlar istiqbolli soha hisoblanadi. Bir impuls lazer nurlanishida keragidan ortiq o'rtacha massadan bir milligrammgacha metall olib tashlanadi.

Teshikchalar ochish lazer texnologiyasi, shuningdek EHMLarda xotira plastinkasi, mikroskop va elektron-nurlanish trubkalari diafragrammalarini tayyorlashda ham qo'llaniladi [21].

3.5. Lazerlar yordamida yarimo'tkazgichlarga ishlov berish

Lazer texnologiyasini zamonaviy mikroelektronikada qo'llash maqsadida asbob-uskunalar yaratish jadallashib bormoqda. Bular integral sxemalardagi yupqa va qalin po'stli rezistorlarni sozlash, elementlarning aktiv va passiv sxemalarga bo'linishi, teshikchalar ochish uchun parmalash kabi sistemalardan iborat. Ko'pgina davlatlarning mikroelektronika sanoatida anchadan beri foto(shablon) andoza sistemalarining geometriyasini tayyorlashda va tekshirishda, o'sha ingichka simlarni payvandlashda gazli lazerlar qo'llanmoqda. Mikroelektronikada lazerni qo'llashga qiziqishning boisi bejiz emas, chunki u faqat o'sha qiyin bo'lgan sharoitlarda operatsiyalarni bajarishni emas, balki materiallarni lazer usuli bilan qayta ishlash, mehnat unumdorligini oshirish, iqtisodiy tejamkorlikka erishish bilan ham bog'liqdir.

Lazerlar eng murakkab muammolardan biri – integral sxemalar tayyorlash, fotoandozalarni tez va aniq tayyorlash masalasini hal qilish imkonini beradi. Bu asosan optik frezerlash va fotolitografik usullarda qo'llaniladi.

Skrayberlash – bu yarimo'tkazgichli materiallarni kesish usuli bo'lib, integral sxemalarni tayyorlashda ishlatiladi. Lazerlar paydo bo'lguncha bu operatsiya murakkab kinematik sistemalarda olmosli skrayberlar bilan bajarilar edi. Endi esa olmosli skrayberlar bilan bir qatorda lazer qurilmali skrayberlar

ham muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda. Bu qurilmalarning ustunligi shundaki, ular bilan tekis va aniq vertikal kesmalar hosil qilish mumkin. Bu usul bilan materialni qirqishda unga ko'p mehnat sarflanmay samarali natija olishi, ya'ni materialdan yuqori foiz bilan kerakli detallarni qirqib olish mumkin, bu esa plastinkalarni avtomatik qayta ishlashni osonlashtiradi, plastinkalarni tejaydi. Olmosli skrayberlashda kesish chegarasining kengligi 180 mikrometrni tashkil etib, bu plastinkadagi detallarni 5 foizga ko'paytirish imkonini beradi, faqat kichik kesmalar emas, yirik-yirik kesmalar olish imkonini ham beradi.

Hozirgi kunlarda mavjud bo'lgan yupqa sirtli rezistorlar qoida bo'yicha nominal (detailarni hisoblashda e'tiborga olinadigan, yaxlitlangan o'lchami)dagi takror ishlab chiqarishni yetarlicha ta'minlay olmaydi. Mikrosxemalarning nominaldan 5 foiz chetga chiqishi ular bo'yicha ishlanayotgan detallar 1-2 foizgacha nuqsonli tayyorlanishiga sabab bo'ladi. Texnik jarayonga qo'shimcha operatsiya kiritishda rezistorlarni lazer bilan moslash orqali aniq o'lchovli detallar olish mumkin. Shu paytgacha qo'llangan moslamalar (mexanik, kimyoviy, elektron nurlanish) lazerli usullardan butunlay farqlanadi. Lazer qo'llangan jarayonda qayta ishlash kamchiliklarsiz aniqlik bilan bajariladi, nominaldan chetlashlar yuz bermaydi [10, 20].

Quvvatli lazerlar yarim o'tkazgichli asboblarni ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. Ionlar kiritilgandan so'ng plastinalarni qizdirish (kuydirish) va polikristallik kremniyda donalar o'lchamini kattalashtirishda stabilitronlarni tayyorlashda, metall kontaktlar yaratishda lazerlardan foydalaniladi. Masalan, yuqori energiyali ionlar kiritilganda kremniyning monokristallik tuzilishining buzilishi, uni tiklash uchun beriladigan termoishlov 1000°C da 30 min davom etadi. Lazer bu ishni 10 marta tez bajaradi.

Lazer bilan samarali ishlov beriladigan yarimo'tkazgichlar texnologiyasi sohalari haqida to'xtalib o'tamiz [22].

1. Yarimo'tkazgich sirtini tozalash va rel'efini yaxshilash. Lazer yordamida tozalashda yarimo'tkazgich sirtidagi iflosliklar ketkaziladi, ammo sirtning o'zi zararlanmaydi. Ishlov beriladigan sirtga yot atomlar kirmaydi,

vakuum sharoiti buzilmaydi. Lazer vakuum kamerasidan tashqarida bo'ladi, uning nuri shaffof deraza orqali kiritiladi, bunda bir jarayonda bir necha amallar, masalan, tozalash, metallni yoki epitaksial pardani vakuumga o'tkazish, tok keltiruvchi yo'lchalar (tasmalar) hosil qilish va h.k. amallar bajariladi.

Tozalash uchun nurining diametri 3,5 mm bo'lgan yoqut (rubin) kristalli lazer ishlatiladi. Kremniy sirtida uglerod va kremniy dioksidi pardalarini kuydirib yuborish uchun har birida 2 J/sm^2 bo'lgan beshta ketma-ket impuls energiyasi kifoya bo'ladi. Sirtini 16 ns davomiylikni ikki-uch (2 J/sm^2) impuls bilan nurlantirilsa, sirtning monokristalligi tiklanadi (u argon ionlari kirishidan buzilgan) va bir vaqtda argon ionlaridan tozalaydi.

Metall pardalari sirtini tekislash uchun ularni 1 mks davomida lazer nurlanishi bilan qizdirish kifoya. Bu tekislash jarayonini vakuumda, havoda yoki inert gaz muhitida o'tkazish mumkin. Kremniyning epitaksial qatlamlari sirtidagi o'tkir chiziqlarni bartaraf qilish uchun lazer ishlovdan foydalaniladi, agar kremniy ($0,2-0,8 \text{ J/sm}^2$) energiyali impuls bilan nurlantirilsa, mazkur nuqsonlar (suyulib) to'la yo'q bo'lib ketadi.

2. Yarimo'tkazgichga kirishmalar kiritish va ularni qayta taqsimlash usullari.

Sirtiy qatlamlardan diffuziyalash usuli. Bu usul sirtiy manbadan diffuziyalash usuliga o'xshaydi, ammo bunda legirovchi kirishmani lazer nurlanishi qizdiriladi. Sirt qatlami suyuladi va kirishma suyulgan modda ichiga diffuziyalanib kiradi. Ana shu usul bilan kremniyga donorlar va akseptorlar (bor, fosfor, surma va b.) kiritiladi.

Yupqa yarimo'tkazgichli plastinalar sirtiga omik kontaktlar o'tkazish xuddi shu usulda amalga oshiriladi. 100 mm diametrli va 0,2 mm qalinlikdagi plastinalarni lazer bilan qizdirish termik kuchlanishlarga bog'liq buzilishlar qoldiradi. Oddiy texnologiyada esa ko'p kontaktlar shunday kuchlanishlar sababidan buzilib ketadi.

Suyuq yoki gazzimon manbadan diffuziyalash usuli. Yoqut (rubin) kristalli lazer nurlanishini p-Si plastinasi sirtiga o'tkazilgan etanoldagi surma

trixloridi eritmasi orqali o'tkazib sirtidan 190 nm ichkarida p-n-o'tish hosil qilinadi.

Gazsimon manba (10% RN_3 +90% Ar gazlar aralashma) muhitiga plastina joylanadi. Aleksandrit asosidagi lazer ($\lambda=0,73$ mkm) bilan ishlov beriladi. Uning nuri diametri ~ 3 mm.

Lazer yordamida fotolitik legirlash. Bu usul yarimo'tkazgich sirtiga kirishma o'tkazish va uni plastina ichiga joylash jarayonlarini birgalikda olib borish imkonini beradi. Birinchi bosqichda gaz lazer nurlanishini yutadi, dissotsiatsiyalanadi, kirishmani ozod qiladi (fotoliz). Kirishma o'sha nurlanish ta'sirida sirtga o'tira borib, plastina ichiga kiradi.

Lazer yordamida ionlar kiritish. Tarkibida kirishma bo'lgan nishon quvvatli CO_2 -lazer nurlanishi ta'sirida bug'lantiriladi. Kirishma ionlari yarimo'tkazgichga kiradi.

Yarimo'tkazgichlarda kirishmani qayta taqsimlash. Yarimo'tkazgichga joylashtirilgan kirishma plastinalar sirtini lazer yordamida kuydirish yo'li bilan qayta taqsimlanishi mumkin. Bu esa asboblarning tavsiflarini yaxshilash imkonini beradi.

3. Nuqsonlarni kuydirish. Yarimo'tkazgichlar texnologiyasida qo'llaniladigan termodiffuziya jarayonlarida elektrik jihatdan nofaol kirishmalar uyumlari, pretsipitatlar hosil bo'ladi. ular yarimo'tkazgichlar va ular asosidagi asboblarning xossalarini yomonlashtiradi.

Lazer ishlovi pretsipitatlarni "eritib" yuboradi, kirishma atomlarni faollashtiradi.

Impulslarni davomiyligi 50 ns va energiya zichligi $1,5-1,8$ J/sm² bo'lgan rubin lazeri bilan ishlov berilganda dislokatsiyalar va dislokatsion sirtmoqlar (ular kremniyga bor. Fosfor ionlari va boshqa ionlar kiritilganda hosil bo'ladi) bartaraf qilinadi. Keyingi davrda kerakli xossalari o'ta katta integral sxemalarni hosil qilishda ionlar kiritish usuli asosiy bo'lib qolgan. Ammo katta energiyali ionlar (200 keV gacha) yarimo'tkazgichning sirtiy qatlamini zararlaydi, ba'zan

uni amorf holatga keltiradi. Lazer bilan kuydirish sirt qatlamini qayta kristallaydi.

Lazer kuydirishning ikki usuli mavjud: 1) bir necha sm^2 yuzali sirtni qisqa impuls (100 ns) bilan nurlantirish; 2) kichik yuzaga (dog'ga) fokuslangan uzluksiz lazer nurini material sirti bo'yicha siljitib yuborio'. Uzluksiz lazer bilan kuydirish sharoiti shunday tanlanadiki, bunda sirt qiziydi, ammo suyulmaydi. Demak, qayta kristallanish qattiq fazada yuz beradi. Bunda kiritilgan ionlarning plastina qalinligi bo'yicha taqsimoti o'zgarmas saqlanadi. Bir misol keltiramiz.

$5 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}$ zichlikli va 100 keV energiyali arseniy (As) ionlari kiritilgan kremniy qatlamlarini kuydirish. Kuydirishgacha qatlam amorf tuzilishda 7 Vt li argon lazeri kuydirish o'tkaziladi, Si plastinkadagi lazer dog'ining diametri ~ 25 mkm, nurning siljish tezligi 2,7 sm/s. Kuydirishdan so'ng qatlam mukammal kristallik tuzilishga ega bo'lib qoladi. Vaholanki, termik kuydirish (1000°S , 30 min) amorf qatlamda dislokatsion sirtmoqlar ko'rinishida ko'p nuqsonlar ($\sim 10^{10} \text{ sm}^{-2}$) qoldiradi.

Lazer bilan kuydirish afzalliklari:

1) kirishmaning diffuzion qayta taqsimlanish sezilmaydi, murakkab birikmalarda (masalan, $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ da) tarkib saqlanadi;

2) termik kuydirishga nisbatan lazer kuydirishda legirlash samaradorligi yuqori bo'ladi;

3) zaryab tashuvchilar faolligi bir necha marta ortiq bo'ladi.

4. Kirishmalarni getterlash. Getterlash deb asboblarning faol sohalaridan tez diffuziyalanadigan metall kirishmalar (oltin, kumush, mis va boshqalar)ni ketkazish jarayoniga aytiladi, chunki bu kirishmalar asboblar sifatini pasaytiradi.

Odatda, getterlash sohalarini plastinaning notekis tomonida hosil qilinadi, bunda muayyan nuqsonlar kiritilib, ular yuqorida aytilgan keraksiz kirishmalarni o'ziga biriktirib oladi.

Lazer ishlovi oqibatida hosil bo'lgan nuqsonlar oson nazorat qilinadi, ifloslik kiritmaydi va barqaror bo'ladi. Ular kirishmalarni texnologik jarayonlar o'tkazilganda ham ushlab tura oladi.

Getterlash samaradorligini noasosiy zaryad tashuvchilar yashash vaqti bo'yicha baholanadi. Metall kirishmalar qancha kam bo'lsa, yashash vaqti shuncha katta bo'ladi.

5. Polikristall kremniy qarshiligining o'zgarishi. Yarim o'tkazgichli asboblarda va integral mikroshemalarda metall o'tkazgichlar o'rniga ko'pincha legirlangan polikristallik kremniy (PK) pardalardan foydalaniladi. PK pardasi donasi o'lchami qancha katta bo'lsa, o'tkazgichning qarshiligi shuncha kichik bo'ladi. Lazer bilan kuydirish donalar o'lchamini kattalashtiradi, binobarin, piroliz yordamida (620°C va past bosimda) o'stirilgan PK pardalari qarshiligini kamaytiradi.

Lazer tizimi 30 ns davomiylikni va energiya zichligi $2-59 \text{ mVt/sm}^2$ bo'lgan impulslar hosil qiladi. Rubin lazerdan foydalanilgan holda to'lqin uzunligi 0,6943 mkm yoki neodim lazer bo'lganda – 1,06 mkm bo'ladi, namunada yorug'lik dog'i 5 sm.

Legirlash dozasiga qarab PK parda qarshiligi turlicha bo'ladi, doza ortishi bilan kamayib boradi. Ammo quvvat zichligi katta bo'lganda PK pardalari qtlamlanib, ularning qarshiligi ortadi. Arseniy (As) bilan legirlangan PK pardalari o'lchami kuydirishgacha $\sim 30 \text{ nm}$, termik kuydirishda u 40 nmgacha yetadi, lazer bilan kuydirishda 150 nmgacha yetadi. Mos ravishda, qarshiliklar nisbati 15000:890:360. Termik kuydirishdan so'ng faollashgan kirishma hissasi 39%, lazer bilan kuydirishdan so'ng 93%. Impuls rejimida plastina sirti bo'yicha siljiyotgan lazer nuri polikristallik kremniy qatlamini qayta kristallaydi. Bu qarshilikning yana ham kamayishiga olib keladi.

6. Amorf va polikristall qatlamlarining qayta kristallanishi. Epitaksial texnologiya yarimo'tkazgichli asboblarda yaratilishida katta o'zgarish qildi. Ammo uning ba'zi kamchiliklari bor. Bu jarayonlarda yuqori temperatura tutib turilishi zarur, u esa pardadan (epitaksial qatlamdan) taglikka va aksincha

kirishmalar qayta taqsimlanishiga olib keladi, oqibatda kirishma zichligi chegarasi keskin bo'lmaydi. Bunday kamchiliklar lazerlar yordamida bartaraf qilinishi mumkin.

Polikristall yoki amorf qatlamlarni qayta kristallash yo'li bilan epitaksial pardalar olish texnologiyasining kelajagi bor. Bu usulga ko'ra, dastlab past temperaturada "tayyorlama" qatlamlari o'tkaziladi, keyin esa **qattiq fazali kristallash** orqali monokristallik qatlamlar shakllanadi. Oqibatda parda – taglik chegaralari keskinlashib qattiq fazali qayta kristallash barcha bosqichlarda o'ta yuqori vakuum bo'lishini talab qiladi.

Agar lazer nurlanishi quvvati va uning nurini siljitib borish tezligi amorf qatlamni monokristallik taglikkacha suyultirishga etarlik bo'lsa, bu jarayon normal sharoitda kechishi mumkin. Yuqori chastotada changlab o'tqazilgan 440 nm qalinlikdagi amorf germaniy qatlamini **suyuq** fazadan qayta kristallash yo'li bilan yuqori sifatli monokristallik qatlam hosil qilinadi. Bunda ishlatiladigan argon lazeri nurlanishi quvvati 9 Vt, siljib borish tezligi 200 sm/s. Jarayon vaqti kichik bo'lgani natijasida kirishmalar pardadan taglikka va aksincha o'ta olmaydi.

Impulsi lazerlardan foydalanganda vakuumda qatlamlarni (changlatib) o'tqazgandan keyinoq havoda qayta kristallash yo'li bilan yuqori sifatli kremniy avtoepitaksial qatlamlari hosil qilinadi.

Lazer ishlovi tufayli germaniyni kremniy taglikka va kremniyning sapfir taglikda **geteroepitaksial** qatlamlarini olish mumkin.

7. Polikristall kremniy tasmalarini kristallash. Kremniy tasmalarini (lentalarini) o'stirish arzon kremniy plastinalarini olish usullaridan biridir. Bu usul kesish, yedirish va silliqlashdan amallarsiz bajariladi. Bu amallarga esa dastlabki maerial 75% gacha isrof bo'ladi.

Dastavval, kremniyni bug' fazasidan (past bosimda) vaqtincha taglikka o'tqaziladi. Keyin kremniy qatlami ajratib olinadi, taglikdan esa keyingi jarayonda yana foydalaniladi. Bu usul bilan 100 mkm va ortiq qalinlikdagi kremniy plastinalari olinadi. O'stirilgan tasma lazer bilan kerakli o'lchamli

plastinalarga ajratiladi. Biroq bu plastinalar mayda donali polikristallik tuzilishga ega, amalda ulardan foydalanib bo'lmaydi. Ularni ishlatishga yaroqli qilish uchun quyidagi amallar bajariladi:

Polikristall donalarini yiriklash uchun lazerga ishlov beriladi. Lazer nuri, masalan, 7,5 sm/min tezlikda siljib borib tasmaning torgina qismini suyultiradi. Qayta kristallashdan so'ng polikristallik kremniy yirik donador tuzilishga ega bo'lib qoladi. YUqori sifatli tasmalarning sirti yaltiroq, mayda panjaraviy relefga ega. Relif davri 4,5 mkm. Argonda kuydirilganda silliq ko'zgusimon sirt hosil bo'ladi. Bunday tasmaimon materiallarda noasosiy zaryad tashuvchilar yashash vaqti katta va tuzilish nuqsonlari kam.

Qayta kristallangan tasmaimon yarimo'tkazgichlar quyoshiy elementlar ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi.

8. “Dielektrik ustida kremniy” qatlamini qayta kristallash. Lazer yordamida qayta kristallash usuli bilan amorf moddalar sirtida shakllantirilgan “dielektrik ustida kremniy” qatlamlari boshqa usullar bilan o'stirilgan qatlamlarga xos kamchiliklardan halos. Bu holda tuzilmaning asosi kremniy taglik bo'ladi. Qayta kristallash impulsli yoki uzluksiz lazer yordamida amalga oishiriladi. Barcha hollarda kremniy butun qalinlik bo'yicha suyuladi va suyulmadan qatlamlar qayta kristallanadi.

Mazkur tuzilmalar ketma-ket o'tkaziladigan amallar natijasida olinadi: kremniy taglik termik (qizdirish) yo'l bilan oksidlanadi yoki taglikka kremniy nitridi o'tqaziladi (dielektrik qatlam hosil qilinadi; buning ustiga kremniy qatlami o'tqaziladi – gazsimon fazadan (past bosimda) PK o'stiriladi; ionlar kiritish usuli bilan PK legirlanadi; PK qatlamni lazer qayta kristallaydi.

Yaxlit kremniy qatlamlariga lazer ishlov berilganda ular polikristallikligicha qoladi, ammo donalar o'nlab mkm gacha kattaradi. Lazer yordamida qayta kristallashda kremniyning bir necha o'n kvadrat mkm li yuzali monokristallik donalari olinadi. Shunday usul bilan tayyorlangan “dielektrik ustida kremniy” qatlamlari asosida MOYa – tranzistorlar, katta integral mikrosxemalar (KIMS) tayyorlanadi.

9. Yedirish. Ultrabinafsha spektr sohasida nurlanish chiqaradigan lazerlardan polimer va metall pardalarni bevosita yedirish uchun foydalaniladi. Yedirishning bir necha usullari mavjud: qattiq fazadan bug'lantirish yo'li bilan yedirish, lazer rag'batlantirgan yedirish. Bu amallardan integral sxemalar hosil qilishda keng foydalaniladi.

Bob yuzasidan qisqacha xulosalar

1. Hozir to'la asos bilan shuni aytish mumkinki, "lazer texnologiyasi" deb maxsus termin bilan ataluvchi bu yangi yo'nalish to'laligicha shakllandi: ya'ni, uning asosiy fizik xususiyatlari o'rganildi, asbob-uskunalar turkumi ishlab chiqildi, sanoat va ishlab chiqarish masshtabida yuzaga keluvchi qator texnologik muammolar hal etildi.

2. Lazerlar hozir avtomobil sanoatida, samolyot yasashda, radioelektronikada, qurilish materiallari sanoatida samarali qo'llanmoqda.

3. Lazer texnologiyasi "tushuncha"sining o'zi hozirgi kunda ancha kengayib ketdi, chunki lazerlar an'anaviy bo'lmagan zonalarda, ya'ni kimyoviy mahsulotlar texnologiyasida, monokristallar hosil qilishda, ko'p komponentli qo'shilmalarni ajratishda, yarim o'tkazgichli materiallarni lokal legirlashda, izotoplarni bo'lishda va boshqa ko'pgina hollarda qo'llaniladi.

4. Lazerlar, hatto turli sanoat mollarini, agar ular jula kichik o'lchamli va juda nozik bo'lsa, markalashda ham keng ishlatiladi.

5. Lazer fizikasi va texnikasining rivojlanishiga O'zbekiston olimlari ham salmoqli hissa qo'shib kelmoqdalar, xususan

a) O'zRFAning "Akademasbob" ilmiy ishlab chiqarish birlashmasida nohiziqli optika bo'yicha boshlangan fundamental tadqiqotlar;

b) sobiq Issiqlik fizikasi bo'limida lazer sistemalarini va qurilmalarini yaratish uchun zarur bo'lgan yangi materiallarni tadqiq qilish;

d) sobiq Elektronika institutida lazer nurlarining qattiq jism sirti bilan ta'sirin o'rganish;

e) O'zbekiston Milliy Universitetida lazer nurlanishini qayd etish, tasvirlarni qayta tiklash, ma'lumotlarni golografik yozishning yangi usullarini ishlab chiqish va takomillashtirish;

f) sobiq Yadro fizikasi institutida lazer plazmasi va ko'pzaryadli ionlar emissiyasida yuzaga keladigan jarayonlarni o'rganish kabi juda ko'p yo'nalishlar bo'yicha ilmiy-tadqiqot va ilmiy-texnologik ishlar olib borilmoqda.

Umumiy xulosalar

Dissertatsiya ishining yakunida materiallarni lazer bilan qayta ishlashning ustunlik tomonlariga va yakuniy mulohazalarga to'xtalib o'taylik:

1. Lazerlarning yaratilish tarixi o'rganildi. Uning bashorat qilinishi A. Eynshteyn, kashf etilishi Basov, Proxorov, Tauns va boshqalarning faoliyati bilan bevosita bog'liq ekan;

2. Mikroelektronikada keng qo'llaniladigan lazerlarning ishlash prinsiplari va fizik asoslari o'rganildi;

3. Lazer texnikasi va lazer fizikasining rivojiga o'zbek olimlaridan akademik P.Q.Habibullaev va u asos solgan maktab olimlarining qo'shgan hissasi ham salmoqlidir. O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi sobiq Issiqlik fizikasi institutining Moskva Davlat Universiteti va boshqa ko'plab fizikaga yo'naltirilgan institutlar olimlari bilan hamkorlikdagi tadqiqotlari shular jumlasidandir;

4. Moddalarni lazerlar yordamida

a) qayta ishlash jarayoni va qayta ishlanuvchi materiallarning turli-tumanligi;

b) qayta ishlash jarayonining yuksak tezlik bilan bajarilishi;

d) hamma operatsiyalarni to'la avtomatlashtirish va shuning bilan ishlab chiqarish unumdorligini oshirish;

e) qayta ishlashning yuqori sifatliiligi;

f) ta'sirning tanlanganligi, ya'ni bir bo'lim qayta ishlanayotganda ikkinchisiga ta'sir etmasligi;

g) materiallarni masofadan turib qayta ishlash mumkinligi kabi afzalliklar mavjud ekan;

5. Lazerlar eng murakkab muammolardan biri - integral sxemalar tayyorlash, fotoandozalarni tez va aniq tayyorlash masalasini hal qilish imkonini beradi. Bu asosan optik frezerlash va fotolitografik usullarda qo'llaniladi.

Lazer texnologiyasini mikroelektronikada qo'llashning sanab o'tilgan, lekin uncha to'liq keltirilmagan afzalliklari shulardan iborat.

Xulosa so'ngida, akademik N.G.Basovning quyidagi go'zlarini keltirib o'tishni o'rinli deb hisoblaymiz: “Hozirgi paytda, lazer texnologiyasi butun dunyo bo'yicha yangi sifatli sakrash arafasida turibdi. Lazer texnologiyasi boshqa sanoat texnologiyasidan ikki sifati bilan ustun turadi. Birinchidan, odatdan tashqari ko'p qirrali bo'lib, “materiallarni qayta ishlash jarayoni turlicha. Ikkinchidan, ular nihoyatda istiqbolli”.

Sanab o'tganimizdek, lazerli nurlanish qator texnologik jarayonlar uchun eng qulay asbob hisoblanadi. Lazer texnologiyasi bilan ta'minlanishning iqtisodiy tomondan ham afzalligi uni mikroelektronika sanoatida tobora keng qo'llanilishiga sabab bo'lmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. А.Тешабоев, С.Зайнобидинов, Э.А.Мусаев. Яримўтказгичлар ва яримўтказгичли асбоблар технологияси. Тошкент, “ЎАЖБНТ” маркази, 2005 й., -392 б.
2. В.П.Вейко, С.М.Метев. Лазерные технологии в микроэлектронике. Издание БАН, София, 1991. (S.Metev, V.P.Veiko “Laser–assisted microtechnology”, Springer Verlag, New York, Heidelberg, 1998 (second edition).
3. R.Sugioka, M.Meunier, A.Pique. Laser Precision Microfabrication. Springer Verlag, New York, Heidelberg, 2010.
4. Ю.В.Байбородин. Основы лазерной техники, Киев, Наукова Думка, 1988. -383 с.
5. Применения лазеров. Под редакцией д-ра техн. наук В.П.Тычинского, издательство “Мир”, Москва 1974.
6. К.И.Крылов, В.Т.Прокопенко, А.С.Митрофанов. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении. Л. Машиностроение. Ленингр. отд-ние,1978.
7. Л.В.Тарасов. Лазеры и их применение. Учебное пособие для ПТУ. М.: Радио и связь, 1983.
8. Л.В.Тарасов. Лазеры: действительность и надежды. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985.
9. Б.Ф.Федоров. Лазеры. Основы устройства и применения. М.: ДОСААФ, 1988.
10. Р.Ганеев. Лазер одамлар хизматида. Тошкент, “Фан” нашриёти, 1990.
11. Ю.В.Байбородин. Основы лазерной техники, Киев, Наукова Думка, 1988.
12. Ю.Н.Дубнищев. Лазерные доплеровские измерительные технологии. Новосибирск: Изд–во НГТУ, 2002, -416 с.

13. Ю.Н.Дубнищев, В.А.Арбузов, П.П.Белоусов, П.Я.Белоусов. Оптические методы исследования потоков. Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2003, -418 с.
14. Ю.Н.Дубнищев, Б.С.Ринкевичюс. Методы лазерной доплеровской анемометрии. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982, -306 с.
15. L.E.Drain. The Laser Doppler Technique. Salisbury, John Wiley and Sons Ltd., 1980, -241 с.
16. F.Durst, A.Vetling, O.P.Whitellow. Principles and practice of Laser Doppler Anemometry. Z.: Academic Press, 1976, 295 p.
17. Т.Дюррани, К.Грейшид. Лазерные системы в гидродинамических исследованиях. Пер. с англ. / М.: Энергия, 1980, -336 с.
18. X.M.Madaminov, Sh.Madumarov. Lazerlarning materialshunoslikda qo'llanilishi. "Mikroelektronika, nanozarralar fizikasi va texnologiyalari" Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari, Andijon, 2015 y. 4-5 dekabr, 382-383 b.
19. X.M.Madaminov, Sh.A.Madumarov. Qattiq jismlarga lazerlar yordamida ishlov berish. "Kondensirlangan holatlar fizikasining zamonaviy muammolari" Respublika ilmiy anjumani materiallari, 1-tom, Buxoro, 2016 y. 12-14 aprel, 189-191 betlar.
20. X.M.Мадаминов, Ш.Мадумаров. Лазерларни микроэлектроника ва материалшуносликда қўлланилиши. "XXI аср – интеллектуал авлод асри" шиори остидаги ёш олим ва талабаларнинг худудий илмий-амалий конференцияси материаллари, Андижон, 2016 й. 26-27 май, 210-212 бетлар.
21. X.M.Madaminov, Sh.A.Madumarov. Mashinasozlik materiallarini lazerli kesish. "Mashinasozlikda zamonaviy materiallar va texnologiyalar" mavzusidagi halqaro ilmiy-texnikaviy anjuman materiallari, 2-jild, Andijon, 2016 y. 19-21 aprel, 173-175 betlar.

22. S.Z. Zaynabidinov, X.M.Madaminov, M.O.Qo'chqarova, G.F.Karimova.
Mikroelektronika va lazer texnologiyalari. "Mashinasozlik" Ilmiy
xabarnomasi, №4, 2016 й., 38-43 betlar.