

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



2016 yil

“HIMOYAGA QO'YILDI”

Kafedra mudiri Sh.A. Ermatov

“ 20 ” 2016 yil

Qo'lyozma huquqida
UDK _____

“LAZERLAR YORDAMIDA MATERIALLARGA ISHLOV BERISH VA
ULARNI QAYTA ISHLASH”

MAVZUSIDA

MAGISTRLIK DISSERTATSIYASI

Bajardi: Shodonboy A'zamjonovich Madumarov
“Lazer fizikasi” yo'nalishi magistranti

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

ANDIJON – 2016

O'zbekiston Respublikasi
Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
Andijon davlat universiteti

Fakultet: Fizika-matematika
Kafedra: Fizika
O'quv yili: 2014-2016

Magistrant: Madumarov Sh.A.
Ilmiy rahbar: Madaminov X.M.
Mutaxassislik: Lazer fizikasi

“Lazerlar yordamida materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlash”
mavzusidagi magistrlik dissertatsiyasining annotatsiyasi

Mazkur magistrlik dissertatsiyasi lazerlar yordamida materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlashning fizik asoslari va qurilmalarini o'rganishga bag'ishlangan. Bundan tashqari, o'tkazilgan qator tadqiqotlar natijalari orqali aynan shu sohada ishlatiladigan lazer qurilmalari batafsil o'rganib chiqilgan. O'rganilgan va tayyorlangan materiallar materialshunoslikda qo'llaniladigan lazerlardagi fizik jarayonlarni tadqiq qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Materialshunoslikda lazerli texnologiyaning qo'llanilishi materialni qayta ishlashdagi yuqori aniqlikka erishish, turli fizik va mexanik xususiyatlarga ega bo'lgan har xil turdagi materiallarni bir-biriga payvandlash, kesish va parmalsh kabi texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish imkonini yaratadi. Bundan tashqari, lazerlarning qo'llanilishi ishlab chiqarish madaniyatini yuksaltirish va mehnat sharoitini yaxshilash kabi afzalliklarga ega bo'lishi ko'rsatilgan.

Ilmiy rahbar:
Magistrant:



X.M. Madaminov
Sh.A. Madumarov

The Republic of Uzbekistan
Ministry of High and special secondary education
Andijan State University

Faculty of Physics and Mathematics

The department of Physics

Study year: 2014-2016

Researcher - Madumarov Sh.A

Supervisor - Madaminov X.M

Specialization – Laser Physics

RESUME

for master's research work of the theme “Materials processing and recycling via lasers”

This master's research is dedicated to process materials, via lasers and learning physical fundamentals and devices of recycling. Furthermore, through a series of research results lasers which was used in this field is defined well.

Studied and prepared materials is essential factor for the investigation of physical processes in the lasers used for the field of materials.

In the area of material, using technology of laser gives more opportunity to automation of technological processes, such recycling metals accurately, welding various material to each other that have physical and mechanical features, cutting as well as foredoom.

Moreover, it shows that the advantages of using lasers are to develop culture of producing and improving working condition.

Supervisor:

Researcher:



X.M. Madaminov

Sh.A. Madumarov

MUNDARIJA

Kirish	3
I BOB. LAZERLAR HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR	
1.1. Lazerlar haqida boshlang'ich ma'lumotlar	9
1.2. Lazerlarning texnikada tutgan o'rni	12
1.3. Kvant qurilmalarining tavsifi	21
1.4. Elektromagnit to'lqinlar chiqarilishi va yutilishidagi kvant jarayonlar	27
1.5. Spektral chiziqlar kengligi va shakllari	34
Bob yuzasidan qisqacha hulosalar	39
II BOB. MATERIALSHUNOSLIKDA KENG QO'LLANILADIGAN LAZERLARNING TUZILISHI VA ISHLASH TAMOYILLARI	
2.1. He-Ne lazeri	41
2.2. CO ₂ lazeri	47
2.3. Optik damlash bilan ishlovchi qattiq jism lazerlari.....	53
2.4. Yoqut lazeri.....	57
2.5. Shisha asosli neodim lazerlar	59
2.6. Ittiri-alyuminiy granatli (IAG) lazerlar	61
Bob yuzasidan qisqacha hulosalar	63
III BOB. LAZERLAR VA ULARNI MATERIALSHUNOSLIKDA QO'LLANILISHI	
3.1. Lazerlarning materialshunoslikda qo'llanilishi haqida	64
3.2. Gazli-lazerli kesish va termik qizdirish	67
3.3. Lazerli payvandlash va qayta toblash	71
3.4. Lazerli parmalash	72
3.5. Lazer texnologiyasini mikroelektronikada qo'llash	73
3.6. Lazerlarning boshqa sohalarda qo'llanilishi	75
3.7. Lazer texnikasining O'zbekistonda rivojlanishi	76
Bob yuzasidan qisqacha hulosalar	78
Umumiy xulosalar	79
Foydalanilgan adabiyotlar ro'xati	81

KIRISH

Mavzuning asoslanishi. Lazer texnikasining rivojlanishi tufayli lazerlarning qo'llanilishining taraqqiy ettirish masalalariga qiziqish tobora ortib bormoqda. Bu esa o'z navbatida 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 aytilish 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, 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.

Mavzuning dolzarbligi shundaki, lazer nurlarining moddalarga ta'sirida 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.

Metallning sirtiga kuchli lazer nurini yo'naltirib, uning intensivligini tobora oshirib boramiz. Nurning intensivligi 10^5 Wt/cm^2 ga etganda metallning erishi boshlanadi. Sirtning yaqinida nurli dog' ostida suyuq metall paydo bo'ladi. Lazer nurining intensivligini $10^6\text{--}10^7 \text{ Wt/cm}^2$ 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 W/cm² ga yetganda 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 impuls (davomiyligi 10^{-2} - 10^{-3} s) kerak bo'ladi, teshik ochish uchun esa materialning bug'lanish tezligini oshirish maqsadida juda qisqa impuls 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 materialshunoslikda qo'llaniladigan lazerli qurilmalar, ular yordamida ishlov va qayta ishlovni amalga oshirishning fizik asoslari, lazer nurlarining moddaga plazmasi hosil bo'lishining asosiy shartlari, ularni amalga oshirish qurilmalari haqida ma'lumot berishga harakat qildik. Bundan tashqari, materiallarni 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 materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlash

metodlarini o'rganishdan iborat. Predmeti esa, materiallarga lazerli ishlov berish metodlarining natijalari asosida, materiallarni kesuvchi, teshuvchi, erituvchi qurilmalar tuzilishi, islash tamoyillarini o'rganishdan iboratdir.

Tadqiqotning maqsadi: Quvvatli lazerlar yordamida materiallarga ishlov berish, ularni qayta ishlash jarayonlarini va qurilmalari o'rganish, olingan natijalarni adabiyotlar orqali tahlil qilish.

Tadqiqotning vazifalari:

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

2. Materiallarga lazerlar yordamida ishlov berishning fizikaviy asoslarini, imkoniyatlarini, qo'llanilish sohalarini va boshqa amaliy jihatlari 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, plastmassa, fanera, matolarga ta'siri haqida ma'lumotlar berilmaydi. Ishda ilk bor lazer larning yumshoq, mo'rt va tekstil materiallariga ta'siri o'rganildi.

Tadqiqotning asosiy masalalari va farazlari. Tadqiqotda olingan natijalardan ilmiy maqsadlarda, shuningdek, spravochnik sifatida foydalanilishi mumkin. Shu sababli, dissertatsiya ishida hal qilingan asosiy masalalar lazer nurlari yordamida materiallarni yuqori aniqlikda kesish, teshish, silliqlash va lazerli dopler o'lchash usuli, usulning texnologiyasi, o'lchash usulining aniqlik darajasini oshirish 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. Materialshunoslik sohasida qo'llaniladigan lazerlar erishilgan taraqqiyot tufayli moddalarni kesish,

payvandlash, sirtga ishlov berish, teshish kabi vazifalarni bajara olishi tufayli katta qiziqish uyg'otmoqda. Hozirgi vaqtda, lazerlar yordamida materilallarni katta aniqlikda kesis, teshish sohasida yuqori aniqlikka erishilgan. Bu eksperimentlarda 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 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 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 bosimlargacha 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 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 [10].

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

Ayniqsa, so'nggi yillarda lazerlarni gidro- 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 jihatlarini 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 tezislar va maqolalar e'lon qilindi:

A. Ilmiy anjuman va seminarlar to'plamlarida chop etilgan tezislar				
No	Chop etilgan tezislar nomi	hajm (bet)	Tezislar chop etilgan to'plam nomi, yili, beti	Hammualiflar
1[18].	Lazerlarning materialshunoslikd a qo'llanilishi	1	"Mikroelektronika, nanozarralar fizikasi va texnologiyalari" Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari, Andijon, 2015 yil 4-5 dekabr, 382-383 betlar.	Madaminov X.M.
2 [19].	Qattiq jismlarga lazerlar yordamida ishlov berish	3	"Kondensirlangan holatlar fizikasining zamonaviy muammolari" Respublika ilmiy anjumani materiallari, 1-tom, Buxoro, 2016 yil 12-14 aprel, 189-191 betlar.	Madaminov X.M.
3[20].	Mashinasozlik materiallarini lazerli kesish	3	"Mashinasozlikda zamonaviy materiallar va texnologiyalar" mavzusidagi halqaro ilmiy-texnikaviy anjuman materiallari, 2-jild, Andijon, 2016 yil 19-21 aprel, 173-175 betlar.	Madaminov X.M.
4[21].	Лазерларни микроэлектроника ва материалшunoslikda қўлланилиши	3	"XXI аср – интеллектуал авлод аcri" шиори остидаги ёш олим ва талабаларнинг худудий илмий-амалий конференцияси материаллари, Андижон, 2016 йил 26-27 май, 210-212 бетлар.	Мадаминов Х.М.

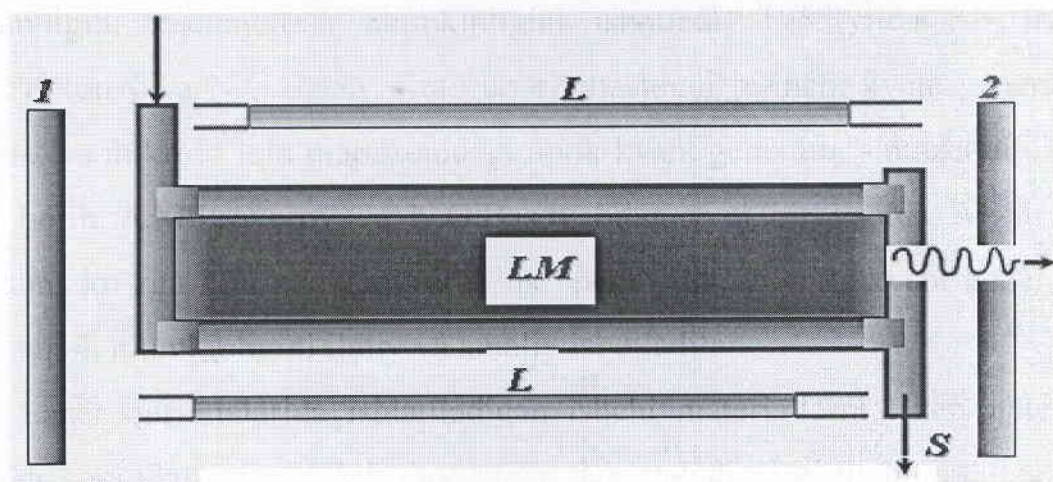
I BOB. LAZERLAR HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

1. Lazerlar haqida boshlang'ich ma'lumotlar

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 molekulalarning majburiy (stimullangan) nurlanishiga asoslanib hosil qilinadi. Bunday nurlanish hosil qiluvchi qurilmani lazer yoki optik kvant generator (OKG) deyiladi.

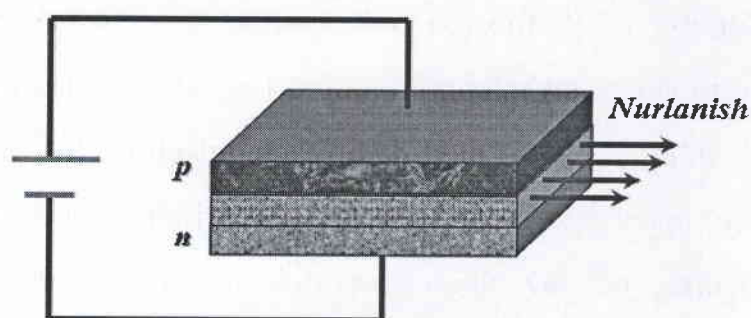
Rus fizigi V.A.Fabrikant 1940-1941 yillarda gaz razryadi spektrini o'rganish ishlari davomida "majburiy nurlanish hisobiga" yorug'likning intensivligini kuchaytirish mumkinligini isbotladi. 1955-yilda rus fiziklari A.M.Proxorov va N.G.Basov o'ta yuqori chastotali birinchi kvant generatorini yaratdi. 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 kristali (rubin) 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 eritmaları 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 jisimli, suyuqlikli (kimyoviy), gazli, yarimo'tkazgichli va bo'yoq moddali turlarga ajratish mumkin (1.1-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 impuls	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	0,36- 0,65 0,32-	Spektrning keng sohasiga moslashuvchanlik; suyuqlikli sovutishning	Kontaktsiz o'lchov va tahlil tizimlari (atmosfera nazorati

moddalarda va chaqnovchi lampa bilan damlanuvchi	1,00	zarurati	uchun); fotoximiya: fotobiologiya; tibbiyot
Yarimo'tkazgichli			
Arsenid galliy (GaAs) li va arsenid galliy- alyuminiy (GaAlAs) li	0,85- 0,91	O'lchamlarning o'ta kichikligi; FIK ning yuqoriligi; o'ta kichik kogerentlik; quvvatning kichikligi; to'lqin uzunligining haroratga bog'liqligi	Kichik masofalarga mo'ljallangan aloqa tizimlari; signalizatsiya qurilmalari

1.2. Lazerlarning texnikada tutgan o'rni

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 xususiyatlarini 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 sohalarini kengaytiradi va katta imkoniyatlarni yaratib bermoqda. Muhit bilan elektromagnit to'lqinlar 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 tadbqiqsiz 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

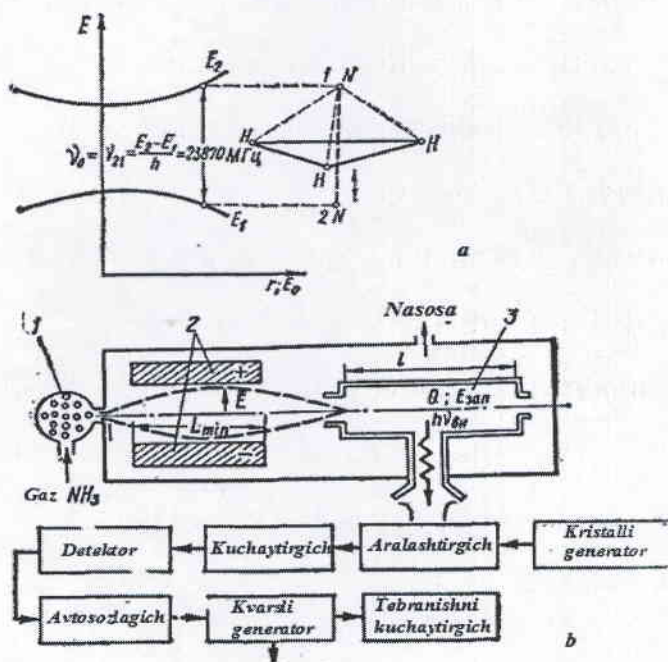
qiluvchanligini χ , dielektrik doimiysi ε bilan bog'liqligini tushuntirish maqsadida ular tomonidan quyidagi tenglama taklif etildi;

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

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 hisoblasa 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 nochiziqli 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 molekulasi (a) va standart kvant tebranishi uchun Shtark effekti

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

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

Faol modda sifatida ammiak bekorga tanlanmagan. Radiospektroskopik tadqiqotlar natijasida NH_3 spektrida o'ta yuqori to'liqlar (O'YuT) diapozonida joylashgan energetik sathlar aniqlandi. Ularning energetik farqi $\lambda=1.26$ cm to'liqin 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 molekulalarni bekor qiladi, faqatgina ammiak rezonator (3) da yuqori (E_2) holatga ega molekulalarni 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 molekulalar 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 molekulalar 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 molekulalar 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 chiziqlik chastotasi, $\nu_0 = \nu_p$ - rezonatorning xususiy chastotasi.

Rezonator ishlash qobiliyati yoki aslliligi Q -yig'ilgan elektromagnit maydon energiyasining tebranish sistemasining bir tebranish davrida yo'qalayotgan o'rtacha energiyasiga nisbatan hisoblanadi.

Shu yerda kvant generatorining yana bir xarakteristikasi - Q_n spektral chiziqlikning ishlash qobiliyatini keltiramiz. Bu spektral chiziqlik ν_0 ning rezonans chastotasini yarim intensivlik holatida shu chiziqlikning kengligi $\Delta \nu_N$ ga nisbatan, ya'ni $Q_n = \frac{\nu_0}{\Delta \nu_N}$ ga teng bo'ladi.

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

Rezonatorida ma'lum masofada molekulalar to'plami (puchogi) joylashish inversiyasini yo'qotadi va keyinroq rezonator energiyasini yuta boshlaydi. Ishlangan ammiak nasos bilan so'rib olinadi va maxsus adsorbent bilan to'la yo'q qilinadi.

Kvant elektronikasining keyingi bosqichi shu prinsiplarni elektromagnit to'lqinlarning optik diapozoniga qo'llanishi bilan uzviy bog'liq. 1958 yilda Ch.Tauns, A.L.Shavlov va A.M.Proxorov optik nurlanish diapozonida majburiy tebranish hodisasidan foydalanish imkoni borligi to'la isbotlab berdilar (2-jadval).

O'tkazilgan 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 He-Ne – gazli lazer yaratildi	A. Javan, V. Bennet, D.Erriot	
1961	Nochiziqli optik effekt aniqlanishi (garmonik generatsiyasi): nochiziqli optika rivojlanishini boshlanishi	P. Franken, A. Xill, Ch. Pitsers, 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 institutida solitonli lazerlar ustidagi tadqiqotlar boshlandi	P.Q.Xabibullaev, 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'liq 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 asboblarni 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 prezision sistemalarni yaratishga asos bo'ldi. Modulyatsilangan 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'liqlik lazerni yaratish mo'ljallangan. Qayd etilgan sxema kvant girooskop 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'liqlarining 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.

1.3. Kvant qurilmalarining tavsifi

1. Uzunlik, chastota va vaqtni o'lchashning kvant standartlari.
2. Optik diapozon (lazer kuchaytirgichlar) va O'YuChT diapozonda (molekulyar, paramagnit va boshqalar) kvant kuchaytirgichlar.
3. Lazerlar.
4. Lazer nurlanish chastotasini o'zgartirgichlar.
5. Lazerli modulyatsion qurilmalar.
6. Lazer sistemalar (lidar, girometr, burchak tezligini o'lchaydigan lazer doppler o'lchagichlari, optik aloqa sistemasi, hisoblagichlar va shu kabilar).
7. Materiallarni qayta ishlash, ma'lumotlarni yozish va akslantirish, lazerli integral – optik qurilmalar, shu ishlarni bajara oladigan texnologik usul va asbob-uskunalar.
8. Lazerli spektroskopiya metodlari va qurilmalari. Akustik spektroskopiya, dielektrik radiospektroskopiya, Mandelshtamm-Brillyuen

spektroskopiyasi, Infraqizil nurlar spektroskopiyasi, ultrabinafsha nurlar spektroskopiyasi, kombinatsion sochilish spektroskopiyasi, YAMR, EPR va boshqalar.

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 jismli 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 nurli, 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 traktak 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’rsatgichi, 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 chiziqliligini 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 energiyaning 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_n} - 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'rinishda yozsak:

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

bu yerda $x = \frac{c_2}{\lambda T}$, $c_1 = 2\pi^5 h^6 c^2$, $c_2 = \frac{hc}{k}$.

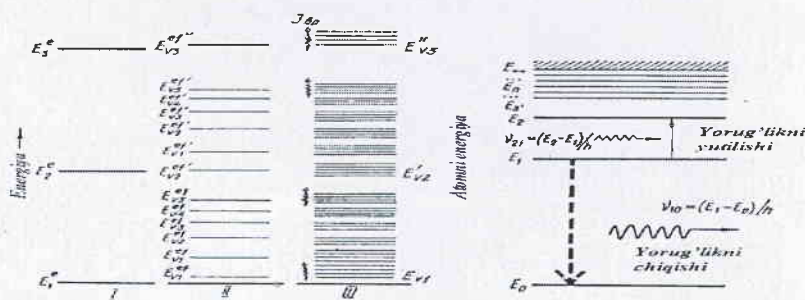
Undan so'ng (1.10)ni integrallasak,

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

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'rinishda 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.



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.

$\rho_{\lambda s}$ ning chegaraviy yechimini topib, V.Vin (1864-1928 y)ning siljish qonunini topamiz:

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

bu yerda $\lambda_{\max}$ - belgilangan haroratdagi absolyut qora jismning nurlanish energiyasining spektral zichligi maksimumiga mos keladigan to'liq uzunligi. Uning birligi *mm* 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} 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.

O'zining o'qi atrofida molekulaning aylanishi infraqizil spektrning chet sohalarida qisqa to'liq uzunligidagi nurlanishni hosil qiladi. Ancha yuqori haroratga mos keladigan molekula yadrosining tebranishi qisqa to'liqli infraqizil va uzun to'liq 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'liq uzunlik sohasiga mos keladi. Tebranishli sathlar orasidagi farq $\Delta\varepsilon_{teb} = 10^{-2} - 1 eV$ va $\nu = 10^{14} - 10^{15} Hz$ ni tashkil qilsa, bu ko'rish va ultrabinafsha to'liq 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, molekulalarning aylanma energiyasi tebranishdan ancha kam, u esa o'z navbatida elektronlar energiyasidan kichik bo'lishi nazariya va tajribada o'zining tasdig'ini topdi.

1.4. Elektromagnit to'liqlar chiqarilishi va yutilishidagi kvant jarayonlar

Kvant mexanika qonunlariga ko'ra elektronning energiyasi ixtiyoriy qiymatlarni qabul qila olmaydi. Uning 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'raligicha 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'liqlarni 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'liqsimon (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_m sathdan yuqoridagi E_n sathga o'tish ro'y beradi. Fotonni $h\nu_{nm}$ 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'liqlarni yutilishi yoki chiqarish spektrlari chiziqli xarakterga ega bo'ladi.

Shu kabi fizikaviy hodisalarni tushuntirishda bir vaqtning o'zida to'liqsimon 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'y 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 ($W_{nm} = B_{nm}\rho_v$) bo'ladi deb muloxaza yuritiladi. A. Eynshteyn tahlillar asosida quyidagini ko'rsatdi,

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

u holda energiyasi spektral zichligi

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

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:

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

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 matritsali element $|D_{nm}|^2$ modulining elektr dipol momentiga proporsional bo'ladi. Kvantomexanik kattalik $\vec{D} = e\vec{r}$, nurlanish chiqarishi bilan sodir bo'lgan mikrozarraning ruxsat etilgan o'tishidagi elektr xususiyatlarining o'zgarishini xarakterlaydi va dipol zarrachalar orasidagi o'rtacha masofa $\vec{r}$ ga bog'liq bo'ladi.

Agar matritsali element 0 ga teng bo'lmasa, unda E_m va E_n orasidagi o'tish ruxsat etilgan, $D_{nm} = 0$ 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.

$D_{nm} = 0$ 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 $D_{nm} = 0$ da ham o'tish ehtimolligi 0 ga teng bo'lmasligini ko'rsatadi. Shunday, qilib, agar

$D_{nm} = 0$ 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 y marta ortadi. $G \approx \frac{16\pi^2}{hc} \frac{\nu_0}{\Delta\nu} (N_n - N_m) |D_{nm}|^2$ - 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 uskunalari 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 ampshlitudasini 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: $G \geq \beta_z$

1.5. Spektral chiziqlar kengligi va shakllari

Nurlanishning eng muhim xarakteristikasi uning spektri hisoblanadi, ya'ni nurlanishni hosil qilayotgan elektromagnit maydonni tashkil etuvchi monoxramatik to'liqlar to'plami tushuniladi. Monoxramatik to'liqlar – qat'iy monoxramatik tebranish yo'q, ideallashtirilgan hodisa hisoblanadi. Har bir real lazer manbai nurlanishi to'liqlarning 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'liqlar turini ifodalaydi. Bu kabi to'liqlar 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'liqlarining apparat funksiyasi ma'lum $\delta\nu$ kenglikka ega bo'ladi. Moddaga tushgach undan sochilayotgan to'liqlarining apparat funksiyasi modda bilan to'liqlarining 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, chiziqlarning 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 diapazonining holatida shunday chiziq kengligi bir nechta o'n kHz, santimetrli to'lqinlarda – 1 Hz dan ham kam qiymatga tengdir.

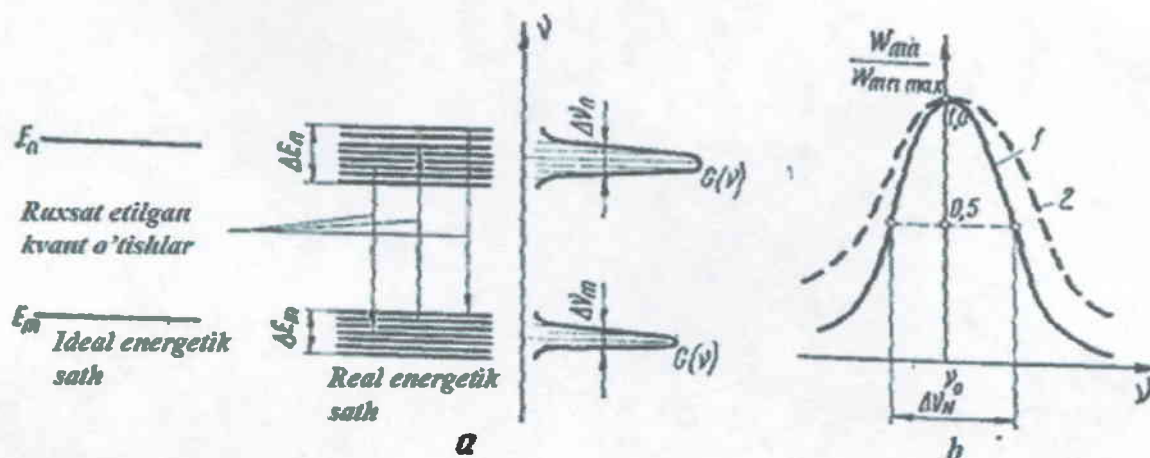
Yana shu yerda ta'kidlash kerakki, spektral chiziq kengligi ΔE_m va ΔE_n sathlar orasida kvant o'tishlar sodir etilayotgandagi umumiy shu sathlar kengligi bilan aniqlanadi, ya'ni biz buni quyidagi formula shaklida ifodalashimiz mumkin:

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

Chiziqlar shakli nurlanish chiqarilish va yutilish uchun bir xil bo'lib, $F(\nu)$ spektral chiziqlarning 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-rasmida 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 kengayishiga (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]:

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

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

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

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), $M=0.911 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$ - 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 kengaishiga 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 monoxramatik to'liqlar to'plami tushuniladi;

6. Parchalanish, tashqi magnit maydon ta'sirida energetik sath kengayishi Shtark effekti, bir xil energiyali g_m holatlar soni – sath qayta shakllanish 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. MATERIALSHUNOSLIKDA KENG QO'LLANILADIGAN LAZERLARNING TUZILISHI VA ISHLASH TAMOYILLARI

2.1. He-Ne lazeri

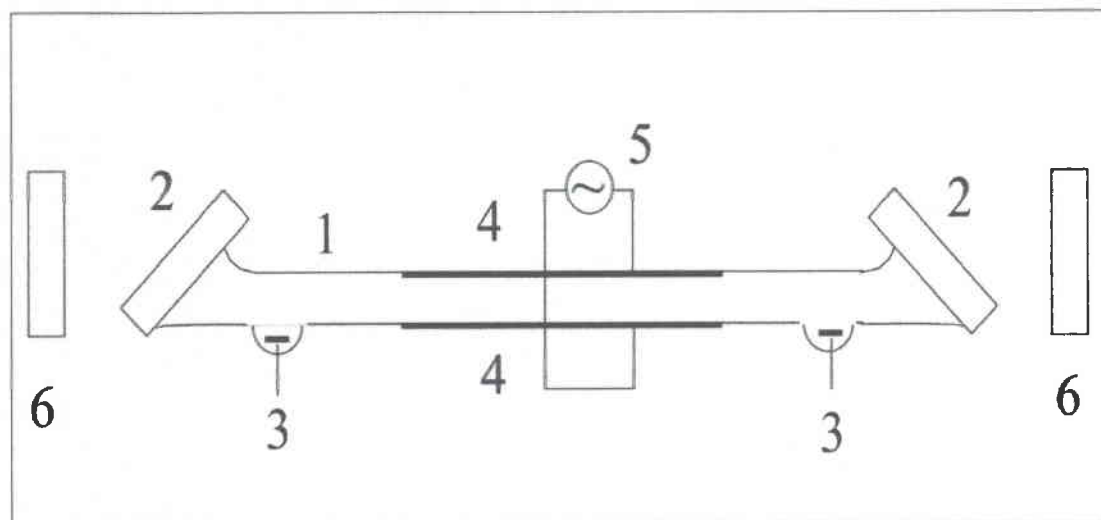
Geliy-neon lazeri gazli lazerlar majmuasiga kiradi. Geliy-neon gaz aralashmasi to'ldirilgan gazorazryadli nay lazerning asosiy qismi bo'lib xizmat qiladi (2.1-rasm).

Gazli razryad nayining ichki diametri bir necha mm dan 1 cm gacha, uzunligi esa bir necha cm dan bir necha metrgacha bo'lishi mumkin. Faol muhit sifatida neon gazi olinib, yordamchi gaz sifatida unga geliy gazi qo'shiladi va ularning nisbati taxminan 1:7 munosabat olinib, gaz razryad nayi kerakli bosimlarda (1,3 mm cm. ust. teng bosimlarda) to'ldiriladi. Razryad nayining ichida yoki tashqarisida 2.1-rasmda ko'rsatilgandek silindrik yoki tasmali elektrodlar joylashtiriladi va ular mos holda doimiy tokli yoki ko'ndalang yuqori chastotali razryad hosil qilishi uchun xizmat qiladi.

Geliy va neon aralashmali muhitdagi jarayonni tahlil qilish uchun, geliy va neon atomlarining elektron energetik sathlari diagrammasidan foydalanamiz. (2.2-rasm).

Geliy yordamchi gaz bo'lib, ikkinchi tur to'qnashishlar yordamida neon ishchi energetik sathlarini neon atomlari bilan to'ldirishga yordamlashadi. Geliy atomlarining o'zi erkin elektronlar bilan to'qnashganda yuqori energetik sathlarga chiqadi. Geliy atomining bu yuqori sathlardagi yashash vaqti 10^{-3} s va bu sathlar energiyasi neon atomining 2s va 3s sathlarining energiyalariga yaqin. Bu holda yuqori energetik sathdagi geliy atomlari pastki sathda joylashgan neon atomlari bilan noelastik (rezonans) to'qnashib uni yuqorigi 2s va 3s ishchi sathlarga chiqaradi. Geliy atomi 2s sathi va neon atomini 3s sathi energiyalarining farqi 300 cm^{-1} tartibida bo'ladi. Bu xona temperaturasidagi kT ning qiymatidan bir muncha katta bo'lishiga qaramasdan geliy atomidan neon atomiga energiya uzatish jarayonining intensivligi kuchli kechadi. SHunday qilib, aytish mumkinki, g'alayonlantirilgan geliy atomlari yordamida neon

atomlarini g'alayonlantirish uchun, energiya zarralarning o'zaro rezonans to'qnashishi yo'li bilan uzatilar ekan. Tanlash qoidalariga asosan zarralarga s-sathdan p-sathlarga o'tishga ruxsat berilgan.



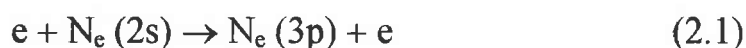
2.1-rasm. Geliy-neon lazeri konstruksiyasining chizmasi [4].

1 - razryad nayi, 2 - Bryuster burchagi ostida qo'yilgan shisha qoplamalar, 3 - doimiy tokli razryad olish uchun o'rnatilgan elektrodlar, 4 - razryad nayining ustki ikki yuzasida uning uzunligi bo'ylab qo'yilgan metall (mis) elektrodlar, 5- yuqori chastota generatori, 6 - optik rezonator ko'zgulari.

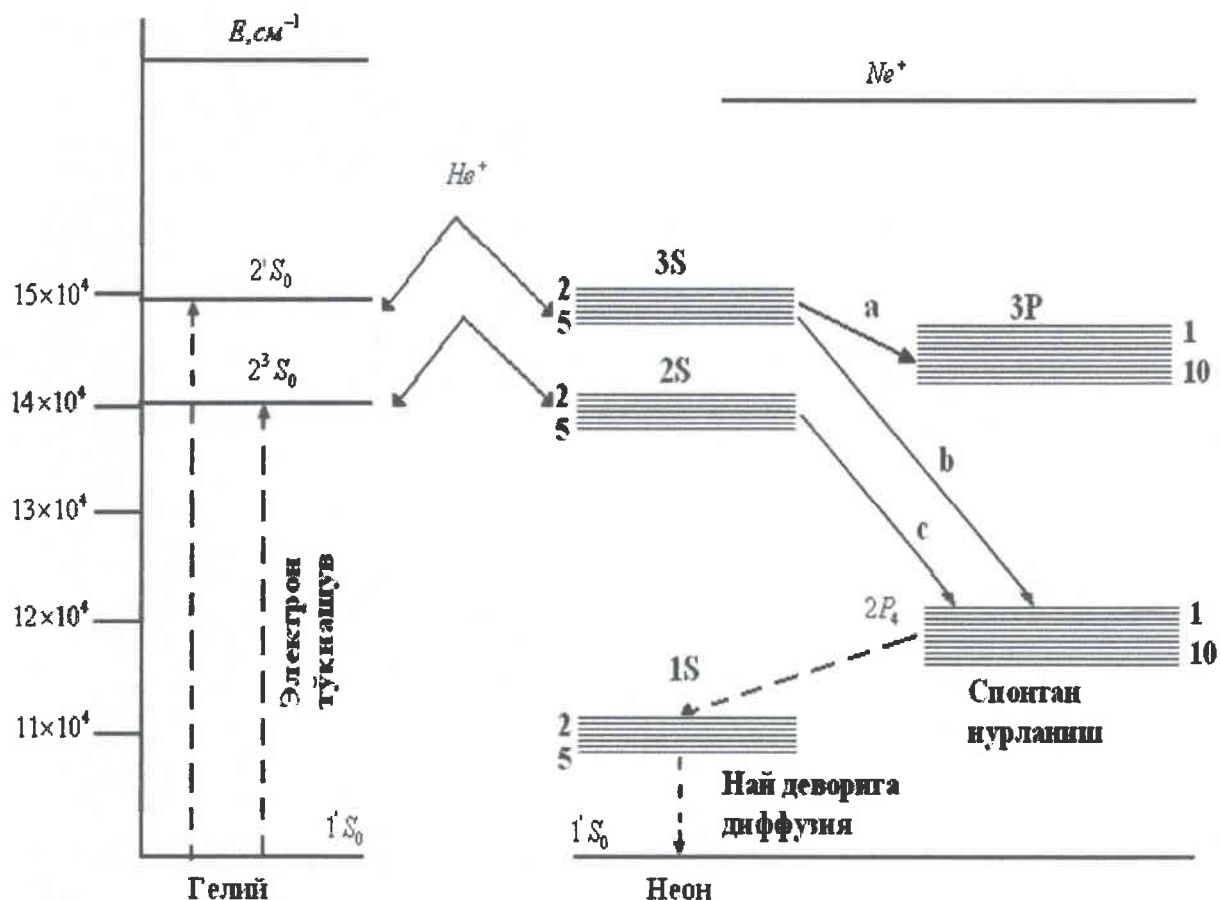
O'tishlarida invers bandlik hosil bo'ladi va lazerning to'rt energetik sathli tuzilishdagi ishlash tamoyiliga mos keladi. Bu jarayon yordamida invers bandlik hosil qilish asosiy hisoblanishidan tashqari neon atomlari elektronlar bilan to'qnashishda ham g'alayonlantirilgan sathlarga o'tkazilib, invers bandlik hosil qilinishi mumkin. Doimiy tokli razryadli holda razryad tokining katta qiymatlarida neon atomining 1s sathi elektron-neon to'qnashuvi natijasida to'ldiriladi. Shu holda 2p va 3p sathlarning 1s sathdagi neon atomlari bilan zinapoya usulida to'ldirilishi asosiy bo'lib qoladi. Bu hol invers bandlikning kamayishiga hamda generatsiyaning yo'qolishiga olib keladi.

Bu holda neon atomining nurlanishi $2s \rightarrow 2p$ va $3s \rightarrow 3p$ sathlardagi o'tishlariga to'g'ri keladi. Bu jarayonlarni quyidagi





ifodalar ko'rinishida belgilash mumkin.



2.2-rasm. Geliy va neon atomlarining energetik sathlari diagrammalari (a) $\lambda_1=3,39$ mkm, b) $\lambda_2=0,63$ mkm, s) $\lambda_3=1,15$ mkm to'liqin uzunlikli generatsion o'tishlar) [7]

Tarixan, birinchi bo'lib, $2s \rightarrow 2p$ energetik o'tishlarida lazer generatsiyasi olingan. Hozirgi paytda, sanoatda ishlab chiqilgan lazerlarda uch xil o'tishlarda generatsiya olingan bo'lib, ularda generatsiya olish shart-sharoitlari taxminan bir xil (gaz aralashmasi bosimi, razryad tokining qiymati) va nurlanish quvvatining razryad parametrlariga bog'liqligi ham bir xil. bo'ladi. YUqorida ko'rsatilgan o'tishlarda kuchaytirish quyidagicha bo'ladi:

$\lambda_1 = 3,39$ mkm 20 db/m-gacha

$\lambda_2 = 1,15$ mkm 10-12 % bir metrda

$\lambda_3 = 0,63$ mkm 4-6 % bir metrda

To'liq uzunligi $\lambda_1=3,39$ mkm nurlanish berish imkoniyatiga ega bo'lgan energetik sath neon atomlari bilan tez va oson to'ldiriladi. Lazer generatsiyasi bu holda gaz razryadining parametrlari keng o'zgarish oralig'ida ro'y beradi. To'liq uzunligi 0,63 mkm nurlanish generatsiyasini olish murakkabroq, lekin bu nurlanish elektromagnit to'liq diapozonining ko'zga ko'rinadigan diapazonida bo'lgani va foto qabulqilgich qurilmasining eng katta sezgirlik sohasida yotgani uchun neon lazerlari ko'p ishlab chiqariladi va xalq xo'jaligining turli sohalarida ishlatiladi. Nurlanish chizig'i enining kengligini qo'yidagi uch jarayon belgilaydi.

1. To'qnashuvlar. Geliy-neon lazerlaridagi gaz aralashmasining bosimi $P=66$ Pa va temperaturasi xona temperaturasiga teng bo'lganda zarralarning to'qnashish davri $\tau_0=0,5 \cdot 10^{-6}$ s bo'lib, nurlanish chizig'i enining kengligi

$$\Delta\nu_t = \frac{1}{2\pi\tau_c} \approx 0,64 \text{ MHz} \quad (2.2)$$

bo'ladi.

2. Tabiiy kengayish. Bu holda nurlanish chizig'i enining kengayishi zarraning spontan nurlanishiga bog'liq bo'lib, uning kengligi

$$\Delta\nu_{\text{tab}} = \frac{1}{2\pi\tau_{\text{cn}}} \approx 19 \text{ MHz} \quad (2.3)$$

bo'ladi. Bu erda $\tau_{\text{cn}}^{-1} = \tau_s^{-1} + \tau_p^{-1}$, τ_s , τ_r elektronning mos ravishda s va p sathlarda yashash vaqtlari.

3. Doppler kengayishi. Zarralarning issiqlik harakatidagi tezliklari bilan bog'liq bo'lgan nurlanish chizig'i enining kengayishi Kelvin shkalasi bo'yicha 300 K uchun mos ravishda:

$$\begin{aligned} \Delta\nu_d &= 1700 \text{ MHz } (\lambda_1=0,63 \text{ mkm}); \\ \Delta\nu_d &= 800 \text{ MHz } (\lambda_2=1,15 \text{ mkm}), \\ \Delta\nu_d &= 300 \text{ MHz } (\lambda_3=3,39 \text{ mkm}) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Shunday qilib, geliy-neon lazeri nurlanishi uchun Doppler kengayishi asosiy kengayish bo'ladi.

Geliy-neon lazerida invers bandlikning hosil bo'lishi va uning relaksatsiyasi (ya'ni, buzilishi) murakkab jarayon bo'lgani uchun optimal ishchi parametrlarga ega bo'ladi:

1. Neon gazining optimal (13 Pa) bosimi va geliy atomlari konsentratsiyasining neon atomlari konsentratsiyasiga nisbati:

Geliy atomlari konsentratsiyasi neon atomlari konsentratsiyasidan ko'p bo'lishi kerak. Tajribalardan topilgan optimal nisbat razryad nayi diametriga bog'liq bo'lib, lazer nurlanishining quvvati maksimal bo'lishi uchun 5:1 dan 10:1 nisbatgacha bo'ladi. Katta qiymatli nisbatlar kichik diametrli razryad nayiga mansub. Neon gazining optimal bosimi bo'lishi, gaz konsentratsiyasining ortishi natijasida neon atomining pastki energetik sathlarini zinopoya usulida to'ldirilishi sabab bo'lishi mumkin.

2. Razryad nayining optimal diametri. Razryad nayining devorlarida neon atomi 1s sathdagi energiyasini berib asosiy sathga tushadi va shuning uchun razryad nayining diametrini kichraytirish zarur. Boshqa tomondan razryad nayining diametrini kichraytirish nurlanish tarqalishida difraksion yo'qotishlarning ortib ketishiga olib keladi. Shuning uchun tajribada razryad nayining diametri gaz bosimiga qarab 1-5 mm atrofida olinadi.

Tajribalardan geliy-neon lazeri uchun qo'yidagi $R \cdot d = \text{const}$ "o'xshashlik" qonuni topilgan. Bu yerda R – gaz aralashmasining yig'indi bosimi; d – nayining diametri. O'xshashlik qonunining ma'nosi shundan iboratki, turli diametrli razryad nayi uchun gaz aralashmasining shunday bosimini olish mumkinki, bu holda lazer nurlanishining solishtirma xarakteristikalarini bir xil bo'ladi.

Tajribalar natijasida gaz aralashmasi bosimini razryad nayi diametriga bo'lgan ko'paytmasining optimal qiymati, geliy-neon lazerlarida 0.44-0.53 mPa oralig'ida bo'lishi topilgan.

3. Razryad tokining optimal zichligi. Razryad toki zichligining optimallashtirishning sababi, bu neon atomining pastki energetik sathlarini elektronlar bilan to'ldirilishidir. Bu jarayon invers bandlikni pasayishiga va

natijada generatsiyaning yo'qolishiga olib keladi. Lazer nurlanishining quvvati razryad tokining kichik qiymatlarida unga chiziqli ravishda bog'langan, tokining ma'lum bir qiymatida nurlanish quvvati maksimumga erishadi, so'ngra razryad toki qiymati oshishi bilan pasayib ketadi. Sanoatda ishlab chiqilgan geliy-neon lazerlarda razryad nayining uzunligiga qarab, elektr tokining optimal qiymati 5-50 mA atrofida bo'ladi.

To'lqin uzunliklari 0,63 va 3,39 mkm bo'lgan nurlanishli o'tishlar uchun 3s yuqorigi ishchi sath bo'lsa, to'lqin uzunliklari 0,63 va 1,15 mkm bo'lgan nurlanishli o'tishlar uchun 2p umumiy pastki sath bo'lib xizmat qiladi. Bir vaqtning o'zida bu juft nurlanishlarining ro'y berishi neon atomlarining energetik sathlarda taqsimotining buzilishiga olib keladi va invers bandlikni kamaytiradi. Bu hodisa o'tishlarning konkurensiyasi deyiladi. Amaliyotda bularni yo'qotish uchun quyidagi usullar ishlatiladi:

1. Energetik sathlarning magnit maydon ta'sirida ajralishi (Zeeman effekti). Har bir spektral chiziq ikkilanadi. Ajralgan komponentalar qarama-qarshi yo'nalishli doiraviy qutblanishga ega. To'lqin uzunligi 3,39 mkm bo'lgan nurlanish uchun sathlarning ajralishi katta bo'lsa, 0,63 mkm to'lqin uzunlikli nurlanish uchun kichik bo'ladi. S huning uchun 3,39 mkm nurlanish Bryuster burchagi ostidagi qo'yilgan shisha oynalarda ko'proq yutiladi va to'lqin uzunlikda generatsiya bo'lmaydi;

2. Optik rezonatorlarni tayyorlashda 3,39 mkm to'lqin uzunlikdagi nurlanishni ko'proq yutuvchi moddalardan (S-52-2; LK-4 va shunga o'xshash shishalardan) yasaladi;

3. Optik rezonator ichida 3,39 mkm to'lqin uzunlikli nurlanishni ko'proq yutuvchi metal gazi to'ldirilgan g'ovak idish joylashtiriladi.

2.2. CO₂ lazeri

Xalq xo'jaligini ko'plab sohalarida turli xil lazerlar ishlatilmoqda. Shu lazer turlaridan biri bu karbonat angidrid (CO₂) gazida ishlovchi va o'rta infraqizil (10,6 mkm to'lqin uzun-likli) diapazonda nurlanish beruvchi lazerdir.

Uning uzluksiz ish rejimdagi kogerent nurlanish quvvati yuzlab kilovattga etishi mumkin va texnikaning turli sohalarida ishlatilishining imkoniyatlari juda ham katta molekulaning 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 (2.3-rasm).

Tarixan birinchi molekulyar gazli lazerlarda ikki atomli molekulaning elektron sathlari orasidagi o'tishlarda kogerent nurlanish olingan (2.4-rasm).

Molekulaning biror "yuqori" tebranma-aylanma energetik holatidan "quyi" tebranma-aylanma energetik holatiga o'tishda kogerent nurlanish olish uchun birinchidan «yuqori» energetik sathdagi molekulalar soni "quyi" energetik sathdagi molekulalar 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 molekulalarning 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 ν_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 ν_2^e deb belgilanadi. va nihoyat molekula o'qi bo'ylab nosimmetrik tebranish bo'lib, u ν_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 ν_1 , ν_2^e , ν_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 molekulalari 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.

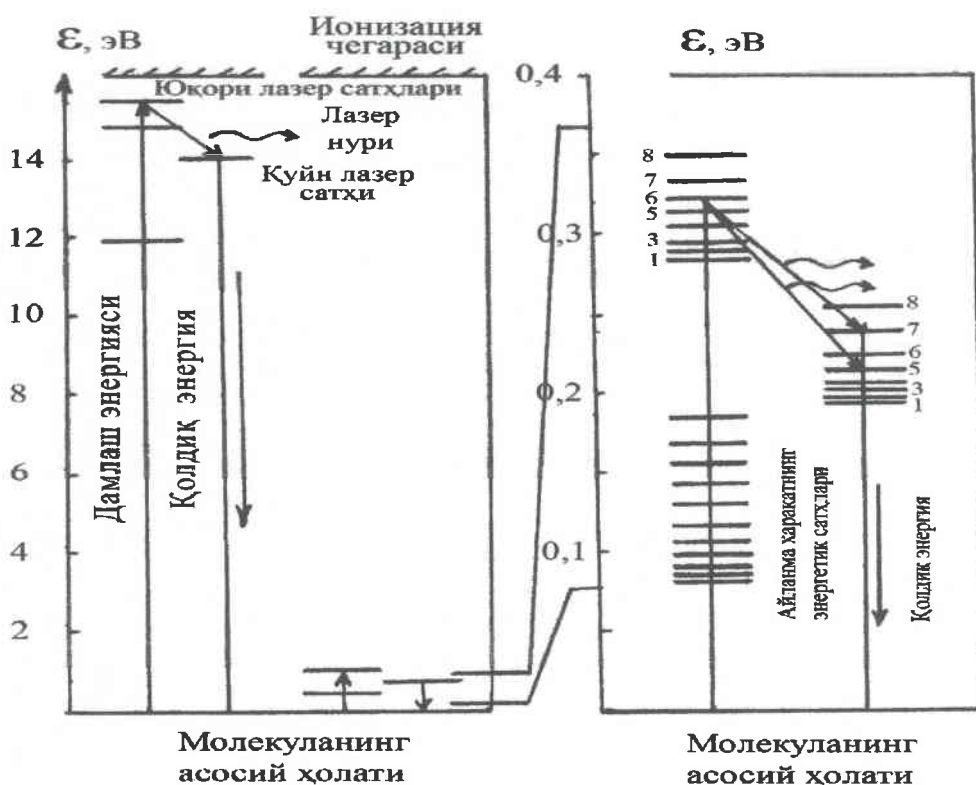
2) Azot molekulasidan CO_2 molekulasiga rezonans ravishda energiyaning uzatilishi. Azot molekulasining tebranma sathlari CO_2 molekulasining nosimmetrik tebranma energetik sathlari bilan mos tushadi va shuning uchun yuqori energetik sathlarda joylashgan azot molekulalari o'z energiyalarini CO_2 molekulalariga uzatadi. Azot molekulasining tebranma energetik sathlardagi

holati metastabil holat bo'lib, uning bu holatlarda yashash vaqti bir necha sekundlar bo'ladi. Azot molekulasini 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 10^0 sathidan tushib ketishi, qo'zg'atilmagan, ya'ni 00^0 sathda joylashgan molekula bilan to'qnashib, 01^0 sathda ikki molekula hosil bo'lishi bilan ro'y beradi. O'z navbatida 01^0 sathda joylashgan CO_2 molekulasini o'z energiyasini ishchi gaz aralashmasiga kiritilgan geliy atomlarga to'qnashib uzatadi va 00^0 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 00^0 sathi bilan qo'yi 01^0 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 molekulalarning 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 CO_2 -lazeri uchun $R \cdot d$ ko'paytma 530 Pa. cm ga teng deb olinishi mumkin (bu yerda R - CO_2 gazining parsial bosimi, d -nayining ichki diametri).

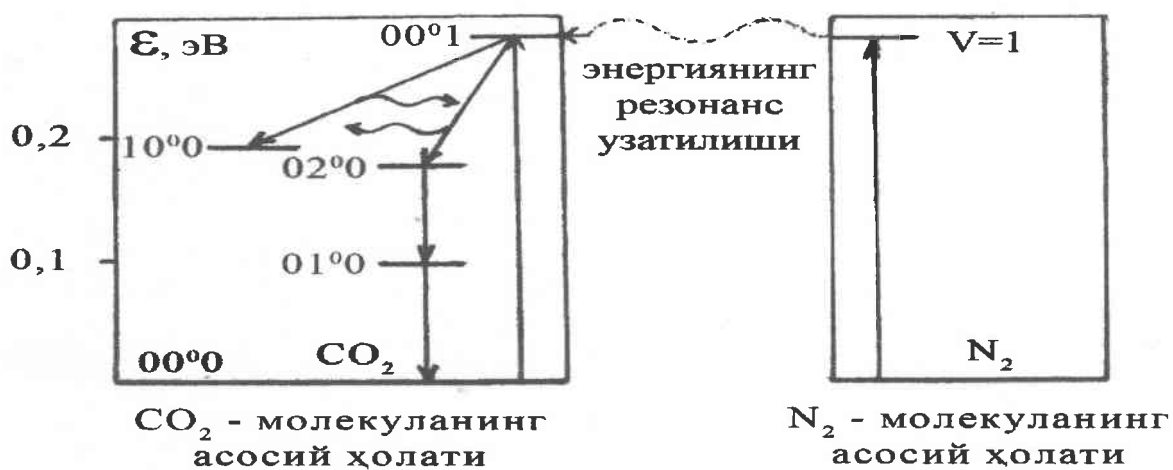
Berk hajmli va diffuziya asosida sovutiluvchi CO_2 lazerining birlik hajmidan olinadigan nurlanishning maksimal quvvati quyidagi

$$W_{b.h.} \sim v_t N_m \cdot (\lambda / d^2) \quad (2.6)$$

ifoda bilan aniqlanishi mumkin.



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



2.4-rasm. CO_2 va N_2 molekulalarining quyi tebranma enegetik sathlari va ulardagi lazer nurlanishli o'tishlar [9].

Bu yerda ν_t , N_m va λ lar mos ravishda CO_2 molekulasiining issiqlik harakatidagi tezligi, konsentratsiyasi va erkin yugurish yo'li; d-razryad nayining ichki diametri. Bu holda faol muhitning birlik uzunligidan olinadigan quvvat quyidagi

$$W(e) = S \cdot N_m \cdot \lambda \quad (2.7)$$

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 CO_2 lazerining sxematik chizmasi 2.5-rasmda ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki CO_2 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 elektrodlanga YuCh generatoridan 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 qatlamga 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 CO_2 molekulasiining 00^{01} 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.

keladi. O'z navbatida bu hol invers bandlik olishni osonlashtiradi va kuchaytirish koeffitsientining ortishiga olib keladi.

Hozirgi paytda invers bandlik ko'plab moddalarning ionlarida olingan (masalan Sr^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+} , Ni^{3+} , Fr^{3+} , va boshqalar). Ammo, sanoat miqyosida ushbu lazerlar asosan Sr^{3+} va Nd^{3+} ionli moddalarda ishlab chiqilgan.

Qattiq jisimli faol muhitlar asosi sifatida korund (Al_2O_3) ittiriy alyuminiy granat ($\text{Y}_3\text{Al}_3\text{O}_2$), shisha kabi kristall yoki amorf dielektrik moddalar ishlatiladi. Bunday qattiq jisimli asosda faol muhitni hosil qilishda, asosga kiritilayotgan aralashmaning konsentratsiyasi kichik bo'lib, asosga nisbatan miqdori $(0,05 \div 0,5)\%$ oraliqda yotadi.

Aralashma miqdorining bunday qiymatlardan kam bo'lishi kuchaytirish koeffitsientini pasayishiga olib keladi, ko'pi esa faol zarralarning o'zaro ta'sirlashuvini orttirib yuboradi. Ishchi faol element juda ko'p talablarga javob berishi zarur. U optik jihatdan bir jinsli, mexanik jihatdan mustahkam, issiqlik o'tkazuvchanligi katta, issiqlik ta'siriga chidamli, nurlanish to'liq uzunliklari sohasida shaffof va mexanik qayta ishlashlar natijasida katta o'lchamli faol elementlar olish imkoniyatini bera oladigan bo'lishi kerak.

Bu barcha talablarga to'la javob beradigan moddalar kam. Ushbu faol muhit olish imkonini beruvchi moddalarning tavsiflari 2-jadvalda keltirilgan.

Qattiq jisimli lazer qurilmasining prinsipial chizmasi 2.6-rasmda keltirilgan. Bu qurilma 1-faol elementdan, 2-rezonatordan, 3-optik damlash manбайдan (ksenon yoki kripton gazi bilan to'ldirilgan razryad lampa), 4-yorug'likni qaytargich ko'zgulardan va 5-optik damlash lampasining elektr ta'minot manбайдan iborat. Qattiq jisimli lazerlardagi yuqori lazer sathi zarralar bilan to'ldirilishi, bu sathdan yuqorida turgan bir nechta sathlardagi zarralarni nurlanishsiz tushishi orqali amalga oshiriladi. Optik damlash lampasining nurlanishi faol elementning asosiy sathida joylashgan zarralarini eng yuqori sathlariga chiqaradi. Bu sathga chiqarilgan zarralarning yashash vaqtlari kichik bo'lgani uchun ular yuqori ishchi lazer sathiga tushib, bu sathda to'planadilar va quyi ishchi lazer sathiga nisbatan invers holatini hosil qiladi. Yorug'likni

qaytargich ko'zgulari optik damlash lampasining effektivligini oshirish uchun xizmat qiladi. 2-jadvaldan ko'rinib turibdiki elektr ta'minot manbaidan olinayotgan energiya ko'p qismi yorug'lik lampasining razryad zanjirida, razryadda qaytaruvchi ko'zgularda, faol elementning yutilish spektriga mos kelmagan nurlanish spektrining energiyasi, asosiy va yuqori energetik sathlarga nurlanishsiz o'tishlarda, zarralarning pastki lazer sathidan asosiy sathiga o'tishida (agar pastki sath asosiy sath bilan mos tushmasa), hamda optik rezonator ichida yo'qotiladi.

Ko'pchilik qattiq jisimli lazerlar davomiyligi 1 ms dan kichik bo'lgan impulsli rejimda ishlaydi va maxsus choralar ko'rilmasa, o'ziga xos qator impulslar nurlovchi rejimda ishlaydi. Bu impulslarning davomiyligi 1mks atrofida bo'lib, impulslar oralig'i 10mks oralig'ida yotadi. Ushbu xarakterdagi nurlanish rejimining asosida turli sabablar bo'lishi mumkin.

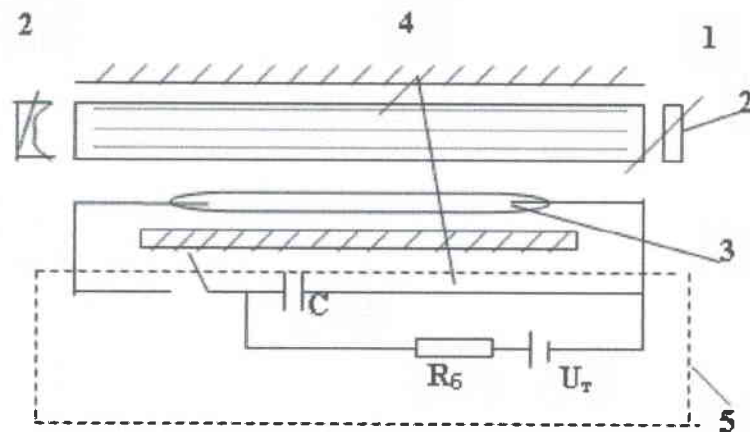
Shulardan ba'zilarini ko'rib chiqaylik. Optik damlash va generatsiya jarayonida faol elementda juda katta issiqlik ajralib chiqishi mumkin va buning natijasida faol element moddasining zichligini va sindirish ko'rsatkichini uzluksiz o'zgarishiga olib keladi.

3-jadval.

Ishchi jism	Yoqut	Neodimli shisha	Ittiri-alyuminiy granat
Issiqlik o'tkazuvchanligi (J/cm·s·K)	0,3		0,1
Maksimal o'lchamlari (diametri va uzunligi), cm	0,5....1,0	10^{-2}	0,5 x 10
Optik damlash energiyasining qo'yi	20.....50	5x20...50	0,5
chegarasi, J/ cm ³	50	0,5	Uzluksiz

Ish holatlari	Impulsli davriy	Impulsli davriy	va impulsli davriy
Erkin generatsiya holatidagi impulsning davomiyligi, ms	1	0,1..1	0,5..10 1....10
Nurlanish energiyasi, J	1....10 ²	10 ³	0,1....1
a) erkin generatsiya holida, J.			
b) aslligi modulyatsiya langanda, J	0,1....1	10 ² -	300
Uzluksiz ish holatida, Vt	-		

Bu o'zgarishlar faol muhit bilan birgalikda rezonatorning optik uzunligini o'zgarishiga olib keladi va buning oqibatida bo'ylama moda sakrab o'zgaradi. Bo'ylama modaning sakrab o'zgarishiga yana faol muhitdagi ionlarning fluorensiya chizig'ini holatining va kengligining o'zgarishlari ham olib keladi. Misol uchun xona temperaturasi 1⁰ K ga o'zgarsa yoqut kristalining nurlanishini yutish chizig'ining holati 5·10⁻⁶ mkmga siljiydi. Yoqut kristalida generatsiya olish jarayonida ushbu holat rezonator bo'ylama modasining nomerini birga o'zgarishi 1 mks ichida ro'y beradi. Optik rezonator ichida elektromagnit to'lqinning tarqalishida relaksatsiya tebranma holatning paydo bo'lishiga sabab, invers to'ldiril-ganlikning hosil bo'lishi va yo'qotilishining inersiyasidir. Lazerda inersiyaning turg'un holati birdaniga paydo bo'lmaydi. Buning uchun faol muhitning kuchaytirish koeffisienti K₀ chegaraviy K_{CH}-kuchaytirish koeffitsientiga tenglashib, undan orta boshlagandan so'ng, rezonator ichidagi elektromagnit to'lqinning amplitudasi keskin ortadi va bu hol ma'lum bir vaqt davom etadi. Shu vaqt ichida lazerdan chiqayotgan nurlanish intensivligi o'zining maksimal qiymatiga erishadi.



2.6-rasm. Optik damlanuvchi qattiq jisimli lazerining tuzilishi [7]

Shu jarayondan so'ng $K_0 = K_{CH}$ bo'ladi va shunga qaramay yuqori lazer sathidan quyi lazer sathiga zarralarning majburiy o'tishlari natijasida generatsiya davom etadi.

Bu holat $K_0 < K_{CH}$ shart bajarilguncha davom etadi. Lazer nurlanishning intensivligi nolga tenglashadi. So'ngra yuqorida aytgan jarayonlar yana davriy ravishda takrorlanadi.

Impulsli nurlanishning quvvatini oshirish va uning vaqtini qisqartirish uchun qattiq jisimli lazerda optik rezonator aslligini modulyatsiya qilish usuli qo'llaniladi. Bu holni vujudga keltirish uchun optik rezonator ichiga yorug'lik nuri ta'sirida tiniqlashuvchi optik filtr joylashtiriladi. G'alayonlantirilgan zarralarning yuqori energetik sathdan relaksatsiya vaqtiga teng vaqt ichida faol elementini optik damlash ($10^{-4} \div 10^{-3}$ sekund) amalga oshiriladi.

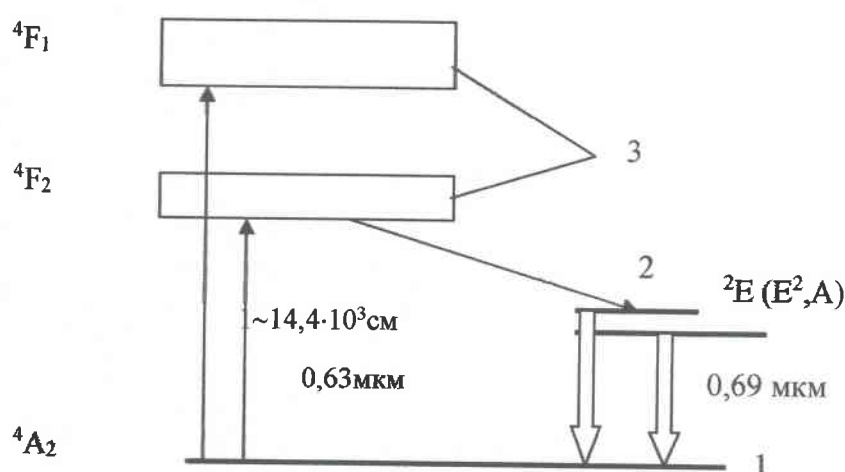
Optik damlash jarayonining oxirida, ya'ni rezonator ichidagi nurlanishning intensivligi ma'lum bir qiymatga etishganda optik filtr qisqa vaqt ichida tiniqlashadi va bu vaqt ichida barcha g'alayonlantirilgan zarralar yuqori sathdan qo'yi sathga majburiy nurlanish berib o'tadi hamda shu vaqt ichida yakka impulsli nurlanish generatsiyalanadi. Bu vaqt ichida barcha g'alayonlantirilgan zarralar yuqori sathdan quyi sathga majburiy nurlanish berib o'tadi.

Endi xalq ho'jaligida eng ko'p ishlatiladigan qattiq jisimli lazerlarning tavsiflarini ko'raylik.

2.4. 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 moddada alyuminiyning bir qismi



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

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 ($\lambda=0,6943 \text{ mkm}$) nurlanish beradi. Bu nurlanish chizig'ining eni 0,4 nmni tashkil etadi.

Ushbu lazerning ishlash tamoyilini tushuntirish uchun kerak bo'ladigan Cr^{3+} ionining energetik diagrammasi 2.7-rasmida 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 $\sigma = 3 \cdot 10^{-20}\text{ cm}^2$ ni tashkil etadi. Agar xrom ionlarining konsentratsiyasi $N_0 \approx 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ bo'lsa, yoqutli faol elementning kuchaytirish koeffitsienti $K_0 = \sigma \cdot N_2 \approx 10^{-2}\text{ cm}^{-1}$ ni tashkil etadi.

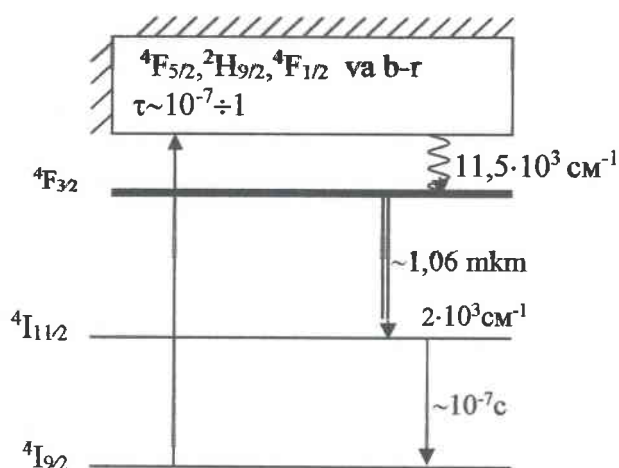
Lazarlarda faol element sifatida ishlatiladigan yoqut kristallarning o'lchamlari quyidagicha: diametri $5 \div 10\text{ mm}$, uzunligi $10 \div 15\text{ cm}$ va bunday kichik qiymatlar bo'lishiga sabab, bir jinsli sun'iy yoqut kristallini tayyorlashning texnologik jihatdan qiyinligidadir, hamda optik damlashning bir jinsli emasligidir. Bunday o'lchamli yoqut kristallida nurlanishning difraksion yoyilishlari kichik qiymatlarga ($\lambda/bd \sim 10^{-4}\text{ rad}$) 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 Joul gacha 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'lmashligi hamda faol kristallarning o'lchami katta bo'lmashligidir.

2.5. 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 satxlarning diagrammasi 2.8-rasmda keltirilgan. Yoqut lazeridan farqli ravishda neodim lazeri to'rt satxli sxema asosida ishlaydi.



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

Damlash lampasining nurlanishi spektrining $0,35\text{-}0,9\text{ mkm}$ li qismi neodimli shisha tamonidan yutiladi va bu jarayonda neodim ionining quyi asosi $I_{9/2}$ sathda yotgan elektronlar yuqori (${}^4F_{5/2}, {}^2H_{9/2}, {}^4F_{1/2}$ va boshqa) sathlarga chiqaziladi. Elektronlar bu satxlarda juda qisqa vaqt ($\tau \sim 10^{-7} \div 10^{-11} \text{ s}$) bo'lib, nurlanishsiz yo'l bilan metastabil ${}^4F_{3/2}$ sathga tushib to'planadilar. Bu sathda elektronlarning yashash vaqtlari $10^{-3} \div 10^{-4} \text{ s}$ atrofida bo'lib, shisha turiga va neodim ionlari konsentratsiyasiga bog'liq. Elektronlarning ${}^4F_{3/2}$ yuqori lazer

sathidan quyi $^4I_{11/2}$ lazer sathiga majburiy o'tishida $\lambda=1,06$ mkm to'lqin uzunligida kogerent nurlanish beradi. Bu nurlanish chizig'ining eni $20\div 40$ nm atrofida yotadi. Pastki $^4I_{11/2}$ lazer sathi, asosiy $^4I_{9/2}$ sathdan atigi $2,2\cdot 10^3$ 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/cm³) 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 $2,5\cdot 10^{20}$ cm⁻³) va shishaga kiritilgan neodim uchun majburiy o'tishlarning kesimi $\sim 5\cdot 10^{-20}$ cm² ni tashkil etgani uchun, faol zarralarnig atigi 5...10 % yuqori ishchi sathga chiqarilishi bilan 1cm⁻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 (~ 10 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 $10^4 \dots 10^5$ J, ya'ni quvvati $10^{13} \dots 10^{14}$ W bo'lgan kogerent nurlanish olinadi. Bunday energiyali nurlanishlar termoyadro reaksiya hosil qilish qurilmalarida ishlatiladi.

2.6. Ittiri-y-aluminiy 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 ittiri-y-aluminiy 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.

Ittiri-y-aluminiy granat asosga joylashgan neodim ionlari to'liq uzunliklari 500 dan 900 nm oraliqda yotuvchi juda ko'plab nurlanishni yutuvchi yo'lkalarga ega, ya'ni 2.8-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 $\sim 3 \cdot 10^{-19}$ cm² 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) impulsi 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.

4-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-Sd	0,32	uzluksiz	6,0
GKL-10U	Ne-Sd	0,32	uzluksiz	12,0
GKL-25V	Ne-Sd	0,44	uzluksiz	55,0
GKL-50V	Ne-Sd	0,44	uzluksiz	70,0
GKL-60V	Ne-Sd	0,44	uzluksiz	90,0
GKL-70V	Ne-Sd	0,44	uzluksiz	95,0
GKL-75VM	Ne-Sd	0,44	uzluksiz	100,0
GKL-100V	Ne-Sd	0,44	uzluksiz	120,0
GKL-100V	Ne-Sd	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

Bobga doir qisqacha xulosalar

1. Yoqut lazeri 1960 yili amerikalik olim T.Meyman tamonidan yaratilgan va u dunyodagi birinchi optik kvant generator edi. Bu lazerning paydo bo'lishi bilan lazer texnikasi davri boshlangan ekan;

2. Xalq xo'jaligining ko'pgina sohalarida turli-tuman lazerlar ishlatilar ekan. Shulardan biri karbonat angidrid (CO_2) gazida ishlovchi va o'rta infraqizil (10,6 mkm to'lqin uzunlikli) diapazonda nurlanish beruvchi lazerdir;
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 ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$). Ushbu lazerlar ko'pincha IAG-lazerlar deb ataladi. V Geysits degan olim tomonidan taklif etilgan;
5. Materialshunoslikda keng qo'llaniladigan lazer turlari barfsil o'rganildi, ushbu lazerlarning konstruksiyalari, ishlash prinsiplari va ilmiy asoslari yoritildi;
6. Lazerlarning quvvatiga qarab materialshunoslikda 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 MATERIALSHUNOSLIKDA QO'LLANILISHI

3.1. Lazerlarning materialshunoslikda 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].

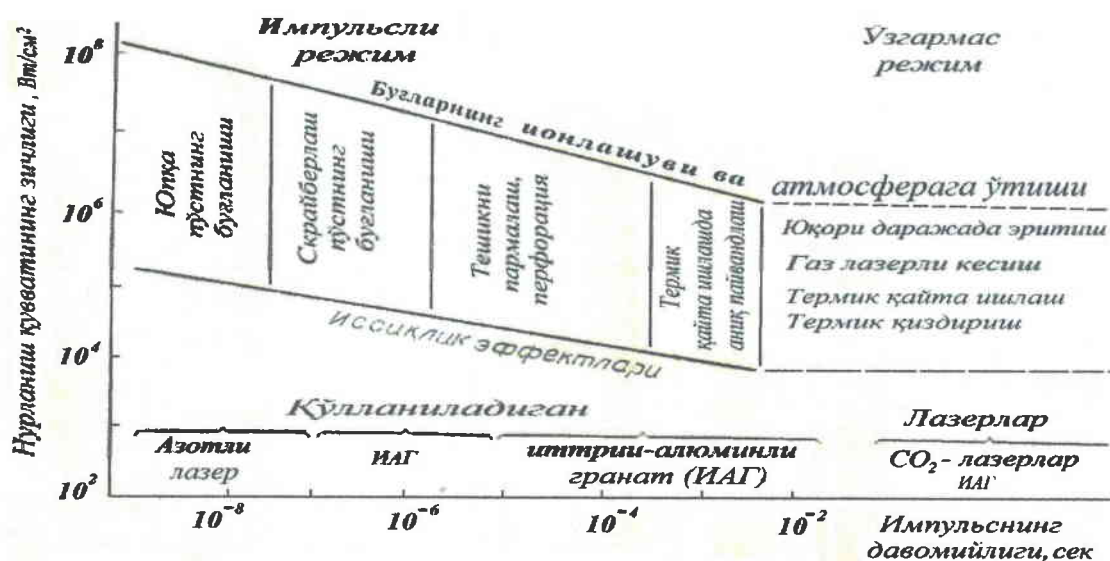
Hozirgi kunda ishlab chiqarishning ba'zi turlarini lazerlarsiz tasavvur qilish qiyin. Lazer texnologiyasi turli soha mutaxassislari – texnologlar, apparaturachilar, turli uskunalar yaratuvchilarini hamda boshqa sohada ishlovchi barcha tadqiqotchilarni borgan sari o'ziga ko'proq jalb etmoqda.

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 sirtidagi 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/cm^2 ga etganda metallning erishi boshlanadi. Sirtning yaqinida nurli dog' ostida suyuq metall paydo bo'ladi. Lazer nurining intensivligini 10^6 – 10^7 Wt/cm^2 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 impuls (davomiyligi 10^{-2} - 10^{-3} sm) kerak bo'ladi, teshik ochish uchun esa materialning bug'lanish tezligini oshirish maqsadida juda qisqa impuls qo'llanadi. 3.1-rasmda keltirilgan diagrammada impulsning uzoq davom etishi va lazer nurlari zichligi, quvvatini aniqlashga qanday texnologik jarayonlar qo'llanishi aniq ko'rinadi.



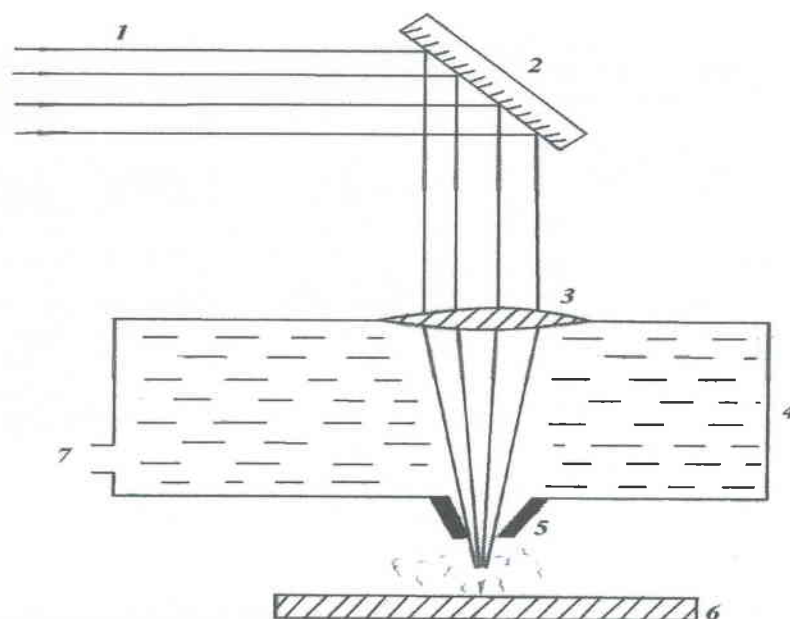
3.1-rasm. Lazerli texnologik jarayonlarning energetikasi [18]

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'zilarni ko'rib o'tamiz.

3.2. Gazli-lazerli kesish va termik 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 (3.2-rasm) karbonat angidrid gazidagi lazerlar (CO_2 lazerli) yordamida metallarni qirqishda foydalaniladi. Gaz oqimi bu holda qirqish zonasini oksidlanishidan saqllovchi 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 (5-jadval). Bunda inert gazning oqimi kesilgan joyning o'rnini sovutib, materialning emirilgan qismlarini ajratib olish imkonini beradi.



3.2-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].

5-jadval

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. 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 termikqizitish usuli o'ziga jalb etmoqda. U nimalardan iborat? Ko'pgina mo'rt materiallar temperaturaning keskin o'zgarishi bilan qiziydi. Termik qizitishni 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 emirish va tonellar qazishda lazer nurlaridan foydalanib yasalgan qurilmalar keng qo'llanila boshlandi.

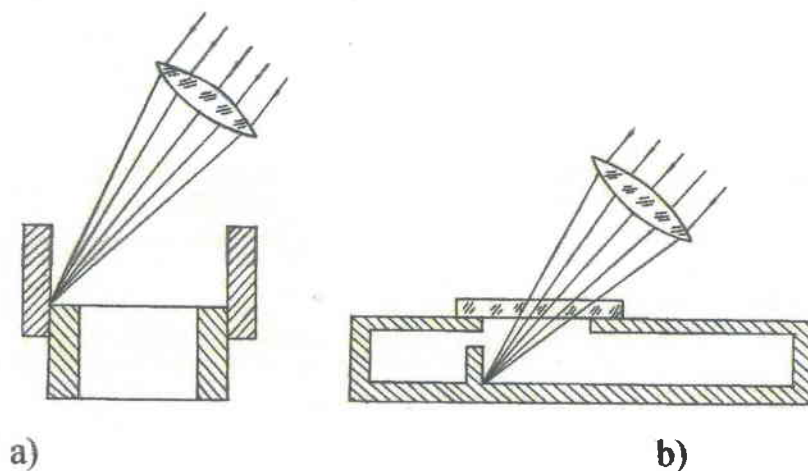
CO₂ lazeri bilan nurlantirilgan yoqut va marmarning shakli o'zgartirilganda ularning mustaxkamligi ancha kamayadi. CO₂ lazerini tonellar o'tkazish va tog' jinslarini emirish maqsadida qo'llashning ahamiyati bir necha laboratoriyalarda o'rganilmoqda.

3.3. Lazerli payvandlash va qayta toblash

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, payvandlashni “shaffof oyna” orqali amalga oshirish mumkin. Lazerli payvandlash turlicha materiallarni ham bir–biriga ulay oladi. Hosil bo'lgan toklar ham xuddi o'sha, ulangan metallardek puxta, chidamliligi bilan ajralib turadi. Bu payvandlash mikoelektronikada simlarni bir–biriga ulash kabi katta operatsiyalarda keng qo'llaniladi. Hozirgi paytda 1–10 kWt quvvatda nurlantirilgan payvandlash usuli qo'llanilmoqda.

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 (3.3–rasm).



3.3-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 rezistorlar qarshiligini to'g'rilash, material sirtini chiniqtirish, parametrlar qatlamini mustahkamligi vakuum pechlarida oddiy usulda qayta ishlangan qatlamlardan 2–3 marta ortadi. Lazerlarning mikroelektronikada qo'llanilishi haqida quyida to'xtalib o'tamiz.

Sirtni lazerli qayta toblash ayrim uncha katta bo'lmagan uchastkalarining mustahkamligini yanada oshirish maqsadida qo'llaniladi. Lazerdan foydalanish sirtqi qatlamni toblash, qayta ishlanayotgan detalni umumiy qizdirishsiz amalga oshirish imkoniyatini yaratadi, sirtqi va ichki qatlamni barobar toblantiradi, jarayonni tez amalga oshirish paytida detalni oksidlanishidan saqlaydi. Shunday qilib, lazerli toblash tanlangan maydon sirtiga ta'mir etishdir. Lazerli toblash avtomobil sanoatida dvigatel silindri (golovka) boshchasini, yetakchi klapanlar va taqsimlovchi vallarni mustahkamlashda ishlatiladi.

Sirtning qattiqligini ta'minlash maqsadida ham lazerli legirlash (metallga boshqa metall qo'shib fizik-kimyoviy xususiyatlarini yaxshilamoq) qo'llaniladi. Legirlovchi prisadkalar kukun ko'rinishida qayta ishlanadigan maydon sirtiga sepiladi. Lazer bilan nurlantirish jarayonida qizdirilgan kukun va material aralashib yupqa qatlamli detal 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 qaydo bo'ladi, u juda yuqori sifatli bo'lib, korroziyalarga bardoshlilik bilan ajralib turadi.

3.4. 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 sifatiligi 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 asboblarni 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. Lazer texnologiyasini mikroelektronikada qo'llash

Lazer texnologiyasini 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 mikroelektron 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.

Skayberlash – bu yarimo'tkazgichli materiallarni kesish usuli bo'lib, integral sxemalarni tayyorlashda ishlatiladi. Lazerlar paydo bo'lguncha bu operatsiya murakkab kinematik sistemalarda olmosli skayberlar bilan bajarilar edi. Endi esa olmosli skayberlar bilan bir qatorda lazer qurilmali skayperlar 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 skayberlashda 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 (detallarning raschyotlashda hisobga olinadigan, yaxlitlangan o'lchami)dagi takror ishlab chiqarishni etarlicha ta'minlay olmaydi. Mikrosxemalarning nominaldan 5 foiz chetga chiqishi ular bo'yicha ishlanayotgan detallar 1–2 foizgacha nuqsonli tayyorlanadi. 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 bajarilinadi, nominaldan chetlashlar yuz bermaydi [10, 20].

3.6. Lazerlarning boshqa sohalarda qo'llanilishi

Lazer nuri energiyasini fazoda va vaqt bo'yicha to'plash mumkinligi, ma'lum spektral intervalda yig'ishning mumkinligi ularni

1. impuls va uzluksiz rejimda turli moddalar bilan o'zaro ta'sirini, amalga oshirish (lazer texnologiyasi, lazer termoyadro sintezi, lazer spektroskopiyasi);

2. atom, molekula, ionlar va molekulyar sistemalarga tanlab ta'sir etishi fotoionizatsiya, fotoximik reaksiya keltirib chiqarish lazer ximiyasida va lazer nurida elementlar izotoplarni ajratishlarda qo'llaniladi.

Moddalarga energiya kiritishda energiya kiritilgan joyning aniqligi (lokalizatsiya) miqdoriy aniqligi, yorug'lik nurining sof ekanligi lazer nuriga xosdir.

Lazerlar texnologik jarayonlarda (metallarni kesish, qayta ishlash, payvandlash, eritish)da keng qo'llanilmoqda. Bu jarayonlarda katta quvvatli gaz lazerlaridan foydalaniladi.

Metallurgiyada vakuumda va boshqariladigan gazli muhitda o'ta toza metallar olishga imkon beradi. Nuqtaviy (svarka) payvandlash ishlarida qattiq jisimli lazerlar qo'llaniladi. O'ta qisqa impulsli lazer nurlanishlari tez sodir bo'luvchi o'zgarishlarni o'rganishda va tezkor fotografiyada qo'llaniladi.

Lazer meditsinada diagnostikada va davolashda keng qo'llanilmoqda. Lazerlardan ko'z va teri kasalliklarida, qonsiz xirurgik jarrohlik ishlarida samarali foydalanilmoqda.

O'ta stabil lazerlar chastotalar optik standartining asosidir, lazer seysmografi, gravimetrlar, aniq fizik priborlar asosi hisoblanadilar.

Chastotasini o'zgartirib sozlanadigan lazerlar (bo'yoq moddali lazerlar) spektroskopiyada inqilobiy o'zgarishga olib keldi. Ular spektroskopiyada ajrata olish qobiliyatini kuchaytirishga, usullar sezgirligini orttirishga asos bo'lib, xatto alohida atom spektrini olishga imkon yaratdilar (lazer spektroskopiyasi, nochiziqli spektroskopiya va boshqalar).

Lazer lokatorlar atmosfera turli qatlamlarida ifloslanishni aniqlash va ularni bartaraf etish va boshqarishga yordam beradi, ta'sir tezligini aniqlash, atmosfera harorati va tarkibini o'rganish imkonini beradi.

Sayyoralarning lazer lokatsiyasi tortishish doimiysi ahamiyatini aniqlashtirdi, kosmik navigatsiyani yuqori darajaga olib chiqdi. Venera va

Merkuriy planetalari aylanish tezligini o'lchash va ular sirtini o'rganish imkonini berdi. Lazer lokatsiyasi Oy va Venera xarakteristikasini aniqlashtirdi. Ilgari olingan astronomik natijalar bilan taqqoslab, natijalarni to'g'riligini ta'minladi.

Lazerning paydo bo'lishi fizikaning "Chiziqli bo'lmagan optika", "Golografiya" va boshqa bo'limlarini keltirib chiqardi. Boshqariluvchi termoyadro reaksiyasini lazerdan foydalanib amalga oshirish ishlari kuchaytirildi. Lazer (kvant) giroskopi amalga oshirildi.

Lazer nurlanishi qishloq xo'jaligi zararkunandalariga qarshi kurashishida, geologik izlanishlarda, avtomatik boshqaruv ishlarida, sanoatda avtomatik nazorat ishlarida (detallarni sanash), jismlar sirtini shikastsiz nazorat qilishda keng qo'llanilmoqda [22].

3.7. Lazer texnikasining O'zbekistonda rivojlanishi

Lazer fizikasi va texnikasining rivojlanishiga O'zbekiston olimlari ham salmoqli hissa qo'shib kelmoqdalar. Xususan, O'zRFA ning "Akademasbob" ilmiy ishlab chiqarish birlashmasida nochiziqli optika bo'yicha boshlangan fundamental tadqiqotlar; sobiq Issiqlik fizikasi bo'limida lazer sistemalarini va qurilmalarini yaratish uchun zarur bo'lgan yangi materiallarni tadqiq qilish; sobiq Elektronika institutida lazer nurlarining qattiq jism sirti bilan ta'sirin o'rganish; O'zbekiston Milliy universitetida lazer nurlanishini qayd etish, tasvirlarni qayta tiklash, ma'lumotlarni golografik yozishning yangi usullarini ishlab chiqish va takomillashtirish; 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. Olimlar tomonidan erishilgan yutuqlar xalq xo'jaligining turli tarmoqlariga tadbiq etilib, ham moddiy, ham ma'naviy foyda keltirmoqda. Jumladan, Toshkent qishloq xo'jalik mashinasozlik zavodi, Toshkent instrumental zavodi, toshkent motor zavodi, toshkent kabel zavodi va

shu kabi ishlab chiqarish tashkilotlarida lazer texnologiyalari po'lat materiallarni kesish va payvandlash, mahsulotni markalash va prezitsion (yuqori darajada aniq) ishlov berish, ishlab chiqarishni to'htatmagan holda kabel qobig'iga kerakli ma'lumotni qayd etuvchi tamg'a bosish, elektron sanoat korxonalarida elektron detallarni me'yoriga etkazish va xokazo maqsadlarda foydalaniladi. "Lidar" deb nomlangan maxsus lazer qurilma vositasida bizning mintaqamizda atrof-muhit tozaligi nazorat qilinadi; jarroh va jarroh-ofthalmolog qo'lida lazer skalpeli tibbiyot quroli sifatida ishlatiladi; ilmiy tadqiqotlarda, tibbiyot va biologiyada diagnostikaning lazer usullari keng qo'llaniladi. O'tkazgich quvur va aloqa sistemasi qurilishlarida uning samaradorligini va sifatini oshirishga imkon beruvchi lazer qurilmalarini qurish mumkin. O'zbek olimlari yasasa tishlarning sifatini yaxshilaydigan noyob flyussiz kavsharlashdan foydalanish imkoniyatini namoyish qildilarki, hozirda bu texnologiya Respublikaning bir qator stomatologik klinikalarida qo'llaniladi. Shuningdek, Respublikada terapevtik ta'sir etish uchun lazer asboblari ishlab chiqiladi. Bu asboblarning turli tibbiyot muassasalarida ko'z va teri kasalliklarini davolash uchun, operatsiyadan keyingi va kuyish jarohatlarining bitish muddatini qisqartirish uchun keng qo'llaniladi.

Hozirgi vaqtda lazer texnologiyalaridan foydalanish jadal o'sib bormoqda. Hozirda biz dunyoni lazer kompakt disklarsiz, lazer printerlarsiz, nishonni mo'ljalga olish va aniqlashning lazer sistemalarisiz, lazer lokatsiyasi va lazer aloqasisiz tasavvur qila olmaymiz. Hatto, hozirgi zamon butun jahon informatsion tarmoq – Internet ham aloqaning lazer texnologiyasidan foydalaniladi [23].

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 nochiziqli 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. Materialshunoslikda keng qo'llaniladigan lazerlarning ishlash prinsiplari va fizik asoslari o'rganildi;

3. Lazer texnikasi va lazer fizikasining rivojiga o'zbek olimlaridan akademik P.Q.Habibullaevning shogirdlari bilan qo'shgan hissasi ham salmoqlidir. O'zbekiston FA sobiq Issiqlik fizikasi institutining Moskva davlat universiteti Fizika institutlari olimlari 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 monoxramatik 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;

8. 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;

9. 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 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 sanoatda tobora keng qo'llanilishiga sabab bo'lmoqda.

1. В.П.Вейко, С.М.Метев. Лазерные технологии в микроэлектронике. Издание БАН, София, 1991.
2. 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.Байборodin. 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. отделение, 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.Байборodin. 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. A.G.Ganiyev, A.K.Avliyoqulov, G.A.Alimardonova. Fizika. II qism. Toshkent, "O'qituvchi", 2003 y.
23. M.H.Olmasova. Fizika. Optika, atom va yadro fizikasi. III qism. Toshkent "O'qituvchi", 2010 y.

Andijon davlat universiteti, Lazer fizikasi (5A140202) mutaxassisligi
2-bosqich magistranti Shodonbek A'zamjonovich Madumarovning
“Lazerlar yordamida materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlash”
mavzusidagi magistrlik dissertatsiyasiga ilmiy rahbar
XULOSASI

Asrimiz boshlaridan beri 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, apparaturachilar, turli uskunalar yaratuvchilarini hamda boshqa sohada ishlovchi barcha tadqiqotchilarni borgan sari o'ziga ko'proq jalb etmoqda.

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.

Magistrant tomonidan tayyorlangan ish lazerlar yordamida materiallarga ishlov berishga bag'ishlangan. Bundan tashqari o'tkazilgan qator tadqiqotlardan, lazer qurilmalarining aynan shu sohada ishlatiladiganlari batafsil o'rganib chiqilgan. O'rganilgan va tayyorlangan materiallar materialshunoslikda qo'llaniladigan lazerlardagi fizik jarayonlarni tadqiq qilishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Talabgor Madumarov Shodonbek dissertatsiyani tayyorlash, o'qish va ilmiy faoliyati davomida o'zining mehnatsevarligini, tirishqoqligini va o'z oldiga qo'ygan maqsadi uchun qat'iy tura olishini ko'rsatdi.

Magistr darajasiga talabgor Madumarov Shodonbek A'zamjonovichning chop etgan maqola va tesizlarida ilmiy muammoga to'g'ri yondashilganligi, yuqoridagi fakrlarimni tasdiqlaydi.

Magistrlik dissertatsiyasining rasmiylashtirilishi, chop etgan maqola va ma'ruza tesizlari talab darajasidaligini e'tiborga olib, Andijon davlat universiteti, Lazer fizikasi mutaxassisligi magistranti **Madumarov Shodonbek A'zamjonovichning** “Lazerlar yordamida materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlash” mavzusidagi magistrlik dissertatsiyasini **himoyaga tavsiya etaman va uni yuqori baholayman.**

Andijon davlat universiteti,
Fizika kafedrasida katta o'qituvchisi,
fizika-matematika fanlari nomzodi



X.M. Madaminov

Andijon davlat universiteti, Lazer fizikasi (5A140202) mutaxassisligi
2-bosqich magistranti Shodonbek A'zamjonovich Madumarovning
“Lazerlar yordamida materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlash”
mavzusidagi magistrlik dissertatsiyasiga
TAQRIZ

Hozirgi vaqtda lazer texnologiyalaridan foydalanish jadal o'sib bormoqda. Hozirda biz dunyoni lazer kompakt disklersiz, lazer printerlarsiz, nishonni mo'ljalga olish va aniqlashning lazer sistemalarisiz, lazer lokatsiyasi va lazer aloqasisiz tasavvur qila olmaymiz. Hatto, hozirgi zamon butun jahon informatsion tarmoq – Internet ham aloqaning lazer texnologiyasidan foydalaniladi.

Lazerlar texnologik jarayonlarda (metallarni kesish, qayta ishlash, payvandlash, eritish)da ham keng qo'llanilmoqda. Bu jarayonlarda katta quvvatli gaz lazerlaridan foydalaniladi.

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki,

1. Qayta ishlash jarayoni va qayta ishlanuvchi materiallarning turli-tumanligi (mexanik qayta ishlash mumkin bo'lmagan materiallar ham shunga kiradi);

2. Materiallarni qayta ishlash jarayonining yuksak tezlik bilan bajarilishi;

3. Hamma operatsiyalarni to'la avtomatlashtirish va shuning bilan ishlab chiqarish unumdorligini oshirish;

4. Qayta ishlashning yuqori sifatligi;

5. Ta'sirning tanlanganligi, ya'ni bir bo'lim qayta ishlanayotganda ikkinchisiga ta'sir etmasligi;

6. Materiallarni masofadan turib qayta ishlash mumkinligi kabi afzalliklar materialshunoslikda lazerlarni qo'llashning ustunlik tomonlarini belgilar ekan. Shuning uchun materialshunoslikda qo'llaniladigan lazerlar, ularda yuz beruvchi fizik jarayonlarni o'rganish muhim ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

Mazkur ishda yuqorida qayd etilgan barcha afzalliklarni e'tiborga olib, lazer qurilmalarining tuzilishi, materialshunoslikda lazerlarni qo'llanilish yo'nalishlari adabiyotlar va internet manbalari asosida o'rganilgan.

Magistr darajasiga talabgor Madumarov Shodonbek A'zamjonovichning qo'yilgan masalaga jiddiy yondashganligi va bajargan ishining ko'lami talabgor tomonidan chop etgan maqola va tesizlaridan ko'rinib turibdi.

Magistrlik dissertatsiyasi, unga qo'yilgan talablar darajasida rasmiylashtirilganligi, chop etilgan maqola va ma'ruza tesizlarining soni talabga javob berishini e'tiborda tutib, Andijon davlat universiteti, Lazer fizikasi mutaxassisligi magistranti **Madumarov Shodonbek A'zamjonovichning** **“Lazerlar yordamida materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlash”** mavzusidagi magistrlik dissertatsiyasini **himoyaga tavsiya etaman va uni ijobiy baholayman.**

Andijon davlat universiteti,
Fizika kafedrası katta o'qituvchisi,
fizika-matematika fanlari nomzodi



X.M. Nishonnov

Andijon davlat universiteti, Lazer fizikasi (5A140202) mutaxassisligi
2-bosqich magistranti Shodonbek A'zamjonovich Madumarovning
"Lazerlar yordamida materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlash"
mavzusidagi magistrlik dissertatsiyasiga
TAQRIZ

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 moddalarga qanday ta'sir etishini ko'rib o'tilganligi magistrantning dastlabki yutuqlaridan biri bo'lgan deb hisoblayman.

Lazer nurlarining moddalarga ta'siri shundan iboratki, 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 santimetrdagi yuzlab milliard vattga teng bo'ladi.

Metallning sirtiga kuchli lazer nurini yo'naltirib, uning intensivligini tobora oshirib boramiz. Nurning intensivligi 10^5 Wt/sm² ga etganda metallning erishi boshlanadi. Sirtning yaqinida nurli dog' ostida suyuq metall paydo bo'ladi. Lazer nurining intensivligini 10^6 – 10^7 Wt/sm² 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/sm² 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 kerak bo'ladi, teshik ochish uchun esa materialning bug'lanish tezligini oshirish maqsadida juda qisqa impulslar qo'llanadi. Aynan shu jihatlarning ko'rsatilishi magistrantning shubhasiz, keyingi katta yutug'i ekanligini e'tirof etish zarur.

Dissertant tomonidan lazerli texnologiyaning afzalligi sifatida 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 yaxshilash kabi sifatlarning belgilanishi menimcha juda o'rinli bo'lgan.

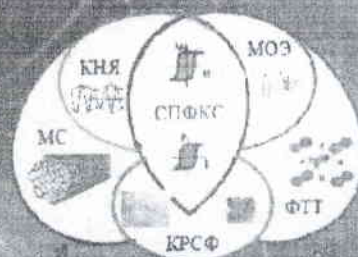
Magistr darajasiga talabgor Madumarov Shodonbek A'zamjonovichning qo'yilgan masalaga jiddiy yondashganligi va bajargan ishining ko'lami talabgor tomonidan chop etgan maqola va tesizlaridan ko'rinib turibdi.

Magistrlik dissertatsiyasi, unga qo'yilgan talablar darajasida rasmiylashtirilganligi, chop etilgan maqola va ma'ruza tesizlarining soni talabga javob berishini e'tiborda tutib, Andijon davlat universiteti, Lazer fizikasi mutaxassisligi magistranti Madumarov Shodonbek A'zamjonovichning "Lazerlar yordamida materiallarga ishlov berish va ularni qayta ishlash" mavzusidagi magistrlik dissertatsiyasini himoyaga tavsiya etaman va uni ijobiy baholayman.

- Andijon mashinasozlik instituti,
"Materialshunoslik va yangi materiallar"
kafedrasida dotsenti



L.O.Olimov



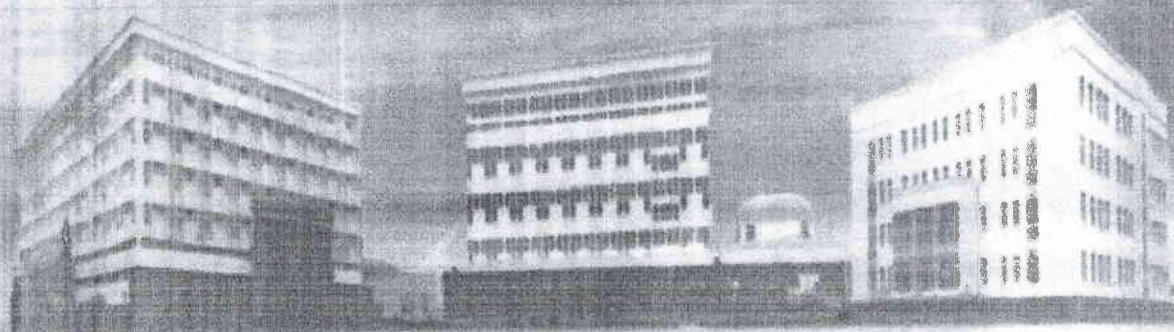
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ - 'СПФКС-2016'

Тезисы докладов

Республиканской научной конференции

12-14 апреля 2016 года

I том



Бухара – 2016

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕ – СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

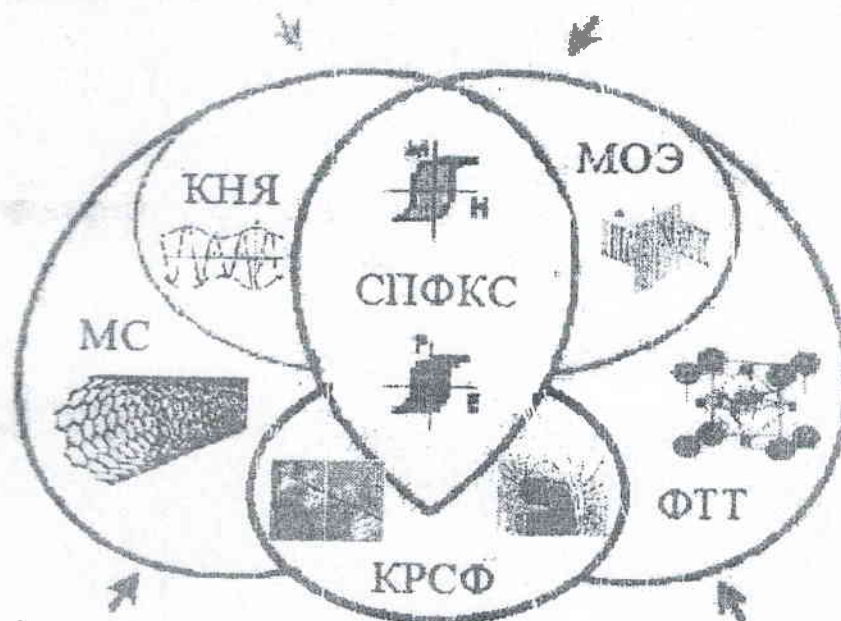
БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ
КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ -
'СПФКС-2016'**

Тезисы докладов Республиканской научной конференции

12-14 апреля 2016 года

Бухара, Узбекистан



Бухара – 2016

Указателю материалов концентратов кепуви радиоактивна нурулар таъсирини ўзларининг ўтказувчанлик хоссаларини сақлаб қолиш ёки ўзгаришини нидо олишга тўғри келадди. Ҳозирги пайда ярим ўтказгичлардаги компенсацияни ариалашма атомларнинг кристалл ҳажми бўйлаб текис ёки нотекис тексимланган ҳамда уларнинг радиоактив нуксонлар билан ўзаро таъсирини ўтатиш, ярим ўтказгич асбоблар яратинида муҳим аҳамиятга эга бўлганлиги сабабли кўпчиликнинг диққати тортимоқда. Ушбу иш Чохралский усулида олинган, 600°C ва 900°C ҳарорат тобланган p - тип кремний термодонор дефектлари кластери, p-InP:Si аксептор мажмуалари, p-GaAs ўз-ўзидан кириб қоладиган аксепторли ариалашмалар, p-InP:Si аксепторлар Zn, Cu ва бошқалар ҳосил қиладиган кластерлар гамма кванти қиладиган хусусий нуктавий нуксонлар билан ўзаро таъсирларини ўрганиш бағишланган. Гамма-кванти билан нурлантириш ^{60}Co қурилмасида, ҳовза ҳарорати бажарилди. Холл коэффициентини ва электр ўтказувчанлигининг ҳароратга боғлиқлиги 4.2-300 К оралиғида ҳамда фотоўтказувчанлик камайишининг кинетикаси ҳароратда, гамма-квантининг ҳар хил дозалари учун ўлчанган натижаларни таҳлил қилиб, зарид ташувчилар узликсизлик тағлимасини ечиб, концентратив харақатчанлигини ҳамда аксептор атомлар ва термодонорлар кластери концентративсининг уларга қирувчи Z аксептор (термодонор) атомлар кластери сонига боғлиқлиги $N_A(Z)$ функцияси Н.А.Витовский усули [1] билан ҳисоб топилиди. Илмий ишда Чохралский ўстириш усули билан олинган p-InP:Si кристалл компенсацияловчи ариалашма - Cd, p-Si - термодонорлар, p-GaAs ўз-ўзидан қоладиган аксепторли ариалашмалар ва p-InP аксепторлар - Zn, Si ва бошқалар қиладиган кластерлар мажмуд бўлса, гамма-кванти таъсирда кластерлар ўзгариш каттавланганлиги, яъни улар ичидagi электр актив марказлар сони ортганлиги экспериментда тасдиқланган [4-7]. p-InP материаллидаги ариалашма атомлар кристаллнинг ҳажми бўйлаб бир жинсли тақсимланса, гамма-кванти таъсирда электр актив марказлар кластерлари ҳосил бўмаслиги аниқланган [2]. Чохралский усулида ўстирилган p-Si материалда электр актив марказ кластерлари, гамма-кванти нурланишининг ҳар хил дозаларида кузатилмаган [3]. Ярим ўтказгичларда электр актив марказ кластерлари ичидagi донор ёки аксепторлар сони гамма-кванти таъсирда ҳосил бўладиган хусусий нуктавий нуксонлар туфайли ортиб боришининг табиати ҳозир пайда маълум эмас, аммо бир неча ҳулосаларни чиқариш мумкин.

Ўрганилган ярим ўтказгичларда гамма-кванти таъсирда электр актив нуктавий нуксонлар кластерларидаги зарядлар сонининг ортиши, уларнинг ўтказувчанлигининг орттишига олиб келди, бу эса электр ўтказувчанлигини камайтиради. Бундай ярим ўтказгичлардан фойдаланиб, ярим ўтказгичли асбоблар ясаш мақсади мувофиқ эмас.

Электр актив нуктавий марказлар кластерлари бўлмаган ярим ўтказгичларда гамма-кванти таъсирда янги кластерлар ҳам ҳосил бўлмаслиги тасдиқланган. Бундай материаллардан ярим ўтказгичли қурилмалар ясаш яхши эффект беришини таъсирини мумкин.

Адабиётлар

1. Витовский Н.А. Метод определения квазиточечных скопленных атомов примесей в полупроводниках и функции распределения скопленных по их заряду. ФТП., 1982., Т 16, с.882-885.
2. Витовский Н.А., Лагунова Т.С. Однородный комплексированный фосфид индия визкой концентральной электротвор. ФТП., 1981., Т 15., с.1034-1036.
3. Баграев Н.Т., Витовский Н.А., Власенко Л.С., Машовцев Т.В., Рахимов О. Скопленные электрически активных центров в термобработанном кремнии, выращенном по методу Чохралского. ФТП., 1983., Т 17., с. 1979-1984.

Витовский Н.А., Лагунова Т.С., Машовцев Т.В., Рахимов О. Пространственное распределение электрически активных центров в p-арсениде галлия и его изменения при гамма-облучении. ФТП., 1984., Т 18., вып. 9., с.1593-1596.

Витовский Н.А., Лагунова Т.С., Рахимов О. Взаимодействие точечные собственные дефектов в фосфиде индия n-типа со скопленными аксепторами. ФТП., 1984., Т 18., с. 1624-1628.

Витовский Н.Ф., Емельяненко О.В., Лагунова Т.С., Рахимов О. Определение зарядов квазиточечных скопленных атомов аксепторной примеси в комплексированных кристаллах InP. ФТП., 1982., Т 16., с.1122-1124.

Рахимов О., Холдоров Н. Взаимодействие собственных точечных дефектов структуры со скопленными дефектами донорного типа p-Si, подвергнутых термобработке. Узбекский физический журнал., 1992., №4., с. 73-75.

КАТТИК ЖИСМЛАРГА ЛАЗЕРЛАР ЁРДАМИДА ИШЛОВ БЕРИШ

Х.М. Мадаминнов, Ш.А. Мадумаров
Андижон давлат университети, Андижон, Ўзбекистон

Кейинги йилларда каттик жисмларни лазерларни қўллаш орқали ишлов беришининг турли қўринишларидан фойдаланила бошланди. Тула асос билан шуми ишлов мумкин, "лазер технологияси" деб аталувчи бу йўналишининг асосий физик усулларини ўрганилди, технологияси асос-ушунлар туркуми ишлаб чиқилди ва ишлаб чиқариш масабиди юзага келувчи бир қатор технология турли соҳаларга тилиди. Натжада, каттик жисмларга ишлов бериш санатининг турли соҳаларига лазерларни қўллаш натижада меҳнат унумдорлиги кескин ортиб, ишлаб чиқилган ҳақулотининг сифати яхшиланди [1].

Бугун, ишлаб чиқаришининг базиси турларни лазерларсиз тасаввур қилиш иминлиги оқинишди. Лазер технологияси сановат ва ишлаб чиқаришининг соҳа мутахассислари - муҳандислар, технологлар, турли ускуналар яратувчиларини ҳамда ларча тадқиқотчиларни борган сари ўзига қўроқ жалб этмоқда.

Хўш, лазер технологияси қандай хусусияти билан бундай эътиборга сазовор бўлмоқда? Бу саволга жавоб беришдан олдин қудратли лазер нуруларининг каттик жисмларга қандай таъсир этишини кўриб ўтамиз [2].

Лазер нуруларининг каттик жисмларга таъсири шундан иборатки, унинг фантлари атом молекулалар орқали қайта ишланган жисмининг устки қатламларига энергия бериб туради. Лазер билан нурлантирилган жисм сирғидили куват зичлиги иска рақт ичида бир квадрат сантиметрда то қозлаб миллиард Ваттга тенг бўлади.

Каттик жисмининг сирғига қучли лазер нуруни йўналиштириб, нурунинг интенсивлигини тобора ошириб борамиз. Нурунинг интенсивлиги 10^6 Вт/см^2 га етганда, каттик жисмининг эриши бошланади. Сирт яқинида нурули доғ остида суяк металл қайде бўлади. Лазер нурунинг интенсивлигини $10^6 - 10^7 \text{ Вт/см}^2$ гача етказамиз. Энди ярим билан бирга каттик жисмининг интенсиви равнида бўганиши ҳам бошланади, қаттижада каттик жисм сирғида чуқурича ҳосил бўлади.

Нурунинг интенсивлиги ўртача 10^7 Вт/см^2 га етганда, нур каттик жисмининг атомларини талик билан йонлаштириб плазмага айлантиради. Бунда нур интенсиви равнида плазмага ютила бошлайди. У лазер нуруларини каттик жисмининг сирғига ўтишини тўсиб қўяди. Каттик жисмининг лазер нури билан қайта ишланганда плазманинг ҳосил бўлишига йўл қўймайлик қозим. Демак, нурунинг интенсивлиги учта қатта бўлмаслиги керак [3, 4].

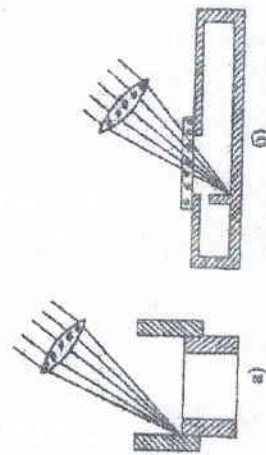
Каттик жисмларни кайта ишлангын турли усуллар менда Улнинг тесирин жихатдан ахамияти ва кылмати жихатдан пайвандлаш ва термик ишлов мухым килеб этмокда.

Лазерли пайвандлашш бошка турлати пайвандлаш билан солиштириб куйиб Лазер нурури билан пайвандлаш аргон-электр нурури билан пайвандлашш ишлов каттик жисм сиртига энергиянинг куйрок туланишини таъминлайди. Электр нурури билан пайвандлашшга нисбатан лазерли пайвандлашш ишлатиш анча кулай: вакуум система талаб килинмайдн, пайвандлашш "шаффоф ойна" оркали амалга ошир мумкин. Лазерли пайвандлашш турлича материалларни ҳам бир-бирига улай олиб Хосил булган токлар ҳам худди ушн, уланган металллардек нухта, чидамлигини бир ахраниб туради. Бу пайвандлашш микроэлектроникада симларни бир-бирга пайвандлашш операцияларида кенг кулланилади. Хозирги пайтда 1-10 кВт курак нурулангирилган пайвандлаш усули кулланилмокда.

Автоматик лазерли пайвандлашш автомобилларнинг кузовини на курак пайвандлашшда ва хусусан машиналарда ошник-мошниксимон механизм) доворлар пайвандлашшда, титан ва амонид варақларни, газли симларни улашда ишлатиладн. Сунгги йилларда шунингдек металл булмаган каттик жисмларни ҳам пайвандлашш ривожланилмокда.

Фараз қилайлик: электрон-нурули трубка ичидан кандайдыр сам узилиб кутул бузилди. Шу кейин жойини пайвандлашшда лазер нурули кулланилади (1-расм).

Чуқки фақат лазергина вакуумли баллоннинг ойкасдан ўта олиши мураккаб. Худди шу ерда лазер нуруларининг энг ахамиятли афзаллиги, яъни улнинг энг ишлов жойларни ҳам пайвандлашш имкониятига эга эканлигида кўринади. Шу билан бир вақтда инерт газ билан тулдирилган камерадан у ёки бу микроэлектроник элементларини ҳам пайвандлашш жуда катта қизқиш уйғотилади. Бу ҳолда оксидланш реакциясининг олди олинади.



1-расм. а) ўта кийин жойларни лазерли пайвандлашш; б) вакуумли ёки ишти газ билан тулдирилган камераларни оптик шаффоф материаллар оркали лазерли пайвандлашш

Кейинги йилларда жихоннинг илгор имамектилариди лазерли термик ишлов усули жуда аваж олиб кетди. У резисторлар юрналигини тўғридаш, каттик сиртини чиниктириш, периметрлар катлами мустахкамлашш вакуум пешарида ишлов усулда кайта ишланган катламлардан 2-3 марта ортиради. Лазерли ёрдамда термик ишловнинг микроэлектроникада кулланилишш ҳақида куйида тўғридаш ўринли.

Каттик жисм сиртини тобаш афрам унча катта бўлмаган сохадар мустахкамлашш анида ошириш максалида кулланилади. Лазерли фойдаланиш сирт катламни тобаш, кайта ишланаётган каттик жисм сиртини унчун кайта ишлов анида ошириш имкониятини яратди, тешки ва ишди катламни баробар тобашимини

рабини тес аманга ошириш пайтда каттик жисм сиртини оксидлангидан саклайди. Ундай қилиб, лазерли тобаш таптанган майдон сиртини таъмир этишиди. Лазерли тобаш автомобил сановатда давлатиш пайларди бошқаршни, етакчи киланлар ва асирловчи валларни мустахкамлашшда ишлатилади.

Каттик жисм сиртининг мустахкамлиги ва каттикдигини таъминлаш максалида м лазерли ластирлаш (каттик жисм бошка модда куйиб физик-химиявий ку-жатларини яхшилаш) кулланилади. Ластирловчи присадкалар кутун кўригилмида ишлангидан майдон сиртига сепилади. Лазер билан нурулангирил жарошда кинрилган кутун ва материал арақлашиб юпка катламни деталь пайдо бўлади.

Кейинги йилларда термик кайта ишлашга оид янги лазерли технология раёшлар пайдо бўлди. Шундай жарошлардан барига каттик жисмни пиша билан ишлов жарошдан ҳам киради. Агар лазер билан нурулангирилган каттик жисмининг усти юпки тез совутилса, унинг сиртида юпка (ишшисимон) акорфил катлам кайдо бўлади, жуда юкори сифатли бўлаб, коррозияга бардошлилиги билан ажралиб туради.

Фойдаланилган адабиётлар руйхати

Мадминов Х.М., Мадучаров Ш. Лазерларнинг материаллукослика кулланилиши. Микроэлектроника, нанотехнологиялар физикаси ва технологиялари" Республика имти-иной анжумани материаллари, Андижон, 2015 й. 4-5 декабрь. 382-383 б.

www.2000light.net/photography/lasers/properties-lasers.html

Гансов Р. Лазер опамлар хизматида. Тошкент, «ФАН» нашриёти, 1990 й.

Найбородин Ю.В. Основы лазерной техники, Киев, Наукова Думка, 1988 г.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛЕГИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛА ПОЛУПРОВОДНИКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

Т.У. Тешбаев, А.А. Шодиев

Амриканский государственный университет им. А. Навои, Самарканд, Узбекистан

В результате [1,2] проведенных исследований установлены экспериментальные зависимости напряжения холостого хода, тока короткого замыкания, КПД и стабильности кремниевых солнечных элементов от концентрации атомов серы, фолата, никеля, цинка, кадмия и условий диффузии после дополнительного легирования данными примесями как базовой, так и фронтальной областей полупроводников.

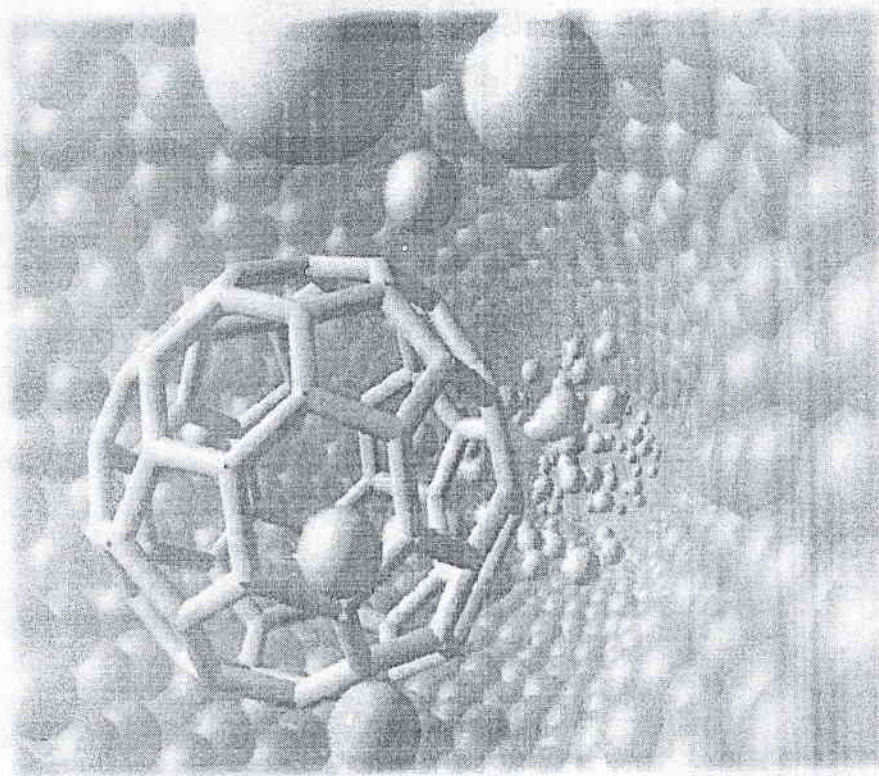
Основное влияние дополнительного легирования приводит к увеличению тока короткого замыкания, при незначительном увеличении напряжения холостого хода и к существенному повышению стабильности последующих элементов, что зависит от природы и концентрации вводимых примесей.

Полученные фотоэлементы имеют высокую стабильность, при работе в реальных условиях термостатирования и повышенной интенсивности излучения, приводящих к существенному радиационным дефектам. Так наличие никеля и серы в базе кремниевых элементов практически полностью подавляет генерацию как засоряющих, и других термодинамических дефектов. Замена их радиационной стойкостью, 10 до 100 до 100-500°C не приводит к существенному изменению электрофизических фотоэлектрических свойств базы (удельное сопротивление, подвижность, время жизни носителей тока) фотоэлементов дополнительно легированных Ni, Cd, Zn и S при существенном изменении исходных параметров контрольных элементов. Перспективно использование таких элементов при концентрированном

22	С.А. Тачилин, И.Н. Эгзаев	ПТТУ	РАЗРАБОТКА ФОТОЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ С НАНОКЛАСТЕ- РАМИ АТОМОВ МАРГАНА ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИИ НА ВАХ P-N-ПЕРЕХОДА В СВЧ ПОЛЕ	183
23	Г. Гулямов, Г. Дадамирзаев, М.Г. Дадамирзаев, А.К. Эргашев	НамИТИ		184
24	R.T. Khaydarov, H.B. Besinbaeva, R.T. Khaydarov and G.R. Berdiyev	INPh ASRUz	IMPROVEMENT OF CHARACTERIS- TICS OF LASER SOURCE OF IONS BY CHANGING THE PARAMETERS OF THE TARGET AND EXTERNAL PARAMETERS	185
25	А. Юсупов, И.Г. Атабаев, К. Адамбаев, М.У. Хажиев, С.Р. Алиев, З.З. Тураса	ТАДИ, ФТИ АН РУз, НУУз	НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОСТРУКТУР ITO/Cu ₂ ZnSnS ₄	186
26	С.З. Зайнобидинов, Х.М. Мадаминнов	АНДУ	КОМПЕНСИРОВАНИЕ КРЕМНИЙ -- ЯНТИ ЯРИМУТКАЗГИЧ МОДДА	189
27	Д.Э. Назиров	НУУз	СВОЙСТВА КРЕМНИЯ, ИОННОЛЕГИ- РОВАННОГО ИТТЕРБИЕМ	191
28	A.S. Saidov, A.Sh. Razzoqov, Sh.K. Ismoilov, U.P. Asatova	UrSU	LIQUID-PHASE EPITAXY OF SOLID SOLUTIONS (Ge) _{1-x} (InP) _x AND (GaAs) _{1-x} (ZnSe) _x	194
29	А. Г. Гамбаров	ПТТУ	ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ SI-ФОТОПРИЕМНИКОВ	195
30	Ш.М. Кулиев	ФТИАНРУз	О ПАРАМЕТРАХ СИЛОВЫХ ДИОДОВ	196
31	И.Б. Сапаев, Б. Сапаев, Р.У. Аманов	ФТИ АН РУз, ТГАУ	ИНЖЕКЦИОННЫЕ ФОТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ CdS	197
32	Erkin N. Shernatov	SamSU	ELECTROMAGNETIC NATURE OF BODIES AND MATERIALS SUPERCONDUCTIVITY	198
33	И. Субханкулов, Б. Хайруллаев	СамДУ	КОБАЛТА БОЙ АМОРОФ Co-Fe-Si-B МЕТАЛЛ КОТИШМАЛАРИНИГ ФИЗИК ХОССАЛАРИДАТИ НОЧИЗИК- ЛИ УЗГАРИШЛАРИНИ УЛАРИНИГ ТАРКИБИГА БОГЛИКЛИШИ	199
34	О. Рахимов, А.А. Эшбеков, Э. Бобокулов	СамДАКИ, СамДУ	ЧОХРАЛСКИЙ УСУЛИДА УСТИРИЛГАН p-InP АКСЕПТОР КЛАСТЕРЛАРИ УЛЧАМЛАРИГА РАДИАЦИЯ ТАЪСИРИНИ УРГАНИШ	200
35	О. Рахимов, А.А. Эшбеков, М. Ташбеков	СамДАКИ, СамДУ	ЧОХРАЛСКИЙ УСУЛИДА ОЛИНГАН ЯРИМ УТКАЗИЧЛАР ЭЛЕКТР УТКАЗУВЧАНИЛИГИГА ГАММА НУРИНИНГ ТАЪСИРИНИ УРГАНИШ	201

36	Х.М. Мадаминнов, Ш.А. Мадумаров	АНДУ	КАТТИК ЖИСИЛАРГА ЛАЗЕРЛАР ЁРДАМИДА ИШЛОВ БЕРИШ	189
37	Т.У. Тошбоев, А.А. Шодиев	СамГУ	СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛЕГИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛА ПОЛУПРОВОДИНИКА	191
38	Т.У. Тошбоев, А.А. Шодиев	СамГУ	ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ПРИМЕСЯМИ ВЛИЯНИЕ БЫСТРОДИФФУЗИРУЮ- ЩИХ ПРИМЕСЕЙ НА ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	193
39	А.К. Амонов	СамГИТИЯ	НЕЛИНЕЙНЫЕ ТОКИ В КРИСТАЛ- ЛАХ С НЕПАРАБОЛИЧЕСКОМ ЗАКОНОМ ДИСПЕРСИИ	193
40	И. Нуритдинов, Э.Б. Т. Аташов, А.Б. Утегизова	ИЯФ АН РУз	ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИ- СТИКИ КРИСТАЛЛОВ LiBaW ₉	194
41	Б.С. Файзуллаев, А.Х. Исламов, И. Нуритдинов	ИЯФ АН РУз	О ПРИРОДЕ ПОЛОСЫ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ 665 НМ В КВАРЦЕВЫХ СТЕКЛАХ ТИПОВ КС- 4В и КИ	195
42	У.О. Кулиев, М.К. Курбанов, М.К. Каримов, У.А. Аминов	УрГУ	ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТЫЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЛЬДА В ВИДЕ МОЛЕКУЛ И КЛАСТЕРОВ ПРИ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ	195
43	Umar Abdurakhmanov, Munira Karaboeva, Alisher Hoshimov and Shoxrux Xaydarov	NUUZ	CONDUCTIVITY AND PERMITTIVITY OF NICKEL-NANOPARTICLE- CONTAINING CERAMIC MATERIALS IN THE VICINITY OF PERCOLATION THRESHOLD	197

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА
ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
АНДИЖОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ**



**МИКРОЭЛЕКТРОНИКА, НАНОЗАРРАЛАР
ФИЗИКАСИ ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ**

**Республика илмий-амалий анжумани
МАТЕРИАЛЛАРИ**

2015 йил 4-5 декабрь

АНДИЖОН

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА

МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

АНДИЖОН ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА, НАНОЗАРРАЛАР

ФИЗИКАСИ ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ

Республика илмий–амалий анжумани

МАТЕРИАЛЛАРИ

2015 йил 4-5 декабрь

АНДИЖОН

Суюқ кристалларнинг бош хусусияти ташқи таъсирлар натижасида структурасини ўзгартиришидир. Бошқа хусусияти – структурасини тартибли боғланиши билан бўлган электр, магнит ва оптик хусусиятини анизотропиясидир. Хусусан, жудда кучсиз электр ва магнит майдонлар системаси ҳолатини ва оптик хусусиятини ўзгартириш имкониятига эга. Олимлар ва инженерларнинг ўз вақтида муҳим изланишлари натижасида суюқ кристалларни қўллаб хусусиятлари ўрганилди ва улар ёрдамида афзалликлари юқори бўлган мониторлар яратилди.

Барча суюқ кристалли дисплейлар ягона база асосида қурилади, яъни суюқ кристалли молекулаларини ёруғликнинг улар орқали ўтишида қўланиш текислигини ўзгартиришидир. Суюқ кристалли - матрица “буттербурд” кўринишида бўлади, яъни бир жуфт қўллагич пардадан бошқарилувчи транзисторлар ва электродлар жойлашган шиша таглик, ҳамда улар орасида суюқ кристалли молекулалари жойлашган кўп қатламли структуралардан иборат. Бу суюқ кристалли моддага электр майдон қўйилиши натижасида ёруғликнинг қўланиш текислиги буралади ва ячейка ёруғ бўлади. Суюқ кристалли асосидаги дисплейлар ўтган асрнинг ўрталарида яратилган. Ҳозирги кунда келиб, замонавий технологияни ривожланиши суюқ кристалли - индикаторлар ва дисплейлар миллиардлаб ишлаб чиқарилмоқда. Демак, фан ва техникани бир қанча соҳаларини суюқ кристаллар соҳасини ривожланишсиз тасавур қилиш қийин деб айтиш мумкин.

Суюқ кристалли экранлар информацияни тасвирлаш системаларида электрон нурли трубкалар билан реал мусобақалаша олади. Бугунги кунда электрон нурли трубкалар деярли ишлаб чиқарилмаяпти. Уларнинг ўрнига суюқ кристалли экранлар яратилмоқдаки, телевизор экранлари диагонали 36 см дан 100 см гача бориши билан бирга тасвир ва товуш сифати юқори. Ундан ташқари узок хизмат қилиши, кам энергия истеъмол қилиши, ҳамда суюқ кристалли телевизор кинескоп экранлига нисбатан анча енгиллиги билан афзалликларга эга.

Экрани суюқ кристалли осциллографларнинг турлари ҳам кўпаймоқда. Уларга осциллограф компьютерда, осциллограф микроконтроллерда ва ҳўнтак осциллографларини кўрсатиш мумкин. Улар ёрдамида турли частотали сигналларни параметрларини ўлчашлардан ташқари осциллограммаларни эсда сақлаш мумкин.

Ҳозирги электрон қурилмалар: осциллографлар, телевизорлар, электрон ҳисоблаш машиналари, мобил телефонлар ва бошқаларнинг экранлари суюқ кристаллидир. Юқоридагилардан кўриниб турибдики, суюқ кристалларнинг ўрганиш катта аҳамиятга эга. Шу сабабли суюқ кристаллар физикаси ва уларни қўлланилишини ўрганиш зарур. Бунинг учун олий таълим ўқитиладиган физика курсларида суюқ кристаллар физикасини ўрганиш, радиотехника ва шунга яқин курсларда суюқ кристаллар асосидаги қурилмаларни ўрганишга бағишланган мавзулар дастурларга киритилиши керак деб ҳисоблаймиз. Физиклар замонавий осциллограф, телевизор, рақамли вольтметр ва шунга ўхшаш кўплаб асбобларни ишлаш принципини тушунириб беришлари керак.

LAZERLARNING MATERIALSHUNOSLIKDA QO'LLANILISHI

Madaminov X.M., Madumarov Sh.

Andijon davlat universiteti, Andijon mashinasozlik instituti

О'тган асрнинг oxirlaridan boshlab qayta ishlanayotgan materiallarni lazerlar qurilmalarini qo'llash orqali qizdirish usuli keng ishlatila boshlandi. Hozir to'la asos bilan shuni aytish mumkinki, "lazer texnologiyasi" deb maxsus termin bilan nomlangan ushbu yangi yo'nalish to'laligicha shakllandi: ya'ni ushbu yo'nalishning asosiy fizik xususiyatlari o'rganildi, zaruriy asbob-uskunalar turkumi ishlab chiqildi.

sanoat va ishlab chiqarish ko'lamida yuzaga keluvchi qator texnologik muammolar hal etildi. Natijada, lazerlarni qo'llash bilan mehnat unumdorligi oshib, ishlab chiqarilgan mahsulotning sifati yaxshilandi.

Ishlab chiqarishning ba'zi turlarini lazerlarsiz tasavvur etish qiyin. Lazer texnologiyasi turli soha mutaxassislari – texnologlar, injenerlar, turli asbob-uskunalar yaratuvchilarini hamda boshqa sohada ishlovchi tadqiqotchilarni borgan sari o'ziga ko'proq jalb etmoqda. Ho'sh, lazer texnologiyasi qanday xususiyati bilan bunday e'tiborga sazovor bo'lmoqda? Bu savolga javob berishdan oldin qudratli lazer nurlarining boshqa moddalarga qanday ta'sir etishini ko'rib o'tamiz.

Lazer nurlarining moddalarga ta'siri shundan iboratki, uning kvantlari moddaning atom va molekullari orqali qayta ishlanayotgan materialning sirt qatlamiga energiya berib turadi. Lazer bilan nurlantirilgan sitrdagi zichlik quvvati qisqa vaqt ichida bir kvadrat santimetrda yuz milliard vattga teng bo'ladi.

Metallning sirtiga kuchli lazer nurini yo'naltirib, uning intensivligini tobora orttirib boramiz. Nurning intensivligi 10^5 W/sm^2 ga yetganda metalning erishi boshlanadi. Sirtning yaqinida nurli dog' ostida suyuq metall paydo bo'ladi. Lazer nurining intensivligini $10^6\text{-}10^7 \text{ W/sm}^2$ gacha yetkazamiz. Endi erish bilan birga materialning intensiv ravishda bug'lanishi ham boshlanadi, natijada metall sirtida chuqurcha paydo bo'ladi. Nurning intensivligi o'rtacha 10^9 W/sm^2 ga yetganda, 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. Demak, materialni lazer nuri bilan qayta ishlashda plazmani hosil bo'lishiga yo'l qo'ymaslik kerak. Ya'ni, nurning intensivligi uncha katta bo'lmasligi kerak. Shundan ko'rinib turibdiki, materialning xususiyati va qaysi turda qayta ishlanishidan qat'iy nazar, lazer nurlanishining 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 impuls (davomiyligi $10^{-2}\text{-}10^{-3}$ sek) kerak bo'ladi, teshik ochish uchun esa materilaning bug'lanish tezligini oshirish maqsadida davomiyligi juda qisqa impuls qo'llaniladi.

Lazerli texnologiyaning afzalligi materialni qayta ishlashdagi yuqori sifat va aniqlik erishish, turlicha fizikaviy va mexanikaviy xususiyatga ega bo'lgan har xil turdagi materiallarni bir-biriga payvandlash, texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish imkonini yaratadi, ishlab chiqarish madaniyatini orttirib, mehnat sharoitini yaxshilaydi. Yuqorida sanab o'tilgan afzalliklar asosida qator diqqatga sazovor yangi va samarali lazerli texnologik jarayonlar yaratildi.

ОСОБЕННОСТИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И ФОТОПРОВОДИМОСТИ ХЛОПКОВЫХ ВОЛОКОН СОРТА АТМ-1

Мамадалимов А.Т., Закиров А.С., Хамдамов Ж.Ж.,
Хакимова Н.К., Наркулов Ш.Б., Кузиева Р.Б.

Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека.

Природные полимеры на основе хлопковых (ХВ) и шелковых (ШВ) волокон благодаря своим структурным особенностям чередования аморфных и кристаллических областей нанометровых размеров обладают интересными полупроводниковыми свойствами [1,2]. Кроме того, электрофизические свойства ХВ и ШВ в частности, электропроводность и фотопроводимость очень чувствительны различным внешним воздействиям (температура, давление, УФ и СВЧ излучения) и легко могут быть модифицированы для получения заданными полупроводниковыми свойствами. Хлопковые волокна (ХВ) представляют специфический интерес, потому что хлопковые волокна

176. Умаров А.В., Кучкаров Х.О., Хусанбаев У.Я., Хамидов Ш.Р. О МЕХАНИЗМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИЦИЙ
177. М.А.Захидова. СЕЛЕКТИВНЫЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОЛЕ РЕЗОНАНСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
178. С.М. Абдурахмонов. ОБ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ В ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ОСНОВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ
179. Х.М. Сулаймонов, Н.Х. Юлдашев. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛЕНОК $(Bi_{0,3}Sb_{0,7})_2Te_3$ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦИКЛИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ
180. В.П. Ермаков, К. Исмоилов, Р.Х. Рахимов, С.О. Хатамов, Н.Х. Юлдашев. КОМПОЗИТНАЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВАЯ ПЛЕНКА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛИЦ И ПАРНИКОВ
181. А.Ахлимйрзаев, Т.Нишонов, М.Мамажонова, Б.Кодиров. ФИЗИК МАСАЛАЛАРНИ ЕЧИШДА ОЛИЙ МАТЕМАТИКА ЭЛЕМЕНТЛАРИДАН ФОЙДАЛАНИШ
182. А.А. Таджиев, Б. Орзиев. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ БОРА ВИДА MB_6 В ОБЛАСТИ ГОМОГЕННОСТИ
183. Аминов Ш.Й., Турсунов А.И., Муминов Б.С. КЎП АТОМЛИ МОЛЕКУЛАЛАРНИНГ (ОРГАНИК БИРИКМАЛАР) СИРТТИЙ ИОНЛАШИШИНИ
184. Курбонбоев Ш. З., Хасанов М. М. ГЛОБАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ НАНОИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
185. А.Артиков, С.Убайдуллаев, Ш.М.Каххоров, Д.Жўраев, Ў.Мўминов, Г.Мамажонова. МОДУЛИ ТАЪЛИМНИНГ САМАРАДОРЛИГИ ВА УНИНГ МЕТОДОЛОГИЯ АСОСЛАРИ ХАҚИДА
186. Mo'minov G.M., Ибайдуллаев Т., Mo'yidinov L., Hakimova N. QIZDIRILGAN IJSMNING SOVUTISH HAQIDAGI CHEGARAVIY MASALASINI YECHISHDA FUR'YE USULINING QO'LLANILISHI
187. Муратов А.С. ОСОБЕННОСТИ ЭДС В $nZnSe-nGaAs$ СТРУКТУРАХ
188. Арзисулов Э.У., Ахатов А.Т., Муратов Р.Р., Сулейманов Р.Д. ТРЕХФАЗНЫЙ ТИРИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ С МИКРОКОНТРОЛЛЕНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ
189. Мухтаров З.Э., Исаханов З.А., Умирзаков Б.Е., Кодиров Т., А.С. Халматов. ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Ba^+ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СОСТАВ И ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА WO_2
190. Гаилов А.Г. ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРА ИЗЛУЧЕНИЯ
191. Халманов Актам Тошкуватович, Эшкobilов Напас Бекназарович. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ИОНИЗАЦИИ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ В ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
192. И.Каримов, М.Иброхимов, М.Носиров., Ж. Зиёитдинов. ЛАЗЕРНЫЕ ГИРОСКОПЫ
193. М.М. Нишонова, М. А. Мўминова, Абдуллаев Ш. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
194. Чориев М.М., Абдиев У.Б. XXI АСР - МУҚОБИЛ ЭНЕРГИЯ АСРИ
195. Эркин Н.Шерматов. МЕЗОСКОПИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ
196. Эркин Н.Шерматов. МЕЗОСКОПИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ НАНОЧАСТИЦ
197. Эркин Н.Шерматов. МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ МАТЕРИАЛОВ
198. Мусаев Э.А., Собирова Т., Баратова Ш., Хусанов С. ҲОЗИРГИ ЗАМОН ТЕХНИК ТАРАҚҚИЁТДА СУҲҲ ҚРИСТАЛЛАРНИ ТУТГАН ЎРНИ
199. Madaminov X.M., Madumarov Sh. LAZERLARNING MATERIALSHUNOSLIKDA QO'LLANILISHI
200. Мамадалимов А.Т., Закиров А.С., Хамдамов Ж.Ж., Хакимова Н.К., Наркулов Ш.Б., Кузиева Р.Б. ОСОБЕННОСТИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И ФОТОПРОВОДИМОСТИ

АНДИЖОН
МАШИНАСОЗЛИК
ИНСТИТУТИ

АНДИЖАНСКИЙ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ИНСТИТУТ

II-секция

III Международная
научно-практическая
конференция:

**“Современные материалы,
техника и технологии
в машиностроении”**

посвященная 20 летию АО “Узавтосаноат”
и 5 летию Андижанского машиностроительного института

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ



19-21 апреля 2016 года, Андижан

Халқаро илмий- техникавий анжуман тўплами

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА
МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

АНДИЖОН МАШИНАСОЗЛИК ИНСТИТУТИ

**«МАШИНАСОЗЛИКДА ЗАМОНАВИЙ МАТЕРИАЛЛАР,
ТЕХНИКА ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР»**

**Халқаро илмий- техникавий анжуман
тўплами**

**(Профессор-ўқитувчилар, ёш олимлар, катта илмий ходим-
изланувчилар, магистрлар ва иқтидорли талабаларнинг халқаро илмий-
техникавий анжуман мақолалар тўплами)**

Андижон 2016

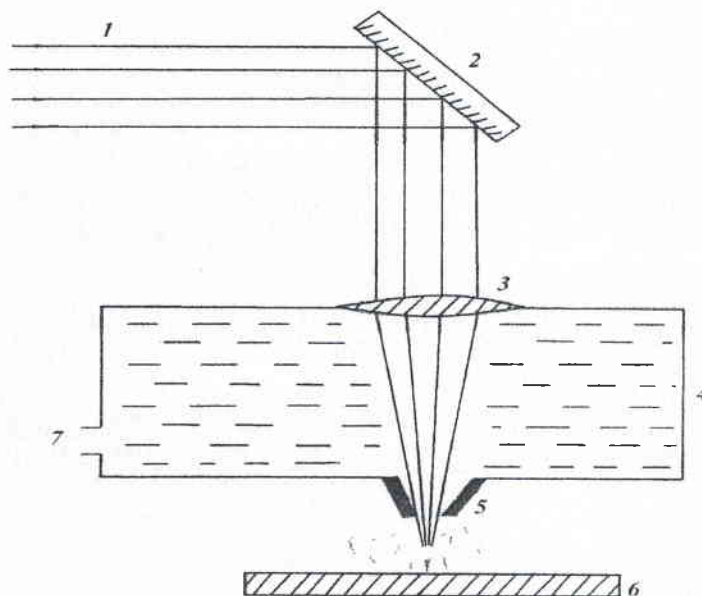
МАШИНАСОЗЛИК МАТЕРИАЛЛАРИНИ ЛАЗЕРЛИ КЕСИШ

Х.М. Мадаминов -ф- м.ф.н., Ш.А. Мадумаров -магистр

Андижон давлат университети, Андижон

Узок йиллардан бери материалларни кесишда кимёвий реакция энергиясидан, яъни кислород-ацетиленли алангадан фойдаланиб келинар эди. Бу усулда материални қирқиш оксидланиш жараёнида ажралиб чиққан иссиқлик энергияси ҳисобига юз берар эди [1].

Шунга ўхшаш, лазерли иситиш ва кислородли оқимлар CO_2 лазерлар ёрдамида машинасозлик металлларини қирқишда фойдаланилади (1-расм).



1-расм. Материалларни газ лазерли кесиш қурилмасининг схемаси:

1) CO_2 лазер нури; 2) бурилиш ойнаси; 3) германийли линза; 4) кесувчи; 5) сопло; 6) қайта ишланадиган буюм; 7) газни юбориш [2].

Газ оқими бу ҳолда, қирқиш зонасини оксидланишидан сакловчи муҳим вазифани бажаради. Тўлқин узунлиги 10,6 мкм бўлган CO_2 лазерли билан нурланган қайта ишланаётган материалга қайтармалли ойна ва фокусга тўпланган линзалар орқали юборилади. Нур билан бирга кесиш жойига кислород ҳам юборилади. Кесиш жараёни линза фокуслари билан деталларнинг аралашishi орқали юз беради.

Мазкур технологик жараённинг аҳамияти шундаки, 0,4 ммдан ортмайдиган кичик кесиш кенглигида энг юқори тезликда иш олиб бориш мумкин. Масалан, карбонат ангидридли лазер ёрдамида, йўғонлиги 10 мм ли титан минутига 2,5 м тезликда кесилади. Шунга таъкидлаш керакки, титанга нисбатан иссиқлик ўтказувчанлиги юқори бўлган алюминий ва мис каби

металларга бундай қайта ишлаш таъсир этмайди. Бироқ кислород ўрнига реактив (кимёвий реакцияни амалга ошириш учун ишлатиладиган модда) бўлмаган газлар (азот ва инерт газлари) ишлатилганда бу усулни юқоридаги металларга ҳам ишлатиш мумкин бўлади. Бундан ташқари, бу газлар кесиш майдони машинасозликнинг янги материаллари сифатида урфга айланаётган - мато, фанер, қоғоз ва пластикларни бичиш пайтида уларни куйдириб қўйишни олдини олади (1-жадвал [2]). Бунда инерт газнинг оқими кесилган жойнинг ўрнини совутиб, материалнинг емирилган қисмларини ажратиб олиш имконини беради.

1-жадвал

CO₂ лазер нурлари билан материалларни кесиш жадвали

Материаллар	Йўғонлиги мм	Тезлиги м/мин	Кенглиги мм	Қувват и кВт
Алюминий	12	2	1	10
Углеродли (карбонли) пўлат	6,25	2	1	15
Зангламайдиган пўлат	5	1,25	2	20
Композитлар (бор, углерод, карбон	8	1,65	1	15
Композитлар (шишапластикли)	12,5	4,6	0,6	20
Фанерлар	25	1,5	1,5	8
Плексигласс	25	1,5	1,5	8
Шиша	9	1,5	1	10

Жадвалда келтирилган айрим ноанъанвий машинасозлик материалларини газли лазерлар билан қирқишнинг ўзига хос томонларини кўриб ўтайлик: механик таъсир этмасдан туриб лазерлар билан жуда мўрт, тўкилган ва жуда юмшоқ бўлган материалларни ҳам кесиш мумкин. Кесиш зонасидаги юқори ҳарорат фақат олмосли кесгич (металли керамика, шишали углерод ва бошқалар) билангина таъсир этиш мумкин бўлган энг чидамли ва кийин эрийдиган материалларни ҳам қайта ишлаш имконини беради.

Лазерли кесиш усули бугунги кунда машинасозликда қанчалик кенг қўлланилаётганини кўрсатиш мақсадида бир неча мисоллар келтириб ўтамиз.

Замонавий тикув фабрикасида лазерли кесиш ва матони бичишни олайлик. Қурилма - CO₂ лазерли фокусланган система ва лазер нурлари аралашишидан, ЭХМ дан иборат. Кесиш жараёнида нур матонинг устки қисмида 1м/сек тезликда аралашиб туради. Нурларнинг шундай аралашуви

ва матоларни ЭХМ бошқариб туради. Бундай қурилмалар бир соат давомида материалдан 50-100 та автомашина ўриндиклари ғилофини бичиб бера олади. Яна бошқа мисол – лазерли кесишни авиация саноатида, жумладан космик учувчи-аппаратларни ишлаб чиқишда қўллаш. Бунда лазерлар ёрдамида титан, пўлат, алюминий варақларни автоматик қирқиш амалга оширилади.

Мақоланинг хулоса қисмида машинасозлик материалларини лазерли кесишнинг аҳамиятли томонларига тўхталиб ўтайлик:

1. Кесиш жараёни ва кесилувчи материалларнинг турли-туманлиги (механик қайта ишлаш мумкин бўлмаган материаллар ҳам шунга киради);

2. Материалларни кесиш жараёнининг юксак тезлик билан бажарилиши;

3. Ҳамма операцияларни тўла автоматлаштириш ва шунинг билан ишлаб чиқариш унумдорлигини ошириш;

4. Кесишнинг юқори сифатлилиги;

5. Таъсирнинг танланганлиги, яъни бир бўлим қайта ишланаётганда иккинчисига таъсир этмаслиги;

6. Материалларни масофадан туриб кесиш мумкинлиги. Лазер технологиясининг юқорида санаб ўтилган, лекин унча тўлиқ келтирилмаган афзалликлари шулардан иборат.

“Ҳозирги пайтда, – деб ёзади академик Н.Г.Басов, – лазер технологияси бутун дунё бўйича янги сифатли сакраш арафасида турибди. Лазер технологияси бошқа саноат технологиясидан икки сифати билан устун туради. Биринчидан, одатдан ташқари кўп қиррали бўлиб, “материалларни қайта ишлаш жараёни турлича. Иккинчидан, улар ниҳоятда истиқболли”.

Санаб ўтганимиздек, лазерли нурланиш машинасозликда қатор технологик жараёнлар учун энг қулай ҳисобланади. Лазер технологияси билан таъминланишнинг иқтисодий томондан ҳам афзаллиги уни айнан машинасозлик саноатида тобора кенг қўлланилишига сабаб бўлмоқда [3].

Фойдаланилган адабиётлар:

1. Мадаминов Х.М., Мадумаров Ш. Лазерларнинг материалшуносликда қўлланилиши. “Микроэлектроника, нанозарралар физикаси ва технологиялари” Республика илмий-амалий анжумани материаллари, Андижон, 2015 й. 4-5 декабрь, 382-383 б.

2. Ганеев Р. Лазер одамлар хизматида. Тошкент, «ФАН» нашриёти, 1990

3. Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники, Киев, Наукова Думка, 1988 г.

42.	Nosirov I.Z., Tojiboyev B.M., Tursunov O.A. Qo'l mehnatini yengillatuvchi mexanizatsiyalarni takomillashtirish	141
43.	Филиппов Ю.О., Маталасова А.Е., Пономарев И.А., Малов А.С. Способ предварительной подготовки порошков для металлургических предприятий	143
44.	Каримов Р.Р., Машрабов А.А., Эргашов Б.Б., Гафорова Ш.В. Исследование наклонно-дискового рабочего органа роторного косилка	148
45.	Негров Д.А., Путинцев В.Ю., Закирова Д.Д., Букина Я.В., Клещенко В.Д. Конструирование ультразвуковых конструирование ультразвуковых волноводных систем для машиностроительного производства	150
46.	Баратов Н.Б., Бегимов Н.Н., Максудова Н.А. Определение кинематических параметров точки бисателлита бипланетарного механизма.	154
47.	Эшкабилов Х.К., Бердиев Ш.А. Оксикарбонитрирование конструкционных сталей	157
48.	Алматаев Т.О., Абдурахмонов А.Г., Халимжонов Т. С. Изменение свойств полимерных материалов в период приработки	162
49.	Рахимов А.Ю., Рахимов А.А., Сирожиддинов Ж.Х. Ипак курти озуқасини тайёрлаш ва сақлаш жараёнининг пилла сифати ва ҳосилдорлигига таъсири	164
50.	Собиров Х., Беккулов Б., Юлдашев К., Рахмонова Ў. Культиваторлар учун "БАЛИҚ СИРТИ" мосламасида ғўза кўсакларига таъсир этувчи кучлар	167
51.	Мадаминов Х.М., Мадумаров Ш.А. Машинасозлик материалларини лазерли кесиш	172
52.	Каримов Ш.А., Шакиров Ш.М., Махкамов Ж. Тормозные колотки на железной основе	175
53.	Madaminov X.M. O'ta o'tkazgich materaillarning mashinasozlikda qo'llanilishi	178
54.	Эгамбердиев И.П., Болтаев Д.У., Сайфидинов О.О. Применение CAD / CAM / CAE интеграции для предсказать силы резания и отклонение инструмента концевые фрезы	181
55.	Ашуров Х.Б., Зарипов А.А. Электроимпульсная обработка диэлектриков	182
56.	Эгамбердиев И.П., Болтаев Д.У., Сайфидинов О.О. Способы повышения виброустойчивости токарного станка	184
57.	Tilabov B.K. Heat treatment high-chromium alloys	187
58.	Садыров А.Н., Тулаганов Б. К. Некоторые проблемы сельскохозяйственного машиностроения и их решения на примеремеханизации кормовой базы каракулеводства	191
59.	Ikromov N., Almatayev N.T., Moydinov D.A. O'zbekistonda ishlab chiqarilayotgan plastmassalardan avtomobilsozlikda foydalanish istiqbollari	194
60.	Алижанов Д., Мўйдинов У., Нишонов А.А. Ерёngoқ пўстини чақиш ва қисмларга ажратиш қурилмаси	198
61.	Сотволдиев А.Э., Рубидинов Ш.Г. Методы повышение производительности механической обработки детали на станках с ЧПУ	201
62.	Алижанов Д., Абдурахманов Ш., Темиркулова Н. Экспериментал тадқиқотлар асосида наматак мевасининг қисмларининг массалари назарий моделларини ишлаб чиқиш	205
63.	Бахадиров Г.А., Абдукаримов А., Умаров А.А., Сайдахметова Н.Б. Динамика валковой пары	210
64.	Худайкулиев Р.Р., Раутов Ш.Т. Выбор гидроагрегатов и элементов гидросистемы для автоматического копирования аппаратами профиля поля	214
65.	Шермухамедов А.А., Худайкулиев Р.Р. Конструктивные параметры и методика расчета современного распределителя гидроприводов сельскохозяйственных машин	216

Андижон давлат университети
Физика-математика факультети физика кафедраси
Магистрлик диссертацияларини химояга
тавсия қилиш тўғрисида кафедра йиғилиши №10

01.06.2016

Қ А Р О Р И

Магистр Мадумаров Шодоннинг “Лазерлар ёрдамида материалларга ишлов бериш ва уларни қайта ишлаш” мавзусидаги магистрлик диссертация ишига илмий раҳбар Физика-математика фанлар номзоди, катта ўқитувчи Х.Мадаминовнинг берган хулосаси ва 20 май 2016 йилда ўтказилган кафедра йиғилишидаги битирув олди ҳимоясига оид қарорига асосланиб

1. Магистрлик диссертация ишига тақризчи этиб АндМИ материлшунослик кафедраси доценти, физика-математика фанлар номзоди М.О.Олимовни тайинлансин.
2. Магистр Мадумаров Шодоннинг магистрлик диссертация ишини химоя қилиш учун Давлат аттестация комиссиясига тавсия этилсин.

Кафедра мудири:



доц. Ш.Эрматов