

ZAPRTI MINI TEA CO₂ LASER ZA UPORABE V MERILNI TEHNIKI

Jožef Hozjan, Iskra Elektrooptika d.d., 61000 Ljubljana, Stegne 7

SEALED-OFF MINI TEA CO₂ LASER FOR METROLOGY APPLICATIONS

ABSTRACT

Sealed-off mini TEA CO₂ laser is presented which is suitable for metrological applications in IR techniques and optics, for laser rangefinders and for measurements in molecular spectroscopy. Sealed-off laser system makes possible autonomous and long life operation and its use in different measurement systems.

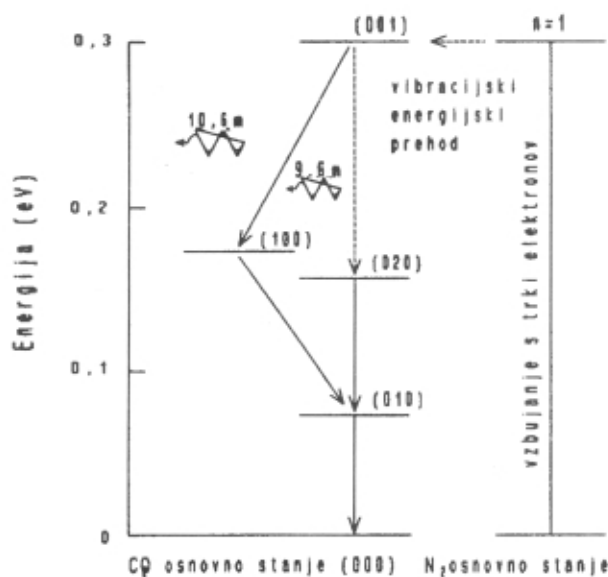
POVZETEK

Predstavljen je zaprti mini TEA CO₂ laserski izvir, primeren za uporabo v razdaljemerih, za meritve v IR tehniki in IR optiki in za meritve v molekularni spektroskopiji. Zaradi čim širše možne uporabe v različnih merilnih sistemih je plin v laserju zaprt in delovanje avtonomno in dolgotrajno.

CO₂ LASER

Tako kot vsi drugi, tudi CO₂ laserji porabljajo električno energijo in oddajajo manj moči v obliki sevanja. Ta laserska svetloba ima valovne dolžine okrog 10 mikrometrov. Razlika med vhodno in izhodno močjo je odvečna toplota, ki jo je potrebno odvesti. Za povečanje izhodne energije je potrebna večja vhodna energija, vendar tehnične in fizikalne ovire omejujejo količino vložene energije. Izbira načina hlajenja pomeni tudi izbiro določenega tipa laserja, kot so sistemi: zaprti, hitropretočni in pulzni.

CO₂ laser deluje z izmenjavo energije med nizko ležečimi vibracijsko-rotacijskimi energijskimi nivoji molekule CO₂ (slika 1). Molekule z višjim energijskim stanjem prehajajo s sevanjem v vibracijske energijske nivoje z nižjo energijo. Energijska razlika med zornimi in spodnjimi nivoji se konvertira v



Slika 1. Diagram energijskih nivojev CO₂ laserja

infrardeče sevanje. Zgornji nivoji so vzbujani z električno razelektrivjo iz osnovnega stanja ali z resonančnim prehodom z vibracijsko vzbujenega dušika. V obeh primerih je vhodna energija najmanj energija zgornjega nivoja. Po energijskem diagramu je maksimalni možni izkoristek 38%. To je le teoretična limita, ki je noben CO₂ laser ne doseže. Zelo dobro izgrajeni sistemi dosežejo maksimalno 20% vložene energije.

Laserski proces v CO₂ laserjih je občutljiv na temperaturo plinskih molekul v razelektrivju, to je v aktivnem sredstvu, kar dodatno zmanjšuje izkoristek. Večje vlaganje moči v plin dviguje njegovo temperaturo in s tem tudi termalno populacijo nižjega laserskega nivoja. Posledica je večja izguba sevanja zaradi absorpcije v nižjih nivojih. V praksi se to opazi tako, da se z večanjem vložene energije najprej opazi naraščanje izhodne moči do določenega nivoja, ko temperatura plina doseže več kot 150°C, pa izhodna moč začne padati.

Zmožnosti sistema so torej v celoti odvisne od načina odvajanja odvečne toplote iz sistema. Za to obstajajo tri osnovne metode. Najenostavnejša je uporaba toplotno prevodnega plina. Škodljiva odvečna toplota se odvede na hlajene stene posode, v kateri se nahaja razelektritev. S tako metodo so hlajeni kontinuirni laserski sistemi z izhodno močjo 100 W ali manj. Pri drugi metodi plin sam odvaja svojo lastno toploto s hitrim pretakanjem. To so tako imenovani hitropretočni sistemi, ki delujejo v kilovatnem območju. Tretja metoda izkorišča prednost toplotne kapacitete aktivnega sredstva. Uporabna je v pulzih sistemih pri višjih tlakih. Maksimalna vložena energija, spet je omejena s temperaturo plina, je cca 300 J na liter laserskega plina pri atmosferskem tlaku. Izhodna energija je potem okrog 40 J. Obe, vhodna in izhodna energija, pa sta proporcionalni gostoti plina.

PULZNI SISTEMI

Problem odvečne toplote v pulzih sistemih rešuje torej toplotna kapaciteta samega aktivnega sredstva. Ker je toplotna kapaciteta proporcionalna gostoti aktivnega sredstva, je prav tako maksimalna izhodna energija v pulzu proporcionalna gostoti.

Trajanje pulza je v največji meri določeno z relaksacijskimi časi vzbujenih molekul. Ker ti časi postajajo krajši pri višjih tlakih, je dolžina laserskega pulza prav tako odvisna od tlaka plina. Rezultat tega je, da je izhodna moč v vrhu proporcionalna s kvadratom tlaka. Pri višjih tlakih laserskega plina se tako dosežejo laserski pulzi z večjo energijo, z večjo močjo in s krajšo dolžino. Za nižje tlake plina je normalna stabilna, uniformna razelektritev. Pri višjih

tlakah jo je veliko težje doseči. Ko tlak narašča, preide razelektritev pri cca 66 mbar iz uniformne v obliki sija ali žara v nekontrolirano iskrenje. Takšne razelektritve pa so nestabilne, nehomogene in neprimerne za učinkovito vzbujanje molekularnih laserjev.

Elektromagnetno polje v razelektritvi je določeno z ravnotežjem med energijo pospešenja elektronov v električnem polju in energijo, ki jo elektroni izgubijo s trki, zato je polje inverzno proporcionalno prosti poti elektronov, to je sorazmerno gostoti. Za aksialne sisteme to pomeni uporabo izredno visokih napetosti, kar je zelo nepraktično. Pri transverzalno vzbujani razelektritvi, to je prečno na laserski žarek, so napetosti mnogo manjše. Prav tako je v tem primeru mnogo lažje ustvariti pogoje za stabilne razelektritve v siju ali žaru.

OSNOVNI PRINCIPI DELOVANJA TEA CO₂ LASERJA

O prvih transverzalno ekscitiranih plinskih laserjih pri atmosferskem tlaku (od tod ime TEA) so poročali francoski in kanadski znanstveniki /1, 2/. Odkrili so tehniko, kako vzdrževati stabilne razelektritve v obliki žara v mešanici CO₂-N₂-He pri normalnem tlaku. Napredek v tehniki vzbujanja je vodil od primitivnih metod omejevanja toka z upori do zelo izpopolnjenih UV-predioniziranih razelektritev in tehnik z e(elektronskimi)-žarki. Izboljšane metode so prispevale k večji gostoti moči in k večji celotni izhodni moči iz velikih volumnov.

Osnovni parameter za procese v plazmi v kvazi-stacionarnem režimu je razmerje med električnim poljem E in gostoto plina N. Ta parameter E/N je različen za različno predionizirane sisteme (UV ali e-žarek). Osnovna razlika med dvema tehnikama je stopnja ionizacije, producirana z ionizacijskim izvirom. V UV-predioniziranih sistemih ima razelektritev na začetku nizko elektronsko gostoto ($10^4 < n < 10^8$ cm⁻³). V uporabljenem električnem polju se začetni elektroni pospešijo do energije, ki zadošča za nadaljnjo ionizacijo razelektritve. Vrednost E/N je torej zadosti visoka, da v razelektritvi poveča ionizacijski plaz, dokler ni dosežena kvazi-stacionarna elektronska gostota. To je takoimenovana "samovzdrževana" razelektritev. V primeru tehnike z e-žarkom se ionizacija, ki naj vzdržuje razelektritev, producira z zunanjim elektronskim žarkom. Ta tehnika uporablja visokoenergijske elektrone (100-200 keV). Uporabljeno električno polje ali vrednost E/N je relativno majhno in praktično ne povzroča nadaljnje ionizacije, razelektritev ni "samovzdrževana". Velika prednost te tehnike je njena fleksibilnost in taka izbira električnega polja in plinske mešanice, da je izkoristek vzbujanja vibracijskih stanj z elektroni maksimalen. Prav tako je z njo možno realizirati velike sisteme pri multiatmosferskih tlakah. Pomanjkljivost e-žarkovne tehnike je cena in kompleksnost v primerjavi z UV sistemi. UV-predionizacija je zelo primerna za majhne sisteme.

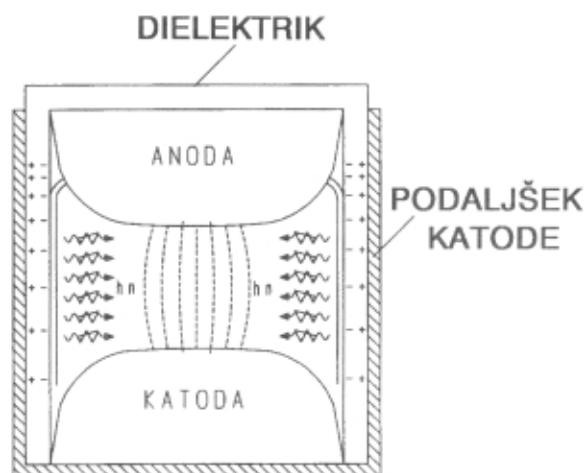
PREDIONIZACIJA

Predionizacija je torej del razelektritve in predhodnica glavne razelektritve. Potrebna je za produkcijo zadostnega števila nosilcev naboja, ki zagotovijo velik volumen glavne razelektritve v obliki žara in z veliko prostorsko uniformnostjo. Osnovna zahteva je, da zadostna gostota predioniziranih elektronov s prostorsko difuzijo tako imenovanih primarnih plazov zmanjša prostorski naboj ali polje gradientov do te mere, da pride do razelektritve v žar namesto v preboj. Minimalna zahtevana elektronska gostota za TEA lasersko razelektritev je 10⁴/cm³. Če je predionizacijsko vezje počasno, to je induktivno, je potrebno glavno razelektritev zakasnit, dokler se ne vzpostavi zahtevana minimalna elektronska gostota.

V razvoju predionizacije za naš laserski sistem smo šli skozi več razvojnih faz, osnova vsem pa je UV-predionizacija. Naloga je bila razviti UV-predionizacijo z maksimalnim izkoristkom.

PREDIONIZACIJA S KORONO

Eksperimentiranje s predionizacijo je pokazalo, da je predionizacija s korono zelo učinkovita in konstrukcijsko manj zahtevna. Izraz korona se čisto nanaša na fenomen, ki nastane v plinskem mediju v okolici prevodnikov z majhnim radijem, ki so na visoki napetosti. Močno električno polje na včasih neuniformni površini povzroča parcialne razelektritve v plinu iz bližnje okolice. Podobno stanje se vzpostavi, ko je v močnem električnem polju plošča iz dielektrika. Polje dielektrično ploščo polarizira in na njeni površini se vzpostavi močno električno polje. To polje prav tako povzroča korono in s tem parcialne razelektritve v plinu v bližnji okolici dielektrika (slika 2).



Slika 2. UV predionizacija s korono

Slika 2 prikazuje presek laserskega prostora pravokotno na optično os. Oblika profila anode in katode omogoča uniformno porazdelitev električnega polja po njuni površini. V trenutku, ko iz električnega vezja pripeljemo na elektrodi viso-

konapetostni pulz, se med njima vzpostavi močno električno polje. Kovinski podaljšek s katode na vsaki strani obdaja dielektrični plošči, ki sta v direktnem stiku z anodo. Med delovanjem visokonapetostnega pulza sta oba dielektrika izpostavljena zelo močnemu električnemu polju. Postaneta polarizirana, kot prikazuje slika 2. Na ta način visoka napetost na površini dielektrika ustvarja površinsko razelektritev s korono.

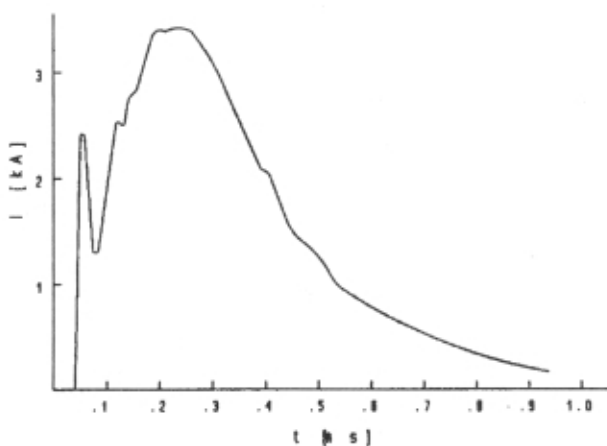
Tako formirane ione iz plina privlačijo dielektrične plošče, istočasno pa se formirajo tudi elektroni v plinski plasti ob dielektriku, še posebej pa v reži med dielektrikom in anodo. Ob zadostnem številu elektronov v plinu se pojavijo majhni tokovi, ki se hitro razvijejo v tokovne plazove. Zaradi neprevodnosti dielektrika je površinski naboj v smeri optične osi uniformen. Plazma, ki nastane v bližini dielektričnih plošč, formira kanal z dolžino elektrod in s tem glavno razelektritev - tok z anode na katodo.

Hitra sprememba toka zahteva napajalno vezje z nizko induktivnostjo, zaradi začetnega naraščanja toka

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U}{L} \quad (1)$$

kjer je U delovna napetost in L induktivnost vezja. Tok ne sme biti previsok. V primeru, ko je $U/L > 10^{10}$ V/H, sevanje, izhajajoče iz plazme, segreje in upari površino dielektrika ali na njegovo površino napari katodni material in ustvari prevodno plast. Za lasersko delovanje je ustrenejši režim razelektritve, ko je $U/L < 10^{10}$ V/H /3/.

Slika 3 prikazuje časovni potek oblike predionizacijske razelektritve s korono in glavne razelektritve za primer TEA CO₂ laserja.



Slika 3: Časovni potek predionizacije in glavne razelektritve

Prvi manjši tokovni pulz s trajanjem cca 25 ns pomeni predionizacijo. Ta tok je vsota površinskih tokov in premikalnega toka v dielektriku. Drugi pulz je glavna razelektritev. Optimalen sistem zahteva

primerno porazdelitev toka v oba pulza. Če predionizacijski tokovni pulz oddaja več svetlobe, kot je potrebno, je predionizacijska energija prevelika na račun glavne razelektritve, ki skrbi za vzbujanje laserja. Velikost toka v vsakem izmed pulzov je odvisna od več fizikalnih parametrov: dielektričnega materiala, dolžine dielektrika med anodo in katodo, debeline dielektrika, vrednosti V/L za vezje, tlaka in sestave plina. Za vsak laser te vrednosti določimo eksperimentalno.

Raziskava spektra korone v čistem CO₂ kaže zelo majhne intenzitete svetlobe /3/. V primerjavi s tem vsebuje spekter korone v čistem N₂ znatno večjo intenziteto svetlobe v območju 100 do 200 nm. Merjenje absorpcije v CO₂ je pokazalo zelo močno absorpcijo svetlobe pod 115 nm. Ta potem pade na nekaj cm⁻¹ bar⁻¹ v 10 nm pasu, centriranem okrog 120 nm. Nad 120 nm absorpcija močno naraste, nato pe spet pade na 2 cm⁻¹ bar⁻¹ pri 160 nm in se zmanjšuje, dokler pri 195 nm ne pade na zanemarljive vrednosti /4/. Torej samo fotoni v oknih 117nm <λ<124 nm in λ>160 nm lahko zadostno penetrirajo skozi CO₂. To je v skladu z ugotovitvami Kaminskega /3/, da so s CO₂ bogate mešanice slabo UV aktivne pod 155 nm v primerjavi s tistimi s koncentracijo CO₂ 10% ali manj. To je glavni razlog, zakaj s korono predionizirani CO₂ laserji dajo najboljše rezultate v plinskih mešanicah z nizko koncentracijo CO₂.

Za opisani laser smo razvili in izdelali koronski predionizator iz macorja (slika 4).



Slika 4. Koronski predionizator iz keramike macor

ELEKTRODE ZA HOMOGENO RAZELEKTRITEV

Za uniformno, homogeno razelektritev je poleg učinkovite predionizacije bistvenega pomena oblika elektrod za glavno razelektritev. Uniformna porazdelitev polja je pomembna za vlaganje čim večje energije in za širino razelektritve, ki mora biti primerljiva z razmikom med elektrodami, če naj bo ekstrakcija energije čim večja. Profil Rogowskega, v katerem so negladko povezani trije segmenti, ni najboljša rešitev:

$$y = \frac{\pi}{2} + ce^{-x}, \quad y = \frac{\pi}{2}, \quad y = \frac{\pi}{2} + ce^x \quad (2)$$

kjer sta x in y koordinati, ki opisujeta presek profila. Ti profili niso kompaktni in njihova uniformnost ni zanesljiva, ker so le empirična aproksimacija.

Analitično rešitev je predlagal Chang /5/. Predstavil je rešitev za uniformne elektrode s samo hiperboličnimi funkcijami. Formule omogočajo oblikovanje elektrod za vsak razmik s specificirano uniformnostjo, izdelava pa je možna na numerično krmiljenem rezkalnem stroju. Predlagal je naslednjo konformno preslikavo:

$$\zeta = \omega + k \sinh \omega \quad (3)$$

kjer sta $\zeta = x+iy$ in $\omega = u+iv$, x in y sta prostorski koordinati profila elektrode, u je funkcija fluksa, v funkcija potenciala in $k > 0$. V ravnini ω je ekvipotencialna ravnina, dana s konstantno vrednostjo v in s spreminjanjem spremenljivke u . V ravnini ζ je odgovarjajoča ekvipotencialna površina v skladu s (3):

$$x = u + k \cos v \sinh u, \quad (4)$$

$$y = v + k \sin v \cosh u, \quad (5)$$

kjer je $|v| < \pi$. Videti je, da sta ti ekvipotencialni ravnini simetrični na os y , medtem ko sta ekvipotencialni ravnini za v in $-v$ zrcalni sliki.

Iz gornjih enačb se da izračunati oblika uniformnih elektrod za želeni volumen razelektritve. V praksi je elektroda trodimenzionalna. Ker konformna transformacija direktno ne more generirati tridimenzionalnega profila, se zadovoljimo s sestavljenim profilom. Pri tem obravnavamo elektrodo, ki je dolga v z in ozka v x dimenziji. Profil yz v ravnini pri $x=0$ z maksimalno ravnim profilom polja se lahko izračuna tako, da se v gornjih enačbah in izračunu, ki jim sledi, x zamenja z z . To se izvede za vse vrednosti v vzdolž z osi.

V našem primeru je bil za elektrode izbran in izračunan Changov profil s karakterističnim faktorjem $k=0,07$. Ta faktor posredno določa geometrijsko širino elektrode, predvsem pa širino homogene razelektritve. Izračun je bil narejen za volumen razelektritve $10 \times 10 \times 100$ mm. Changov profil je uporabljen v prečni smeri elektrode in je konstanten po celi dolžini, ki prispeva k razelektritvi. Preskusi so pokazali, da spreminjanje Changovega profila po dožini naše relativno kratke elektrode ne prispeva bistveno k uniformnosti polja. Na konceh je profil elektrode radialno zaključen.

Elektrode so bile izdelane na NC stroju s korakom (10/265)mm. Dolžina elektrode je bila 125, širina 25,4 in višina 10 mm. Potrebno gladkost smo dosegli z ročnim poliranjem.

PLINSKA MEŠANICA

Kot je že bilo rečeno, je plinska mešanica sestavljena iz plinov He, CO₂ in N₂. Laserski efekt dobimo pri prehodu molekule CO₂ iz stanja 001 v stanje 100

(slika 1). Selektivno vzbujanje zgornjega laserskega nivoja se izvrši z vibracijskimi nivoji molekule N₂ preko elektronskih trkov. Vzbujene molekule potem z resonančnim prehodom predajo energijo asimetričnemu 001 modusu molekule CO₂. Depopulacija spodnjega laserskega nivoja 100 se izvrši z resonančnim prehodom energije na vibracijski nivo 010 molekule CO₂, ki mu sledi relaksacija s trki He atomov. Helij torej skrbi za učinkovitejše vračanje molekul CO₂ v osnovno stanje in zaradi dobre toplotne prevodnosti posredno tudi za hlajenje plinske mešanice.

Ekperimentalno ugotovljena mešanica za opisani zaprti TEA CO₂ laser, predioniziran s korono, je He:CO₂:N₂ je 7:2:1. Ta mešanica se lahko med laserji za nekaj procentov razlikuje, zato jo je potrebno določiti za vsakega posebej.

KATALIZATOR

V razelektritvi v plinski mešanici pride do disociacije molekul CO₂. Koncentracija plina CO₂ se zmanjša, poveča se koncentracija CO in O₂, kar začne vplivati na normalno delovanje laserja in zmanjšuje izhodno energijo. Prvotno razmerje se lahko vzpostavi z dovajanjem sveže mešanice, če je laser pretočen, ali z nekim mehanizmom, ki zagotavlja ponovno sintezo molekul CO₂, če je laser zaprt. Tak katalizator je lahko temperatura cca 850°C, ali drugi homogeni (dodatki H₂ in plina CO) in heterogeni dodatki. Najbolj pogosto se uporabljata katalizatorja Pt-SnO₂ in Pd-SnO₂ /6/, ki sta aktivna že pri -27°C.

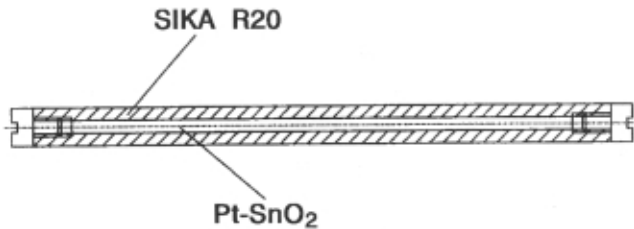
Molekule CO₂ v razelektritvi vedno disociirajo, zato je obstojnost zaprtih CO₂ laserjev najbolj pogosto omejena z ireverzibilnimi kemijskimi procesi disociacijskih produktov, kot so CO, O in C, ter ujetjem molekul plina v katodi. Posledica je postopno zmanjševanje izhodne moči in energije. Dovajanje sveže mešanice zaprti sistem izključuje. Mehanizem, ki zagotavlja ponovno sintezo molekule CO₂, je primeren katalizator.

Za naše potrebe je bil na FNT Oddelku za kemijo razvit katalizator Pd-SnO₂. Izdelan in testiran je bil v obliki prahu. Njegova aktivnost je cca $1,2 \cdot 10^{-4}$ ls⁻¹g⁻¹ in je primerljiva s podatki iz literature. Aktivnost pomeni volumsko črpalno hitrost katalizatorja za O₂ na enoto mase katalizatorja.

Ta oblika ni primerna za zaprti sistem laserja, zaradi raztresanja prahu po njegovi notranjosti. Prah povsem pokvari razelektritvene karakteristike in reflektivnost zrcal. Velika energija laserskega sevanja znotraj optičnega resonatorja enostavno prsmodi prah na zrcalih in jih tako uniči.

V zaprtem laserju je uporaben le katalizator v obliki delcev z velikostjo 50 mikrometrov in več, zaprt v porozno nerjavečo jekleno sintrano cev SIKA R 20, ki prepušča le delce manjše od 20 mikrometrov (slika 5).

Potrebno količino katalizatorja v zaprtem laserju določimo z naslednjimi parametri:



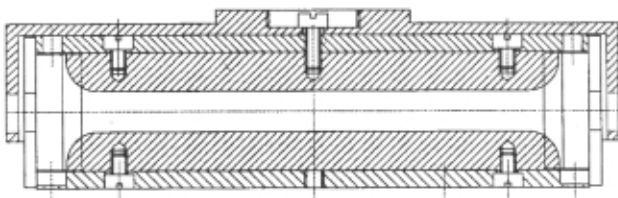
Slika 5. Porozna cev SIKA R 20, napolnjena s katalizatorjem Pd-SnO₂

$$NQ = p w A \quad (6)$$

kjer je N število strelav na sekundo, Q je količina O₂, ki se generira pri enem strelu, p je maksimalni dopustni parcialni tlak O₂, w je masa katalizatorja in A aktivnost katalizatorja.

RAZELEKTRITVENI MODUL

Po opisanih spoznanjih je bil konstruiran in izdelan prototip razelektritvenega modula za zaprti sistem TEA CO₂ laserja. Sestavljen je iz spodnje nosilne plošče za katodo in zgornje nosilne plošče za anodo, med njima sta keramična distančnika iz macorja, iz dveh glavnih razelektritvenih elektrod s Changovim profilom, iz predionizatorja iz keramike macor in dveh prevodnih plošč v direktnem stiku s katodo. Prikazuje ga slika 6.



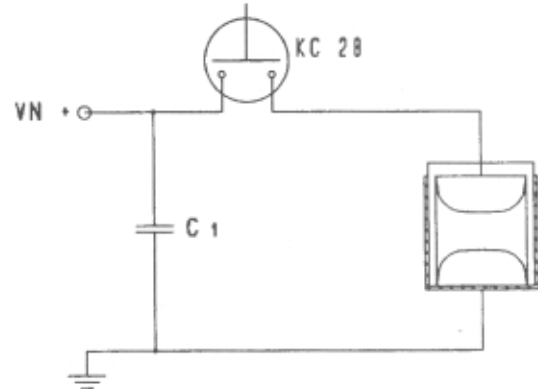
Slika 6. Razelektritveni modul

ELEKTRIČNO VEZJE ZA VZBUJANJE RAZELEKTRITVE

Osnovni princip napajanja TEA CO₂ laserja je tak, da se zaloga energije v visokonapetostnem kondenzatorju preko visokonapetostnega stikala izprazni v razelektritev v plinski mešanici. Poleg visokonapetostnega napajalnika potrebuje tak laser za vzbujanje vezje za formiranje laserskega pulza. Karakteristični za razelektritveno vezje za TEA CO₂ laser so nizka induktivnost, hitri napetostni in tokovni "rise time", visoka napetost in visoki tokovni pulzi nekaj kA. Eden od problemov pri oblikovanju takega vezja je zadovoljiti omenjene zahteve, ne da bi prišlo do preobremenjenosti glavnih komponent. Te komponente so: kondenzator za shranjevanje energije, stikalo (značilno je iskrišče, visokonapetostni rele ali tiratron) in glavne elektrode.

Vezje za napajanje laserja s polprevodniško in koronsko predionizacijo pa je dokaj enostavno (slika 7). Kot stikalo je uporabljen rele KC-28 firme Kilovac, ki se da preklapljati z nizko napetostjo.

Za potrebe napajanja TEA CO₂ laserja je bil razvit visokonapetostni kondenzator KLI 2125 KP, 12 nF, 25 kV v Iskri, Semič.



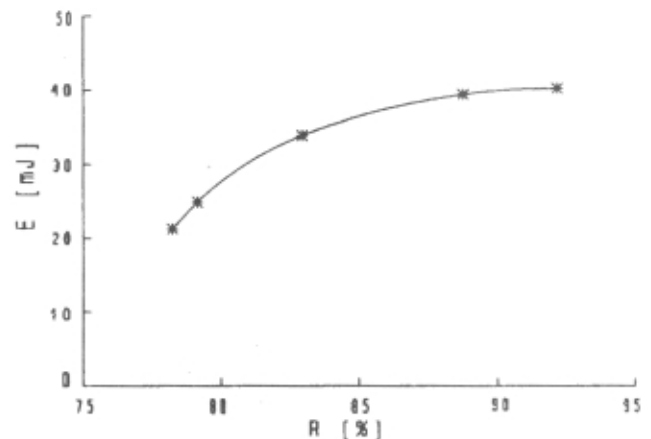
Slika 7. Napajalno vezje za TEA CO₂ laser s koronsko predionizacijo

VISOKONAPETOSTNI NAPAVALNIK

Visokonapetostni napajalnik je izveden v "switching" tehniki. Napajanje je baterijsko, 24 V. To napetost pretvori napajalnik v enosmerno napetost, nastavljivo od 10 do 25 kV. Njegova moč je 15 W, kar omogoča delovanje laserja z repeticijo 4 pulze na sekundo.

OPTIČNI REZONATOR

Resonator za obravnavani laser je sestavljen iz visokoreflektivnega Si zrcala z radijem 5 m in iz prepustnega ravnega zrcala iz Ge, katerega prepustnost smo določili eksperimentalno in je 88 % (slika 8) pri valovni dolžini 10,6 mikrometrov.



Slika 8. Odvisnost izhodne energije E od reflektivnosti R pri sestavi plinov He:CO₂:N₂=50:30:8; C₁=12,2 nF, U=18 kV

To je hemisferična konfiguracija. Nosilec resonatorja je kar ohišje laserja. Zrcali sta nameščeni na prečnih straneh ohišja v razdalji 205 mm.

ZAPRTO OHIŠJE LASERJA

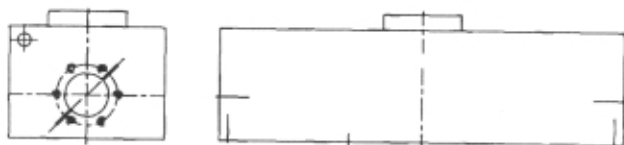
Izraz zaprti laser pomeni, da je njegovo delovanje, kar se tiče plina, avtonomno in ga ni treba dovajati od zunaj. Kot tak lahko deluje samostojno ali ga vgradimo v sistem. Za zaprti laser je potrebno primerno ohišje, ki trajno zadrži vse sestavne pline. To je še posebej pomembno za He, ki med vsemi plini najlaže uide.

Za ohišje so bile zato postavljene naslednje zahteve:

- Materiali za ohišje laserja in za laserski modul naj bodo čim bolj kemijsko inertni, da ne spreminjajo kemijske sestave plinske mešanice v laserju z lastnim odparevanjem ali s sintezo disociacijskih produktov laserskih plinov. Ker je laser zaprt, naj bodo vsi sestavni deli primerni za zahtevno čiščenje.
- ohišje mora biti tesno na He
- mehansko trdno in temperaturno malo raztezno, ker je istočasno nosilec optičnega laserskega resonatorja
- izvedba resonatorja mora omogočiti justiranje zrcal
- ohišje naj bo razstavljivo, plinska mešanica pa zamenljiva po preteku obstojnosti laserja.

Ohišje je sestavljeno iz dveh glavnih delov: osnovna plošča je obenem tudi nosilec laserskega razelektrivnega modula pokrov rabi kot nosilec resonatorja, nosilec VN skoznika za dovod visoke napetosti in priključne cevi za polnjenje laserja z mešanico plinov (slika 9).

Ohišje je izdelano iz nerjavečega jekla 4572, in je na razstavljivih mestih tesnjeno s vakuumskimi spoji CF in s tesnili iz bakra OFHC.



Slika 9. Pokrov ohišja laserja

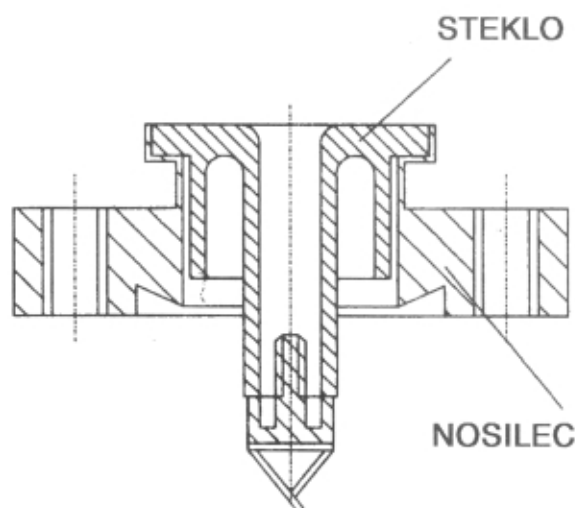
VAKUUMSKO TESNI SPOJI

Dolgotrajno, zanesljivo delovanje zaprtega laserja zagotavlja ohišje, ki se da dobro očistiti, je mehansko trdno, ustreza potrebnim klimomehanskim testom in se da vakuumsko tesno zapreti. To je, kot že rečeno, posebej važno zaradi prisotnosti He v plinski mešanici. Puščanje He v zanesljivem ohišju ne sme biti večje od 10^{-8} mbar l/s. Takšno ohišje je možno realizirati s kombinacijo zgoraj omenjenih izbranih materialov: primerne kovine, stekla in potrebne optike za laserski resonator. Za vakuumsko

tesno zapiranje ohišja so potrebni vakuumsko tesni spoji med naštetimi materiali in elementi laserja. V ta namen smo razvili naslednje spoje skupaj s pripomočki, določeno opremo in tehnologijo:

- (1) Var kovina-steklo za prenos energije iz visokonapetostnega kondenzatorja skozi kovinsko ohišje v razelektrivni modul

Ta spoj je uporabljen na dveh mestih na visokonapetostni prevodnici (slika 10). Na stekleni visokonapetostni izolator je na eni strani privarjen nosilec prevodnice, na drugi pa sama prevodnica.



Slika 10: Visokonapetostna prevodnica za 25 kV

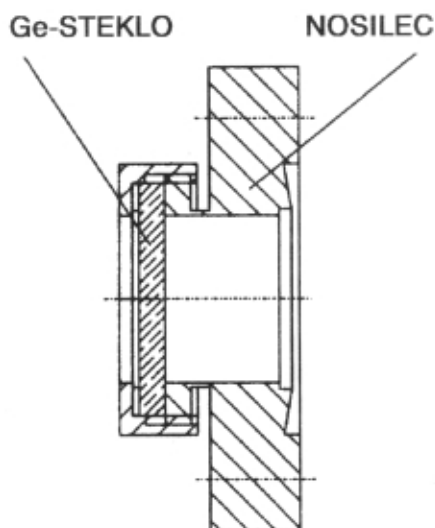
Spojna materiala milvar in steklo 8250 imata dobro prilagojen temperaturni raztezek. Tehnologija varjenja je dobro poznana v vakuumski tehniki. Vsak var nastane v induktivni zanki visokofrekvenčnega generatorja. Notranje napetosti je potrebno popustiti s kontroliranim ohlajanjem od 500°C navzdol v primerni peči.

- (2) indijev spoj germanijevega zrcala in kovinskega nosilca za izhodno zrcalo laserskega resonatorja

Razvili smo dva tipa In spoja. Prvi je visokotemperaturni. Ta zahteva polirani in pozlačeni kontaktni površini. Velja tako za nosilec iz jekla 4572 kot za Ge zrcalo. Kontaktno površino nosilca elektrolitsko pozlatimo v vodni raztopini $\text{KAu}(\text{CN})_2$. Sledi segregiranje nekaj ur na 300°C v vakuumu 10^{-5} mbar, zaradi desorpcije vlage iz zlate plasti [7]. Na kontaktni kolobar Ge zrcala naporimo primerno debelo plast Au. Med obe spajani površini vložimo obroček iz In s čistoto 99,99 %. Tako sestavljeni spoj segrevamo po časovno temperaturnem programu do 230°C in popustimo. Nastali evtektik je vakuumsko tesen in mehansko dobro veže obe spojeni površini. Odporen je na temperaturne šoke (pri testih na 77K) in na višje temperature do 300°C . Puščanje spoja je manjše kot ga zazna He detektor netesnosti z območjem $2 \cdot 10^{-10}$ mbar l s⁻¹. Ta spoj je posebej primeren za doseganje visokega

vakuuma, ko je potrebno vakuumsko napravo med črpanjem segreti na višjo temperaturo zaradi desorpcije vlage.

Drugi tip In spoja je hladni kompresijski spoj med nosilcem in zrcalom. Površina Ge zrcala je obdelana enako, vendar plast Au ni potrebna. Površina nosilca je fino postružena z obdelavo 4, in to v eni potezi, kot da je v površino vrezana fina spirala z majhnim korakom. Pri zapiranju med spajanca vložimo obroček iz čistega In in ju stisnemo s privijanjem matice (slika 11).



Slika 11. Kompresijski spoj z In

Pri tem je posebej važna čistoča, ki jo dosežemo z organskimi topili in jedkanjem In v HCl. Omenjeni spoj je temperaturno manj vzdržljiv, vendar povsem odgovarja zahtevam v območju od -40 do 125°C . Puščanje He je v območju 10^{-9} mbar l s^{-1} .

- (3) Indijev spoj bakra in kovinskega nosilca za visokoodbojno zrcalo

Tehnologija izdelave je enaka kot pri visokotemperaturnem spoju kovinskega nosilca in Ge zrcala.

- (4) Trdo spajkani spoj bakrene črpalne cevi z ohišjem iz nerjavečega jekla

Bakrena cevka se s trdo spajko iz Ag-Cu prispajka pri 750°C na ohišje laserja. Spoj je trden in zanesljiv glede puščanja.

- (5) Nestandardna oblika vakuumskega spoja CF za spoj med osnovno ploščo in pokrovom ohišja

Spoj sicer upošteva zakonitosti spoja CF, vendar je oblikovan po ohišju in zato odstopa od standardne cirkularne oblike. Tesnilo je iz bakra OFHC. Od vseh vakuumskih spojev na ohišju je ta, predvsem zaradi posebne oblike in seveda velikosti, najbolj kritičen.

Drugi vakuumski CF spoji ohišja z nosilci zrcal in visokonapetostne prevodnice so konstruirani po standardih. Tesnila so prav tako iz bakra OFHC.

- (6) Kompresijski spoj bakrene črpalne cevi - hladni var

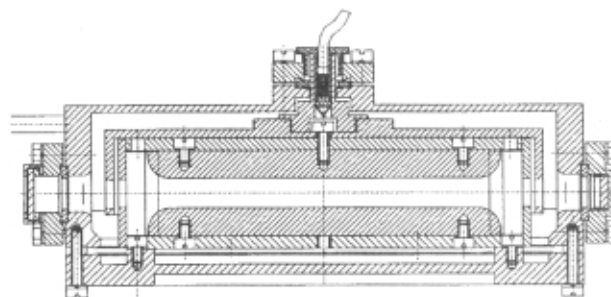
Ta spoj je v vakuumski tehniki elektronk in plinskih laserjev standarden. Izvedemo ga s stiskanjem kovinske stene cevi s posebnimi kleščami do mere, ko cev na stisnjem delu razpade na dva dela. Vsi spoji so bili testirani na puščanje helija. To je bilo pri vseh manjše od 10^{-9} mbar l/s . Vsi so tudi vzdržali temperaturne teste od -30 do 120°C .

ZAPRTI TEA CO₂ LASER

Z opisanimi podsestavi in tehnologijo sestavljen zaprti TEA CO₂ laser prikazujeta sliki 12 in 13.

Proces zapiranja laserja je zaporedje določenih postopkov.

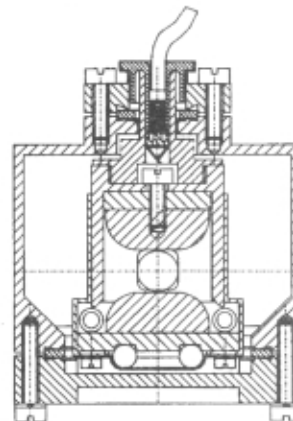
Sestavljenemu laserju se s pomočjo HeNe laserja najustira resonator. S helijevim detektorjem puščanja se preveri tesnost vseh spojev. Puščanje sme biti manjše od 10^{-8} mbar l/sek . Tako sestavljen laser



Slika 12. Vzdolžni presek TEA CO₂ laserja

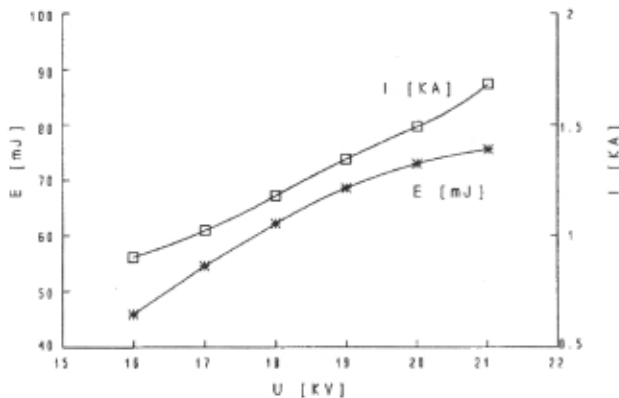
se nato izčrpa na 10^{-3} mbar in napolni z eksperimentalno določeno koncentracijo plinov ter zapre s kompresijskim spojem bakrene črpalne cevi.

Zaprt laser preko visokonapetostne prevodnice priključimo na vezje za formiranje pulza (slika 7) z visokonapetostnim napajalnikom in ga z vklapljanjem releja KC-28 prožimo.



Slika 13. Prečni prerez zaprtega mini TEA CO₂ laserja

Tako izdelanemu laserskemu sistemu nato z meritvami določimo optimalne pogoje delovanja. Nekateri soodvisnosti prikazuje slika 14.



Slika 14. Odvisnost izhodne energije E in toka I skozi razelektritev od napetosti

PRESKUS OBSTOJNOSTI

Obstojnost laserja smo preskusili z vsakodnevnim vključevanjem za 8 ur. Med preskusom je deloval s frekvenco 1 Hz. Test je trajal 500.000 strel in po njem ni bilo opazne spremembe izhodne energije. V času drugih testiranj in merenj je bilo opravljenih še dodatnih pol milijona strel. Izhodna moč se je znižala za cca 15 %. Ti podatki nam kažejo, da je obstojnost večja kot 10^6 strel.

Končni rezultat razvoja laserja je mini TEA CO₂ laser z naslednjimi karakteristikami:

- valovna dolžina 10,6 μm
- izhodna moč v pulzu 500 kW
- divergenca žarka 4 mrad

- premer izhodnega žarka 6 mm
- repeticija 2 pulz/s
- čas trajanja pulza 60 ns
- delovna napetost 19 kV
- kondenzator C₁ 12,2 nF
- obstojnost $>10^6$ strel
- dimenzije 215 x 67 x 71 mm

Laser s takimi lastnostmi je primeren za uporabo v merilni tehniki. V našem primeru smo ga uporabili v sistemu laserskega razdaljema.

SKLEP

Opisan je kompakten, v manjšem kovinskem ohišju zaprt TEA CO₂ laser s koronsko predionizacijo. S svojimi lastnostmi je primeren za uporabo v merilni tehniki. Uporabo takega laserja je z nadaljnjim razvojem in modifikacijami možno razširiti tudi na področje laserskih radarjev in lidarjev za globalno opazovanje vremena in podobno uporabo. Aplikativna vrednost predstavljenega laserskega izvira je bila preverjena v praksi v komercialno zanimivem prototipu CO₂ razdaljema (slika na naslovnici).

LITERATURA

- /1/ R. Dumachin, J. Rocca-Serra: Comptes R Acad. Sci. 269, 216 (1969)
- /2/ A. J. Beaulieu: Appl. Phys. Lett. 16, 505 (1970)
- /3/ W. R. Kaminski, Corona Preionization Technique for carbon dioxide TEA lasers, Report No. 82R-980701-02, UTRC, West Palm Beach, FL (1982)
- /4/ R. V. Babcock, I. Liberman, W. D. Partlow, IEEE J. QE-12, (1976)
- /5/ T. Y. Chang, Rev. Sci. Instrum. 44, 275 (1984)
- /6/ D. S. Stark, M. R. Harris, J. Phys. E: Sci. Instrum., Vol. 16 (1983)
- /7/ Lehisa et al., J. Appl. Phys., Vol. 59 (1986)

OBVESTILO

45. posvetovanje o metalurgiji in kovinskih gradivih, 2. posvetovanje o materialih in 14. slovensko vakuumsko posvetovanje, Portorož, 5-7 okt. 1994

Posvetovanja organizirajo: Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Kemijski inštitut, Slovensko društvo za materiale, Slovensko kemijsko društvo: sekciji za polimere in keramiko in Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije.

Posvetovanja so namenjena predstavitvi raziskovalnih in razvojnih dosežkov s področja tehnologije in uporabe materialov. Obravnavana bodo naslednja področja:

- (a) sinteza sodobnih kovinskih, polimernih, keramičnih in kompozitnih materialov,
- (b) razvoj modernih tehnologij proizvodnje materialov,
- (c) korozija in propad gradiv,
- (d) sodobne termične obdelave,
- (e) karakterizacija materialov,
- (f) tanke plasti in površine,
- (g) vakuumsko tehnika in tehnologije,

- (h) tribologija,
- (i) matematično modeliranje in računalniška simulacija procesov in tehnologij,
- (j) ekologija in
- (k) kakovost.

Organizirana bo tudi razstava opreme in proizvodov s teh področij. Delovna jezika bosta slovenski in angleški. Zadnji rok za oddajo povzetkov je 30. april 1994.

Pošljite jih na naslov:

Organizacijski odbor Portorož 94,
Inštitut za kovinske materiale in tehnologije,
pp 431, 61001 Ljubljana,

kjer dobite tudi dodatne informacije
 (tel: (061) 125 11 61, fax: (061) 213 780).