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

بررسی و ساخت لیزر تیتانیوم سفایر پالسی نانوثانیه با پهنای طیفی کمتر از ۱ آنگستروم

عباس باقری یزدآبادی، مجید ناظری

دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان

چکیده – در این مقاله ساخت لیزر تیتانیوم سفایر پالسی کوک پذیر با پهنای طیفی کم مورد بررسی قرار گرفته است. چیدمان‌های مختلفی به عنوان کاواک لیزر به کار رفته که در آن از منشور و اتالون به عنوان المان انتخابگر طول موج در پیکربندی‌های متفاوتی استفاده شده است. بلور تیتانیوم سفایر به صورت طولی توسط یک لیزر *Nd:YAG* هماهنگ دوم *Q*-سوئیچ با نرخ تکرار ۱۰*Hz* پمپ می‌شود. نتایج تجربی حاصل از چیدمان‌های مختلف این لیزر گزارش، و این نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. پهنای طیفی کاواک‌های مختلف لیزر مورد بررسی قرار گرفته است که با استفاده از چیدمان درون کاواکی دو منشوری با یک اتالون پهنای طیفی تا ۰/۰۷*nm* کاهش می‌یابد. این لیزر همچنین با استفاده از منشور و چرخش آینه خروجی بیش از ۱۴۰*nm* قابلیت کوک پذیری دارد.

کلید واژه- اتالون، بیرون کاواکی، درون کاواکی، لیزر Nd:YAG، منشور

Study and Fabrication of Nanosecond Pulsed Ti: Sapphire Laser with Less Than 1 Angstrom Spectral Linewidth

Abbas Bagheri Yazdabadi, Majid Nazeri

Faculty of Physics, University of Kashan, Kashan

Abstract- In this paper, the fabrication of tunable pulsed Ti: sapphire laser with narrow spectral linewidth has been studied. Different setups have used as laser cavity in which prism and etalon have used as wavelength selector in different configurations. Ti: sapphire crystal has longitudinally pumped by a second harmonics Q-switched Nd: YAG laser with 10 Hz repetition rate. Experimental results obtained from different setups of this laser have reported and these results have compared with each other. Spectral linewidth of different laser cavities has studied which by using a dual prism, internal cavity setup with one etalon, spectral linewidth will reduce down to 0.07nm. This laser using prism and rotating output mirror has the capability of 140nm tuning too.

Keywords: Etalon, External Cavity, Internal Cavity, Nd: YAG laser, Prism

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

۱- مقدمه

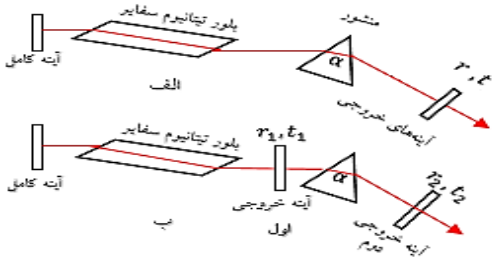
لیزر تیتانیوم سفایر از جمله لیزرهای حالت جامد است که محیط بهره آن بلور سفایر (Al_2O_3) با ناخالصی یون تیتانیوم(Ti^{3+}) می‌باشد. بلور سفایر به دلیل ویژگی‌های اپتیکی، مکانیکی و حرارتی خوبی که دارد بسیار مورد توجه قرار گرفته و امکان ساخت لیزرهای توان بالا را فراهم می-آورد[۱]. لیزر تیتانیوم سفایر پهن‌ترین ناحیه طیفی را در بین لیزرها دارد. علت این پهنای طیفی وسیع، به جفت شدگی بین ترازهای الکترونی یون تیتانیوم و ترازهای فونونی بلور سفایر برمی‌گردد که امکان ساخت لیزر کوک پذیر در محدوده طول موجی ۶۶۰-۱۱۰۰nm را فراهم می‌کند[۲]. پایداری نسبتاً بالای محیط بهره، این لیزر را تبدیل به جایگزین مناسبی برای لیزر رنگ در محدوده طیفی خود کرده است. لیزر تیتانیوم سفایر کوک پذیر کاربرد فراوانی دارد که به استفاده در سیستم لیدار، طیف سنجی و پمپ نوسانگرهای پارامتری اپتیکی(OPO) تنظیم پذیر می‌توان اشاره کرد[۳].

در این مقاله پهنای طیفی لیزر تیتانیوم سفایر با پمپ پالسی به صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. چیدمان‌های مختلفی (تک منشوری، دو منشوری، دو منشوری با اتالون) برای کوک پذیری این لیزر به کار رفته و ویژگی‌های هر چیدمان به خصوص پهنای طیفی آن‌ها گزارش شده است. پهنای طیفی بدست آمده از این چیدمان‌ها به زیر ۰/۱nm نیز می‌رسد که کمتر از پهنای طیفی حاصل از چیدمان توری پراشنده در مرجع [۴] است. نتایج تجربی بدست آمده از چیدمان‌ها مقایسه شده تا بتوان بسته به کاربرد لیزر از چیدمان مناسبی استفاده کرد.

۲- معرفی چیدمان‌های درون کاواکی و بیرون کاواکی برای لیزر تیتانیوم سفایر پالسی

برای ساخت این لیزر از منشور به عنوان المان انتخابگر طول موج درون کاواک لیزر تیتانیوم سفایر پالسی استفاده شده است. چیدمان‌های استفاده شده برای این لیزر به دو دسته کلی درون کاواکی و بیرون کاواکی تقسیم می‌شود. در چیدمان درون کاواکی، المان انتخابگر طول موج در درون رزوناتور لیزر قرار می‌گیرد. در چیدمان بیرون کاواکی المان انتخابگر طول موج از رزوناتور لیزر توسط یک آینه بازتاب جزئی جدا شده است (شکل۱). در چیدمان بیرون کاواکی پرتو لیزر درون رزوناتور تقویت می‌شود و قسمت انتخابگر طول موج، نقش انتخاب کننده طول موج مورد نظر و تزریق آن به درون رزوناتور را دارد.

فرض می‌کنیم درصد اتلاف تک عبور منشور α و ضریب عبور کل کاواک در هر دو چیدمان یکسان باشد. اگر پرتویی با شدت I_0 از بلور تیتانیوم سفایر به قسمت انتخابگر طول موج هر دو چیدمان وارد شود آنگاه درصد اتلاف کل منشور در چیدمان بیرون کاواکی کمتر از چیدمان درون کاواکی است[۵]. کاهش اتلاف کل کاواک منجر به کمتر شدن انرژی پمپ آستانه لیزر می‌شود و در نتیجه بازده لیزر افزایش خواهد یافت. علاوه بر منشور برای کمتر شدن پهنای طیفی لیزر، می‌توان از اتالون یا منشورهای بیشتری استفاده کرد که هر یک اتلاف جدیدی را به کاواک لیزر اضافه می‌کند و اهمیت چیدمان بیرون کاواکی بیشتر خواهد شد.



شکل۱: کاواک لیزر تیتانیوم سفایر: الف) چیدمان درون کاواکی ب) چیدمان بیرون کاواکی

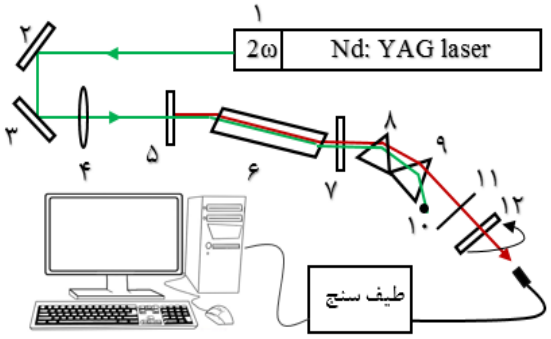
۳- چیدمان‌های تجربی استفاده شده در لیزر پالسی کوک پذیر تیتانیوم سفایر

شکل۲ چیدمان تجربی بیرون کاواکی دو منشوری استفاده شده برای این لیزر را نشان می‌دهد. بلور تیتانیوم سفایر استفاده شده در این لیزر دارای برش بروستر است و میزان جذب آن در طول موج و انرژی پمپ مورد نظر بیش از ٪۹۰ می‌باشد. پمپ این بلور توسط یک لیزر Nd:YAG هماهنگ دوم Q-سوئیچ با قطبش p و نرخ تکرار ۱۰Hz و پالس‌هایی با

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

پهنای زمانی ۵ns انجام می‌شود. پالس پمپ توسط یک لنز (۴) با فاصله کانونی۵۰cm که در فاصله ۳۰cm از بلور قرار گرفته است روی بلور متمرکز می شود. آینه (۵) یک آینه دو رنگ است که طول موج ۵۳۲nm را کاملاً عبور می‌دهد و بازتاب کامل برای محدوده ۸۵۰nm-۷۵۰ دارد. المان(۷) آینه خروجی ٪۵۰ عبور در محدوده ۸۵۰nm-۷۵۰ و زاویه فرود صفر درجه است. المان‌های (۸و۹) منشور هستند که نقش انتخابگر طول موج را دارند و (۱۲) آینه خروجی دوم لیزر با ضریب بازتاب ٪۸۰ می‌باشد. با تغییر زاویه آینه خروجی دوم می‌توان طول موج خروجی لیزر را تغییر داد.



شکل۲: چیدمان اپتیکی بیرون کاواکی دو منشوری برای لیزر تیتانیوم سفایر. ۱: لیزر Nd:YAG پالسی هماهنگ دوم، ۲و۳: آینه بازتاب کامل در زاویه ۴۵ درجه در طول موج ۵۳۲nm، ۴: لنز، ۵: آینه دو رنگ، ۶: بلور تیتانیوم سفایر برش بروستر، ۷و۱۲: آینه‌های خروجی، ۸و۹: منشور، ۱۰: متوقف کننده پمپ عبور کرده از بلور ۱۱: محل قرار گیری اتالون

در چیدمان درون کاواکی، آینه خروجی اول (المان۷) بعد از اتالون و قبل از آینه خروجی دوم قرار می‌گیرد(بین المان‌های ۱۱ و ۱۲) تا ضریب بازتاب کل دو آینه ۷ و ۱۲پشت سر هم، برابر با ضریب بازتاب کل چیدمان بیرون کاواکی باشد. در هر دو چیدمان درون کاواکی و بیرون کاواکی می‌توان بعد از منشورها و قبل از آینه خروجی دوم (۱۲) از یک یا چند اتالون استفاده کرد.

۴- نتایج تجربی چیدمان‌های مختلف و مقایسه آنها

چیدمان‌های اپتیکی معرفی شده برای کوک پذیری لیزر تیتانیوم سفایر پالسی به صورت تجربی بررسی شد. چیدمان تک منشوری و دو منشوری در دو حالت درون کاواکی و بیرون کاواکی برپا شده است. برای رسیدن به پهنای طیفی کم لازم است از اتالون نیز درون کاواک لیزر استفاده شود. بدین منظور در چیدمان‌های دو منشوری درون کاواکی و بیرون کاواکی، از اتالونی با ضخامت µ۱۷۰m و ضریب شکست ۱/۵ استفاده می‌شود. انرژی پمپ آستانه، انرژی خروجی لیزر به ازای انرژی پمپ ۱۵mj، پهنای طیفی، پهنای زمانی و تاخیر زمانی تولید پالس برای هر چیدمان در جدول۱ آورده شده است. طول کاواک برای همه چیدمان‌ها تقریباً یکسان و برابر ۴۰cm، طول بلور ۱/۵cm و طول موج خروجی ۷۸۰nm است. انرژی‌سنج استفاده شده قادر به ثبت پالس با انرژی بیش از ۰/۷mj می‌باشد و پهنای طیفی چیدمان‌ها توسط طیف سنجی با قدرت تفکیک ۰/۰۴nm اندازه گیری شده است. با تغییر زاویه آینه خروجی دوم می-توان طول موج خروجی را تغییر داد و بازه کوک پذیری بیش از ۱۴۰nm اندازه گیری شد.

با توجه به مقادیر جدول۱ مشاهده می‌شود که انرژی پالس خروجی و بازدهی در چیدمان بیرون کاواکی بیشتر از چیدمان درون کاواکی است. علت این اختلاف به کمتر بودن اتلاف چیدمان بیرون کاواکی نسبت به چیدمان درون کاواکی برمی‌گردد که منجر به کاهش انرژی پمپ آستانه شده و بازدهی را افزایش می‌دهد. همچنین با کاهش اتلاف کاواک، شاهد کاهش پهنای زمانی پالس و تاخیر زمانی تولید آن هستیم. چیدمان بیرون کاواکی

جدول ۱: مقادیر اندازه‌گیری شده برای چیدمان‌های مختلف لیزر تیتانیوم سفایر تنظیم پذیر پالسی در انرژی پمپ ۱۵mj

نوع چیدمان	المان اانتخابگر طول موج	انرژی پمپ آستانه لیزر(mj)	انرژی خروجی لیزر(mj)	بازدهی (٪)	پهنای طیفی پالس خروجی(nm)	پهنای زمانی پالس لیزر(ns)	تاخیر زمانی تولید پالس لیزر(ns)
درون کاواکی	تک منشوری	۵	۱/۳	۸/۷	۰/۹	۸۴	۳۸۰
	دو منشوری	۱۰	<۰/۷	-	۰/۳۳	۱۵۰	۷۵۰
	دو منشوری با یک اتالون	۱۳	<۰/۷	-	۰/۰۷	۱۶۰	۷۷۰
	تک منشوری	۳	۱/۸	۱۲	۱/۱	۶۸	۲۴۸

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

بیرون کاواکی	دو منشوری	۴	۱/۵	۱۰	۰/۹	۴۴	۱۶۸
	دو منشوری با یک اتالون	۴/۲	۱/۲	۸	۰/۱	۴۸	۲۰۸
	دو منشوری با دو اتالون	۵	۰/۹	۶	۰/۰۸	۵۲	۲۴۰

چینش آسانتری نسبت به چیدمان درون کاواکی دارد زیرا در این چیدمان می‌توان به صورت مرحله‌ای ابتدا لیزر را راه اندازی کرد و سپس المان‌های انتخابگر طول موج را به آن افزود. مزیت دیگر، بیشتر بودن پایداری این چیدمان نسبت به چیدمان درون کاواکی است که این مسأله ساخت و استفاده از لیزر را تا حد زیادی آسان می‌کند. مزیت مهم چیدمان درون کاواکی نسبت به چیدمان بیرون کاواکی پهنای طیفی کمتر این چیدمان است که مربوط به بازتاب بیشتر طول موج انتخابی به درون محیط فعال لیزر است.

در چیدمان دو منشوری اگرچه اتلاف رزوناتور بیشتر شده و منجر به افزایش پمپ آستانه و کاهش بازدهی می‌شود اما پاشندگی پرتو لیزر افزایش می‌یابد که باعث کم شدن پهنای طیفی این چیدمان شده است. استفاده از اتالون در چیدمان-های دو منشوری دستیابی به پهنای طیفی کم را ممکن می-سازد که پهنای طیفی پالس خروجی تابع زاویه اتالون خواهد بود. داده‌های جدول۱ مربوط به زاویه صفر درجه اتالون است که کمترین پهنای طیفی را دارد. در چیدمان دو منشوری درون کاواکی انرژی پالس خروجی برای پمپ ۱۵mj با انرژی‌سنج موجود قابل اندازه‌گیری نبود. از طرفی به دلیل افزایش بیش از حد اتلاف کاواک امکان استفاده از اتالون دوم درون این چیدمان وجود ندارد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله ساخت لیزر تیتانیوم سفایر پالسی کوک پذیر با دو چیدمان منشوری درون کاواکی و بیرون کاواکی بررسی شده است. در انرژی پمپ ۱۵mj کمیت‌های مختلف پالس خروجی این لیزر گزارش شده است. داده‌های چیدمان‌های مختلف را مقایسه کرده، مزایا و معایب هر چیدمان بررسی شده است. چیدمان بیرون کاواکی استفاده شده برای این لیزر، بدلیل کاهش سطح اتلاف کاواک، بازدهی را افزایش داده است. استفاده از اتالون منجر به کاهش پهنای طیفی لیزر به کمتر از ۰/۱nm شده که می‌توان در طیف سنجی و تولید امواج تراهرتز از آن استفاده کرد.

مراجع

[1] WALL, KEVINF, and Antonio Sanchez. "Titanium sapphire lasers." The Lincoln laboratory journal 3, no. **3** (1990): 447-462.

[2] Koechner, W., & Bass, M. (2003). *Solid-State Lasers: A Graduate Text*. Springer Science & Business Media.

[3] McKinnie, I. T., Oien, A. L., Wanington, D. M., Tonga, P. N., Gloster, L. A., & King, T. A. (1997). Ti 3+ ion concentration and Ti: sapphire laser performance. IEEE journal of quantum electronics, 33(7), 1221-1230.

[4] Yi, J. (2004). A Ti: Sapphire laser with a frequency selector consisting of a transmission grating and mirror. *Journal of the Korean Physical Society*, *45*(2), 342-347.

[۵] باقری یزدآبادی, ع., & ناظری , م. (۱۳۹۵). طراحی و ساخت لیزر تیتانیوم سفایر پالسی کوک پذیر به روش درون کاواکی و بیرون کاواکی و مقایسه آنها. کنفرانس فیزیک ایران, (ص. ۹۲۹). شیراز.

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]