

محاسبه معادله فازی لیزر نیمه رسانا با در نظر گرفتن نوفه جمله اختلالی در میدان خروجی لیزر

جعفری، اکبر؛ مبهوتی، خسرو؛ محمد نژاد، هیرو

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه

چکیده

در این مقاله تاثیر نوفه لانگوین بر تغییرات زمانی فاز میدان لیزری یک لیزر نیمه رسانا مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور نحوه عملکرد نوفه لانگوین مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس نحوه تاثیر این نوفه بر پایداری و تغییرات زمانی فاز میدان خروجی لیزر در حضور پسخوراند اپتیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این روش معادلات مربوط به نویز دامنه و فاز در معادلات نرخ لیزر جایگذاری شده اند. نتایج عددی بدست آمده نشان می دهد که حجم ناحیه فعال لیزری که مولد پرتوهای لیزر می باشد نقش تعیین کننده ای بر روی رشد نرخ گذارهای خود به خودی (نوفه لانگوین) دارد. همچنین نشان داده شد نوفه حاصل از پسخوراند اپتیکی می تواند عملکرد متفاوتی از خود به نمایش بگذارد، به طوری که در حضور نوفه لانگوین، به ازای مقادیر مشخصی از فاز پسخوراند می تواند در نقش پایدار کننده نوسانات لیزری عمل کند. همچنین به ازای مقادیر دیگری از فاز پسخوراند خود می تواند منجر به افزایش ناپایداری و تقویت نوفه ناشی از گذار خود به خودی گردد.

Calculation of phase equation of a semiconductor laser with regard of the noise in the Laser out put field

Jafari, Akbar; Mabhouti, Khosro; Mohammad nejad, Hero

Physics Department, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia

Abstract

In this paper, the effect of the langvien noises on the time variation of phase of the semiconductor laser field is investigated. For this purpose, the performance of the langvien noise is examined, and the effects of this noise on the stability and the time variations of the phase of the laser field respect to the optical feedback have been studied. In this method, the equations of the noise of the amplitude and phase are replaced in the laser rate equations. The numerical results showed that the volume of the laser active region that generating laser beams is a decisive role in the growth rate of the spontaneous emotions (Langevin noise). It has also shown that, the noise from optical feedback can be demonstrated the difference operation. So that, in the presences of the langvien noise, for the specific values of the feedback phase, can be acted as the stabilizer of the laser oscillations. As well as, for the other values of feedback phase, can be increased the instability and amplification of the noise due to spontaneous emissions.

PACS No. (۳۰)

نوفه را در لیزر های نیمه رسانا می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد. نخست، نوفه حاصل از اندرکنشهای اپتیکی در خارج از محیط فعال لیزری [۴]، و دیگری نوفه ایجاد شده در پدیده هایی که منجر به تولید نوسانات لیزری درون محیط فعال لیزر می گردند [۵]. در نوفه حاصل از اندرکنشهای اپتیکی، مقدار کمی از پسخوراند نوری برای تولید ناپایداریهای بی نظم کافی بوده و به تبع منجر به ایجاد شدت بالاتر و فرکانس های اختلالی می شود [۶]. در نوع دوم نوفه، در طول مدتی که فرآیند تولید میدان لیزری تحت اثر گذار بین ترازها، اندرکنش بین

مقدمه

در میان ابزارهای اپتوالکترونیک، لیزرهای نیمه رسانا مهم ترین هستند [۱و۲]. امروزه انواع مختلف لیزرهای نیمه رسانا به طور گسترده ای در منابع نوری منسجم برای کاربردهای متنوع شامل سیستم های ارتباطی مبتنی بر استفاده از فیبرهای نوری و سیستم های حافظه ی دیسک نوری استفاده می شوند [۳]. اما در این میان حضور نوفه در خروجی لیزرهای نیمه رسانا قابلیت اطمینان از عملکرد صحیح آنها را محدود می کند. به طور کلی منشاء ایجاد

انبوهی، α فاکتور پهن شدگی، η شدت پس خوراند و C_p فاز پس خوراند می باشد. نسبت بین طول عمر کاواک به طول عمر حامل با T ، میزان جریان دمش شده با P و میزان تاخیر زمانی در کاواک ی خارجی با τ نشان داده شده است. در محاسبات از پارامترهای کاواک کوتاه به صورت $T = 1710$ و $\tau = 70$ استفاده شده است. در کاواک کوتاه، طول کاواک خارجی چنان انتخاب میشود که فرکانس لیزر درون کاواک خارجی بسیار بزرگ تر از فرکانس نوسان واهلشی در لیزر باشد [۱۱].

ب) نوفه لانگوین:

در قسمت قبل مجموعه معادلات نرخ توصیف کننده دینامیک لیزر معرفی گردید. حال به منظور تصحیح این معادلات و اضافه کردن جملات توصیف کننده نوفه لانگوین به صورت زیر عمل می کنیم:

از آنجا که تاثیر نوفه لانگوین بر مقادیر دامنه، فاز و وارونی انبوهی به صورت مجزا در نظر گرفته می شود، در نتیجه با در نظر گرفتن پاسخی برای میدان لیزری:

$$E(t) = A(t) \exp(i\phi(t)) \quad (۳)$$

معادلات (۱) و (۲) به مجموعه معادلات تفکیک شده ای برای دامنه، فاز و وارونی انبوهی بازنویسی می گردد:

$$\frac{dA}{dt} = N(t)A(t) + k A(t - \tau) \cos C_p + F_A(t) \quad (۴)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \alpha N(t) - k \frac{A(t - \tau)}{A(t)} \sin C_p + F_\theta(t) \quad (۵)$$

$$T \frac{dN}{dt} = P - N - (1 + 2N) |E|^2 \quad (۶)$$

که در آنها توابع F_A و F_θ به ترتیب تاثیر نوفه بر مقادیر دامنه و فاز را بر روی معادلات نرخ لیزری اعمال می نمایند. توابع F_A و F_θ را می توان به صورت زیر در نظر گرفت [۷]:

$$F_A(t) = \sqrt{\frac{V_{SS}(t)}{\Delta t}} g_A \quad (۷)$$

$$F_\theta(t) = \frac{1}{2[E(t) + 1]} \sqrt{\frac{V_{SS}(t)}{\Delta t}} g_\theta \quad (۸)$$

که در روابط فوق:

$$V_{SS}(t) = 2 \frac{a\xi}{V} N(t)[E(t) + 1] \quad (۹)$$

حامل های بار و جمعیت فوتونها در حال وقوع می باشد، امکان ایجاد اختلال در این عملکرد وجود خواهد داشت. یکی از مهمترین این عوامل گذارهای خودبه خودی است که اثر آن در فرآیند تولید لیزر تحت عنوان نوفه لانگوین شناخته می شود [۷]. از نقطه نظر عملکرد، نوفه لانگوین می تواند شمار فوتون ها و شمار حامل ها را تحت تاثیر قرار دهد، که این امر منجر به ایجاد اختلال در امر تولید لیزر خواهد شد.

در مطالعه دینامیکی لیزرهای نیمه رسانا، شدت میدان الکتریکی و فاز میدان الکتریکی به عنوان متغیرهای اصلی دینامیکی در نظر گرفته می شوند. از نقطه نظر کاربرد، مقادیر فاز میدان لیزر مشخص کننده توزیع شدت میدان می باشند که در محیط آزمایشگاهی تعیین این مقادیر مشکل است. علاوه بر این، در فرآیند ایجاد همزمانی بین سیستم های کوپل شده لیزری، همزمانی کامل و قوی برقرار خواهد بود که مقادیر مناسب فازی برای هر دو سیستم در نظر گرفته شده باشد [۸].

در این مقاله به مطالعه تغییرات زمانی فاز میدان لیزری در حضور نوفه لانگوین پرداخته شده است. معادلات نرخ لیزری انتخاب شده در این مطالعه شامل جمله پس خوراند اپتیکی خارج از کاواک مولد لیزری نیز می باشند. با اضافه کردن جمله نوفه لانگوین به این معادلات می توان به مجموعه معادلاتی دست یافت که در برگیرنده هر دو نوفه باشند. این موضوع به ما کمک خواهد کرد تا نحوه تاثیر گذار خود به خودی را در شرایط جدیدی از کارکرد لیزر تحت پس خوراند اپتیکی مطالعه نماییم.

مدل ریاضی:

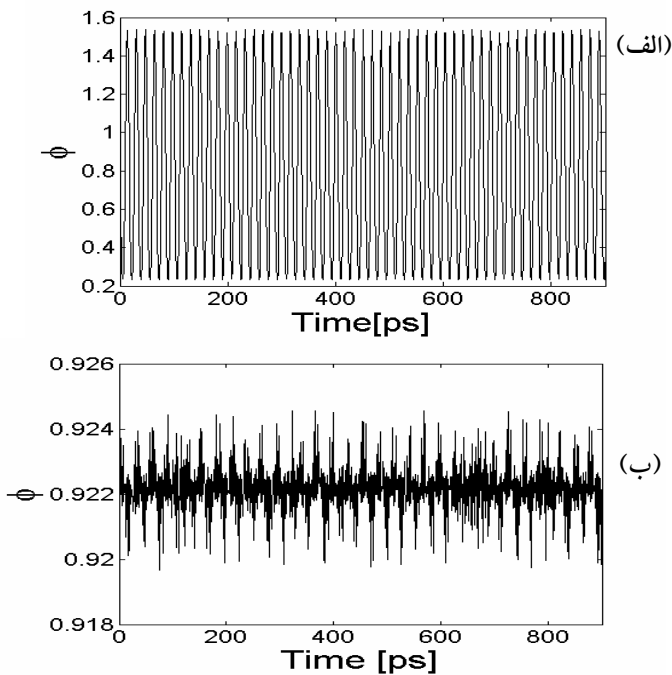
الف) معادلات نرخ لیزری:

معادله نرخ توصیف کننده دینامیک لیزر نیمه رسانا با کاواک خارجی و معادله مربوط به تحول زمانی وارونی انبوهی را میتوان بصورت زیر نوشت [۹ و ۱۰]:

$$\frac{dE}{dt} = (1 + i\alpha)NE + \eta E(t - \tau)e^{-iC_p} \quad (۱)$$

$$T \frac{dN}{dt} = P - N - (1 + 2N) |E|^2 \quad (۲)$$

در روابط فوق، E نشانگر میدان الکتریکی بهنجار شده، N وارونی



شکل ۱: نمودار تحول زمانی فاز میدان خروجی لیزر به ازای حجم ناحیه فعال لیزری: الف) $V = 75 \mu\text{m}^3$ و ب) $V = 15 \mu\text{m}^3$.

نوسانات ناگهانی و شدیدی که در مقادیر فاز میدان خروجی لیزر نمایش داده شده بدین معنا خواهد بود که کاهش در حجم ناحیه فعال منجر به تقویت اثرات نوفه بر روی عملکرد اصلی لیزر گردیده است و رشد در مقدار گذارهای خودبه خودی با کاهش حجم ناحیه فعال لیزر نسبت مستقیم دارد. شکل (۱-ب) نشان دهنده ایجاد آشوب و ناپایداری در عملکرد لیزر تحت اثر تقویت مقدار گذارهای خود به خودی است.

در ادامه این بخش، شرایطی را در نظر می‌گیریم که لیزر تحت اثر گذارهای خودبه خودی (نوفه لانگوین) کاملاً مختل شده است (شکل ۱-ب). از آنجایی که علاوه بر نوفه لانگوین، تزریق‌های اپتیکی و یا پسخوراندهای اپتیکی نیز می‌توانند منجر به ایجاد نوفه و اختلال در عملکرد لیزر گردند، شرایطی را بررسی می‌کنیم که تغییر در فاز پسخوراندهای اپتیکی چگونه می‌تواند عملکرد یک لیزر را تحت تاثیر قرار دهد. اما نکته ای که در اینجا در نظر خواهیم گرفت بدین قرار است که لیزر قبل از اینکه تحت تاثیر پسخوراندها

مجموعه معادلات (۴) تا (۹) می‌توانند دینامیک لیزر را برای دامنه، فاز و وارونی انبوهی مشخص نمایند. در روابط فوق پارامترهای g_θ و g_A به ترتیب نشان دهنده متغیر گاوسی تصادفی برای دامنه و فاز می‌باشند که می‌توانند مقادیری در بازه ۱ تا ۱- اختیار نمایند [۱۲]. ضرایب a ، ξ و V نیز به ترتیب نشان دهنده ثابت شیب بهره^۱، فاکتور محدودیت میدان^۲ و حجم ناحیه فعال لیزر می‌باشند [۷]. منظور از حجم ناحیه فعال، حجم کاواک داخلی لیزر که مولد عمل لیزر و تولید فوتون است. در این مقاله ضرایب a و ξ ثابت و به ترتیب برابر با $2/0$ و $75/2$ در نظر گرفته می‌شوند.

توصیف نتایج:

در این بخش با استفاده از معادلات ۵، ۸ و ۹ به تحلیل تحول زمانی فاز شدت خروجی لیزر پرداخته می‌شود. در این بررسی با استفاده از معادلات ذکر شده در بالا می‌توان تصویری واضح از نحوه تاثیر نوفه بر عملکرد لیزر نیز داشت. در ابتدا به بررسی نحوه تاثیر نوفه لانگوین می‌پردازیم. برای این منظور احتیاج به پارامتر متغیری خواهد بود تا به عنوان پارامتر کنترل عمل کرده و مقادیر متفاوتی را بتواند اختیار کند. با توجه به ثابت بودن مقادیر ضرایب a و ξ ، حجم ناحیه فعال لیزری (V) به عنوان پارامتر کنترل انتخاب می‌گردد. در شکل (۱) نمودار تحول زمانی فاز میدان خروجی لیزر (ϕ) به ازای مقادیر حجم ناحیه فعال لیزری $V = 75 \mu\text{m}^3$ (شکل ۱-الف) و $V = 15 \mu\text{m}^3$ (شکل ۱-ب) رسم شده است. همانطور که از این شکل مشاهده می‌شود تحول زمانی فاز میدان خروجی لیزر در شکل (۱-الف) پایدار و پرریودیک می‌باشد. این در حالی است که با کاهش مقدار V ، پایداری و نظم اولیه در تحول زمانی فاز میدان خروجی لیزر از بین رفته و مقادیر فازی برای میدان لیزری در هر لحظه مقداری متفاوت با لحظه قبل می‌باشد (شکل ۱-ب).

¹ tangential gain coefficient
² confinement factor of field

ناپایداری و تقویت نوفه ناشی از گذار خود به خودی (لانگوین) می‌گردد.

نتیجه گیری

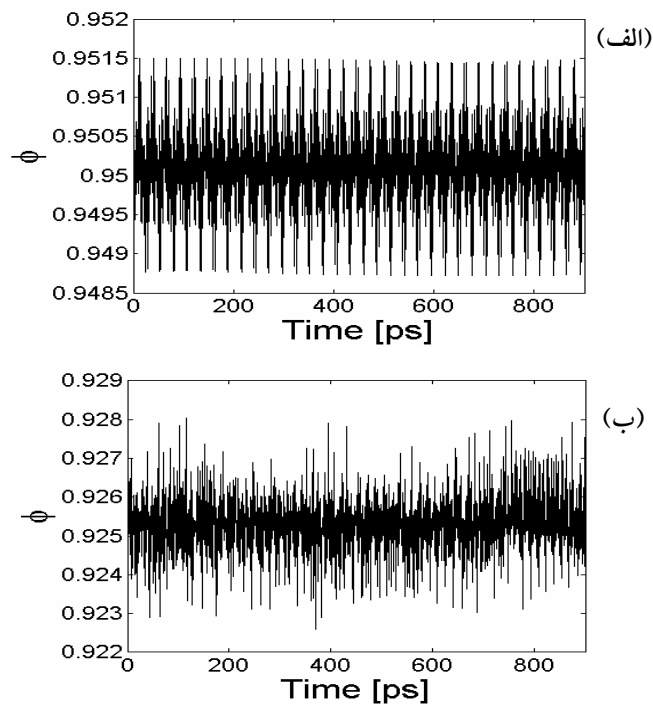
نتایج حاصل از بررسی های انجام گرفته بر روی تاثیر نوفه لانگوین و نوفه حاصل از پسخوراند اپتیکی حاصل از کاواک خارجی بر روی عملکرد لیزر را میتوان به صورت زیر بیان نمود: ابعاد ناحیه فعال لیزری درون کاواک داخلی لیزر که مولد عمل لیزر می باشد نقش تعیین کننده ای بر روی ایجاد امکان رشد نرخ گذارهای خود به خودی (نوفه لانگوین) دارد. هر چه حجم ناحیه فعال کوچکتر گردد، نسبت بین نرخ گذارهای خود به خودی از گذارهای تحریکی رشد خواهد داشت و این به معنای تقویت اثر گذارهای خود به خودی بر عملکرد لیزر است (شکل ۱).

نوفه حاصل از پسخوراند اپتیکی می تواند عملکرد دوگانه ای از خود به نمایش بگذارد. به بیان دیگر به ازای مقادیری از فاز پسخوراند می تواند در نقش پایدار کننده نوسانات لیزری عمل کند (شکل ۲-الف) و به ازای مقادیر دیگری از فاز پسخوراند خود به عنوان یک عامل اختلالی اپتیکی خارجی به ایجاد ناپایداری و اختلال هر چه بیشتر در عملکرد و خروجی لیزر منجر گردد (شکل ۲-ب).

مرجع ها

- [1] S. Banerjee, L. Rondoni, S. Mukhopadhyay, AP. Misra, *Optics Communications* **284** (2011) 2278.
- [2] J.M. Buldu, J. Garcia-Ojalvo, M.C. Torrent, *IEEE Journal of Quantum Electronics* **41** (2005) 164.
- [3] Toshiaki Suhara, "Semiconductor Laser Fundamentals", Marcel Dekker Inc, New York, 2004.
- [4] S. Tang, JM. Liu, *IEEE Journal of Quantum Electronics* **37** (2011) 329.
- [5] G. P. Agrawal and N. K. Dutta, *Semiconductor Lasers*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [6] G.R. Gray, T. Ryan, G. P. Agrawal, E. C. Gage, *Proc. SPIE* **45** (1993) 2039.
- [7] B. Paul, R. A. Chayti, Sazzad M.S. Imran, *ARPJ Journal of Science and Technology* **4**, (2014) 774-784.
- [8] M. Bulinski, M. L. Pascu, I. R. Andrei, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* **6** (2004) 77 – 86.
- [9] K. Green, *Physical Review E* **79** (2009) 036210.
- [10] A. Jafari, K. Mabhouti, S. Afrang, A. Siahcheshm, *Optic Laser Technology* **44** (2012) 1398-1405.
- [11] T. Heil, I. Fischer, and W. Elsaber, A. Gavrielides, *Physical Review Letter* **87** (2001) 243901.
- [12] M. Ahmed, M. Yamada, M. Saito, *IEEE J. Quantum Electronics* **37** (2001) 1600-1610.

اپتیکی قرار بگیرد عملکرد آن به علت کاهش حجم ناحیه فعال لیزر کاملاً مختل گردیده (شکل ۱-ب).



شکل ۲: نمودار تحول زمانی فاز میدان خروجی لیزر برای حجم ناحیه فعال لیزری $V = 10 \mu\text{m}^3$ و به ازای مقادیر فاز پسخوراند: الف) $C_p = -2$ و ب) $C_p = -\pi$.

شکل (۲) نمودار تحول زمانی فاز میدان خروجی لیزر (ϕ) به ازای مقادیر حجم ناحیه فعال لیزری $V = 10 \mu\text{m}^3$ و به ازای مقادیر فاز پسخوراند $C_p = -2$ (شکل ۲-الف) و $C_p = -\pi$ (شکل ۲-ب) رسم گردیده است. با انتخاب مقدار $C_p = -2$ برای فاز پسخوراند ملاحظه می شود که لیزر از حالت کاملاً مختل شده (شکل ۱-الف) به سمت نوسانات پریودیک و تکرار شونده برای فاز میدان خروجی لیزر تغییر می یابد. هر چند که مقادیری که برای فاز میدان خروجی لیزر برای زمان های مختلف نشان داده شده، مقادیر متنوعی در یک بازه ی زمانی مشخص می باشند اما حداقل میتوان گفت لیزر از حالت ناپایدار اولیه فاصله گرفته و به سمت افزایش پایداری پیش رفته است. در شکل (۲-ب) با تغییر در مقدار فاز پسخوراند اپتیکی می توان رفتاری متفاوت از حالت قبل (شکل ۲-الف) را از لیزر دریافت نمود. انتخاب مقدار $C_p = -\pi$ برای فاز پسخوراند از کاواک خارجی منجر به تشدید