

ZYGMUNT MIERCZYK
SŁAWOMIR KACZMAREK
JERZY CZESZKO

**WPLYW PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH
PASYWNEGO MODULATORA DOBROCI REZONATORA
LASERA YAG : Nd³⁺ NA JEGO WŁASNOŚCI
GENERACYJNE**

STRESZCZENIE

Rozpatrzono możliwe konstrukcje pasywnych modulatorów dobroci rezonatora lasera impulsowego YAG : Nd³⁺ dla celów wojskowej techniki laserowej. Zbadano wpływ parametrów technologicznych i optycznych modulatorów na własności generacyjne głowic laserowych. Przeprowadzono ich oszacowania optymalizacyjne.

*

* *

1. Wstęp

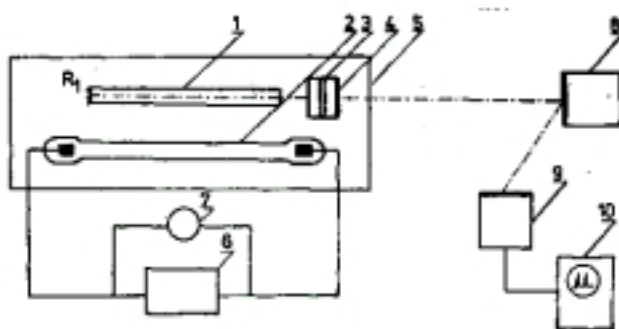
Jednym z najważniejszych elementów lasera YAG : Nd³⁺ z pasywną modulacją dobroci rezonatora, wykorzystywanego w układach wojskowej techniki laserowej [1], jest sam pasywny modulator dobroci. Parametry modulatora (T_o — transmisja początkowa, R — współczynnik odbicia zwierciadła wyjściowego) i jego konstrukcja determinują parametry pracy głowicy laserowej, takie jak: energia progowa generacji, szerokość przedziału występowania pojedynczego impulsu, energia wyjściowa, rozbieżność kątowna promieniowania laserowego, trwałość lasera w czasie i zakres temperatur stabilnej pracy. Dla pracy lasera z pasywną modulacją dobroci istotne znaczenie ma również jakość optyczna pręta, a także inne elementy konstrukcyjne lasera, jednak ich wpływ na własności generacyjne głowicy laserowej nie jest tak krytyczny, jak konstrukcja i parametry modulatora.

W laserach konstruowanych w Instytucie Elektroniki Kwantowej jego konstrukcja oparta jest na wykorzystaniu nieliniowego foliowego absorbera na barwniku Ni²⁺ [4DMAB].

W pracy niniejszej rozważa się zmianę wspomnianych parametrów generacyjnych z konstrukcją samego modulatora i zmianą jego parametrów, i wskazuje na optymalne jego własności w przypadku zastosowania w wojskowej technice laserowej.

2. Wyniki badań

Badania podstawowych charakterystyk generacyjno-eksploatacyjnych monoimpulsowego lasera YAG : Nd³⁺ przeprowadzono w układzie przedstawionym schematycznie na rys. 1.



Rys. 1. 1 — pręt laserowy YAG : Nd³⁺, 2 — lampa ksenonowa, 3 — folia barwnikowa Ni²⁺ [4DMAB], 4 — zwierciadło transmisyjne, 5 — komora temperaturowa, 6 — zasilacz impulsowy, 7 — woltomierz, 8 — piroelektryczny miernik energii, 9 — fotodioda, 10 — oscyloskop z pamięcią

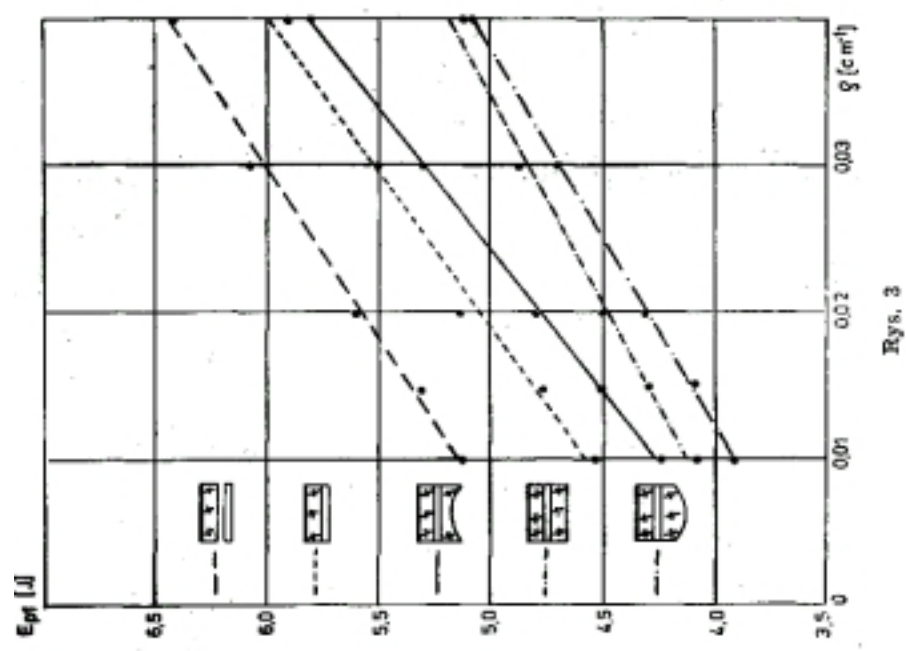
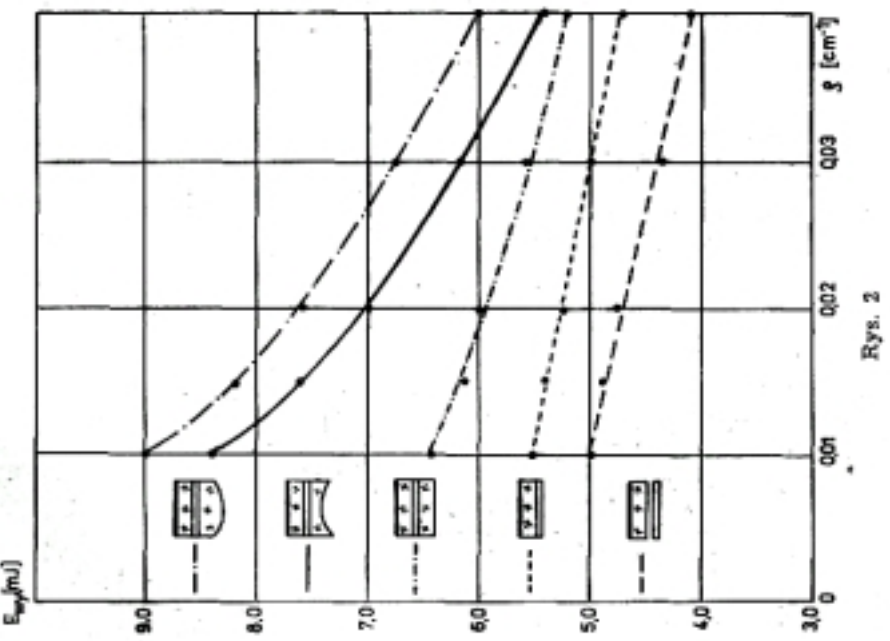
W układzie pobudzającym zastosowano liniową lampę ksenonową LBL 5/42, którą wraz z prętem YAG : Nd³⁺ ϕ 3×50 mm umieszczono wewnątrz eliptycznego odbijacza Ag z pokryciem cienkowarstwowym MgF₂. Badana konstrukcja lasera YAG : Nd znajdowała się w komorze temperaturowej TN/R-718. Temperaturę stabilizowano w przedziale —50 — +50°C z dokładnością $\pm 2^\circ\text{C}$.

Do pomiaru energii wyjściowej zastosowano miernik energii typu PRJ-D firmy GENTEC. Wartości energii progowej generacji pojedynczego (E_{p1}) i dwóch impulsów (E_{p2}) wyznaczano na podstawie oscylogramów, otrzymanych za pomocą fotodiody PIN 020A.

Do badań przygotowano pasywne foliowe modulatory dobroci o różnych konstrukcjach, wykonane z tej samej folii barwnikowej o transmisji początkowej $T_o = 0,50$ i zwierciadła wyjściowego o współczynniku odbicia $R_2 = 0,57$.

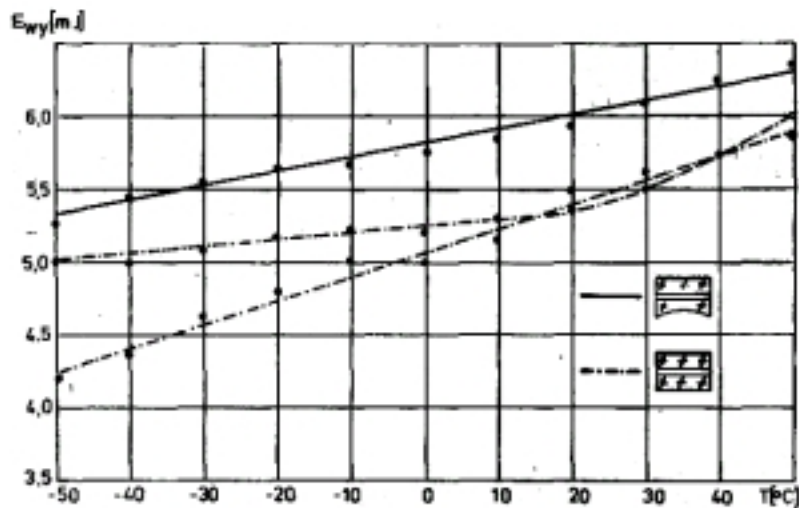
Schematycznie konstrukcje modulatorów można przedstawić następująco (tabela 1): zwierciadło transmisyjne ϕ 7×2 mm (1) — folia barwnikowa ϕ 7×0,2 mm (2) — płytka zamykająca z warstwą antyrefleksyjną ϕ 7×2 mm (3). Pierwsza konstrukcja w tabeli 1: (1) — (2) była nie klejona, druga (1) — (2) sklejona optycznym klejem KBMS, natomiast trzy następne (1) — (2) — (3) sklejone również KBMS różniły się krzywizną płytki zamykającej ($r = \infty$, $r = 1,5$ m, $r = -1,5$ m). Badano energię progową generacji, przedział występowania oraz energię wyjściową monoimpulsu w funkcji współczynnika strat materiału aktywnego ρ . Zmienność ρ realizowano przez stosowanie prętów laserowych o różnych wartościach współczynnika strat. Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys. 2 i 3.

W tabeli 1 przedstawiono również wyniki badań rozbieżności kąto-

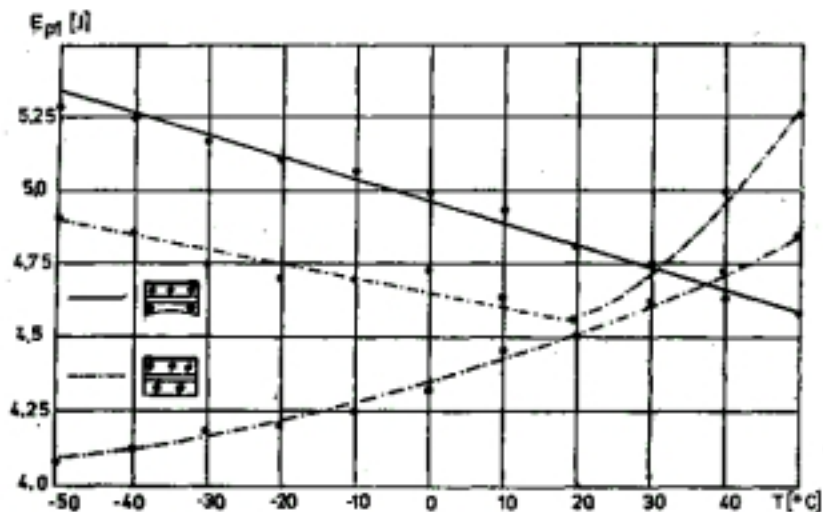


wej emitowanego promieniowania metodą odwzorowania strefy dalekiej w ognisku soczewki o ogniskowej $f = 0,3 \text{ m}$ [2]; zestawiono również rezultaty badań eksploatacyjnych. Wyniki pomiarów temperaturowej zależności energii progowej generacji oraz energii wyjściowej monoimpulsu dla dwóch konstrukcji modulatorów o najszerszym zakresie temperatur stabilnej pracy przedstawiono na rys. 4 i 5.

Natomiast rys. 6 przedstawia rezultaty badań resursowych laserów monoimpulsowych YAG : Nd^{3+} z różnymi konstrukcjami pasywnych modulatorów dobroci.



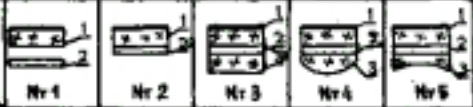
Rys. 4



Rys. 5

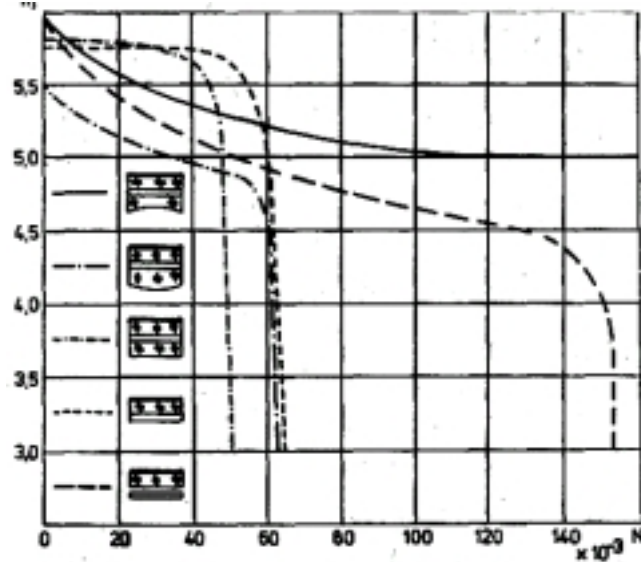
Tabela 1

Wyniki badań różnych konstrukcji foliowego modulatora barwnikowego w układzie lasera YAG: Nd³⁺

Konstrukcja modulatora Parametry lasera					
	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4	Nr 5
Energia progowa generacji E_{pr} [J]	5,8	5,2	4,5	4,2	4,8
Powódź występowania popędzającego impulsu $\Delta t \setminus t_{pl}$	0,42	0,28	0,41	0,40	0,48
Energia wyjściowa E_{wy} [mJ]	4,8	5,3	6,0	7,6	3,0
Bezpieczeństwo światła nadfioletowego promieniowania λ [nm]	>15	>10	=10	=10	=5
Wytrzymałość modulatora /Wielkość obrotów laserowych/	100 000	80 000	40 000	80 000	160 000
Zakres temperatur stabilnej pracy lasera	-80+80	-30+80	-80+80	-80+50	-80+80

Pręt laserowy YAG : Nd³⁺ $\phi 3 \times 50$ mm, $\rho = 0,02$ cm⁻¹

E_{wy} [mJ]



Rys. 6

Trwałość modulatorów, mierzona ilością akcji laserowych nie powodujących zniszczenia lasera, badano z częstotliwością repetycji 0,05 Hz w temperaturze +20°C.

3. Wnioski

W konstrukcjach modulatorów, których występują powierzchnie odbijające (układ: zwierciadło transmisyjne-folia barwnikowa, w wersji klejonej i nie klejonej) obserwuje się znaczny wzrost progowej energii generacji oraz spadek energii wyjściowej monoimpulsu (tab. 1, rys. 2 i 3). Wynika to z występowania tam efektów interferencyjnych i wielokrotnych odbić między powierzchniami, dla których współczynnik odbicia szacuje się na 0,04 ($n = 1,50$). Uwzględniając te zjawiska otrzymamy następujące wartości efektywnego współczynnika odbicia zwierciadła wyjściowego [3, 4] dla dwóch konstrukcji modulatora:

Tabela 2

Układ zwierciadło transmisyjne-folia barwnikowa (nieklejony)		Układ zwierciadło transmisyjne-folia barwnikowa (klejony)	
R_2^{max}	R_2^{ef}	R_2^{max}	R_2^{ef}
0,78	0,59	0,69	0,58

Jak widać z tabeli 2, w porównaniu ze współczynnikiem odbicia zwierciadła transmisyjnego $R_2 = 0,57$, efektywne współczynniki odbicia są znacznie większe ($R_2^{ef} \in (0,58; 0,69)$ dla konstrukcji klejonej i $R_2^{ef} \in (0,59; 0,78)$ dla konstrukcji nie klejonej). Wynika stąd obserwowany wzrost wartości energii progowej generacji oraz spadek energii wyjściowej monoimpulsu w porównaniu z modulatorem o konstrukcji 3 (tabela 1). Zmiany te są zgodne również z obliczeniami teoretycznymi dla przybliżenia natchmiastowego przełączania strat [5].

Trzy konstrukcje z płytką zamykającą pokrytą warstwą antyrefleksyjną różniące się promieniem krzywizny tej płytki, charakteryzują się zasadniczymi zmianami parametrów generacyjnych (tabela 1, rys. 2 i 3). Przyjęcie promienia krzywizny tych modulatorów w zakresie $r = \pm 1,5$ m uzasadniamy wynikami badań optycznych prętów laserowych YAG : Nd^{3+} , dla których obserwowano niejednorodności optyczne i strukturalne [6].

Najwyższe wartości energii progowej generacji monoimpulsu występują w modulatorze o promieniu krzywizny płytki zamykającej $r = -1,5$ m, najniższe zaś dla $r = 1,5$ m. Jak wynika z pracy [7], układ zwierciadło płaskie-soczewka skupiająca (konstrukcja 4) jest równoważny zwierciadłu o promieniu krzywizny $r = -3$ m (rezonator stabilny). Natomiast podobny układ odpowiadający konstrukcji 5 jest równoważny zwierciadłu o promieniu krzywizny $r = +3$ m (rezonator niestabilny).

Stąd w modulatorze nr 4 należy oczekiwać obniżenia wartości strat dyfrakcyjnych, a w modulatorze nr 5 ich wzrost. Konsekwencją tych zjawisk jest w przypadku modulatora nr 4 obniżenie, a modulatora nr 5 wzrost wartości progowej energii generacji w porównaniu z laserem pracującym z modulatorem nr 3 ($r = \infty$). Poza tym modulator nr 5 znacznie obniża wartość rozbieżności kątowej emitowanego przez laser promieniowania. Wynika to najprawdopodobniej z efektu selekcji modów poprzecznych dla rezonatora płasko-sferycznego z podwyższonymi stratami dyfrakcyjnymi.

Obserwowany znaczny wzrost wartości energii wyjściowej lasera monoimpulsowego z modulatorami „sferycznymi” (konstrukcje 4 i 5) związany jest głównie z efektem uśredniania pola elektromagnetycznego wewnątrz materiału aktywnego w wyniku wielokrotnych przejść promieniowania między zwierciadłami rezonatora. Jak wynika z badań optycznych i generacyjnych prętów YAG : Nd³⁺ [8], charakteryzują się one znaczną niejednorodnością, przejawiającą się m.in. występowaniem w prętach obszarów o różnych charakterystykach generacyjnych. Stąd wielokrotne przejście promieniowania w układzie rezonatora płasko-sferycznego daje efekt uśredniania pola elektromagnetycznego i w konsekwencji wzrost energii wyjściowej lasera.

Dla lasera z modulatorem nr 4 obserwuje się znaczne zmiany parametrów generacyjnych lasera w funkcji jego rozjustowania. Zjawisko to ma niekorzystny wpływ na stabilną pracę lasera w przedziale temperatur —50 — +50 °C. Dla lasera z modulatorem nr 5 zmiany parametrów generacyjnych w funkcji rozjustowania są niewielkie. Ponadto, w wyniku efektu uśredniania pola, o którym wspominaliśmy, w laserze z tym modulatorem ma miejsce bardziej równomierne prześwietlenie absorbera, co w zasadniczy sposób wpływa na trwałość modulatora, a więc i lasera.

Trwałość modulatora mierzona ilością akcji laserowych nie powodujących jego zniszczenia, uwarunkowana jest głównie stabilnością parametrów fizykochemicznych folii barwnikowej, która zależy m.in. od procesów relaksacyjnych zachodzących w cząsteczce barwnika Ni²⁺ [4DMAB] pod wpływem promieniowania laserowego. Decydującym jednak parametrem jest tu sposób odprowadzenia ciepła wydzielającego się w folii w wyniku bezpromienistej relaksacji barwnika po wygenerowaniu przez laser monoimpulsu.

Trwałość modulatora z płytką zamykającą w promieniu $r = -1,5$ m jest wyższa nawet od modulatora nie klejonego, gdzie odprowadzenie ciepła dokonuje się na zasadzie konwekcji, jednocześnie znacznie przewyższa ona trwałość pozostałych konstrukcji, w których odprowadzenie ciepła następuje w wyniku złożonej wymiany.

Przebadano również modulator z płytką zamykającą o promieniu $r = -2,0$ m. Ze względu na dość istotne, dla zastosowań badanych konstrukcji modulatorów, zmiany ich własności z promieniem krzywizny płytki zamykającej, wskazana jest ich optymalizacja ze względu na wartość r . Wyniki takiej optymalizacji przedstawione zostaną w następnej pracy.

Przedstawione wyniki badań monoimpulsowych laserów YAG : Nd³⁺, z pasywnymi barwnikowymi modulatorami dobroci o różnych konstruk-

cyjach, wskazują, że modulator wykonany w układzie: zwierciadło transmisyjne-folia barwnikowa-płytką zamykająca o promieniu krzywizny $r = -1,5$ m z warstwą antyrefleksyjną, stanowi konstrukcję spełniającą wymagane parametry generacyjno-eksploatacyjne lasera,

LITERATURA

1. W. F. Wyrębski, *Laserowa technika wojskowa*. Warszawa, 1982.
2. G. Hird, *Izmerenie lazernych parametrov*, Moskwa, 1970.
3. B. M. Stepanov, *Metody rasciota opticeskich kvantovykh generatorov*, T I, MIŃSK, 1966.
4. Z. Mierczyk, S. Kaczmarek, J. Czeszko, *Laser YAG: Nd³⁺ z pasywną modulacją dobroci rezonatora na centrach barwnych F₂ w monokryształach LiF*, Biul. WAT (w druku).
5. J. Czeszko, S. Kaczmarek, Z. Mierczyk, Z. Puzewicz, *Obliczenia monoimpulsowego lasera YAG: Nd³⁺ z pasywną modulacją dobroci*. Komunikat I Sympozjum Techniki Laserowej, Toruń, 1984.
6. A. M. Belskij, T. M. Kornejczik, A. P. Chapaluk, *Prostranstvennaja struktura lazernowo izlucenia*, Mińsk, 1982.
7. A. Dżerrard, Dż. Biorcz, *Wvedenie v matricnuju optiku*, Moskva 1978.
8. Z. Puzewicz, J. Czeszko, S. Kaczmarek, Z. Mierczyk, *Oszacowanie jakości monokryształów YAG: Nd³⁺ na podstawie własności generacyjnych prętów laserowych*. Komunikaty VIII Szkoły Fizyki i Technologii Monokryształów i Materiałów Ciekłokrystalicznych, Jurata, 1985 (w druku).

ABSTRACT

Possible passive designs are considered of quality modulators of the resonator of a YAG :Nd³⁺ pulse laser for the purposes of the military laser technique. The effect, was explored of the technological and optical (T_o , R) parameters of the modulators upon the generating properties of the laser heads. Their optimization assessments were carried out.