بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۷۰-۱۰-۱۰-A

تأثیر پخش حاملین روی آمار و خصوصیات امواج خودسر دوبعدی در لیزرهای نیمرسانای حاوی جاذب اشباع‌پذیر

[۱]کامل تالونه، [۲]منصور اسلامی، و [۱]رضا خردمند

[۱]پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره‌شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز

[۲]گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، رشت

چکیده – در این مقاله، تأثیر پخش حاملین روی آمار و خصوصیات امواج خودسر دو بعدی در لیزرهای نیمرسانای حاوی جاذب اشباع‌پذیر مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا ابتدا با معرفی معادلات مدل توصیف کننده‌ی دینامیک میدان الکتریکی و جمعیت حاملین و پارامترهای دخیل در آن‌ها، قابلیت سیستم در تولید امواج خودسر مورد بررسی قرار گرفته و وابستگی میزان خودسری و کشیدگی مرتبط با داده‌های آماری مشخص کننده‌ی این نوع از امواج به تغییر ضریب پخش حاملین در مواد فعال و جاذب مطالعه می‌شود. در ادامه، با تعریف رابطه‌ی توصیف کننده‌ی میزان همبستگی عرضی هر نقطه از صفحه‌ی عرضی خروجی با سایر نقاط، به بررسی دلیل تغییرات آمار و خصوصیات این امواج با تغییر ضریب پخش حاملین پرداخته شده است.

کلید واژه- لیزر نیمرسانا، موج خودسر، جاذب اشباع‌پذیر، ضریب پخش حاملین، میزان خودسری موج خودسر.

The Effect of Carrier Diffusion on Statistics and Characteristics of 2D Rogue Waves in Semiconductor Lasers with Saturable Absorber

[1]Kamel Talouneh, [2]Mansoor Eslami, and [1]Reza Kheradmand

[1] Institute for applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz,
E-mail. Kamel.Talouneh@gmail.ir
[2] Department of Physics, Faculty of Science, University of Guilan, Rasht,
E-mail. meslami@guilan.ac.ir
[1] Institute for applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz,
E-mail. r_kheradmand@tabrizu.ac.ir

Abstract- In this paper, the effect of carrier diffusion on statistics and characteristics of 2D rogue waves in semiconductor lasers with saturable absorber had been studied. By this way, first by introducing the model equations describing electric field and carrier population dynamics and parameters involved, the system ability to generate these type of waves is investigated and then dependence of rogueness and Kurtosis related to statistical data that determine these type of waves, on carrier diffusion coefficient in active and passive media has been studied. In the following, by introducing the relationship describing correlation between each point of output transverse plane and another ones, the reasons to dependence of statistics and characteristics of rogue waves on carrier diffusion coefficient is investigated.

Keywords: Semiconductor laser, Rogue wave, Saturable absorber, Carrier diffusion coefficient, Rogueness of rogue wave.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

امواج با دامنه‌های بسیار بلند و طول عمر بسیار کوتاه که وقوع‌شان غیر قابل پیش‌بینی است و به امواج خودسر معروف هستند، موضوع مطالعات فراوانی در دهه‌ی اخیر بوده‌اند. این رویدادها که برای اولین بار در امواج کم عمق آبی (در سطح اقیانوس‌ها) مشاهده شدند، و با عنوان امواج خودسر یا امواج غیرعادی شناخته می‌شوند، بعدها به یک موضوع مطالعاتی در سایر زمینه‌ها تبدیل شدند و هم اکنون نیز در حال گسترش هستند. مشاهدات و پیش-بینی‌ها در زمینه‌ی رویدادهای مرتبط با امواج خودسر در زمینه‌های علمی متنوعی از امواج باریک [۱] و اپتیک [۲] تا امواج پلاسما [۳]، در حال گسترش هستند. امواج خودسر دوبعدی، در واقع طی شرایط خاصی در حضور توربولانس عرضی شکل می گیرند و بعنوان رویداد شدید در اپتیک غیرخطی معرفی می شوند. مطالعه‌ی رویدادهای شدید، به ویژه در اپتیک عرضی، بدلیل دینامیک سریع میدان نوری و امکان انباشت مدهای عرضی به تعداد بسیار بالا در محدوده‌ی فضایی کوچک، بسیار حائز اهمیت شده است .در این مقاله قصد داریم تأثیر پخش حاملین را روی آمار و خصوصیات امواج خودسر مشاهده شده در سیستم لیزر نیمرسانای گسیل از سطح حاوی جاذب اشباع‌پذیر مورد بررسی قرار دهیم. در این راستا ابتدا معادلات مدل توصیف کننده‌ی دینامیک عرضی میدان الکتریکی و جمعیت حاملین در دو ماده‌ی فعال و جاذب را با اضافه کردن تغییرات عرضی حاملین با ضریب پخش مربوطه، معرفی می‌کنیم. در ادامه با معرفی پارامترهای آماری تعیین کننده‌ی میزان خودسری امواج خودسر، به بررسی تغییرات میزان خودسری امواج خودسر با تغییر ضریب پخش حاملین می‌پردازیم. همچنین با تعریف رابطه‌ی مربوط به همبستگی هر نقطه از صفحه‌ی عرضی خروجی با سایر نقاط صفحه، تأثیر تغییرات ضریب پخش حاملین را روی طول همبستگی مورد مطالعه قرار می‌دهیم.

مدل

سیستم مورد بحث در این مقاله، یک VCSEL (لیزر کاواک عمود گسیل از سطح) دارای یک جاذب اشباع‌پذیر درون کاواکی است (شکل ۱)، که بوسیله‌ی سه معادله‌ی دیفرانسیل غیر خطی به هم کوپل شده‌ی زیر توصیف می-شود [۴]:

$$\begin{aligned} \dot{F} &= \left[(1-i\alpha)D + (1-i\beta)d - 1 + (\delta+i)\nabla_\perp^2\right]F \\ \dot{D} &= b\left[\mu - D\left(1+|F|^2\right) - BD^2\right] + C\nabla_\perp^2 D \\ \dot{d} &= rb\left[-\gamma - d\left(1+s|F|^2\right) - Bd^2\right] + C\nabla_\perp^2 d \end{aligned} \qquad (۱)$$

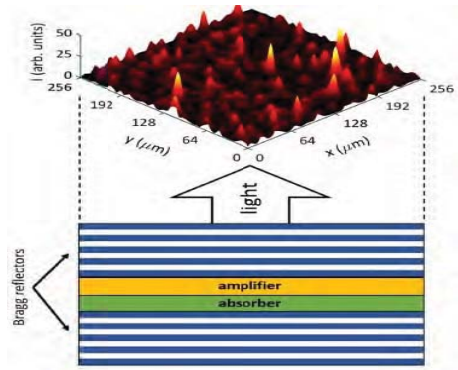
که در آن F **Error! Bookmark not defined.**، دامنه‌ی میدان الکتریکی کند تغییر، D و d به ترتیب جمعیت مرتبط با چگالی حاملین در ماده‌ی فعال و جاذب، μ و γ به ترتیب پارامترهای دمش و جذب، α و β به ترتیب عامل تقویت پهنای خط مربوط به ماده‌ی فعال و جاذب، b **Error! Bookmark not defined.** نسبت طول عمر فوتون به طول عمر حامل در ماده‌ی فعال، r **Error! Bookmark not defined.** نسبت طول عمر حاملین در ماده‌ی فعال به طول عمر حاملین در ماده‌ی جاذب، B **Error! Bookmark not defined.** ضریب بازترکیب تابشی (که برای سادگی فرض می‌شود که برای هر دو ماده یکسان است)، s **Error! Bookmark not defined.** پارامتر اشباع، و δ **Error! Bookmark not defined.** ضریب پخش شدگی برای میدان الکتریکی است که بصورت پدیده شناختی برای پهنای خط متناهی بهره وارد معادلات می‌شود. همچنین C ضریب پخش حاملین است که برای سادگی برای هر دو ماده‌ی جاذب و فعال یکسان فرض می‌شود.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

همچنین مقادیر پارامتری ثابت مورد استفاده در این کار، عبارتند از:

جدول ۱: مقادیر پارامتری ثابت مورد استفاده در مقاله‌ی حاضر

α	β	γ	s	μ	b	B	δ



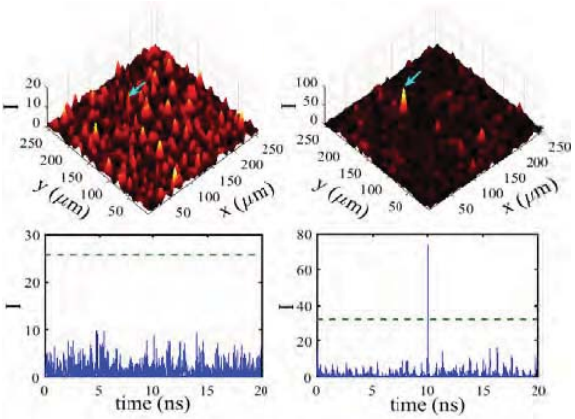
شکل ۱: یک نمای شماتیکی از یک لیزر کاواک عمودی گسیل از سطح با سطح گسیل پهن همراه با یک جاذب اشباع‌پذیر و یک نمونه خروجی توربولانسی از آن [۵].

موج خودسر و میزان خوسری

در سیستم‌هایی که پتانسیل نمایش امواج خودسر را دارا می‌باشند، جهت تمایز امواج خودسر از افت خیزهای معمول در حالت‌های توربولانسی با رفتار متعارف (شکل ۲)، از بررسی آماری استفاده می‌شود. در این راستا آستانه‌های شدتی تعریف می‌شود، و با مقایسه شدت‌های خروجی با این آستانه‌ی شدت، به میزان خودسری موج مورد نظر پی برده می‌شود. برای این منظور از بیشینه‌های فضا-زمانی ظاهر شده در طی زمان برای بررسی آمار مربوطه استفاده می کنیم و آستانه‌ی شدت مورد نظر را بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$I_{th} = \langle I_{max} \rangle_t + 8\sigma_{max} \qquad (۲)$$

حال با تعریف دو پارامتر آماری مهم، یعنی نسبت خودسری موج خودسر و کورتوسیس مربوط به بیشینه‌های فضا-زمانی، می‌توان به میزان خودسری موج خودسر مورد نظر پی برد. نسبت خودسری بصورت نسبت تعداد بیشینه‌های فضا-زمانی که شدت آن‌ها از شدت آستانه‌ی تعریف شده در (۲) تخطی کرده‌اند به تعداد کل بیشینه‌های فضا-زمانی ظاهر شده در طی زمان تعریف می‌شود. همچنین کورتوسیس مربوط به بیشینه‌های فضا-زمانی بصورت میزان کشیدگی داده‌ها از میانگین آن‌ها تعریف می‌شود.



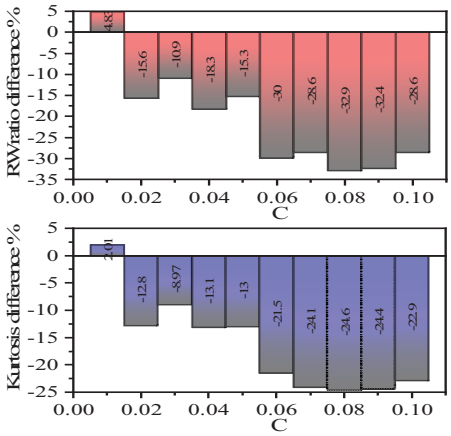
شکل ۲: (بالا و چپ) یک نمونه پروفایل خروجی توربولانسی معمولی در یک لحظه از زمان به ازای $r = 1$ و (بالا و راست) یک نمونه پروفایل عرضی خروجی توربولانسی نمایانگر یک موج خودسر در یک لحظه از زمان به ازای $r = 2.2$ (پایین) تغییرات شدت یک نقطه از صفحه‌ی عرضی خروجی متناظر با نقطه‌ی مشخص شده با فلش فیروزه‌ای رنگ در شکل بالای متناظر. خط خط‌چین سبز رنگ در شکل پایین نمایانگر مقدار شدت آستانه‌ی تعریف شده در رابطه‌ی (۲) می‌باشد. سایر مقادیر پارامتری مقادیر تعریف شده در جدول (۱) می‌باشد.

حال جهت مقایسه‌ی میزان خودسری امواج خودسر، هر مقدار نسبت خودسری و کورتوسیس مربوط به بیشینه‌های فضا-زمانی بیشتر باشد، موج مورد نظر خودسرتر است. شکل ۳ تغییرات درصد اختلاف میزان خودسری و کورتوسیس مربوط به موج خودسر را نسبت به حالت بدون ضریب پخش حاملین برای مقادیر متفاوت ضریب پخش برای $r = 2.2$ و سایر مقادیر پارامتری تعریف شده در جدول (۱) نشان می‌دهد.

همانگونه که از شکل (۳) مشخص است با افزایش مقدار ضریب پخش حاملین (C)، میزان خودسری موج خودسر

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

نسبت به حالت بدون ضریب پخش حاملین کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۳: (بالا) تغییرات درصد اختلاف نسبت خودسری از مقدار مربوط به حالت بدون ضریب پخش حاملین و (پایین) تغییرات درصد اختلاف کورتوسیس از مقدار مربوط به حالت بدون ضریب پخش حاملین بر حسب تغییرات ضریب پخش حاملین و به ازای $r = 2.2$ و سایر مقادیر پارامتری تعریف شده در جدول (۱).

با تعریف تابع همبستگی $CF(|r - r'|)$ به فرم زیر:

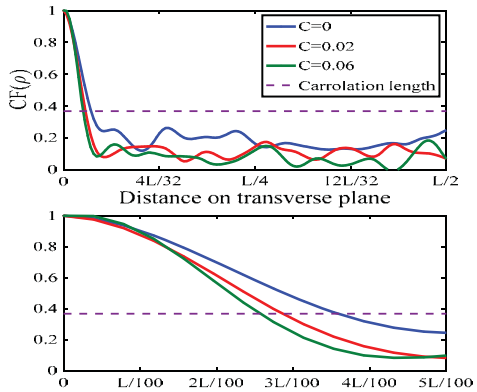
$$CF(\rho) = \frac{Re\left[\langle F(r,t)F^*(r',t)\rangle - \langle F(r,t)\rangle\langle F^*(r,t)\rangle\right]}{Re\left[\langle F(r,t)F^*(r,t)\rangle - \langle F(r,t)\rangle\langle F^*(r,t)\rangle\right]} \quad (۴)$$

و بدست آوردن تغییرات آن برای ضرایب پخش حاملین متفاوت، همانگونه که در شکل ۴ نشان داده شده است، با افزایش ضریب پخش حاملین، طول همبستگی که بصورت $\frac{1}{e}$ برابر مقدار بیشینه‌ی همبستگی (در اینجا ۱) تعریف می‌شود، کاهش می‌یابد.

همانگونه که از شکل ۴ مشخص است، با افزایش ضریب پخش حاملین طول همبستگی کاهش پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، تغییرات میزان خودسری امواج خودسر مشاهده شده در لیزرهای نیمرسانای حاوی جاذب اشباع-پذیر بر حسب تغییرات ضریب پخش حاملین مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که میزان خودسری این امواج با افزایش ضریب پخش حاملین کاهش پیدا می‌کند. همچنین طول همبستگی نقاط صفحه‌ی خروجی نیز با افزایش ضریب پخش حاملین کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۴: (بالا) تغییرات تابع همبستگی مربوط به یک نقطه از صفحه‌ی عرضی خروجی به ازای سه مقدار متفاوت ضریب پخش حاملین. (پایین) بزرگنمایی شده‌ی شکل بالا. خط خط‌چین بنفش رنگ نمایانگر مقدار طول همبستگی است. مقادیر پارامتری همان مقادیر تعریف شده در جدول (۱) هستند و $r = 2.2$.

مرجع‌ها

[1] M. Shats, H. Punzmann, H. Xia; “Capillary Rogue Waves”, Phys. Rev. Lett, Vol. **104**, 104503, 2010.

[2] D. R. Solli, C. Ropers, P. Koonath, B, Jalali; “Optical Rogue Waves”,Nature (London), Vol. **450**, 1054, 2007.

[3] H. Bailung, S. K. Sharma, Y. Nakamura; “Observation of Peregrine Solitons in a multicomponent Plasma with negative ions”, Phys. Rev. Lett, Vol. **107**, 255005, 2011.

[4] M. Eslami, M. Khanmohammadi, R. Kheradmand, G. L. Oppo; “Optical Turbulence and transverse Rogue waves in a cavity with a Triple-Quantum-Dot molecules”,Physical Review A, Vol. **96** (3), 033836, 2017.

[5] K. Talouneh, C. Rimoldi, R. Kheradmand, G. Tissoni,M. Eslami,“Control of spatiotemporal rogue waves by harmonic pump modulation in a semiconductor laser with a saturable absorber”; Physical Review A, Vol. **102**, 033508, 202

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.