

Različiti režimi rada kvantnih generatora kao instrument za modifikacije u stomatologiji

Aleksandar Bugarinović^{1,2}, Željka Tomić³, Sanja Jevtić⁴, Aleksander Kovačević⁵, Svetlana Pelemiš⁶, Zoran Nedić⁷, Dragan Družijanić¹

Apstrakt - Upotrebom kvantnih generatora u raznim oblastima, a i u stomatologiji, bavi se veliki broj istraživača sa perspektivom da taj broj bude i veći. Ciljevi su različiti: od dobijanja materijala za dalje formiranje do učesća u formiranju modifikovanih materijala, modifikacije osobina već tradicionalnih materijala do postizanja zadataka koji se pojavljuju u vezi sa zahtevima heritologije / forenzike ili za masmedija primenu. Specijalno, dijagnostičke tehnike na bazi jačih ili slabijih interakcija elionskih snopova sa materijalom, postaju sve više tražene merne tehnike zbog vremena same dijagnostike i mogućnosti ispitivanja karakteristika uzoraka i u malim lokalnim površinama, a skeniranjem po potrebi i u većim. Podrazumevaju se i kvantitativne i kvalitativne analize, a rad sa više od jednog snopa (manje i veće gustine snage), pored mogućnosti praćenja interakcije sa teoretske strane, pruža i praktičan deo aplikacije laserske ili uopšte elionske tehnike, koji je ušao u praksu ili je od potencijalnog interesa za protetičke i druge svrhe. Šta bi onda moglo biti generalno novo u ovoj oblasti? Novi dinamički režimi rada kvantnih generatora, oblici impulsa, njihovo trajanje i frekvencija, donose novi kvalitet, koji može proizvesti drugačije efekte pri interakciji laserskih snopova sa materijalom, uspostaviti nove standarde i/ili potisnuti stare. Rad se bavi interakcijom laserskih snopova, u različitim režimima rada, sa odabranom klasom materijala. Diskutovani su modeli za opis i rezultati interakcija, analizirana se oštećenja i dat je osvrt na trenutna i potencijalna polja primene i izabrane paralele sa drugim snopnim tehnikama.

Ključne reči - kvantni generatori, režimi rada, interakcije, modeli, polje primene.

I. UVOD

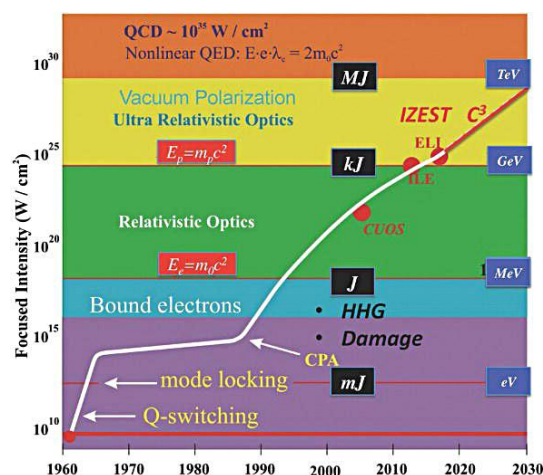
Primena laserske tehnike ili, u širem smislu, kvantnih generatora, treba da, na prvi pogled, menja značenje *modifikacije* sa kvantifikacijom od minornih uticaja na materijal mete do totalne ili lokalne destrukcije mete, zavisno od režima rada sistema kojim se vrši tretman.

Pošto je stvarnost omogućila da se interakcija koristi: a) u dijagnostičke svrhe, b) u strogo *modulacione* svrhe c) za spajanje materijala iste vrste ili različitih tipova d) za razdvajanje materijala, to postoji i grupisanje gustina energije, snage, primena *cw* ili impulsnog rada sa različitim parametrima, slike 1 i 2.

Vremenska baza impulsa (širine impulsa) je u rasponu od prvih milisekundnih impulsa sa stotinak spajkova [1] do *fs* režima.

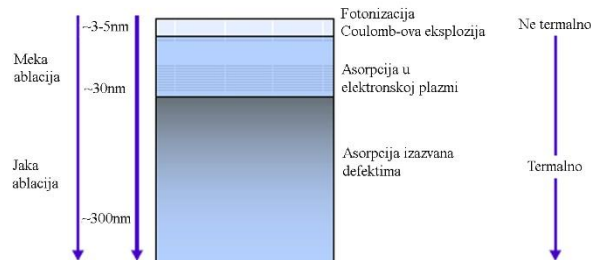
U pogledu materijala, koji su od interesa za stomatologiju, veoma je široka njihova paleta, zato što se danas koristi laserska tehnika u svakodnevnoj kliničkoj praksi: (a) za

saniranje *biološkog aparata*, uključujući i meka i tvrda tkiva, (b) u protetičke svrhe.



Slika 1. Istorija i predviđanje razvoja fokusiranog intenziteta od prvih demonstracija lasera (sa različitim režimima rada).

U svim tim procesima, postavljali su se i postavljaju se i dalje objektivizacije opisa procesa, pored toga što se veliki broj interakcija koristi u svakodnevnoj praksi, s obzirom na višedecenijsku primenu lasera u stomatologiji, zavisno od zemlje i njene regulative. To znači da su uključeni skoro svi glavni tipovi materijala: metali, dielektrici, specijalne klase keramike i dr. Posebno su važne i primene za paradentozne tretmane u kojima su korišćeni laseri malih snaga (reda mW) i gde se radilo samo o ozračavanju tkiva u vremenu predviđenom protokolom (kada je odobrena ta terapija u pojedinoj državi). Za simulaciju procesa interakcije prema očekivanom izlazu, koriste se modeli od termalnog do modela teorija sličnosti i zavisno da li se radi o proceni naponskog stanja protetske konstrukcije, do holografskih studija lokalnog opterećenja tačaka od interesa.

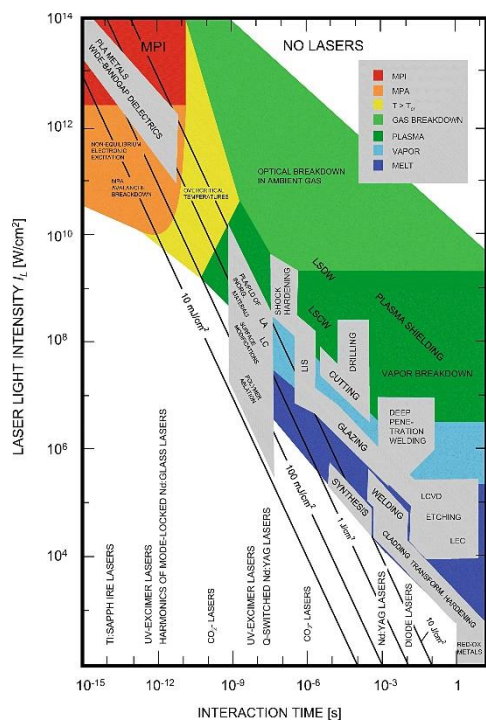


Slika 2. Procesi ablacije izazvanih laserima i neki procesi uz slojeve materijala od površine.

¹ Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, ² Provis doo, Bijeljina, ³ Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd, ⁴ ATUSS, ⁵ Institut za

fiziku, ⁶ Tehnološki fakultet Zvornik, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, ⁷ Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu.

U ovom radu je odabrano nekoliko režima rada kvantnih generatora u režimu slobodne generacije ili *Q-switch* i dati su rezultati interakcije.



Slika 3. Karakteristična vremena interakcije, intenzitet lasera i mogući procesi sa često korištenim laserskim sistemima. (PLA/PLD – impulsna laserska ablacija / depozicija, LA – odgrevanje, LC – čišćenje, LIS – separacija izotopa, MTA – višefotonska apsorpcija / jonizacija, LSDW/LSCW – detonacija / sagorevanje podržana laserom, LCVD – indukovana hemijska CVD, LEC – elektrohemijsko nanošenje prevlaka / nagrizanje, RED/OX – redukcija / oksidacija indukovana sa dugim impulsima ili *cw* CO₂) [11].

II. REZULTATI RADA I DISKUSIJA

Jedna od standardnih šema eksperimenata sa izlaganjem materijala od interesa, za određenu oblast stomatologije, podrazumeva rešavanje optike ulaznog snopa, položaja mete sa odgovarajućim *support*-om za promenu geometrije upada snopa lasera u materijal i prema mogućnosti laboratorije, podrške za promenu polarizacije snopa, uključivanje drugog tipa kvantnog generatora i kontrolu izlaznog snopa, uključujući mogućnost kvantitativnih opisa u vremenskom i prostornom domenu. Kako se pri impulsnom radu, najčešće rešava samo vreme ekspozicije, to je potrebno vršiti i kontrolu vremena. Ovaj deo aparature, sam po sebi, ne bi predstavljao specifične probleme, ali za stomatološke procese je od specijalnog interesa, jer je upravljanje snopom ručno.

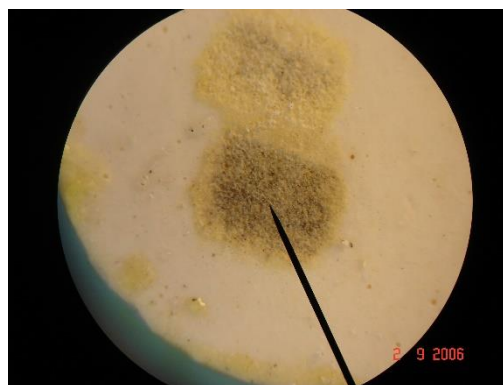
Idealni eksperiment bi podrazumevao mnogo drugih različitih kontrola samog procesa, sakupljanje izbačenog materijala, kontrolu sastava izbačenog materijala (nastanak novih jedinjenja) i geometrijske putanje izbačenog materijala, jer se simulira, odnosno predviđa situacija stvarne upotrebe. Za slučaj primene lasera kod žučnih i bubružnih kamenova, prvi eksperimenti su vršeni uz sakupljanje razvijenih gasova, da ne bi došlo do neželjenog trovanja organizma, a to podrazumeva i razne vrste operacija u stomatologiji (čišćenje kamenca i dr.).

Bez obzira na simulaciju iz raznih oblasti posmatranja dinamike procesa u izabranom režimu rada, dobro je posmatrati materijal mete sa više deskripcionih tehnika

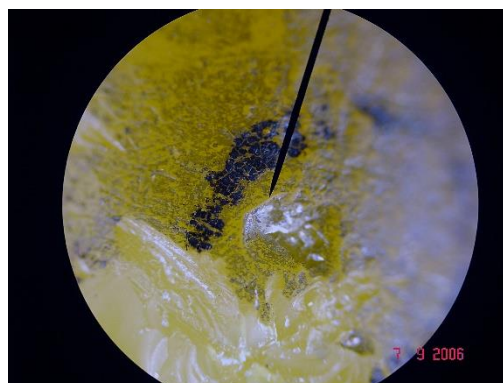
nedestruktivnog tipa za ulaz u eksperiment i ponoviti ih posle interakcije, kad dolaze u obzir i destruktivni postupci merenja, kakvi su zahtevi u SEM i drugim elektronskim tehnikama.

Za date rezultate interakcije dati su i IC spektri tretirane površine. Za tretiranje LAZ-a (Laser Affected Zone), u primeni u stomatologiji, traži se minimum zahvata tkiva ili bar strogo kontrolisan. Odnos LAZ-a i HAZ-a (Heat Affected Zone) je uvek pitanje, koje je podložno diskusiji.

Na slikama 4 i 5, dati su rezultati sprovedenih analiza stanja povreda na nekim materijalima od interesa za protetiku i za zubno tkivo. Na slici 6 je izabrani uzorak HAP-a, koji se već duže vremena primenjuje za ojačanja bioloških tkiva, privremenih ili stalnih.



Slika 4. Mikrograf analize optičkim mikroskopom belog gipsa izloženog laserskom snopu. (Nd³⁺:YAG, E = 35 mJ, površinski reljef, OM 40 x)



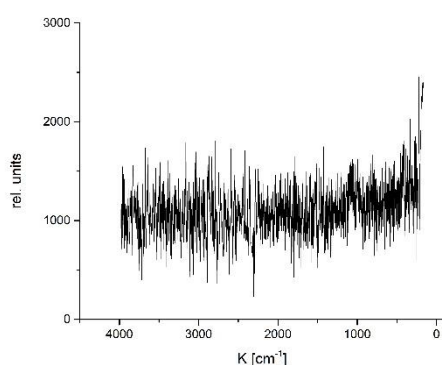
Slika 5. Analiza optičkim mikroskopom interakcije *Q-switch* tipa lasera na uzorku žutog voska. (Nd³⁺:YAG, $\tau = 15$ ns, E = 35 mJ, 3 impulsa, OM 40 x, površinski reljef)

Prema režimu rada, očekivalo se da bude proizveden krater koji ima više ili manje nagomilavanje materijala po obodu, pri čemu bi veće nagomilavanje materijala bilo vezano za režim slobodne generacije. Krater sa manje izbačenog materijala (po obodu) bi, sa druge strane, trebalo da služi i inverzno, za raspodelu gustine energije po preseku snopa ili prikaz nehomogenosti materijala mete. Zato je i bilo govora na početku eksperimentalnog dela, da bi u idealnom slučaju bilo dobro imati, paralelno, analizatore laserskog snopa direktno ili bar povremenu kontrolu gustine energije / snage, kojoj je meta bila izložena. Jednostavan prilaz bi bio i da se pri toj vrsti eksperimenata, pre serije impulsa na nekom materijalu izvrši isti režim na materijalu koji je predložen kao kontrolni materijal, a koji je pogodan za datu talasnu dužinu.

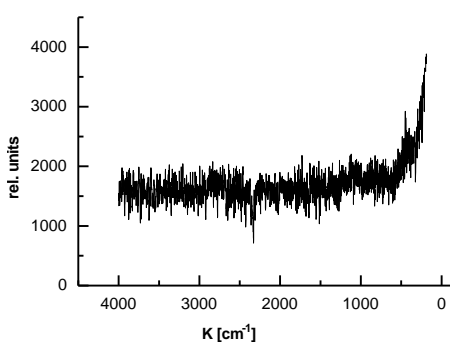


Slika 6. Mikrograf povrede na uzorku HAP-a. (Nd³⁺:YAG, Q-switch, E = 35 mJ, površinska modulacija, OM 40 x)

Na slikama 7 i 8 dati su IC spektri za uzorke gutaperke i HAP-a.



Slika 7. Infracrveni spektar (IC) uzorka gutaperke u dijapazonu 4000 - 180 cm⁻¹.



Slika 8. Infracrveni spektar (IC) uzorka HAP-a u dijapazonu 4000 - 180 cm⁻¹.

Idealno bi bilo da se spektri uvek rade pre i posle interakcije, zato što bi zavisno od površine povrede mogao da se sprovede formalizam za dobijanje optičkih konstanti materijala, kao što su koeficijenti refleksije, koeficijenti dielektričnih osobina, vezano za optičke osobine i kompleksan zapis. Ovde bi od koristi bio i *Raman*-ov spektar, koji bi i samim poređenjem sa IC spektrima dao neki kvalitativan odgovor bez sprovođenja primene algoritama za analizu strukture materijala.

Pretpostavka o novim materijalima, čiji broj raste u stomatologiji, je uvek potrebna, a za poznate materijale potrebna je iz razloga kontrole postojećih podataka i

izbegavanje razlika u tehnologiji izrade protetskog materijala. Čini se da je dobro ponoviti uvek provere i za poznate materijale.

Od interesa bi bila i tehnika termovizije, koja je skoro dve decenije bila prisutna sa prvim primenama lasera u stomatologiji, u vreme kada je ekonomska strana nabavke te kontrole predstavljala veći problem. To su eksperimenti koji mogu pratiti proces za određene dinamičke dijapazone kvantnih generatora, kad se radi o dugim impulsima ili srednjim vrednostima, pri većim repeticijama, kao kontrolna relativna tehnika.

Važna oblast bi bilo i određivanje boje kod zuba ili protetičkih materijala, gde bi moglo biti od interesa vezivanje sa trenutnim stanjem deskripcije boje, u kojima glavne boje pripadaju kategoriji lasera (za televizijske svrhe HDTV, odavno je razvijen tip RGB lasera).

III. SIMULACIJA

Kako je u uvodu konstatovano, posle izabranog modela, za određene režime rada kvantnih generatora [9] se konstatuje da i više modela mogu da se koriste za određene režime, koji odgovaraju tipu grejanja materijala do tačke ključanja. To su slučajevi izlaganja patogenog tkiva (paradentozna) koje se već više od deceniju koristi za saniranje stanja. Slučajevi bušenja (otklanjanja materijala), zavisno da li se problemu prišlo sa redosledom grejanje-topljenje ili grejanje-sublancija i sl., bi morali da koriste odgovarajuće algoritme kod programa kod kojih su oni razvijeni [5].

Pošto je za bušenje najbitnije pitanje dimenzija (dubina, širina), onda se za preliminarnu ocenu koriste formule koje zavise od parametara izlaganja, termodinamičkih i optičkih osobina materijala.

U širokoj paleti materijala, čini se da je situacija *Status quo* i da se može naći mnogo praktičnih korekcija za izabrane režime rada, gde će se za promenu koeficijenata u formulama za standardne uslove rada približiti simulacija eksperimentu. Pri interakciji je jedna od važnih činjenica pitanje maksimalne gustine snage / energije, koja neće dovesti do praga za „lom”. Sve to pripada složenoj problematici „laser damage”, gde se uključuje statistika malih brojeva i statistika velikih brojeva, koje se različito modeluju.

IV. ZAKLJUČAK

U današnjem stepenu laserske tehnike postoji nekoliko definisanih režima rada kvantnih generatora, koji potencijalno mogu da se primene u biomedicinske svrhe. U praksi, iako postoji dosta dobro razvijena industrija laserskih sistema okrenutih medicini, pokazalo se da, generalno, postoji niz pozitivnih novih pravaca za primenu lasera. Ipak, od stanja same države i stepena njenog instrumentarijuma, vezano za klasičnije metode (mehanička bušilica, rentgenografija, poznate klase protetskih materijala sa komercijalnom podrškom), zavisi koliko će u njoj biti brzo uklapanje novih „optičkih” metoda u sve četiri uslovno podeljene oblasti: dijagnostika, modulacija u užem smislu (tkiva ili materijala), invazivna interakcija (hirurgija) i saniranje i formiranje ispuna i pravljenje mostova i dr. U ovom radu je pokazana interakcija sa tipovima odabranih materijala (keramičkog tipa i dr.), izvršene su analize sa strane optičke i elektronske mikroskopije, definisanje materijala mete putem IC spektroskopije. Ukazano je na

potrebu daljeg eksperimentalnog rada, vezano za stanje uzoraka i za, potencijalno, organizaciju daljih ispitivanja ili primena holografskih i tomografskih tehnika za definisanje dinamike opterećenja, uključujući tehnike brzog starenja materijala, koje bi služile za ocenu, vek trajanja protetskog nastavka i pravac traženja, kroz krojenja novih vrsta materijala od interesa za protetiku i prihvatanje „stranog tela”. Po pitanju samog HAP-a, bile su razvijene dve teorije koje su primenjivane na mehanizam stapanja sa organizmom.

LITERATURA

- [1] A. Bugarinović, *Modulacije osobina odabranih klasa materijala delovanjem snopnih tehnika*, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2016.
- [2] M. Srećković, S. Pelešić, *Laser Physics and Modeling in Relation to Ceramic Matrix Composites*, in *Encyclopedia of Materials: Composites*, Vol.2, Ed. D. Bravazon, Elsevier, Oxford, pp.218-235, 2021.
- [3] S. Ostojić, Ž. Tomić, N. Bundaleski, J. Ilić, M. Davidović, A. Bugarinović, V. Mlinar, *Rasejanje svetlosti i tehnike u biološkim i biomedicinskim problemima*, Zbornik radova XLVI Konferencije za ETRAN, Banja Vrućica, Teslić, Vol.III, pp.178-181, 4-7 jun, 2002.
- [4] V. Mirjanić, M. Srećković, Đ. Mirjanić, A. Bugarinović, D. Družijanić, V. Mitić, *Chosen Applications and Approaches to Modeling Lasers in Dentistry*, *Modern Physics Letters B*, Vol. 35, No. 25, 2150329, pp.1-23, 2021.
- [5] Đ. Mirjanić, M. Srećković, V. Mirjanić, S. Pelešić, A. Bugarinović, D. Družijanić, *Izabrani rezultati i modelovanje primene laserskih snopova u stomatologiji na bio i protetičkim materijalima*, Zbornik radova konferencije Savremeni materijali 2021, pp.239-261, Banja Luka, 2022.
- [6] M. Srećković, A. Janićijević, M. Janićijević, S. Jevtić, Z. Latinović, K. Zarubica, A. Bugarinović, *Primene i modelovanje laserskih invazivnih, modulacionih i dijagnostičkih tehnika u medicini*, Zbornik radova konferencije Savremeni materijali 2019, Banjaluka, 01-03. septembar, pp. 61-90, 2020.
- [7] M. Ž. Srećković, A. A. Ionin, A. J. Janićijević, A. R. Bugarinović, S. M. Ostojić, M. M. Janićijević, N. V. Ratković Kovačević, *Formalisms, Analysis, Results and Accomplishments with Population Inversion of Materials*, *Journal of the Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska Contemporary Materials*, Vol.VIII, Iss.1, pp.91-108, 2017.
- [8] G. Padmanabham, Ravi Bathe, *Laser Materials Processing for Industrial Applications*, *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences*, Vol. 88, pp.359-374, 2018.
- [9] N. Rykalin, A. Uglov, I. Zuev, A. Kokora, *Laser and Electron Beam Material Processing*, Mir, Moscow, 1988.
- [10] S. Pelešić, V. Mirjanić, Đ. Mirjanić, *Laseri u medicini i stomatologiji*, knjiga u štampi.
- [11] V. Chvykov, *New Generation of Ultra-High Peak and Average Power Laser Systems*, *High Power Laser Systems*, Ed. M. Harooni, December 2017.

ABSTRACT

The use of quantum generators in various fields, as well as in dentistry, is dealt with by a large number of researchers with the perspective that the number will be even higher. The goals are different: from obtaining materials for further formation to participating in the formation of modified materials, modifying the properties of already traditional materials to achieving tasks that appear in connection with the requirements of heritology / forensics or for mass media application. In particular, diagnostic techniques based on stronger or weaker interactions of elion beams with material are becoming more and more sought-after measurement techniques due to the time of diagnostics and the possibility of testing sample characteristics in small local areas, and scanning if necessary in larger ones. Quantitative and qualitative analyzes are included, and work with more than one beam (lower and higher power densities), in addition to the possibility of monitoring the interaction from a theoretical point of view, provides a practical part of the application of laser or elion techniques in general, which has entered into practice or is of potential interest for prosthetic and other purposes. What, then, could be generally new in this area? New dynamic modes of operation of quantum generators, pulse shapes, their duration and frequency, bring new quality, which can produce different effects when

laser beams interact with material, establish new standards and / or suppress old ones. The paper deals with the interaction of laser beams, in different operating modes, with the selected class of materials. Models for the description and results of interactions are discussed, damages are analyzed and an overview of current and potential fields of application and selected parallels with other beam techniques are given.

Key words - quantum generators, modes of operation, interactions, models, field of application.

Different modes of operation of quantum generators as an instrument for modifications in dentistry

Aleksandar Bugarinović ^{1,2}, Željka Tomić ³, Sanja Jevtić ⁴, Aleksander Kovačević ⁵, Svetlana Pelešić ⁶, Zoran Nedić ⁷, Dragan Družijanić ¹