

Ispitivanje karakteristika amornog poluprovodničkog stakla dopiranog erbijumom

Dejan Cvijović, Nikola Stojanović, Vesna Petrović, Miloš Slankamenac, *Member, IEEE*, Miloš Živanov, *Senior Member, IEEE*

Sadržaj — U radu su prikazani rezultati merenja pojačavačkih karakteristika uzorka amornog poluprovodničkog stakla dopiranog erbijumom $[(As_2S_3)_{30}(GeS_2)_{70}]_{1-y}(Er_2S_3)_y$. Opisan je detaljno i postupak merenja kao i korišćena oprema. Ispitana je transparentnost uzorka na različitim talasnim dužinama i merena je snaga propuštenog multipleksiranog signala kroz uzorak stakla. Grafički i tabelarno su pokazani i analizirani rezultati merenja.

Ključne reči — erbijum, laserski izvor, optički spektralni analizator, merenje snage, pojačavači.

I. UVOD

Zbog neminovno prisutnog slabljenja, optički signali [1] se mogu preneti na određena rastojanja na kojima ne postoji značajna degradacija podataka. Primenom optičkih pojačavača, daljine za prenos optičkih signala se mogu povećati. Često se prilikom prenosa DWDM optičkih signala na veće daljine koriste pasivni pojačavači sa vlaknima dopiranih erbijumom.

Pojačavač sa vlaknom dopiranim erbijumom (Erbium-Doped Fiber Amplifier) predstavlja nezaobilazan element u projektovanju optičkih linkova srednje i velike dužine, pošto ima skoro idealne osobine za takvu primenu: polarizaciono nezavisno pojačanje, malo međukanalno preslušavanje, širok propusni opseg, neosetljivost na protokole u mreži itd.

Erbijum je redak element, koji pobuđen emituje svetlost talasne dužine 1540 nm, a to je talasna dužina na kojoj je najmanje slabljenje i koja se koristi u DWDM [2] sistemu. Oslabljen signal ulazi u erbijumom dopirano vlakno, u koje se ubacuje svetlost, pomoću lasera za upumpavanje. Ova svetlost pobuđuje atome erbijuma, kako bi oslobodili sakupljenu energiju kao dodatnu svetlost talasne dužine oko 1550 nm. Kako se ovaj proces nastavlja kroz vlakno, signal postaje sve jači.

D. Cvijović, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija (telefon: 381-21-4852540; e-mail: cvijio84@gmail.com).

N. Stojanović, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija (telefon: 381-21-4852540; e-mail: stojanovic_nikola_ns@yahoo.com).

V. Petrović, Viša tehnička škola u Novom Sadu, Srbija (telefon: 381-63-569440; e-mail: savetati@gmail.com).

M. Slankamenac, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija (telefon: 381-21-4852540; e-mail: miloss@uns.ac.rs).

M. Živanov, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija (telefon: 381-21-4852541; e-mail: zivanov@uns.ac.rs).

Sinteza stakla sistema $[(As_2S_3)_{30}(GeS_2)_{70}]_{1-y}(Er_2S_3)_y$, u koji je dopirano 0,5 at% Er, je realizovana u procesu kaskadnog zagrevanja do maksimalne temperature i kaljena na vazduhu prema ranije publikovanoj proceduri [3].

II. OPREMA ZA MERENJA

Za ova merenja korišćena su dva promenljiva laserska izvora TLS-55C (1528 nm – 1564 nm) [4] i Agilent 81949A (1520nm-1630nm) [5]. Agilentov promenljivi izvor je modul platforme za testiranje fiber-optičkih komponenti - Agilent 8164B i on je prikazan na sl. 1.



Sl. 1. Agilent 8164B sa modulom 81949A

Snaga signala je merena pomoću merača snage PM300 (sl. 2) na koji je montiran optički senzor S122B [6].



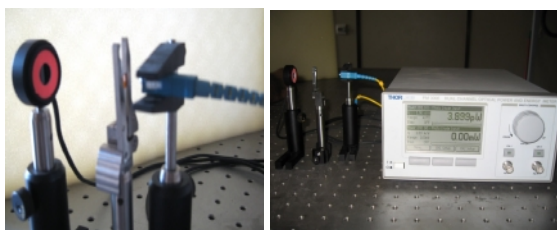
Sl. 2. PM300 sa optičkim senzorom S122B

Za proveru multipleksiranih signala je korišćen optički spektralni analizator FTB-5230 [7] sa opsegom talasnih dužina od 1250 do 1650 nm. Optička spektralna analiza predstavlja merenje optičkih signala u funkciji frekvencije i vremena. Optički spektralni analizator FTB-5230 se može koristiti za: testiranje laserskih izvora (spektralna karakteristika i raspodela snage), testiranje karakteristika prenosa optičkih uređaja, praćenje parametara CWDM signala i merenje talasnih dužina i snage laserskih izvora.

III. MERENJA

A. Povezivanje opreme

Prvo je kompaktni podesivi laser - Agilent 81949A, preko *patch cord* monomodnog optičkog vlakna povezan sa aparaturom za merenje snage, kao na sl. 3, kako bi se ispitala apsorpcione karakteristike uzorka.



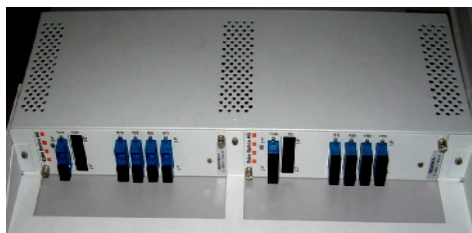
Sl. 3. Aparatura za merenje snage.

Za merenje snage signala je korišćena optička glava S122B, opsega optičke snage od 35 nW do 35 mW i talasne dužine od 700nm do 1800nm, i optički merač snage PM300E. Na sl. 4 je prikazan uzorak hemijskog sastava: $[(As_2S_3)_{30}(GeS_2)_{70}]_{1-y}(Er_2S_3)_y$, koji je korišćen u merenjima i držač na koji je postavljen.



Sl. 4. Ispitivani uzorak i držač na koji je postavljen.

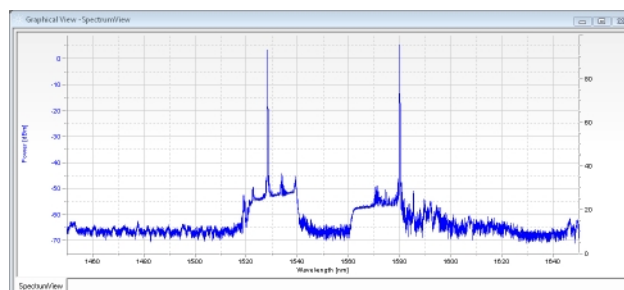
Kompaktni podesivi laser - Agilent 81949A i optički podesivi laser TLS-55C su povezani, korišćenjem dva *patch-cord* monomodna izolovana vlakna sa PC-SC konektorima, na multiplekser (sl. 5). Multiplekser korišćen u ovim merenjima ima predviđena 4 ulaza za multipleksiranje signala. Da bi ih multiplekser propustio signale, oni moraju da uđu u opsege talasnih dužina filtarskog prozora svakog ulaza, a to su 1510 ± 10 nm, 1530 ± 10 nm, 1550 ± 10 nm i 1570 ± 10 nm, respektivno. Sve vrednosti van tih opsega su snažno oslabljene pojedinačnim filtrom.



Sl. 5. Multiplekser.

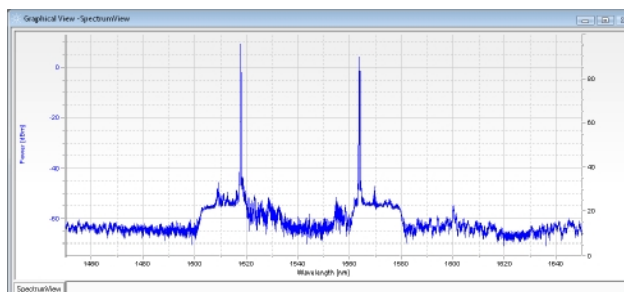
Podesivi laser TLS-55C je podešen na talasnu dužinu 1528 nm, simulirajući pumpanje, dok je talasna dužina drugog lasera podešena na vrednost 1580 nm, što simulira

koristan signal. Zbog toga su signali lasera TLS-55C i kompaktnog podesivog lasera Agilent 81949A propuštani kroz ulaze 1530 ± 10 nm i 1570 ± 10 nm multipleksera, respektivno. Multipleksirani signal je potom doveden na optički spektralni analizator FTB-5230, takođe pomoću *patch cord*-a sa monomodnim vlaknom. Izgled spektra multipleksiranog signala je prikazan na sl. 6.



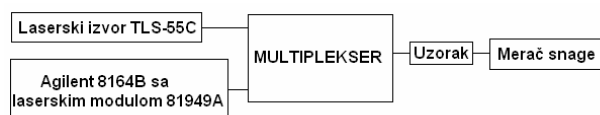
Sl. 6. Izgled spektra dva laserska signala poslata na multiplekser istovremeno.

U poslednjem merenju je talasna dužinu signala podesivog lasera podešena na vrednost 1518 nm, dok je signal lasera TLS-55C podešen na talasnu dužinu 1564 nm. Tako su signali kompaktnog podesivog lasera Agilent 81949A i lasera TLS-55C propuštani kroz ulaze 1520 ± 10 nm i 1570 ± 10 nm multipleksera. Izgled spektra ovako dobijenog multipleksiranog signala je prikazan na sl. 7.



Sl. 7. Izgled spektra multipleksiranog signala.

Ovim je izvršena provera signala koji se šalju na uzorak. Nakon toga je merena snaga multipleksiranog signala sa i bez prolaska kroz uzorak, pomoću merne opreme prikazane na blok šemi na sl. 8.



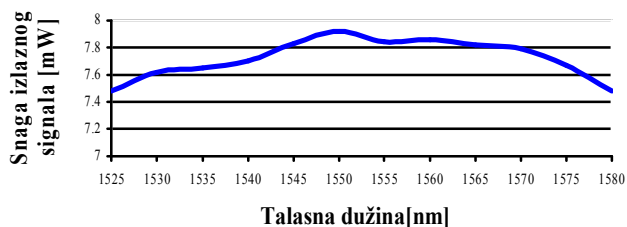
Sl. 8. Blok šema povezane merne opreme.

B. Rezultati merenja

Prvo su izvršena merenja na 13 različitih talasnih dužina u opsegu od 1520 nm do 1580 nm signala snage 10 mW iz podesivog laserskog izvora. Pre toga je izmerena stvarna snaga signala lasera, koja iznosi 9.6 mW, a što je posledica slabljenja signala na konektorima. U tabeli 1. su prikazani rezultati ovih merenja.

TABELA 1: Snaga izlaznog signala propuštenog kroz uzorak.

λ [nm]	1525	1530	1535	1540	1545	1550
P[mW]	7,48	7,62	7,65	7,7	7,83	7,92
λ [nm]	1555	1560	1565	1570	1575	1580
P[mW]	7,84	7,86	7,82	7,79	7,67	7,48



Sl. 9. Snaga izlaznog signala propuštenog kroz uzorak.

Sa sl. 9 se vidi da je najveća snaga na talasnoj dužini od 1550 nm, u trećem optičkom prozoru, sto je bilo i očekivano.

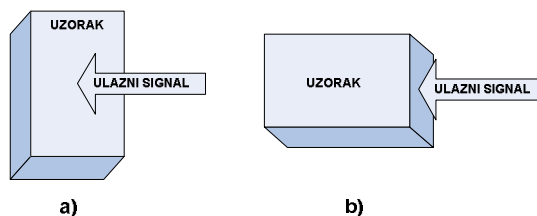
U sledećim merenjima (tabela 2) prvo je izmerena snaga signala kompaktnog podešivog lasera maksimalne talasne dužine 1580 nm, snage 10 mW, koji je propušten kroz multiplexer. Potom je priključen i laser TLS-55C minimalne talasne dužine 1528 nm, kome je menjana snaga. Zatim je merena snaga multipleksiranog signala, koji je propušten kroz uzorak, na talasnoj dužini od 1580 nm, što predstavlja snagu "korisnog" signala (1580 nm). Merenja su izvršena za deset različitih vrednosti snage u opsegu od 6 do 9 dBm (od 3.98 do 7.9 mW).

TABELA 2: Rezultati merenja snage signala bez i sa prolaskom kroz uzorak (koristan signal je na 1580nm, dok je pumpajući signal na 1528nm).

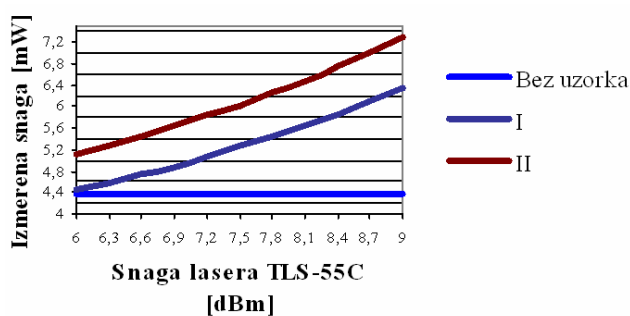
Laserski izvori			Izlazna snaga [mW]		
Agilent 81949A	TLS-55C		Bez uzorka	Sa uzorkom	
	P [mW]	P [dBm]		I	II
10	6	3,98	4,38	4,44	5,1
10	6,3	4,26	4,38	4,57	5,27
10	6,6	4,57	4,38	4,73	5,45
10	6,9	4,89	4,38	4,88	5,63
10	7,2	5,25	4,38	5,08	5,86
10	7,5	5,62	4,38	5,26	6,03
10	7,8	6,03	4,38	5,43	6,25
10	8,1	6,46	4,38	5,66	6,48
10	8,4	6,92	4,38	5,86	6,74
10	8,7	7,41	4,38	6,12	7,01
10	9	7,94	4,38	6,36	7,28

Kolone I i II u tabeli 2 predstavljaju rezultate merenja dobijenih propuštanjem multipleksiranog signala kroz uzorak na dva načina, koja su prikazana na sl. 10. U drugom slučaju (II) signal duže putuje kroz vlakno i pri

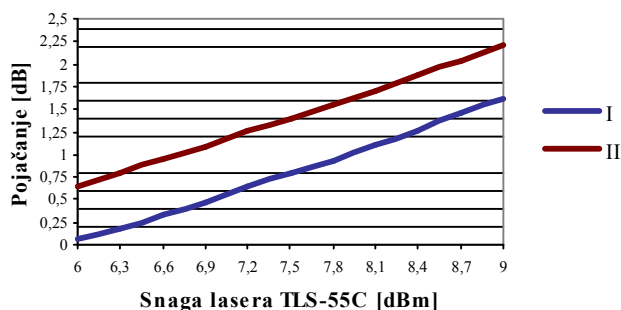
tome se dobija veća izlazna snaga nego u slučaju I. Na sl. 11 i 12 data je respektivno zavisnost izlazne snage odnosno pojačanja od snage pumpanog signala za slučaj bez postavljenog uzorka i kada je uzorak postavljen na dva različita načina. Na osnovu tih rezultata merenja može se zaključiti da ispitivani uzorak pojačava upadnu optičku snagu i da je dobijena izlazna snaga direktno proporcionalna dužini uzorka.



Sl. 10. Propuštanje signala kroz uzorak: a) I način, b) II način.



Sl. 11. Zavisnost izlazne snage od snage pumpanog signala.



Sl. 12. Zavisnost pojačanja izlazne snage od snage pumpanog signala.

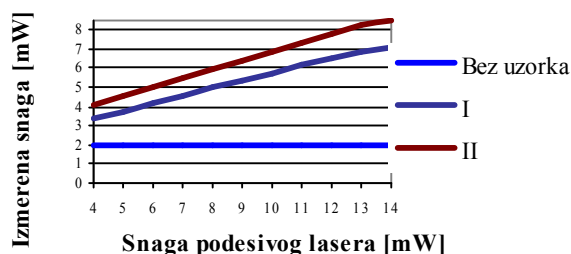
U tabeli 3 su prikazana merenja kod kojih je signal lasera TLS-55C podešen na maksimalnu talasnu dužinu 1564 nm i snagu od 6 dBm (3.98 mW). Takođe je talasna dužina signala izvora Agilent 81949A podešena na minimalnu vrednost 1518 nm, dok je snaga varirana u opsegu od 4 do 14 mW, sa korakom od 1 mW.

Kolone I i II u tabeli 2 predstavljaju rezultate merenja dobijenih propuštanjem multipleksiranog signala kroz uzorak na dva načina, koja su prikazana na sl. 10. U drugom slučaju (II) signal duže putuje kroz vlakno i pri tome se dobija veća izlazna snaga nego u slučaju I. Na sl. 13 i 14 data je respektivno zavisnost izlazne snage odnosno pojačanja od snage pumpanog signala za slučaj bez postavljenog uzorka i kada je uzorak postavljen na

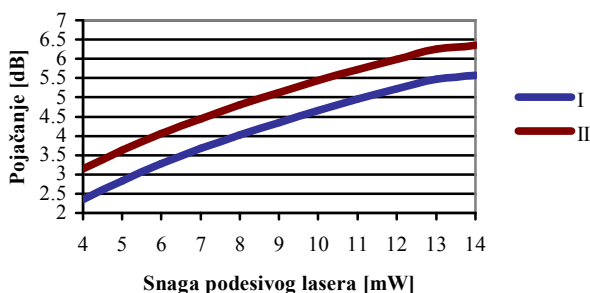
dva različita načina. Na osnovu tih rezultata merenja može se zaključiti da ispitivani uzorak pojačava upadnu optičku snagu i da je dobijena izlazna snaga direktno proporcionalna dužini uzorka. Za razliku od merenja prikazanih u tabeli 2 zapaza se da je u ovom slučaju pojačanje značajno veće za iste snage pumpanja. To je posledica korišćenja korisnog signala talasne dužine koji je bliži 1550 nm na kom je manje unešeno slabljenje.

TABELA 3: Rezultati merenja snage signala bez i sa prolaskom kroz uzorak (koristan signal je na 1564nm, dok je pumpajući signal na 1518nm).

Laserski izvori			Izlazna snaga [mW]		
Agilent 81949A	TLS-55C		Bez uzorka	Sa uzorkom	
	P [dBm]	P [mW]		I	II
4	6	3,98	1,96	3,37	4,04
5	6	3,98	1,96	3,76	4,51
6	6	3,98	1,96	4,17	4,99
7	6	3,98	1,96	4,56	5,45
8	6	3,98	1,96	4,95	5,93
9	6	3,98	1,96	5,34	6,39
10	6	3,98	1,96	5,74	6,86
11	6	3,98	1,96	6,14	7,34
12	6	3,98	1,96	6,53	7,79
13	6	3,98	1,96	6,92	8,26
14	6	3,98	1,96	7,09	8,46



Sl. 13. Zavisnost izlazne snage od snage pumpanog signala.



Sl. 14. Zavisnost pojačanja izlazne snage od snage pumpanog signala.

IV. ZAKLJUČAK

Merenja u optičkim sistemima su osetljiva i potrebno je praktično i teorijsko znanje da bi se postigli dobri rezultati. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da ispitivani uzorak stakla dopiran erbijumom ispunjava zahteve na osnovu kojih bi se napravio optički pojačavač. Utvrđeno da pri prolasku signala kroz uzorak do najmanjeg slabljenja dolazi na talasnoj dužini od 1550 nm, što se poklapa sa teorijskom analizom. Kada su propuštani multipleksirani signali kroz uzorak, simulirajući koristan signal i pumpanje, dobijen je pojačan signal na izlazu. Signal je propuštano na dva načina kroz uzorak i dobijene su za oko 0,5 mW signali veće snage, pri tri puta dužem prolasku kroz ispitivano staklo.

Ovim je pokazano da pojačanje zavisi od dužine pojačavača. Takođe se vidi i da pojačanje raste sa povećavanjem snage pumpanja, ali do neke određene vrednosti, kada dolazi do sve sporijeg rasta (sl. 14). Predpostavka je da bi došlo do zasićenja da je snaga pumpanja veća od 15 mW. Takođe se može zaključiti da se prilikom merenja na talasnim dužinama korisnog signala koji je bliži 1550 nm dobija znatno veće pojačanje što je posledica manjeg unešenog slabljenja na tim talasnim dužinama.

Naredna istraživanja u ovom pravcu bi bila u izvlačenju vlakna od ovog materijala i laboratorijsko ispitivanje karakteristika tako dobijenog optičkog pojačavača.

LITERATURA

- [1] Miloš B. Živanov, Miloš P. Slankamenac, "Optoelektronika, praktikum za laboratorijske vežbe", Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Edicija: Univerzitetski udžbenik, Novi Sad, 2006.
- [2] Optoelektronika, Miloš B. Živanov, Novi Sad, 2001.
- [3] V.B. Petrović, S.R. Lukić, M.V. Šiljegović, F. Skuban, "Thermomechanical Parameters of Non-Crystalline Chalcogenides in the As-S-Ge-Er System", *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 9, 4, 2007, pp. 825-827.
- [4] TLS-55C/55L Smart Optical Tunable Laser Source manual, www.jdsu.com.
- [5] Agilent 8164B, 81949A user manual, www.agilent.com
- [6] PM300, S122B user manual, www.thorlabs.com
- [7] FTB-5230 manual, www.exfo.com.

ABSTRACT

The paper presents the results of measurements the gain characteristics of the sample of amorphous semiconductor doped erbium glass $[(As_2S_3)_{30}(GeS_2)_{70}]_{1-y}(Er_2S_3)_y$. A procedure of measurement and used equipment are described in detail. Examined the transparency of the sample at different wavelengths, and measured the forces missed multiplexer signal through a sample glass. Measurement results are displayed and analyzed by graphics and tables.

INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS OF AMORPHOUS GLASS SEMICONDUCTOR DOPED WITH ERBIUM

Dejan Cvijović, Nikola Stojanović, Vesna Petrović, Miloš Slankamenac, Miloš Živanov