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

# جذب دوفوتونی تپ‌های فمتوثانیه در LED و ساخت خودهمبسته‌ساز بر مبنای TPA (Two Photon Absorption)

صدیقه ملک‌محمدی[۱]، مهدی موسوی[۱] ، الهام نقدی[۱] ، بهاره یحیای[۱]، علی بیاری[۱] ، معین آجودانیان[۱]، علی شیری[۱]، علیرضا مجتبی[۱]

[۱]پژوهشکده لیزر اصفهان

**چکیده – در این پژوهش فرایند جذب دوفوتونی، که یک فرایند غیرخطی متناسب با درجه دوم شدت لیزر است، درون *LED*های نورگسیل معمولی نارنجی و قرمز رنگ به طور تجربی بررسی شده است. وابستگی درجه دو جریان *LED* برحسب شدت لیزر بدست آمد. بر مبنای این فرایند، یک خود همبسته ساز مرتبه دو تداخلی ساخته شده است که پهنای زمانی تپ‌های فوق کوتاه ۳۰ فمتوثانیه لیزر تیتانیوم سفایر را با دقت بالایی اندازه‌گیری می‌کند.**

کلید واژه- خودهمبسته‌ساز تداخلی، جذب دوفوتونی.

# Two photon Absorption of femtosecond pulses in the LEDs and Manufacturing of an Autocorrelator Based on TPA (Two Photon Absorption)

S. Malekmohamadi 1, M. Mousavi 1, E. Naghdi 1, B. Yahyaei 1, Ali Bayari 1, Moin Ajoodanian 1, Ali Shiri 1, Alireza Mojtaba 1

1 Laser Research Institute of Isfahan

Abstract- Two Photon Absorption (TPA) of femto-second pulses in the red and amber LEDs has been investigated experimentally. Quadratic variation of the LED current with respect to the laser intensity has been observed. Finally, the pulse duration of the 30 fs Ti:Sapphire laser has been measured with construction of a second-order autocorrelator based on TPA in the LED.

Keywords: Interferometric Autocorrelator, Two Photon Absorption.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31 ]



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

## ۱- مقدمه

خود همبسته ساز ابزاری ضروری برای اندازه‌گیری پهنای زمانی لیزرهای فوق‌کوتاه است. پاسخ زمانی سریعترین آشکارسازها تنها در حد چند پیکوثانیه است بنابر این توانایی اندازه‌گیری تپ‌های در حد چند فمتوثانیه را ندارند. از این‌رو در کنار هر لیزر فمتوثانیه به یک ابزار مناسب جهت اندازه-گیری پهنای تپ لیزر نیاز است. خود همبسته ساز رایج‌ترین ابزار بررسی پهنای زمانی تپ‌های فوق کوتاه است و انواع گوناگونی دارد [۳-۱]. از میان آن‌ها، خود همبسته ساز تداخلی به دلیل داشتن نسبت سیگنال به پس زمینه بزرگ و قابلیت تشخیص چرپ بودن تپ لیزری اهمیت بیشتری دارد. در این پژوهش چیدمان آزمایشگاهی یک خود همبسته ساز تداخلی بر مبنای فرایند غیر خطی جذب دو فوتونی درون LEDهای نورگسیل (Light Emitted Diode) برپا شده است و پهنای زمانی لیزر فمتوثانیه در طول موج ۸۰۰ نانومتر با دقت مناسبی اندازه‌گیری شده است. برتری این روش نسبت به روش‌های دیگر این است که می‌توان پهنای تپ لیزرهای فوق‌کوتاه را بدون نیاز به انرژی بالای لیزر با دقت بالا و مستقل از قطبش نور لیزر اندازه‌گیری کرد. با این روش می‌توان یک خودهمبسته‌ساز کوچکتر و ارزان‌تر با دقت مناسب ایجاد کرد.

## ۲- جذب دوفوتونی در LED

اگر یک LED در بایاس وارون قرار بگیرد می تواند همانند یک فوتودیود عمل کرده و جریان تولید کند. LEDها ذاتا برای گسیل نور طراحی شده‌اند بنابراین وقتی که در معرض نور لیزر قرار می‌گیرد نمی‌توان از آن تولید جریان قابل ملاحظه ای را انتظار داشت. یک LED می‌تواند همانند یک فوتودیود در شدت های بالای لیزری جذب دو فوتونی انجام دهد. یعنی الکترون در تراز ظرفیت دو فوتون را به طور تقریبا همزمان جذب کرده و به تراز رسانش گذار انجام می دهد. مجموع انرژی دو فوتون باید از انرژی گاف نیم رسانا بزرگتر باشد. آهنگ گذار اتمی، R، که از TPA ناشی می شود بصورت زیر بیان می شود[۲]:

$$R = \frac{\sigma I}{\hbar \omega} \qquad (۱)$$

که σ سطح مقطع جذب دوفوتونی است که فرایند را بر حسب $photon\ cm^2\ s^{-1}$ توصیف میکند و I شدت لیزر است.

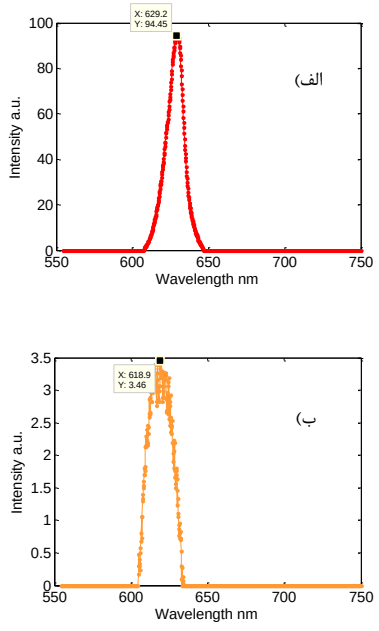
سطح مقطع جذب دوفوتونی به شدت بستگی دارد[۲]:

$$\sigma = \beta I \qquad (۲)$$

که β به عنوان ضریب TPA، قدرت این فرایند غیرخطی را نشان می دهد. از ترکیب دو رابطه قبل می توان فهمید که آهنگ گذار اتمی وابستگی مرتبه دو نسبت به شدت لیزر دارد[۲]:

$$R = \beta I^2 / \hbar w \qquad (۳)$$

چون سیگنال اتوکرلیتور تداخلی متناسب با درجه دو شدت نور فرودی است، بنابراین یک LED می‌تواند آشکارساز مناسب برای ثبت سیگنال خود همبسته ساز تداخلی باشد. برای داشتن جذب دوفوتونی مناسب در طول موج ۷۸۰نانومتر به LED هایی نیاز است که پیک گسیلی یا جذبی تک فوتونی آنها از ۳۹۰ نانومتر بزرگتر و از ۷۸۰ نانومتر کمتر باشد. طیف گسیلی دو LED مناسب در شکل ۱ نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود حساسیت این LEDها در گستره‌ای قرار دارد که امکان جذب تک فوتونی برای نور ۸۰۰ نانومتر لیزر Ti:sapphire وجود ندارد.




شکل ۱: طیف گسیلی دو LED الف) قرمز، ب) نارنجی

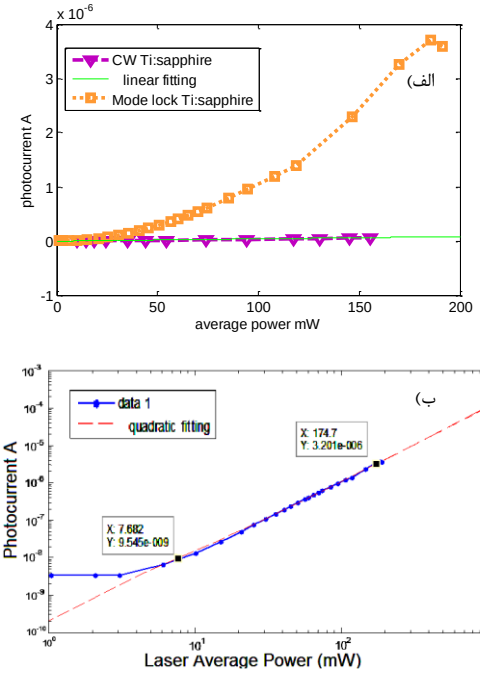
برای بررسی پاسخ غیرخطی LEDهای گوناگون، شدت نور فرودی توسط یک کاهنده پرتوی فلزی تغییر داده شد و فوتوجریان تولید شده توسط یک توان متر دقیق محاسبه شد. این کاهنده از یک قطعه اپتیکی تشکیل شده است که بر روی آن با استفاده از فلز یک لایه نشانی متغیر انجام شده است به



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

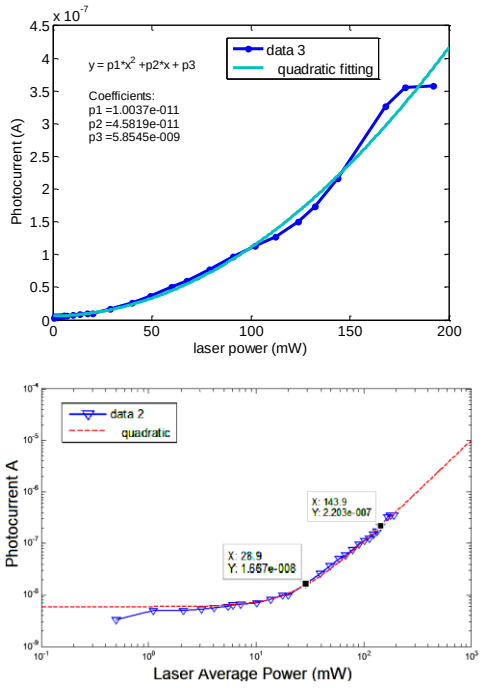
[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31 ]

نحوی که با تغییر درجه کاهنده میزان عبور نور لیزر از آن قابل تنظیم است. چون شدت جریان بدست آمده در فرایند TPA به شدت نور فرودی بستگی دارد بنابراین انتخاب یک سامانه کانونی کننده مناسب ضروریست. باید قطر لکه را روی آشکارساز تا حد امکان کاهش دهیم. بنابراین از یک آینه سهموی با کانون موثر ۲۵ میلی متر توانستیم قطر لکه ۲۰۰ میکرومتر را بدون هیچ‌گونه اثر پاشندگی روی LED ایجاد کنیم. این آزمایشات برای هر دو حالت CW و لیزر قفل شده مدی انجام شده است. همانگونه که از نمودار ۲ دیده می‌شود پاسخ غیرخطی در حالت تپی بسیار بزرگتر است. این ناشی از شدت پیک بالاتر و در نتیجه بازده جذب دوفوتونی بالاتر در حالت تپی است. LED با طول موج مرکزی ۶۱۸ nm به رنگ عنابی دارای پاسخ غیرخطی بالاتر است.




شکل ۲: الف) نمودار تغییرات فوتوجریان بر حسب توان میانگین لیزر در دو حالت قفل مدی و پیوسته برای LEDنارنجی ب)نمودار لگاریتمی برای نمایش تفییرات درجه دو فوتوجریان

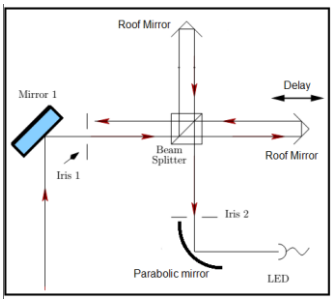
برای LED عنابی رنگ، از توان میانگین بزرگتر از ۸ میلی وات وابستگی درجه دو فوتوجریان آغاز می شود. برای توانهای بالاتر از ۱۸۵ میلی وات فوتوجریان LED به اشباع می رسد. بنابر این در محدوده بین ۸ تا ۱۸۰ میلی وات از لیزر قفل مدی با آهنگ تکرار ۱۰۰ مگاهرتز و پهنای تپ ۳۰ فمتوثانیه می‌توان از جذب دوفوتونی LED برای آشکارسازی سیگنال خودهمبسته ساز استفاده کرد.




شکل۳: الف) نمودار تغییرات فوتوجریان بر حسب توان میانگین لیزر در حالت قفل مدی برای LED قرمز ب)نمودار لگاریتمی برای نمایش تفییرات درجه دو فوتوجریان

## ۳- چیدمان اتوکرلیتور تداخلی بر مبنای TPA

شکل ۴ طرح کلی چیدمان خود همبسته ساز تداخلی طراحی شده را نشان می دهد. همانگونه که دیده می شود در این چیدمان در هر بازوی تداخل سنج از آینه فلزی روف که سطح بارتابنده آنها با نقره لایه‌نشانی شده است استفاده کرده‌ایم. این آینه از دو صفحه کاملا عمود تشکیل شده است و باعث می-شود که نور را موازی با خود ولی در راستای دیگر بازتاب دهد. لازم به ذکر است که این چیدمان بر اساس امکانات موجود در آزمایشگاه برپا شده است. در چیدمان و طرح اصلی تا جایی که ممکن است باید از تعداد ادوات اپتیکی که اثرات پاشندگی دارند کاست. با هم خط سازی دقیق و تغییر یکی از بازوها توسط موتور پله ای با سرعت پایین توانستیم فریزهای تداخلی را در حالتی که لیزر قفل مدی شده بود بدست آوریم.

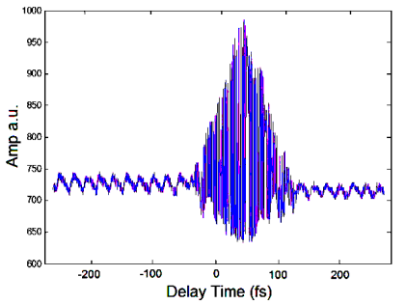





این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31 ]

شکل ۴: الگوی چیدمان اتوکرلیتور تداخلی بر مبنای TPA درون LED




شکل۵. سیگنال خودهمبستگی آشکار شده توسط فرایند جذب دوفوتونی درون LED بر حسب تاخیر زمانی یکی از بازوها

برای اندازه گیری پهنای تپ لیزر با استفاده از سیگنال خود همبسته ساز باید FWHM پوش بالایی را بدست آورده و با استفاده از رابطه $\tau_{ac}/\tau_{pulse}=1.41$ با فرض شکل تپ گاوسی و $\tau_{ac}/\tau_{pulse}=1.54$ برای تپ $\mathrm{sech}^2$ می‌توان پهنای تپ لیزر را محاسبه کرد [۶]. FWHM سیگنال خودهمبستگی بر حسب تاخیر زمانی برابر ۶۵fs محاسبه شد. با فرض گاوسی بودن شکل پالس، پهنای تپ لیزر محاسبه شده به این روش برابر ۴۶ fs و بافرض $\mathrm{sech}^2$ برابر ۴۲ fs است. بیشتر المان‌های اپتیکی دارای اثری به نام پاشندگی سرعت گروه ( GVD: Group Velocity Dispersion) هستند. این اثر منجر به پهن شدن تپ لیزر فوق‌کوتاه می شود. بنابراین تصحیحات لازم در اندازه‌گیری تپ لیزر ناشی از این اثر باید انجام شود. میزان پهن‌شدگی تپ لیزری در اثر عبور از المان‌های گوناگون در بیشتر مراجع مورد بررسی قرار گرفته است [۵و ۴].

جدول ۱: میزان پهن‌شدگی تپ لیزر ۳۰ فمتوثانیه برای سه نوع ماده گوناگون

| Material | Spread(fs/cm) |
|---|---|
| BK7 | 5.1 |
| SF11 | 10.86 |
| Fused silica | 4.86 |

با استفاده از جدول بالا میزان پهن‌شدگی تپ لیزر برای شکافنده پرتو با ضخامت ۲ سانتیمتر و طول انتشار ۳سانتیمتر برای نور و جنس BK7 برای پهنای تپ اولیه ۳۰ فمتوثانیه برابر ۱۵ فمتوثانیه محاسبه می شود. با این محاسبات میزان پهنای تپ لیزر برابر ۳۱ فمتوثانیه با فرض تپ گاوسی و ۲۷ فمتوثانیه با فرض تپ $\mathrm{sech}^2$ بدست می‌آید.

## ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله فرایند غیرخطی جذب دوفوتونی در LED ها مورد بررسی قرار گرفته است. برای لیزر تیتانیوم سفایر ۳۰فمتوثانیه، LED نارنجی رنگ دارای پاسخ جذب دوفوتونی قوی‌تری است. با استفاده از این LED یک سامانه اتوکرلیتور تداخلی ساخته شد که دارای سیگنال خودهمبسته تداخلی قوی‌تر با نسبت سیگنال به پس زمینه بزرگتر نسبت به استفاده از بلور SHG و آشکارساز PMT است که در مقاله پیشین ارایه داده بودیم. با استفاده از فرایند جذب دوفوتونی بدون نیاز به هیچگونه کنترل قطبش نور و جورشدگی فاز و با هزینه بسیار کمتر می‌توان پهنای تپ لیزرهای فوق کوتاه را تخمین زد.

## مراجع


[1] Jens Möhring, Tiago Buckup, C. Stefan Lehmann, and Marcus Motzkus, “Generation of phase-controlled ultraviolet pulses and characterization by a simple autocorrelator setup”, JOSA B, Vol. 26, Issue 8, pp. 1538-1544, 2009.

[2] D. T. Reid, M. Padgett, C. McGowan, W. E. Sleat, and W. Sibbett,“Light-emitting diodes as measurement devices for femtosecond laser pulses,” Opt. Let. Vol. 22, pp. 233–235, 1997.

[3] Jung-Ho Chung and Andrew M. Weiner,"Coherent Control of Two-Photon-Induced Photocurrents in Semiconductors With Frequency-Dependent Response", IEEE JSTQE, Vol. 12, pp. 297-306, 2006.

[4] K. Jinendra et all., "Autocorrelation measurement of 6-fs pulses based on the two-photon-induced photocurrent in a GaAsP photodiode", Opt. Let. Vol. 22, pp.1344-1346, 1997.

[۵] ص. ملک محمدی و همکاران، " طراحی و ساخت اتوکرلیتور تداخلی فمتوثانیه به روش تولید هماهنگ دوم"، ۲۲امین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران، دانشگاه یزد، یزد، ۱۳۹۴.

[6] C. Rulli`ere, *Femtosecond laser pulses: principles and experiments*, P. 300, New York: Springer Science Business Media, 2005.




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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31 ]