

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za matematiko in fiziko
Oddelek za fiziko
Jadranska 19, Ljubljana

seminar

UPORABA LASERJEV V INDUSTRIJI

maj 2008

Avtor: Matjaž Ivančič

Mentor: doc. dr. Primož Ziherl

Povzetek: V seminarju predstavimo pregled aplikacij laserjev na različnih področjih. Opišemo možne postavitve merilnih sistemov. V nadaljevanju sledijo postopki obdelav materialov, kot so rezanje, vrtanje, varjenje ter obdelovanje površin. Podobne aplikacije lahko uporabimo v medicini, kjer služijo laserji tudi za analiziranje. V ta namen jih uporabljamo še pri pregledovanju ozračja in manjših vzorcev. Laserje uporabljamo tudi za stimulacijo kemijskih procesov. V zadnjih letih se je močno razširila uporaba v informacijski in telekomunikacijski tehnologiji, kjer preko optičnih vlaken ali spominskih medijev posredujemo informacije.

1. Uvod

Razvoj laserjev se je od leta 1960 močno razmahnil in laserji so se hitro uveljavili tudi v industriji. Operativne karakteristike, kot so selektivna izbira skoraj monokromatične svetlobe, kratkost pulzov, moči kontinuiranega delovanja in doseganje velikih moči s pulznim delovanjem, je industrija laserjem odprla mnoga področja uporabe. Tako se je do danes laser pojavil v vseh proizvodnih traktih. Z njimi je moč meriti tako razdalje do zelo oddaljenih predmetov kot velikosti mikrometrskih delcev [1]. Zaradi velikih doseženih moči so se pojavili tudi pri številnih metalurških postopkih, kjer z njihovo pomočjo režemo, varimo, vrtamo in celo spreminjamo lastnosti materialov [2]. Posebnost laserjev je natančno delovanje, ki je ključ do uspešne izdelave mikrovezij in medicinskih posegov [1]. Zaradi nizkih stroškov proizvodnje so se pojavili tudi na odprtem trgu. Sedaj ima že vsak osebni računalnik vgrajen laserski bralnik zgoščenk in vsaka pisarna poseduje laserski tiskalnik.

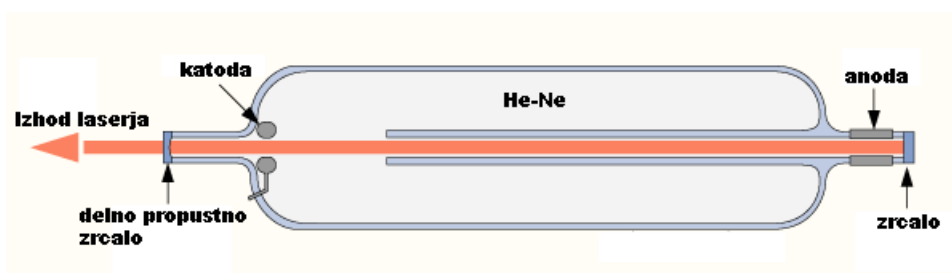
V seminarju bomo pregledali številne uporabe laserjev tako v industriji kot aplikativno uporabo na številnih vsakodnevnih področjih.

2. Vrste laserjev

Plinski laser

Plinski laserji (slika 1) so zaradi njihovih prednosti postali eden najbolj priljubljenih vrst. Njihova prednost je v ceni. Plin je velikokrat cenejši od raznih kristalov oziroma polprevodnikov, ki jih uporabljamo pri drugih vrstah laserjev. Druga poglobljena prednost je, da stežka uničimo medij in s tem dodatno znižamo stroške. Plin je zelo dobro razporejen in homogen po celotni površini in redkokdaj pridemo do težav s homogenostjo. Tudi odvajanje toplote je precej lažje pri tej vrsti, saj nam je omogočeno prečrpavanje plina iz delavnega območja in tako sproti hladiti [1].

Plinske laserje navadno delimo na nevtralne laserje (HeNe), laserje na ioniziran plin (ioni argona), molekularni laserji (CO_2), psevdo-molekularni laserji ali Excimer laserje (kriptonov fluorid) in laserji na kovinsko paro (bakrena para) [1].



Slika 1: Delovanje HeNe laserja. V stekleni posodi je shranjena mešanica plina He in Ne. Ta se zaradi napetosti vzpostavljene med anodo in katodo vzbudi ter ob relaksaciji emitira foton. Ta se ujame med zrcali in povzroči emisijo nadaljnjih fotonov. Skozi izhodno zrcalo, ki ima reflektivnost pod 100% prepustimo del proizvedene svetlobe [3].

Trdninski laserji

Trdninski laserji (slika 2) delujejo na medij, ki je sestavljen iz manjšega števila ionov določene snovi, prisotnih v neki gostujoči snovi. Lasersko aktivno sredstvo je navadno valjaste oblike s poliranimi konci, ki služijo kot zrcala. Črpanje povzroča navadno poleg ležeča bliskavica. Prvi izdelani laser na sploh je bil na osnovi rubina, sedaj pa je najbolj uporabljen neodim-itril-aluminijev garnat (Nd-YAG).

Ioni prisotni so navadno iz elementov, ki imajo atomsko število med 58 in 71, gostitelji pa iz trdih materialov z urejeno atomsko strukturo ali celo stekla [1].

Najbolj popularni predstavniki trdninskih laserjev so Nd-YAG laser, neodim-itrij-litijev fluorid (Nd-YLF), neodimijevo steklo (Nd-steklo), rubinov laser in holmijevi laserji [1].

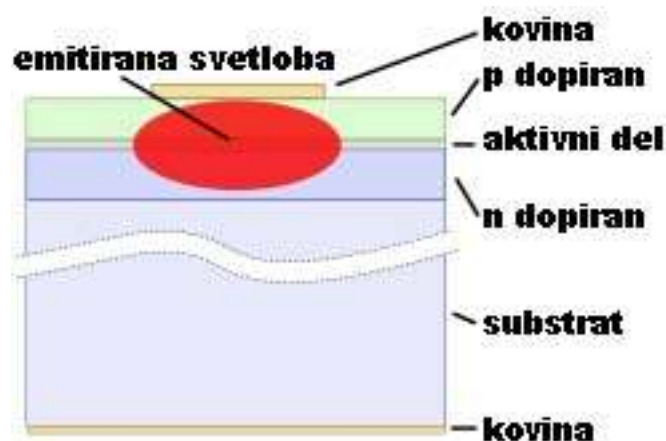


Slika 2: Delovanje rubinovega laserja. Vijolični valj je rubinov kristal, katerega ioni se vzbujajo s pomočjo bliskavice, ki je ovita okoli njega. Ena stran rubina je gladka z reflektivnostjo blizu 100%, druga pa delno prepušča [4].

Polprevodniški laserji

Polprevodniški laserji (slika 3) so diode, skozi katere teče tok v prevodni smeri. Če je tok dovolj velik, se lahko koncentracija elektronov in vrzeli v deplecijski plasti toliko poveča, da pride do znatne rekombinacije, pri čemer se spontano emitira foton. Navadno so polprevodniki dopirani z elementi iz 3. in 5. skupine. Energijska špranja je precej odvisna od sestave polprevodnika tako, da lahko dobimo laserje z valovno dolžino od 450 nm do 1.5 μm [1].

Polprevodniške laserje delimo glede na izhod emitirane svetlobe. Ta lahko izhaja iz zgornje stranice ali iz strani. Če polprevodnik seva svetlobo iz strani, ga lahko dalje delimo še glede na tip spoja polprevodnikov [1].

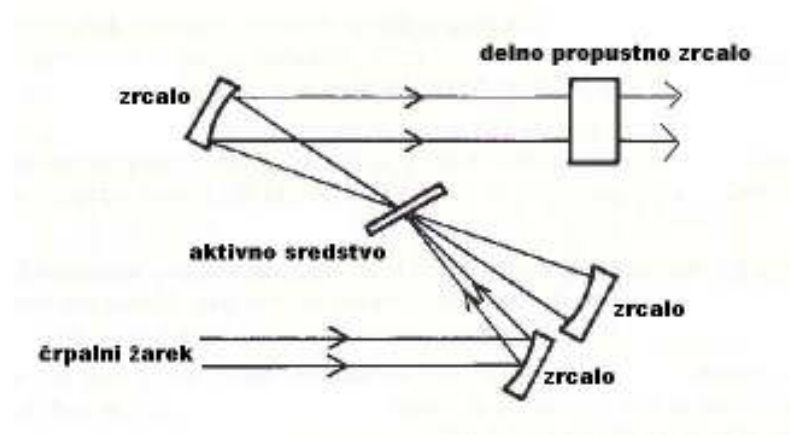


Slika 3: Shema polprevodniškega laserja. Med p-n stikom kjer pride do rekombinacije elektronov in vrzeli se emitirajo fotoni. Njihov snop uravnavamo s širino napačenih kovinskih stikov na obeh straneh diode.

Laserji na organska barvila

Poleg zgoraj naštetih tipov laserjev imamo še laserje na tekoči medij (slika 4). V organskih topilih so raztopljene makro molekule organskih barvil, ki se običajno uporablja kot barvno sredstvo pri plastiki, milih, kozmetiki itd. Najpomembnejša lastnost tovrstnih laserjev je možnost nastavitve izhodne valovne dolžine, ki je navadno od 100 nm do nekaj μm . Običajno barvila so sestavljena iz ogljikovih

verig s spremenljivo enojno in dvojno vezjo. Črpalno sredstvo za barvilne laserje je navadno argonov laser [1].



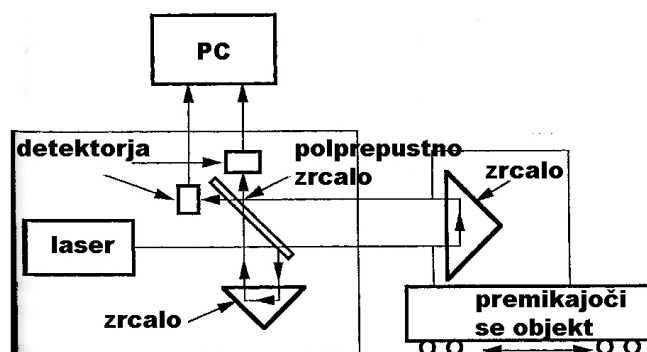
Slika 4: Shema delovanja barvilnega laserja. Na sredi med dvema ukrivljenima zrcaloma je barvilno sredstvo, na katerega svetimo z drugim laserjem in tako vzbujamo barvilne molekule v vzbujena stanja. Te ob relaksaciji emitirajo fotone, ki jih vodimo preko izhodnega zrcala ven [1]

3. Merilni laserji

Glede na potrebo meritev je bilo razvitih več metod merjenja razdalj, ki se razlikujejo po tipu uporabljenega laserja, dometu in natančnosti. Podobne naprave so uporabne za vodenje strojev, meritev oddaljenih objektov ali za vodenje vojaških izstrelkov. Metode, uporabljene pri meritvenih laserji temeljijo na merjenju interference svetlobe, Dopplerjevega efekta, merjenju modulacije odbitega žarka in na času preleta pulza svetlobe [1].

Merjenje razdalj z interferometrijo

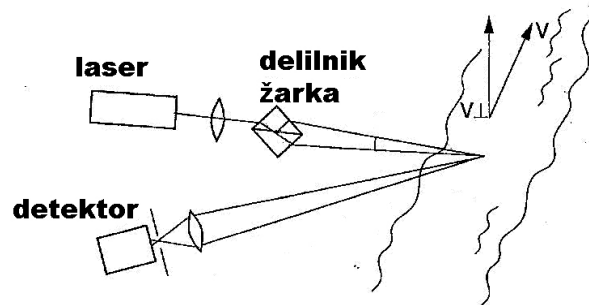
Za merjenje razdalj najpogosteje uporabljamo Michelsonov interferometer. Laserski žarek ločimo s polprepustnim zrcalom. En prepuščen žarek pošljemo na premikajoče se objekt, drugi pa na nek reko referenčno ogledalo. Odbita žarka ponovno združimo ter primerjamo razliko faze. Medtem, ko se objekt premika, se faza zvezno spreminja. Interferenco merimo z detektorjem, kjer štejemo število ojačitev in s tem določimo pot, ki jo je merjeni objekt naredil (slika 5).



Slika 5: Shema delovanja detektorja premika s pomočjo Michelsonovega interferometra. Iz laserja pošljemo žarek, ki ga s polprepustnim zrcalom ločimo na referenčni krak in meritveni. Slednjega pošljemo na premikajoči se objekt, od katerega se odbije in pade ponovno na interferometer, kjer pomerimo razliko intenzitete [1].

Tak istem deluje na osnovi HeNe laserja z dosegom nekaj metrov in natančnostjo nekaj sto nanometrov. Uporabljamo ga pri upravljanju naprav v proizvodnji, pri seizmografih in raznih kalibracijah [1].

S pomočjo interferometrije lahko merimo tudi gibajoče tekočine (slika 6).



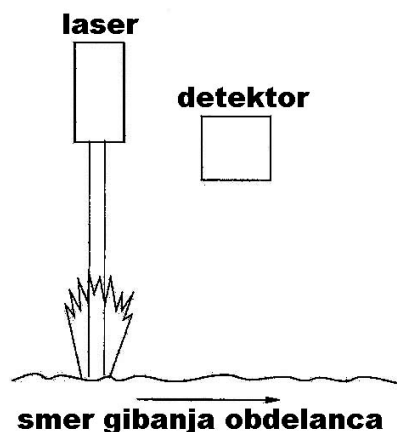
Slika 6: Shema detekcije pretoka tekočin. Z laserjem pošljemo žarek na ločevalnik, ki nam ga razdeli na dva povsem enaka žarka pod določenim kotom. Odbita žarka fokusiramo na površino tekočine, kjer se ustvari interferenčni vzorec. Ta vzorec je ima interferenčne proge. Ko delec pride na ojačeno progo se od tega odbije svetloba, ko pride na temno progo pa ne. Na tak način lahko zaznamo gibanje delcev v tekočini [1].

Laserski Dopplerjev efekt

Podoben sistem kot meritev interference, le da tukaj namesto štetja prehodov faz gledamo razliko valovnih dolžin. Odbiti snop svetlobe od premikajočega objekta spremeni frekvenco, zato ob primerjanju primarnega in odbitega žarka lahko določimo razdaljo in hitrost tarče.

Uporabljamo HeNe laser, s čimer merimo objekte, ki so oddaljeni do nekaj več kot sto metrov z natančnostjo nekaj mikrometrov. Uporabljamo ga pri istovrstnih meritvah kot sistem, ki deluje na principu interferometra.

Metoda je zelo uporabna tudi pri obdelavi kovin, saj lahko nadzorujemo hitrost gibanja površine, ki jo obdelujemo. Namesto HeNe laserja lahko uporabimo kar primarni laser za obdelovanje (slika 7) [1].



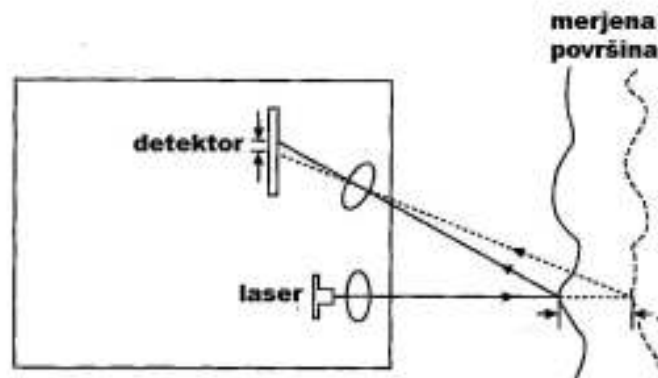
Slika 7: Shema zaznavanja hitrosti obdelanega materiala. Ko obdelujemo s pomočjo laserske svetlobe, se ta odbija od površine. To zlahka lahko zaznamo s fotodetektorjem, ki analizira zajeto svetlobo. V kolikor se obdelanec giblje, bo odbita svetloba drugačne frekvence. Iz razlike primarne in odbite frekvence tako lahko določimo smer in hitrost gibanja [1].

Meritev razdalje s pulzi

Za vojaške ali transportne namene uporabljamo t.i. Q-switched trdninske laserje, ki proizvedejo kratke pulze proizvedene s preklapljanjem dobrote, ki jih nato pošljemo na želeni objekt, ki je lahko oddaljen tudi več kilometrov. Odbiti pulz zaznamo in iz časa preleta ocenimo razdaljo, ki jo je žarek prepotoval. Ta je določena z natančnostjo nekaj centimetrov, kar nam omogoča natančne meritve reliefa ali določanja tarč za vojaške namene [1].

Merjenje pozicije in velikosti izdelkov

V industriji pri merjenju dimenzij izdelkov zaidemo velikokrat v težave, kot so visoke temperature izdelka, krhkost, majhnost itd. Za ta namen potrebujemo merilni sistem, ki ne pride v fizičen kontakt z vzorcem. Uporaba laserja je v ta namen optimalna. Imamo več načinov meritev, ki so bile razvite za različne potrebe proizvajalcev. Najbolj razširjen sistemi uporabljajo t.i. triangularni sistem, kjer referenčni žarek zaradi različne lege vzorca v prostoru različno odbije (slika 8). Možna je uporaba več laserskih sistemov ali sistemov na osnovi interferometra. V skoraj vseh primerih uporabljamo HeNe laser ali polprevodniški laser z vidno valovno dolžino [1].



Slika 8: Shema zaznavanja premika vzorca, kjer pošljemo žarek pravokotno na površino in nato zaznamo odbiti žarek. Če se merjena površina premakne v smeri žarka, se ta odbije pod drugim kotom. Iz razlike kotov lahko zaznamo razliko poti in s tem določimo premik. Metoda je pogosto uporabljena pri določanju reliefa površin. Vzorec postavimo na ravno podlago, z laserjem in detektorjem pa na konstantni višini pregledamo celoten vzorec [1].

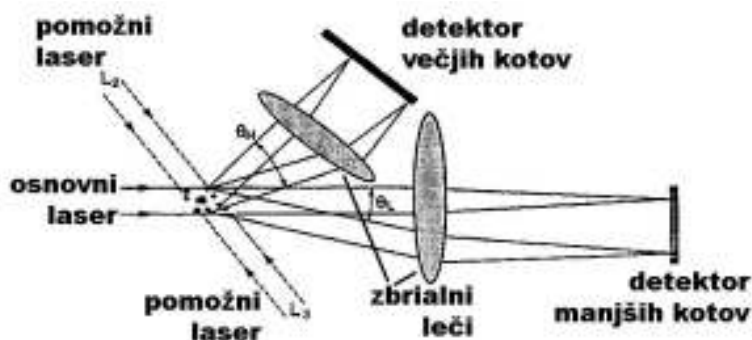
S takimi sistemi lahko z natančnostjo 0.1 % merimo objekte, ki so oddaljeni od 2 μm do približno 50 cm [1].

Poleg triangularnega sistema lahko premerimo izdelek tudi tako, da zaznavamo, ali se je žarek odbil ali je šel mimo. S takim merjenjem dobimo natančnejše meritve, ki lahko dosežejo tudi velikosti 0.5 μm , natančnost 0.01 % in doseg nekaj 10 cm [1].

Poznamo tudi meritve z difrakcijo snopa, kjer se žarek ukrivi na tankih vlaknih širokih tudi 0.025 μm in jih pomeri z natančnostjo 0.12 μm na razdalji 0.25 cm [1].

Merjenje velikosti majhnih delcev

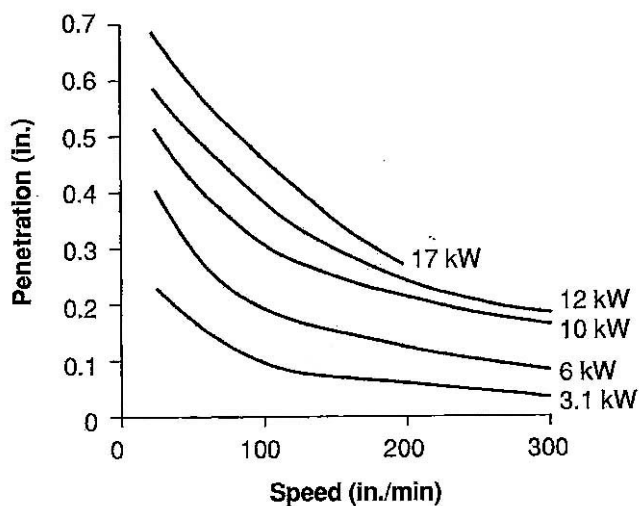
Za merjenje delcev v papirni industriji, gorivnih sredstvih, granulaciji materialov in podobnih procesov so razvili meritveni sistem, ki temelji na uklonu žarka (slika 9). Čim manjši je delec, tem manj se bo uklonil žarek. V ta namen so primernejši nizko energijski laserji, kot sta HeNe ali polprevodniški, s katerimi z eno samo meritvijo pomerimo velikosti delce, ki lahko znašajo od 0.04 μm do 2000 μm [1].



Slika 9: Shema meritve velikosti majhnih delcev. Merjenec presvetlivo z glavnim žarkom in dvema pomožnima žarkoma, ki služita za boljši kontrast zelo majhnih ali večjih delcev. Svetloba, ki vpada na delce se zaradi njihove velikosti ukloni pod določenim kotom in se preko zbiralnih leč fokusira na zaslonu detektorja. Kot uklona je v tem primeru sorazmeren z velikostjo delcev. [1].

4. Varjenje

Poglavitna prednost laserskega varjenja je visoka gostota energije na majhni površini. Tako dobimo lokalno segretje in se s tem izognemo poškodbam morebitnih občutljivih delov v bližini zvara. Celotna vnesena toplota je zelo nizka, kar nam je v prid pri varjenju elektronskih vezij. Pri mnogih procesih je pomembno, da obdržimo materiale čim manj kontaminirane. Z laserjem nikoli ne pridemo v kontakt, tako pustimo snov čisto. Varjenje z laserjem je tudi zelo hitro (slika 10) in z višjimi izkoristki (okoli 70%) kot jih dosežejo konkurenčni načini varjenja (elektrodno varjenje okoli 20%) [5], kar naredi lasersko varjenje tudi zelo ekonomičen postopek [2].



Slika 10: Graf odvisnosti toplotno obdelane globine v odvisnosti od hitrosti varjenja ob različnih močeh laserja. Iz grafa je razvidno, da globina upada eksponentno z večanjem hitrosti in čim manjša je moč, tem nižje so dosežene hitrosti in globine [1].

Tovrstna metoda je zelo prisotna pri masovnih proizvodnjah, kjer je avtomatizacija mehanizacije poglavitni ključ do hitrejše izdelave produktov.

Najbolj uporabljeni vrsti laserjev sta CO₂ in Nd:YAG, ki lahko delujeta tako pulzno kot kontinuirano. Nd:YAG je najbolj uporabljen za varjenja pri nižjih močeh (do 1 kW), medtem ko je CO₂ laser primernejši za varjenja debelejših plasti, kjer so potrebne moči krepko nad 1 kW. Lasersko varjenje ni

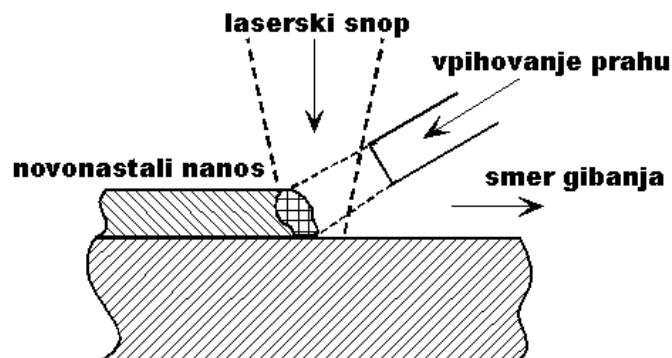
namenjeno varjenju le velikih in težkih objektov, temveč je ob uporabi nizkih energij in ozkega snopa zmožno proizvesti vane široke le nekaj μm [2].

5. Površinska obdelava

Uporaba laserjev za obdelavo površin je zelo raznolika. Z njimi lahko površino materialov modificiramo, preoblikujemo ali spreminjamo. V večini primerov uporabljamo CO_2 laser, ki deluje pri nekaj kilovatih moči, lahko pa ga nadomestimo z Nd:YAG laserjem, CO ali Excimer. Najbolj razširjene metode obdelav so utrjevanje površin, ustvarjanje zlitin ali mešanic materialov in glajenje defektov površin [2].

Pri utrjevanju jekla vrhno plast toplotno obdelamo z laserjem. Ker laser prodre le nekaj milimetrov v globino in se hitro odmakne, se površina obdelanega materiala v zelo kratkem času močno segreje in nato hitro ohladi [2].

Pri utrjevanju površin jekla lahko v vrhno plast, ki je navadno debeline nekaj mm, vnesemo tudi ogljikove atome. Tej predstavljajo 0.8 % celotne snovi, kar zadošča za povečanje trdnosti do 50 %. Namesto ogljika lahko vmešamo katero koli snov, tako da pred obdelavo nanesemo tanek sloj ali pa njegovo paro vbrizgamo takoj za tem, ko stalimo vrhno plast (slika 11). Tovrstni postopek je idealen za izdelavo trših rezil in spojev pri vodnih ceveh [1].



Slika 11: Skica nanašanja nekega substrata na kovino. Z laserskim žarkom segrejemo ali stalimo vrhno plast kovine, na katero nanašamo prah. Ta reagira s segreto ali staljeno površino in ustvari novonastalo površino. Z gibanjem površine tako prekrijemo zelene dele. Zaradi ozkega snopa je metoda počasna in je primernejša za nanose majhnih površin.

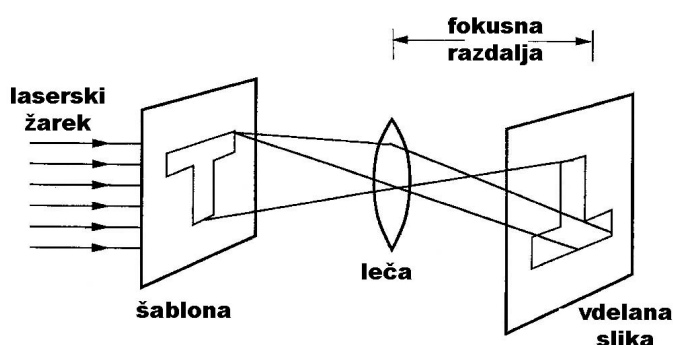
Poglaviten razlog glajenja površin z laserjem je povečanje odpornosti na korozijo. S termično obdelavo površine, stalimo nepravilnosti in zgladimo površino materiala. Na tak način lahko odpravimo zareze ali izbokline, ki so globoke oziroma visoke do nekaj μm [1].

6. Vrtanje, rezanje in označevanje

Za razliko od obdelave površin, kjer smo površino le stalili, jo pri vrtanju uparimo in odstranimo. S kratkimi pulzi postopoma izdoblamo luknje v najrazličnejše materiale. Prednost laserskega vrtanja vidimo v hitrosti, saj v nerjaveče jeklo z laserjem, ki proizvede gostoto energije 5000 J/cm^2 in pulzom dolgim $600 \mu\text{s}$, izvrtamo 0.6 mm globoko luknjo. Podobne hitrosti vrtanja dosežemo pri večini materialov. Tako lahko hitro prevrtamo keramiko ali dragulje ne da bi poškodovali okolice vrtenine. Izvrtane luknje so lahko široke od 0.5 μm (Nd:YAG) do 2.5 cm (CO_2) [2].

Podobno kot pri vrtnanju tudi pri rezanju odstranjujemo material. V kolikor ima ta nizko toplotno prevodnost, ga lahko odstranimo z uparjanjem, če pa ima visoko, ga lahko le segrejemo do vrelišča in odpihemo stran. Možno je tudi le segretje in odstranjevanjem z vbrizgavanjem kisika in povzročanja oksidacije. Hitrost rezanja je odvisna od moči laserja, debeline materiala in materiala samega. Navadno uporabljamo moči, ki presegajo nekaj kilovatov. Aluminij debeline 1 cm režemo z laserjem z močjo 10 kW s hitrostjo okoli 1.6 cm/s [2].

Zelo razširjeno je tudi lasersko označevanje. V ta namen izdelamo šablono želene oblike, ki jo postavimo pred žarek. Med šablono in površino, ki želimo gravirati, postavimo še lečo, ki zbere uklonjeno svetlobo na šablono in jo fokusira na zeleno mesto (slika 12). Navadno uporabljamo CO₂ laser z nizkimi močmi, saj je tovrstno označevanje najbolj primerno pri papirni industriji in graviranju v les [2].



Slika 12: Shema označevanja, kjer izdelano šablono presvetlimo z laserskim snopom in ga s primerno lečo fokusiramo na zeleno pozicijo, kjer v obliki šablone material poogleni ali izpari [1].

7. Izdelovanje elektronike s pomočjo laserja

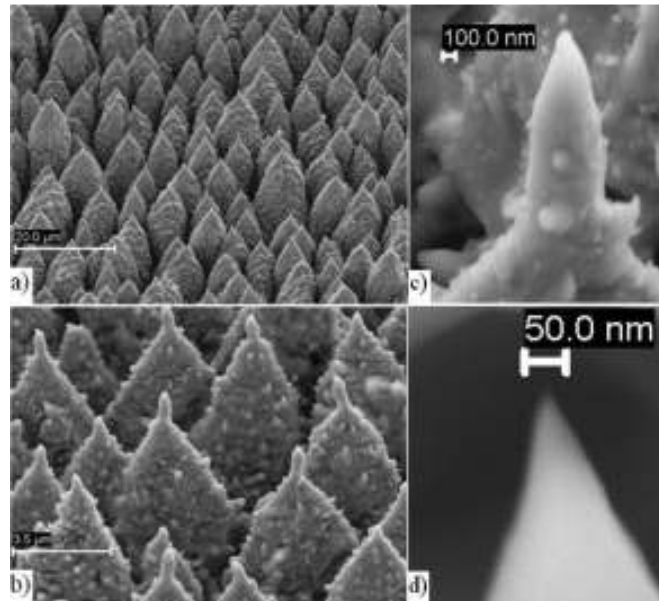
Zgoraj navedene metode so najbolj uporabljene pri izdelavi elektronskih komponent, kjer je še posebej pomembna natančnost. V tabeli 1 so naštetih tipi laserjev, ki jih uporabljamo za izdelavo različnih elektronskih komponent.

vrste laserja	valovna dolžina [nm]	dolžina pulza [μ s]	uporaba
CO ₂	10600	1000 ali kontinuiran	vrtnanje, rezanje, pisanje, označevanje
Nd:YAG	1064	0.1	izdelovanje slojev, označevanje
Dupliran Nd:YAG	532	0.1	izdelovanje slojev
Tripliran Nd:YAG	355	0.1	nalaganje površin, litografija, odstranjevanje materialov
argonski	488	1	nalaganje površin, litografija

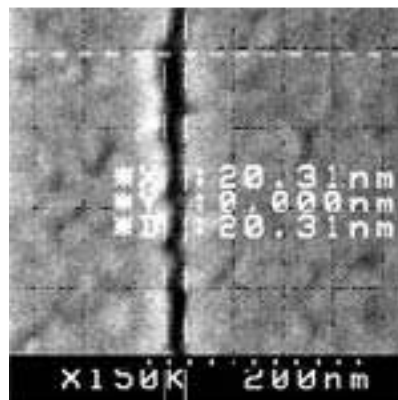
Tabela 1 Pregled tipa laserja, valovne dolžine, načina delovanja in aplikacije pri proizvodnji elektronskih vezij [1].

S to tehnologijo smo sposobni delati mikroskopska vezja, pri katerih bi konvencionalni postopki odpovedali. Tako lahko z laserji izdelujemo mikroskopske upornike, obdelujemo silicijeve površine za boljše hlajenje (slika 13), nanašamo substrate ter izdelujemo prevodne linije (slika 14), odstranjujemo

izolacijo s tankih žic, izoliramo majhne komponente, vrtamo luknje v vezja, označujemo dele in druge potrebne komponente [1].



Slika 13: Fotografija različnih povečav koničastega substrata polprevodnika z velikostjo konic 50 nm. S tem, ko preoblikujemo površino silicija, mu povečamo površino, ki je izpostavljena okolici. Kot vemo, je hitrost hlajenja predmeta sorazmerna njegovi površini. Na tak način izdelamo tranzistorje, ki se hitreje hladijo od običajnih [6].



Slika 14 Fotografija prevodne linije širine 20 nm na vezju. Črna navpična črta je lasersko nanescena tanka linija kovine, ki na mikrovezjih služi kot vodilo med različnimi komponentami [6].

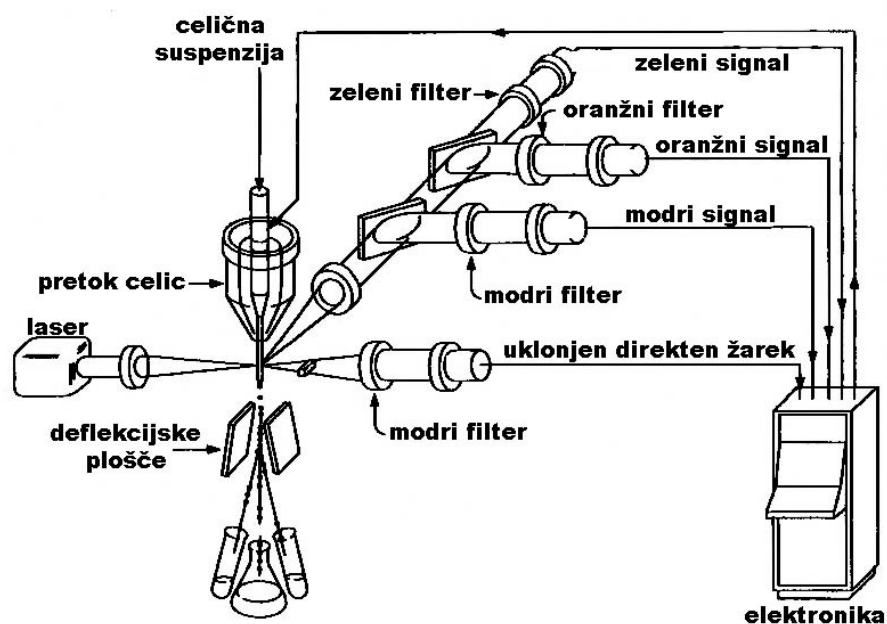
8. Uporaba laserjev v medicini

Uporaba laserjev v medicini pokriva razna področja analize tkiv, očesna kirurgija, dermatološki posegi, celično sortiranje in zobozdravstvo. Za iste aplikacije je razvitih več tipov laserjev, tako da nam v medicini nastopajo tako CO₂ laserji, kot diodni, trdninski in plinski [7].

Pretočna citometrija

Pretočna citometrija je postopek, pri katerem merimo velikosti posameznih celic. Postopek je eden ključnih raziskovalnih rešitev pri odkrivanju rakavih celic in imunitetnih bolezni ter v živilski industriji za pregledovanje prisotnosti morebitnih tujih organizmov v hrani. V preprostem pretočnem

citometru celice ena za drugo potujejo skozi ozko kapilaro, ki jo osvetljujemo s fokusiranim laserskim snopom (slika 15) [8].



Slika 15 Shematski prikaz delovanja pretočne citolize. Levo imamo kot izvor svetlobe modri laser, ki presvetli celice v suspenziji. Na njih se žarek lahko ukloni, kar zaznamo preko direktnega detektorja, ali pa absorbira. Če celice absorbirajo fotone, se lahko fluorescentne molekule vzbudijo in ob sprostitvi emitirajo fotone. Emitirane fotone analiziramo preko različnih barvnih filtrov, tako da ločimo intenziteto posameznih valovnih dolžin. Iz teh meritev lahko tako določimo velikost celic in notranjo zgradbo. Možna je tudi ionizacija analizirane snovi, zato jo lahko po presvetlitvi s primernim poljem ločimo [8].

Na celicah se žarek lahko ukloni, kar zaznamo preko direktnega detektorja, ali pa absorbira. Če celice absorbirajo fotone, se fluorescentne molekule vzbudijo in ob sprostitvi emitirajo fotone. Emitirane fotone analiziramo preko različnih barvnih filtrov, tako da ločimo intenziteto posameznih valovnih dolžin. Iz teh meritev lahko tako določimo velikost celic in notranjo zgradbo [8].

Najbolj uporabljena laserja sta HeNe, rdeče barve z valovno dolžino 632 nm in rumene barve z 594 nm ter laser na ione argona, ki pa sveti modro svetlobo z valovno dolžino 488 nm. V zadnjih letih v metodo pretočne citometrije vključujejo tudi diodne laserje, ki oddajajo svetlobo vijolične, modre in rdeče barve [8].

Laserski operativni posegi

Področje uporabe laserjev v operativne namene je zelo raznoliko. Uporabljajo ga za rezanje tkiv, izparevanje tumorjev, odstranjevanje tetovaž, odstranjevanje kožnih defektov, zatiranje prekomerne poraščenosti, vrtanje zob ter izboljšanje vida. V veliki večini posegov uporabljamo iste procese kot pri obdelavi kovin, kjer uparimo ali stalimo obdelano površino in ji po potrebi dodamo drugo snov. V preostalih primerih, kjer ne želimo poškodovati tkiva, z lasersko svetlobo povzročimo fotokemične procese, ki služijo za aktivacijo zelenih celičnih procesov [7].

Pri operativnih posegih moramo zelo dobro poznati absorpcijske lastnosti tkiv ter reakcije na določene valovne dolžine in intenzitete uporabljene svetlobe. Tako pri korekciji vida uporabljamo pulzni Excimerski laser, kjer postopoma odstranjujemo dele leče, ne da bi pri tem toplotno poškodovali lečo. Pri odstranjevanju tetovaž uporabljamo rubinov laser, saj večina črnih močno absorbira svetlobo z valovno dolžino 694 nm. Absorpcija povzroči segretje črnila in posledično povečanje prostornine, zato

kapsula, v katero je ujeta črnilo, počí. Tkivo absorbira razlito črnilo in ga pošlje v krvni obtok ter kasneje izloči iz telesa. Koža je prozorna za tovrstno valovno dolžino, kar posledično ne pusti nikakršnih destruktivnih posledic. Če želimo zdraviti kožne defekte uporabimo infrardečo svetlobe. Za bolj selektivne namene lahko pacientu vbrizgamo fotoobčutljive materiale, ki se selektivno vežejo na želeno tkivo, kar poveča absorpcijske lastnosti tkiva. Na tak način rešujemo težave, kot so celična degeneracija, razširitev žil (slika 16), odstranjevanje brazgotin in gub [7].



Slika 16: Fotografija pacientove noge pred laserskim posegom za manjšanje žil in fotografija po 6 mesečnem okrevanju po izvršeni operaciji [9].

9. Kemijske aplikacije

Razvoj pulzних laserjev je močno pripomogel k razvoju fotokemije, ki sloni na interakciji svetlobe s snovjo. To področje zajema kemijsko spektroskopijo in fotoanalizo, kjer preučujemo dinamiko kemijskih procesov. S pulznimi laserji, kot so npr. barvilni, lahko s pikosekundnimi bliski posnamemo kemijske procese, ki se odvijajo v ekstremno kratkih časih reda nekaj ns. [1]

S pomočjo laserjev lahko tudi vodimo ali spreminjamo kemične reakcije. V kolikor spodbujamo molekulo s primerno valovno dolžino in frekvenco pulzov, lahko pohitrimo ali celo spremenimo smer reakcije [1].

S pomočjo vzbujanja molekul in vodenja reakcij lahko na preprost način tudi ločujemo izotope. Metoda je najbolj razširjena pri ločevanju uranovih izotopov. Sprva mešanico U^{235} in U^{238} uparijo, nato U^{235} z laserjem dvignejo v vzbujeno vibracijsko stanje, ki kasneje lažje absorbira nova dva fotona, ki ga posledično ionizirata. U^{235} nato s pomočjo magnetnega polja ločijo in tako pridelajo višjo koncentracijo urana [1].

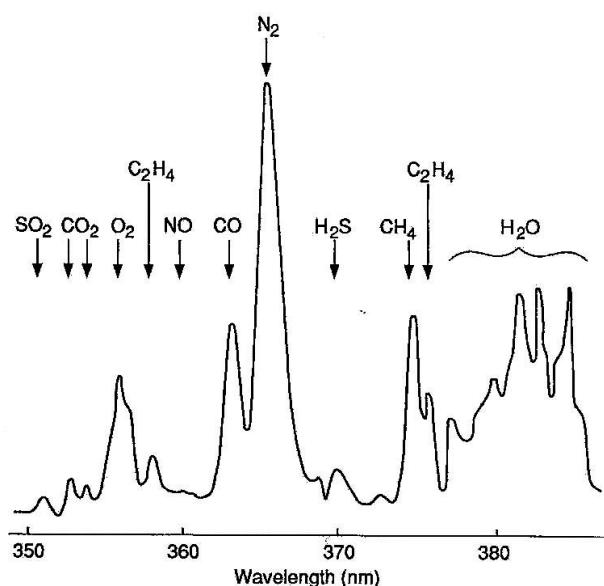
10. Aplikacija laserja v spektroskopiji

Laserska spektroskopija je čedalje bolj prisotna v vseh vejah znanosti. Kot smo že videli v poglavju uporaba laserjev v medicini, s pretočno analizo lahko analiziramo tipe celic v vzorcu. Uporabo laserske spektroskopije v kemiji smo že opisali v prejšnjem poglavju, kjer smo si ogledali lasersko opazovanje kemijske dinamike. Ena poglobitnejših rab laserja v spektroskopiji je tudi analiza okolice.

Glavni namen te metode je analiza zračne sestave večjih površin oziroma večjih količin atmosfere v čim krajšem času. Navadne metode, kot je jemanje vzorcev in kasnejša laboratorijska analiza, so zamudne in morebiti tudi nevarne. Pomanjkljivost tovrstnih metod je diskretno jemanje vzorcev, v katerih se lahko koncentracija snovi ob različnih višinah močno spreminja. Zaradi tega je uporaba laserjev primernejša, saj lahko iz neke stacionarne točke analiziramo v realnem času velik del atmosfere. Najbolj uporabljene metode so lidar, Ramanova spektroskopija, resonančna fluorescenca in dial [1].

Lidar (ang. light detection and ranging) deluje tako, da pošljemo pulz svetlobe, ki se posledično odbije od tarče na detektor. Glede na moč signala in čas preleta lahko določimo koncentracijo vnaprej določene snovi kot funkcijo prostora [1].

Princip Ramannove spektroskopije sloni na širšem delavnem območju laserjev, kjer imamo širši spekter emitirane svetlobe, tako da lahko zaznavamo več tipov molekul ob eni meritvi (slika 18).



Slika 17: Spektar koncentracije molekul prisotnih v ozračju nad dimnikom tovarne. Meritev je bila izvedena z eno samo meritvijo in predstavlja razmerje koncentracij spojin nastalih v peči tovarne primešanim z okoljskim zrakom nad dimnikom [1].

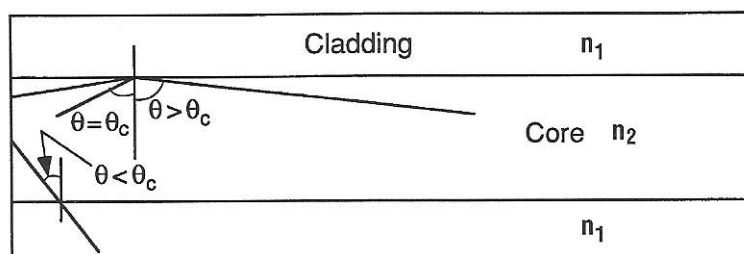
Podobno kot lidar tudi princip resonančne fluorescenca sloni na detekciji koncentracije določene molekule v ozračju. S primerno valovno dolžino spodbudimo fluorescenco molekul v ozračju, ki jo zaznamo s pravilno zasnovanim teleskopom. Na tak način določajo koncentracijo izpušnih plinov nad tovarnami in drugimi rizičnimi lokacijami.

Pri metodi, imenovani dial (differential absorption laser backscatter), merimo absorbcijo svetlobe. Metoda ni primerna za merjenje na velikih razdaljah, saj potrebujemo na eni strani vzorca izvor svetlobe, na drugi pa detektor, ki zaznava intenziteto prepuščene svetlobe. Iz znanih absorpcijskih lastnosti molekul, lahko tako določimo sestavo zmesi [1].

11. Optična vlakna

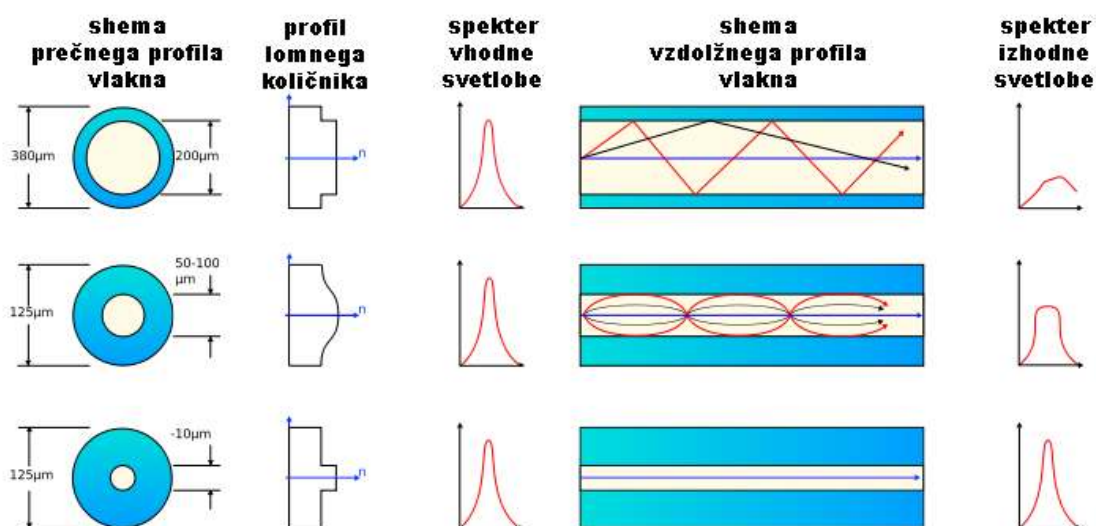
Optična vlakna služijo za prenos laserskega žarka na želeno mesto. Njihova poglavitna raba je zagotovo prenos informacij. Zadnja leta se njihova uporaba pojavlja tudi pri prenosu laserskih žarkov

višjih energij, ki so potrebni za procesiranje materialov, razvijajo pa se tudi senzorji, s katerimi merimo količine določenih snovi, temperaturo, pospešek, vibracije, tlak, pretok, kotno hitrost, magnetno polje, vse parametre, ki bi utegnili spremeniti širjenja svetlobe v vlaknu. Vlakna so navadno zgrajena iz sredice z lomnim količnikom n_2 , ki ga obdaja material z drugačnim lomnim količnikom n_1 , za katerega velja, da je $n_2 > n_1$ (slika 19) [1].



Slika 18 Shema optičnega vlakna, kjer je jedro snov z lomnim količnikom n_2 in ovojnica z lomnim količnikom n_1 . Na levi strani sheme so narisani možni koti vpada svetlobe. Če kot upada θ preseže kritični kot θ_c , se ta ne lomi in pobegne iz vlakna [1].

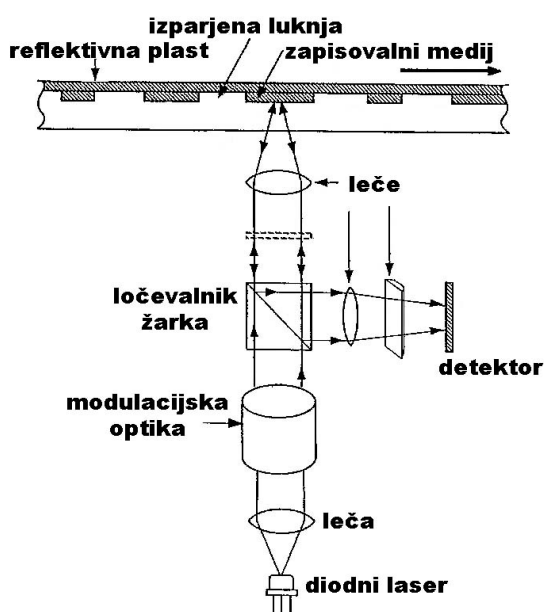
Optična vlakna lahko v grobem delimo na tri tipe, in sicer mnogorodovna, enorodovna, obojna s stopničastim profilom lomnega količnika, in vlakna z zveznim profilom lomnega količnika (slika 20). Mnogorodovna se razlikuje po široki sredici, ki zajame velik snop žarka. Stroški proizvodnje so nizki, zato je zelo zanimiv produkt za množično uporabo pri prenosu informacij. Značilnost vlakna, katerega se lomni količnik zvezno spreminja, je ravno raznolikost proizvodov, saj s profilom lahko vplivamo na želene lastnosti žarka. Na tak način lahko ohranjamo ali poljubno spreminjamo polarizacijo na izhodu. V posebne namene, ko želimo zreducirati izgube na nullo, moramo izdelati vlakno z jedrom, ki meri le nekaj valovnih dolžin svetlobe, ki po njem potuje, tako da dobimo ozek snop, ki potuje le ravno. Zato tovrstnim vlaknom nadenemo ime enorodovna vlakna [1].



Slika 19 Shema treh tipov profila optičnih vlaken. Zgoraj je mnogorodovni profil, ki ima široko jedro in s tem omogoča manjšo natančnost pri pošiljanju signala v vlakno, srednji je zvezni profil, ki ima jedro s spremenljivim lomnim količnikom, za doseganje želenih rezultatov in na dnu še enorodovni profil, ki ima ozko jedro, vendar je brez izgub [10].

12. Širša uporaba laserske tehnologije

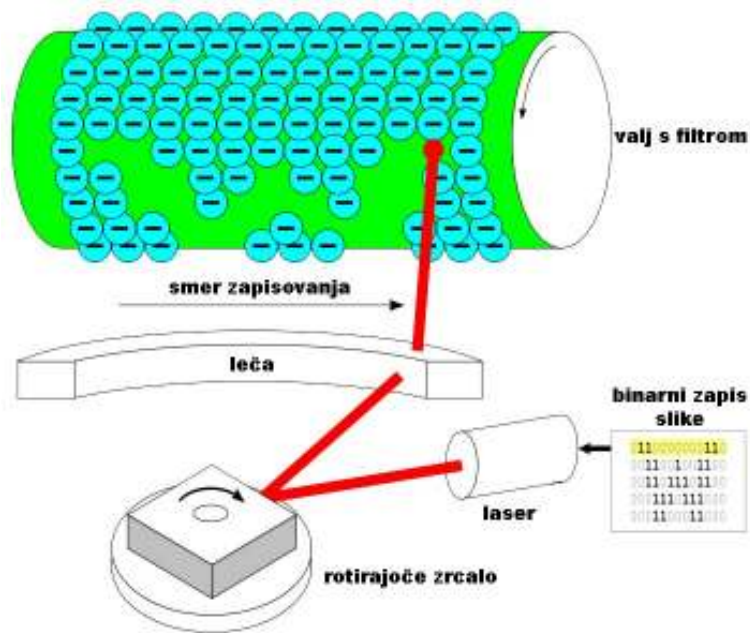
Doba, v kateri živimo, je doba informatizacije. K temu je močno pripomogla tudi iznajdba laserja, saj že ob samem začetku so razmišljali o možnih aplikacijah v informacijske namene. Preko optičnih vlaken, opisanih v prejšnjem poglavju, je moč prenašanja informacij. Poleg samega prenosa je bila potreba po enotah, ki bi shranjevale prejete podatke. Tako so se pojavile prve optično občutljive okrogle plošče, na katere med vrtenjem v krogu z lasersko svetlobo zapisujemo podatke. Zgoščenke (ang. CD), so se sprva na trgu pojavile kot enkrat zapisljivi medij. Med postopkov izdelave so nanjo napisali informacijo, ki jo je uporabnik lahko z laserskim čitalcem prebral in shranil na drugi medij. Malo za tem so se pojavili tudi prvi domači zapisovalniki zgoščenk (slika 21). Tako je lahko uporabnik shranil podatke na prazen medij. Tyle so narejeni iz polikarbonata, na katerega zapišemo informacijo tako, da z laserjem uparimo piko velikostnega reda uporabljenih valovnih dolžin. S tem, ko uparimo del sloja, se med branjem bralni laserski snop drugače ukloni, kar predstavlja logično 1 [1].



Slika 20: Shema delovanja zapisovalnika zgoščenk. S diodnim laserjem preko leče, ki razširi snop, posvetimo na modulator. S tem določimo ali z žarkom beremo informacijo ali jo zapisujemo. Če informacijo le beremo odbita svetlo od zapisa se prezrcali na detektor. V kolikor pa zapisujemo, z modulatorjem krmilimo intenziteto žarka in s tem določamo ali uparimo piko na zgoščenci ali ne [1].

Zaradi potrebe po večkratnem zapisovanju so razvili nove medije. Tako je prišel na trg nov medij, izdelan iz magnetooptičnega materiala. V tem primeru zapisovalni laser na majhni lokaciji spremeni magnetizacijo snovi in s tem ustvari zapis informacije. Ko posvetimo z bralnim laserskim snopom, se zaradi različne magnetizacije spremeni polarizacija svetlobe, kar zaznamo kot prej vpisan podatek. Vse skupaj lahko z magnetom povrnemo v prvotno stanje in tako izbrišemo vse, kar smo predhodno zapisali [1].

Poleg zapisovanja na zgoščenke se je med uporabnike zelo razširila uporaba laserskih tiskalnikov. Ti se od konkurenčnih tiskalnikov razlikujejo po hitrem delovanju in po veliki kapaciteti tiskanja. Delujejo tako, da električno prevoden valj, ki je prevlečen s fotoobčutljivim filmom, nabijemo na napetost -600 V. Prej vnesena informacija se preko vodenega laserja zapiše na valj, tako da na določenih lokacijah spremeni napetost valja. Na nevtralizirana območja se prime barvni prah, ki v naslednjem delu postopka nanese na papir in zapeče (slika 22) [1].



Slika 21 Shema delovanja laserskega tiskalnika. Vrstično pregledovanje binarno zapisane slike preklaplja laser. Prekinjajoči žarek se preko zrcala odbija na lečo, ki ga usmeri na točno določen fragment valja. Tam istem mestu, se zaradi fotoobčutljivega filtra, spremeni napetost valja. Enkrat, ko imamo zapisano sliko na valju, se nanj potrese prah, ki se razporedi na dele z višjo napetostjo. Tega prenesemo na papir, kjer ga segrejemo in zapečemo. Valj se ob naslednjem vrtljaju razelektri in je ponovno pripravljen na novo sliko [10].

Tretja oblika masovne uporabe laserjev je branje črtnih kod. S to tehnologijo se je klasifikacija produktov znatno pohitrila. S tem ko nadenemo na produkt identifikacijsko številko s primerno črtno kodo, ustvarimo neko referenčno sliko, ki jo s pomočjo laserja lahko hitro zaznamo. S tem ko posvetimo na črtno kodo, se zaradi različnih odtenkov odbija različna količina prvotnega žarka. Ko zajamemo odboj in segmentno analiziramo zajeto sliko, lahko določimo prebrano črtno kodo [1].

13. Zaključek

Dandanes so laserji uporabljeni v vsakem segmentu industrije. Čeprav je razvitih že veliko namenskih laserjev, še zdaleč niso pokrite vse možnosti uporabe.

Dve veji laserske uporabe sta šele v povojih. Prva je fuzija jeder devterija in tritija, pri čemer bi se sprostil ogromna količina energije ter nastalo helijevo jedro in nevtron. Z laserji skušajo mešanico segreti na temperaturo 10^8K [1], pri kateri bi reakcija potekla. Čeprav bi za vzpostavitev tolikšne temperature potrebovali veliko energije, pričakujejo, da bi sproščena energija krepko presegla potrebe za proizvodnjo goriva in gretja.

Druga veja, ki žene veliko znanstvenikov k raziskovanju, je optično procesiranje. Z njim obljublajo višje hitrosti procesiranja, nizko porabo energije in paralelno procesiranje, kar bi s časom zagotovo izpodrinilo običajno elektroniko [1].

14. Literatura

- [1] J. F. Ready, *Industrial Applications of Lasers* (Academic Press, London, 1997).
- [2] M. von Allmen, *Laser-Beam Interactions with Materials* (Springer-Verlag, Berlin, 1987).
- [3] <http://www.ies.org.sg>
- [4] <http://content.answers.com>
- [5] W. W. Duley, *Laser welding* (J. Wiley & Sons, New York, 1998).
- [6] <http://www.timbercon.com>
- [7] Y. Mendelson, *Laser Applications in Medicine* (J. Wiley & Sons, New York, 1999).
- [8] M. Rahmann, Introduction to Flow Cytometry, rokopis.
- [9] <http://www.melbournevascular.com.au/>
- [10] <http://sl.wikipedia.org/>
- [11] P. R. Rao, Laser isotope separation of uranium, rokopis.