

MONOKRYSTAŁY YAG:Cr⁴⁺ DO PASYWNEJ MODULACJI DOBROCI REZONATORA LASERA YAG:Nd³⁺

Zygmunt Mierczyk¹⁾, Jarosław Kisielewski²⁾, Andriej G. Okhrimchuk³⁾,
Zygmunt Frukacz²⁾

W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań nad otrzymywaniem monokryształów granatu itrowo-glinowego domieszkowanego czterowartościowymi jonami chromu Cr⁴⁺ oraz nad wykorzystaniem tego kryształu do wytwarzania pasywnych modulatorów dobroci (Q-switch) rezonatora lasera neodymowego ($\lambda=1.06 \mu\text{m}$). Kryształ YAG:Cr⁴⁺ nadaje się do tego celu, ponieważ w paśmie od 750 do 1200 nm wykazuje nieliniową zależność absorpcji od intensywności padającego promieniowania. Efekt ten nazywany jest prześwietlaniem absorbera (bleaching effect). Wykonane z tych kryształów pasywne modulatory dobroci rezonatora lasera YAG:Nd charakteryzują się wysokim współczynnikiem kontrastu, który wynika z niskich strat końcowych absorbera. Właściwość ta oraz charakterystyczne dla granatów bardzo korzystne własności termiczne i mechaniczne powodują, że kryształ ten jako materiał na pasywne modulatory dobroci przewyższa wszystkie dotąd stosowane materiały.

1. WSTĘP

Potrzeby wytwarzania impulsów laserowych o dużych mocach i krótkich czasach trwania, stymulowały prace nad różnymi metodami i sposobami modulacji dobroci rezonatorów laserowych.

Modulację dobroci rezonatora lasera można realizować metodą aktywną lub pasywną. W metodzie aktywnej modulator umieszczony wewnątrz rezonatora sterowany jest z zewnątrz. Do modulatorów aktywnych zalicza się przełączniki mechaniczne (wirujący pryzmat lub zwierciadło), elektrooptyczne (komórka Pockelsa lub Kerra), magnetoptyczne (komórka Faradaya) oraz przełączniki akustooptyczne. W metodzie

¹⁾ Instytut Optoelektroniki WAT

ul. S. Kaliskiego 1, 01-489 Warszawa

²⁾ Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych

ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

³⁾ Centrum Badawczo-Rozwojowe IPE POLUS, Moskwa

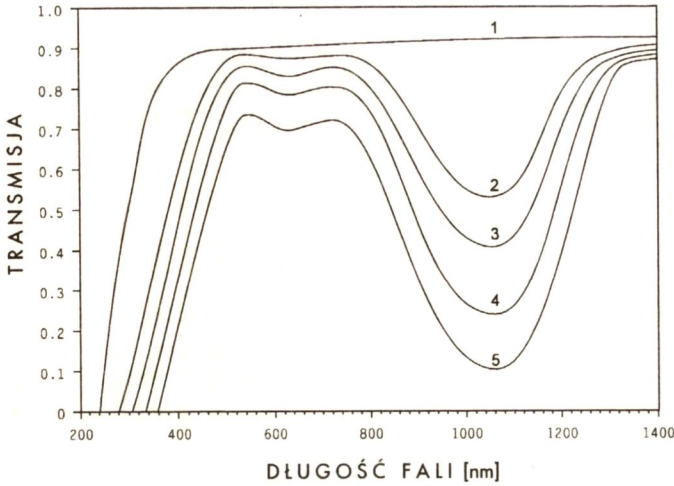
pasywnej wykorzystuje się efekt nieliniowej absorpcji, tj. zjawisko wzrostu transmisji (prześwietlania) niektórych substancji rezonansowo oddziałujących z promieniowaniem o dużej intensywności. Modulatory pasywne nie wymagają zewnętrznego sterowania ani zasilania, dlatego w porównaniu z modulatorami aktywnymi charakteryzują się znacznie prostszą konstrukcją.

W przypadku lasera YAG:Nd³⁺ z pasywną modulacją dobroci rezonatora, najczęściej stosowanymi nieliniowymi absorberami były roztwory barwników (polimetinowych, ftalocyjaninowych, metaloorganicznych barwników tiolenowych) [1–3] a w przypadku lasera na szkle neodymowym - szkła uranilowe [4].

Parametry promieniowania emitowanego przez laser z pasywnym przełącznikiem dobroci rezonatora w zasadniczy sposób zależą od charakterystyk spektroskopowych i fizykostrukturalnych przełącznika, a także od optycznej i termicznej stabilności jego centrów aktywnych. Stosowane powszechnie w postaci prześwieblających się filtrów roztwory barwników organicznych posiadają szereg niedostatków, z których najważniejsze to niska stabilność fotochemiczna i fototermiczna. Powyższe ograniczenia znacznie zawężają zakres zastosowań pasywnych, barwnikowych modulatorów dobroci rezonatora lasera YAG:Nd³⁺[5]. W zastosowaniach naukowo-badawczych (np. układy diagnostyki plazmy, pomiary własności fizykostrukturalnych materiałów), w urządzeniach przemysłowych wykorzystujących laserową perforację materiałów i w zastosowaniach medycznych, materiały organiczne nie są przydatne. W systemach laserowej techniki wojskowej, również materiały organiczne są nieprzydatne, tzn. wszędzie tam, gdzie wymagana jest wysoka częstotliwość powtarzania generacji, szeroki zakres temperatur stabilnej pracy lasera oraz wysoka odporność energetyczna modulatora. Wymagania te mogą być natomiast spełnione przez materiały krystaliczne. W ostatnich latach uzyskano nowe krystaliczne ośrodki optyczne, charakteryzujące się efektem zmian współczynnika absorpcji w funkcji gęstości mocy przechodzącego promieniowania o długości fali 1064 nm. Do materiałów tych należą kryształy halogenków metali alkalicznych z centrami barwnymi, z których praktyczne zastosowanie znalazły kryształy fluorku litu z centrami barwnymi F₂⁻ [6 – 8] oraz kryształy granatów domieszkowanych jonami chromu [9 – 11].

Na rysunkach 1 – 3 porównano widma transmisji trzech absorberów: foliowego z barwnikiem BDN zawieszzonego w matrycy z polimetakrylanu metylu [5], LiF z centrami barwnymi F₂⁻ [12] oraz granatu itrowo-aluminiowego domieszkowanego czterowartościowymi jonami chromu (YAG:Cr⁴⁺). W tabeli 1 zestawiono natomiast podstawowe charakterystyki fizykochemiczne tych modulatorów [5, 12, 14].

W porównaniu z modulatorami foliowymi, modulatory LiF:[F₂⁻] charakteryzują się korzystnymi parametrami termofizycznymi, takimi jak wysoki współczynnik przewodnictwa cieplnego, słaba zależność współczynnika załamania światła od temperatury oraz wysoka odporność termiczna i energetyczna. Wadą tego absorbera jest niestabilność centrów barwnych, co wynika z ich natury i sposobu generowania. Centra barwne są defektami struktury kryształu wywołanymi procesem jonizacji

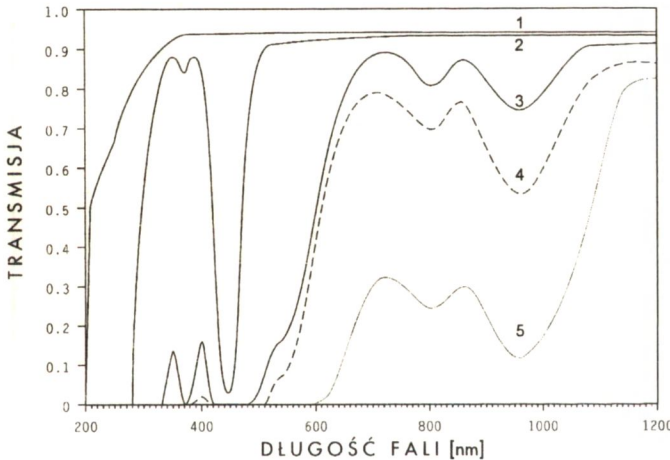


Rys. 1. Widmo transmisji pasywnych modulatorów barwnikowych PMM:[BDN] o różnej transmisji początkowej dla $\lambda=1064$ nm

1 -matryca PMM, 2 - $T_0=58\%$, 3 - $T_0=42\%$, 4 - $T_0=25\%$.

Fig. 1. Transmission spectra of the passive dye modulators PMM:[BDN] for the different initial transmissions, for $\lambda=1064$ nm

1 -matrix PMM, 2 - $T_0=58\%$, 3 - $T_0=42\%$, 4 - $T_0=25\%$.



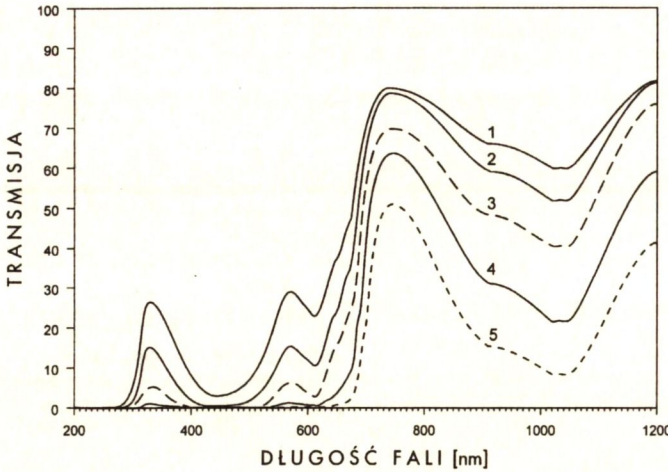
Rys. 2. Widmo transmisji kryształów LiF z centrami barwnymi o różnej transmisji początkowej dla $\lambda=1064$ nm

1 - kryształ bezbarwny, 2 - LiF z centrami F₂⁻, 3 - LiF z centrami F₂⁻ ($T_0=85\%$), 4 - LiF z centrami F₂⁻ ($T_0=72\%$), 5 - LiF z centrami F₂⁻ ($T_0=31\%$).

Fig. 2. Transmission spectra LiF crystals with colour centers for different initial transmission for $\lambda=1064$ nm.

1 - colourless crystals, 2 - LiF with F₂⁻ c. centres, 3 - LiF with F₂⁻ c. centres ($T_0=85\%$), 4 - LiF with F₂⁻ c. centres ($T_0=72\%$), 5 - LiF with F₂⁻ c. centres ($T_0=31\%$).

ośrodka pod wpływem promieniowania γ , X lub strumienia promieniowania korpuskularnego. Defekty te w wyniku złożonych procesów relaksacyjnych ulegają przemianom. Efekt ten silnie zależy od temperatury i od czystości LiF. W modulatorach LiF z centrami barwnymi [F₂⁻] czas połowicznego zaniku tych centrów w temperaturze 20°C w kryształach o najniższych koncentracjach pasożytniczych domieszek (jony metali dwuwartościowych Mg²⁺, Ca²⁺) wynosi ~11 lat [12]. Oznacza to, że transmisja początkowa takiego modulatora dla długości fali generacji lasera neodymowego zmienia się w czasie.



Rys. 3. Widmo transmisji pasywnych modulatorów YAG:Cr⁴⁺ o różnej transmisji początkowej dla $\lambda=1064$ nm. 1 - $T_0=62.1\%$, 2 - $T_0=54.9\%$, 3 - $T_0=41.0\%$, 4 - $T_0=25.2\%$, 5 - $T_0=10.6\%$.

Fig. 3. Transmission spectra of the pasive Q-switches YAG:Cr⁴⁺ modulators with initial transmission as a parameter for $\lambda=1064$ nm. 1 - $T_0=62.1\%$, 2 - $T_0=54.9\%$, 3 - $T_0=41.0\%$, 4 - $T_0=25.2\%$, 5 - $T_0=10.6\%$.

Tabela 1.

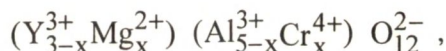
Własności fizykochemiczne	Typ modulatora		
	PMM:[BDN]	LiF:[F ₂ ⁻]	YAG:Cr ⁴⁺
Zakres spektralny transmisji promieniowania na poziomie powyżej 80% (dla matrycy o grubości 1mm)	0.3-3.5	0.2-7.0	0.2-5.5
Twardość wg Knoop	≈ 40	99-102	1320
Temperatura przejścia strukturalnego centrów absorcyjnych [°C]	55	80	>1300
Temperatura topnienia [°C]	90	870	1950
Współczynnik przewodnictwa cieplnego [W/(cm·K)]	0.0015	0.142	0.13
Współczynnik załamania światła dla $\lambda = 1064$ nm	1.49	1.386	1.815
Temperaturowa zależność współczynnika załamania światła dn/dT [K ⁻¹]	—	$1.3 \cdot 10^{-5}$	$0.99 \cdot 10^{-5}$
Odporność energetyczna na impulsy promieniowania lasera Nd:YAG o czasie trwania 10 ns [MW/cm ²]	600	1200	1800

Powyższe wady nie występują w modulatorach YAG:Cr⁴⁺. W artykule przedstawiono wyniki prac technologicznych podjętych w celu otrzymania pasywnego modulatora na bazie kryształu YAG:Cr⁴⁺ oraz rezultaty badań tego modulatora w układzie lasera monoimpulsowego YAG:Nd.

2. KRYSZTAŁY

Granat itrowo-glinowy (YAG) jest krystaliczną postacią związku: Y₃Al₅O₁₂ o strukturze granatu naturalnego. Do zastosowań laserowych, na elementy czynne, kryształ ten jest domieszkowany jonami ziem rzadkich: RE³⁺, czasem także chromem Cr³⁺. Jony RE³⁺ podstawiają jony Y³⁺ w węzłach dodekaedrycznych, zaś Cr³⁺ podstawiają Al³⁺ w węzłach oktaedrycznych. W strukturze doskonałej wszystkie kationy wchodzące w skład kryształu są trójwartościowe. Jeżeli chcemy, aby część jonów w kryształach była innej wartościowości (np. 4⁺), to w celu zachowania bilansu ładunku musimy wprowadzić do kryształu taką samą ilość jonów o wartościowości 2⁺ [13].

W naszej pracy, w celu uzyskania kryształu YAG:Cr⁴⁺, jako kompensator ładunku zastosowany został magnez (jon Mg²⁺). Wtedy formalny skład kryształu przedstawia formuła:



gdzie x jest dobierane stosownie do żądanej koncentracji jonów Cr⁴⁺.

Formuła ta opisuje raczej stan idealny. Podczas wzrostu kryształu tylko część atomów chromu wchodzi do kryształu jako jony Cr⁴⁺, reszta pozostaje w stanie Cr³⁺. Dalsze utlenianie Cr³⁺ do Cr⁴⁺ musi być prowadzone w fazie stałej przez wygrzewanie kryształu w atmosferze utleniającej.

Założeniem pracy było uzyskanie kryształów o koncentracji ~ 5·10¹⁷ cm⁻³ jonów Cr⁴⁺ jako optymalnej [14] dla kryształów na pręty laserowe. Osiągnięcie tej koncentracji planowano w oparciu o [11], w dwu etapach:

- 1 - wyciągnięcie kryształu o małej koncentracji,
- 2 - podwyższenie koncentracji drogą utleniania Cr³⁺ do Cr⁴⁺ w fazie stałej poprzez wygrzewanie kryształu w atmosferze utleniającej.

Budowa układu cieplnego tygla oraz dobór warunków krystalizacji (atmosfera) według własnej koncepcji, dały nieoczekiwanie dobre rezultaty i założoną koncentrację osiągnięto już w etapie wyciągania.

Kryształy były wyciągane metodą Czochralskiego tak, że kierunek krystalograficzny [111] pokrywał się z kierunkiem wzrostu i osią kryształu; posiadały kształt walca o średnicy ~ 14 mm. Uzyskane kryształy "as grown" były zupełnie nieprzezroczyste i jednorodnie czarne. Wewnątrz kryształów ujawniła się niejednorodność zaczernienia o rozkładzie symetrycznym względem jego osi [15]. Obszar rdzenia

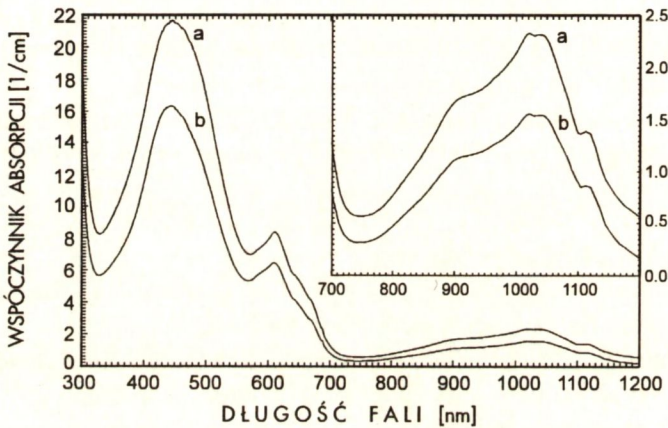
fasetowego, występującego w kryształach YAG wyciąganych metodą Czochralskiego, był jaśniejszy od reszty kryształu i posiadał średnicę ~ 3 mm. Jak wykazały dalej opisane pomiary, stopień zaczernienia kryształu był tym większy im większa była koncentracja jonów Cr⁴⁺.

Koncentrację czterwartościowych jonów chromu $n(\text{Cr}^{4+})$ wyznaczano w oparciu o zasadę podaną przez Borodina i in. [14], według której dla małych natężeń światła współczynnik absorpcji kryształu w paśmie od 0.8 do 1.2 mm zależy liniowo od koncentracji jonów Cr⁴⁺ i zachodzi zależność:

$$n(\text{Cr}^{4+}) = k_{1.06} \cdot 2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3},$$

gdzie $k_{1.06}$ oznacza liczbę równą współczynnikowi absorpcji, wyrażonemu w cm^{-1} , dla $\lambda=1.06 \mu\text{m}$ (promieniowanie lasera neodymowego).

Krzywe absorpcji dla jednego z kryształów "as grown" przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Porównanie widm absorpcji kryształu YAG:Cr⁴⁺ w obszarze rdzenia (b) i poza rdzeniem (a).

Fig. 4. Absorption spectra of YAG:Cr⁴⁺ in the core region (b) and outside the core (a).

Z wykresów odczytano odpowiednie współczynniki absorpcji i wyliczono koncentrację jonów Cr⁴⁺, która wynosiła dla obszaru zewnętrznego $4.3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ i obszaru rdzenia $2.9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Dla drugiego kryształu odpowiednie koncentracje wynosiły: $3.9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ oraz $2.2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

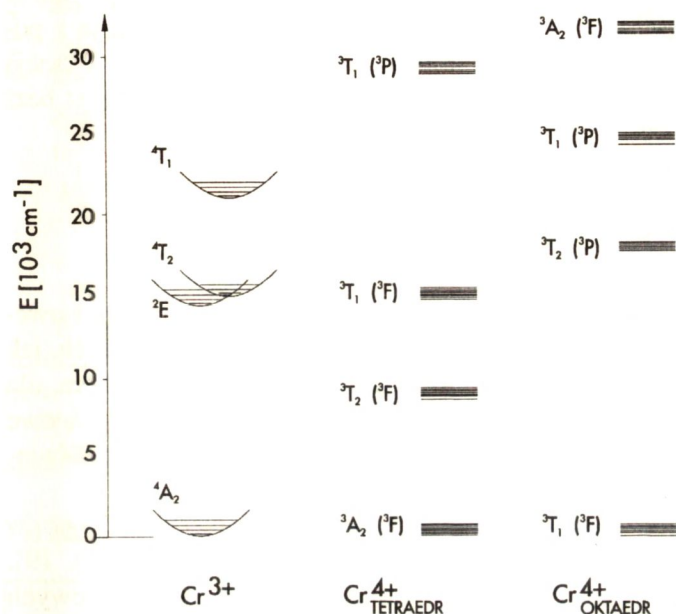
Mniejsza koncentracja jonów Cr⁴⁺ w kryształach nr 2 wynika z innych, celowo zmienionych warunków procesu, m.in. dlatego, że kryształ wyciągano ze zubożonego w chrom, po pierwszym procesie, wsadu w tyglu.

Krzywe absorpcji uzyskane z różnych kryształów o różnym stopniu zaczernienia mają ten sam kształt. Różnica wynika tylko z różnicy koncentracji jonów Cr⁴⁺, co przejawia się podwyższeniem lub obniżeniem maksimum dla $\lambda=1 \mu\text{m}$ oraz równoległe innych punktów krzywych. Wyróżnić należy dwa pasma absorpcji:

I - pasmo 750–1200 nm, pochodzące od jonów Cr⁴⁺ rozmieszczonych w tetraedrach jest charakterystyczne dla YAG:Cr⁴⁺. W tym paśmie kryształ posiada własności fototropowe i może być wykorzystany na modulatory (praktycznie dla lase-

rów neodymowych),

II - pasmo 330–750 nm, które jest wynikiem superpozycji pasm absorpcji jonów Cr^{3+} i jonów Cr^{4+} znajdujących się w oktaedrach. Także jony Cr^{4+} znajdujące się w tetraedrach dają swój wkład do tego pasma.



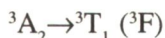
Rys. 5. Schemat poziomów energetycznych jonów Cr^{3+} w strukturze YAG oraz Cr^{4+} w YAG w położeniach tetraedrycznych i oktaedrycznych.

Fig. 5. Energy level diagrams of Cr^{3+} and Cr^{4+} in YAG.

Na rys. 5 pokazano schematycznie poziomy energetyczne jonów Cr^{3+} w strukturze YAG oraz Cr^{4+} w YAG w położeniach tetraedrycznych i oktaedrycznych. Jak wynika z pracy [16] pasma pochłaniania w obszarze długości fal 750–1200 nm związane są z przejściami elektronowo-wibracyjnymi ${}^3\text{A}_2 \rightarrow {}^3\text{T}_2$ jonów Cr^{4+} w położeniu tetraedrycznym.

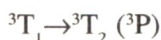
Pasmo w obszarze 330–750 nm może być zidentyfikowane jako superpozycja następujących pasm i odpowiadających im przejść elektronowo-wibracyjnych:

1. Pasmo w obszarze 560–750 nm związane jest z przejściami



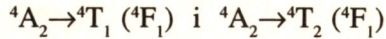
w jonie Cr^{4+} z koordynacją 4 (w położeniu tetraedrycznym).

2. Pasmo w obszarze 330–560 nm związane jest z przejściami



w jonie Cr^{4+} z koordynacją 6 (w położeniu oktaedrycznym).

3. Pasma w obszarze 380–500 nm ($\lambda_{\text{max}} = 431 \text{ nm}$) i 520–680 nm ($\lambda_{\text{max}} = 599 \text{ nm}$) związane są z przejściami:



w jonie Cr³⁺.

Absorpcja uwarunkowana przejściami w jonach Cr⁴⁺ jest bardziej intensywna od absorpcji jonów Cr³⁺.

Czas relaksacji jonu Cr⁴⁺_{tetr} z metastabilnego poziomu ³T₂(³F) w temp. 300°K wynosi 3.6 μs [14, 17]. Przejściu temu towarzyszy luminescencja. Relaksacja z poziomów wyżej położonych jest szybka z czasem relaksacji około 100 ps. Relaksacja z poziomów wzbudzonych (Cr⁴⁺_{okt}) jonu Cr⁴⁺ w koordynacji oktaedrycznej jest bezpromienista z czasem relaksacji krótszym od 100 ps.

3. BADANIE NIELINIOWEJ ABSORPCJI

Do obliczania podstawowych parametrów generacyjnych lasera monoimpulsowego konieczna jest znajomość niektórych własności nieliniowego absorbera takich, jak współczynnik absorpcji początkowej wyznaczony przez transmisję absorbera dla małych sygnałów, współczynnik nieaktywnego pochłaniania (tzw. straty końcowe absorbera), absorpcyjny przekrój czynny oraz straty energii potrzebnej do prześwietlenia absorbera.

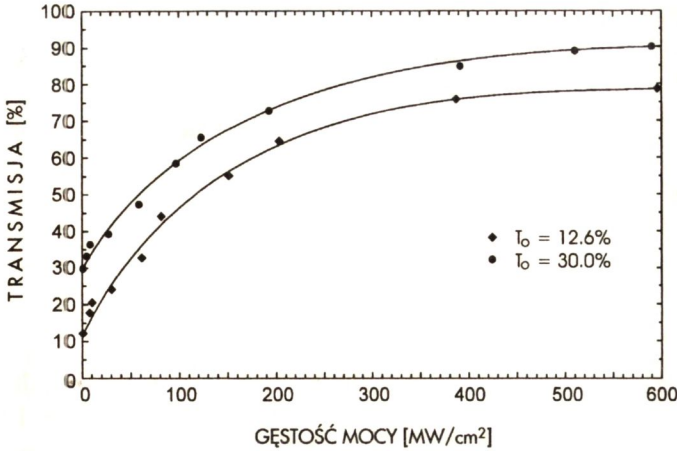
Badania własności spektroskopowych absorbera YAG:Cr⁴⁺ przeprowadzono w oparciu o zmodyfikowaną metodykę pomiarów przedstawioną w pracach [18, 19]. Idea metody oszacowania niektórych charakterystyk optycznych i spektroskopowych nieliniowego absorbera polega na pomiarach wartości energii impulsu diagnostycznego przed i po przejściu przez absorber. Badano zmiany transmisji badanego absorbera w funkcji gęstości mocy przechodzącego promieniowania monoimpulsowego lasera YAG:Nd³⁺ o następujących parametrach:

- energia wyjściowa $E_{wy} = 20 \pm 1$ mJ,
- połówkowy czas trwania impulsu $t_n = 6$ ns,
- rozbieżność promieniowania 5 mrad.

Gęstość mocy impulsu diagnostycznego zmieniano w przedziale 5–1500 MW/cm².

Próbné modulatory, dwie sztuki, z różnych kryształów (nr 1 i 2) zostały wycięte w formie walców o rozmiarach $\phi 8 \times 8.0$ mm i $\phi 8 \times 9.4$ mm. Ze względu na małe średnice kryształów ($\phi \sim 14$ mm) modulatory nie mogły być wycięte z obszaru o jednorodnym rozkładzie koncentracji Cr⁴⁺. Zostały więc wycięte tak, że ich oś pokrywała się z osią kryształów; obejmowały cały obszar rdzenia (region b) i znaczną część obszaru brzegowego (region a).

Na rys. 6 przedstawiono wyniki pomiaru zmian transmisji dwóch próbek YAG:Cr⁴⁺ o transmisji początkowej 12.6% i 30.0% w funkcji gęstości mocy promieniowania laserowego 1064 nm.



Rys. 6. Zmiana transmisji próbek YAG:Cr⁴⁺ o różnej transmisji początkowej w funkcji gęstości mocy padającego promieniowania 1064 nm.

Fig. 6. Transmission versus power density of radiation λ=1064 nm for YAG:Cr⁴⁺ crystals for the different initial transmissions.

Wyznaczono podstawowe parametry optyczne i spektroskopowe nieliniowego absorbera takie, jak straty końcowe, absorpcyjny przekrój czynny, koncentrację centrów pochłaniających.

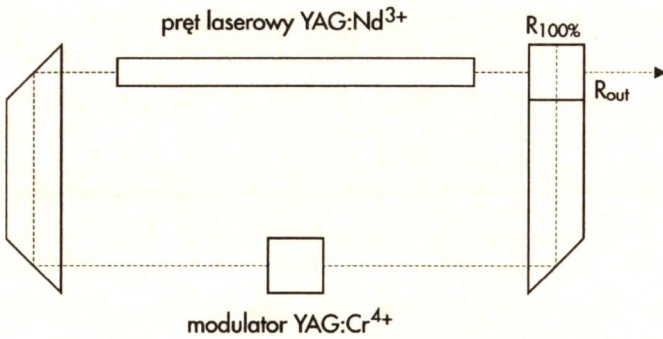
W tabeli 2 zestawiono wyniki pomiarów dla czterech próbek o różnych transmisjach początkowych.

Tabela 2.

L.p.	Transmisja początkowa T_0	Transmisja końcowa T_K	Współczynnik kontrastu $K = \frac{\ln(T_0) - \ln(T_K)}{\ln(T_K)}$
1	0.126	0.84	10.9
2	0.300	0.91	11.8
3	0.488	0.96	16.6
4	0.642	0.98	20.9

4. BADANIA W UKŁADZIE LASERA MONOIMPULSOWEGO

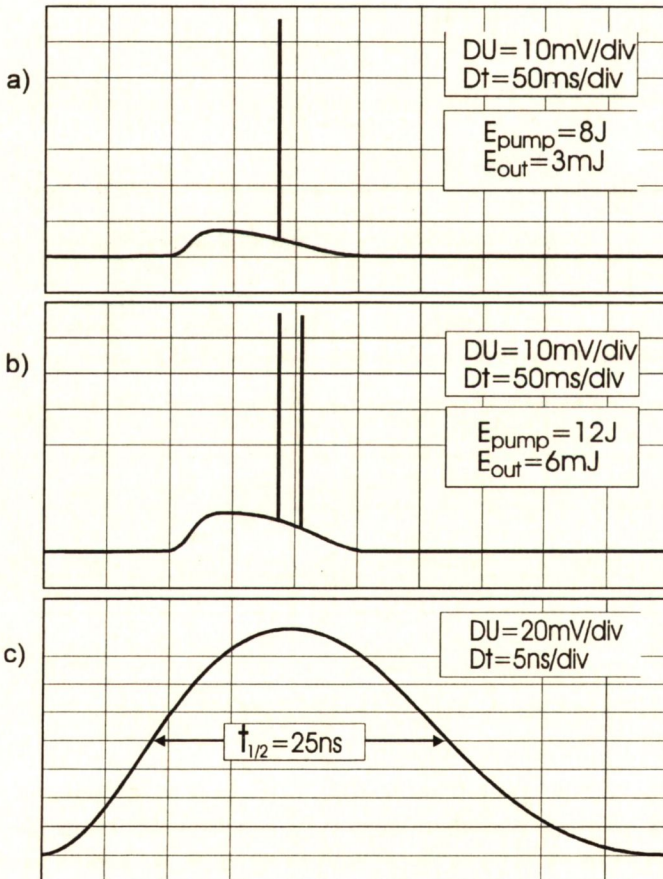
Badano wpływ transmisji początkowej modulatora Cr⁴⁺:YAG oraz wzmocnienia początkowego w rezonatorze na podstawowe charakterystyki generacyjne monoimpulsowego lasera YAG:Nd³⁺.



Rys. 7. Schemat konstrukcyjny rezonatora głowicy laserowej CDDN-1.

Fig. 7. Assembly diagram of the laser system CDDN-1.

Modulatory YAG:Cr⁴⁺ o wymiarach $\phi 8 \times 9.4$ mm, $\phi 8 \times 8.0$ mm o różnych transmisjach początkowych, badano w układzie rezonatora głowicy laserowej CDDN-1 Zs9a, którego schemat konstrukcyjny przedstawia rys. 7. Konstrukcja rezonatora wykorzystuje elementy odbijające w postaci pryzmatów prostokątnych, co umożliwia zmniejszenie czułości głowicy laserowej na rozjustowanie, np. pod wpływem zmian



Rys. 8. Oscylogramy generacji monoimpulsu (a) i serii dwóch impulsów gigantycznych (b) zarejestrowane na oscyloskopie 100 MHz TEKTRONIX 2230 oraz przebieg czasowy monoimpulsu (c) o połówkowym czasie trwania 25 ns zarejestrowany na oscyloskopie 1 GHz TEKTRONIX SCD 1000.

Fig. 8. Oscylogram of the pulse operation on YAG:Nd laser with YAG:Cr⁴⁺ Q-switch: (a) single pulse generation, (b) two giant pulse generation, (c) single pulse generation with half-width of pulse equal 25 ns.

temperatury, uderów czy wibracji. Justowanie rezonatora głowicy CDDN-1 Zs9a odbywa się poprzez obrót modulatora dobroci, który wykonany jest w kształcie klina optycznego. W układzie pobudzającym tego lasera, zastosowano liniową lampę ksenonową LBL 5-50 umieszczoną wraz z prętem laserowym YAG:Nd³⁺ ϕ 4x55 mm wewnątrz odbłyśnika Al.

Na rys. 8 przedstawiono przykładowe oscylogramy zarejestrowane w czasie generacji monoimpulsu, serii dwóch impulsów i kształt monoimpulsu o połówkowym czasie trwania 25 ns.

5. PODSUMOWANIE

Uzyskano kryształy YAG:Cr⁴⁺ o koncentracji jonów Cr⁴⁺ $\sim 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Kryształy te wykazują w paśmie od 750 do 1200 nm nieliniową absorpcję. Efekt ten zbadano dla długości fali emisji lasera 1064 nm. Wykonane z tych kryształów pasywne modulatory dobroci rezonatora lasera YAG:Nd charakteryzują się korzystnymi parametrami spektroskopowymi, z których najważniejszym jest wysoki współczynnik kontrastu ($K=20$), wynikający z niskich strat końcowych absorbera. W układzie laserowym YAG:Nd z modulatorami YAG:Cr⁴⁺ uzyskano generacją impulsów gigantycznych o czasie trwania 25 ns i energii wyjściowej 3 mJ.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Shelton J.W. , Armstrong J.A.: Measurement of the Relaxation Time of the Eastman 9740 Bleachable Dye. IEEE J. Quantum Electronics, 3, 12, 1967, 696-697
- [2] Reynolds G.A., Drexhage K.H.: New Dithene Complexes for Q-Switching and Mode-Locking Infrared Lasers. J.Appl.Physics, 46, 1975, 11, 4852-4853
- [3] Gromov D.A. i in.: Polimernyje lazernyje zatvory. Izv.A.N.SSSR, Ser. Fiz., 46, 1982, 10, 1959-1963
- [4] Melamed N.T., Hirayama C., French P.W.: Laser action in uranyl-sensitized Nd-doped glass. Appl. Phys.Letters, 6, 1965, 3, 43-45
- [5] Mierczyk Z., Kwaśny M., Czeszko J.: Dye foils with increased durability for passive Q-switching in a 1064 nm laser. Proc. SPIE, 859, 1988, 14-20
- [6] Drexhage K.H., Muller-Westarhoff U.T.: New Q-switch compounds for infrared lasers. IEEE J. Quantum Electronics, QE-8, 9, 1972, 759-760
- [7] Gusiev Yu.L., Kirpicnikov A.V., Lisicyn V.N., Marennikov S.I.: Spektralnyje charakteristiki izlučenija AIG:Nd-laziera s nasyščajuščimsia poglotitelem na [F₂⁻] - centrach v kristale LiF. Kvantovaja Elektronika 8, 1981, 5, 1141-1143
- [8] Mierczyk Z., Czeszko J., Kaczmarek S.: Laser YAG:Nd z pasywną modulacją dobroci na centrach barwnych [F₂⁻] w LiF. Biul. WAT, 3(403), 1986, 95-107

- [9] Danilov A.A. i in.: Kompaktnyj lazer na osnovie GSGG:Cr,Nd, s passivnoj modulaczej dobrotnosti. Kvantovaja Elektronika 14, 1987, 5, 905-906
- [10] Krutova L.I. i in.: Fototropnyje centry v legirovannyh chromom granatach. Optika i Spektroskopia. 63, 1987, 5, 1174-1176
- [11] Krutova L.I. i in.: Elektronnoje sostojanije i pozycji ionov chroma v kristalach granata. Solid State Physics. 31, 7, 170-175
- [12] Mierczyk Z., Czeszko J.: Investigation of stability of color centres in LiF crystals used for passive Q-switching in a 1064 nm laser. Proc. SPIE, 859, 1988, 99-104
- [13] Frukacz Z., Mierczyk Z.: Otrzymywanie monokryształów YAG:Er³⁺ do zastosowań laserowych. Materiały Elektroniczne. 22, 1994, 1, 69
- [14] Borodin N.J., Zhitnyuk V.A., Okhrimčuk A.G., Shestakov A.B.: Generacija v oblasti dlin voln 1.34-1.6 mm lazera na osnove Y₃Al₅O₁₂:Cr⁴⁺. Izvjestija Akademii Nauk - Seria Fizičeskaya. 54, 1990, 1500-1506, (in russian)
- [15] Frukacz Z., Łukasiewicz T., Mierczyk Z.: Growth of Cr⁴⁺:YAG crystals for applications in laser technique. Proc. SPIE 2373. 1995, 74-78
- [16] Garmash V.M., Zhitnyuk V.A., Okhrimčuk A.G. i Shestakov A.V.: Izv. Akad. Nauk SSSR, Neorg. Mat. Moscow, 26, 1990, 1700
- [17] Okhrimchuk A.G., Shestakov A.V.: Optical Materials 3, 1994, 1-13
- [18] Burakov V.S., Prikl Z.: Spektroskopii, 36, 1982, 3, 494
- [19] Michnov S.A. i in.: Optika i Spekr., 37, 1974, 2, 333-336

SUMMARY

YAG:Cr⁴⁺ CRYSTALS AS PASSIVE Q-SWITCHES FOR YAG:Nd³⁺ LASER

In this paper the results of the research on the obtaining Cr³⁺ doped yttrium-aluminium garnets (YAG:Cr³⁺) are presented. The possibilities of the applying these crystals as passive Q-switchers for neodymium lasers (generated radiation of the wavelength $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$) are discussed. Because of the bleaching effect observed in the wavelength region 750 – 1200 nm, which is characterized by the high contrast coefficient, as well as the good mechanical and thermal properties YAG:Cr⁴⁺ crystals are very promising as Q-passive modulators for neodymium lasers.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

МОНОКРИСТАЛЛЫ ИАГ:Cr⁴⁺ ДЛЯ ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА ЛАЗЕРА ИАГ:Cr³⁺

В статье представлены первые результаты исследований по получению монокристаллов иттрий-алюминиевого граната (ИАГ) легированных одновременно ионами Cr⁴⁺ и Mg²⁺ и использованию этого кристалла в качестве пассивного модулятора добротности для неодимового лазера ($\lambda = 1,06 \mu\text{m}$). Кристалл ИАГ:Cr⁴⁺ подходит для этой цели так как в диапазоне 750-1200 nm он показывает нелинейные свойства пропускания излучения и эффект просветления.

Полученные нами модуляторы добротности характеризуются высоким коэффициентом контраста, что является следствием небольших концевых потерь абсорбера. Это свойство, а также хорошие термические и механические параметры кристалла ИАГ показывают, что этот кристалл как материал на пассивные модуляторы добротности превышает все до сих пор применяемые материалы.