



Porównanie generacji ciągłej w szklach „Concentrated Glass” oraz SELG pompowanych długością fali 974 nm oraz 939 nm

JAROSŁAW MŁYŃCZAK, KRZYSZTOF KOPCZYŃSKI,
ZYGMUNT MIERCZYK

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. Przeprowadzono badania generacji ciągłej mikrolaserów generujących promieniowanie 1,5 μm . Ośrodkiem aktywnym w badanych mikrolaserach było szkło „Concentrated Glass” oraz SELG (*Strong Erbium Laser Glass*) domieszkowane jonami erbu i iterbu o długościach równych drodze absorpcji. Wyznaczono charakterystyki generacyjne mikrolaserów przy pompowaniu diodami laserowymi generującymi promieniowanie o długości fali 974 nm i 939 nm dla różnych transmisji oraz promieni krzywizny zwierciadeł wyjściowych.

Słowa kluczowe: szkła erbowe, promieniowanie „bezpieczne dla oka”, mikrolasery
Symbole UKD: 621.375.826

1. Wprowadzenie

Pierwsze prace dotyczące generacji w szkłe erbowym realizowano w 1965 roku [1]. Matrycę stanowiły szkła krzemianowe [1], jednakże bardzo szybko okazało się, że bardziej efektywne są szkła fosforanowe [2]. Szkło fosforanowe erbowo-iterbowe po raz pierwszy zastosowano do generacji promieniowania laserowego o długości fali 1,5 μm na początku lat dziewięćdziesiątych [3]. Układy laserowe z tym ośrodkiem aktywnym znalazły wiele praktycznych zastosowań [4]. Wraz z rozwojem nowych źródeł pompujących, jakimi są diody laserowe generujące coraz wyższe moce, rosną wymagania na odporność mechaniczną, cieplną i optyczną nowych ośrodków aktywnych. Dla laserów pompowanych diodami laserowymi wymagane

są również wyższe koncentracje domieszek. W związku z tym trwają intensywne prace nad nowymi ośrodkami szklanymi o coraz wyższej odporności termicznej i optymalnej koncentracji domieszek.

Dotychczas powszechnie stosowano szkła dostępne komercyjnie QX/Er, QE-7 oraz QE-7S produkowane przez firmę KIGRE [5, 6]. Jednakże w ostatnim czasie, w Rosyjskiej Akademii Nauk w Moskwie w zespole prof. Denkera, opracowano nowe szkła erbowo-iterbowe o podwyższonej koncentracji jonów iterbu (*Concentrated Glass*) [7] oraz szkła SELG (*Strong Erbium Laser Glass*) o podwyższonym progu uszkodzenia termicznego [8]. Łączą one w sobie właściwości szkieł krzemowych (właściwości termomechaniczne) i fosforanowych (duża sprawność generacji). Głównym przeznaczeniem nowych ośrodków są aplikacje mikrolaserowe.

W dotychczasowych publikacjach dotyczących tych ośrodków aktywnych przedstawiano jedynie wyniki generacji dla pompowania długością fali 975 nm oraz jednej konfiguracji rezonatora. W tej pracy zaprezentowano wyniki badań dla pompowania długościami fal 939 nm i 974 nm, dla różnych transmisji i różnych promieni krzywizny zwierciadła wyjściowego oraz różnych długości ośrodków. Podjęto także próbę określenia najefektywniejszej długości fali pompującej.

2. Badania generacyjne

Do badań generacyjnych zastosowano próbki szkieł *Concentrated Glass* oraz SELG mających następujące koncentracje domieszek:

- GLASS-1: $\text{Yb}^{3+} 4 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, $\text{Er}^{3+} 1,5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$
- GLASS-2: $\text{Yb}^{3+} 4 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, $\text{Er}^{3+} 0,5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$
- GLASS-3: $\text{Yb}^{3+} 4 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, $\text{Er}^{3+} 0,3 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$

oraz

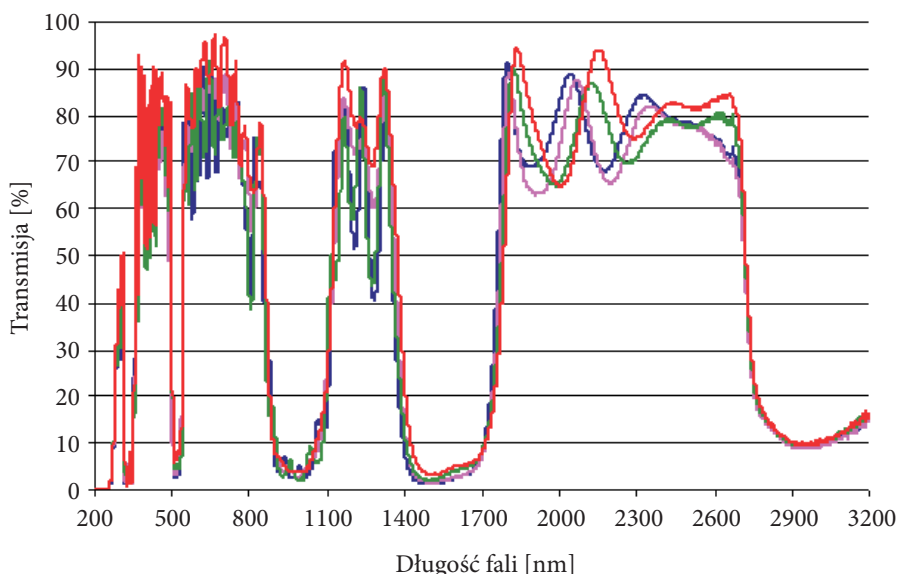
- SELG-1: $\text{Yb}^{3+} 1,7 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, $\text{Er}^{3+} 0,75 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$
- SELG-2: $\text{Yb}^{3+} 1,7 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, $\text{Er}^{3+} 1 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$
- SELG-3: $\text{Yb}^{3+} 1,7 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, $\text{Er}^{3+} 1,3 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$

Próbki charakteryzowały się grubościami równymi drodze absorpcji wynoszącymi odpowiednio:

- a) szkło *Concentrated Glass*
 - długość fali pompującej 974 nm — 0,33 mm,
 - długość fali pompującej 939 nm — 1 mm
- b) szkło SELG
 - długość fali pompującej 974 nm — 0,5 mm,
 - długość fali pompującej 939 nm — 1,5 mm

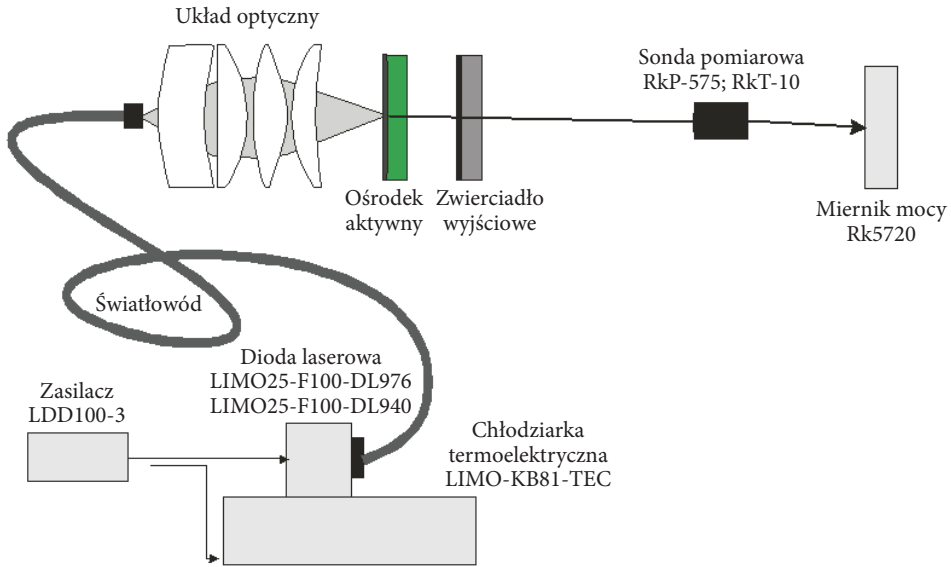
Na czoła ośrodków aktywnych naniesiono odpowiednio zaprojektowane zwierciadło wejściowe ($\text{AR} \cong 980\text{-}930 \text{ nm}$, $\text{HR} \cong 1545 \text{ nm}$) oraz warstwę antyrefleksyjną ($\text{AR} \cong 1545 \text{ nm}$). Ponadto, w celu wykonania badań dla różnych transmisji zwier-

ciadeł wyjściowych oraz ich różnych promieni krzywizny, dodatkowo opracowano i wykonano zwierciadła dichroiczne o wysokim współczynniku odbicia na zakres promieniowania pompującego 940-980 nm i małej transmisji dla promieniowania generowanego 1535 nm. Wykonano zwierciadła płaskie oraz o promieniu krzywizny 50 mm i 100 mm. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe charakterystyki transmisyjne opracowanych zwierciadeł płaskich w zakresie widmowym od 900 nm do 1600 nm zmierzone na spektrofotometrze Lambda 900.



Rys. 1. Charakterystyki transmisyjne opracowanych zwierciadeł

Badania generacyjne wykonano dla czterech różnych transmisji zwierciadeł w układzie rezonatora płasko-płaskiego oraz płasko-wklęsłego o promieniach krzywizny zwierciadeł wyjściowych 50 mm oraz 100 mm. Długość rezonatora w każdym przypadku wynosiła ok. 5 mm. Do pompowania wykorzystano dwie diody laserowe firmy LIMO: LIMO20 F100 DL976, generującą promieniowanie z maksimum na 974 nm oraz LIMO20 F100 DL940, generującą promieniowanie z maksimum na 939 nm w temperaturze 27°C. Badania zostały przeprowadzone w układzie pomiarowym przedstawionym na rysunku 2. Wyznaczono charakterystyki mocy wyjściowej mikrolaserów w funkcji mocy pompy padającej na ośrodek aktywny dla pracy cw. Moce progowe [mW] oraz sprawności [%] dla poszczególnych ośrodków aktywnych i transmisji zwierciadeł wyjściowych zostały przedstawione w tabeli 1 dla pompowania diodą laserową LIMO25-F100-DL976 oraz w tabeli 2 dla pompowania diodą laserową LIMO25-F100-DL940 (brak generacji oznaczono jako „b.gen.”, natomiast generację niestabilną jako „gen.n.”).



Rys. 2. Układ pomiarowy do badań generacyjnych ośrodków aktywnych

Przykładowe charakterystyki dla rezonatora płasko-wklęsłego dla promienia krzywizny zwierciadła wyjściowego 50 mm dla próbki SELG-2 o grubości 1,5 mm przy pompowaniu diodą laserową LIMO25-F100-DL976 przedstawiono na rysunku 3.

Dla próbek GLASS-2 oraz GLASS-3 o grubości 0,33 mm nie uzyskano generacji w badanym przedziale mocy pompującej, zarówno dla długości fali 939 nm, jak i 974 nm. Zwiększenie mocy pompującej mogłoby spowodować uszkodzenie ośrodka aktywnego z powodu braku chłodzenia. Dla próbki GLASS-3 o grubości 1 mm uzyskano generację dla trzech typów rezonatora, dla zwierciadeł o najmniejszej transmisji. Brak generacji dla wyższych transmisji zwierciadeł wyjściowych mógł być spowodowany niewystarczającą ilością generujących jonów erbu, przypadającą na długość ośrodka aktywnego, niezbędną do osiągnięcia progu generacji. Ponadto, znacznie większy gradient temperatury oraz współczynnik temperaturowej rozszerzalności liniowej dla szkła GLASS mógł wpływać na pogorszenie efektywności generacji w tych szklach, w większym stopniu niż w szklach SELG.

Jak widać z tabeli 1 i 2, wraz ze wzrostem transmisji zwierciadła wyjściowego rośnie próg generacji oraz sprawność dla danego ośrodka aktywnego. Porównując z kolei różne rezonatory, można stwierdzić, że progi generacji oraz sprawność zmieniają się w nieznacznym stopniu. Dla ośrodków cienkich (0,33 mm i 0,5 mm) najlepszy jest rezonator ze zwierciadłem wyjściowym wklęsłym, o promieniu krzywizny 50 mm (sprawność większa o ok. 1-2% od pozostałych rezonatorów).

TABELA 1

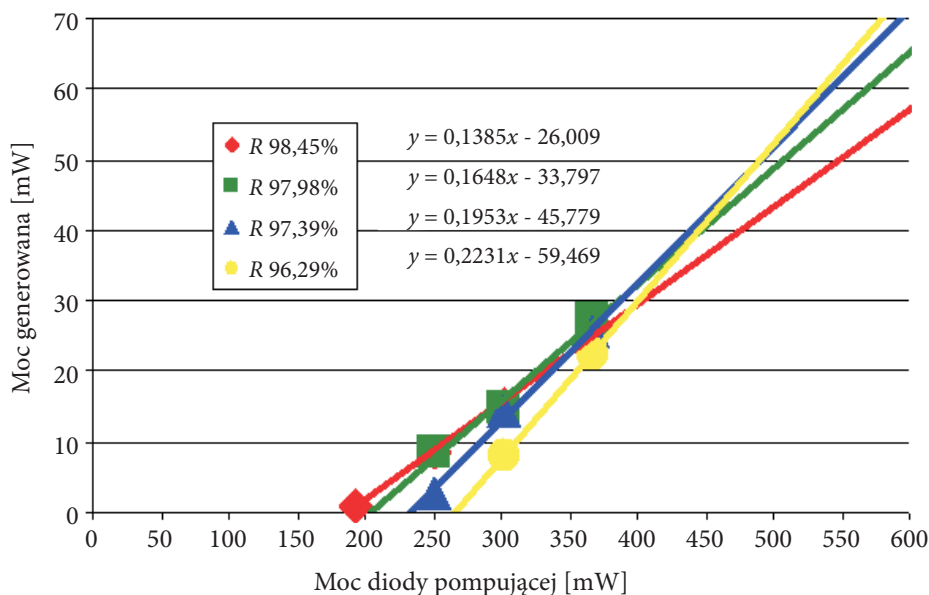
Moc progowe oraz sprawności generacji mikrolaserów dla pompowania diodą laserową LIMO25-F100-DL976

	Rezonator płasko-płaski					Rezonator płasko-wklęsły $r = 100 \text{ mm}$					Rezonator płasko-wklęsły $r = 50 \text{ mm}$				
	98,45%	97,98%	97,39%	96,29%	96,29%	98,28%	97,84%	97,06%	96,23%	96,23%	98,19%	97,88%	96,98%	96,48%	
Współczynnik odbicia zwierciadła	15,03	15,52	16,01	gen.n.	gen.n.	12,98	13,39	13,60	b.gen.	15,68	16,30	17,41	gen.n.		
SELG-1 0,5 mm sprawność [%]	110,20	122,71	151,11	gen.n.	gen.n.	96,66	106,00	146,72	b.gen.	91,08	108,94	141,87	gen.n.		
SELG-1 1,5 mm sprawność [%]	22,6	22,97	23,37	gen.n.	gen.n.	21,18	22,5	23,76	25,20	19,77	20,95	21,56	22,56		
SELG-2 0,5 mm moc progowa [mW]	147,86	158,69	170,30	gen.n.	gen.n.	119,90	128,60	143,89	167,08	115,00	124,52	137,37	184,19		
SELG-2 1,5 mm sprawność [%]	13,26	13,59	15,51	16,50	12,40	13,23	13,77	b.gen.	14,27	14,67	15,08	15,80			
SELG-2 0,5 mm moc progowa [mW]	129,48	161,70	181,07	236,27	138,43	158,53	188,92	b.gen.	124,66	148,00	173,61	246,94			
SELG-2 1,5 mm sprawność [%]	15,84	15,94	16,32	b.gen.	16,10	16,35	17,69	18,80	13,85	16,48	19,53	22,31			
SELG-2 0,5 mm moc progowa [mW]	205,40	208,50	217,05	b.gen.	183,30	201,93	216,59	229,06	187,79	205,08	234,40	266,56			
SELG-3 0,5 mm sprawność [%]	10,56	12,05	12,70	13,92	13,14	14,31	14,72	b.gen.	11,84	12,26	12,62	b.gen.			
SELG-3 0,5 mm moc progowa [mW]	131,33	164,22	182,09	244,05	145,72	160,15	186,16	b.gen.	144,47	161,06	168,65	b.gen.			
SELG-3 1,5 mm sprawność [%]	16,19	18,07	19,81	b.gen.	17,47	18,60	19,85	20,15	14,15	16,46	19,08	21,38			
SELG-3 1,5 mm moc progowa [mW]	227,49	242,94	247,10	b.gen.	221,64	239,82	251,06	266,82	220,11	241,28	272,60	297,39			
GLASS-1 0,33 mm sprawność [%]	10,98	11,88	12,59	b.gen.	11,79	12,95	13,32	b.gen.	12,11	13,43	14,01	b.gen.			
GLASS-1 0,33 mm moc progowa [mW]	124,24	162,08	178,53	b.gen.	117,80	151,22	167,67	b.gen.	110,22	143,11	165,22	b.gen.			
GLASS-1 1 mm sprawność [%]	17,2	17,86	19,39	b.gen.	13,10	14,06	15,80	16,92	14,5	15,91	16,92	b.gen.			
GLASS-1 1 mm moc progowa [mW]	170,10	186,18	201,81	gen.n.	181,16	186,81	220,35	273,69	188,07	202,66	213,40	b.gen.			
GLASS-2 0,33 mm sprawność [%]	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.			
GLASS-2 0,33 mm moc progowa [mW]	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.			
GLASS-2 1 mm sprawność [%]	21,9	22,63	23,14	gen.n.	23,55	24,02	24,31	gen.n.	15,51	17,43	19,57	21,55			
GLASS-2 1 mm moc progowa [mW]	74,99	109,70	131,59	gen.n.	83,06	113,16	141,05	gen.n.	67,87	95,19	134,07	193,29			
GLASS-3 0,33 mm sprawność [%]	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.			
GLASS-3 0,33 mm moc progowa [mW]	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.			
GLASS-3 1 mm sprawność [%]	gen.n.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	gen.n.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	7,96	b.gen.	b.gen.	b.gen.			
GLASS-3 1 mm moc progowa [mW]	gen.n.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	gen.n.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	73,29	b.gen.	b.gen.	b.gen.			

TABELA 2

Moce progowe oraz sprawności generacji mikrolaserów dla pompowania diodą laserową LIMO25-F100-DL940

Współczynnik odbicia zwierciadła	Rezonator płasko-płaski			Rezonator płasko-wklęsły $r = 100 \text{ mm}$			Rezonator płasko-wklęsły $r = 50 \text{ mm}$					
	98,45%	97,98%	97,39%	96,29%	98,28%	97,84%	97,06%	96,23%	98,19%	97,88%	96,98%	96,48%
SELG-1 0,5 mm	6,04	6,35	7,00	b.gen.	4,51	4,67	5,07	b.gen.	4,72	5,40	5,69	b.gen.
moc progowa [mW]	215,23	288,69	421,57	b.gen.	84,72	152,07	358,09	b.gen.	41,54	194,06	318,21	b.gen.
SELG-1 1,5 mm	11,55	11,97	12,27	12,50	11,43	11,46	12,15	12,55	9,75	11,78	11,95	12,35
moc progowa [mW]	204,58	229,01	239,63	247,86	117,28	144,92	149,71	171,40	130,51	147,18	152,49	227,55
SELG-2 0,5 mm	4,43	5,10	6,00	b.gen.	3,99	4,05	4,13	b.gen.	4,04	4,08	4,43	b.gen.
moc progowa [mW]	247,22	391,29	493,00	b.gen.	175,01	216,79	293,49	b.gen.	199,38	230,04	443,50	b.gen.
SELG-2 1,5 mm	8,29	8,39	8,42	8,57	8,05	8,24	8,75	9,06	7,88	8,06	8,17	8,36
moc progowa [mW]	258,83	283,06	291,03	346,01	222,84	274,83	284,63	316,39	225,28	235,22	247,07	276,99
SELG-3 0,5 mm	3,87	4,29	4,71	b.gen.	2,92	3,57	5,29	b.gen.	4,24	4,71	4,86	b.gen.
moc progowa [mW]	346,54	421,24	511,66	b.gen.	380,82	417,17	476,39	b.gen.	319,91	454,33	468,60	b.gen.
SELG-3 1,5 mm	7,89	8,92	9,29	10,00	8,04	8,49	8,79	9,20	7,85	8,60	8,67	8,91
moc progowa [mW]	315,91	359,48	365,08	400,00	330,44	351,83	357,55	419,12	320,76	337,80	355,63	380,63
GLASS-1 0,33 mm	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.
moc progowa [mW]	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.
GLASS-1 1 mm	10,04	10,14	10,59	10,66	8,74	9,44	9,72	10,08	9,58	9,72	9,74	10,07
moc progowa [mW]	270,79	303,51	336,29	368,67	241,05	257,20	308,76	316,20	230,92	256,25	290,44	311,50
GLASS-2 0,33 mm	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.
moc progowa [mW]	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.
GLASS-2 1 mm	14,49	14,75	15,72	gen.n.	12,33	12,45	12,69	b.gen.	15,01	15,11	15,41	gen.n.
moc progowa [mW]	108,12	164,28	230,42	gen.n.	79,52	88,46	143,46	b.gen.	58,81	100,09	163,65	gen.n.
GLASS-3 0,33 mm	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.
moc progowa [mW]	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.	b.gen.
GLASS-3 1 mm	8,21	gen.n.	b.gen.	b.gen.	4,89	gen.n.	b.gen.	b.gen.	4,70	b.gen.	b.gen.	b.gen.
moc progowa [mW]	130,56	gen.n.	b.gen.	b.gen.	90,69	gen.n.	b.gen.	b.gen.	72,1	b.gen.	b.gen.	b.gen.



Rys. 3. Zależność generowanej mocy wyjściowej lasera od mocy pompy 974 nm padającej na ośrodek aktywny (szkło SELG-2) dla czterech różnych transmisji zwierciadła wyjściowego

Porównując efektywność pompowania różnymi długościami fal, można stwierdzić, że sprawność generacji jest ok. 2-3 razy większa dla długości fali 974 nm. Jest to spowodowane tym, że ośrodki aktywne są za krótkie dla efektywnego pompowania długością fali 939 nm. Optymalne długości ośrodka są większe od drogi absorpcji, jednak odpowiednio małe, aby nie dopuścić do sytuacji, w której niewzbudzona część ośrodka wprowadza straty absorpcyjne.

Ze względu na większy gradient temperaturowy, w przypadku pompowania długością fali 974 nm, występuje mniejszy próg uszkodzenia ośrodka (próbka GLASS-1 o grubości 0,33 mm została uszkodzona już przy mocy padającej 500 mW). Oczywiście gradient temperaturowy zależy także od długości ośrodka aktywnego (mniejszy dla dłuższych ośrodków) i sposobu odprowadzania ciepła. Porównanie jakościowe generacji cw dla różnych długości fali pompujących przedstawiono w tabeli 3.

Z danych literaturowych dotyczących badanych szkieł, przedstawionych przez producenta [7] wynika, że optymalna koncentracja domieszki jonów erbu mieści się w obszarze 3×10^{19} do $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ i zależy od konfiguracji lasera. Można więc stwierdzić, że dla zastosowanej w badaniach konfiguracji lasera najbardziej efektywną koncentracją domieszki erbu (zarówno dla długości fali pompującej 939 nm, jak i 974 nm) charakteryzowały się próbki SELG-1 oraz GLASS-2 o koncentracjach odpowiednio $0,75 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ oraz $0,5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$.

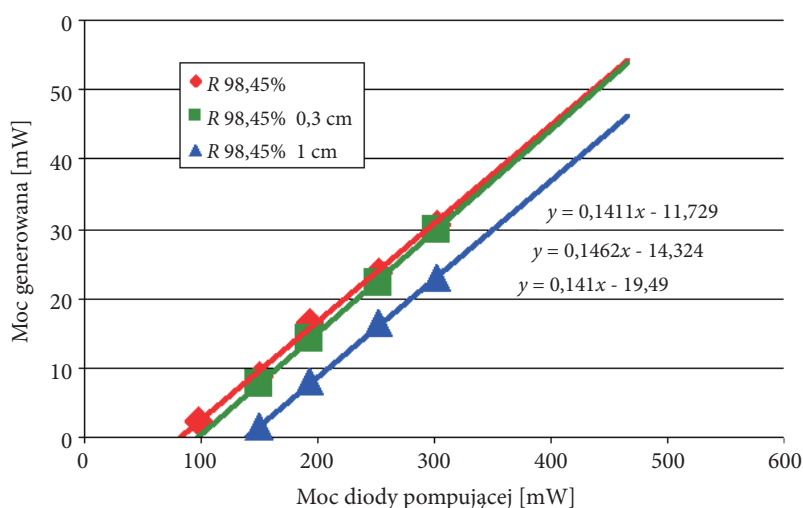
Porównując natomiast wszystkie badane ośrodki aktywne przedstawione w tabeli 1 i 2, w celu wyboru najbardziej efektywnych pod względem generacji, można stwierdzić, że są nimi próbki SELG-1 o grubości 1,5 mm oraz GLASS-2 o grubości 1 mm.

TABELA 3

Porównanie jakościowe generacji cw dla różnych długości fali pompujących

Długość fali [nm]	939	974
Współczynnik absorpcji	mniejszy	większy
Gradient temperatury	mały	duży
Próg uszkodzenia	wysoki	niski
Szerokość pasma absorpcji	duża	mała
Optymalna długość ośrodka	większa	mniejsza

Wyznaczono również charakterystyki generacyjne badanych ośrodków dla różnych długości rezonatora. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe wyniki dla próbki SELG-2 o grubości 0,5 mm w układzie rezonatora płasko-płaskiego ze zwierciadłem wyjściowym o transmisji 98,45% i trzech różnych odległości między zwierciadłami (5 mm, 8 mm i 15 mm), przy pompowaniu diodą laserową LIMO25-F100-DL976. Z rysunku widać, że ze wzrostem odległości między zwierciadłami rośnie próg generacji, natomiast sprawność generacji pozostaje stała.



Rys. 4. Zmiana charakterystyk generacyjnych przy zmianie odległości między zwierciadłami

3. Podsumowanie

Przeprowadzono badania generacji cw w ośrodkach szklanych „Concentrated Glass” oraz SELG o różnych koncentracjach domieszek erbu i iterbu oraz o różnej grubości. Generacji nie uzyskano dla próbek o grubości 0,33 mm, co mogło być spowodowane niewystarczającą ilością generujących jonów erbu, przypadającą na długość ośrodka aktywnego, niezbędną do osiągnięcia progu generacji. Podobna sytuacja była dla próbki GLASS-3 o grubości 1 mm, gdzie generację uzyskano tylko dla zwierciadła o najmniejszej transmisji. Ponadto większy wpływ efektów nieliniowych w próbkach GLASS w porównaniu z próbkami SELG mógł dodatkowo ograniczać efektywność generacji. Podczas badań zaobserwowano niewielki wpływ krzywizny zwierciadła wyjściowego na parametry generacji.

Stwierdzono, że sprawność generacji jest ok. 2-3 razy większa dla długości fali 974 nm, co jest spowodowane tym, że ośrodki aktywne są za krótkie dla efektywnego pompowania długością fali 939 nm. Dodatkowo dla długości fali 974 nm występuje większy gradient temperatury, co może powodować uszkodzenia ośrodka przy mniejszych mocach pompujących w porównaniu z długością fali 939 nm.

Dla zastosowanej w badaniach konfiguracji lasera najbardziej efektywną koncentracją domieszki erbu charakteryzowały się próbki SELG-1 oraz GLASS-2 o koncentracjach odpowiednio $0,75 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ oraz $0,5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$. Porównując natomiast wszystkie badane ośrodki aktywne, można stwierdzić, że ośrodkami aktywnymi o największej efektywności generacji są próbki SELG-1 o grubości 1,5 mm oraz GLASS-2 o grubości 1 mm.

Artykuł wpłynął do redakcji 7.07.2008 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano we wrześniu 2008 r.

LITERATURA

- [1] E. SNITZER, R. WOODCOCK, *Yb³⁺-Er³⁺ glass laser*, Appl. Phys. Lett., vol. 6, no. 3, 45, 1965.
- [2] E. SNITZER, R. WOODCOCK, J. SEGRE, *Phosphate Glass Er³⁺ Laser*, IEEE J. Quant. Electron., vol. 4, no. 5, 360, 1968.
- [3] S. JIANG, J. MYERS, D. RHONEHOUSE, M. MYERS, R. BELFORD, S. HAMLIN, *Laser and thermal performance of a new erbium doped phosphate glass*, ed. Kigre. Inc. Hilton Head Island, 1990.
- [4] *Laser Rangefinders*, JANE's Armour and Artillery Upgrades, Eleventh Edition, 1998-1999, Jane's Information Group Ltd., Coulsdon, Surrey UK, 1998.
- [5] Dane katalogowe Kigre.
- [6] S. JIANG, J. MYERS, D. RHONEHOUSE, M. MYERS, R. BELFORD, S. HAMLIN, *Laser and thermal performance of new erbium doped phosphate laser glass*, Proc. SPIE, vol. 2138, 1994, 166.
- [7] B. DENKER, B. GALAGAN, V. OSIKO, S. SVERCHKOV, *Materials and components for miniature diode-pumped 1,5 μm erbium glass lasers*, Laser Physics, vol. 12, no. 4, 2002, 697-701.
- [8] G. KARLSSON, F. LAURELL, J. TELLEFSEN, B. DENKER, B. GALAGAN, V. OSIKO, S. SVERCHKOV, *Development and characterization of Yb-Er laser glass for high average power laser diode pumping*, Applied Physics B: Lasers and Optics, vol. 75, 2002, 41-46.

J. MŁYŃCZAK, K. KOPCZYŃSKI, Z. MIERCZYK

Comparison of cw generation in „Concentrated Glass” and SELG glasses pumped by 974 nm and 939 nm wavelength

Abstract. The paper presents the results of investigations of cw generation in microchip lasers generating 1,5- μm radiation. The active media were made of “Concentrated Glass” and SELG (Strong Erbium Laser Glass) glass doped with erbium and ytterbium ions. The lengths of the active media were equal to the absorption length. Generation examinations were carried out for pumping by 974-nm and 939-nm laser diodes for different transmissions and radius of curvature of output mirrors.

Keywords: erbium glasses, “eye-safe” radiation, microchip lasers

Universal Decimal Classification: 621.375.826