PROGETTAZIONE DI LASER DBR A DUE SEZIONI PER GRIGLIA ITU

V. Feies

Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
vfeies@athena.polito.it

Abstract

The contribution deals with the description of a computer numerical code to design and to compute, from measured data of the most important physical parameters, the characteristics of two- and three-section distributed Bragg reflector (DBR) lasers. In particular a special attention is dedicated to the design of two-section DBR lasers with operation wavelengths matching the standard ITU grid. To my knowledge this is the first time that by a proper design procedure this condition has been satisfied.

INTRODUZIONE

I laser DBR a due o tre sezioni sono sorgenti molto interessanti per le loro caratteristiche di accordabilità rispettivamente discreta e continua e per l'utilizzazione nei sistemi di comunicazione ottica a multiplazione di lunghezza d'onda (WDM). La standardizzazione della griglia di frequenze (ITU) da utilizzare fa si che a questo scopo vengano tipicamente utilizzati laser DBR a tre sezioni [1,2] poiché, avendo la possibilità di una accordabilità continua, tutte le frequenze nell'intervallo di accordabilità sono raggiunte. Diverso è il discorso per quanto riguarda i laser DBR a due sezioni che presentano una caratteristica di accordabilità discontinua a gradini e pertanto occorre che le frequenze dalla griglia ITU corrispondano ai gradini stessi. Tipicamente per ottenere questa condizione si procede con la variazione della temperatura del dispositivo [3]. Di notevole interesse dal punto di vista sistemistico è pertanto la progettazione di strutture a due sole sezioni che consentano di ottenere tutte le frequenze della griglia ITU ed in cui la temperatura possa essere utilizzata come parametro di aggiustamento per compensare le imprecisioni realizzative.

IL SIMULATORE ELETTROMAGNETICO

Il simulatore elettromagnetico è stato realizzato in MATLAB ed è basato su un modello statico derivato dalle equazioni di bilancio per fotoni e portatori [2]. Il programma usa una interfaccia grafica interattiva che consente una facile introduzione dei dati, definizione delle prove che si vogliono eseguire e rappresentazione dei risultati delle simulazioni. Attraverso questo simulatore si possono determinare tutte le caratteristiche di operazione del laser DBR considerato [4]: corrente di soglia, lunghezza d'onda di operazione, potenza ottica e rapporto di soppressione modale (SMSR) ad una determinata corrente nell'attivo, efficienza quantica esterna, larghezza di riga etc. al variare delle correnti nelle sezioni passive e della temperatura, tenendo conto dei parametri geometrici del laser e del materiale ottenuti dalle misure (guadagno in funzione della densità di corrente e lunghezza d'onda, le variazioni dell'indice di

rifrazione efficace e le perdite dovute all'iniezione etc.). Il simulatore consente di ottimizzare il laser rispetto allo specchio di uscita della potenza ottica permettendo così di progettare sia un laser discreto che integrabile con un modulatore ad elettroassorbimento.

IL CRITERIO DI PROGETTAZIONE DI LASER DBR A DUE SEZIONI

Per progettare dei laser DBR accordabili a due sezioni che operino alle frequenze della griglia ITU bisogna controllare due parametri: la spaziatura tra i modi longitudinali del laser ed il rapporto di soppressione modale. Il controllo della spaziatura tra i modi longitudinali consente di soddisfare la condizione che i gradini della caratteristica di accordabilità e le frequenze della griglia ITU corrispondano nei limiti di una prefissata tolleranza. Per garantire inoltre il buon funzionamento monomodale occorre controllare il SMSR.

Per seguire questa strategia, nella progettazione ho scelto come parametri la spaziatura tra i modi longitudinali della cavità (Δf_{FSR}) ed il parametro γ_π

$$\gamma_\pi = \sqrt{\Delta\beta_{FSR}^2 - K^2 - \left(\frac{\alpha_G}{2}\right)^2} \cdot L_G / \pi \qquad (1)$$

che definisce in forma normalizzata la posizione del primo modo laterale della cavità rispetto a quello laserante, quando questo corrisponde con la lunghezza d'onda di Bragg λ_B del reticolo. In (1), $\Delta\beta_{FSR} = \beta(\lambda_B - \Delta\lambda_{FSR}) - \beta(\lambda_B)$, mentre K, α_G e L_G sono rispettivamente il coefficiente di accoppiamento, le perdite in potenza e la lunghezza geometrica del reticolo. La condizione $\gamma_\pi = 1$ è quella per cui i primi modi laterali rispetto a quello laserante corrispondono con il primo zero (se $\alpha_G = 0$) oppure con il primo minimo relativo (se $\alpha_G \neq 0$) della caratteristica di riflettività del reticolo.

In Fig. 1 è riportato il risultato di un esempio di progettazione del reticolo per il caso $\gamma_\pi = 0.5$ e $\alpha_G = 19$ cm^{-1} che tiene conto dell'eq. (1) e dell'espressione della riflettività del

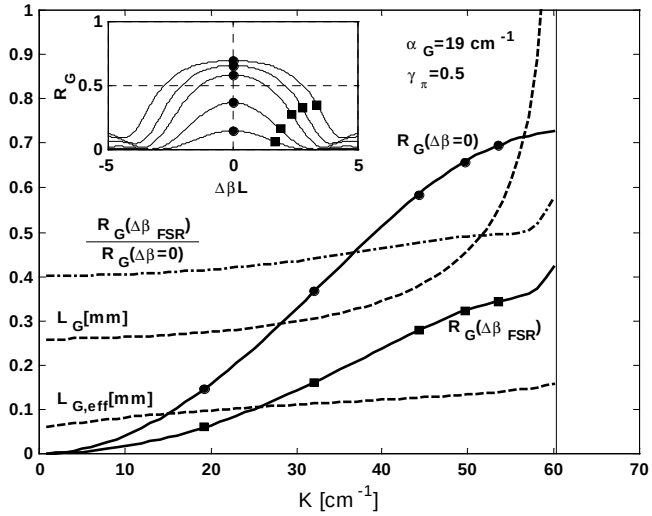

Figura 1. Risultato progettazione del reticolo per il caso con $\gamma_\pi = 0.5$ e $\alpha_G = 19$ cm^{-1}. Riflettività R_G del reticolo, alla lunghezza d'onda di Bragg ($\Delta\beta = 0$) ed in corrispondenza del primo modo laterale ($\Delta\beta_{FSR}$) e loro rapporto. Lunghezza fisica (L_G) ed efficace ($L_{G,eff}$) del reticolo.

reticolo in funzione di K, L_G e α_G [2]. Nella figura sono rappresentati in funzione di K i risultati ottenuti per la riflettività massima del reticolo ($\Delta\beta = 0$) e quella per $\Delta\beta_{FSR}$, nonché il loro rapporto, la lunghezza geometrica L_G e quella efficace $L_{G,eff}$ del reticolo. Nel'inserto di Fig. 1 è riportata anche la caratteristica di riflettività del reticolo per 5 valori di K, in corrispondenza con i punti evidenziati sulle curve di riflettività (cerchi e quadrati). Si noti come alla condizione $\gamma_\pi =$ costante consegue che il rapporto delle riflettività tra il modo laserante ed il primo modo laterale sia quasi costante e pertanto garantisce un controllo sul SMSR. Esiste inoltre un limite superiore per K dovuto alla condizione sulla spaziatura tra i modi longitudinali (Δf_{FSR}).
In fine, l'ultimo parametro è la lunghezza della sezione attiva L_A che è ottenuta dalla condizione che la spaziatura tra i modi longitudinali della cavità sia uguale a Δf_{FSR}.
La progettazione avviene in due tempi. In una prima fase si determinano i parametri della cavità analizzando i risultati trovati per le caratteristiche statiche del laser (corrente di soglia, efficienza quantica esterna, potenza ottica e rapporto di soppressione modale ad una corrente predefinita, etc.) al variare della riflettività del reticolo e dell'altro specchio e per tre lunghezze d'onda di Bragg nell'intervallo di accordabilità definito dalla variazione dell'indice di rifrazione efficace nella regione di reticolo. In fine, viene fatta l'ottimizzazione rispetto alla condizione che il laser operi alle frequenze della griglia ITU. A questo scopo, viene rifatto il progetto in modo iterativo, facendo variare la spaziatura Δf_{FSR} tra i modi longitudinali della cavità affinché i gradini della caratteristica di accordabilità (valutata ad ogni iterazione) si sovrappongano al meglio con le frequenze della griglia ITU.

RISULTATI

In Fig. 2 sono stati riportati i risultati di accordabilità di un laser DBR a due sezioni prima e dopo l'ottimizzazione rispetto alla griglia ITU con spaziatura tra i canali di 100 GHz, variando o solo la corrente iniettata nel reticolo di Bragg (Fig. 2a e 2c) o anche la temperatura (Fig. 2b e 2d). Come chiaramente si vede da queste due ultime figure, in cui le striscie rappresentano le zone di operazione nell'intorno delle varie frequenze della griglia ITU, l'accordabilità con la temperatura consente di aumentare il numero delle frequenze di operazione nel primo caso (Fig. 2b), mentre nel secondo le ampie zone di operazione nei limiti della tolleranza (10 GHz) possono consentire di recuperare eventuali imperfezioni nella realizzazione tecnologica. Nelle condizioni di operazione di Fig. 2c le caratteristiche presentano bassa corrente di soglia ed elevata soppressione dei modi longitudinali laterali.

BIBLIOGRAFIA

[1] F. Delorme et al, "Long-Term Wavelength Stability of 1.55-μm Tunable Distributed Bragg Reflector Lasers", *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.*, vol. 5, p. 480-486, May/June 1999.

[2] M. C. Amann and J. Buus, *Tunable Laser Diodes*, Artech House, 1998.

[3] H. Debrégeas-Sillard et al, "DBR Module with 20-mW Constant Coupled Output Power, Over 16 nm (40×50-GHz Spaced Channels)", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, p. 4-6, January 2001.

[4] L. A. Coldren and S. W. Corzine, *Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits*, Wiley & Sons, 1995.

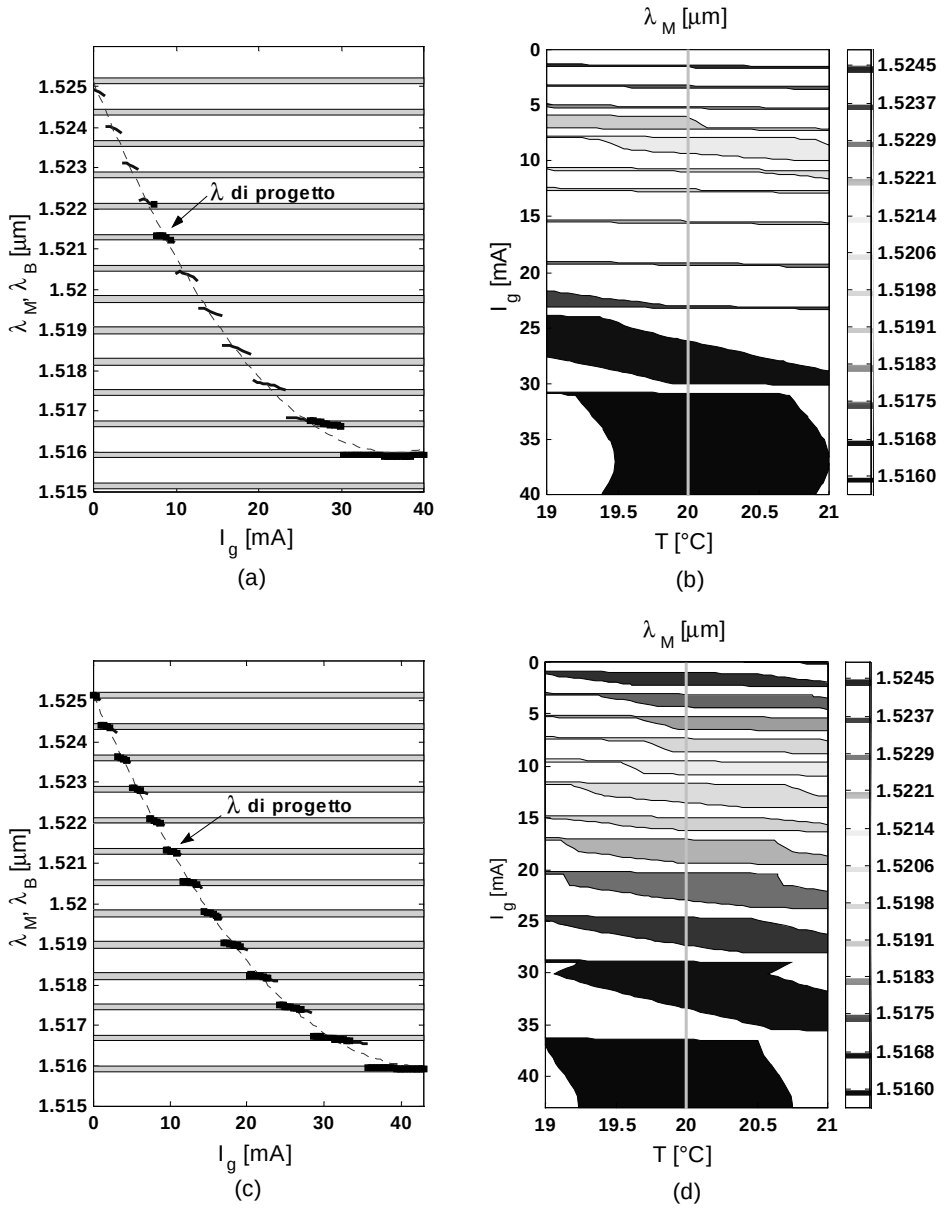

Figura 2. Curva di accordabilità discreta (Fig. a, c) e la mappa di accordabilità facendo variare la temperatura (Fig. b, d) per un laser DBR con due sezioni: in (a) e (b) prima dell'ottimizzazione rispetto alla griglia ITU (Δf_{FSR} = 90 GHz); in (c) e (d) dopo l'ottimizzazione (Δf_{FSR} = 76.93 GHz). I canali della griglia ITU (spaziati a 100 GHz) sono messi in evidenza attraverso le striscie (di tolleranza 10 GHz). I puntini neri nelle caratteristiche di accordabilità rappresentano le lunghezze d'onda che soddisfano questo vincolo, mentre la curva tratteggiata rappresenta la λ_B del reticolo. Le strisce sottili in (b) corrispondono con i salti di modo, mentre le regioni larghe rappresentano condizioni di operazione all'interno della tolleranza stabilita sulle frequenze di operazione.