

KRZYSZTOF KOPCZYŃSKI
SŁAWOMIR MAKSYMILIAN KACZMAREK
ZYGMUNT MIERCZYK

Badania spektroskopowe i generacyjne kryształów CrTmHo:YAG

STRESZCZENIE

Przedstawiono wyniki badań spektroskopowych kryształów Cr:Tm:Ho:YAG oraz charakterystyki energetyczne prętów laserowych dla układu generacji swobodnej. Dokonano pomiaru widma współczynnika absorpcji w obszarze 250-6200 nm. Stwierdzono występowanie centrów barwnych własnych, indukowanych promieniowaniem ksenonowej lampy pompującej. Dokonano pomiaru charakterystyk energetycznych laserów dla transmisji zwierciadeł wyjściowych 20% i 49%. Określono wartości progów generacji.

*
* *
*

1. Wstęp

Kryształy granatu itrowo-aluminiowego, domieszkowane jonami pierwiastków ziem rzadkich (Er, Tm, Ho, Yb) znajdują szerokie zastosowanie w laserach ciała stałego, generujących promieniowanie obszaru średniej podczerwieni 2-3 μm .

Dla zwiększenia efektywności pobudzania optycznego lampą wyładowczą, obok jonów generujących promieniowanie laserowe, wprowadza się do kryształu granatu jony, których zadaniem jest przejęcie większej części promieniowania pompy i przekazanie jej jonom generującym [1-4]. Metoda sensybilizacji umożliwia obniżenie progu generacji, wzrost sprawności i mocy promieniowania. Jest szczególnie istotna dla szerokopasmowego pobudzania lampą wyładowczą przy słabo rozwiniętych pasmach absorpcyjnych jonów, w których następuje akcja laserowa.

W kryształach Cr:Tm:Ho:YAG (CTH:YAG) sensybilizacja jonów Ho^{3+} , dla generacji w kanale $^5\text{I}_7 \rightarrow ^5\text{I}_8$ na długości fali 2.13 μm , dokonywana jest przez domieszkowanie jonami: Cr^{3+} i Tm^{3+} . W procesie pompowania, absorpcja promieniowania lampy następuje w szerokich pasmach absorpcyjnych jonów Cr^{3+} dla przejść $^4\text{A}_2\text{S} \rightarrow ^4\text{T}_1$ i $^4\text{A}_2\text{S} \rightarrow ^4\text{T}_2$, powodując wzrost obsadzenia stanu ^2E . Poprzez oddziaływania typu dipol-dipol między stanami ^2E jonów Cr^{3+} i $^3\text{F}_3$ jonów Tm^{3+} następuje przekazanie energii wzbudzenia jonom Tm^{3+} . Bezpromienisty rozpad stanu $^3\text{F}_3$ powoduje wzbudzenie stanu $^3\text{H}_4$, a przejście skośne w procesie relaksacyjnych oddziaływań wzbudzonych jonów Tm^{3+} z jonami Tm^{3+} w stanie podstawowym,

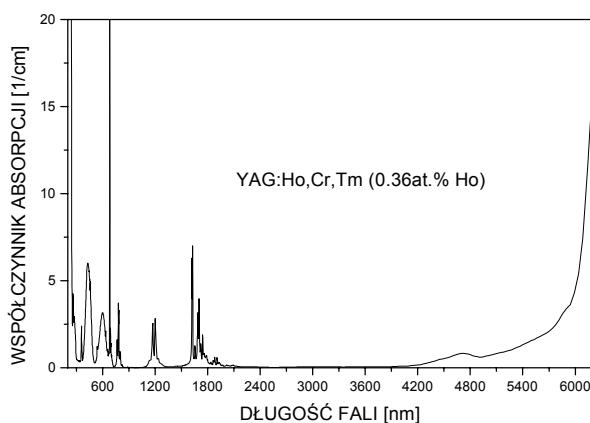
wzbudzenie stanu 3F_4 . Transfer energii od jonów Ho^{3+} zachodzi poprzez rezonansowe oddziaływanie między stanami 3F_4 jonów Tm^{3+} i 5I_7 jonów Ho^{3+} [1-4, 6, 7].

Wzrost efektywności pompowania w wyniku sensybilizacji jonów powoduje znaczne skomplikowanie procesu wzbudzania przez wykorzystywanie różnych typów oddziaływań między jonami domieszek. Całkowita sprawność pompowania jest wypadkową sprawności poszczególnych etapów wzbudzania, co narzuca wysokie wymagania na jakość optyczną i czystość spektralną kryształów oraz wartości poziomów domieszkowania poszczególnymi jonami.

Jedną z przyczyn występowania zaburzeń w procesie pompowania kryształów CTH:YAG są centra barwne [5]. Mogą to być centra barwne własne, związane z defektami strukturalnymi kryształu oraz centra barwne domieszkowe, związane z obecnością obcych, niepożądanych domieszek.

2. Badania spektroskopowe

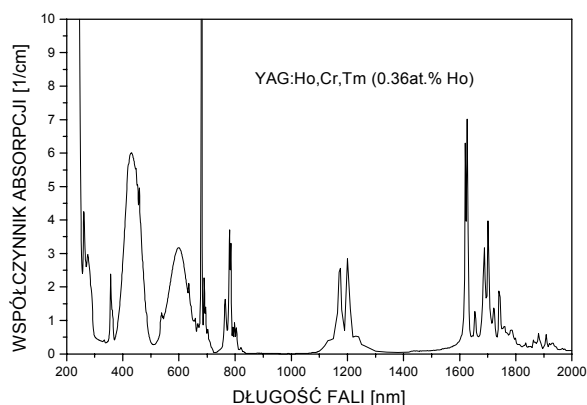
Badania spektroskopowe prowadzono na spektrofotometrach UV-VIS LAMBDA 2 i FT-IR 1705 firmy PERKIN ELMER oraz BECKMAN ACTA MVII.



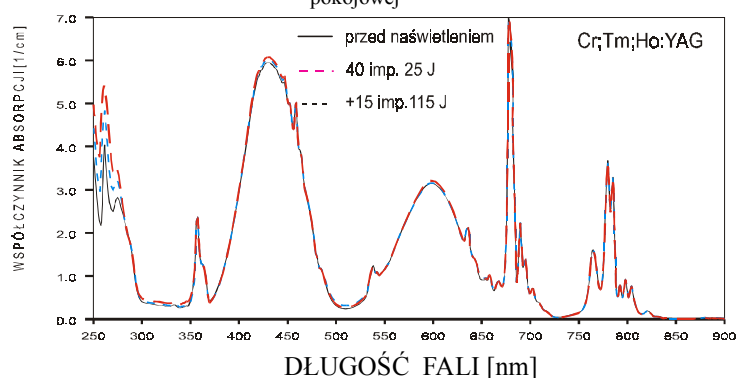
Rys. 1. Widmo współczynnika absorpcji kryształów Cr:Tm:Ho:YAG w zakresie 200-6200 nm w temperaturze pokojowej

Z kryształów Cr:Tm:Ho:YAG ($N_{Tm} = 7.9 \text{ } \epsilon 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, $N_{Cr} = 2.3 \text{ } \epsilon 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, $N_{Ho} = 5 \text{ } \epsilon 10^{19} \text{ cm}^{-3}$), otrzymanych w ITME w Warszawie, wykonano płytkę płasko-równoległą o grubości 4.51 mm i pręty laserowe $\Phi = 4 \text{ mm}$, $l = 63 \text{ i } 67 \text{ mm}$. Dla badanej płytki CTH:YAG dokonano pomiaru widma współczynnika absorpcji w zakresie 200-6200 nm, a otrzymane wyniki

przedstawiono na rys. 1-2. Na rysunku 3 pokazano widmo współczynnika absorpcji płytki w zakresie 250-900 nm przed oraz po jej naświetlaniu lampą wyładowczą, stosowaną w badaniach generacyjnych prętów laserowych.



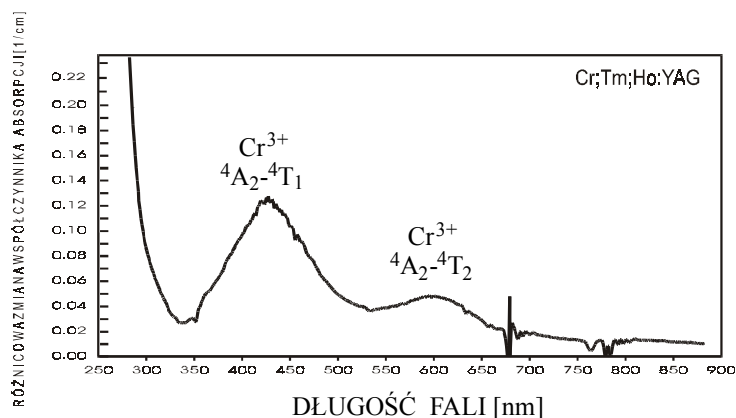
Rys. 2. Widmo współczynnika absorpcji kryształów Cr:Tm:Ho:YAG w zakresie 200-1800 nm w temperaturze pokojowej



Rys. 3. Widma współczynnika absorpcji badanej płytki CTH:YAG w zakresie 250-900 nm przed oraz po jej naświetlaniu lampą wyładowczą, stosowaną w badaniach generacyjnych

Płytkę naświetlano czterdziestoma impulsami o energii 25 J oraz po kilku dniach piętnastoma impulsami o energii 115 J. Warunki naświetlania płytki były łagodniejsze od normalnych warunków pracy prętów laserowych w głowicach. Mimo to stwierdzono występowanie istotnych zmian wartości współczynnika absorpcji. Różnicowe widmo zmian współczynnika absorpcji badanej płytki przedstawiono na rys. 4. Największe zaburzenia w odniesieniu do stanu podstawowego występują w obszarze krótkofalowej krawę-

dzi absorpcji oraz w obszarach pasm absorpcyjnych jonów Cr^{3+} i Tm^{3+} , odpowiadających przejściom ${}^4\text{A}_2 - {}^4\text{T}_1$ i ${}^4\text{A}_2 - {}^4\text{T}_2$ dla jonów Cr^{3+} oraz przejściom ${}^3\text{H}_6 - {}^3\text{F}_2$, ${}^3\text{F}_3$ i ${}^3\text{H}_6 - {}^3\text{F}_4$ dla jonów Tm^{3+} . Przejścia te warunkują proces sensybilizacji jonów Ho^{3+} , a stwierdzone zaburzenia mogą w istotny sposób wpływać na jego sprawność.



Rys. 4. Różnicowe widmo zmian wartości współczynnika absorpcji badanej płytki w zakresie 250-6200 nm

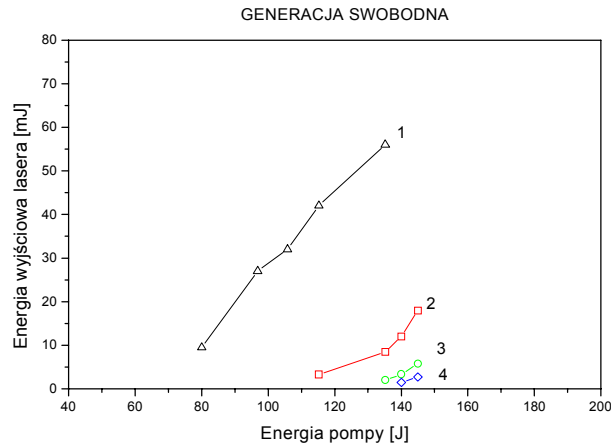
Przyczyną występujących zmian wartości współczynnika absorpcji są indukowane w procesie pobudzenia optycznego centra barwne, zaburzające omawiane przejścia kwantowe. W badanym obszarze nie stwierdzono występowania nowych pasm absorpcyjnych związanych z domieszkowymi centrami barwnymi obcych, niepożądanych domieszek. Indukowane promieniowaniem lampy pompującej centra barwne charakteryzują się długim czasem relaksacji, a ich koncentracja zależy od całkowitej energii pobudzającej.

Prędkość relaksacji indukowanych centrów barwnych zmierzona bezpośrednio po naświetleniu wynosiła około 1%/1000 s.

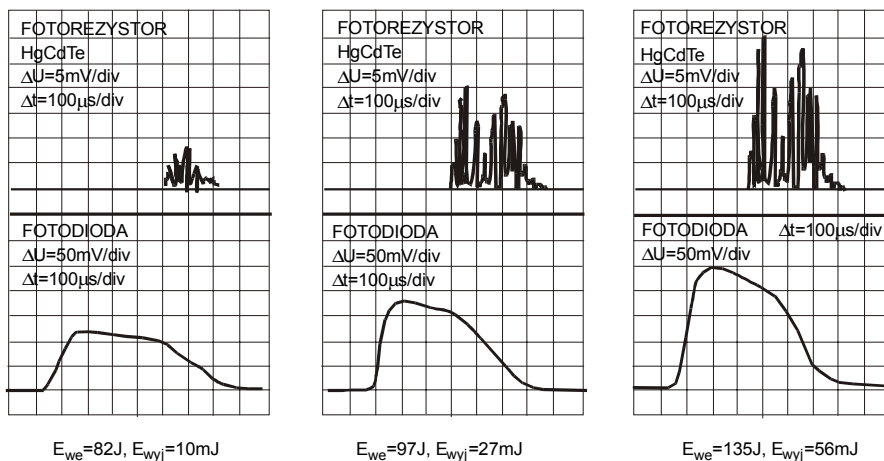
3. Badania generacji swobodnej

Po badaniach interferometrycznych i wyznaczeniu obszarów optycznie jednorodnych z kryształów CTH:YAG wykonano cztery pręty laserowe. W układzie generacji swobodnej dokonano pomiaru charakterystyk energetycznych badanych prętów.

Stosowano płasko-równoległy rezonator o długości 19 cm i transmisji zwierciadeł wyjściowych 20 i 49% dla $l = 2.13$ mm. Badania prowadzono w eliptycznej głowicy refleksyjnej z odbijaczem wykonanym z pokrytego warstwą złota mosiądzu. Do pompowania wykorzystano lampę ksenonową o średnicy 4 mm i zasilacz o pojemności 100 mF, napięciu 0.5-2.5 kV. Długość impulsu lampy wynosiła 580 ms. Do detekcji promieniowania laserowego zastosowano wysokoczuły fotorezy

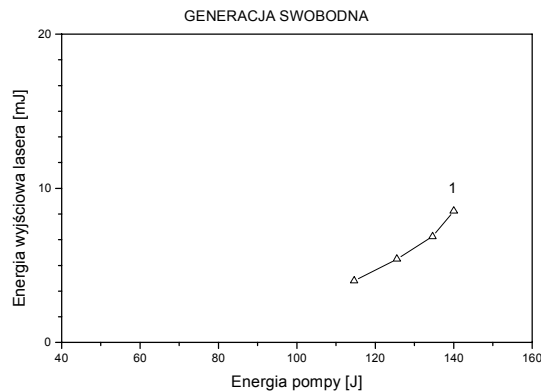


Rys. 5. Charakterystyki energetyczne badanych prętów laserowych dla generacji swobodnej w układzie rezonatora o transmisji zwierciadła wyjściowego 20%



Rys. 6. Oscylogramy generacji swobodnej na tle charakterystyki czasowej lampy wyładowczej, obserwowane na oscyloskopie Tektronix dla różnych wartości energii pompy (pręt nr 1)

stor HgCdTe, charakterystyki czasowe lampy obserwowano na fotodiodzie krzemowej, a energię impulsów laserowych mierzono miernikiem firmy Gen-Tec z sondą pomiarową ED-500. Na rysunku 5 przedstawiono charakterystyki energetyczne badanych prętów dla generacji swobodnej, w układzie rezonatora o transmisji zwierciadła wyjściowego 20%. Uzyskane progi generacji dla poszczególnych prętów wynosiły $E_{pr} = 80\text{J}, 115\text{J}, 135\text{J}, 140\text{J}$. Na rysunku 6 pokazano oscylogramy generacji swobodnej pręta Nr 1 na tle czasowych przebiegów lampy wyładowczej



Rys. 7. Charakterystyka energetyczna generacji swobodnej pręta nr 1 dla transmisji zwierciadła wyjściowego 49%

dla różnych wartości energii pompy. Czas rozpoczęcia generacji wynosił na progu 300 ms i malał ze wzrostem energii pompy. Na rysunku 7 przedstawiono charakterystykę energetyczną pręta o najniższym zmierzonym progu generacji (pręt Nr 1) dla układu rezonatora z transmisją zwierciadła wyjściowego 49%. Próg generacji wzrósł do 115 J, a energie wyjściowe znacznie spadły. W trakcie badań charakterystyk energetycznych lasera z prętem Nr 2 stwierdzono, że wartość energii wyjściowej systematycznie malała wraz ze wzrostem ilości dokonywanych pomiarów (przy tej samej energii pompującej). Badania spektroskopowe wykazały, że przyczyną stwierdzonych niestabilności energetycznych badanych prętów są prawdopodobnie centra barwne, indukowane promieniowaniem lampy.

LITERATURA

- [1] W. Nie, Y. Kalisky, C. Pedrini, A. Monteil, G. Boulon, "Energy transfer from Cr^{3+} multisites to Tm^{3+} multisites in yttrium aluminium garnet," *Opt.Quantum Electron.*, vol. 22, July 1990
- [2] G.J. Quarles, A. Rosenbaum, I.D. Abella, C.L. Marquardt, L. Esterowitz, „Efficient room-temperature operation of Cr^{3+} -sensitized, flashlamp-pumped, $2\ \mu\text{m}$ lasers”, *ibid.* [1]
- [3] Z. Jankiewicz, J. Szydłak, W. Żendzian, "Lasery ciała stałego generujące w zakresie średniej podczerwieni ($2\text{-}3\ \mu\text{m}$)", *Cz.1, Elektronika* Nr.3, s.7, 1993
- [4] S.R. Bowman, M.J. Winings, R.C.Y. Auyeung, J.E. Tucker, S.K. Searles, and H.J. Feldman, "Laser and Spectral Properties of Cr,Tm,Ho:YAG at $2.1\ \mu\text{m}$ ", *IEEE J. Quantum Electron.*, vol.27, No.9, p.2142, 1991.
- [5] L.B. Pasternak, B.K. Sevastyanov, V.P. Orekhova and Yu.L. Remigailio and Jt. Kvapil, Jos. Kvapil, B. Manek and B. Perner, „Growth and Light-Induced Colour Centers in Crystals of Yttrium Aluminum Garnet Doped with Cr^{3+} ions”, *J. Crystal Growth* 52 (1981), p. 546

[6] S.R. Bowman, M.J. Winings, S.K. Searles and H.J. Feldman, „*Short-Pulsed 2.1 μm laser Performance of Cr,Tm,Ho: YAG*”, IEEE J. Quantum Electronics, 27,5 (1991)

[7] Y. Kalisky, "*Fluoride and Oxide Holmium Doped Lasers*", SPIE, vol. 1182, p.19, 1988

ABSTRACT

Presented are the spectroscopic study results of Cr,Tm,Ho: YAG crystals and energetic characteristics of laser rods for the system of free generation. Measurement of absorption coefficient was carried out in the region of 250-6200 nm. The appearance of native color centers, induced by xenon pumping lamp radiation has been found. The energetic laser characteristics have been measured for 20 and 49% output mirror transmission. The generation thresholds values have been determined.