مجلهٔ فنی و مهندسی مدرس شمارهٔ ۳٤، زمستان ۱۳۸۷ «ویژهنامهٔ مهندسی برق»

تحلیل لیزر نیمرسانای مخابراتی کو ک پذیر سهقسمتی با پسخور توزیعی براگ به روش ماتریس انتقال

محمدحسن یاوری ، وحید احمدی^۲ ، عباس ظریفکار^۳ ۱- دانشجوی دکترای الکترونیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس ۲- استاد مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس ۳- استادیار پژوهشی، گروه فناوری نوری مرکز تحقیقات مخابرات ایران

> *تهران، صندوق پستی: ۱۵۳– ۱٤۱۱۵ v_ahmadi@modares.ac.ir (دریافت مقاله: خرداد ۱۳۸٤، پذیرش مقاله: بهمن ۱۳۸۶)

چکیده- در این مقاله لیزر DBR کو کپذیر سهقسمتی با استفاده از روش ماتریس انتقال (TMM)^۲ و تئوری خط انتقال و پراکندگی^⁴ تحلیل می شود. با اصلاح شرایط نوسان و با استفاده از شرایط نوسان دقیق، مشخصههای کوک⁶ لیزر با مدلسازی قسمتهای فاز و توری^۲ شبیه سازی شده و جابه جایی فرکانس براگ و تغییرات بهره آستانه لیزر در اثر تزریق جریان به قسمتهای فاز و توری محاسبه می شوند. در شبیه سازی آثار ناپیوستگی ضریب شکست بین نواحی فعال و غیرفعال و همچنین نواقص ناشی از فرایند ساخت در نظر گرفته شده و وابستگی مشخصههای کوک به پارامترهای فیزیکی لیزر و نواقص ساخت بررسی می شود.

کلید واژ گان: لیزر کوکپذیر سەقسمتی DBR، تـوری، مـاتریس انتقـال، مـاتریس پراکنـدگی، مـدار مجتمع اپتوالکترونیکی (OEIC)^۲، WDM

۱

۱- مقدمه

توسعه روزافزون سیستمهای مخابرات نوری با مالتی پلکس تقسیم طول موج بهمنظور پاسخ به نیاز فزاینده به ظرفیتهای انتقال بیشتر همراه با پیشرفت شبکههای مخابراتی تمام نوری و لزوم طراحی انعطاف پذیر این شبکهها، اهمیت استفاده از منابع طول موج کوکپذیر در فرستنده و گرههای شبکه نوری را مشخص می سازد [۱، ۲]. استفاده از لیزرهای کوکپذیر مزایایی نظیر تسهیل طراحی شبکههای مخابراتی، تهیه طول موجهای مختلف به صورت دینامیکی و ساده شدن نرمافزارهای کنترل شبکه را در پی خواهد داشت. بههمین

منظور مدارهای مجتمع اپتوالکترونیکی مختلفی نظیر لیزرهای DBR کوکپذیر دو و سەقسمتی، لیزرهای DFB چندقسمتی^۹ و بهتازگی لیزرهای کوکپذیر با توری نمونهبرداری شده^{۱۰} با محدوده کوک^{۱۱} وسیع مطرح شدهاند. در میان لیزرهای

- 1. Three-Section Distributed Bragg Reflector (DBR) Tunable Laser.
- 2. Transfer Matrix Method
- 3. Transmission Line Theory
- 4. Scattering
- 5. Tuning Characteristics
- 6. Grating
- 7. Optoelectronic Integrated Circuit (OEIC)
- 8. Wavelength Division Multiplexing
- 9. Multisection Distributed Feedback Laser
- 10. Sampled Grating Tunable Lasers
- 11. Tuning Range

www.SID.ir

کوکپذیر، ساختار DBR چندقسمتی بهدلیل سادگی ساختار، محدوده کوک مناسب، عـدم حـضور پدیـده بـرش بهـره و قابلیت اعتماد بالا از ویژگی خاصی برخوردار است [۳، ۵].

لیزر نیمرسانای DBR کوکپذیر سەقسمتی، مدار مجتمع اپتوالکترونیکی شامل قسمتهای بهره، فاز و توری است کـه در جهت طولي با يكديگر مجتمع شدهاند. ناحيه بهره تلفات كـل کاواک را جبران میکند. توری بهعنوان فیلتر انتخاب کننده یک مد خاص از میان مدهای نوسان کننده داخل کاواک عمل مي كند و قسمت فاز براي جابهجايي مدهاي طولي ليزر به كار میرود. همزمان با توسعه لیزرهای کوکپذیر،تحلیل ایـن نـوع ساختارها و توجیه سازوکار فیزیکی حاکم بر نحوه کوک طول موج مطرح بوده است [٦] - [٩]. در تحليل ارائه شده در [٦]، لیزر 3SDBR' بهصورت لیـزر فـابری پـرو معمـولی کـه بـه تشدیدکننده خارجی کویل شده در نظر گرفته شده است. مبانی ایـن روش بـرای تحلیـل سـاختارهای مجتمـع از [۱۰] اقتباس شده است. روش ارائه شـده در [۱۰] کلـی بـوده و در مورد لیزرهای چندقسمتی با نواحی فعال و تشدیدکننده خارجي كه در جهت طولي مجتمع شدهاند قابل اعمال است. در [۹] تحلیل مذکور بر مبنای روش ماتریس انتقال مطرح شده در [۱۱] - [۱۵] انجام شده اما ایده اصلی همان روش مطرح شده در [۱۰] است. معادلات نوسان مورد استفاده در [۹] از دقت کافی برخوردار نیستند. در این مقاله ابتدا شرایط نوسان مطرح شده در [۹] اصلاح می شوند و سپس ساختار با استفاده از روندی مشابه [۹] و [۱۱] – [۱۵] تحلیل و مشخیصه های استاتیک لیزر شبیهسازی و تجزیه و تحلیل میشوند.

۲ – پیش زمینهٔ تئوری و مدل

ساختار لیزر DBR کوکپذیر سهقسمتی در شکل ۱ نشان داده شده است. با مجتمع کردن قسمت بهره لیزر فابری – پـرو در

جهت طولی با دو المان کوک فاز و توری، مدار مجتمع اپتوالکترونیکی لیزر SDBR با الکترودهایی برای کنترل بهره (I_a) ، جابهجایی طیف مدهای شانهای (I_{PC}) و جابهجایی پیک منحنی تلفات (I_{DBR}) شکل می گیرد. بخش بهره مانند لیزر فابری – پرو معمولی بوده و از مواد الکترواپتیکی با بهره ذاتی غیر صفر ($\cdot \neq g$) و تلفات ذاتی معین ($\cdot \neq \alpha$) تشکیل میشود. بخشهای فاز و توری برای مقابله با پدیده برش بهره از مواد الکترواپتیکی با بهره ذاتی صفر و تلفات ذاتی معین ($\cdot = g, \cdot \neq \alpha$) انتخاب میشوند [Γ]. پارامترهای

محمدحسن یاوری و همکاران



مختلف لیزر مورد نظر در جدول ۱ آورده شده است [٦، ٩].

بر طبق تئوری خط انتقال [۱۰] و پراکندگی [۱۳، ۱۷]، با در نظر گرفتن ناپیوستگی ضریب شکست در فصل مشترک نواحی فعال و غیرفعال و ملحوظ کردن اثر عدم جفتشدگی دقیق نواحی فعال و غیرفعال ناشی از نواقص ایجاد شده در فرایند ساخت، شرط نوسان اصلاح شده برای مدهای نوسان عبارت است از [۱۸] – [۲۰]:

$$\frac{(S_{11}S_{\gamma\gamma} - S_{1\gamma}S_{\gamma1}) \cdot r_{DBR} e^{-j\gamma \widetilde{\beta}_{L}L_{\gamma}} - S_{11}}{S_{\gamma\gamma}r_{DBR} e^{-j\gamma \widetilde{\beta}_{L}L_{\gamma}} - 1}$$
(1)
.r₁ \cdot e^{-j\gamma \widetilde{\beta}_{L}L_{\gamma}} = 1

www.SID.ir

^{1.} Three Section Distributed Bragg Reflector

TDBR ضریب بازتاب مؤثر توری با در نظر گرفتن اثر ضریب بازتاب سطح جلا داده شده سمت راست است. ۲ ضریب بازتاب سطح جلا داده شده سمت چپ است. عناصر ماتریس پراکندگی در مرز بین ناحیه فعال و غبر فعال ۲٫۵، ۲٫۲، ۲٫۲، عار تند از [۹]:

$$S_{11} = \frac{\overline{n_1} - \overline{n_1}}{\overline{n_1} + \overline{n_1}} + R \tag{(Y)}$$

$$S_{\gamma\gamma} = \frac{\overline{n_{\gamma} - n_{\gamma}}}{\overline{n_{\gamma} + n_{\gamma}}} - R'$$
(Y)

$$S_{\tau_{1}} = \frac{\sqrt{\tau R(\bar{n}_{1} + \bar{n}_{\tau})(\bar{n}_{\tau} - \bar{n}_{1}) - R^{\tau}(\bar{n}_{1} + \bar{n}_{\tau})^{\tau} - |C_{L}|^{\tau}(\bar{n}_{1} + \bar{n}_{\tau})^{\tau} + \tau \bar{n}_{1}\bar{n}_{\tau}}{(\bar{n}_{1} + \bar{n}_{\tau})} \quad (\pounds)$$

 S_{12} قرار دادن 'R بهجای R از رابط (٤) محاسبه می شود. \overline{n} و \overline{n} بهترتیب ضرایب شکست نواحی فعال و غیرفعال هستند. $|C_L|$ میزان تلفات انرژی در فصل مشترک نواحی فعال و غیرفعال هستند. از عدم است. R و 'R معرف بازتاب های اضافی در فصل مشترک نواحی فعال و غیرفعال ناشی از عدم جفت شدگی دقیق است. پارامترهای مذکور ورودی مدل است. بردارهای موج مختلط در قسمتهای مختلف لیزر عبارتند از: $\widetilde{\beta}_1(\omega, N_1) = \frac{\omega}{c} \overline{n}_1(\omega, N_1)$

$$+ \frac{j}{r} [\Gamma_{v} g_{v}(\omega, N_{v}) - \alpha_{v}(N_{v})]$$

$$\widetilde{\beta}_{i}(\omega, N_{i}) = \frac{\omega}{c} \overline{n}_{i}(\omega, N_{i}) - \frac{j}{r} \alpha_{i}(N_{v})$$

$$= \frac{\omega}{c} [\overline{n} + \Delta \overline{n}_{i}(N_{i})] - \frac{j}{r} [\alpha_{v} + \Delta \alpha_{i}(N_{i})]$$

$$(i = r, r)$$

$$(1)$$

ر مست. C سرعت α_1 بهترتیب شماره نواحی فاز و توری است. C سرعت نور، \overline{n} ضریب جذب \overline{n} ضریب شکست ناحیه فعال، α_1 ضریب جذب داخلی ناحیه فعال، Γ_1 ضریب تحدید ناحیه فعال، $g_1(\omega, N_1)$ بهره ناحیه فعال و \overline{n} و α_i بهترتیب ضریب شکست و جذب داخلی نواحی غیرفعال و \overline{n}_i و α_i همین کمیات

فنی و مهندسی مدرس

مقدار	واحد	نماد	پارامتر
	ناحيه فعال		
٣/ Y JAV		$\frac{-}{n_1}$	ضريب شكست
770.	m_1	α,	ضريب تلفات جذب
۱^	S	$ au_s$	زمان بازتركيب خطى
۸×۱۰ ^{-۱۷}	m [°] /s	B,	ضريب بازتركيب دوملكولي
$V/0 \times 1 \cdot - \epsilon^{-\epsilon}$	m²/s	С,	ضريب بازتركيب اوژه
۲/٥×۱۰ ^{-۲.}	m	A.	شیب چگالی حامل – بهره
۱×۲٤۱۰	m ^{-r}	N.	چگالی حامل شفافیت
-14×**	m۴	dn/d	تغییرات ضریب شکست نسبت به چگالی حامل
•/07		r_1	ضریب بازتاب سطح جلا دادہ شدہ سمت چپ
۲/۲		n_{sp}	ضريب گسيل خودبهخودي
V/0×1 • *	m/s	v _g	سرعت گروه نور
•/٢•٣٢		Γ,	ضريب تحديد
۲/۲	μm	w	عرض ناحيه فعال
•/17	μm	d	ضخامت ناحيه فعال
۳	μm	L_1	طول ناحيه فعال
نواحى غيرفعال			
317122		$\overline{n_i}$	ضريب شكست
10	m_,	α_i	ضريب تلفات جذب
۰/۳۳۰٥		Γ_i	ضريب تحديد
٤×١٠ ^{-٤١}	m²/s	C_i	ضريب باز تركيب اوژه
-7×1• ^{-7∨}	m۴	dn/d	تغییرات ضریب شکست نسبت به چگالی حامل
۲/۳×۱۰ ^{-۲۱}	m	da/dN	تغییرات تلفات نسبت به چگالی حامل
1/00	μm	$\lambda_{B.}$	طول موج براگ توری در حالت بدون تزریق
٢		ĸL _r	ضريب تزويج نرماليزه شده
•/0٦		r _R	ضریب بازتاب سطح جلا داده شده سمت راست
17.	μm	L,	طول قسمت فاز (موجير غيرفعال)
٤٨٠	μm	L۳	طول قسمت تورى

جدول ۱ مشخصات هندسی و مادهای لیزر 3SDBR [۲، ۹]

ضریب بازترکیب دوملکولی^۲ نواحی غیرفعال و C_۲ ضریب بازترکیب اوژه نواحی غیرفعال است. ارتباط بین چگالی حامل، جریان و فوتون در ناحیه فعال با استفاده از معادلات نرخ حامل و فوتون عبارت است از:

$$\frac{dN_{\nu}}{dt} = \frac{J_{\nu}}{ed_{\nu}} - N_{\nu} \left(\frac{\nu}{\tau_{s}} + B_{\nu} N_{\nu} + C N_{\nu}^{\nu} \right)$$

- $v_{g} A_{\nu} (N_{\nu} - N_{\nu}) P$ (17)

$$\frac{dP}{dt} = v_g \Gamma_1 A_0 (N_1 - N_0) P - v_g (2\alpha'_{th} + \alpha_0) P \qquad (1 \mathfrak{L})$$

 J_{n} چگالی جریان تزریقی به ناحیه فعال، I_{n} ضخامت ناحیه فعال، τ_{s} زمان بازترکیب خطی ناحیه فعال، r_{s} نمی ناحیه فعال، r_{s} نمی اخریب ضریب بازترکیب دو ملکولی ناحیه فعال، C_{n} ضریب بازترکیب اوژه ناحیه فعال، s سرعت گروه نور، A شیب چگالی بهره/حامل، R چگالی حامل شفافیت، P چگالی فوتون، و $n_{th}^{\prime \alpha}$ بهره آستانه با احتساب جریانهای تزریقی به نواحی غیرفعال است. $n_{th}^{\prime \alpha}$ توسط r_{g} و n_{bR} باید می شود. بنابر این با هر بار تغییر r_{g} و n_{bR} باید محاسبه شود. بنابر این با هر بار تغییر r_{g} و n_{th} باید معاوت محاسبه شود. باید توجه داشت که $n_{th}^{\prime \alpha}$ با n_{th} متفاوت محاسبه شود. باید توجه داشت که $n_{th}^{\prime \alpha}$ با نواحی غیرفعال است و n_{th} بهره آستانه در حالت بدون نواحی غیرفعال است و n_{th} بهره آستانه در حالت تزریق جریان به نواحی غیرفعال است. با تفکیک شرط نوسان (۱) به بخشهای حقیقی و موهومی داریم:

$$-\xi \cdot r_{y} | r_{DBR} | exp(r\alpha_{th}L_{y} - \alpha_{y}L_{y})$$

$$\cdot sin \left[r \left(\frac{\omega n_{y}L_{y}}{c} + \frac{\omega n_{y}L_{y}}{c} - \frac{\phi}{r} \right) \right]$$

$$= -S_{y} r_{ap} r_{y} exp(r\alpha_{th}L_{y}) sin(r \frac{\omega n_{y}L_{y}}{c})$$

$$+ S_{yy} \cdot | r_{DBR} | exp(-\alpha_{y}L_{y}) sin \left[r \left(\frac{\omega n_{y}L_{y}}{c} - \frac{\phi}{r} \right) \right]$$

2. Bimolecular

تحلیل لیزر نیمرسانای مخابراتی کوکپذیر سەقسمتی ...

بهازای $I_{DBR} = I_{PC} = J_{C}$ تغییرات ضریب شکست و i_{i} تغییرات ضریب جذب ناشی از تزریق حامل به ناحیه است. برای ملحوظ کردن اثر تزریق جریان به نـواحی مختلف لیزر از پارامترهای مواد، تغییرات ضـریب شکست بـر حسب میزان تغییرات چگالی حامل (dn/dN) و تغییرات جـذب بـر حسب میزان تغییرات چگالی حامل ($d\alpha/dN$) کمک گرفته می شود. تغییرات ضریب شکست و جذب بر اثر تزریق حامل به نواحی مختلف، بر طبق اثـر پلاسـمای حامل آزاد ⁽ عبـارت است از [7، ۹، ۱۱]:

$$\Delta \bar{n}_i (N_i) = \Gamma \frac{dn}{dN} N_i \tag{V}$$

$$\Delta \alpha_{i}(N_{i}) = \Gamma \frac{d\alpha}{dN} N_{i} \tag{A}$$

بنابراين:
$$\Gamma = \Gamma_r = \Gamma_r$$
 ضريب تحديد نواحي غيرفعال است. بنابراين: $\overline{n}_1 = \overline{n}_1 + \Gamma_1 \frac{d\overline{n}}{dN} (N_1 - N_.)$ (٩)

$$\overline{\mathbf{n}}_{i} = \overline{\mathbf{n}}_{i} + \Gamma \frac{d\overline{\mathbf{n}}}{d\mathbf{N}} \mathbf{N}_{i} \tag{1.1}$$

$$\alpha_{i} = \alpha_{i} + \Gamma \frac{d\alpha}{dN} N_{i} \tag{11}$$

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{J_i}{ed_i}$$

$$-N_i \left(\frac{1}{\tau_s} + B_r N_i + C_r N_i^r\right), \qquad i = r, r$$
(17)

ی جریان تزریقی به ناحیه
$$d_i$$
 ، i ضخامت J_i B، خریان ترمان بازترکیب خطی نواحی غیرفعال، τ_s ، i ناحیه τ_s ، i

^{1.} Free Carrier Plasma Effect

$$\alpha_{th}(\omega, N_{\gamma})l_{\gamma} = \frac{\gamma}{r}\alpha_{\gamma}(N_{\gamma})l_{\gamma} - \frac{\gamma}{r}Ln|r_{\gamma}r_{DBR}(\omega, N_{\gamma})| \qquad (19)$$

$$\mathbf{Y} \frac{\omega \bar{\mathbf{n}}_{\mathbf{Y}}}{c} \mathbf{l}_{\mathbf{Y}} + \mathbf{Y} \frac{\omega \bar{\mathbf{n}}_{\mathbf{Y}}}{c} \mathbf{l}_{\mathbf{Y}} - \operatorname{Arg}\{\mathbf{r}_{\mathrm{DBR}}\} = \mathbf{Y} \pi \mathbf{P}$$
(Y ·)

اگر $n_{1} \neq n_{2}$ باشد شرایط $R' \neq 0$ و $r \neq N'$ باشد شرایط نوسان نوسان ارائه شده در [٦] و [٩] فقط تقریبی از شرایط نوسان دقیق (١٥) و (١٦) است. با حل همزمان معادلات مختلط (١٥) و (١٦) می توان مد غالب (m^{m}, α_{th}^{m}) را محاسبه و نحوه تغییرات آن را با جریانهای تزریقی به نواحی فاز و توری تعقیب کرد. برای همگرا شدن نتایج و تعقیب مدها در محدوده وسیعی از جریانهای تزریقی به نواحی غیرفعال، می توان از معادلات (۱۹) و (۲۰) به عنوان مقدار اولیه استفاده کرد. باید توجه داشت که منحنی فاز و دامنه بازتاب توری مقادیر عددی هستند و نمی توان از روشهای تحلیلی استفاده کرد و راهکار مذکور در همگرا شدن نتایج عددی حایز اهمیت است.

۳- مدل توری آینه براگ را می توان با روش ماتریس انتقال مدلسازی کرد. بر طبق شکل ۲، ماتریس انتقال برای یک دوره

$$\begin{bmatrix} A_n \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{n-1} \\ B_{n-1} \end{bmatrix}$$
(11)

$$\begin{split} \mathbf{v} + \boldsymbol{\xi} \cdot \mathbf{r}_{i} |\mathbf{r}_{\text{DBR}}| \exp(\mathbf{v}\alpha_{\text{th}} \mathbf{L}_{i} - \alpha_{\text{r}} \mathbf{L}_{\gamma}) \\ \cdot \cos\left[\mathbf{v}\left(\frac{\omega \overline{\mathbf{n}}_{i} \mathbf{L}_{i}}{c} + \frac{\omega \overline{\mathbf{n}}_{\gamma} \mathbf{L}_{\gamma}}{c} - \frac{\boldsymbol{\phi}}{\gamma}\right)\right] \\ &= \mathbf{S}_{ii} \cdot \mathbf{r}_{i} \exp(\mathbf{v}\alpha_{\text{th}} \mathbf{L}_{i}) \cos(\mathbf{v} \frac{\omega \overline{\mathbf{n}}_{\gamma} \mathbf{L}_{\gamma}}{c}) \\ &+ \mathbf{S}_{\gamma\gamma} \cdot |\mathbf{r}_{\text{DBR}}| \exp(-\alpha_{\gamma} \mathbf{L}_{\gamma}) \cos\left[\mathbf{v}\left(\frac{\omega \overline{\mathbf{n}}_{\gamma} \mathbf{L}_{\gamma}}{c} - \frac{\boldsymbol{\phi}}{\gamma}\right)\right] \\ \cdot \mathbf{r}_{DBR} = |\mathbf{r}_{DBR}| \exp(j\boldsymbol{\phi}) \cdot \mathbf{r}_{ap} = (\overline{\mathbf{n}}_{i} - \overline{\mathbf{n}}_{i})/(\overline{\mathbf{n}}_{i} + \overline{\mathbf{n}}_{i}) \cdot (\mathbf{n}_{i} - \mathbf{n}_{\gamma} \mathbf{n}_{j}) \\ \cdot \mathbf{v}_{DBR} = |\mathbf{r}_{DBR}| \exp(j\boldsymbol{\phi}) \cdot \mathbf{v}_{ap} = (\overline{\mathbf{n}}_{i} - \overline{\mathbf{n}}_{i})/(\overline{\mathbf{n}}_{i} + \overline{\mathbf{n}}_{i}) \cdot (\mathbf{n}_{i} - \mathbf{n}_{\gamma} \mathbf{n}_{j} \mathbf{n}_{j}) \\ \cdot \mathbf{v}_{DBR} = |\mathbf{r}_{DBR}| \exp(j\boldsymbol{\phi}) \cdot \mathbf{v}_{ap} = (\overline{\mathbf{n}}_{i} - \overline{\mathbf{n}}_{i})/(\overline{\mathbf{n}}_{i} + \overline{\mathbf{n}}_{j}) \cdot \mathbf{v}_{i} \mathbf{n}_{j} \mathbf{n}_{j} \\ \cdot \mathbf{v}_{ap} = (\mathbf{n}_{a} - \mathbf{n}_{a}) \cdot \mathbf{v}_{ap} \mathbf{n}_{a} \\ \cdot \mathbf{v}_{ap} = (\mathbf{n}_{a} - \mathbf{n}_{a}) \cdot \mathbf{v}_{ap} \mathbf{n}_{a} \\ \cdot \mathbf{v}_{ap} = (\mathbf{n}_{a} - \mathbf{n}_{a}) \cdot \mathbf{v}_{ap} \mathbf{n}_{a} \\ \cdot \mathbf{v}_{ap} \mathbf{n}_{a} \mathbf{n}_{a} \mathbf{n}_{a} \\ \cdot \mathbf{v}_{ap} \mathbf{n}_{a} \mathbf{n}_{a}$$

$$\begin{split} r_{t_{1}}|r_{DBR}|exp(r\alpha_{th}L_{t_{1}}-\alpha_{t_{1}}L_{t_{1}}) \\ & \cdot \sin\left[r\left(\frac{\omega\overline{n_{t_{1}}L_{t_{1}}}}{c}+\frac{\omega\overline{n_{t}}L_{t_{1}}}{c}-\frac{\phi}{t_{1}}\right)\right] \\ & = -r_{ap}r_{t_{1}}exp(r\alpha_{th}L_{t_{1}})sin(r\frac{\omega\overline{n_{t}}L_{t_{1}}}{c}) \\ & + r_{ap}|r_{DBR}|exp(-\alpha_{t_{1}}L_{t_{1}})sin\left[r\left(\frac{\omega\overline{n_{t}}L_{t_{1}}}{c}-\frac{\phi}{t_{1}}\right)\right] \end{split}$$
(1V)

$$\begin{split} v - r_{t} | r_{DBR} | exp(v\alpha_{th}L_{v} - \alpha_{v}L_{v}) \\ & \cdot \cos \left[v \left(\frac{\overline{\omega n_{v}L_{v}}}{c} + \frac{\overline{\omega n_{v}L_{v}}}{c} - \frac{\phi}{v} \right) \right] \\ & = r_{ap}r_{v} exp(v\alpha_{th}L_{v}) \cos(v \frac{\overline{\omega n_{v}L_{v}}}{c}) \\ & - r_{ap} | r_{DBR} | exp(-\alpha_{v}L_{v}) \cos \left[v \left(\frac{\overline{\omega n_{v}L_{v}}}{c} - \frac{\phi}{v} \right) \right] \end{split}$$
(1A)

هنگامی که ۳٫ = ۳٫ باشد و از آثار ناشی از عدم جفتشدگی موجبرهای نواحی فعال و غیرفعال صرفنظر شود، معادلات (۱۷) و (۱۸) به معادلات ارائه شده توسط پن و همکاران [٦] منتهی میشود.

$$r_{DBR} = \frac{B_M}{A_M} \bigg|_{B_{.}=.} = \frac{T_{G_{11}}}{T_{G_{11}}}$$
(YV)

٤- تعیین مشخصه های کوک
۱۱ استفاده از معادلات نرخ و روابط ملحوظ کننده اثر با استفاده از معادلات نرخ و روابط ملحوظ کننده اثر تغییرات ضریب شکست و جذب، در نواحی فعال و غیرفعال، نحوه کوک طول موج قابل بررسی است. سازوکار کوک طول موج را می توان به صورت زیر تشریح کرد:

با تزریق جریان به نواحی توری و فاز، ضرایب شکست این نواحی بر طبق روابط (۹) تا (۱۱)، بهره استانه ناحیه فعال طبق معادلات نوسان اصلاح شده (۱۵) و (۱۲)، چگالی حامل و جریان آستانه ناحیه فعال طبق روابط (۱۳) و (۱2)، ضریب شکست ناحیه فعال بر طبق رابطه (۹) و چگالی فوتون بر طبق رابطه (۱2) تغییر می کند. تغییرات چگالی فوتون را می توان از معادله (۱۳) و (۱2) با ملحوظ کردن اثر تغییر ضریب شکست ناحیه فعال با استفاده از رابطه (۹) به دست آورد. پس از اینکه پچگالی فوتون محاسبه شد، باید ضریب شکست جدید ناحیه فعال محاسبه و دوباره شرایط نوسان محاسبه شوند این کار باید آنقدر تکرار شود تا به نقطهای از همگرایی برسیم که دیگر شرایط نوسان تغییر نکنند. الگوریتم

٥- نتایج و بحث در تمامی شبیهسازیها، جریان ناحیه فعال بالاتر از جریان آستانه و برابر I_a = ۶۰mA در نظر گرفته می شود.

$$\Lambda = L_{1} + L_{r} \tag{(77)}$$

$$\mathbf{r} = \frac{\overline{\mathbf{n}_{\mathrm{I}}} - \overline{\mathbf{n}_{\mathrm{II}}}}{\overline{\mathbf{n}_{\mathrm{I}}} + \overline{\mathbf{n}}_{\mathrm{II}}} \tag{(YT)}$$

$$t = \sqrt{1 - r^{\Upsilon}} \tag{YE}$$

$$\mathbf{T}_{LH} = \frac{1}{t} \begin{bmatrix} 1 & r \\ r & 1 \end{bmatrix}$$
(Yo)

$$\mathbf{T}_{H} = \begin{bmatrix} e^{j\tilde{\beta}_{H}L_{\tau}} & \cdot \\ \cdot & e^{-j\tilde{\beta}_{H}L_{\tau}} \end{bmatrix}$$
(Y7)

$$\mathbf{T}_{HL} = \frac{v}{t} \begin{bmatrix} v & -r \\ -r & v \end{bmatrix}$$
(YV)

$$\mathbf{T}_{L} = \begin{bmatrix} e^{j\vec{\beta}_{L}L_{1}} & \cdot \\ \cdot & e^{-j\vec{\beta}_{L}L_{1}} \end{bmatrix}$$
(YA)

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}_{LH} \times \mathbf{T}_{H} \times \mathbf{T}_{HL} \times \mathbf{T}_{L}$$
(۲۹)

از شرط براگ داریم:

$$\lambda_B = \frac{\bar{\mathbf{r}_{neff}l}}{m} \tag{(\Upsilon \cdot)}$$

$$\kappa = \frac{\overline{n_{II}} - \overline{n_I}}{\gamma l. \overline{n_{eff}}} \tag{(11)}$$

$$\overline{n_I} = \overline{n_{eff}} (1 - \kappa l)$$
(TY)

$$\bar{n}_{II} = \bar{n}_{eff} (1 + \kappa l) \tag{(YYY)}$$

$$\tilde{\beta}_{I} = \frac{\omega n_{I}}{c} + j\alpha_{DBR} \tag{75}$$

$$\tilde{\beta}_{II} = \frac{\omega n_{II}}{c} + j\alpha_{DBR} \tag{(ro)}$$

$$T_{G} = \prod_{i=1}^{M} [T]$$
(T7)

حالت اول) مشخصههای کوک لیزر نظیر جابهجایی طول موج خروجی، جریان آستانه و چگالی فوتون خروجی در حالت عدم حضور بازتاب و اتلاف در مرز ناحیه فعال و غیرفعال با تغییرات Ipc و IDBR در شکلهای ٤ و ٥ و ٦ آورده شده است.



شکل ۳ الگوریتم شبیهسازی مشخصههای کوک

در شکل ٤- الف، منحنی نقطهچین بیانگر شیفت فرکانس براگ توری با جریان تزریقی به توری است. در ابتدا بادازای تغییرات کم جریان، تغییرات سریع مد را شاهد هستیم؛ این موضوع با توجه به اینکه نرخ تغییرات چگالی حامل ناشی از باز ترکیب اوژه با توان یک – سوم جریان تزریقی به توری متناسب است قابل توجیه است. با استفاده از معادله نرخ

حامل در ناحیه توری و شرط براگ، نحوه تغییرات فرکانس براگ عبارت است از:

$$\omega_{\rm B} = \omega_{\rm B.} - \Gamma \frac{\omega_{\rm B.}}{n \cdot} \frac{dn}{dN_{\rm r}} \left(\frac{I_{\rm DBR}}{eV_{\rm r}C} \right)^{1/r} \tag{(7A)}$$

بر طبق شکل ٤ – الف، محدوده کوک طول موجی معادل با (۶۸۴/۸۲۵GHz با لیزش در ۷ مد طولی مختلف قابل دسترس است.

شیب منفی منحنی کوک در محدوده هر مد طولی، ناشی از شیفت تمامی مدهای طولی به طول موج پایین تر، بهدلیل کاهش ضریب شکست ناحیه توری بر اثر تزریق جریان به توری است. وابستگی جریان آستانه و چگالی فوتون خروجی در شکلهای ٥ و ٦ آورده شده است. کاهش توان خروجی و افزایش جریان آستانه، ناشی از افزایش جذب حامل آزاد در ناحیه توری است. اثر پرش مد روی منحنیها مشخص است.

وابستگی طول موج به جریان ناحیه فاز در شکل ٤ – ب نشان داده شده است. با تغییر جریان فاز، تغییرات طول موج با پرش از یک مد به مد دیگر حول و حوش طول موج براگ ۳۵۵ ۸ محدود می شود. کل تغییرات حدود ۳۸۳ /۰ است. با افزایش *Ip* پرش مد کاهش می یابد که ناشی از اشباع با افزایش *Ip* پرش مد کاهش می یابد که ناشی از اشباع چگالی حامل ۲۸ در تزریق شدید است. بنابر این با استفاده از جریان توری می توان بر طبق شکل ٤ – الف یک مد خاص را انتخاب کرد و سپس با استفاده از جریان ناحیه فاز، طول موج مد را بر طبق شکل ٤ – ب حدود ۳۸۰/۰ حول و حوش طول موج براگ کوک کرد. همانطور که از شکلها مشخص است تغییرات چگالی فوتون خروجی و جریان آستانه به جریان فاز حساس تر از جریان تزریقی به توری است. این

حالت دوم) مشخصههای کوک لیزر با ملحوظ کردن اثرات بازتاب ناشی از دررفتگی(۲۰/۰۴ R، ۲۰/۰۴، ۲)، تلفات انرژی کوپل شده از ناحیه فعال به ناحیه فاز است. زیرا بر طبق تئوری ماتریس پراکندگی و شرط بقای انرژی میزان انرژی کوپل شده به ناحیه فاز برابر $|S_{rr}| - |S_{l}| - 1$ است. میزان تغیرات جریان آستانه بر حسب ضریب تلفات در مقادیر مختلف I_{PC} و I_{DBR} از مرتبه یکسانی است. بر خلاف R و X که مشخصههای کوک را تحت تأثیر قرار میدادند ضریب تلفات L_{D} بیشتر جریان آستانه را تحت تأثیر قرار میدهد. اثر ضریب تلفات بر مشخصههای کوک در شکلهای ۱۲ – الف و ب آورده شده است.



• C_L = •) برای نشان دادن اثر بازتاب در مرز ناحیه فعال و غیر فعال بر مشخـصه کـوک، هـر دو وضـعیت ·=/R=R و R=R'= ۱/۰٤ در شکل ۷ – الف ترسم شده است. بر اثر بازتاب R=R'=۰/۰٤ محدوده کوک مـد ٥ و ٦ کـاهش یافتـه است و تقارن تغییرات مدها در اطراف فرکانس براگ بـههـم خورده است. در شکل ۸- الف و ب تغییرات جریان آسـتانه و چگالی فوتون با تغییر جریان فاز آورده شده است. همانطور که از شکل ۷- ب مشاهده می شود با ملحوظ کردن اثر بازتاب ناشی از دررفتگی، در جریان ۷٤ میلی آمیر پرش مد را خواهیم داشت. برای بررسی دلیل پرش مد، لـوب اصلی منحنی بهره آستانه در شکل ۹ آورده شده است. اعداد روی شکلهای ۷- ب و ۹ همخوانی دارند. طبق شکل ۹، پرش مد ناشی از عـدم تقـارن ایجـاد شـده در منحنـی بهـره آستانه است. این عدم تقارن ناشی از اثر دررفتگی و تـشدید شدن آن با جریانهای تزریقی بالا به ناحیه فاز است (که موجب ايجاد اختلاف ضريب شكست زياد بين ناحيه فعال و غیر فعال میشود). بر طبق شکل ۹ در جریان ۵۰ میلی آمپر مد با نشانه ۱ غالب است. با افزایش جریان به ۷۰ میلی آمپر مد با نشانه ۱ به طور پیوسته تا محل مد با نشانه ۲ کوک می شود. بنابر این بین ٥٠ تا ٧٠ میلی آمپر مد با نشانه ۱ غالب است با گذشتن جریان از مرز ۷٤ میلی آمیر مد با نشانه ۲ (مد با نشانه ۱ کوک شده) از حالت غالب خارج و مد با نـشانه ۳ غالب می شود در نتیجه بین ۷۶ تا ۷۹ میلی آمیر مد با نـشانه ۳ غالب است. با گذشتن جریان از مرز ۷۹ میلی آمیر مد با نشانه ۳ از نوسان می ایستد و مد با نشانه ٤ غالب می شود.

حالت سوم) مشخصههای لیزر با ملحوظ کردن اثر تلف ات C_L وابستگی جریان آستانه به ضریب تلفات C_L بهازای مقادیر مختلف جریان تزریقی به توری و ناحیه فاز در شکل ۱۰ و ۱۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود افزایش ضریب تلفات C_L جریان آستانه را افزایش می دهد که ناشی از افزایش



محمدحسن یاوری و همکاران







به را ۲۰ وابستای مسلمینه کوک یور به طویب کنالی کار بهازای ۲۰*۰۵ Ipc=۰، ۲۰ ۲۰: ۲۰ R=R* بهصورت تابعی از **الف)** جریان توری **ب**) جریان فاز

٦- نتیجه گیری

در این مقاله لیزر سهقسمتی DBR بهطور دقیق مطالعه و ارزیابی شد. با وارد کردن اثرهای ناشی از ناپیوستگی ضریب شکست نواحی فعال و غیر فعال و نواقص فرایند ساخت در معادلات نوسان، تأثیر آنها بر مشخصههای استاتیک کوک لیزر مطالعه شد. تحلیل نشان می دهد که با افزایش جریان تزریقی به ناحیه فاز، اختلاف ضریب شکست بین ناحیه فعال و غیرفعال افزایش می یابد و موجب ایجاد عدم تقارن در منحنی بهره آستانه می شود. بههم خوردن تقارن منحنی بهره آستانه، محدوده غالب بودن مدها را تغییر می دهد و تأثیر نهایی آن بر مشخصه کوک


شکل ۹ لوب اصلی بهره آستانه بر حسب میزان انحراف از فرکانس براگ. فلشها بیانگر مد غالب هستند. اعداد ۱، ۲، ۳ و ٤ با اعداد روی شکل ۷ مطابقت دارند (*R=R'=۰/۰٤*, *CL=۰ ، IDBR=۰*)









- [6] Pan, X.; Olesen, H.; Tromborg B.; "A Theoretical Model of Multielectrode DBR Lasers"; IEEE J. Quantum Electron.; Vol. 24; 1988; pp. 2423-2432.
- [7] Patzak, E.; Meissner, P.; Yevick, D.; "An Analysis of the Linewidth and Spectral Behavior of DBR Lasers"; IEEE J. Quantum Electron.; vol. QE-21; No. 9; 1985; pp. 1318-1325.
- [8] Caponio, N. P.; Goano, M.; Maio, I.; Meliga, M.; Bava, G. P.; Anis, G. D.; Montrosset, I.; "Analysis and Design Criteria of Three-Section DBR Tunable Lasers"; IEEE J. on Selected Areas in Commun.; vol. 8; 1990; pp. 1203-1213.
- [9] Tsgopoulos, A.; Sphicopoulos, T.; Orfanos, I. S., Pantelis; "Wavelength Tuning Analysis and Spectral Characteristics of Three-Section DBR Lasers"; IEEE J. Quantum Electron.; vol. 28; 1992; pp. 415-426.
- [10] Tromborg, B.; Olesen, H.; Pan, X.; Satio,
 S.; "Transmision Line Description of Optical Feedback and Injection Locking for Fabry-Perot and DFB Lasers"; IEEE
 J. Quantum Electron.; vol. QE-23; 1987; pp. 1875-1889.
- [11] Bjork, G.; Nilsson, O.; "A New Exact and Efficient Numerical Matrix Theory of Complicated Laser Structures; Properties of Asymmetric Phase-Shifted DFB

لیزر ظاهر می شود. عدم جفت شدگی دقیق موجبرهای نواحی فعال و غیرفعال موجب ایجاد مد نوسان اضافی می شود و مشخصه های کوک را تحت تأثیر قرار می دهد. اثر اتلاف *CL* در مرز بین دو موجبر فعال و غیر فعال، جریان آستانه را تحت تأثیر قرار می دهد در حالی که بازتاب ناشی از عدم جفت شدگی '*R* و *R*، مشخصه های کوک را تغییر می دهد. بیشتر بودن نرخ تغییرات فرکانس براگ از نرخ تغییرات فرکانس مد با تزریق جریان به توری باعث ایجاد گسستگی در منحنی کوک می شود.

۷- منابع

- Coldren, L. A.; Fish, G. A.; Akulova, Y.; Barton, J. S.; Johansson, L.; Coldren, C. W; "Tunable Semiconductor Lasers: A Tutorial"; IEEE J. Lightwave Technol.; vol. 22; 2004; pp. 193-202.
- [2] Coldren, L. A.; "Monolithic Tunable Diode Lasers"; J. on Selected Topics in Quantom Electron.; vol. 6; 2000; pp. 988-999.
- [3] E. Bruce; "Tunable Lasers", IEEE Spectrum; February; 2002.
- [4] Koch, T. L.; Koren, U.; "Semiconductor Lasers for Coherent Optical Fiber Communications"; IEEE J. Lightwave Technol.; vol. 8; 1990; pp. 274-293.
- [5] Komori, K.; Arai, S.; Suematsu, Y.; Arima, I.; Aoki, M.; "Single-Mode Properties of Distributed-Reflector Lasers" IEEE J. Quantom Electron.; vol. 25; 1989; pp. 1235-1244.
- ۱۱

- [17] Amann, M. C.; Buss, J.; Tunable Laser Diodes. London; Artech House; 1998.
- [18] Yavari, M. H.; Ahmadi, V.; Shahshahani, F.; Razaghi, M.; "Numerical Analysis of Three Section Distributed Bragg Reflector Tunable Laser Diode with Modified Oscillation Condition Based on the Transfer Matrix Method", IEEE Conference on Wireless and Optical Communications Networks, (WOCN), 2005.
- [19] Yavari, M. H.; Ahmadi, V.; Zarifkar, F.; Abedi, K.; "Simulation of Photon Density Distribution in Three Section Distributed Bragg Reflector Tunable Laser Diode Based on the Transfer Matrix Method", Proceedings of SPIE, vol. 6, No. 1-6, 2006; pp. 392-401.
- [20] Yavari, M. H.; Analysis of three section Distributed Bragg Reflector Tunable Laser Diode and Tuning Characteristics, Master of Science Thesis, Tarbiat Modares University 2005.

تحلیل لیزر نیمرسانای مخابراتی کوکپذیر سەقسمتی ...

Lasers"; J. Lightwave Technol.; vol. LT-5; 1987; pp. 140-146.

- [12] Hong, J.; Huang, W.; Makino T.; "On the Transfer Matrix Method for Distributed-Feedback Waveguide Devices"; J. Lightwave Technol.; vol. 10; 1992; pp. 1860-1868.
- [13] Orafanos, I.; Sphicopoulos, T.; A. Tsigopoulos; C. Caroubalos; "A Tractable Above-Threshold Model for the Design of DFB and Phase-Shifted DFB Lasers"; IEEE J. Quantum Electron; vol. 27; 1991; pp. 946-956.
- [14] Davis, M. G.; O'Dowd, R. F.; "A New Large-Signal Dynamic Model for Multielectrode DFB Lasers Based on the Transfer Matrix Method"; IEEE Photonic Tecnol. Lett.; vol. 4; 1992; pp. 838-840.
- [15] Yamada, M.; Sakuda, K.; "Analysis of Almost-Periodic Distributed Feedback Slab Waveguides Via Fundumental Matrix Approach"; Appl. Opt; vol. 26; 1987; pp. 3474-3478.
- [16] Coldren, L. A.; Corzine, S. W; Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits. John wiley and Sons; California; 1995.