

INVESTIGAȚII ALE GENERĂRII DE IMPULSURI ÎN LASERE CU MEDIU ACTIV GROPI CUANTICE CU ABSORBANT DE SATURAȚIE

Eugeniu GRIGORIEV

Departamentul Fizica, Facultatea Electronică și Telecomunicații,
Universitatea Tehnică din Moldova, or. Chișinău, Republica Moldova

*Autorul corespondent: Grigoriev Eugeniu Nicolae, eugeniu.grigoriev@fiz.utm.md

Rezumat. În această lucrare sunt prezentate rezultatele teoretice ale generării impulsurilor în lasere cu gropi cuantice multiple InGaN cu absorbant de saturație. A fost studiată influența parametrilor dispozitivului precum lungimea absorbantului de saturație și lungimea de undă a laserului asupra energiei impulsului și a maximului impulsului la ieșire.

Cuvinte cheie: laser InGaN, absorbant de saturație, impulsuri, energia impulsului

Introducere

În ultimii ani au fost raportate investigații ale impulsurilor optice scurte care au aplicații în cercetările spațiale, în comunicații, la prelucrarea materialelor, în spectroscopie și în alte domenii. Astfel de impulsuri pot fi generate cu ușurință de diodele laser cu două secțiuni. În [1] s-au obținut impulsuri optice cu maximul de putere de 55 W. Energia obținută constituie 820 pJ, iar durata impulsului este de 15 ps. În [2] a fost raportată generarea de impulsuri optice de picosecunde cu o putere de vârf de 8 W, care au fost amplificate de un amplificator optic cu semiconductor, având o putere de vârf de aproximativ 300 W (durata impulsului este de 1,9 ps, iar energia – de 586 pJ). Aceste rezultate dezvăluie potențialul laserelor de lumină albastru-violet de a genera impulsuri optice în regim de picosecunde cu energii mari. În [3] au fost raportate rezultatele investigațiilor teoretice ale generării de impulsuri sub 10 ps de către un laser cu două secțiuni InGaN albastru-violet. Principiul generării impulsurilor este comutarea Q activă. S-a investigat impactul factorului de amplificare asupra puterii de vârf, energiei și lățimii impulsului comparând rezultatele numerice cu expresii semi-analitice.

Lucrarea este organizată după cum urmează: în secțiunea 2 este prezentată configurația laserului și ecuațiile, în secțiunea 3 este analizat modelul teoretic, se discută influența variației parametrilor asupra generării impulsurilor și sunt prezentate rezultatele simulărilor numerice. În secțiunea 4 sunt prezentate concluziile.

Structura laserului și ecuațiile

Figura 1 prezintă un model al instalației investigate care conține stratul activ InGaN și un absorbant de saturație. Stratul activ este compus din 3 gropi cuantice de tipul InGaN. Grosimea regiunii active și a absorbantului de saturație este de 18 nm, iar lungimea de undă este de 405 nm. În această lucrare calculele numerice au fost efectuate pentru lasere cu lățimea de 2 μm . Lungimea stratului activ este de 650 μm , iar lungimea absorbantului de saturație variază de la 200 μm până la 700 μm . Ceilalți parametri sunt aceiași ca în [5].

Pentru a simula generarea de impulsuri în laserele cu mediu activ gropi cuantice de tipul InGaN, a fost utilizat modelul Yamada [6] care este redat de următoarele ecuații ale ratei pentru numărul de fotoni S și pentru numărul de purtători de sarcină injectați în regiunea activă N_1 și în absorbantul de saturație N_2 .

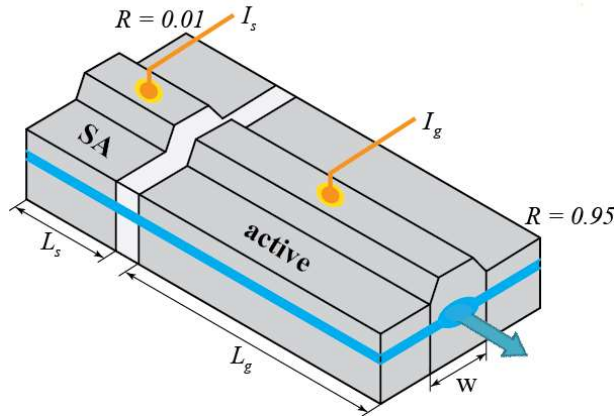


Figura 1. Schema laserului InGaN de lumină albastru-violetă cu două secțiuni

$$\frac{dS}{dt} = \left[\frac{\sum_i a_i \xi_i (N_i - N_{gi})}{V_i} - BS - G_{th} \right] S + \frac{M \sum_i a_i \xi_i N_i}{V_i}, \quad (1)$$

$$\frac{dN_i}{dt} = -\frac{a_i \xi_i}{V_i} (N_i - N_{gi}) S - \frac{N_i}{\tau_{si}} + \sum_{j \neq i} \left(\frac{N_j}{T_{ij}} - \frac{N_i}{T_{ji}} + \frac{I_{ji} - I_{ij}}{e} \right), \quad (2)$$

unde $a_1 = 1.85 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s}$ și $a_2 = 20 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3/\text{s}$ sunt coeficienții de amplificare diferențială al primei și, respectiv, a regiunii a doua. $\xi_1 = 0.045$, $\xi_2 = 0.0033$ reprezintă factorii de limitare a câmpului. N_{tr} este numărul de fotoni la transparentă, τ_s durata de viață a purtătorilor de sarcină. I_i injecția purtătorilor de sarcină în regiunea i . M este numărul total echivalent al modurilor longitudinale [5].

Coeficientul de saturație a amplificării B este dat de expresia:

$$B = B_c (N_1 - N_{g1}) (a_1 \xi_1^2 / V_1^2), \quad (3)$$

unde

$$B_c = \frac{9\pi c \tau_{in}^2 |R_{cv}|^2}{2\epsilon_0 n_r^2 \hbar \lambda_0}. \quad (4)$$

Nivelul de prag al amplificării G_{th} este dat de expresia:

$$G_{th} = \frac{c}{n_r} \left(k + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_f R_b} \right), \quad (5)$$

unde $R_f = 0.25$ și $R_b = 0.95$ sunt coeficienții de reflexie ale fațetelor din față și, respectiv, din spate, iar $k = 1000 \text{ m}^{-1}$ este coeficientul pierderilor. Pentru o descriere detaliată a parametrilor rămași ai modelului ne referim la [5, 6].

Rezultatele calculului numeric. Discuții

În cele ce urmează vom raporta rezultatele calculului numeric având la bază ecuațiile (1) – (5) care descriu dinamica laserului InGaN reprezentat schematic în Figura 1. Dependența de timp a curentului de injecție și a puterii optice emergente este prezentată în Fig. 2, a și b , corespunzător. În acest studiu, curentul de injecție are un profil de dinte de ferăstrău (în Fig. 2, a linia de culoare neagră), crește liniar de la 0 până la 0.25 A în intervalul de timp de la $t = 0$ până la $t = 3 \text{ ns}$ și apoi brusc tinde la zero. Acest interval de timp a fost ales pentru a fi mult mai mare decât durata de viață a purtătorilor de sarcină, care este mai mică de 1 ns. Curentul de comutare are o formă dreptunghiulară cu valoarea maximă de 0,05 A (linia de culoare roșie) este pornit la $t_s = 2.995 \text{ ns}$ și oprit la $t = 3 \text{ ns}$.

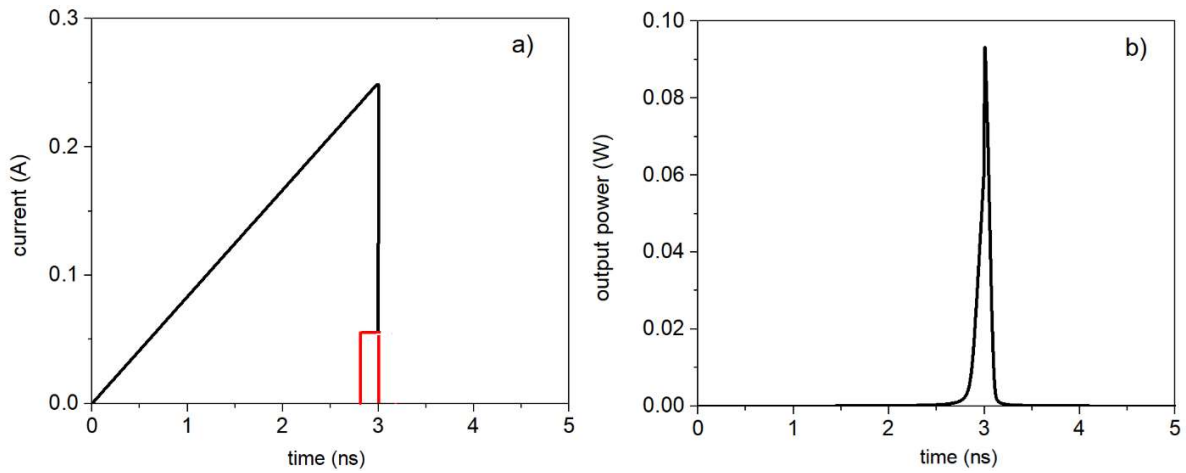


Figura 2. Principiul de generare a impulsurilor. Stânga: curentul injectat în secțiunile activă și a absorbantului saturabil. Dreapta: puterea emergentă în funcție de timp

Figura 3 reprezintă dependența maximului puterii și a energiei impulsului de lungimea absorbantului saturabil (AS). După cum se observă, odată cu creșterea lungimii AS, ambele curbe descresc. Astfel, pentru lungimi mari ale AS pierderile de energie sunt mari și generarea de impulsuri de către sistemul prezentat în Figura 1 este însoțită de diminuarea ambelor mărimi.

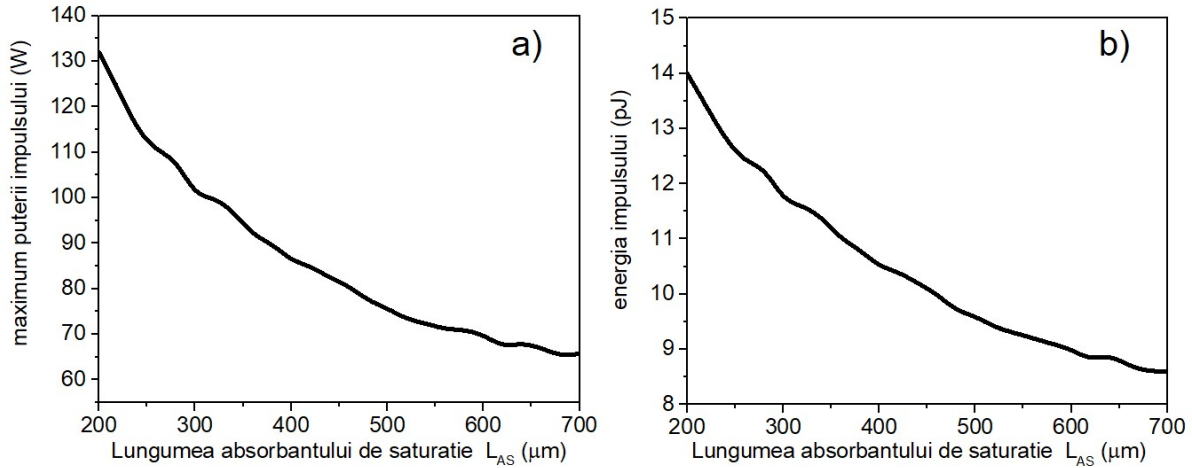


Figura 3. Dependența maximului puterii impulsului a) și energiei lui b) de lungimea AS

În Figura 4 sunt ilustrate dependențele maximului puterii și energia impulsului de lungimea de undă. Observăm că odată cu creșterea lungimii de undă, ambele mărimi descresc.

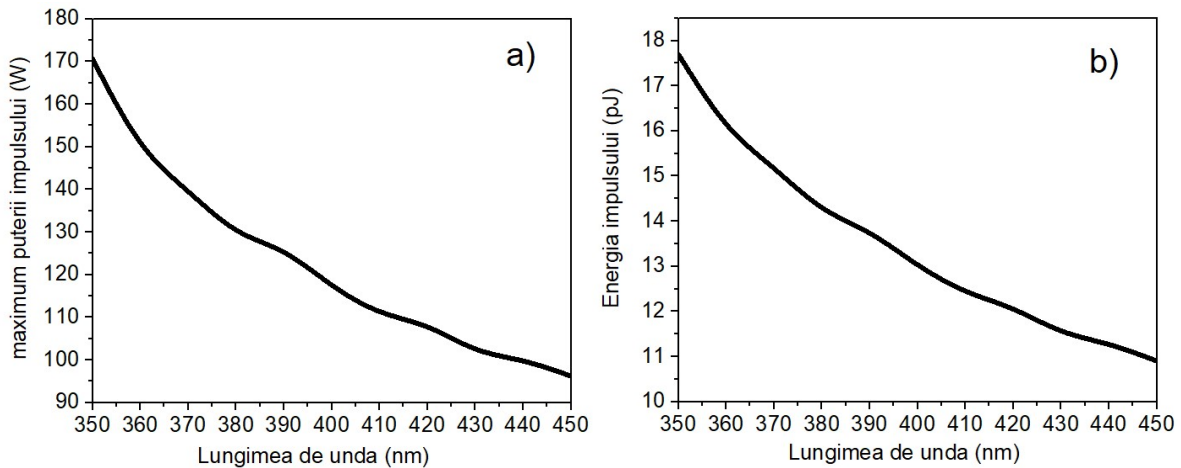


Figura 4. Dependența maximului puterii impulsului a) și energiei lui b) de lungimea de undă

Concluzii

În această lucrare a fost studiată generarea impulsurilor de putere înaltă de către un dispozitiv compus din două secțiuni: una de amplificare și alta care este un absorbant saturabil. În laser este injectat un impuls electric în creștere timp de 3 ns, care ulterior brusc este stopat. Înainte de stoparea impulsului de curent din regiunea activă, în regiunea absorbantului de saturație se injectează un alt impuls electric de scurtă durată de formă dreptunghiulară. Când curentul de comutare este pornit, densitatea purtătorilor de sarcină în secțiunea absorbantului începe să crească până când laserul emite un impuls fonic. Am considerat lasere care emit impulsuri la diferite lungimi de undă între 350 nm și 450 nm. Rezultatele prezentate în această lucrare demonstrează următoarele caracteristici: odată cu creșterea lungimii de undă descrește energia și valoarea maximă a puterii emergente. Aceeași tendință de descreștere s-a observat și atunci când crește lungimea absorbantului de saturație. În final, considerăm că rezultatele obținute au o bază bună pentru investigații mai detaliate ale dispozitivelor pentru generarea impulsurilor scurte.

Mulțumiri. Această lucrare a fost susținută financiar de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltarea Moldovei în cadrul proiectului 20.80009.5007.08 „Studiul structurilor optoelectronice și a dispozitivelor termoelectrice cu eficiență înaltă”.

Referințe

1. Kuramoto, M., Oki, T., Sugahara, T., Kono, S., Ikeda, M., Yokoyama, H., 2010 Appl. Phys. Lett. 96 051102–1:35
2. Koda, R., Oki, T., Kono, S., Miyajima, T., Watanabe, H., Kuramoto, M., Ikeda, M., Yokoyama, H., 2012 Appl. Phys. Express 5 022702–1:4
3. Tronciu, V., Wenzel, H., Knigge, A Theoretical studies of the generation of picoseconds pulses with two-section blueviolet semiconductor lasers Semicond. Sci. Technol., 2020 vol. 35, no. 04, pp. 045029.
4. Tronciu, V., Yamada, M., Tomoki, O., Shigetoshi, I., Toshiyuki, K., Mototaka, T., *Self-pulsation in an InGaN laser - theory and experiment*, IEEE J. Quantum Electronics 2003, 39, p.1509-1514.
5. Yamada, M., *A theoretical analysis of self-sustained pulsation phenomena in narrow-stripe semiconductor lasers*, IEEE J. Quantum Electron., vol. 29, pp. 1330–1336, May 1993.