

3. ŠVIESOS ŠALTINIAI

Šviesos šaltiniai gali būti lempos, lazeriai ir šviesos diodai. Jų pasirinkimą konkrečioms tikslams lemia įvairūs veiksniai, susiję su spinduliuojamo srauto charakteristikomis.

3.1. Šviesos srauto charakteristikos

Vieni svarbiausių šviesos parametrų yra elektromagnetinių virpesių *bangos ilgis* λ (nm, μm , m), *dažnis* ν (s^{-1}), kuris yra lygus šviesos greičio ir bangos ilgio santykiui ($\nu=c/\lambda$), ir jau minėta *fotono energija* E (J). Šių dydžių ryšys išreiškiamas (1.2) formule:

$$E = h\nu = h c/\lambda.$$

Šviesos srautas (W) yra energijos kiekis, kertantis ploto S paviršių per laiko vienetą:

$$\Phi = dE/dt. \quad (3.1)$$

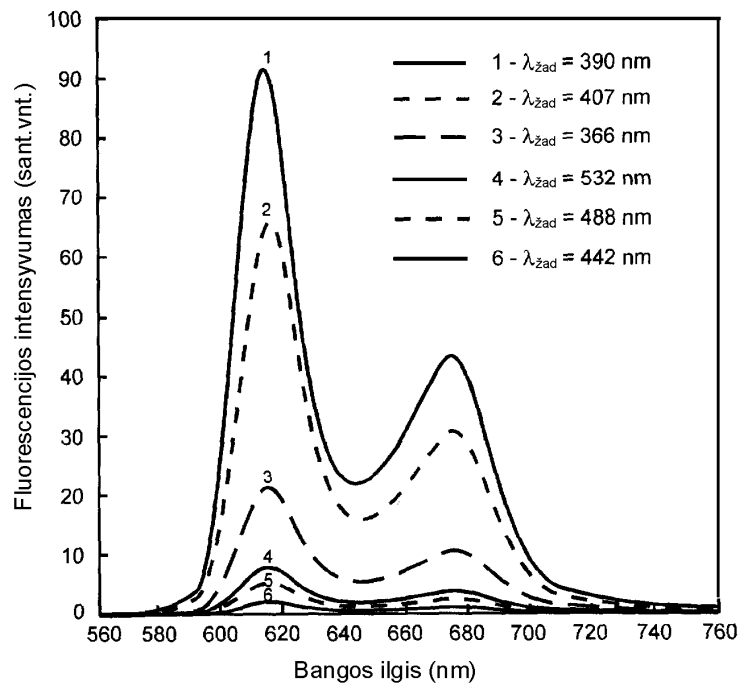
Šviesos intensyvumas (W/m^2) išreiškiamas kaip šviesos srauto tankis, t. y. šviesos srautas, kertantis šviesos sklidimo kryptį statmeno ploto vienetą:

$$I = \Phi/S. \quad (3.2)$$

Šviesos dozė (J/m^2) yra lygi šviesos intensyvumo ir švitinimo trukmės sandaugai:

$$D = I t. \quad (3.3)$$

Šviesos šaltinio pasirinkimą medicininės diagnostikos tikslams pirmiausia lemia reikiamas bangos ilgis. Pagal tai, ar bus matuojama biologinį objektą sudarančių molekulių fluorescencija (savitoji fluorescencija), ar į biologinį objektą tikslingai įterptų molekulių fluorescencija (sensibilizuota fluorescencija), parenkamas toks žadinimo šviesos šaltinis, kurio spinduliuojama šviesa būtų tinkamiausia konkrečiai molekulei žadinti. Kai matuojama biologinių audinių savitoji fluorescencija, reikalingi šaltiniai, kurie spinduliuoja 320÷410 nm srityje. Tetrapirolinės kilmės sensibilizatorių fluorescencijai žadinti paprastai naudojama 360÷450 nm diapazono šviesa, kuri sutampa su sensibilizatorių sugerties trumpabangėje srityje juosta. Kaip svarbu tinkamai parinkti žadinimo bangos ilgį, nes nuo jo priklauso fluorescencijos intensyvumas, gerai iliustruoja 3.1 paveikslas (Kwasny ir kt., 1995). Jeigu fluorescuojančios molekulės silpnai sugeria žadinančios šviesos kvantus, jų fluorescencija yra maža intensyvumo (3.1 pav. 6 kreivė). Tokie spektrai suteikia mažai informacijos apie molekulių savybes.



3.1 pav. Žadinimo bangos ilgio įtaka protoporfirino-alanino darinio fluorescencijos spektrams

3.2. Lempos

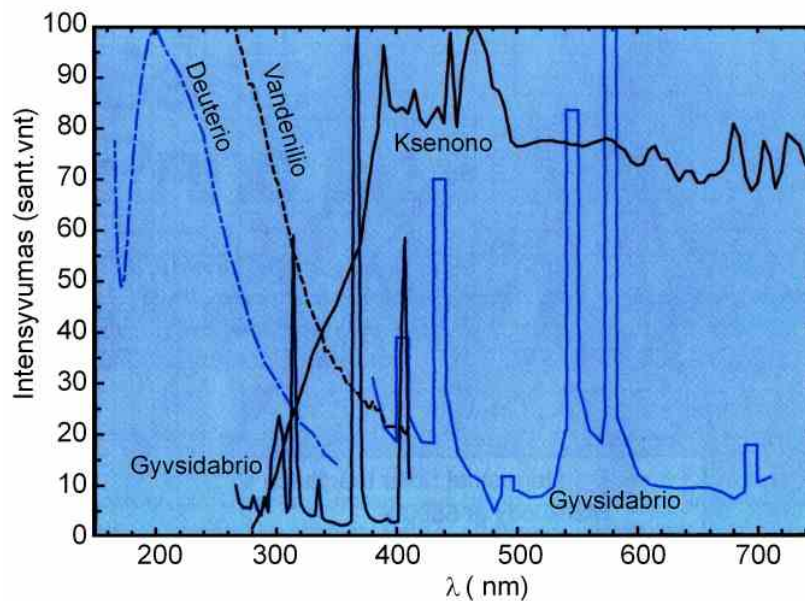
Medicinoje, kaip ir buityje, plačiai taikomos kaitrinės lempos, kuriose šviesą spinduliuoja metalo vielėlė, įkaitusi iki aukštos temperatūros dėl tekančios per ją elektros srovės. Tokios vielėlės spinduliuojamo šviesos srauto spektras panašus į Saulės spektrą. Kitos rūšies yra išlydžio lempos, dažnai vadinamos dienos šviesos lempomis. Dažniausiai fotomedicinos tikslams naudojamos lempos, kurios spinduliuoja šviesą jonizavus įvairias dujas (ksenono, gyvsidabrio, vandenilio ir kt.) tarp dviejų elektrodų, prie kurių prijungta aukšta įtampa. Siekiant gauti intensyvią šviesą tarp elektrodų sukuriamas išlydžio lankas, kurio spinduliuojamos šviesos spektras taip pat priklauso nuo dujų, kurių pripildyta lempa.

Ksenono lempos spektras platus ir apima artimą UV sritį (3.2 pav.); norimą bangos ilgį reikia išskirti optiniu filtru ar monochromatoriumi. Gyvsidabrio lempos spektrą sudaro siauros juostos ties būdingais bangų ilgiais. Viena iš juostų (ties 405 nm) gerai sutampa su porfirinų trumpabangė (Soret) juosta, tad yra labai tinkama porfirininės prigimties sensibilizatorių fluorescencijai žadinti. Kita juosta, esanti ties 365 nm, tinka savitajai fluorescencijai ir ypač NADH, svarbų vaidmenį biologiniuose audiniuose vaidinančios molekulės, fluorescencijai žadinti.

3.3. Lazeriai

Lazeris – žmogaus sukurtas intensyviausios šviesos šaltinis, kuriuo galima sukelti norimos krypties, apimties ir pobūdžio poveikį – nuo selektyvios molekulių sugerties iki metalų pjaustymo. Žodis “lazeris” yra angliškos frazės “Light amplification by stimulated emission of radiation” santrumpa, ji ir apibūdina lazerių veikimo principą – šviesos stiprinimas priverstiniu spinduliavimu. Taigi lazeris – tai koherentinių optinio dažnio elektromagnetinių bangų generatorius, veikiantis priverstinio spinduliavimo principu.

Šiandienėje medicinoje lazeriai taikomi labai plačiai. Dėl ypatingų savo spinduliuotės savybių jie pranašesni negu lempos. Galimybė sutelkti šviesos energiją į



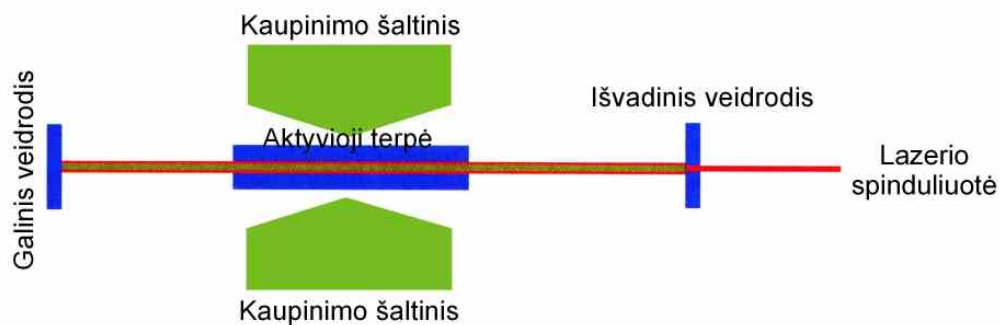
3.2 pav. Lempų spektrai

labai mažo erdvinio kampo ir siauro spektrinio ruožo pluoštelį, suteikia tokias savybes kaip didelis spinduliuotės skaistis, kryptingumas, koherentiškumas ir monochromantiškumas, kurios išskiria lazerius iš kitų šviesos šaltinių. Lazero pluoštelio monochromantiškumas leidžia parinkti tinkamiausią fluorescencijai žadinti bangos ilgį, o šviesos koherentiškumas – pluoštelį suvesti į šviesolaidžius ir taip jį koncentruoti įvairiose kūno vietose.

Lazerių veikimo principas. Lazero veikimas dažniausiai pagrįstas elektromagnetinės spinduliuotės sąveika su medžiaga, vadinama aktyviaja terpe. Ji gali būti kietas kūnas, skystis arba dujos. Dėl sąveikos vyksta reiškiniai, kurie stiprina ir generuoja šviesą. Tai pasiekama aktyviąją terpę veikiant išoriniu kaupinimo šaltiniu, kuris jos molekulių elektronus perkelia iš žemesnio energinio lygmens į aukštesnįjį ir sukuria užpildos apgrąžą.

Lazerius sudaro trys pagrindiniai komponentai (3.3 pav.):

- aktyvioji terpė – kristalas (pvz., rubinas, YAG), puslaidininkis (pvz., galio arsenidas), dažiklis arba dujos (pvz., CO₂, argonas, kriptonas);
- rezonatorius su veidrodžiais, kurių vienas visiškai atspindi šviesą, kitas yra pusiau pralaidus;
- kaupinimo šaltinis.



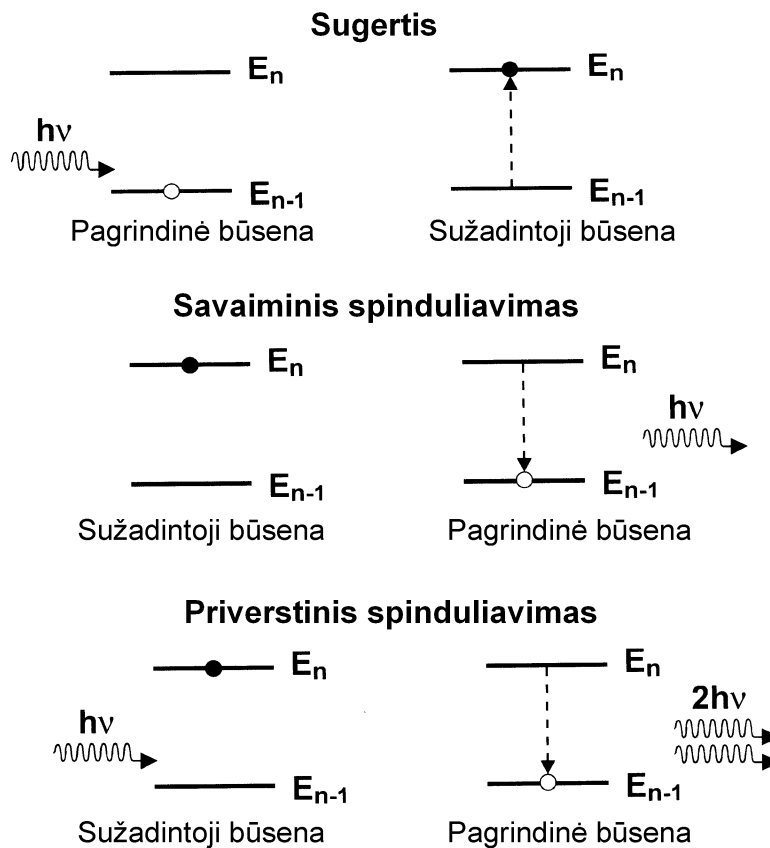
3.3 pav. Supaprastinta lazero konstrukcijos schema

Svarbiausia lazerio dalis – aktyvioji terpė – sudaryta iš atomų ar molekulių, kurios sužadintos gali išspinduliuoti šviesos kvantą. Kai aktyviosios terpės atomai ar molekulės sužadinami šviesa, jų žemiausio nesužadinto lygmens (E_{n-1}) elektronai peršoka į aukštesnės energijos lygmenis (E_n) (3.4 pav).

Spinduliuotės sąveiką su medžiaga nusako Bugerio dėsnis:

$$\mathcal{E}(v) = \mathcal{E}_0(n) e^{(\chi l(v))}, \quad (3.4)$$

čia: \mathcal{E}_0 – į medžiagos paviršių krintančios spinduliuotės galios paviršinis spektrinis tankis;



3.4 pav. Savaiminis ir priverstinis spinduliavimas

$\mathcal{E}(v)$ – vienetinio storio sluoksnį praėjusios spinduliuotės tankis;

$\chi v = B_{ik}(N_i - N_k) h\nu / c$ – Bugerio koeficientas; čia: B_{ik} – spektrinis Einšteino koeficientas;

N_i – sužadintosios būsenos (E_n) atomų ar molekulių skaičius; N_k – pagrindinės būsenos (E_{n-1}) atomų ar molekulių skaičius.

Bendru atveju šuolis M_{ki} iš žemesniojo (E_{n-1}) energinio lygmens į aukštesnįjį (E_n), (energijos sugerties vyksmas) aprašomas formule

$$M_{ki}^{(s)} = B_{ki} \omega N_k \quad (3.5)$$

ir yra proporcingas nesužadinto lygmens užpildai N_k ir sugerties tikimybei $B_{ki} \omega$; čia: ω – sugeriamos spinduliuotės tūrinis spektrinis tankis; B_{ki} – Einšteino koeficientas, apibūdinantis šuolį iš lygmens E_{n-1} į E_n ; N_k – dalelių, kurių energija E_k , skaičius tūrio vienetė. Savaiminis spinduliavimas, kylantis dėl savaiminio ir atsitiktinio molekulės ar atomo grįžimo iš sužadintosios būsenos E_n į pagrindinę būseną, aprašomas:

$$M_{ik}^{(sp)} = A_{ik} N_i; \quad (3.6)$$

čia: N_i – sužadintosios būsenos i molekulių ar atomų skaičius (tūrio vienetė), A_{ik} – savaiminio šuolio tikimybė.

Grįždami į pagrindinę atomo ar molekulės būseną, sužadinti elektronai išspinduliuoja fotonus, kurie aktyviojoje terpėje gali sąveikauti su kitais sužadintais atomais ar molekulėmis ir sukelti jų šuolius į pagrindinį lygmenį taip inicijuodami priverstinį spinduliavimą (3.4 pav.). Priverstinio spinduliavimo intensyvumas proporcingas sužadintosios būsenos molekulių ar atomų skaičiui N_i ir išorinio spinduliavimo tankiui ω :

$$M_{ik}^{(ind)} = B_{ik} \omega N_i; \quad (3.7)$$

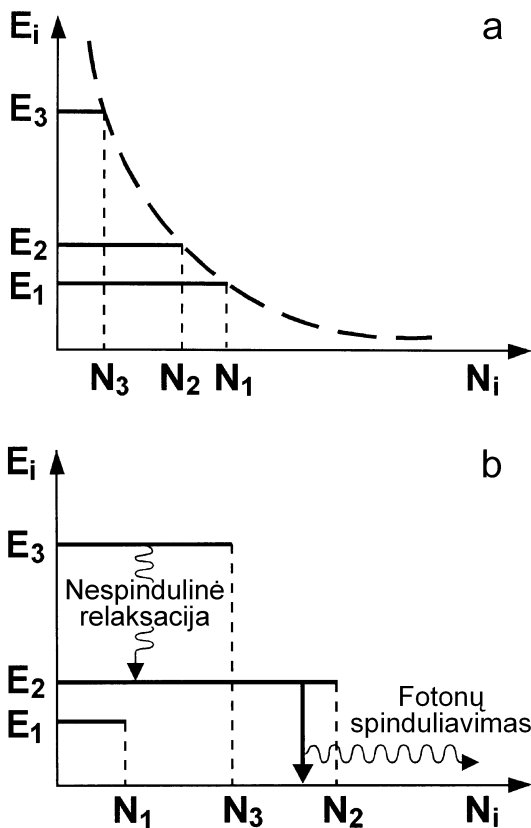
čia B_{ik} – Einšteino koeficientas, apibūdinantis elektrono šuolį iš energinio lygmens E_n į energinį lygmenį E_{n-1} .

Priverstinis spinduliavimas reiškia antro fotono išspinduliavimą sužadintosios būsenos (M^*) molekulei ar atomui sąveikaujant su fononu:



Šio vyksmo metu išspinduliuoto fotono savybės lygiai tokios pat kaip ir stimuliuojančiojo fotono.

Normaliomis sąlygomis, kai pagrindinės nesužadintos būsenos molekulių ar atomų yra daug daugiau negu sužadintos $[M] \gg [M^*]$, šis procesas nevyksta, tačiau jeigu sužadinama labai daug atomų ar molekulių ir tokios būsenos jų yra gerokai daugiau negu



3.5 pav. Kvantinės sistemos pagrindinės (a) ir sužadintosios (b) būsenų energiniai lygmenys

(dujų išlydžio blykste, nuolatinio kaupinimo lempa ar kitu lazeriu), elektronai iš žemesnio energinio lygmens sužadunami į aukštesnįjį. Daugiau atomų yra E_2 lygmenyje negu E_1 lygmenyje (kaip buvo prieš sužadimą), ir įvyksta užpildos apgrąža (3.5 pav., b). Tokia būseną nėra stabili: atomai grįžta į pagrindinę būseną spinduliniu (išspinduliuodami fotonus) arba nespinduliniu (energijai virstant šiluma) būdu.

Kai sužadintą aktyviąją terpę toliau veikia elektromagnetinis laukas, kurio fotonų energija sutampa su dviejų lygmenų, tarp kurių vyksta elektronų šuolis, energijų skirtumu, pasiekiamas priverstinis šuolis, t. y. vienas reikiamos energijos fotonas, sąveikaudamas su sužadintosios būsenos atomu ar molekule, neprarasdamas savo energijos, išlaisvina kitą fotoną (žr. 3.4 pav.). Fotonai, išspinduliuoti priverstinio šuolio metu, yra visiškai tapatūs šuolį sukėlusiams fotonams. Jie turi vienodą dažnį, fazę,

pagrindinės $[M^*] \gg [M]$, pasiekiamą užpildos apgrąžą ir vyksta elektromagnetinės spinduliuotės stiprinimas.

Termodinamiškai pusiausviros sistemos (pavyzdžiui, atomų) energinių lygmenų užpildą temperatūroje T nusako Bolcmano pasiskirstymo dėsnis:

$$N_i = N_k \exp [(- E_n - E_{n-1}) / kT]; \quad (3.9)$$

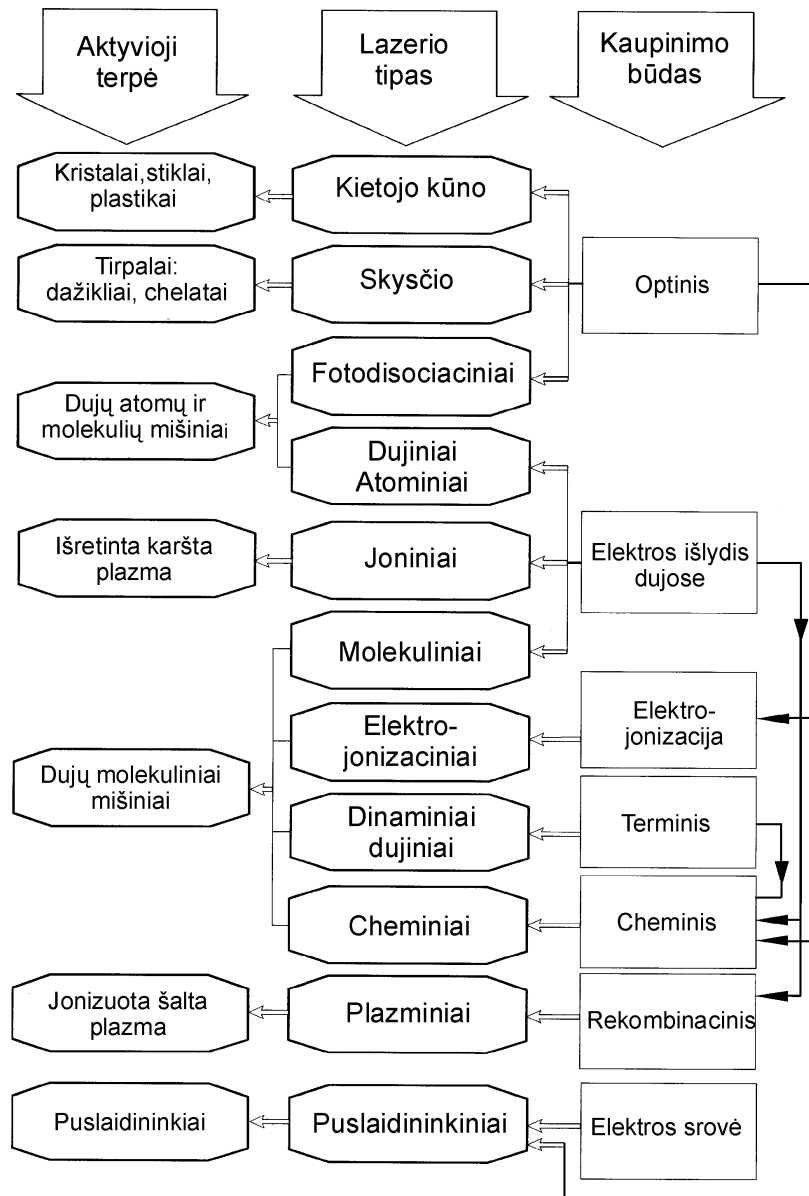
čia: N_i – atomų, turinčių energiją E_i , skaičius; k – Bolcmano konstanta; N_k – atomų, turinčių energiją E_{n-1} , skaičius.

3.5 paveikslo a ir b dalyse x ašyje atidėtas atomų skaičius N_i , o y ašyje – tų atomų tikimiausia energija E_i ; be to, $E_3 > E_2 > E_1$. Matyti, kad gausiausiai yra užpildyti mažiausios energijos lygmenys (3.5 pav., a). Sužadinus aktyviąją terpę

poliarizaciją ir kryptį. Priverstinio šuolio metu vietoj vieno fotono atsiradę du fotonai savo ruožtu gali sužadinti dar du fotonus ir t. t. Šis procesas vyksta tarsi griūtis.

Taigi aktyviojoje terpėje sukelti priverstiniai šuoliai prasideda nuo savaiminių šuolių iš sužadintojo lygmens į pagrindinį, o iš kiekvieno savaiminio šuolio fotono išsiplėtoja “sava” griūtis. Kadangi savaiminių šuolių metu atsiradę fotonai sklinda į visas puses vienodai, tai ir jų sukelti fotonų srautai taip pat sklinda į visas puses ir toks spinduliavimas nebus vienos krypties. Tad erdvėje reikia sudaryti vieną išskirtinę kryptį, kuria savaiminių šuolių metu išlėkę fotonai sukeltų kryptingas priverstinių fotonų griūtis. Lazeryje fotonų srautai išskiriami optiniu rezonatoriumi, kurį sudaro atsuktų vienas į kitą dviejų lygiagrečių veidrodžių sistema. Vienas veidrodis atspindi visus fotonus, kitas dalį jų praleidžia. Tarp rezonatoriaus veidrodžių esančioje aktyvioje terpėje (3.3 pav.) lygiagrečiai su rezonatoriaus optine ašimi sklindantis fotonas sukelia fotonų griūtį, kuri sklinda ta pačia kryptimi. Nuo pusiau skaidraus veidrodžio dalis fotonų atsispindi ir grįžta, kita dalis sklinda toliau – tai ir yra lazerio spinduliuotė. Nors atomų ar molekulių išspinduliuojami fotonai juda visomis kryptimis, tačiau tik tie fotonai, kurie juda išilgai lazerio optinės ašies, atsispindi nuo rezonatoriaus veidrodžių, yra sugražinami į aktyviają terpę ir vėl inicijuoja priverstinį spinduliavimą. Todėl tik išilgai rezonatoriaus per aktyviają terpę sklindanti šviesa sustiprinama, pasiekia veidrodį, nuo jo atsispindėjusi vėl pereina aktyviają terpę; dar kartą sustiprinta, atsispindi nuo antrojo veidrodžio ir t. t. Fotonų kelionė tarp veidrodžių pakartojama daug kartų, todėl iš rezonatoriaus sklinda galingas kryptingas šviesos srautas, pasižymintis unikaliomis savybėmis. Rezonatorius formuoja pagrindines generuojamos spinduliuotės savybes: monochromatiškumą, koherentiškumą, kryptingumą ir galią.

Apibendrinant galima pasakyti, kad lazerio veikimo principas gana paprastas. Rezonatoriuje esančios aktyviosios terpės atomai ar molekulės sužadinami išoriniu energijos šaltiniu. Sužadinti atomai ar molekulės, grįždami į pagrindinę nesužadintąją būseną, išspinduliuoja fotonus visomis kryptimis. Jeigu išorinio energijos šaltinio energija yra pakankama, aktyviojoje terpėje inicijuojamas priverstinis spinduliavimas, kuris optiniame rezonatoriuje sustiprinamas ir erdvėje išskiriama pagrindinė spinduliavimo kryptis, kuri sutampa su rezonatoriaus optine ašimi. Daugkartinis fotonų atspindys nuo rezonatoriaus veidrodžių sukelia kryptingą priverstinį fotonų srautą, kuris



3.6 pav. Lazerių klasifikacija pagal aktyviąją terpę ir kaupinimo būdą

išleikia pro išvadinį rezonatoriaus veidrodį ir sukuria ypatingomis savybėmis pasižyminčią lazerinę spinduliuotę.

Šiuo metu žinoma keli tūkstančiai įvairiausių medžiagų, kurios gali būti aktyviosios terpės. Svarbiausios lazerių aktyviosios terpės yra pateiktos 3.6 paveiksle. Nuo jų priklauso svarbiausi lazerio parametrai – spinduliavimo dažnis ir galia.

Pagal aktyviąją terpę lazeriai skirstomi į šias pagrindines rūšis:

- kietojo kūno,
- dujinius,
- skysčio,
- puslaidininkinius.

Kietojo kūno lazeriuose aktyvioji terpė yra tolygiai pasiskirsčiusi skaidriose kietojo kūno matricose. Pavyzdžiui, rubino lazeryje aktyvioji terpė yra chromo jonai, pasiskirstę aliuminio oksido (Al_2O_3) kristale.

Dujinių lazerių aktyvioji terpė yra dujos, kurių pripildytas hermetiškas vamzdelis. Medicinoje plačiai naudojami argono, helio-neono, CO_2 bei metalo garų (aukso, vario) lazeriai.

Skysčio lazerių aktyvioji terpė yra skystyje ištirpinti įvairūs organinės ir neorganinės kilmės dažikliai.

Puslaidininkinių lazerių aktyvioji terpė – puslaidininkinė p-n sandūra. Šių lazerių taikymas medicinoje, sparčiai tobulėjant lazerinės fizikos technologijoms, plečiasi. Puslaidininkiniai lazeriai yra nedideli, lengvai valdomi ir pigesni už tokio pat bangos ilgio šviesą skleidžiančius kietojo kūno, dažų, ar dujinius lazerius.

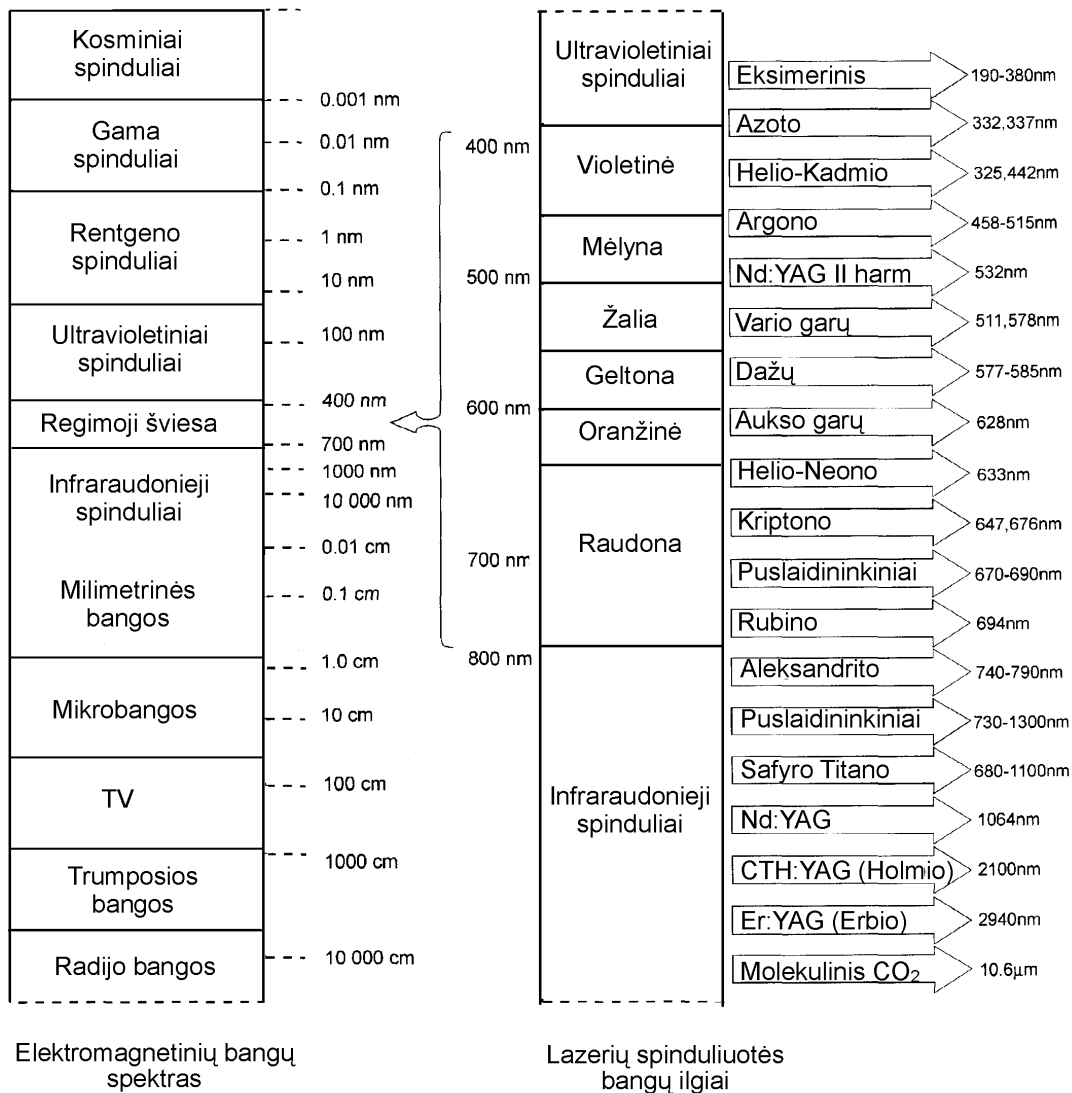
Nuo lazerio aktyviosios terpės priklauso, kokio bangos ilgio (spalvos) yra lazerio spinduliuotė. Šiuolaikiniai lazeriai generuoja šviesą, kurios bangų ilgiai apima labai platų elektromagnetinių bangų spektro ruožą – nuo tolimojo UV iki tolimosios IR srities. Elektromagnetinių bangų spektras ir biomedicininiams tikslams naudojamų lazerių spinduliuotės bangų ilgiai pateikiami 3.7 pav. (Mierczyk ir Kwasny, 1999).

Pagal aktyviosios terpės kaupinimo būdą lazerius galima skirstyti į:

- optinio kaupinimo;
- cheminio kaupinimo;
- kaupinimo elektros išlydžiu.

Kietojo kūno lazeriuose aktyvioji terpė dažniausiai kaupinama optiniu būdu – išoriniu šviesos šaltiniu, kuriuo gali būti lempa (pvz., rubino lazeryje – ksenono lempa), kitas lazeris (pvz., argono lazeriu kaupinami dažikliai įvairiuose dažų lazeriuose). Dujiniuose lazeriuose aktyvioji terpė dažniau kaupinama elektros išlydžiu arba cheminėmis reakcijomis. Skysčio lazeriuose paprastai naudojamas optinis kaupinimas. Puslaidininkinius lazerius galima kaupinti kito lazerio spinduliais, elektronų pluošteliais,

elektros srove. Universaliausias yra optinis kaupinimas, tinkamas kristalams, dujoms, skysčiams, puslaidininkiams ir kitoms terpėms kaupinti. 3.6 paveiksle pavaizduota lazerių klasifikacija ne tik pagal aktyviają terpę, bet ir pagal kaupinimo metodą (Tarasov, 1983). Kaupinimo šaltiniai daugumoje kietojo kūno lazerių yra galingos dujų išlydžio



3.7 pav. Elektromagnetinių bangų spektras ir biomedicinoje naudojamų lazerių spinduliuotės bangų ilgiai

blykstės. Dujiniai lazeriai kaupinami elektros srove ar labai didelio dažnio bangomis.

Pagal tai, koku režimu veikia, lazeriai skirstomi į impulsinius ir nuolatinės veikos. Impulsiniu režimu veikiantys lazeriai savo ruožtu skiriami į

- veikiančius laisvosios generacijos impulsiniu režimu;

- veikiančius kokybės moduliacijos impulsiniu režimu.

Nuolatinės veikos režimas būdingesnis dujiniams, o impulsinis – kietojo kūno lazeriams, bet apskritai visų trijų tipų lazeriai gali veikti bet kuriuo režimu. Nuolatinės veikos režimu veikiantis lazeris nuolat spinduliuoja energiją, taigi aktyvioji terpė turi būti visą laiką kaupinama. Todėl dujiniuose lazeriuose vyksta nepalaužiamas elektros išlydis, kietojo kūno lazeriuose visą laiką šviečia galinga ksenoninė lempa, o puslaidininkiniuose – per p-n sandūrą teka nuolatinė srovė. Viena svarbiausių tokių lazerių problemų – kaitimas. Kuo mažesnis lazerio našumo koeficientas, tuo daugiau jiems teikiamos energijos virsta šiluma. Todėl nuolatinės veikos galingi lazeriai turi būti intensyviai aušinami, dažniausiai vandens srove.

Laisvosios generacijos režimu veikiantis lazeris spinduliuoja nuo 10 Hz iki 100 Hz dažniu pasikartojančius šviesos impulsus – blyksnius. Vieno impulso trukmė – nuo 10^{-3} s iki 10^{-5} s. Tokį režimą palaiko impulsiniai išlydžiai dujose, impulsiniai kaupinimo lempų blyksniai arba impulsinė srovė per p-n sandūrą.

Kokybės moduliacijos režimu veikiantis lazeris generuoja labai galingus pavienius ar pasikartojančius šviesos impulsus, kurių trukmė nuo 10^{-8} s iki 10^{-10} s, o galia siekia 10^{12} W. Dar vienas lazerio veiklos režimas yra modų sinchronizacija. Šiuo režimu generuojami ypač trumpi 10^{-11} s iki 10^{-12} s trukmės šviesos impulsai.

Lazerio spinduliuotės savybės. Svarbiausios lazerio pluoštelio savybės – kryptingumas, monochromatiškumas, koherentiškumas ir didelis galios tankis.

Tarp dviejų veidrodžių rezonatoriuje esančioje aktyviojoje terpėje savaiminių šuolių metu atsiradusį spinduliavimą sustiprina priverstinis spinduliavimas. Aktyviaja terpe sklindančios šviesos bangos amplitudė didėja. Pasiekusi vieną iš veidrodžių, banga atsispindi ir vėl sklinda invertuota aktyviaja aplinka, taigi vėl stiprėja. Lygiagrečiai su optine ašimi sklindanti banga daug kartų atsispindi nuo veidrodžių ir labai sustiprėja. Taigi pamažu visa aktyviosios terpės sukauptą energiją pereina labai siauram šviesos pluošteliui, kuris neišsisklaido ir nuėjęs didelius atstumus. Pluoštelio skiestis yra maža, tad pluoštelio skersmuo ir už didelio atstumo išlieka beveik nepakitęs. Skiesties matas yra skiesties kampas, kurio dydis yra dešimtosios laipsnio dalys dujiniams ir kietojo kūno lazeriams ir apie 20 laipsnių puslaidininkiniams lazeriams.

Kuo mažesnis skiesties kampas, tuo mažesnis pluoštelio skersmuo lęšio židinyje. Įmanoma pasiekti kelių mikrometrų pluoštelio skersmenį. Kadangi visa spinduliuotės galia sukaupta siaurame lazerio spinduliuotės pluoštelyje, lęšio židinyje galima pasiekti labai didelį galios tankį, iki 10^8 - 10^{12} W/cm².

Joks šviesos šaltinis nespinduliuoja vieno bangos ilgio šviesos. Įprastų šviesos šaltinių skleidžiama šviesa visada apima didesnę ar mažesnę bangų ilgių diapazoną. Įvairiais filtrais iš tokio diapazono galima išskirti vienos spalvos šviesą, kurios bangų ilgiai bus tarp λ ir $\lambda+\Delta\lambda$. Tačiau tokia šviesa turi labai mažą galią. Lazeriai spinduliuoja šviesą labai siaurų spektrinių linijų pavidalu, tų linijų plotis gali siekti tik 10^{-7} nm, o visa spinduliuotės energija sukaupta tokioje siauroje spektrinėje linijoje.

Lazerio pluoštelio šviesa yra koherentinė, t. y. sutampa ne tik šviesos bangų ilgiai, bet ir fazės.

Elektromagnetinės lazerio spinduliuotės energija (išreiškiama džauliais, J) yra lygi išspinduliuojamų fotonų energijų sumai:

$$E = \Sigma E_f = \Sigma(h \nu_f); \quad (3.10)$$

čia ν_f – fotonų dažnis; h – Planko konstanta ($6,63 \times 10^{-34}$ J s).

Per laiko vienetą t išspinduliuotos energijos kiekis yra vadinamas spinduliuotės galia (P):

$$P = E/t. \quad (3.11)$$

Galios vienetas yra vatas (W=J/s). Dažnai naudojami išvestiniai vienetai: mikrovatai (μ W), milivatai (mW), kilovatai (kW) ar megavatai (MW).

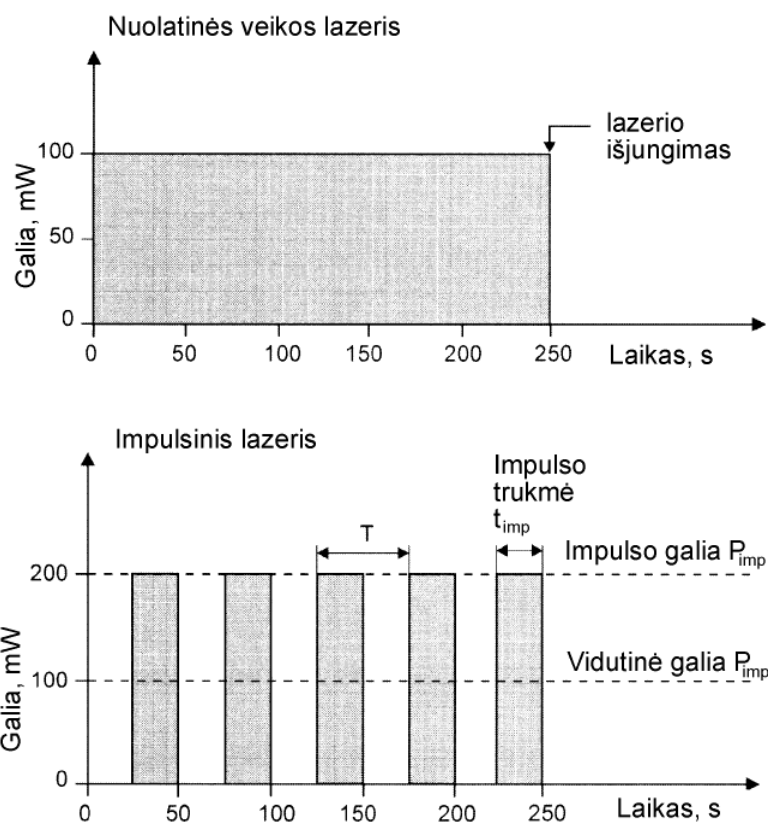
$1 \mu\text{W} = 0,000001 \text{ W} = 10^{-6} \text{ W}$; $1 \text{ mW} = 0,001 \text{ W} = 10^{-3} \text{ W}$; $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 10^3 \text{ W}$; $1 \text{ MW} = 1000000 \text{ W} = 10^6 \text{ W}$.

Kai optinė spinduliuotė sklinda šviesos pluoštelio pavidalu, naudojamos išraiškos, nusakančios, kiek spinduliuotės energijos arba galios tenka pluoštelio skerspjūvio vienetui S (reiškiamo kvadratiniais metrais, m²). Tos išraiškos yra energijos tankis H (J/m²) ir galios tankis I (W/m²):

$$H = E/S; \quad (3.12)$$

$$I = P/S. \quad (3.13)$$

Šitie parametrai yra labai svarbūs, nes nuo energijos ir galios tankio priklauso lazerinės spinduliuotės poveikis biologiniam audiniui.



3.8 pav. Nuolatinės veikos ir impulsinio lazerio veikimo schemas

Pagal galią lazeriai skirstomi į:

- mažos galios (iki 5 mW);
- vidutinės galios (nuo 6 iki 500 mW);
- didelės galios (> 500 mW).

Nuolatinės veikos lazerio galia jam veikiant nesikeičia ir jo energija E (išreiškiama džauliais, J) yra lygi spinduliuotės galios (vatais, W) ir spinduliavimo trukmės (sekundėmis, s) sandaugai:

$$E = P t. \quad (3.14)$$

Impulsinio lazerio energiją lemia trys parametrai: impulso galia (P_{imp}), impulso trukmė (t_{imp}) ir impulsų skaičius per sekundę, t. y. impulsų dažnis f , kuris yra dydis,

atvirkščias laiko trukmei T tarp dviejų impulsų (3.8 pav.). Sudauginus šiuos tris parametrus gaunama vidutinė spinduliuotės galia P_{vid} :

$$P_{vid} = P_{imp} t_{imp} f. \quad (3.15)$$

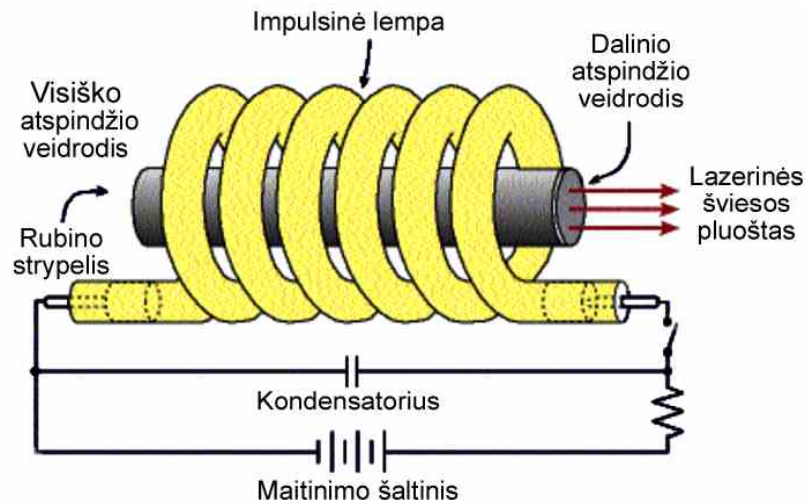
Impulsinio lazerio energija (džauliais, J) yra vidutinės spinduliuotės galios P_{vid} ir spinduliuotės trukmės t (sekundėmis, s) sandauga:

$$E = P_{vid} t. \quad (3.16)$$

Fluorescencinei diagnostikai naudojami įvairūs lazeriai. Nuolatinės veikos kriptono jonų lazerio spinduliuotėmis ties 337 nm ir 407 nm žadinama atitinkamai audinių savitoji fluorescencija ir porfirininių sensibilizatorių fluorescencija. Impulsiniai lazeriai taip gali būti taikomi fluorescencijai žadinti. Artimosios IR srities spinduliuotę (1064 nm) generuojančio Nd:YAG lazerio III harmonika (355 nm) tinka endogeninių audinių fluoroforams žadinti. Porfirininės kilmės sensibilizatorių fluorescencijai žadinti tinka aleksandrito lazerio II harmonika (390 nm). Eksimeriniai lazeriai, generuojantys šviesą UV srityje, dažnai taikomi fluorescenciniam vaizdinimui. Labai tinkamas yra impulsinis azoto lazeris, generuojantis 337 nm ilgio trumpus, maždaug 3 ns impulsus. Jo pranašumas tas, kad yra nedidelis ir labai ekonomišką. Derinant jį su dažų lazeriu galima generuoti ir kitų ilgių šviesą.

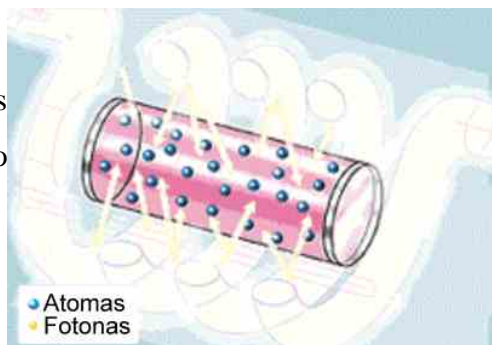
Kai kurie biologijoje ir medicinoje naudojami lazeriai. Pirmasis lazeris sukurtas 1960 metais Jungtinėse Amerikos Valstijose. Tai buvo kietakūnis rubino lazeris, spinduliuojantis 694,3 nm ilgio šviesą. Jo kūrėjas – Theodore'as Maimanas.

Rubino lazeris. Rubinas – tai aliuminio oksido kristalas, kuriame dalis aliuminio atomų yra pakeisti chromo atomais. Chromas suteikia rubinui raudoną spalvą ir paverčia jį medžiaga, tinkama lazerio spinduliuotės generavimui. Chromo atomai absorbuoja žalią ir mėlyną šviesą, o raudoną išspinduliuoja arba atspindi.



3.9 pav. Rubino lazerio schema

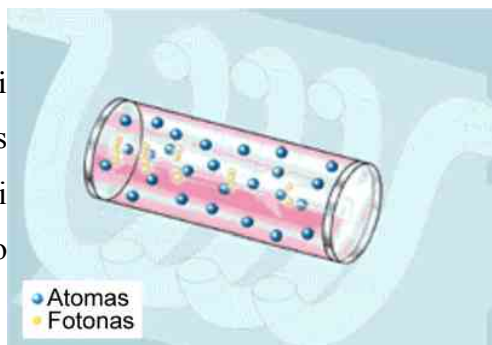
1 etapas. Kaupinimo lempos šviesos impulsai sužadina kai kuriuos rubino kristalo atomus



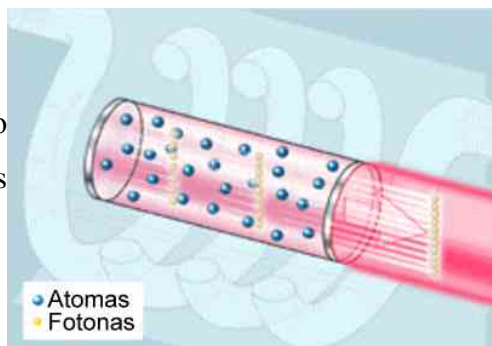
2 etapas. Sužadinti atomai spinduliuoja fotonus visomis kryptimis



3 etapas. Galuose esantys veidrodžiai atspindi išilgai rubino strypo sklindančius fotonus, todėl jie daug kartų skrieja išilgai kristalo, tęsdami priverstinio spinduliavimo ir stiprinimo vyksmus



4 etapas. Dalis fotonų išlekia pro dalinio atspindžio veidrodį. Šis šviesos pluoštas vadinamas lazerine spinduliuote

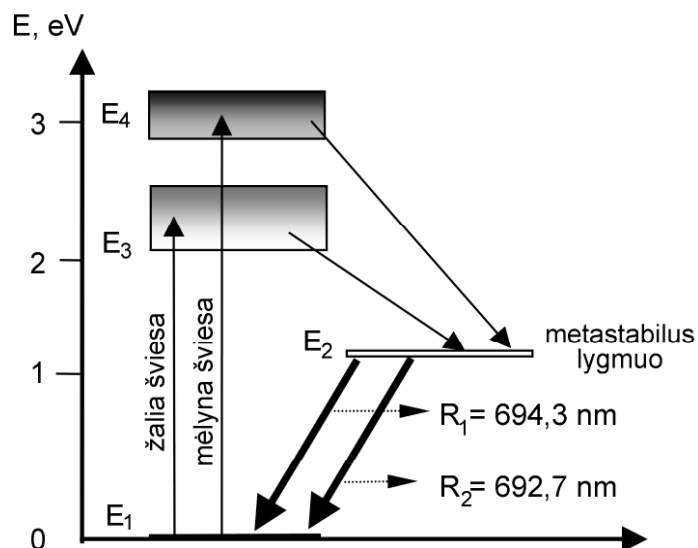


3.10 pav. Rubino lazerio veiklos etapai

Rubino lazeris gaminamas suformuojant iš rubino kristalo cilindro formos aktyviają terpę, sudarytą iš safyro (Al_2O_3) kristalo, legiruoto chromo jonais Cr^{+3} , kurių tankis – $10^{25}/\text{m}^3$, t. y. apie 0,05 % (3.9 pav.). Strypelio skersmuo gali siekti 25 mm, o ilgis – 0,2 m, bet paprastai naudojami mažesni, kurių skersmuo – 6 mm, o ilgis – 7 cm. Viename rubino kristalo gale įtaisomas visiško atspindžio veidrodis, o kitame – pusiau atspindintis veidrodis, kuris praleidžia dalį šviesos į išorę. Didelio intensyvumo impulsinė lempa yra susukama spirale aplink rubino kristalą. Ši lempa skleidžia stiprius baltos šviesos impulsus, kuriais yra kaupinama lazerio aktyvioji terpė (3.10 pav. 1 stadija).

Rubino lazerio aktyviosios terpės energinių lygmenų diagrama pavaizduota 3.11 paveiksle. Tai – trijų lygmenų sistema. Švitinami kaupinimo lempos rubino kristale esantys chromo jonai sužadunami į E_3 ir E_4 energinius lygmenis. Sužadintų chromo jonų gyvavimo trukmės E_3 ir E_4 lygmenyse yra labai trumpos. Tiek dėl spindulinių, tiek dėl nespindulinių šuolių E_3 ir E_4 lygmenų užpilda mažėja, ir chromo jonai peršoka į sužadintą būseną E_2 , kuri yra metastabili ir gyvuoja gana ilgai. Grįždami į pradinę būseną E_1 , atomai išspinduliuoja raudonos spalvos šviesą (3.10 pav. 2 stadija).

Metastabilaus energinio lygmens gyvavimo trukmė yra apie 3 ms. Būtent dėl šios savybės sužadinti chromo jonai pakankamai ilgai būna sužadintame E_2 lygmenyje ir kristalo galuose esantys veidrodžiai spėja atspindėti dalį šios šviesos atgal į aktyviają



3.11 pav. Rubino lazerio energiniai lygmenys ir svarbiausieji šuoliai

terpę (3.10 pav. 3 stadija), taip sukurdami priverstinį spinduliavimą, dėl kurio nauji chromo jonai priverčiami išspinduliuoti savo sukauptą energiją. Taip nuo veidrodžių atsispindėjęs ir sklisdamas rezonatoriumi šviesos impulsas pasiekia didelę galią.

Rubino lazeris spinduliuoja kelių bangos ilgių fotonus: 694,3 nm (R_1 linija) ir 692,7 nm (R_2 linija). Šviesos blyksnis, sklindantis per pusiau pralaidų išvadinių veidrodį, trunka tik apie 300 mikrosekundžių, bet yra labai intensyvus (3.10 pav. 4 stadija). Svarbiausi rubino lazerio parametrai pateikiami 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Rubino lazerio parametrai

Spinduliuotės bangos ilgis	692,7 nm ir 694,3 nm
Metastabilaus energinio lygmens gyvavimo trukmė τ	3,0 ms
Priemaišų (Cr^{+3}) tankis kristale	$10^{25}/m^3$
Rubino kristalo lūžio rodiklis	$\approx 1,76$
Darbo temperatūra	kambario
Kaupinimo metodas	optinis (impulsinė lempa)
Kaupinimo spinduliuotės bangos ilgis	nuo 400 nm iki 550 nm
Impulso galia	iki 100 J
Darbo režimas	impulsinis ir nuolatinės veikos

Pirmasis sukurtas rubino lazeris spinduliavo tik dviejų bangos ilgių impulsus, tačiau šiuo metu jau sukurta daug įvairių lazerių, spinduliuojančių UV, regimosios šviesos, artimosios ir tolimosios IR srities šviesą.

Eksimeriniai lazeriai. UV lazeriai, spinduliuojantys nuo 100 nm iki 400 nm bangų ilgių šviesą, – tai dažniausiai eksimeriniai lazeriai (spinduliuoja 193 nm, 248 nm, 308 nm ir 351 nm ilgio bangas), taip pat ir kietakūniai lazeriai su specialiais priedais, įgalinančiais generuoti trečią, ketvirtą ir aukštesnes pagrindines lazerių spinduliuotės harmonikas, taip pat laisvų elektronų lazeriai. Šių bangų ilgių lazerių spinduliuotei valdyti ir nukreipti į reikiamą vietą naudojama kvarcinė optika ir aukštos kokybės kvarciniai šviesolaidžiai. Pagrindinė UV spektro srityje spinduliuojančių lazerių grupė yra eksimeriniai lazeriai.

Šių lazerių aktyvioji terpė yra įvairių inertinių dujų (Ar, Kr, Xe) ir halogenų (Cl, F, Br) atomų mišinys. Pagrindinės būsenos inertinių dujų atomai nesąveikauja su halogenais, tačiau sužadintos būsenos sudaro dimerinius kompleksus, kurie vadinami eksimerais. Pavadinimas EXCIMER kilęs iš dviejų žodžių: *excited* – sužadintas ir *dimer* – iš dviejų dalių. Eksimero gyvavimo trukmė – apie 10 ns, tokia pati ir eksimerą sudarančių molekulių sužadintosios būsenos gyvavimo trukmė. Eksimeriniai lazeriai užima išskirtinę vietą tarp molekulinį lazerių.

Eksimerinių lazerių spinduliuotę lemia priverstiniai šuoliai tarp molekulių elektroninių energijos lygmenų. Eksimerinių lazerių aktyviosios terpės molekulių elektroninių lygmenų energinis tarpas yra gana didelis, todėl jie spinduliuoja ultravioletinius spindulius, t. y. šie lazeriai generuoja pačias trumpiausias šviesos bangas.

Galima išskirti pagrindines šio tipo lazerių savybes:

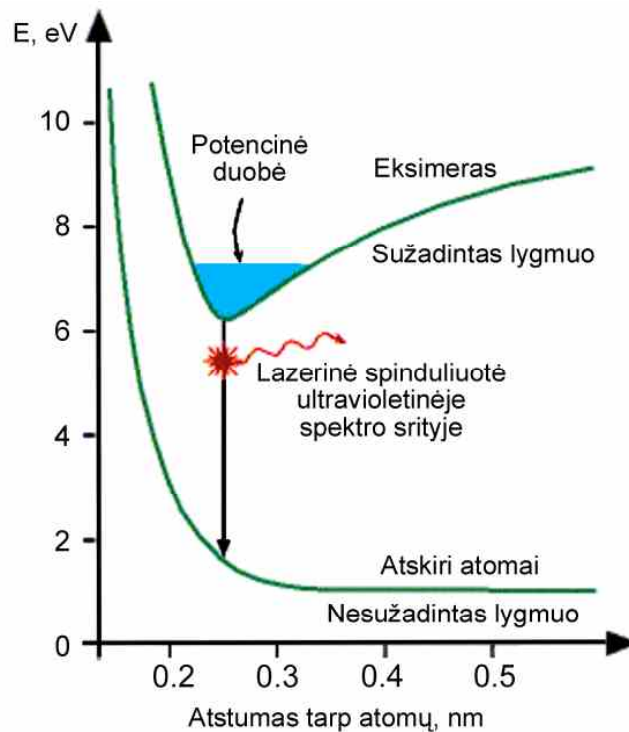
- ✓ spinduliuoja šviesą, kurios bangos ilgis yra ultravioletinėje šviesos spektro srityje;
- ✓ spinduliuoja trumpus šviesos impulsus;
- ✓ laiko trukmė tarp impulsų – nuo 10^{-12} s iki 10^{-6} s;
- ✓ našumas – keletas procentų.

Eksimerinio lazerio energiniai lygmenys pavaizduoti 3.12 paveiksle, o parametrai – 3.2 lentelėje. Sužadinta būsena (potencinė duobė) rodo, kad egzistuoja momentinė stabili būsena, kurioje sužadintosios būsenos atomai, būdami tam tikru atstumu vieni nuo kitų, gali sudaryti molekulinis kompleksus – eksimerus. Eksimerui suyrant išspinduliuojamas šviesos kvantas, kurio bangos ilgis yra ultravioletinėje spektro srityje.

3.2 lentelė. Būdingi eksimerinių lazerių parametrai

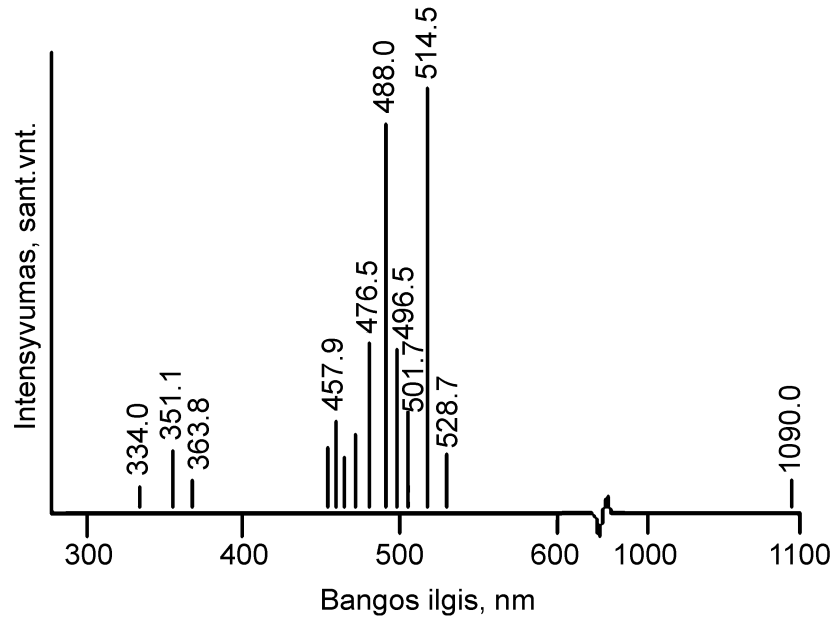
Bangos ilgiai	XeF – 353 nm XeCl – 308 nm KrF – 248 nm KrCl – 222 nm ArCl – 197 nm ArF – 193 nm
Sužadintojo energinio lygmens gyvavimo trukmė	nuo 4 ns iki 12 ns
Dujų suslėgimas	nuo 10 iki 1500 torų priklausomai nuo dujų
Darbo temperatūra	kambario
Sužadinimo metodas	elektros iškrova
Dujų temperatūra	200 °C
Aktyviosios terpės lūžio rodiklis	≈ 1,0
Impulso energija	nuo 0,5 J iki 1,0 J
Impulso trukmė	nuo 30 ns iki 50 ns
Galía	1 J/impulse esant 100 Hz = 100 W
Darbo režimas	impulsinis

Kiti UV lazeriai – tai YAG lazerio trečioji (355 nm) ir ketvirtoji (256 nm) harmonikos, helio-kadmio (*HeCd*) lazeriai, spinduliuojantys ties 325 nm ar 442 nm, azoto (*N₂*) lazeris (337 nm).



3.12 Eksimerinio lazerio energiniai lygmenys

Regimosios spektro srities lazeriai. Iš regimosios spektro srities lazerių diagnostikai dažniausiai naudojamas **argono jonų lazeris**, spinduliuojantis įvairių bangos ilgių spinduliuotę (3.13 pav.). Intensyviausias šio lazerio spinduliavimas yra ties 488 nm ir 515 nm. Argono lazeriu galima generuoti 25 skirtingų bangos ilgių šviesos pluoštą

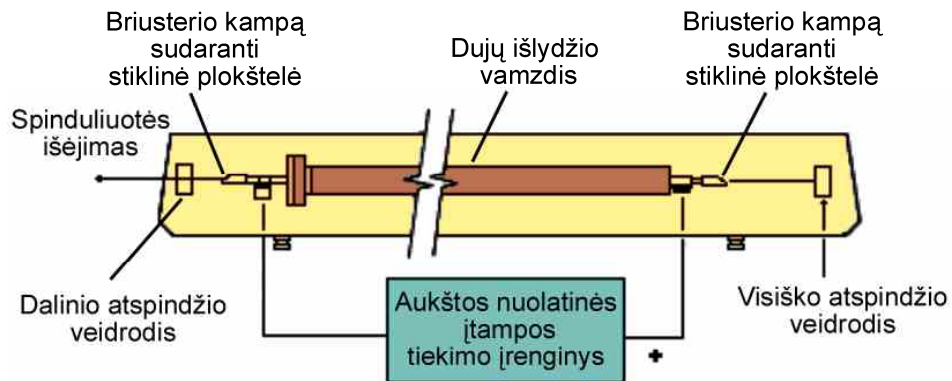


3.13 pav. Argono jonų lazerio bangos ilgių linijinis spektras

regimojoje srityje nuo 408,9 nm iki 686 nm ir 10 UV srityje nuo 275 nm iki 363,8 nm. Lazerio aktyvioji terpė kaupinama nuolatinės srovės lanko išlydžiu. Aušinimui naudojamas vanduo arba oras – nelygu, koks lazerio galingumas. Šio lazerio galia regimojoje spektro srityje pasiekama iki 100 W. Dujų slėgis vamzdyje paprastai būna apie 0,1 torų. Kad argono lazeris spinduliuotų tik pasirinkto bangos ilgio šviesą, jo optinio rezonatoriaus veidrodžiai turi būti atrankūs, t. y. atspindėti tik pasirinkto ilgio bangas; kitų bangos ilgių pluošteliai išeina iš rezonatoriaus ir nėra stiprinami. Keičiant rezonatoriaus veidrodžius arba įvedant į rezonatorių optinius elementus, galima derinti bangos ilgį.

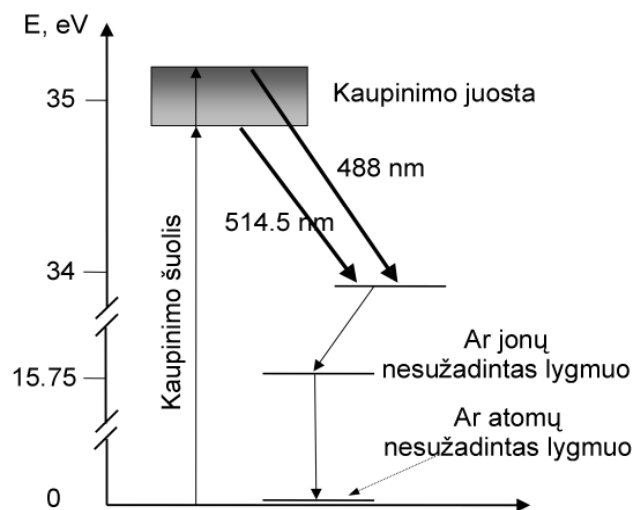
Pagrindinės argono jonų lazerio dalys pavaizduotos 3.14 paveiksle. Optinį rezonatorių sudaro du vienas į kitą nukreipti atspindintys paviršiai – veidrodžiai. Vienas veidrodis yra visiškai atspindintis, kitas – pusiau skaidrus, naudojamas spinduliuotės išvedimui. Argono dujų jonų pripildytas stiklinis vamzdis įtaisytas tarp šių veidrodžių.

Stiklinio vamzdžio galai yra uždaryti stiklinėmis plokštelėmis, kurios sudaro Briusterio kampa lazerio spinduliuotės sklaidimo atžvilgiu. Šios plokštelės padeda minimizuoti atspindžio nuostolius kuriant poliarizuotos šviesos pluoštą. Aukštos įtampos (apie 8 kV) nuolatinė srovė jonizuoja argono dujas.



3.14 pav. Argono jonų lazerio schema

Argono atomo jonizacijai yra sunaudojama apie 35 eV energijos (3.15 pav.). Šis didelis energijos kiekis nėra visas sunaudojamas lazerinei spinduliuotei sukurti. Didelė dalis energijos išspinduliuojama į aplinką šilumos pavidalu. Dėl šios priežasties argono lazerių našumas yra labai mažas ir siekia tik 0,1 %. Argono jonų lazeris žadinamas keliais



3.15 pav. Ar^+ lazerio energiniai lygmenys ir pagrindiniai šuoliai

būdais. Tai priklauso nuo darbo režimo. Impulsiniu režimu dirbantis lazeris žadinamas vienpakopiu būdu. Elektronai, pagreitinti elektriniame lauke, kurį sukuria prie vamzdžio elektrodų prijungta įtampa, susiduria su nesužadintos būsenos argono atomais ir sužadina juos į aukštesnį energinį lygmenį, kurio energija apie 35 eV. Iš šio lygmens vyksta elektrono šuolis į žemiau esantį lygmenį. Šuolio metu ir išspinduliuojami fotonai, kurių bangų ilgiai 514,5 nm ir 488 nm

Būdingi argono jonų lazerio parametrai pateikiami 3.3 lentelėje.

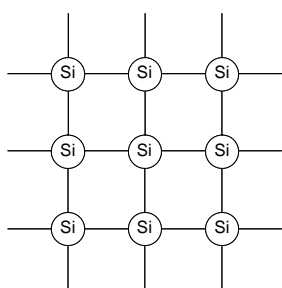
3.3 lentelė. Būdingi argono jonų lazerio parametrai

Pagrindiniai bangos ilgiai λ	488 nm; 514,5 nm
Viršutinio energinio lygmens gyvavimo trukmė τ	$1,0 \cdot 10^{-8}$ s
Dujų suslėgimas	0,1 torų ir mažiau
Darbo temperatūra	kambario
Sužadinimo metodas	elektros išlydis
Dujų temperatūra	1200 °C
Aktyviosios terpės lūžio rodiklis	$\approx 1,0$
Galia	nuo 100 mW iki 50 W
Darbo režimas	impulsinis, CW

3.4. Šviesos diodai

Fluorescencijos žadinimui vis dažniau naudojami šviesą spinduliuojantys diodai – LED'ai (LED – Light Emitting Diode), kurie skleidžia tik tam tikros bangų ilgių srities spinduliuotę (vienos spalvos). Šviesos diodai gali būti pagaminti įvairių spalvų, o pritaikius tam tikras technologijas gaunami ir baltą šviesą spinduliuojantys diodai.

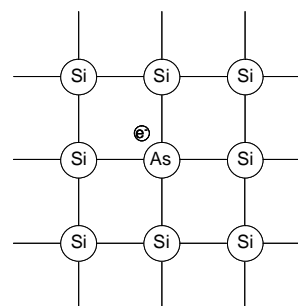
Šviesos diodas yra puslaidininkinis elementas, todėl norint suprasti, kaip puslaidininkiai gali generuoti šviesą, reikia žinoti puslaidininkių ypatybes ir juose vykstančius procesus. Dar 1833 m. M. Faradėjus pastebėjo sidabro sulfato puslaidininkines savybes, tačiau pirmoji p-n sandūra buvo sukurta vos prieš 50 metų. Dažniausiai puslaidininkių gamybai naudojamas elementas yra silicis (Si).



3.16 pav. Si gardelė

išorinėje orbitalėje turi keturis elektronus, todėl jis gali jungtis su keturiais gretimais atomais, sudarydamas tvarkingą tinklėlį (3.16 pav.). Žemoje temperatūroje tokioje medžiagoje nėra laisvų, galinčių pernešti krūvį, elektronų – ji yra izoliatorius. Kambario temperatūroje dalis elektronų, sudarančių kovalentinius ryšius tarp gretimų atomų, gali išstrūkti, tapti laisvais ir perduoti elektros srovę.

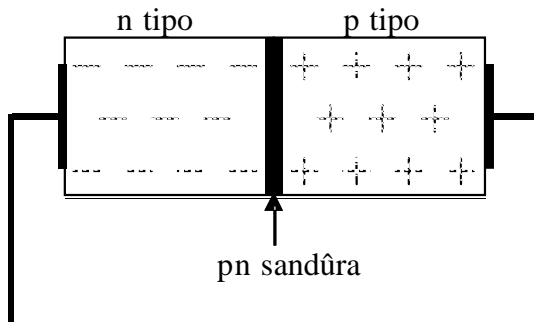
Dėl šių savybių tokios medžiagos ir vadinamos puslaidininkiais. Puslaidininkių laidumui padidinti į medžiagą įterpiama priemaiša. Pagal priemaišas puslaidininkis gali būti n tipo arba p tipo. Jei tarp Si atomų yra įmaišoma penkis elektronus išoriniame sluoksnyje turinčių atomų (pvz., fosforo arba arseno), jie sudaro kovalentinius ryšius su keturiais Si atomais (3.17 pav.), o vienas elektronas yra laisvas. Atsiranda



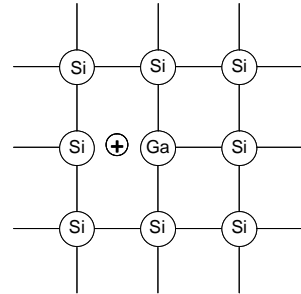
3.17 pav. Si gardelė su priemaiša

laisvų krūvininkų, turinčių neigiamą krūvį, todėl medžiaga ir vadinama n (*negative*) tipo. Jei tarp Si atomų yra įmaišomi tris elektronus išoriniame sluoksnyje turintys atomai (pvz., boras arba galis), jie sudaro kovalentinius ryšius su trimis Si atomais (3.18 pav.) ir vienas Si elektronas lieka nesuporuotas. Elektrono trūkumas sukuria teigiamo krūvio efektą – skylę, todėl medžiaga vadinama p (*positive*) tipo. Skylė gali pritraukti elektroną iš gretimo atomo, tokiu būdu sukuriama skylė gretimame atome. Taip skylės puslaidininkyje gali migruoti ir pernešti elektros srovę.

Tiek n tipo, tiek ir p tipo puslaidininkių sandūra pasižymi labai įdomiomis ir naudingomis savybėmis, pavyzdžiui, srovės laidumu viena kryptimi – diodai. Diodas yra gaunamas sujungus n ir p tipo puslaidininkius (3.19 pav.). Prijungta prie tokios sandūros elektros srovė tekės arba ne – nelygu, kokių poliškumu prijungtas šaltinis.



3.19 pav. Diodas



3.18 pav. Si gardelė su priemaiša

Prijungus prie p tipo puslaidininkio „-“, o prie n tipo „+“, srovė netekės, nes visi teigiami krūvininkai (skylės) bus pritraukti prie neigiamo elektrodo, o laisvi elektronai – prie teigiamo elektrodo. Prijungus prie p tipo puslaidininkio „+“, o prie n tipo „-“, srovė

tekės, nes elektronai, veikiami neigiamo elektrodo, judės sandūros link, taip pat ir skylės, veikiamos teigiamo elektrodo, judės sandūros link ir rekombinuos su iš n tipo puslaidininkio atėjusiais elektronais. Tokiu būdu per sandūrą tekės elektros srovė.

Šviesos diodų (3.20 pav.) veikimas pagrįstas tuo, kad krūvininkų – skylių ir elektronų – rekombinacijos metu išsiskirianti energija gali būti išspinduliuota šviesos fotonų pavidalu. Šviesos diodas į elektros grandinę jungiamas tiesiogiai: p sritis – prie teigiamo šaltinio poliaus, o n sritis – prie neigiamo šaltinio poliaus. Tekant srovei, p-n sandūroje padidėja krūvininkų koncentracija. Vykstant krūvininkų rekombinacijai spinduliuojama šviesa, kurios bangos ilgis nusakomas formule

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta W}, \quad (3.17)$$

čia: h – Planko konstanta; c – šviesos greitis; ΔW – puslaidininkio draustinės energijos juostos plotis. Supaprastinus galima parašyti:

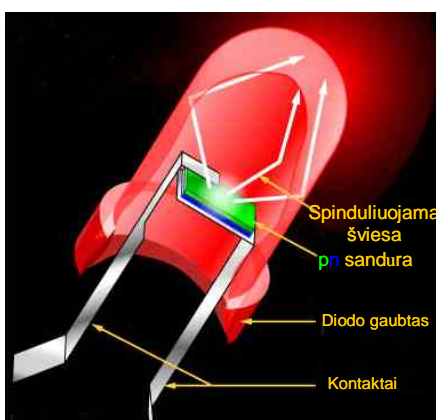
$$\lambda \leq \frac{1240}{\Delta W};$$

čia λ yra bangos ilgis nm; ΔW draustinės juostos plotis elektronvoltais (eV).

Regimoji sritis apima 400 – 700 nm spektrinį ruožą, taigi regimojo spektro šviesa gali būti spinduliuojama puslaidininkio, kurio draustinės juostos plotis ne mažesnis kaip 1,8 eV.

Šviesos diodų p-n sandūros sudarymui dažniausiai naudojamos tokios medžiagos:

- III – V grupės elementų dvinariai junginiai (pvz., GaAs arba GaP);
- III – V grupės elementų trinariai lydiniai (pvz., GaAsP);
- Trinariai junginiai, turintys panašias savybes kaip dvinariai junginiai (pvz., CuInSe₂).



3.20 pav. Šviesos diodas

N tipo puslaidininkio laisvi elektronai yra laidumo juostoje. Sutikęs skylę elektronas rekombinuoja, pereina į žemesnės energijos lygmenį, o energiją atiduoda šviesos pavidalu – išspinduliuoja fotoną. Fotono energija, taip pat ir diodo spinduliuojama šviesa, priklauso nuo energijos skirtumo tarp laidumo ir valentinės juostų – draustinės juostos pločio. Skirtingų medžiagų lydiniai turi skirtingus draustinės juostos pločius, todėl keičiant medžiagų sudėtį galima gauti įvairius spinduliuotės bangos ilgius (šviesos spalvą). Kitaip

nei elektros lemputėje, dioduose šviesa yra generuojama ne įkaitusios vielos, o vykstant spinduliniam šuoliui iš aukštesnės energijos būsenos į žemesnę. Deja, ne visi rekombinavę elektronai išspinduliuoja fotoną – dalis jų energiją praranda šilumos pavidalu, be to, į išorę patenkančios spinduliuotės intensyvumą mažina ir vidiniai atspindžiai. Tačiau kai kurių diodų spinduliuavimo efektyvumas siekia 50 procentų, o kaitrinės lempos ~ 98 procentus energijos verčia šiluma. Šviesos diode spinduliuavimas vyksta nuo p srities, todėl dioduose p-n sandūra yra montuojama p sritimi į viršų. 3.20 paveiksle pavaizduotame diode matoma p-n sandūra: viršuje p sritis, apačioje n sritis.

Kartais šviesos dioduose naudojamos dvi skirtingų medžiagų p-n sandūros. Tada, keičiant per jas tekančių srovių stiprumą, galima keisti šviesos diodo spektrines charakteristikas – valdyti spinduliuojamos šviesos spalvą.

LED'ai yra labai populiarūs dėl:

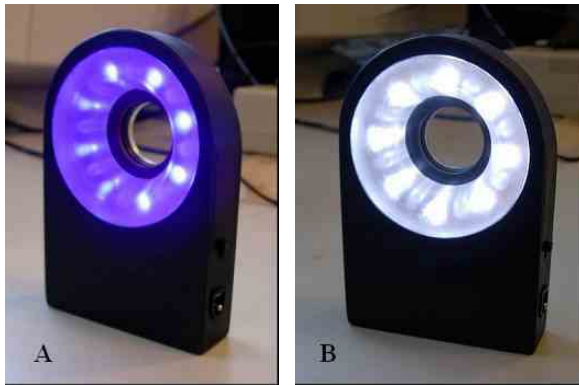
- ilgo veikimo laiko;
- suderinamumo su elektroninėmis schemomis;
- mažų gabaritų ir svorio;
- patvarumo;
- spalvų įvairumo;
- didelio temperatūrinio stabilumo;
- itin trumpo įsijungimo laiko;
- mažo šilumos kiekio išspindulivimo;
- ekonomiškumo – maitinimui reikalinga nedidelė įtampa.



3.21 pav. Nešiojamasis mėlynos šviesos šaltinis, skirtas paviršinių audinių apžiūrai

Dėl daugelio gerų savybių šviesos diodai labai tinkami dirbant su biologiniais objektais. Plačiausiai jie yra taikomi įvairių ligų diagnostikai ir biologinių audinių vaizdinimui. Biologinį audinį apšvietus atitinkamo bangos ilgio (spalvos) spinduliuote, matomas jo švytėjimas – fluorescencija. Skirtingo tipo audinių skiriasi ir fluorescencijos spektrai. Vykstant audinyje tam tikriems procesams, t. y. sergant įvairiomis ligomis, kinta ir jų fluorescencijos spektrai. Todėl parinkus tinkamas fluorescencijos žadinimo ir registravimo sąlygas, galima aptikti įvairius audinio pokyčius arba diagnozuoti ligas. Fluorescencijos žadinimui reikalinga skirtingų bangų ilgių spinduliuotė, tad dėl gausios gaminamų šviesos diodų spalvų įvairovės šiam tikslui jie puikiai tinka. Diagnostikos tikslams dažniausiai reikia siauros spektrinės srities spinduliuotės. Šviesos diodai

spinduliuoja nedaug šilumos, jų spektras siauras, todėl paprastai nereikia naudoti papildomų filtrų – visa spinduliuojama šviesa yra naudinga. Dar vienas šviesos diodų privalumas – maži gabaritai ir nedidelė maitinimo įtampa. Tai leidžia sukurti nedidelius, patogius diagnostikos prietaisus. 3.21 paveiksle pateiktas nešiojamasis mėlynos šviesos šaltinis, skirtas paviršinių audinių apžiūrai (Rotomskis ir Streckytė, 2004). Tokia



3.22 pav. Specialus kameros priedas, sukuriantis tolygų baltos arba mėlynos šviesos apšvietimą. A – mėlyna šviesa, B – balta šviesa.

diagnostika yra grįsta navikinių audinių savybe kaupti endogeninius ar egzogeninius sensibilizatorius (medžiagas, kurios apšviestos atitinkamo bangos ilgio spinduliuote, intensyviai fluorescuoja). Matant navike susikaupusio sensibilizatoriaus fluorescenciją, nustatoma naviko lokalizacija ir tikslios jo

ribos. Detalesnę analizę galima atlikti užfiksavus vaizdą skaitmenine kamera ir nuotrauką apdorojus kompiuteriu. Specialus kameros priedas, sukuriantis tolygų baltos arba mėlynos šviesos apšvietimą, pavaizduotas 3.22 paveiksle.