

Controlul si analiza emisiei haotice a diodelor laser

Controlul emisiei haotice a diodelor laser

Pentru punerea în evidență a emisiei haotice a unei diode laser este necesară utilizarea unei diode cu emisie monomod acordabilă (cu cavitate Fabri-Perot), diode care sunt comercializate la prețuri foarte mari, sau construirea unui montaj care să permită obținerea unei emisii laser monomod acordabile. Un montaj de principiu este prezentat în figura 4.1. Acesta este alcătuit din dioda laser, care poate emite multimod – dar cu depunere antireflex, un sistem de colimare și reglaj unghiular, eventual controlat de un element traductor piezo-electric și o rețea de difracție sau oglinda. Un astfel de montaj formeaza sistemul Laser cu Semiconductori (dioda laser) – Cavitate Externa (LSCE).

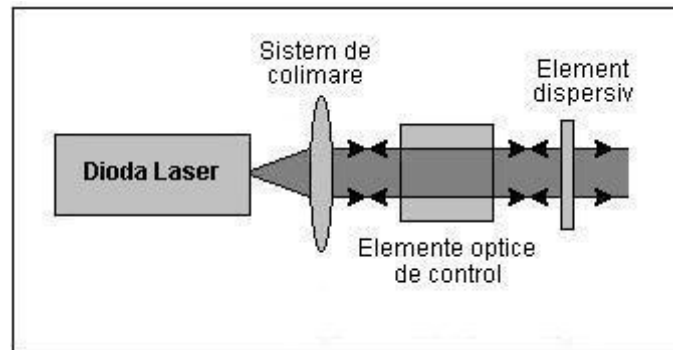


Fig.4.1. Schema de principiu a unui sistem laser cu semiconductori -cavitate externa

Diodele laser si-au gasit un numar mare de aplicatii specifice datorita caracteristicilor de functionare (putere, largime spectrala, domeniu spectral de emisie, modul de functionare: continuu sau pulsant), care au putut fi optimizate pentru diversele aplicatii. Dintre aceste caracteristici, acordabilitatea pe lungimea de unda a capatat un interes particular pentru domenii cum ar fi comunicatiile pe purtatoare optica, spectroscopia optica, detectia optica coerenta, datorita castigului spectral larg, disponibil in mod obisnuit in diodele laser.

In principiu, pentru o dioda laser simpla, controlul emisiei laser (acordarea pe lungimea de unda) se realizeaza prin ajustarea curentului de injectie la nivelul jonctiunii semiconductoare sau a temperaturii de termostatare a acesteia, intre anumite limite, care sunt compatibile cu mediul activ laser. Prin ajustarea celor doi parametri lungimea de unda emisa poate fi, practic, acordata continuu, dar in limita unui domeniu extrem de

limitat. Cuplarea diodei laser cu o cavitate optica externa extinde domeniul spectral de acordabilitate, in acelasi timp lungimea de unda este mai precis controlata, prin deplasarea sau rotirea elementului dispersiv din cavitate.

Pentru o dioda laser simpla, cavitatea laser este formata intre cele doua ferestre ale chip-ului semiconductor obtinute prin clivaj, care sunt mult mai plane decat orice oglinda obtinuta prin polizare mecanica (uneori ferestrele chip-ului se acopera antireflex, astfel incat fata de extractie sa aiba un coeficient de reflexie mai scazut).

In sistemul LSCE cavitatea externa este formata intre elementul dispersiv, care asigura feedback-ul optic, si fereastra cea mai indepartata a chip-ului semiconductor. Pentru controlul feedback-ului optic sau pentru cuplarea radiatiei in afara cavitatii externe se utilizeaza elemente optice suplimentare, cum sunt filtrele de selectare a lungimii de unda sau atenuare (neutre), polarizoare optice, divizoare de fascicul, prisme si telescoape.

Cavitatea externa imbunatateste parametrii fasciculului laser daca operarea ei este stabila, iar eficienta elementului dispersiv domina pierderile datorate reflexiilor parazitare pe fereastra de extractie a chip-ului sau pe alte elemente optice aflate in cavitate. Aceasta introduce optiuni si caracteristici noi si variate de functionare a diodelor laser, precum emisia laser haotica. De asemenea, lungimea rezonatorului creste timpul de atenuare a radiatiei din cavitate si, astfel, induce un zgomot de faza mai mic si o largime de banda a radiatiei emise mult mai mica (in operarea monomod).

Un element dispersiv cum ar fi o retea de difractie poate reduce in cazul diodelor multimod largimea de banda a radiatiei emise, iar prin rotire retelei se poate ajusta lungimea de unda initiala a radiatiei cu pana la 10 nm, fara a mai modifica curentul de injectie sau temperatura de termostatare. De asemenea, in cazul diodelor cu emisie monomod longitudinal se poate acorda cu zece pana sute de GHz fara a avea un salt intre moduri. In aceste cazuri, mediul activ laser este constrans sa oscileze pe lungimi de unda controlate odata, de elementul dispersiv al cavitatii externe, iar a doua oara de ajustarea temperaturii de termostatare a diodei sau a curentului de injectie. Astfel, pentru o dioda laser se poate acoperi continuu mai mult de 50nm din domeniul spectral [28].

Configuratiile de rezonatori cele mai utilizate in cazul sistemelor dioda laser – cavitate externa acordabile sunt configuratiile Littrow si Littman-Metcalf (Figura 4.2).

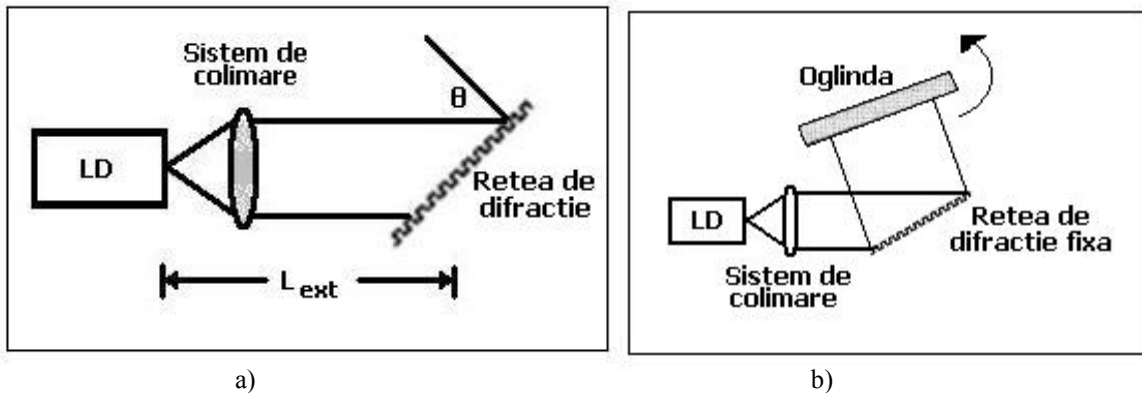


Fig. 4.2. Sistem acordabil dioda laser-cavitate externa in a) configuratie Littrow si b) configuratie Littman-Metcalf.

Configuratia Littrow (Figura 4.2a) contine o lentila de colimare si o retea de difracție cu rol de oglinda de cuplare. Primul ordin de difracție furnizeaza feedbackul optic pentru dioda laser. In aceasta configuratie lungimea de unda emisa poate fi acordata prin rotirea rețelei de difracție. Un dezavantaj il constituie faptul ca aceasta rotire modifica in acelasi timp si directia fasciculului, care reprezinta un inconvenient pentru multe aplicatii.

In configuratia Littman-Metcalf (Figura 4.2b) orientarea rețelei este fixa, fiind adaugata o oglinda care este utilizata la reflectarea primului ordin al fasciculului la nivelul jonctiunii diodei laser. Lungimea de unda este acordata prin rotirea oglinzii. Aceasta configuratie asigura o directie fixa a fasciculului emis, prezentand o largime de banda foarte ingusta, deoarece rezolutia se mareste prin dublarea dispersiei rețelei, datorita refractiei duble a fasciculului din cavitate. Un dezavantaj il reprezinta faptul ca reflectarea ordinului zero a fasciculului reflectat, prin rotirea oglinzii, se pierde, astfel ca puterea emisa este mai mica decat a laserului in configuratia Littrow.

Analiza emisiei haotice a diodelor laser

Din punct de vedere al complexității, investigarea fenomenelor haotice este legată de tipul semnalelor care se utilizează ca obiect al analizei experimentale și de complexitatea teoretică și de simulare numerică a sistemului. Este vorba de semnale optice utile relativ slabe, înecate într-un fond intens, îl putem numi “zgomot optic”, cu frecvențe caracteristice ce se pot întinde de la sute de kHz până la zeci de GHz. Analiza și simularea numerică se referă la modelarea concretă, “cvasi-tehnologică”, a mediului activ și a cavității rezonante a diodei laser și a câmpului optic “local” emis de această dioda. Perioada temporală caracteristică fenomenului fiind sub nano-secundă (ajungând la pico - femto secundă). Corelarea mărimilor caracteristice cu date tehnologice concrete și rezultatele simulărilor cu date experimentale necesită o tehnică și o putere de calcul performantă.

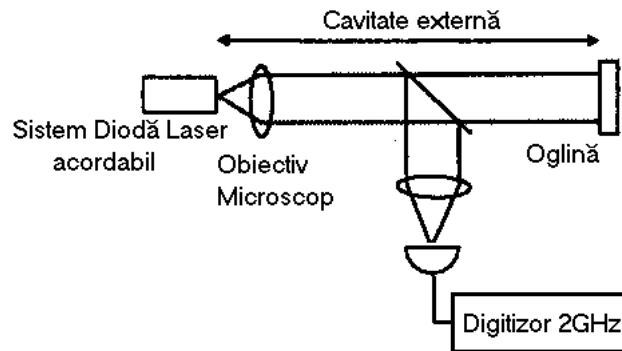


Fig.4.3. Schema de principiu a unui montaj de analiză a emisie haotice a unei diode laser cu cavitare extinsă

În figura 4.3 este prezentată schema de principiu pentru analiza emisie haotice a unei diode laser cu cavitare optică exterioară. Radiația cuplată în cavitare internă cu ajutorul oglinzii exterioare asigură cea de-a treia dimensiune independentă ecuațiilor diferențiale cuplate care descriu evoluția haotică a radiației emise de un astfel de sistem. Reglajul lungimii cavității exterioare, ca și cel al coeficientului de cuplaj, asigură posibilitatea cuplării sistemului în diferitele rute haotice descrise anterior. O parte din această radiație este analizată cu ajutorul unui sistem format dintr-un detector rapid (fotodiodă pin) și un digitizor care să asigure o frecvență de samplare suficientă ($\geq 2\text{GHz}$) vitezei caracteristice fenomenului studiat.

Din punct de vedere al caracteristicilor componentelor utilizate este necesară utilizarea unor cupluri de diode laser performante (diode laser mono-mod cu cavitate stabilizată cu cavitate Pabri-Perot, având o lărgime de bandă mai mică de 0.1nm și o lungime de undă ajustabilă – diferența dintre lungimile de undă cuplate mai mică de 0.1nm). Trebuie de asemenea utilizate sisteme stabilizate de mare performanță privind alimentarea (control asupra curentului de injecție de 0.01mA) și termostatarea sistemului laser (control al temperaturii diodei laser de 0.01K). Elementele constituente ale sistemului de analiză al luminii emise de dioda laser (detectori optici rapizi cu timp de răspuns de 0.1-2ns) și feedback local al sistemului optic (obiective de microscop cu acoperire antireflex, filtru neutru continuu variabil) sau cuplaj între sisteme (izolatori optici, lamă semiundă, polarizori) trebuie să fie de asemenea de foarte bună calitate optică. Este importantă de asemenea și analiza “cromatică” a emisiei luminoase, analizor spectral și monocromator de mare performanță etc. Parametrii de control trebuie să fie cunoscuți cu acuratețe, să aibă o stabilitate temporală foarte bună și un pas de manevrabilitate deosebit de mic. Sistemele optice adiacente trebuie să aibă caracteristici de material superioare stabile și foarte bine determinate.

Analiza semnalului electric implică sisteme de mare sensibilitate și mare viteză de răspuns, amplificatoare de bandă largă și zgomot redus, precum și sisteme de analiză-memorare a semnalului electric cules, osciloscop digital cu număr mare de puncte memorate și bandă mare de frecvență (4GHz), analizor de spectru (2-11GHz), placă de achiziție numerică de mare viteză. Analiza semnalului optic se referă și la partea de intensitate luminoasă, prin analiza comportării haotice a puterii instantanee a radiației laser emise

Partea de simulare numerică necesită utilizarea unor echipamente de calcul atât “hard” cât și “soft” de mare performanță. Rezolvarea numerică a sistemului de ecuații neliniare cuplate caracteristice implică prin scara temporală la care se referă fenomenul, cât și prin durata relativă necesară de simulare (cel puțin sute de mii de pași temporali) o memorie importantă, un procesor foarte rapid, și programe specifice de simulare numerice deosebit de performante.