بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

تاثیر پروفایل زمانی پالس پمپ بر طیف سیگنال تقویت شده در OPCPA

سپیده غفاری، فاضل جهانگیری، غلامرضا محمدی، رضا مسعودی

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران

چکیده – تقویت پارامتری پالس‌های نوری چیرپ شده (OPCPA) را با در نظر گرفتن پروفایل زمانی برای پالس‌های برهمکنش‌کننده به طور عددی مورد مطالعه قرار داده و به بررسی تاثیر پروفایل زمانی پمپ بر پروفایل زمانی و طیفی سیگنال تقویت شده می‌پردازیم. همچنین وابستگی طیف سیگنال تقویت شده به طول موثر برهمکنش را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

کلید واژه- پروفایل زمانی، تقویت پارامتری، چیرپ، طیف، طول موثر

Influence of temporal profile of pump pulse on spectrum of amplified signal in OPCPA

Sepideh Ghaffari, Fazel Jahangiri, Gholamreza Mohammadi, Reza massudi

Laser and plasma research institute, Shahid Beheshti University, Evin, Tehran

Abstract- Optical parametric chirped pulse amplification (OPCPA) is numerically investigated by considering temporal profiles of interacting pulses. The effects of temporal profile of pump pulse on the spectrum of amplified signal are discussed and dependence of amplified signal's spectrum on crystal effective length is studied.

Keywords: chirp, effective length, parametric amplification, spectrum, temporal profile

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

مقدمه

پالس‌های لیزری پر شـــدت فوق کوتاه در کنار کاربردهای بســـیار متنوع، امکان مطالعات فیزیکی فراوانی را فراهم آورده‌اند که از جمله آنها بررســـی‌های غیرخطی در فیزیک اتمی، ملکولی و حالت جامد به منظور دســـترســـی به حالات کشف نشده‌ی ماده است [۱]. از جمله تکنیک‌های در حال گســـترش برای تولید پالس‌های لیزری فوق کوتاه پرانرژی، روش تقویت پارامتری پالس‌های نوری چیرپ شـــده[۱] اســـت. این تکنیک با ترکیب دو نوع روش تقویت پارامتری نوری (OPA[۲]) و تقویت پالس چیرپ شده (CPA[۳])، از مزایای هر دو روش به طور همزمان اســـتفاده می‌کند. تا به حال روش‌های تولید پالس‌های کم چرخه نوری چند میلی‌ژولی عمدتا مبتنی بر این تکنیک بوده است [۲]. همچنین افزایش دســـترســـی به لیزرهای پرشـــدت با کمک این تکنولوژی، استفاده از آن را در کاربردهایی نظیر مطالعات تفکیک زمانی بالا امکان‌پذیر کرده اســـت. از دیگر مزایای این روش می‌توان به پهنای باند بهره گسترده، بهره تک عبوربالا، بارگیری ناچیز حرارتی و بازدهی بالا اشاره کرد.

اما در کنار مزایای بیشـمار OPCPA ، پیچیدگی‌هایی در این روش تقویت وجود دارد که همزمانســـازی پالس‌های پمپ و سیگنال، پهن و فشرده کردن زمانی پالس سیگنال، شرایط دقیق تطابق فازی، ســـوپرفلوئورســـانس زمینه، باریکه پمپ پرتوان با طول پالس کوچک، پروفایل زمانی تمیز و کیفیت باریکه بالا، از جمله‌ی آن‌ها است [۱].

در این تکنیک، شـــکل دهی طیفی برای تقویت پالس‌های چیرپ شـــده از اهمیت زیادی برخوردار اســـت و مانع پدیده باریک شـــدگی در حین تقویت به‌ویژه در تقویت کننده‌های Ti:sapphire و Nd:glass می‌شـــود [۳]. در ســـال‌های اخیر تلاش های زیادی برای کنترل شـــکل طیفی خروجی در ســـیســـتم‌های OPCPA و CPA از طریق بهره اشـــباع‌پذیر، کنترل عدم تطابق فازی و ... مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ ولی به کارگیری این روش‌ها برای ســـیســـتم‌های لیزری مقیاس کوچک با پیچیدگی همراه اســـت [۴]. در این مقاله با شبیه‌سازی عددی فرایند OPCPA ، امکان کنترل شکل زمانی و طیفی سـیگنال خروجی توسـط شـکل زمانی پالس پمپ، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تحلیل عددی

طبق تئوری اولیه‌ی OPCPA، پدیده تقویت پارامتری نوری با فرض تقریب موج تخت و دامنه کند تغییر توســـط ســـه معادله کوپل شده زیر بیان می‌شود [۵]:

$$\frac{\partial A_s}{\partial z}+\frac{n_s}{c}\frac{\partial A_s}{\partial t}=\frac{-i\omega_s d_{eff}}{n_s c\cos^2\rho_s}A_i^* A_p e^{-i\Delta kz}$$
$$\frac{\partial A_i}{\partial z}+\frac{n_i}{c}\frac{\partial A_i}{\partial t}=\frac{-i\omega_i d_{eff}}{n_i c\cos^2\rho_i}A_s^* A_p e^{-i\Delta kz} \qquad (۱)$$
$$\frac{\partial A_p}{\partial z}+\frac{n_p}{c}\frac{\partial A_p}{\partial t}=\frac{-i\omega_p d_{eff}}{n_p c\cos^2\rho_p}A_s A_i e^{i\Delta kz}$$

که A_s ، A_i و A_p دامنه‌های میدان الکتریکی n_s ، n_i و n_p ضـرایب شـکسـت و ω_s ، ω_i و ω_p فرکانس‌های به ترتیب سـیگنال، ایدلر و پمپ هسـتند. همچنین c سـرعت نور در خلا، d_{eff} ضـریب غیرخطی موثر و Δk عدم تطابق فازی می‌باشـد. علاوه بر این ρ_s ، ρ_i و ρ_p به ترتیب زاویه بین سـیگنال و پمپ، ایدلر و پمپ و زاویه کنارگذر عرضـی پمپ می‌باشـند. تولید موج ایدلر برقرار ماندن بقای انرژی و تکانه موج پمپ در حین تقویت را تضـمین می‌کند. از آن‌جا که محیطی که فرایند غیرخطی در آن اتفاق می‌افتد برای امواج پمپ، سیگنال و ایدلر شفاف است می‌توان از جمله مربوط به افت میدان صرف‌نظر کرد.

میدان الکتریکی وابسته به زمان باریکه سیگنال و پمپ یک پالس سوپرگاوسی مرتبه n به صورت زیر فرض می‌شوند:

$$A_s(t)=A_{s0}e^{-2ln2(1+jb)\left(\frac{t}{\tau_s}\right)^n}e^{j\omega_s t}$$
$$A_p(t)=A_{p0}M(t)e^{-2ln2\left(\frac{t}{\tau_p}\right)^m}e^{j\omega_p t} \qquad (۲)$$

که در آن b پارامتر چیرپ خطی و τ_s و τ_p به ترتیب طول زمانی پالس سـیگنال و پمپ می‌باشـد. کمیت‌های m و n مراتب سـوپرگاوسـی برای پمپ و سـیگنال و $M(t)$ تابع مدولاسـیون زمانی پمپ را نشـان می‌دهد. از آن‌جا که پالس سـیگنال دارای چیرپ زمانی (در این‌جا خطی) می‌باشـد، فرکانس لحظه‌ای پالس سـیگنال با فرض پروفایل زمانی گاوسی، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\omega_s(t)=\frac{\partial\Phi}{\partial t}=\omega_s-4ln2\,b\frac{t}{\tau_s^2}$$

[۱] optical parametric chirped pulse amplification
[۲] optical parametric amplification
[3] chirped pulse amplification

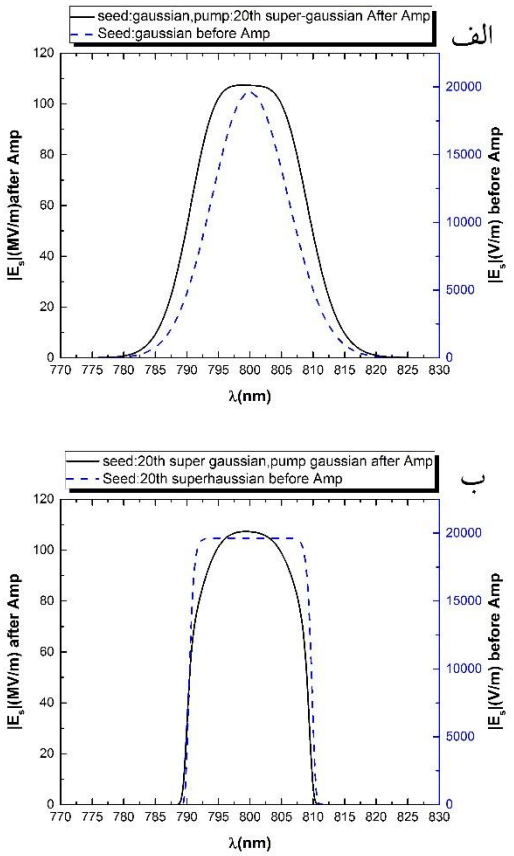
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

(۳)

که در آن Φ فاز تند تغییر میدان پالس می‌باشد. در این شبیه سازی، انرژی اولیه سیگنال و پمپ را به ترتیب برابر ۲ نانوژول و ۲۰۰ میلی‌ژول، زاویه غیرهمخط را برابر با $^{\circ}$۲,۳۹، زاویه تطابق فازی را $^{\circ}$۲۳,۸۴ و طول پالس سیگنال و پمپ را به ترتیب برابر ۱,۵ و ۵ نانو ثانیه فرض می‌کنیم. همچنین فرض می‌کنیم باریکه‌های سیگنال و پمپ با طول موج‌های به ترتیب ۸۰۰ و ۵۳۲ نانومتر در کریستال BBO با طول ۱۱,۳ میلی‌متر برهمکنش می‌کنند.

شکل ۱: پروفایل سیگنال قبل و بعد از فرایند تقویت برای حالتی که در آن از پروفایل سوپرگاوسی مرتبه بیستم برای پالس پمپ و گاوسی برای



پالس سیگنال (الف) و برعکس (ب) استفاده شده است.

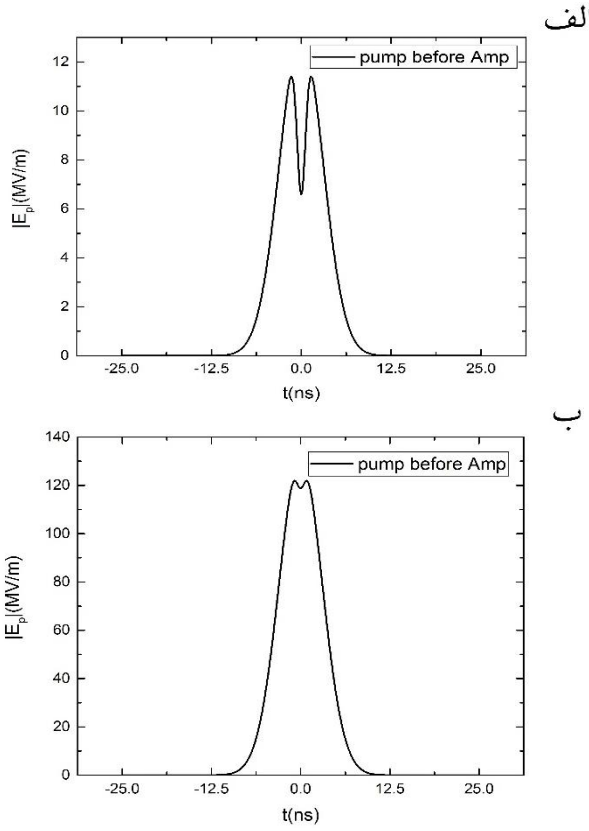
با در نظر گرفتن پروفایل زمانی گاو سی سوپرگاو سی مرتبه بیستم برای پالس‌های پمپ و سیگنال به بررسی نقش پروفایل زمانی بر فرایند تقویت می‌پردازیم. پارامتر $M(t)$ را در این مرحله برابر یک قرار می‌دهیم. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، پروفایل سیگنال تقویت شده بیشتر متمایل به پروفایل پالس پمپ مورد استفاده می‌باشد، که با آنچه از تئوری برهمکنش انتظار می‌رود همخوانی دارد. این تابعیت می‌تواند در انتخاب نوع پروفایل اولیه پمپ برای نزدیک شدن به پروفایل دلخواه برای سیگنال، دارای اهمیت باشد.

به منظور بررسی دقیق‌تر میزان تاثیرپذیری پروفایل سیگنال از پروفایل پمپ، به اعمال تغییرات دلخواه در پروفایل پمپ می‌پردازیم. این کار را با فرض $M(t)$ به صورت:

$$M(t)=\left(1+ae^{-b2ln2\left(\frac{t}{\tau_p}-c\right)^2}e^{2ln2\left(\frac{t}{\tau_p}\right)^2}\right) \quad (۴)$$

و سپس تغییر پارامترهای a ، b و c انجام می‌دهیم. تغییر این پارامترها می‌تواند به ظهور دره و قله‌هایی مطابق شکل (۲) در پروفایل پمپ منجر شود. انتظار می‌رود که اعمال تغییر در پروفایل پمپ به تغییر در پروفایل زمانی سیگنال خروجی و به دلیل چیرپ بودن پالس سیگنال، به تغییر در طیف سیگنال تقویت شده منجر شود. لذا این روش امکان کوک‌پذیری پالس سیگنال روی طول موج مورد نظر را فراهم می‌آورد.

شکل ۲: پروفایل زمانی میدان پمپ الف) با اعمال دره عمیق در پروفایل گاوسی ب) با اعمال دره کم عمق در پروفایل گاوسی



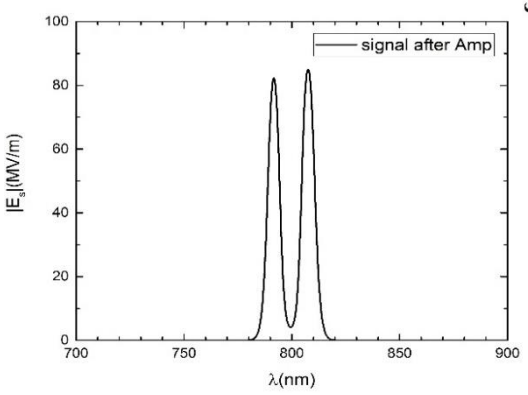
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

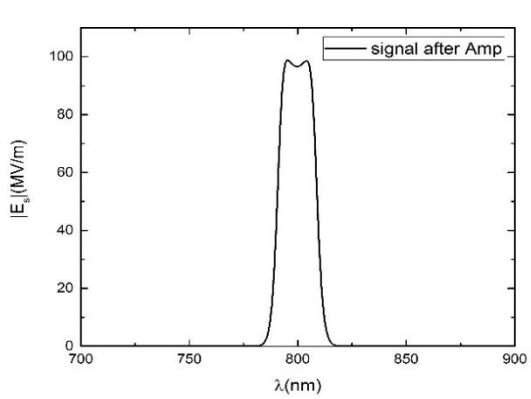
شکل (۳) تغییرات میدان سیگنال تقویت شده را به ازای پروفایل پمپ نشان داده شده در شکل (۲) ارائه می‌دهد. در حالت (الف) سیگنال با پمپی که در آن دره عمیقی ایجاد شده تقویت گردیده است، حال آنکه در نمودار (ب) سیگنال با پمپی با دره کم عمق، تقویت شده‌است. تغییر پروفایل پمپ به وضوح در شکل قابل مشاهده است. بنابراین با مدولاسیون پروفایل پمپ، می‌توان به بیشینه بهره در طول موج‌هایی غیر از طول موج مرکزی دست یافت.

شکل ۳: طیف میدان سیگنال تقویت شده در اثر تغییر اعمال شده در

الف



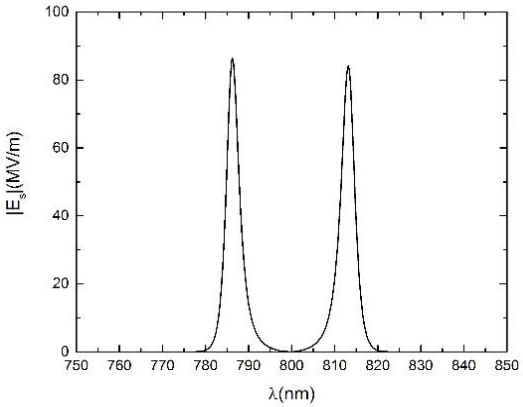
ب



پروفایل پمپ (مطابق شکل (۲))، به ازای الف)پمپ با دره عمیق ب) پمپ با دره کم عمق .

در راستای تغییر طیف سیگنال پس از تقویت، به بررسی طیف سیگنال به ازای طول هایی بیشتر از طول موثر می‌پردازیم. طول موثر طولی است که به ازای آن بیشینه تقویت برای سیگنال و در طول‌های بزرگ‌تر از آن پدیده تبدیل به عقب صورت می‌گیرد.

شکل (۴) تغییرات میدان سیگنال نسبت به طول موج را به ازای طول بیشتر از طول موثر کریستال که پدیده تبدیل به عقب (تبدیل سیگنال و ایدلر به پمپ) صورت گرفته است، نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می شود در طول‌هایی بیشتر از طول موثر کریستال، پروفایل سیگنال تغییر می‌کند. دلیل این تغییر، تغییر همپوشانی پالس های برهمکنش کننده در طول‌های بزرگ‌تر از طول موثر کریستال می‌باشد که به تقویت طول موج‌های غیر از طول موج مرکزی منجر می‌شود.



شکل ۴: طیف سیگنال به ازای طول بزرگتر از طول موثر

نتیجه‌گیری

با حل عددی معادلات کوپل شده OPCPA با در نظر گرفتن پروفایل زمانی برای پالس‌ها مشاهده نمودیم پروفایل زمانی و همین‌طور طیف سیگنال تقویت شده شدیداً از پروفایل زمانی پالس پمپ تبعیت می‌کند. این وابستگی امکان دستیابی به طیف خروجی دلخواه با کنترل پروفایل پمپ را فراهم می‌آورد. همچنین نشان داده شد تنها به ازای طول های کمتر از طول موثر تقویت منجر به بازه طیفی درست می‌شود.

مراجع

[1] M. D. Perry, and G. Mourou, Terawatt to petawatt subpicosecond lasers, *Science* ***264***, 917 (1994).

[2] D. Herrmann, L. Veisz, R. Tautz, F. Tavella, K. Schmid, V. Pervak, and F. Krausz, Generation of sub-three-cycle, 16 TW light pulses by using noncollinear optical parametric chirped-pulse amplification, *Optics letters* ***34,*** 2459 (2009).

[3] H. Cao, X. Lu, and D. Fan, Numerical simulation of gain narrowing control by hybrid amplifiers chain based on Ti: sapphire and Ti: chrysoberyl. *Optics Communications* ***284***, 1622 (2011).

[4] X. Lu, C. Li, Y. Leng, C. Wang, C. Zhang, X. Liang, R. Li, and Z. Xu, Birefringent plate design for broadband spectral shaping in a Ti: sapphire regenerative amplifier, *Chinese optics letters* ***5***, 493 (2007).

[5] J. Wen, X. Zeng, S. Zhou, Y. Zuo, and K. Zhou, Spectral shaping of the amplified signal in optical parametric chirped pulse amplification, *XX International Symposium on High Power Laser Systems and Applications* (pp. 925514-925514) (2015).

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]