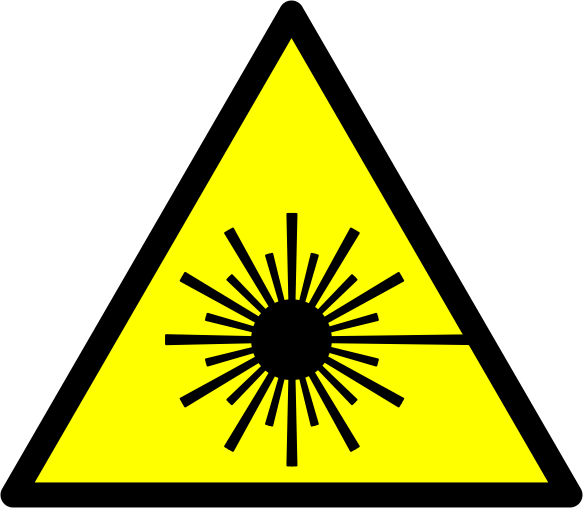
# FIZIKA LASERA – Gradivo za zavrsni ispit

Made by: Dado G.

Nedovrsena verzija



(obavezna uporaba naočala, oštećuje vid)

# Pitanja na zaokruzivajne

1. Zaokruži netočnu tvrdnju:

**a)rekonstruirana slika holograma je ortoskopska**  
*b)kod snimanja transmisijskih holograma kut između referentnog i predmetnog snopa je manji od 90 stupnjeva*  
*c)hologrami imaju svojstvo paralakse*  
d)na hologramu je zabilježena amplituda i faza predmetnog vala

2. Zaokruži točnu tvrdnju:  
a) rad FEL-a temelji se na procesu spontane emisije fotona  
*b) FEL se najčešće koristi u industriji*  
**c) rad FEL-a se temelji na zakočnom zračenju**  
*d) kod FEL-a se ne može podešavati valna duljina izlaznog zračenja*

3. Zaokruži netočnu tvrdnju:  
**a) gustoća struje kroz lasersku diodu ne ovisi o temperaturi**  
b) zračenje laserske diode moguće je modulirati vrlo visokim frekvencijama  
c) vanjska zrcala kod poluvodičkog lasera moraju imati visoku refleksivnost

4.

Zaokružite 2 točne tvrdnje (1 bod)

**a) U laserima se koriste otvoreni optički rezonatori.**

b) U HeNe laseru laserski prijelazi se odvijaju u He, a Ne služi za pobudu.

c) Brusterovi prozori se u laseru postavlju radi podešavanja frekvencije izlaznog zračenja.

**d) Vremensku koherenciju laserskog snopa možemo odrediti Michelsonovim interferometrom**

5.

Zaokruži netočnu tvrdnju (1 bod)

a) Raspodjela intenziteta TEM00 laserskog moda opisana je Gaussovom funkcijom

b) energijska pobuda rubinskog lasera je svjetlosna (bljeskalice, laserske diode)

**c) laserski pokazivači snage 1 mW pripadaju klasi IV**

d) Spektralni sjaj He-Ne lasera snage 1 mW veći je od spektralnog sjaja sunca

*JOS NERAZVRSTANO*

*Zaokruzi tocnu tvrdnju vezanu uz ekscimerski laser, jedno od ponudjenih je bilo da se koristi u medicini.*

*1.4 D - poželjno osigurati protok plina T pitanje za (CO2 laser)  
2.4 B - ozljede oka od predmeta N  
3.4 B - nema rezonator T (pitanje za N2 laser)  
4.2 A - prijelaz ionima Nd N  
4.3 C - nisu prikladni za pobudu lasera s bojom*

*Zaokruzi tocnu tvrdnu za Nd-Yag:  
je li ima prijelaz 4d-3f, bla bla ostalih se ne sjecam, ne znam sto je tocno  
  
Netocna tvrdnja za Ar ion laser...  
  
Jel bilo nesto i za opticke pitanje? Je li kod njih bio onaj jedan odgovor da imaju braggovu resetku na kraju?  
HeNe laseri - opisati*

* *Razlika svjetlosne i laserske diode*
* *Uvjet za prag laserske akcije*
* *Načini eksperimentalnog dobijanja 1mod lasera*
* *Holografija - stvaranje i rekonstrukcija + jednadžba holografije*
* *Koherencija svjetlosti*
* *Način rada lasera sa slobodnim elektronima*
* *Poluvodički laser i razlika svjetlosne i laserske diode*
* *Izvod za korisnost rezonatora*
* *Kako se pomoću višeslojnih djelova postiže refleksija*
* *Uvjet za lasersku akciju*
* *Holografija*
* *Koherencija*

# Esejska pitanja

## 1. Opišite princip rada lasera sa slobodnim elektronima.

Kao aktivno sredstvo su slobodni elektroni koji se gibaju u posebno oblikovanom magnetskom polju. Zračenje je posljedica usporenja elektronskog snopa u magnetskom polju. Ostvaruje područje spektra šire od optičkog. Na izlazu daje točkastu pulsnu zraku jake snage. 3 glavna dijela; akceleratora elektrona, optičkog rezonatora, te deceleratora. Akcelerator ubrzava snop elektrona koji postižu relativističke brzine i takvi ulijeću u rezonator se sastoji od dva zrcala i wigglera(sustav supravodljivih magneta s alternirajućim magnetskim poljem). Elektroni se u polju gibaju pod utjecajem Lorentzove sile. Različite brzine zračenja i gibanje elektrona uzrokuju njihove razlike u fazi. Zbog toga FEL radi u pulsnom načinu rada. Valna duljina kojom če laser zračiti ugađa se promjenom brzine elektrona .

## 2. Opišite princip rada poluvodičkih lasera.

Kristal poluvodiča sastoji se od velikog broja periodično smještenih atoma. Energijske razine elektrona popunjavaju se prema Paulijevom principu. Najviša popunjena = valentna vrpca. Sljedeća je vodljiva vrpca. U osnovnom stanju vrpca nije naseljena te imamo izolator. Pobudom (pr. toplinskom) elektroni dolaze u vodljivu vrpcu i slobodno se kredu , imamo vodič. Dopiranjem poluvodiča čisti poluvodički kristal stvara višak (n-tip) ili manjak (p-tip) elektrona u rešetci kristala. Dovodeći u kontakt p- i n-tip poluvodiča (nema napona na p-n spoju) elektroni teku sa n strane na p stranu. Ako se priključi napon na p-n spoj (potencijalna barijera se smanji), elektroni teku preko vrha barijere na p-stranu, odakle prelaze na prazna stanja u valentnoj zoni uz emisiju fotona s energijom približno jednakom Eg. Uz dovoljno visok napon na p-n spoju, može postojati područje gdje se dobiva inverzija naseljenosti. Stvara se lavina fotona. Fotoni nastali stimuliranom emisijom doživljavati de višestruke refleksije unutar rezonatora. Ako pojačanje emisije svjetlosti uspije kompenzirati gubitak fotona uslijed apsoprcije i difuzije iz pn-spoja može se pojaviti laserska emisija. Laserski efekt se javlja u ravnini pn-spoja ako kroz njega teče struja elektrona dovoljne gustoće. Poluvodički diodni laser nema vanjskih zrcala; dovoljno je da se strane vodiča poliraju, pa da se dobije laserski rezonator iz kojeg se dobije laserska emisija na obje strane. Obično se na jednu stranu potom nanosi 100% refleksivni sloj, tako da se laserska emisija dobiva samo s jedne strane rezonatora.

## 3. Objasnite razliku u radu svjetlosne i laserske diode.

LED radi tako da kad ju se stavi na neki napon dolazi do rekombinacije elektrona i šupljna u barijeri i stvori se foton tj. svijetlost (nema pojačanja kroz aktivno sredstvo i stimulirane emisije ali ima širi spektar). Laserska dioda je dioda koja ima rezonator, tj ima zrcala na rubovima i sad ovisi na kojim rubovima ima zrcala radi se o "edge emiter" - emisija sa strane (emisija u ravnini barijere P-N spoja) i VCSEL (vertical cavity surface emmiting laser) - emisija okomito na ravninu barijere (laserska ima veću izlaznu snagu, djelotvornost i stupanj koherencije). Na laserku diodi se prikljucuje visoki napon kako bi se stvorilo područje u blizini p-n spoja gdje se dobiva inverzna naseljenost.

Spektar emisije svjetlosne diode sadrži valne duljine vidljivog spektra, dok laserska dioda može sadržavati bilo koju valnu duljinu i u UV i IR području.  
Nadalje, svjetlosna dioda ima puno disperzivniji spektar, tj. spektar je širi i teško ju je ugoditi da radi na relativno uskom području valnih duljina. Kao takva nije pogodna za upotrebu u sustavima kod kojih je potrebna preciznost laserskog snopa.  
Snaga svjetlosne diode u pravilu je dosta manja od laserske diode.

## 4. Kratko objasnite princip rada poluvodičkih detektora laserskog zračenja.

Nisam siguran koliko bi opširno ovo trebalo biti, ukratko princip je u razdvajanju parova elektron-šupljina u poluvodičkom materijalu kad na njega dolazi upadno zračenje.

Iz predavanja: Rad detektora temelji se na pn-spoju. Pn-spoj nastaje kada se poluvodiči n-tipa i p-tipa međusobno spoje. Spoj može nastati različitim tehnikama procesiranja poput difuzije dopanada p-tipa u poluvodič n-tipa. Nakon što se poluvodiči p-tipa i n-tipa spoje, uslijed razlike u koncentraciji elektrona i šupljina dolazi do difuzije elektrona iz poluvodiča n-tipa u poluvodič p-tipa i difuzije šupljina iz poluvodiča p-tipa u poluvodič n-tipa. Difuzija uzrokuje da elektroni iz poluvodiča n-tipa popune šupljine u poluvodiču p-tipa i obrnuto. Time nastaju ionizirane primjese pri čemu su primjese na n-strani pozitivno nabijene, a primjese na p-strani negativno. Uslijed naboja na različitim stranama pn-spoja javlja se gradijent električnog polja koji daljnjim povećanjem naboja uzrokuje prestanak difuzije. U stacionarnom stanju između poluvodiča p-tipa i poluvodiča n-tipa postoji osiromašeno područje gdje postoje samo nepokretne ionizirane primjese, bez slobodnih nosilaca. Električno polje u osiromašenom području usmjereno je od poluvodiča n-tipa prema poluvodiču p-tipa. Zbog postojanja električnog polja, na krajevima osiromašenog područja postoji razlika potencijala. Potencijal n-strane viši je od potencijala p-strane. Razlika potencijala naziva se kontaktni potencijal (Uk). Ukoliko na krajeve poluvodiča n-tipa i p-tipa dovedemo vanjski napon ovisno o razlici potencijala osiromašeno područje će se smanjiti ili povećati. Ako se poluvodič p tipa nalazi na višem potencijalu od poluvodiča n-tipa (propusno polarizirani pn-spoj), doći će do smanjivanja energetske barijere i sužavanja osiromašenog područja. Ako se na poluvodič ntipa dovede viši potencijal nego na poluvodič p-tipa (reverzno polarizirani pn-spoj), uzrokovati će se pomicanje šupljina dublje u p-područje odnosno elektrona dublje u npodručje. To dovodi do proširenja osiromašenog područja. A vrste poluvodičkih detektora su fotooptornici i fotodiode.

Fotootpornici: Kod fotootpora rad se temelji na promjeni vodljivosti poluvodiča uslijed prisustva elektromagnetskog zračenja. Energija zračenja uzrokovati će da elektroni iz valentnog područja prijeđu u vodljivo, te se tako ukupna vodljivost poluvodiča povećava. U poluvodič se mogu dodati i dopandi koji će unijeti energijske nivoe u zabranjeni pojas i tako smanjiti energiju zračenja koju je potrebno dovesti izvana da bi se vodljivost povećala. Na taj način fotootpori se mogu koristiti i za detekciju zračenja valnih duljina čija energija je manja od energije koja odgovara širini zabranjenog pojasa. Fotootpor se može koristiti kao sklopka upravljana vanjskim elektromagnetskim zračenjem.

Fotodiode: Najjednostavniju fotodiodu čini pn spoj poluvodiča čiji je Eg manji od energije fotona svjetlosti koju treba detektirati. Fotoni prolaze kroz osiromašeno područje u kojem se generiraju parovi elektron-šupljina. Pod utjecajem električnog polja par elektron-šupljina se razdvaja, elektroni se gibaju prema n području, šupljine prema p području. Stvara se struja kroz fotodiodu koja je proporcionalna bzini stvaranja parova elektron-šupljina tj. intenzitetu optičkog zračenja koje pada na fotodiodu. Fotodioda mora imati odgovarajuću strukturu koja će omogućiti da se parovi elektron  
šupljina generiraju isključivo u osiromašenom području jer se samo tu nosioci mogu razdvojiti. U suprotnom, doći će do rekombinacije nosilaca i neće se moći detektirati

## 5. Princip rada HeNe lasera.

Razvijen je zbog male energijske razlike u plinovima. Aktivni medij (u kojem se događaju laserski prijelazi između energijskih razina) je neon kojeg pobuđuje helij da bi se postigla inverzija naseljenosti srazom drugog reda (struja prolazi kroz helij i pobuđuje ga elektronima a pobuđeni atom helija se sudara s atomom neona). Koristi se obično samo 1 od mogućih 130 prijelaza, a najjači su na 632.8 nm (najčešće korišten koju daje spontana i stimulirana emisija između 3s i 2p razina u neonu), 1150nm i 3390nm.

## 6. Razlika između CO2 i HeNe lasera.

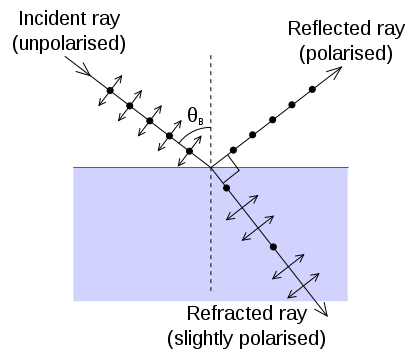
U helij neon laseru aktivni medij je neon, a helij služi kako bi se povećala učinkovitost pobuđivanja. U neonu dolazi do inverzne naseljenosti. Tipična snaga je nekoliko destetaka mW. Rade u kontinuiranom načinu, neznatno se zagrijavaju stoga se hlade strujanjem okolnog zraka.

Kod CO2 lasera aktivni medij su molekule CO2. U cijevi se nalazi mješavina raznih plinovima a sudarima sa njima se pobuđuju CO2 molekule. Može raditi u kontinuiranom i pulsnom načinu rada s tim da već u kontinuiranom načinu doseže snagu od oko 100 do 150 W. Jako se zagrijava pa se hladi uz pomoć vode.

->Osim različitog aktivnog medija, CO2 imaju veće snage i više se griju od HeNe.

## 7. Objasni razliku između N2 i CO2 lasera.

Laserska akcija na dušiku (N2) je ostvarena u impulsnom režimu i zbiva se među elektronskim razinama; ima više mogućnosti prijelaza no najkorišteniji su prijelazi u tripletnim stanjima u UV području (zbog čega je isključivo u impulsnom načinu rada). Za razliku od ostalih lasera gornji nivo je kratkoživeći, a donji dugoživeći. Za razliku od CO2 (koji može raditi i u kontinuiranom načinu), N2 laseri mogu raditi bez rezonatora (iako se dodatkom refleksivnih stražnjih i prednjih zrcala mogu popraviti izlazne snage).



## 8. Objasniti brewsterov zakon

Kada val pada na granicu dvaju sredstava djelomično se reflektira, a djelomično se lomi. Kada je kut između reflektirane i prelomljene zrake jednak 90° tada je reflektirana zraka linearno polarizirana. Za lom svjetlosti vrijedi Snellov zakon loma: . Gdje je upadni kuta , a kut loma te indeks loma sredstva. Za određeni kuta (Brewsterov kut) vrijedi: , odnosno .

## 9. Hologram, snimanje i rekonstrukcija holograma

Holografija je proces rekonstrukcije valne fronte elektromagnetskog vala raspršenog na nekom predmetu. Dok klasična fotografija zapisuje samo intenzitet, holografija zapisuje amplitudu i fazu svjetlosnog vala, te time predstavlja „potpun zapis“.

**Snimanje holograma**

Imamo predmetni val, koji je raspršen po predmetu i nosi podatke o površini predmeta, te referentni val koji je samo ravni elektromagnetski val. Izvodi se interferencija referentnog i predmetnog vala. Bilježi se mnoštvo prstenova koji se međusobno presjecaju. Promjene u kontrastu prstenova ovise o amplitudi, odnosno intenzitetu valova raspršenih na predmetu. Podaci o fazi raspršenih valova zabilježeni su u različitim udaljenostima između prstenova. Vrši se fotografski postupak razvijanja i fiksiranja.

**Rekonstrukcija holograma**

Rekonstrukcija holograma ostvaruje se obasjavanjem holograma referentnim valom. Hologram tada djeluje kao nepravilna optička rešetka. Kao difrakcijske slike prvog reda dobivaju se realna i virtualna trodimenzionalna slika predmeta.

**Svojstva holografske slike**

Trodimenzionalna slika ima svojstvo paralakse. Svaki dio holograma može rekonstruirati cijelu sliku predmeta uz smanjenu rezoluciju. Realna slika je pseudoskopska, tj. Udaljenije točke predmeta nam se čine bližima. Realnu ortoskopsku sliku je moguće dobiti tako da se snimaju uzastopno dva holograma.

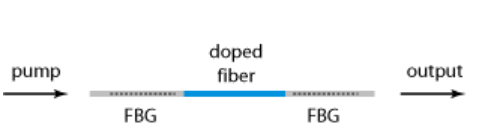
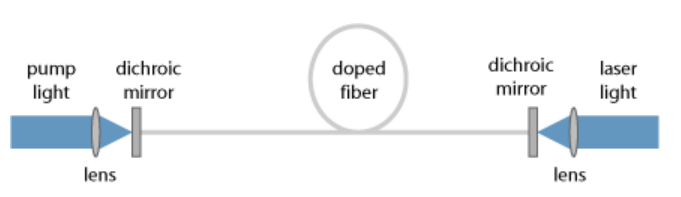
## 10. Definirat brzinu odziva i kvantna efikasnost fotodetektora

**Brzina odziva fotodetektora** određuje vremensku odnosno frekvencijsku karakteristiku detektora. Brzina odziva se određuje kao vrijeme potrebno da izlaz postigne 63 % maksimalne amplitude pri pravolutnoj impulsnoj optičkoj pobudi.

**Kvantna efikasnost** Fotoelektroni se pod utjecajem električnog polja ubrzavaju prema anodi. U strujnom krugu spojenom na fotoćeliju doći će do promjene struje. Struja je ovisna o broju fotoelektrona koji je proporcionalan broju upadnih fotona I izražava se kvantnom efikasnošću. Kvantna efikasnost ovisna je i o materijalu katode kao i o valnoj duljini upadnog zračenja, te se u ovisnosti o elektromagnetskom zračenju kojega želimo detektirati može odabrati materijal katode koji će dati najvišu kvantnu efikasnost, a samim time i višu osjetljivost.

## 11. Sve o optičkim laserima

To su laseri koji za medij pojačanja koriste optičko vlakno dopirano rijetkim zemljanim metalima (tj. njihovim ionima): erbij (Er3+), iterbij (Yb3+) i neodimij(Nd3+)... Njihov rad se temelji na principu totalne refleksije (kut upada veći o graničnog). Silicijsko staklo nije dobro jer ne drži dovoljno dugo elektrone u pobuđenom stanju. Kako bi formirali rezonator trebamo dodati zrcalo koje će uzrokovati refleksiju: dielektrično zrcalo na krajevima vlakna (slikica) ili Braggova rešetka koja propušta neke valne duljine (nalazi se u samom vlaknu).



Postoji izvedba lasera sa vlaknom koje ima jezgru te unutarnju i vanjsku ovojnicu. U tom slučaju se mogu opički pumpati u ovojnicu (inače se direktno pumpaju u jezgru). Obično su pumpani diodnim laserima, mogu raditi u Q prekidanju (puls ns) ili u načinu sprezanja modova (fs). Rabe se u telekomunikacijama, spektroskopiji i medicini. **Prednosti:** svjetlost integrirana u vlakno, veliko pojačanje i velika izlazna snaga, velika kvaliteta izlaznog signala, kompaktnost lasera i niti, pouzdanost. **Nedostatci:** kritično poravnavanje zraka ukoliko zraka treba biti emitirana iz zraka, nelinearna izobličenja signala, oštećenja vlakna (pri većim snagama), ograničeno pojačanje i apsorpcija po duljini 🡪 teško konstruirati kratke rezonatore.

## 12. Djelovi lasera

**Rezonator** (2 zrcala, jedno 100% reflektirajuće drugo 95% reflektirajuće)

**Aktivni laserski medij** (Npr CO2)

**Optička pumpa** (vanjska pobuda)

## 13. Objasnite princip rada poluvodičkih lasera

Kristal poluvodiča sastoji se od velikog broja periodično smještenih atoma. Energijske razine elektrona popunjavaju se prema Paulijevom principu. Najviša popunjena je valentna vrpca, sljedeća je vodljiva vrpca. U osnovnom stanju vrpca nije naseljena pa imamo izolator. Pobudom, elektroni dolaze u vodljivu vrpcu i slobodno se kreću, tada imamo vodić. Dopiranjem poluvodiča čisti poluvodički kristal stvara višak (n-tip) ili manjak (p-tip) elektrona u rešetci kristala. Dovodeći u kontakt p i n tip poluvodiča elektroni teku s n strane na p stranu. Ako se priključi napon na p-n spoj (potencijalna barijera se smanji) elektroni teku preko vrha barijere na p stranu, odakle prelaze na prazna stanja u valentnoj zoni uz emisiju fotona s energijom približno jednakoj Eg. Uz dovoljno visok napon na p-n spoju, može postojati područje gdje se dobiva inverzija nseljenosti. Stvara se lavina fotona. Fotoni nastali stimuliranom emisijom doživljavati će višestruke refleksije unutar rezonatora. Ako pojačanje emisije svjetlosti uspije kompenzirati gubitak fotona usljed apsorpcije i difuzije iz p-n spoja može se pojaviti laserska emisija. Laserski efekt se javlja u ravnini p-n spoja ako kroz njega teće struja elektrona dovoljne gustoće. Poluvodički diodni laser nema vanjskih zrcala; dovoljno je da se strane vodiča poliraju da se dobije laserski rezonator iz kojeg se dobije laserska emisija na obje strane. Obično se na jednu stranu potom nanosi 100% reflektivni sloj, tako da se laserska emisija dobiva samo s jedne strane rezonatora.

# Zadaci

## **1.**

Poluvodički GaAS laser emitira zračenje valne duljine λ=0.86um. Odredite širinu zabranjenog područja.

## 2.

Energija snopa elektrona u laseru sa slobodnim elektronima (FEL) je 40MeV. Izračunajte valnu duljinu zračenja ako je prostorni period magneta 3cm (energija mirovanja elektrona je 0.511 MeV).

🡪 prostorni period magneta (u metrima)

🡪 (energija snopa elektrona)/(energija mirovanja elektrona)

## 3.

Korisnost nekog lasera je 10e-4. Ako laserska cjev radi na naponu od 10kV i struji 10A izračunajte snagu lasera.

# Teorija za učenje

# Vrste lasera

Pobuda sudarima u plinskom izboju: Atomski, Ionski, Molekulski laseri

Pobuda kemijskom reakcijom: kemijski laseri

Pobuda optičkim pumpanjem: Laseri čvrstog stanja

Impulsni laseri - N2, excimer, Nd:YAG

Kontinuirani laseri – Ar+

Podjela prema načinu rada: Kontinuirani laseri, koji daju neprekinute laserske snopove, Pulsni laseri, koji daju isprekidane laserske snopove Razlika - snaga laserske zrake.Laser s kontinuiranim izlazom - Medij stavljamo između dva paralelno postavljena dva zrcala.Snop se reflektira puno puta što daje povećanje gustoće energije zračenja. Jedno od dva zrcala se obično napravi tako da nije 100% reflektirajuće već propušta određenu količinu svjetla (obično manje od 1%)koherentni fotoni mogu izaći iz laserske šupljine kroz zrcalo koje nije 100% reflektirajuće...

Kontinuirani laser 1:laserski medij; 2:energija za pobuđivanje medija; 3:100% reflektirajuće zrcalo; 4: 99% reflektirajuće zrcalo; 5: laserska zraka

**Načini sinkronizacije modova:**

1. Aktivna sinkronizacija – Koristi se vanjski signal iz aktivnog elementa → modulator–koji propušta snop u točno određenom trenutku ('zaključa' modove) , te sustav ne izbacuje signal do trenutka kada se modovi poslože na traženi način – Dva načina modulacije: amplitudna (AM) i fazna (FM)
2. Pasivna sinkronizacija – Koristi se sama laserska svjetlost, a promjenu signalapostižemo apsorberom– transmisija ovisi o intezitetu upadne svjetlosti, tj. ako jesvjetlost koja upadne na apsorber dovoljno jakog intezitetadoći će do transmisije, a svjetlost slabog inteziteta će apsorbirati.

## Plinski laseri:

### Atomski laseri

#### Helij-Neon (He-Ne) laser

Niska snaga, 4 laserske razine. Aktivni medij je Neon. Helij povećava učinkovitost pobuđivanja. Sastavni dijelovi su Pyrex cijev duljine 35cm i promjera 2mm s elektrodama sa strane, Brewsterovi prozori na kraju izbojne cijevi, te zrcala smeštena izvan cijevi okomito na os (jedno 99.9%, drugo 99.0% reflketivnosti). Elektrode su priključene na oko 4kV istosmjerno. Tipična snaga je nekoliko desetaka mW. Rade u kontinuiranom načinu i vrlo su stabilni. Jeftini su, malih dimenzija i neznatno se zagrijavaju.

### Molekulski laseri

#### CO2 laseri

CO2 laser je plinsko-molekularni laser, koji kao aktivni medij koristi molekule CO2. Za njegovu pobudu upotrebljava se električni izboj, optičko, kemijsko i toplinsko pumpanje. Laser se sastoji od staklene cijevi u kojoj se nalaze smjesa plinova: ugljikovog dioksida, dušika, helija i eventualno nekog drugog plina. Na krajevima cijevi se nalaze dva paralelna zrcala, koja su premazana slojem silikona, molibdena ili zlata, koja reflektiraju lasersku zraku natrag u cijev i tvore rezonator. Leće i prozori su napravljeni od germanija i cink-selenida ZnSe. U cijevi se nalaze i elektrode na koje je priključen visoki napon. Visoki napon proizvodi mnoštvo brzih elektrona u cijevi koji sudarima predaju svoju energiju molekulama plina.

CO2 je simetrična molekula s 3 načina vibracija: simetrično istezanje, asimetrično istezanje i mod savijanja. CO2 laser može raditi u kontinuiranom modu kao i u pulsnom modu koristeći Q-prekidanje. Kontinuirani laseri s CO2 uz stupanj djelovanja od 20% daju obično snage 100-150 W. U smjesi CO2, N2 i He, u cijevi duljine 2m, istosmjernim naponom od 10kV održava se struja izboja od 100mA. Cijev se hladi vodom. Pri izboju u plinu se stvaraju različiti kemijski spojevi koji ograničavaju laserski izlaz. Zato se plin u cijevi stalno zamjenjuje plinom iz spremišta. Time se štetni proizvodi uklanjaju, a u cijevi se radi s plinom stalnog sastava. Impulsni laseri s CO2 i Q-prekidanjem zbog dugog vremena života vibracijskih razina, o kojima ovisi laserska akcija u CO2, može se uskladištiti energija u izbojnoj sredini u trajanju od cca 1ms blokiranjem laserske zrake unutar rezonatora i tako spriječiti oscilacije.

Primjena CO2: Vojna industrija, Medicina, kirurgija, Obrada materijala

#### Dušikov laser

Laserska akcija na dušiku (N2) je ostvarena u impulsnom režimu i zbiva se među elektronskim razinama. Kod molekula dušika postoji nekoliko mogućnosti za ostvarenje laserske akcije.

Dušikov laser ima emisiju u UV području te može raditi samo u impulsnom režimu, s vrlo kratkim impulsima. Brzim pražnjenjem kondenzatora osiguravaju se elektroni srednje kinetičke energije od 16 eV, kojima se vrši pobuda s osnove u više elektronske razine. Laserski prijelaz je impulsni i ovisi o tlaku u cijevi i izbojnom krugu. Radi što bolje homogenosti pražnjenja i veće neosljetljivosti na tranzijetno polje, niži dio laserske cijevi je zaštićen bakrenim oklopom spojenim na nižu elektrodu lasera. Bakrene trake su međusobno izolirane slojem hostafan folije, izolacija ograničava radni napon na oko 30 kV

*Superradiant režim rada* – Do tog načina rada dolazi do pri prijelazima u tipletnim stanjima C 3Πu u B 3Πg, taj prijelaz je i najvažniji te ga koriste i najuspješniji N2 laseri.

Emisija iz ovog lasera ima manju koherenciju i nešto veću divergenciju snopa. Kod dušikovog lasera zahtjev za kraćim vremenom života nižeg laserskog nivoa u odnosu na dugoživeći gornji nivo (metastabilni) ne vrijedi!!. Stanje je obrnuto: gornji nivo je kratkoživući (~25 ns), a donji dugoživeći (~10 μs).

### Ionski laseri

#### Ar+ laseri

Najčešće rade u kontinuiranom režimu rada u vidljivom i UV dijelu spektra. Inverzija naseljenosti se postiže u 2 koraka. Neutralni atom se najprije ionizira u direktnom sudaru s elektronom. Tako dobiveni pozitivni ion se pobudi na različite energijske nivoe odgovarajućim sudarima s elektronima. Izbojna cijev Argon-ion lasera mora biti posebno konstruirana da izdrži visoku gustoću struje izboja potrebnog za pobuđivanje Argona. Rezonator je napravljen od dva zrcala, jednog visoke refleksivnosti, a drugog koje je polupropusno. Na oba kraja scijevi nalaze se Brewsterovi prozori i nastaje polarizirani snop. Koriste se u forenzičkoj medicini, kirurgiji, kod operacije očiju, za zabavu, te u holografiji.

### Kemijski laseri

Kemijski laseri su plinski jer su komponente koje reagiraju u plinskovitom stanju. Određene kemijske reakcije mogu proizvesti molekule u pobuđenom stanju. Kemijski laseri koriste takve reakcije kako bi se postigla inverzija naseljenosti. Primjer je fluorovodikov laser koji koristi reakciju vodika i fluora, za proizvodnju fluorovodika u pobuđenom stanju. Laserska zraka nastaje u reakcijskoj komori, u koju stalno dotiču reaktanti, a produkti izlaze van. Na taj način je postignuta inverzija naseljenosti, jer je u reakcijskoj komori stalno prisutno više pobuđenih molekula od onih u osnovnom stanju. Ovakvi laseri mogu postići jako veliku snagu u kontinuiranom način rada (MW).Poznati kemijski laseri korise smjesu:1. kisika i joda - chemical oxygen iodine laser (COIL),2. plin joda.3. vodika i fluora (reakcija pokrenuta električnim izbojem),4. deuterija i fluora

### Excimerski laseri

Excimerske (excimer = excited dimer) molekule postoje samo u pobuđenom stanju. Primjeri su dvoatomne molekule sastavljene od atoma zatvorenih ljuski (plemenuti plinovi i dr.). Laseri rade u kratkovalnom, *UV području*. Obično upravljani pulsom frekvencije od oko 100Hz. Širina impulsa reda je reda veličine 10ns. Potrebna im je velika pobudna snaga. Izvori za pobudu mogu biti visokonaponski jako-strujni elektronski snop ili brzi transverzalni izboj. Laserska akcija u excimerskoj molekuli događa se zbog toga što molekula ima vezano pobuđeno, ali nevezano temeljno stanje. Primjena ovih lasera je u pobudi lasera s bojom, mjerenju ozonske koncentracije u gornjoj atmosferi, ablaciji površina, nelinearnoj spektroskopiji, istraživanju plazme, za depoziciju, medicini, industriji.

## Laseri čvrstog stanja

Kristali, stakla, opcionalno primjese iona plemenitih ili prijelaznih metala (neodimij, krom, erbij, itd.).

Energijska pobuda svih lasera čvrstog stanja je svjetlosna. Izvori te svjetlosti su bljeskalice ili svjetiljke, te laserske diode. Prednost ovih lasera je relativno jeftin izvor, a nedostaci su iznimno mala iskoristivost, umjereni vijek trajanja, te jaki toplinski efekti tijekom rada.

Postoji dvadesetak vrsta lasera čvrstog stanja. Bitniji su rubinski laser (povijesni razlozi, no koristi se i danas), te laseri dopirani ionima neodimija s naglaskom na Nd-Yag laser koji je najzastupljeniji.

### Poluvodički laseri

Kristal poluvodiča sastoji se od velikog broja periodično smještenih atoma. Energijske razine elektrona popunjavaju se prema Paulijevom principu. Najviša popunjena = valentna vrpca. Sljedeća je vodljiva vrpca. U osnovnom stanju vrpca nije naseljena te imamo izolator. Pobudom (pr. toplinskom) elektroni dolaze u vodljivu vrpcu i slobodno se kredu , imamo vodič. Dopiranjem poluvodiča čisti poluvodički kristal stvara višak (n-tip) ili manjak (p-tip) elektrona u rešetci kristala. Dovodeći u kontakt p- i n-tip poluvodiča (nema napona na p-n spoju) elektroni teku sa n strane na p stranu. Ako se priključi napon na p-n spoj (potencijalna barijera se smanji), elektroni teku preko vrha barijere na p-stranu, odakle prelaze na prazna stanja u valentnoj zoni uz emisiju fotona s energijom približno jednakom Eg. Uz dovoljno visok napon na p-n spoju, može postojati područje gdje se dobiva inverzija naseljenosti. Stvara se lavina fotona. Fotoni nastali stimuliranom emisijom doživljavati de višestruke refleksije unutar rezonatora. Ako pojačanje emisije svjetlosti uspije kompenzirati gubitak fotona uslijed apsoprcije i difuzije iz pn-spoja može se pojaviti laserska emisija. Laserski efekt se javlja u ravnini pn-spoja ako kroz njega teče struja elektrona dovoljne gustoće.Poluvodički diodni laser nema vanjskih zrcala; dovoljno je da se strane vodiča poliraju, pa da se dobije laserski rezonator iz kojeg se dobije laserska emisija na obje strane. Obično se na jednu stranu potom nanosi 100% refleksivni sloj, tako da se laserska emisija dobiva samo s jedne strane rezonatora.

### Rubinski laser

Prvi laser ikad proizveden. Sastoji se od rubinske šipke (optičko pojačalo), bljeskalice (pobudni izvor, dobiva energiju izbijanjem kondenzatora). Rubin je spoj (safir) i iona kroma koji su safiru dodani kao primjesa (0.05%). Laser daje impulsni izlaz trajanja oko 1 mikro sekunde i energije po impulsu od 10mJ, te srednje snage po impulsu od 10kW.

Radi se o laseru s 4 nivoa. Emisija se događa pri prijelazu s nivoa E2 na E1.

### Optički fiber laseri

su laseri koji za medij pojačanja koriste dopirano optičko vlakno, ili (ponekad) laseri koji veći dio optičkog rezonatora imaju napravljenu od optičkog vlakna. Rad optičkih vlakana temelji se na principu totalne refleksije. Laserska emisija se događa u optičkom vlaknu. Silicijsko staklo nije prikladno za optički laser, zato što je potrebno elektron što duže zadržati u pobuđenom stanju, a kod silicija to nije moguće. Zbog toga se prijelazi odvijaju u primjesnim ionima. Kako bi se formirao rezonator u optičkom laseru, potrebno je dodati zrcalo koje će uzrokovati refleksiju. Refleksija se postiže: 1. Dielektričnim zrcalom koje se stavlja na kraj optičkog vlakna. Ovaj pristup nije praktičan za masovnu proizvodnju zbog toga što nisu trajni. 2. Braggova rešetka zamjenjuje zrcala na način da propušta određene valne duljine, a druge blokira. Braggova rešetka se nalazi direktno u dopiranom optičkom vlaknu 3. Fresnelovom refleksijom na stražnjem kraju optičkog vlakna 4. Rezonator s lećom i zrcalom – bolje je upravljanje snagom lasera. Prvi optički laseri imali su izlaznu snagu nekoliko milivata, danas postoje laseri velikih izlaznih snaga. Neki laseri daju izlaznu snagu od sto W do kW. Primjena optičkih lasera je najčešća u telekomunikacijama, spektroskopiji i medicini. Prednosti ovih lasera u odnosu na druge su: • svjetlost je u samom startu integrirana u optičko vlakno, • velika izlazna snaga te veliko pojačanje, • velika kvaliteta izlaznog signala, • kompaktnost samog lasera te optičke niti. • Pouzdanost samog lasera.Nedostatci: Kada svjetlost treba biti emitirana iz zraka u jezgru jednomodnog vlakna, poravnanje svjetlosne zrake je veoma kritično. Problem se eliminira uporabom optičkih dioda. Nelinearna izobličenja često ograničavaju performanse ovih lasera, u pogledu snage u jednomodnom načinu rada ili kvalitete pulsa u laseru koji radi u mode-locking načinu rada. Pri većim snagama, postoji mogućnost od oštećenja optičkog vlakna. Optički laseri imaju ograničeno pojačanje i apsorpciju svjetlosti po jedinici dužine, pa je teško konstruirati jako kratke rezonatore.

### FEL – Free Electron Laser

Laser sa slobodnim elektronima. Kao aktivno sredstvo slobodni elektroni koji se gibaju u posebno oblikovanom magnetskom polju. Zračenje je posljedica usporenja elektronskog snopa u magnetskom polju. Ostvaruje područje spektra šire od optičkog. Na izlazu daje točkastu pulsnu zraku jake snage.

3 glavna dijela; akceleratora elektrona, optičkog rezonatora, te deceleratora. Akcelerator ubrzava snop elektrona koji postižu relativističke brzine i takvi ulijeću u rezonator se sastoji od dva zrcala i *wigglera*(sustav supravodljivih magneta s alternirajućim magnetskim poljem). Elektroni se u polju gibaju pod utjecajem Lorentzove sile. Različite brzine zračenja i gibanje elektrona uzrokuju njihove razlike u fazi. Zbog toga FEL radi u pulsnom načinu rada. Valna duljina kojom če laser zračiti ugađa se promjenom brzine elektrona .

FEL se koristi u spektroskopiji, medicini, fizici, biologiji, no najčešće u znanstvenim istraživanjima. Prednosti FEL-a su mogućnost podešavanja valne duljine, visoka izlazna snaga (do 10kW), mogućnost proizvodnje pulseva veoma kratkog trajanja (ps). Kako su medij elektroni u vakuumu, nema trošenja medija ni zagrijavanja leda kao kod konvencionalnih lasera. Velik nedostatak su veličina i cijena lasera.

**Plinski laseri (**Temeljeni na atomima neutralnog plina, ioniziranom plinu, ili molekulama plina.)

### YAG LASER

YAG laser je najčešća vrsta lasera čvrstog stanja kod kojeg se neodimij dopira u itrij aluminij granat. Atomi neodimija su slične veličine kao i atomi itrija, pa ga mogu zamijeniti u strukturi. Nd:Yag je laser s 4 energijske razine. Ion ugrađen u kristalnu rešetku osjeća djelovanje jakih električnih sila od okolnih iona koji tvore kristalno polje. Ovo kristalno polje izaziva cijepanje energijskih 4f razina između koji su mogući laserski prijelazi. Sa visokopobuđenih energijskih nivoa E4 neodimijski ioni prelaze u nivo E3 neradijativnim putem. Stimulirana emisija se događa prijelazom iz gornjeg nivoa laserskog prijelaza E3 na donji nivo E2.

Prijelaz sa donjeg nivoa laserskog prijelaza E2 na osnovni nivo E1 je neradijativan Ima veliku uporabu u medici, ogralmologiji, estetskoj kirurgiji, stomatologiji, dinamici fluida.

#### Laseri dopirani ionima neodimija

Ioni neodimija zamjenjuju atome aktivnog medija u razinama do par postotaka mase medija. Aktivni mediji koji se koriste su staklo, kristal YAG(Itrij Aluminij Garnet), te kristal YLF(Itrij Litij Fluorid). Izbor ovisi o namjeni lasera. Staklo kao aktivni medij se koristi kada je potreban pulsni laser s impulsom velike snage te niskom frekvencijom. Proizvodi se u obliku diska ili šipke u promjeru do 0.5m i dužine do nekoliko metara jer se radi o jeftinom materijalu. Sadrži visoki postotak neodimijskih iona (do 6%). Problem slabe toplinske vodljivosti.

YAG kristal se kao aktivni medij koristi za visoke frekvencije pulsiranja (više od jednog pulsa po sekundi) i za neprekidan način rada. Ima mnogo vedu toplinsku vodljivost od stakla, te se izrađuje u promjerima 2-15mm i dužinama 2-30cm. Postotak iona neodimija je 1-4% mase kristala. Vrlo skup. Koristi se u oftamologiji, estetskoj kirurgiji, stomatologiji, proizvodnji (graviranje, rezanje, zavarivanje, obilježavanje), te u dinamici fluida za vizualizaciju protoka. Radi se o laseru s 4 energetska nivoa. Stimulirana emisija se događa na prijelazi iz gornjeg nivoa E3 na donji nivo E2.

### Laseri u X području

Laseri u X području emitiraju svjetlost valne duljine reda 2-30 nm= meko zračenje. Tvrdo zračenje je ispod 0.2nm. Mala valna duljina ukazuje da laserska zraka mora nastati u jako ioniziranoj materiji. Ionizacijom materije je postignuta najmanja valna duljina do danas. X-ray laseri se dobivaju primjerice pobudom elektronskim sudarima, rekombinacijom, ionizacijom optičkim poljem, optičkim pumpanjem, pobudom u unutarnjim ljuskama, te FEL-om (XFEL). Pobuda elektronskim sudarima je do danas najbolje istraženi princip koji je proizveo najnižu valnu duljinu.Izvor pobudnog lasera je oscilator koji odašilje po dvije zrake infra crvenog svjetla. Prvi puls duljine ns i energije oko 5J pogađa metu i stvara ioniziranu plazmu. Drugi puls duljine ps i energije oko 5J stvara pobudu s elektronima i emisiju X lasera. Laser razvija snagu od 4-10mJ po pulsu. Ova snaga odgovara maksimalnoj snazi od 10-100MW pri trajanju pulsa od 100ps.

Rekombinacija je metoda kojom se dopušta naglo hlađenje visoko ionizirane plazme. Prilikom naglog hlađenja elektroni se premještaju u gornje energijske nivoe i dolazi do inverzije naseljenosti, te emitiranja fotona X lasera. Stabilna plazma se postiže zračenjem tankog filma ugljikovih vlakana. Zračenje se vrši ultra kratkim pulsom snažnog laserskog svjetla.

Ionizacija optičkim poljem je metoda u kojoj se zraka visoko energetskog lasera propušta kroz plin. Atomi plina su pritom „optički ionizirani“, te kao ioni imaju dovoljnu energiju za stvaranje X lasera putem pobude elektronskim sudarima.

Metoda optičkog pumpanja je princip kod kojega se jedna plazma optički pumpa linijskim zračenjem druge plazme. Prilikom pumpanja dolazi do inverzije naseljenosti i emitiranja X lasera. Ovo je prva metoda koja se razmatrala za stvaranje prvog X lasera. X laseri se koriste za snimanje kemijskih reakcija, dešifriranje strukture biomolekula, razumijevanje trenja, tehnološka ispitivanja, proučavanje plazme, itd.

## Laseri tekućeg stanja

### Laseri s bojom

Najšire upotrebljavana vrsta lasera s ugodljivim valnim duljinama. Koriste se organske boje. Aktivna sredstva su organske molekule boja, otopljene u kapljevinama. Kada su pobuđeni svjetlom ili UV zračenjem, imaju jaki fluorescentni spektar. Izlaz lasera s bojom je uvijek koherentno zračenje prilagodljivo određenom spektralnom području. Laseri s bojom imaju 3 osnovna načina rada; impulsni, mode-lockin, te kontinuirani val. Glavna i najbolja osobina je mogućnost finog podešavanja. Mogu biti pobuđeni bljeskalicama, impulsnim laserima ili u slučaju lasera s bojom kontinuiranog vala, najčešće argon ionski laser.

# Holografija

Holografija je proces rekonstrukcije valne fronte elektromagnetskog vala raspršenog na nekom predmetu. Za razliku od klasična fotografija koja zapisuje samo intenzitet, holografija zapisuje amplitudu i fazu svjetlosnog vala, te time predstavlja „potpun zapis“.

## Snimanje holograma

Imamo predmetni val, koji je raspršen po predmetu i nosi podatke o površini predmeta, te referentni val koji je samo ravni elektromagnetski val. Hologram predstavlja zapis interferencije referentnog i predmetnog vala. Bilježi se mnoštvo prstenova koji se međusobno presjecaju. Promjene u kontrastu prstenova ovise o amplitudi, odnosno intenzitetu valova raspršenih na predmetu. Podaci o fazi raspršenih valova zabilježeni su u različitim udaljenostima između prstenova. Vrši se fotografski postupak razvijanja i fiksiranja.

## Rekonstrukcija holograma

Rekonstrukcija holograma ostvaruje se obasjavanjem holograma referentnim valom. Hologram tada djeluje kao nepravilna optička rešetka. Kao difrakcijske slike prvog reda dobivaju se realna i virtualna trodimenzionalna slika predmeta.

## Svojstva holografske slike

Trodimenzionalna slika ima svojstvo paralakse. Svaki dio holograma može rekonstruirati cijelu sliku predmeta uz smanjenu rezoluciju. Realna slika je pseudoskopska, tj. Udaljenije točke predmeta nam se čine bližima. Realnu ortoskopsku sliku je moguće dobiti tako da se snimaju uzastopno dva holograma.

## Vrste holograma

Ovisno o kolinearnosti predmetnog i referentnog snopa

-Gaborov (on axis) , - Leith-Upatnieksov (off axis)

Ovisno o orijentaciji predmetnog i referentnog snopa:- Transmisijski (kut među snopovima manji od 90 ,- Refleksijski (kut od 180)

Ovisno o udaljenosti predmeta i holograma za vrijeme snimanja

-Frenselovi (udaljenost mala – 10x veda od dimenzija predmeta), Fraunhofferovi (udaljenost jako velika) , -Fourierovi (na fotografsku ploču dolazi Fourierova transformacija predmetnog vala i referentni val)

Ovisno o odnosu debljine fotografske emulzije u odnosu na razmak pruga interferencije na hologramu Q=2pi\*lambda\*d/nD: -Plošni za Q<10, -Volumni za Q>=10

Ovisno o načinu difrakcije svjetlosti na hologramu

-Apmplitudni – ako su interferencijske pruge na hologramu definirane promjenama zacrnjenja emulzije. Ovi hologrami mijenjaju amplitudu EM vala tijekom rekonstrukcije ; -Fazni – ako su interferencijske pruge definirane promjenama faze. Mijenjaju fazu EM vala tijekom rekonstrukcije.

**Materijali:** Fotografske emulzije🡪 to su fotografske ploče i filmovi visoke rezolucije i osjetljivosti u širokom spektralnom području. Na staklenu ploču nanesena je emulzija koja sadrzi rasprsena zrnca srebro halogenida. Postupak razvijanja je isti kao i kod klasičnih fotografija,

Fototermoplastični materijali🡪 ploča građena od stakla presvučenog tankim prozirnim slojem indijevog oksida i sloja termoplastike. Primjenom električnog polja na sloju termoplastike inducira se pozitini naboj dok se na sloju foto vodiča javlja negativni naboj. Nakon osvjetljavanja na termoplastičnom sloju nastaje prostorno promjenjivo električno polje koje ovisi o interferneciji valova. Termoplastika kad se grije stvara električno polje koje deformira površinu.

Fotorefrakcijski materijali🡪 kada taj kristal osvjetle predmetni i referentni val a u osvjetljenom području nastaju elektroni koji putuju u neosvijetljene dijelove kristala i tamo ostaju uhvaćeni. Zbog toga se u kristalu javlja promjenjivo električno polje čije modulacije slijde intereferencije valova. Nedostatak ovih materijala je moguci gubitak holografskog zapisa nakon ponovnog osvjetljavanja. Koriste se litijev niobat i litijev tantalat.

**Primjene (holografska interferometrija)🡪**koristi se kod ispitivanja deformacija površine nekog predmeta. Temelji se na činjenici da hologram sadrzi podatke o povrsini predmeta u nekom času. Ako je doslo do promjene u povrčini novi predmetni val zaboljezi se na drugom hologramu zatim aba hologram obasjamo referentnim snopom. Pomocu nepravilnosti koje nastaju u slici interferencijskih pruga mogu se analizirati promjene koje su se dogodile na predmetu. Drugi način(dvostruka ekspozcija ) početno stanje predmeta snimi se na jedan hologram. Tada se istovremeno obasja referntnim i predmetnim snopom. Ako dolazi do promjene pojavit će se i promjene na interferencijskoj slici.

**Holografske memorije** Zapisivanje u sve 3 dimenzije – visok kapacitet (1 TB na medij veličine kocke šećera).

**Razlike laserskih i svjetlosnih dioda** LED radi tako da kad ju se stavi na neki napon dolazi do rekombinacije elektrona i šupljna u barijeri i stvori se foton tj. svijetlost... laserska dioda nije ništa drugo nego obična dioda koja ima rezonator, tj ima zrcala na rubovima, e sad ovisi na kojim rubovima ima zrcala radi se o "edge emiter" - emisija sa strane (emisija u ravnini barijere P-N spoja) i VCSEL (vertical cavity surface emmiting laser) - emisija okomito na ravninu barijere.

Matematički opis snimanja:

– predmetni val

– referentni val

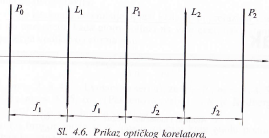
Ukupna amplituda:

Raspodjela intenziteta:

Matematički opis rekonstrukcije:

– prva dva člana – ogibni valovi nultog reda, treći član realna slika predmeta, četvrti član virtualna slika predmeta

Optička obrada signala

Optički sustavi imaju svojstvo da načine određene linearne transformacije ulaznihdvodimenzionalnih signala što se naziva optička obrada podataka ili signala. U optičkim sustavima signal je dvodimenzionalan. Kod koherentnih optičkih sustava signal je dvodimenzionalna raspodjela amplitude i faze elektromagnetskog vala u ravnini okomitojna smjer širenja vala (ravnina signala). Kod nekoherentnih optičkih sustava signal je predstavljen dvodimenzionalnom raspodjelom intenziteta svjetlosti. Osnova tehnike optičkog prostornog filtriranja je.u svojstvu tleće da daje Fourierovu transformaciju predmetnog vala. Vander Lugtov filtar je hologram Fourierove transformacije signala. Rad sustava optičkog korelatora odvija se u dva koraka .Prvi je snimanje Vander Lugtovog filtra. Nakon razvijanja takav flltar se vrača u ravninu P1 gdje je bio za vrijeme snimanja. Ako sada na filtar dolazi Fourierova transforormacija nekog drugog predmetnog vala iz ravnine P0, u žarišnoj ravnini P2 druge leće L2 nakon još jedne Fourierove transformacije možemo mjeriti signal koji daje korelaciju između dvaju predmetnih valova iz ravnine P0.

Slika 1 L1 i L2 su leće žarišnih duljina f1 i f2

Funkcija korelacije daje mjeru sličnosti dvaju predmetnih signala iz ravnine P0, Korekcijski signal ce biti najveći ako se predmet nije promjenio-autokorekcija.

# DETEKTORI

## 1.Kemijski detektori

pod utjecajem svjetlosti mijenjaju optička svojstva pomoću kemijske reakcije. Fotografski sloj (emulziju) čine soli srebro halogenida sadržane u sloju želatinozne podloge.Upadno zračenje ili čestice koje padaju na podlogu uzrokuju ionizaciju, te se javljaju slobodni nosioci. Ioni srebra koji su pokretni sudaraju se sa elektronima te nastaje elementarno srebro koje je nestabilno.Oko tih atoma se stvaraju i nakupljaju drugi nastali atomi te to postaje latentni centar za nastajanje slike.Razvijanjem se dobiva vidljiva slika.Na mjestima podođenim zračenjem reducira se srebro u elemetrano dok na ostalim mjestima nema nikakve promjene ukoliko vrijeme razvijanja nije predugo.Nakon razvijanja slijedi proces fiksiranja kojim se uklanja ostatak srebro halogenida koji bi uzrokovao degradaciju slike.

## 2.Termički detektori

Apsorbiraju elektromagnetsko zračenje pri čemu im se povećava temperatura i na taj način proizvode signal. Neki od detektora toplinskog zračenja su: bolometri, termoelementi i termostupovi, piroelektrički detektori.

**Bolometar-**temelji se na promjeni otpora uslijed toplinskog zračenja.Metalni bolometri imaju pozitivan temperaturni koeficijent-smanjuje se otpor. Poluvodički bolometri ili termistori mogu imati negative temp. koeficijent. Supravodljivi bolometri imaju prednost jer imaju vrlo veliki temperaturni koeficijent.

**Termopar**ovi su detektori koji se dobiju spajanjem dvaju različitih vodiča. Vodiči imaju različite temperature te ta razlika uzrokuje pojavu električnog polja te kroz njih teče struja. Na krajevima vodiča je napon koji predstavlja funkciju razlike temperature. U=alfa(T1-T2)( α- Seebeckov koeficijent). Ako se termoelementi povežu na odgovarajući način dobije se termički stup. Osjetljivost i napon su veći za veći broj povezanih termoparova.

**Piroelektrički detektori-**generira se električki naboj pod utjecajem toplinskog zračenja. Uslijed promjene temperature dolazi do promjene polarizacije piroelektričkog materijala(dipolni karakter-stalna električka polarizacija) i na njegovoj površini se javlja električki naboj.

mjerenje temperatura može vršiti na dva načina: preko promjene naboja ili piezoelektričkog efekta gdje se naboj stvara uslijed mehaničkih naprezanja do kojih dolazi zbog protoka topline kroz materijal.

## 3. Fotoelektrički detektori

Elektromagnetsko zračenje(foton) koje upada na neki materijal za uzrokovanje fotoelektričkog efekta mora imati energiju dovoljnu dase nadvlada izlazni rad elektrona(povećanje broja fotona neuzrokuje fotoel. efekt). **Fotoćelije** su detektori s vanjski fotoefektom. Sastoje se od katode i anode koje se nalaze unutar cijevi pod vakuumom.Fotoni udaraju u katodu te se oslobadaju elektroni energije Ek=hv-Wa(Wa je izlazni rad elektrona) koji se gibaju s ubrzanjem prema anodi.Tako se mijenja i iznos struje koja je ovisna o broju fotoelektrona koji je proporcionalan broju upadnih fotona i izražava se kvantnom efikasnošću η. Kvantna efikasnost ovisna je i o materijalu katode i valnoj duljini upadnog zračenja(odabire se materijal katode koji će dati najvišu kvantnu efikasnost, a samim time i višu osjetljivost-ovisnost fotostruje o upadnom toku zračenja). Brzina odziva detektora određena je vremenom preleta elektrona između katode i anode(kontrola geometrijom fotoćelije).

**Fotomultiplikatori** –detekcija elektromagnetskog zračenja s vrlo malo upadnih fotona.Između katoda i anoda imamo dinode(izvor sekundarnih elektrona).Prva katoda detektira zračenje te zbog fotoefekta nastaju elektroni koji se gibaju prema sljedecoj elektrodi-dinodi.Elektroni udaraju u dinodu te se time stvara veći broj elektrona nego li sto je dosao do nje, te tako postupak ide dalje do drugih dinoda dok se nestigne do anode.Ukupan broj elektrona koji se dobije ovisi o broju dinoda. Sto veci broj elektrona-> veca struja.Dinode takodes usmjeravaju elektrone k sljedecoj elektrodi.

## 4. Poluvodički detektori

Djelovanjemelektromagnetskog zračenja nastaju parovi elektron-šupljina koji se razdvajaju električnim poljem. Mogu biti malih dimenzija što omogućava i realizaciju velikog broja detektora na istoj površini koji čine piksele. Rad detektora temelji se na pn-spoju(spajanje poluvodiča p-tipa i n-tipa).Spajanjem tih poluvodiča dolazi do difuzije elektrona iz n- tipa u p- tip i šupljina iz p- tipa u n- tip.Dobijemo ionizirane primjese gdje je p strana negativna a n pozitivna.Izmedu p i n poluvodiča se nalazi osiromaseno podrucje na cijim krajevima imamo razliku potencijala-kontaktni potencijal. Ako p-tip ima visi potencijal(propusno polarizirani pn-spoj) sužava se osiromašeno područje, a ako n-tip ima visi potencijal tada se siri. Ako je energija upadnog elektromagnetskog zračenja manja od širine zabranjenog pojasa - nece nastati par elektron-supljina. Ako je bliska tada je energija za nastanak para ele-suplj. Malo veca od sirine pojasa, a ako je energija puno veca od sirine pojasa dio se trosi na pobudivanje vibracija kristalne resetke. Silicij kao jedan od najčešće upotrebljavanijih poluvodičkiih materijala ima širinu zabranjenog pojasa od 1.12 eV.

**Fotootpornici** -rad se temelji na promjeni vodljivosti poluvodiča.Elektroni iz valentnog područja prijeđu u vodljivo, te se tako ukupna vodljivost poluvodiča povećava. U poluvodičse mogu dodati i dopandi koji ce smanjiti energiju zračenja koju je potrebno dovesti izvana da bi se vodljivost povećala. Tako se fotootpori mogu koristiti i za detekciju zračenja valnih duljina čija energija je manja od energije koja odgovara širini zabranjenog pojasa.

**Fotodiode** čini pn spoj poluvodiča čiji je Eg manji od energije fotona svjetlosti koju treba detektirati. Fotoni prolaze kroz osiromašeno područje u kojem se generiraju parovi elektron-šupljina. Elektroni se gibaju prema n području, šupljine prema p području. Stvara se struja kroz fotodiodu koja je proporcionalna bzini stvaranja parova elektron-šupljina.

**Karakteristike fotodetektora:**

* **Osjetljivost** - sposobnost da se u detektoru proizvede mjerljiv signal za dano upadno zračenje i danu energiju.
* **Odziv -** odnos između energije upadnog zračenja i količine naboja ili visine pulsa.
* **Vrijeme odziva** - vrijeme koje je proteklo od dolaska zračenja do formiranja izlaznog signala, vrijeme koje je potrebno detektoru da generira signal.
* **Brzina odziva-** vrijeme potrebno da izlaz postigne 63% maksimalne amplitude pri pravokutnoj impulsnoj optičkoj pobudi.
* **Kvantna učinkovitost-** broj stvorenih elekrona po jednom upadnom fotonu.

# SIGURNOST

Rizici: Laserska zraka: ozljede oka, opekline, rak kože (UV), opasnost od zapaljenja;aktivni medij: toksične kemikalije ili plinovi; izvor pobude: visoki napon, vodeno hlađenje. Oko se moze ozlijediti direktnim reflektiranim ili raspršenim zrakama lasera.

Klase prema snazi:

* I klasa- mala snaga ili zraka zatvorena u kucistu, relativno sigurno(CD,printeri);
* II klasa- snaga 1mW,oko brzo reagira na podrazaj(pokazivaci);
* IIIa klasa- 1-5mW, reakcija oka nije dovoljna za zastitu(pokazivaci);
* IIIb klasa- 5-500mW izravno izlaganje stetno() Ar laser, CF mikroskop);
* IV klasa- preko 500mW, izlaganje bilo kojoj zraci stetno, opasnost od zapaljenja(las. odstranjivanje tkiva).

Zaštitne naočale kod klase 3B i 4 za sve prisutne u radnom okruženju. Zrake svjetlosti snage iznad 200 mW potrebno je provoditi kroz zaštićene cijevi. Najveći rizik je prilikom namještanja optičkih elemenata.