

## NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na 790. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu održanoj 15.09.2015. godine imenovani smo u Komisiju za pregled i ocenu magistarskog rada Aleksandra Bugarinovića, dipl. ing. elektrotehnike, pod naslovom „**Modulacije osobina odabranih klasa materijala delovanjem snopnih tehnika**“ i posle detaljnog pregleda dostavljenog materijala podnosimo Veću sledeći

### I Z V E Š T A J

#### **1. Biografski podaci o kandidatu**

Aleksandar Bugarinović rođen je 03.03.1970. godine u Beogradu. Osnovnu i srednju školu završio je u Bijeljini. Osnovne studije završio je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na odseku za Fizičku elektroniku. Diplomirao je 1998. godine. Radio je u SBS-u u Beogradu, a trenutno je zaposlen u Telekomu Srpske, u Bijeljini, kao glavni inženjer u grupi poslova za tehničku pripremu. Poslediplomske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, smer Elektrotehnički materijali i tehnologije, upisao je 1999. godine i položio sve ispite predviđene Nastavnim planom i programom magistarskih studija, sa prosečnom ocenom 9,83. Služi se engleskim i ruskim jezikom. Do sada je objavio 45 radova.

#### **2. Osnovni podaci o radu**

Magistarski rad Aleksandra Bugarinovića, dipl. ing. elektrotehnike je posvećen modulaciji osobina odabranih klasa materijala putem snopnih tehnika, u prvom redu elionskih (elektron-laser-jon-neutron), uključujući i akustičke efekte, koji su često prouzrokovani pri interakciji.

Savremeni trend u modulacijama prirodnih karakteristika materijala, odnosno materijala iz određene tehnološke grane, zahteva dalji tretman primenama savremenih elionskih tehnika. Time se pojednostavljuje i znatno olakšava tehnološki proces, koji je često višestepeni, u primeni tradicionalnih metoda, zasnovanih na kontaktnim tehnologijama, uz primene mehaničkih sila. Definicija netradicionalnih metoda možda nije jednoznačna u širokoj literaturi. U ovom radu je razmatrano, teoretski i eksperimentalno, pitanje interakcije snopnih tehnika i izabranog materijala. Akcenat je na mogućnostima metoda zasnovanih na metodama nuklearne fizike i tehnike i laserskih metoda, sa raznim ciljevima, za planiranu interakciju. Zato je potrebno poznavati široko performanse inicijalnog materijala: optičke osobine, otpornost na različita zračenja, termodinamičke osobine itd., zavisno od izabranog procesa, kojim će se menjati osobine materijala, od blago površinskih do destruktivnih procesa. U procesu, zavisno od intenziteta izabrane snopne tehnike, su prisutne linearne, ali i nelinearne osobine materijala.



Rad sadrži 19 poglavlja. Tekst rada ima 141 stranu, uključujući Uvod, Zaključak i Literaturu. Rad se poziva na 223 reference, koje su tipa monografija, naučnih i stručnih časopisa i zbornika međunarodnih i domaćih konferencija. Literatura je pisana na engleskom, ruskom, francuskom i nemačkom jeziku. Rad sadrži 115 slika, od kojih je 55 slika rezultat rada kandidata. Rad sadrži 14 tabela, od kojih je 5 rezultat rada autora.

Prva glava je posvećena optičkim konstantama materijala, formalizmima njihovog izražavanja i generalnim metodama njihovih ocena.

U drugoj glavi se optičkim konstantama prišlo kao parametrima komponenata za kvantne generatore i optoelektroniku i date su neke metode za njihovo određivanje putem koherentnih i nekoherentnih snopova.

U trećoj glavi su dati opšti prilazi interakciji materijala sa fotonima, koji mogu da budu od interesa za fotone iz različitih područja elektromagnetnog spektra. Dat je makroskopski i mikroskopski prilaz koeficijentima slabljenja i njihovim karakterističnim delovima, koji zavise od verovatnoće izazvanih procesa: proizvodnja parova, *Compton*-ovo rasejanje, *Rayleigh*-ovo rasejanje, *Raman*-ovo rasejanje itd.

U četvrtoj glavi su razmotreni klasični kvantnomehantički i poluklasični prilazi interakciji optičkog zračenja sa materijalom. Primenom kompleksnog zapisa, razmotrene su glavne osobine optičkih svojstava dielektrika i metala. Ovim putem se definiše i *lasing* efekat i uslovi za stimulisane procese i postizanje pragova za odgovarajuće stimulisane efekte.

U petoj glavi su razmatrani savremeni problemi u interpretaciji i oceni interakcija lasera sa materijalom. Od interesa su i spore i brze interakcije, odnosi nelinearnih efekata, relativistička optika, teoretske granice (dobijanje  $\gamma$  zraka) i dr.

U glavi šest se razmatraju razni modeli i problemi vezani za proučavanje interakcije lasera sa materijalom.

U glavi sedam je razmotren formalizam prilaženja nelinearnim optičkim efektima preko uključivanja razvoja polarizacije u termove, zavisne od prvog, drugog, trećeg i viših redova stepena po električnom i magnetnom polju i naznačena je važnost sprežavanja nuklearne fizike, laserske tehnike i kvantne elektronike i primene, koje proističu iz analiziranih veza.

U glavi osam se dalje razmatraju specifične strane interakcije kratkih laserskih impulsa, sa materijalima. Akcenat je na transparentnim materijalima. Analizirani su formalizmi, koji se koriste za nelinearne polarizacije i karakteristične članove viših redova (po električnom ili magnetnom polju). Ovim formalizmima se pridružuju realni fizički procesi, koji vode do elektrooptičkih, magnetooptičkih efekata, efekata samofokusiranja i do destrukcija materijala. Sve ove pojave se konstatuju, kako u kondenzovanim materijalima, tako i pri prostiranju snažnih laserskih snopova kroz atmosferu. Efekti višeg reda se posmatraju i kroz makroskopske jednačine vezane za indekse prelamanja i njegove razvoje u stepeni red. Doprinosi za prvi član reda  $n_2$  (po kvadratu električnog polja ili po prvom stepenu intenziteta), su i predmet literature, koja je iskorišćena za praktičnu ocenu nelinearnih doprinosa, pošto je merenje datih doprinosa vezano za sofisticirane aparature.

U glavi devet je dat kratak osvrt na domenime energije koji se koriste u ovoj oblasti.

U glavi deset posmatraju se razni procesi pri prolazu elektromagnetnog zračenja različitih energija kroz materijal. Iako je akcenat na fotonima viših energija, u glavi su razmotreni efekti rasejanja karakteristični i za optičko i za X i  $\gamma$  područje. Ponovo se posmatraju procesi putem totalnih efikasnih preseka, sa doprinosima apsorpcije, rasejanja i luminiscencije. Razmatraju se elastična i neelastična rasejanja u optičkom, X i  $\gamma$  području i razni izrazi, odnosno zavisnosti efikasnih preseka u obliku linearnih i masenih koeficijenata. Daje se osvrt i na interakciju nuklearnih čestica, lakih i teških, *Bethe*-ovu formulu i daje



značaj zaustavnoj moći materijala i specifičnom gubitku energije snopa nuklearnih naelektrisanih i nenaelektrisanih čestica.

U glavi jedanaest su razmatrana sprežanja kvantne elektronike, laserske tehnike i nuklearne fizike i tehnike za ostvarenje novih tipova kvantnih generatora, uključujući i koncept „reaktor laser“. Dat je osvrt na elionske tehnike i scintilacione materijale. PSD tehnike i dalje imaju važnu ulogu u razdvajanju nuklearnih i drugih zračenja. Kao cilj ove glave, trebalo bi da se vidi mesto laserskih i nuklearnih tehnika u dijagnostici i modulaciji osobina materijala. Prodor elionskih tehnika, kao nekonvencionalnih, relativno novih rešenja, je sve veći, s obzirom na nepostojanje mehaničkih sila kod njih.

U glavi dvanaest je dat inženjerski pogled na razne vrste obrade materijala putem interakcije sa kvantnim generatorima u optičkoj oblasti. Za primenu lasera za površinsku obradu i spajanje i razdvajanje materijala (kaljenje, bušenje, sečenje, zavarivanje i dr.) potrebno je poznavati grupe parametara vezanih za materijale, za radni režim lasera i za uticaj ambijentalnih parametara, dinamiku pomoćnog gasa itd. Zato se u ovoj glavi ponovo prilazi optičkim, termodinamičkim parametrima i izboru modela za procenu rezultata. Izabran je termalni model za različite slučajeve, sa i bez faznih prelaza i razne oblike snopova, odnosno vremenske dinamike snage.

Glava trinaest je posvećena laserskim tehnikama na bazi interakcije sa materijalom i transformacijama. Za razmatranje poređenja elionskih tehnika izabrano je nekoliko karakteristika za poređenje izvora lasera, X-zraka i neutrona. Odluke se mogu posmatrati i putem prilaza transfera momenata i specifičnih procesa, koji se odigravaju pri rasejanju različitog elektromagnetnog i čestičnog zračenja. Na osnovu procesa, koji se razvijaju pri izlaganju materijala elionskim izvorima, definisano je mnogo novih spektroskopija, gde posebnu ulogu igraju epioptičke tehnike. Razmotrene su i uloge laserskih tehnika u raznim oblastima (nestandardnim), numeričkom prilazu interakciji i dijagnostici laserskim tehnikama.

Glava četrnaest posvećena je snopnim tehnikama u medicini, sa akcentom na stomatologiji, stomatološkim materijalima i protetskoj primeni lasera. Dat je pregled materijala prema načinu upotrebe i njihove karakteristike. Diskutovan je uticaj laserskog zračenja na materijale ovog tipa i tkiva.

Glava petnaest razmatra materijale za savremena rešenja kvantnih generatora i komponenata. Daje se osvrt na razne tipove lasera i pumpi. Mnoge komponente koje se koriste u laserskim sistemima, detektorima (senzorima), koji rade sa laserima, pripadaju linearnoj i nelinearnoj optici. Daje se osvrt na egzotične eksitacije lasera (solarna eksitacija) i prilaz nestacionarnoj distribuciji temperature u aktivnom materijalu.

Glava šesnaest je posvećena prilazu laserskoj fuziji, gde je data koncepcija nekih rešenja i tipičan profil potrebnih laserskih impulsa.

Glava sedamnaest je posvećena glavnim delovima sistema za primenu elektronskog snopa u svrhu zavarivanja. Prikazan je mehanizam zavarivanja elektronskim snopom i karakteristike ovog tipa zavarivanja.

U glavi osamnaest se razmotra lasersko zavarivanje, na način na koji je u prethodnoj glavi razmotren sistem zavarivanja elektronskim snopom i glavni podsistemi. Upoređene su i efikasnosti izabranih tipova zavarivanja.

Glava devetnaest je, praktično, celina u kojoj su izloženi eksperimentalni rezultati uz diskusiju. Uzorci, izloženi mono- i više-impulsnom tretmanu, su karakterisani u cilju dobijanja kvantitativnih rezultata tehnikom elektronske mikroskopije (SEM) i IC spektroskopije. Promena parametara površinskih sastava uzoraka, pre i posle interakcije, je rađena EDX tehnikom. Pogled na reflektanse i mogućnosti merenja je obrađen primenom IC spektroskopije na izabrane materijale, kao upoređenje sa razmatranjima datim u glavi trinaest



i podacima iz literature. Tražena je promena karakteristika materijala putem IC spektroskopije. Posle izbora različitih materijala za uzorke, u nekoliko tipova eksperimenata, izvršene su detaljne analize rezultata izlaganja uzoraka raznim tipovima lasera, kao eksperimentalna potvrda razmatranja koja su predstavljena u glavi četnaest. Glavne tehnike su pokrivala elektronska i optička mikroskopija, uključujući EDX tehnike. Zavisno od materijala uzoraka, koji su izlagani elektronskom snopu, dolazilo je do efekata zavarivanja (metalni uzorci od čelika i bakra) ili do prekida-destrukcije materijala, za slučaj optičkih vlakana.

### 3. Analiza rada sa ključnim rezultatima

U radu su, kroz interakcije snopnih tehnika i izabranih materijala, prikazane neke savremene, tradicionalne i manje tradicionalne metode modulacije karakteristika materijala. Zavisno od intenziteta upotrebljenog snopa, sagledavane su linearne i nelinearne osobine materijala.

U uvodnom delu, dati su različiti prilazi optičkim konstantama materijala, koji su u daljem tekstu korišćeni za ocenu različitih tipova interakcija i njihovo modelovanje.

Analizirane su interakcije sa kratkim laserskim impulsima, snažnim poljima i nelinearni efekti, koji ih prate. Dat je i prilaz interakcijama putem totalnih efikasnih preseka, sa učešćem apsorpcije, rasejanja i luminiscencije.

Posebno je razmatrano sprezanje laserske tehnike, nuklearne fizike i kvantne elektronike u cilju dijagnostike i modulacije osobina materijala, dobijanja materijala za kvantne generatore, detekciju i razdvajanje različitih vrsta zračenja.

Dat je, potom, inženjerski pristup za primenu snopnih tehnika, kao načina za obradu ili modifikaciju materijala. Razmotrene su neke već postojeće, komercijalne, metode i rešenja, ali i neke koje su još u fazi eksperimenta.

Dejstvo različitih snopnih tehnika na materijal, ispitivano je skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM), optičkom mikroskopijom, IC spektroskopijom, EDX i dr. U ovoj magistarskoj tezi je prikazan deo dobijenih rezultata, koji reprezentuje određene tipove materijala i interakcija. Prikazani su eksperimenti sa više različitih klasa materijala. Akcenat je stavljen na magnetne materijale, metale i materijale koji se koriste u stomatologiji.

Doprinosi rada su eksperimentalnog i teoretskog tipa, sa akcentom na eksperimentu. Na osnovu izvršenih tretiranja i analiziranja uzoraka, pre i posle izvršenih interakcija, mogu da se izvedu sledeći zaključci:

- Svi uzorci su pretrpeli vidne promene u izabranom režimu rada lasera.
- Svi uzorci su pretrpeli vidne promene pri izlaganju elektronskom snopu predviđenom za zavarivanje materijala.
- Promene reflektansi u IC spektrima, pre i posle izlaganja laserskom snopu, u pojedinim oblastima spektara, govore da je došlo do promene optičkih osobina materijala (indeksa prelamanja, koeficijenta refleksije, apsorpcije itd.).
- Kod uzoraka na bazi SiO<sub>2</sub>, dati sistem sa elektronskim snopom je dovodio i do procesa paljenja i sagorevanja, a česte su bile i pojave plazme kod drugih materijala.
- Laserska izlaganja materijala su pokazala velike varijacije u morfologiji površina.
- Većina uzoraka je predstavljala materijale razvijene u laboratorijskim uslovima, tako da je jedan broj uzoraka, izlagan laserskim i elektronskim snopovima po prvi put.
- Ocenjeni su opsezi energije i uslovi izlaganja laserskim snopovima za konkretne materijale i dobijena je baza podataka, koja se može koristiti za dalje tretmane.

U daljim eksperimentima, od interesa je iste materijale tretirati različitim energijama, ali je od interesa i različite materijale tretirati istim energijama i pod istim uslovima, kao u dosadašnjim eksperimentima i proširiti bazu podataka. U ovom polju istraživanja je i dalje prisutno, ne mali broj puta, neslaganje teorijskih i eksperimentalnih rezultata.

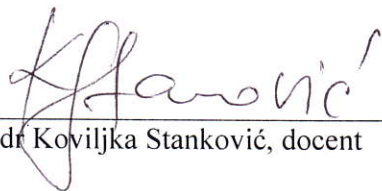
#### 4. Zaključak i predlog

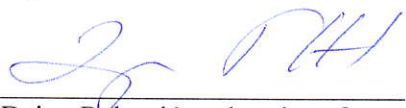
Prema mišljenju članova Komisije o magistarskom radu pod naslovom „**Modulacije osobina odabranih klasa materijala delovanjem snopnih tehnika**“ kandidata Aleksandra Bugarinovića, dipl. ing. elektrotehnike, uspešno je izvršena eksperimentalna analiza izabranih rezultata interakcije (modulacija) različitih materijala putem snopnih tehnika. Kandidat je u radu ispoljio visok stepen samostalnosti i sistematičnosti u rešavanju konkretnih teoretskih, eksperimentalnih i tehničkih problema.

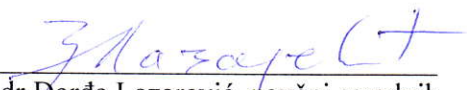
Na osnovu izloženog, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, da rad kandidata Aleksandra Bugarinovića pod naslovom „**Modulacije osobina odabranih klasa materijala delovanjem snopnih tehnika**“ prihvati kao magistarsku tezu i odobri njegovu usmenu odbranu.

U Beogradu, 10.11.2015. godine

Komisija

  
dr Kovička Stanković, docent

  
dr Dejan Raković, redovni profesor

  
dr Đorđe Lazarević, naučni saradnik