

VESNA PETROVIĆ<sup>1</sup>  
NIKOLA STOJANOVIĆ<sup>2</sup>  
MILOŠ P. SLANKAMENAC<sup>2</sup>  
SVETLANA R. LUKIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prirodno-matematički fakultet,  
Univerzitet u Novom Sadu,  
Novi Sad

<sup>2</sup>Fakultet tehničkih nauka,  
Univerzitet u Novom Sadu,  
Novi Sad

NAUČNI RAD

UDK 666.22:546.666

DOI: 10.2298/HEMIND091221033P

## POJAČAVAČKE KARAKTERISTIKE HALKOGENIDNOG STAKLA DOPIRANOG ERBIJUMOM\*

U radu su prikazani rezultati merenja optičkih pojačavačkih karakteristika halkogenidnog stakla iz sistema As–S–Ge dopiranog erbijumom. Merenja su obuhvatila ispitivanje pojačanja korisne snage laserskog izvora prilikom prolaska kroz dva preseka uzoraka koji se pobuđuje. Na fluorescentnom spektru uzorka je uočljiv maksimum u intervalu talasnih duži od 1500 do 1540 nm, koji odgovara prelazu elektrona sa  $^4I_{13/2}$  na  $^4I_{15/2}$  nivo, unutar 4f ljuske jona erbijuma ( $Er^{3+}$ ). Merenje snage signala je pokazalo da pri prolasku kroz halkogenidno staklo dopirano erbijumom dolazi do pojačanja korisnog signala. Povećanje je srazmerno dužini prolaska kroz staklo.

Stakla dopirana retkim zemaljama nalaze široku primenu u telekomunikacijama i optoelektronici, a očekuje se njihov sve veći i brži razvoj [1]. Opsežna istraživanja su pokazala da su halkogenidna stakla, zbog velike transparentnosti u IC oblasti spektra i velikih vrednosti indeksa prelamanja veoma pogodna kao matični materijali za dopiranje jonima retkih zemalja. Transparentija im je bez apsorpcionih prelaza u IC oblasti spektra u kojoj joni retkih zemalja imaju emisijske prelaze [2–4]. Ovo interesovanje je prvenstveno vezano za prelaze unutar 4f orbitale jona retke zemlje, koji se nalaze u bliskoj ili srednjoj oblasti IC spektra [2].

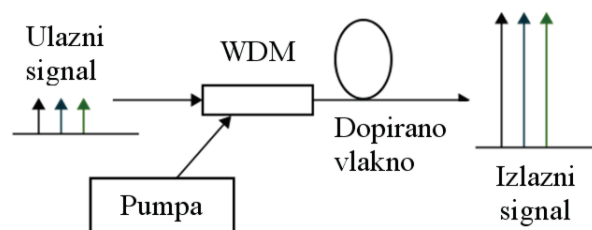
Halkogenidna stakla dopirana sa  $Er^{3+}$  upotrebljavaju se i kao pasivna i kao aktivna optička vlakna. Kao pasivna vlakna ona se upotrebljavaju u sistemima prenosa snage, dok se kao aktivna koriste za izradu tela lasera (Er: YAG – 2,97  $\mu$ m, CO – 5,3  $\mu$ m, CO<sub>2</sub> – 10,6  $\mu$ m) [2,3].

Upotreba halkogenidnih stakala dopiranih  $Er^{3+}$ , kao pojačavača zasniva se na njegovim 4f prelazima koji se nalaze u „c-band“ oblasti talasnih dužina, a to je oblast između 1530 i 1560 nm [1]. Prodor u ove oblasti talasnih dužina je od velikog značaja u optoelektronici i smatra se da će halkogenidna stakla dopirana retkim zemljama preuzeti vodeću ulogu optičkih pojačavača, kao što je u doba razvoja elektronike imao tranzistor [1].

Optički pojačavač je uređaj koji pojačava optički signal, bez potrebe da se prvo pretvori u električni. Stimulisana emisija u pojačavačkom medijumu prouzrokuje pojačanje dolazećeg optičkog signala.

Osnovni elementi fiber-optičkih pojačavača (OFA – *Optical Fiber Amplifier*) jesu laser za pumpanje, multiplekser u domenu talasnih dužina (*Wavelength*

*Division Multiplexer* – WDM) i dopirano optičko vlakno, kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Princip rada fiber-optičkih pojačavača.  
Figure 1. The principle of fiber-optical amplifier.

Ulazni signal i svetlost pumpajućeg lasera se spajaju u „aktivnom“ vlaknu pomoću WDM. Pojačanje signala se ostvaruje interakcijom sa energijom pumpajućeg lasera unutar prenosnog vlakna. Upumpavajuća svetlost može biti uključena u prenosno vlakno u istom smeru kao i korisni signal (ko-direkciono upumpavanje), u suprotnom smeru (kontra-direkciono) ili u oba smera. Fiber-optički pojačavači se mogu realizovati kao jedinstveni moduli i tada se nazivaju koncentrisani (engl. *loped*), ili distribuirani (engl. *distributed*), kada je prenosno vlakno veoma veliko i predstavljati deo nekog optičkog kablova. Laser može biti postavljen u blizini vlakna i tada govorimo o lokalnom pumpanju, u suprotnom imamo daljinsko pumpanje.

Osnovni tipovi fiber-optičkih pojačavača su: pojačavač sa dopiranim vlaknom, vlakna sa disperzijom i parametarski pojačavači. U zavisnosti od zahteva primene, mogu sadržati više lasera za pumpanje, izolatore, cirkulatore, dopirana vlakna i druge komponente.

Zbog neminovnog slabljenja optičkih signala prilikom prolaska kroz optičko vlakno, njihov domet prostiranja je ograničen [5]. Primenom optičkih pojačavača, rastojanja za prenos optičkih signala se mogu značajno povećati. Ključna primena pojačavača sa vlaknima dopiranih  $Er^{3+}$  je prenos DWDM (engl. *dense wavelength-division multiplexing*) optičkih signala na veće daljine. Mehanizam pojačanja je uslovljen prelazima  $Er^{3+}$  na ta-

\*Rad saopšten na skupu „Osma konferencija mladih istraživača“, Beograd, 21–23. decembar 2009.

Autor za prepisku: V. Petrović, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 3, 21000 Novi Sad, Srbija.

E-pošta: savetati@gmail.com

Rad primljen: 21. decembar 2009.

Rad prihvaćen: 18. februar 2010.

Isnoj dužini oko 1540 nm, a to je talasna dužina na kojoj je najmanje slabljenje i koja se koristi u DWDM [6].

Ukoliko se upotrebi spoljašnji izvor svetlosti za pobuđenje jona retkih zemalja, moguće je dobiti direktno optičko pojačanje svetlosnog signala [7].

## EKSPERIMENT

Sinteza ispitivanog stakla:

$[(As_2S_3)_{30}(GeS_2)_{70}]_{1-y}(Er_2S_3)_y$ ,  
koje je dopirano sa 0,5 at% Er urađena je od hemijskih elemenata velike čistoće, metodom kaskadnog zagrevanja [8].

Uzorak je pripremljen u formi paralelograma stranica  $5,22 \times 2,33 \times 1,19$  mm. Brušenje uzorka je vršeno abrazivnim sredstvima različite granulacije zrna (200–28  $\mu$ m), a nakon toga poliranjem do visokog sjaja na sviленоj tkanini.

Kroz uzorak je duž jedne ose prolazila laserska svetlost koja simulira koristan signal, a duž ose koja je pod  $90^\circ$  u odnosu na lasersku vršeno je pobuđenje  $Er^{3+}$  ksenonskom lampom. Snaga laserske svetlosti koja je prošla kroz uzorak izmerena je meračem snage PM300 na koji je montiran optički senzor S122B [9], slika 2. Senzor je germanijumski, spektralnog opsega 700–1800 nm i opsega snage od 35nW–35mW (rezolucija: 1 nW).



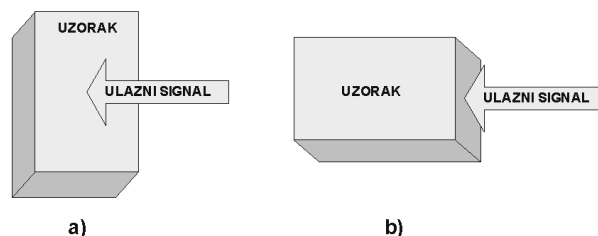
Slika 2. PM300 sa optičkim senzorom S122B.  
Figure 2. PM300 with optical sensor S122B.

Izvor laserske svetlosti je Agilent 81949A koji emituje svetlost u intervalu talasnih dužina od 1518 do 1630 nm, dok se snaga može menjati u intervalu od 5 do 30 mW [10]. Merenja su izvršena sa snagama od 5, 7,5, 10 i 15 mW. Kao izvor svetlosti za pobuđivanje  $Er^{3+}$  koristi se ksenonska lampa pod visokim pritiskom (Osram XBO 450W).

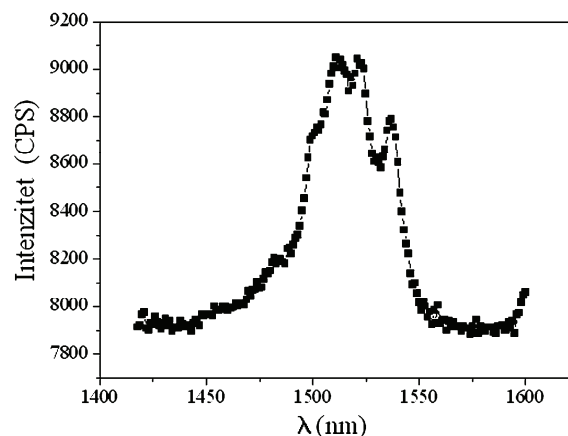
Merenje je izvršeno za dva preseka uzorka, s ciljem praćenja pojačanja signala u funkciji dužine prolaska kroz uzorak, kao što je prikazano na slici 3. Prilikom prolaska laserskog signala kroz uzorak (slika 3a), signal je u uzorku prelazio put od 1,19 mm, dok je prilikom prolaska laserskog signala kroz uzorak (slika 3b) signal u uzorku prelazio put od 5,22 mm.

Interval talasnih dužina od 1518 do 1540 nm, na kojima je posmatrano pojačanje signal, određen je na osnovu tehničkih mogućnosti uređaja Fluorolog-3, Model FL3-221 (HORIBA Jobin-Yvon), i snimljenog spektra. Fluorescentni spektar je prikazan na slici 4 i na

njemu je jasno uočljiv širok fluorescentni pik koji se nalazi u intervalu talasnih dužina od 1500 do 1540 nm. Pošto laserski izvor svetlosti ima najmanju talasnu dužinu 1518 nm, njome je definisana donja granica intervala merenja, dok je gornja granica određena fluorescentnim pikom i iznosi 1540 nm.



Slika 3. Geometrije propuštanja signala kroz uzorak.  
Figure 3. Geometry failure signal through the sample.



Slika 4. Fluorescentni spektar uzorka  
 $[(As_2S_3)_{30}(GeS_2)_{70}]_{1-y}(Er_2S_3)_y$ ,  $Er = 0,5$  at%.  
Figure 4. Fluorescent spectrum of the sample  
 $[(As_2S_3)_{30}(GeS_2)_{70}]_{1-y}(Er_2S_3)_y$  with  $Er = 0.5$  at%.

## REZULTATI

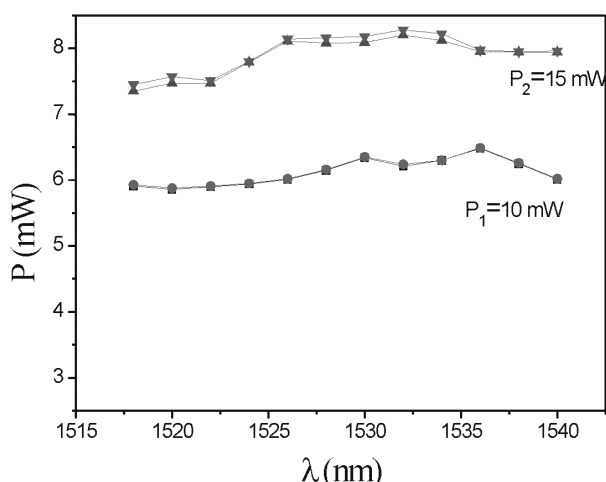
Pojačanje snage laserske svetlosti za slučaj geometrije uzorka kada je putanja kroz uzorak  $l = 1,19$  mm prikazana je na slici 5.

Sa slike 5 je uočljivo odsustvo pojačanja snage ukoliko je snaga ulaznog signala od 10 mW. Međutim, ukoliko se pojača ulazna snaga na 15 mW zapaža se pojačanje. Prosečno povećanje snage iznosi 0,022 mW (0,018 mW/mm) odnosno 0,28%. Snaga izlaznog signala nije konstantna u ispitivanom intervalu talasnih dužina, i zapaža se maksimum u intervalu talasnih dužina od 1526 do 1534 nm. U tom intervalu izlazna snaga iznosi 54% ulazne snage.

Pojačanje snage laserske svetlosti za slučaj geometrije uzorka kada je putanja kroz uzorak  $l = 5,22$  mm prikazana je na slici 6.

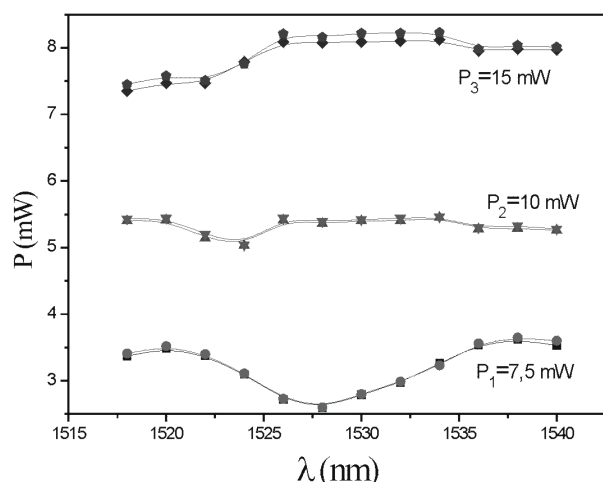
Na slici 6 je uočljivo odsustvo pojačanja snage za snagu ulaznog signala od 7,5 mW, dok je za ulazne snage od 10 i 15 mW pojačanje uočljivo. Pri snazi ulaznog

signala od 10 mW prosečno povećanje snage iznosi 0,072 mW, odnosno 1,35%, dok je pri snazi od 15 mW prosečno povećanje 0,11 mW, tj. 1,39%.



Slika 5. Pojačanje ulaznog laserskog signala različite snage kroz uzorak As-S-Ge dopiran sa 0,5 at% Er za dužinu puta kroz uzorak od  $l = 1,19$  mm.

Figure 5. Amplification of the input signal for different laser power through the sample As-S-Ge doped with 0.5 at% Er for the length  $l = 1.19$  mm through the sample.



Slika 6. Pojačanje ulaznog laserskog signala različite snage kroz uzorak As-S-Ge dopiran sa 0,5 at% Er za dužinu puta kroz uzorak od  $l = 5,22$  mm.

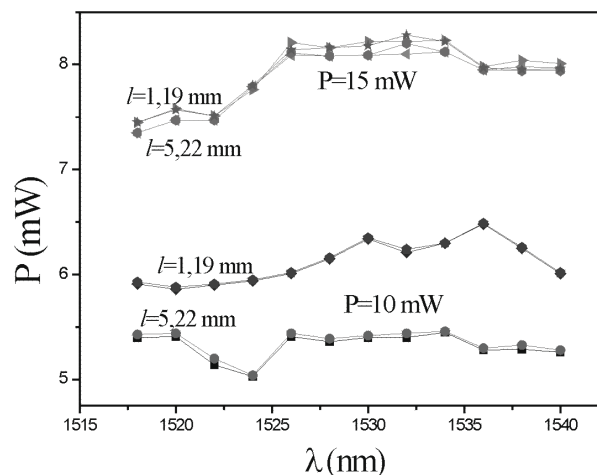
Figure 6. Amplification of the input signal for different laser power through the sample As-S-Ge doped with 0.5 at% Er for the length  $l = 5.22$  mm through the sample.

Ukoliko bi se izračunalo povećanje snage po dužini puta za snagu od 10 mW to bi iznosilo 0,014 mW/mm, dok bi za snagu od 15 mW to iznosilo 0,021 mW/mm.

Na slici 6 se može zapaziti veoma slična zavisnost izlazne snage kao funkcije talasne dužine ulaznog signala snage 10 i 15 mW. Obe zavisnosti pokazuju najveću vrednost izlaznog signala (oko 55% ulazne snage) u intervalu talasnih dužina od 1526 do 1534 nm. U tom intervalu izlasna snaga iznosi 54% ulazne snage. Naj-

manja snaga izlaznog signala pri snazi od 10 mW registrovana je na talasnoj dužini 1524 nm a na snazi od 15 mW na talasnoj dužini 1522 nm.

Pojačanje snage ulaznog laserskog signala za oba preseka uzorka i za dve ulazne snage na kojima je registrovano pojačanje prikazano na slici 7.



Slika 7. Pojačanje snage za dva uzorka sa dva preseka i dve ulazne snage signala.

Figure 7. Power amplification for two samples from two sections and two input signal strengths.

Na slici 7 se primećuje da je pri ulaznoj snazi od 10 mW veća snaga izlaznog signala ukoliko signal ide kroz uzorak debljine 1,19 mm, nego ako ide kroz uzorak debljine 5,22 mm. Ovo je posledica apsorpcije svetlosti u uzorku i što je duži put svetlosti veća je apsorpcija. Ukoliko se, međutim, poveća snaga ulaznog signala na 15 mW zavisnost apsorpcije od dužine prolaska kroz materijal je mnogo manja.

## ZAKLJUČAK

Rezultati merenja zavisnosti snage laserskog signala prilikom prolaska kroz uzorak od talasne dužine svetlosti, pokazuju da je najveća vrednost izlaznog signala (oko 55% ulazne snage) u intervalu talasnih dužina od 1526 do 1534 nm.

Merenje snage laserskog signala koji je prolazio kroz halkogenidno staklo  $[(As_2S_3)_{30}(GeS_2)_{70}]_{1-y}(Er_2S_3)_y$  dopirano sa 0,5 at% Er, koje je istovremeno bilo pobuđivano ksenonskom lampom, pokazalo je da dolazi do pojačanja snage signala. Pojačanje je srazmerno dužini prolaska kroz uzorak i povećava se za oko 0,02 mW/mm. Povećanje snage se povećava i sa povećanjem snage ulaznog signala. Pri povećanju snage sa 10 na 15 mW, dužine uzorka od 5,22 mm, dolazi do povećanja snage sa 1,35 na 1,39%.

## Zahvalnost

Ovaj rad je deo projekta "Tehnologija dobijanja i karakterizacija neuređenih poluprovodnika", koji finan-

sira Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj  
Autonomne Pokrajine Vojvodine.

## LITERATURA

- [1] M. Letz, U. Peuchert, B. Schreder, K. Seneschal, R. Sprengard, J. S. Hayden, *J. Non-Cryst. Solids* **351** (2005) 1067–1071.
- [2] G. Liu, B. Jacquer, *Spectroscopic Properties of Rare Earth in Optical Materials*, Springer and Tsinghua University, 2005.
- [3] D. Lezal, *J. Optoelectron. Adv. M.* **5** (2003) 23–34.
- [4] S.J. Skuban, S.R. Lukić, I.O. Gut, D.M. Petrović, *J. Optoelectron. Adv. M.* **3** (2002) 737–742.
- [5] D. Lezal, J. Peđiková, J. Zavadil, P. Kostka, M. Poulain, *J. Non-Cryst. Solids* **326** (2003) 47–52.
- [6] A.K. Dutta, N.K. Dutta, M. Fujiwara, *WDM Technologies: Optical Networks*, 1<sup>st</sup> ed., Academic Press, San Diego, CA, 2004.
- [7] M.B. Živanov, M.P. Slankamenac, *Optoelektronika, praktikum za laboratorijske vežbe*, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, 2006.
- [8] V.B. Petrović, S.R. Lukić, M.V. Šiljegović, F. Skuban, *J. Optoelectron. Adv. M.* **9** (2007) 825–827.
- [9] PM300, S122B user manual ([www.thorlabs.com](http://www.thorlabs.com)).
- [10] Agilent 8164B, 81949A user manual ([www.agilent.com](http://www.agilent.com)).

## SUMMARY

### AMPLIFYING CHARACTERISTICS Er-DOPED CHALCOGENIDE GLASS

Vesna Petrović<sup>1</sup>, Nikola Stojanović<sup>2</sup>, Miloš P. Slankamenac<sup>2</sup>, Svetlana R. Lukić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

<sup>2</sup>Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

(Scientific paper)

The paper presents the measurement results of optical amplifying characteristics of Er-doped As–S–Ge chalcogenide glasses. The measurements included the amplification of useful laser source power during propagation along two axes of samples. A fluorescence maximum at the wavelengths between 1500 and 1540 nm was identified, which corresponds to the transition of electrons from the  $^4I_{13/2}$  level to the  $^4I_{15/2}$  level within the 4f shell of erbium ions ( $\text{Er}^{3+}$ ). Measuring the signal strength showed that the passage through the erbium doped chalcogenid glass amplification of the useful signal occurs and this increase is proportional to the length of propagation through the doped glass.

Ključne reči: Halkogenidna stakla • Retka zemlja • Erbijum • Merenje snage • Optički pojačavač  
Key words: Chalcogenide glasses • Rare-earth • Erbium • Power measurement • Optical amplifier