



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

## طراحی نوسانگر منبع لیزری پالسی جهت امور تشخیصی پلاسمای توکامک های آزمایشگاهی

کامران رحیمی

(دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی هسته ای و فیزیک، گروه گداخت هسته ای)

### چکیده:

در این مقاله تلاش شده است در منبع لیزر دستگاه پراکندگی تامسون متناسب با توکامک های آزمایشگاهی (حاوی پلاسما با قطری از مرتبه ۲۵-۳۵ cm و چگالی الکترونی  $10^{20} m^{-3}$  و دمای الکترونی ۲۰۰ eV) مؤلفه اساسی نوسانگر طراحی و به روشی مفهومی محاسبه کمی گردد. میله یاقوت آرایش یافته توسط  $Cr_2O_3$  به اندازه ۰٫۰۵ درصد وزنی و به ابعاد  $7.3 \times 7.5 \text{ cm}$  به عنوان ماده فعال بوده و سلول پاکلز  $KD*P$  به عنوان سوئیچ  $Q$  با ایجاد تأخیر اپتیکی  $\lambda/4$  جهت دستیابی به تپی با توان خروجی  $1MW$  و  $FWHM$  از مرتبه  $17 \text{ ns}$  تعیین و حاصل شده است. ضمناً با محاسبه  $7.2 \text{ mm}$  بر اساس عدد فرنل به عنوان دهانه دیافراگم تشدیدگر، گزینش مد  $TEM_{00}$  با بازده بیش از ۸۰٪ صورت گرفته است.

**کلید واژه ها:** دما و چگالی الکترونی پلاسما، دستگاه پراکندگی تامسون، نوسانگر لیزر یاقوت با سوئیچ  $Q$ ، مد  $TEM_{00}$ .

### مقدمه

به طور کلی دانش مربوط به روشهای تشخیصی پلاسما به اندازه گیری پارامترهای پلاسما و ادوات و تکنیک های مورد استفاده برای این منظور می پردازد. از میان این پارامترها برخی از اهمیت بنیادی تری برخوردارند که در آنها می توان به دما و چگالی الکترونی پلاسما در توکامک ها اشاره کرد و تکنیک های به کار رفته نیز متنوع بوده و شامل مواردی همچون سنجه لانگمویر و اندازه گیری تابش سیکلوترونی الکترون (ECE) از روشهای تشخیصی منفعل و یا استفاده از نظریه پراکندگی تامسون از روشهای تشخیصی فعال می باشد. اگرچه نظریه پراکندگی در ابتدای قرن بیستم توسط جی. جی. تامسون ارائه گردید ولی استفاده عملی از آن در مورد پلاسما بعد از ساخت لیزرهای توان بالای یاقوت در اوایل دهه ۱۹۶۰ صورت گرفت.

نور لیزر یاقوت دارای طول موج  $694.3 \text{ nm}$  بوده و توانسته با بهره گیری از تکنیک سوئیچ  $Q$  تپ های خروجی با انرژی  $25 \text{ J}$  در مدت زمان  $15 \text{ ns}$  گسیل کند. اما از سوی دیگر این لیزر دارای آهنگ تکرار نسبتاً پایینی بوده و از این رو در به کار گیری آن تفکیک پذیری مکانی بر زمانی ارجحیت دارد [۱] و این همان چیزی است که



## بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

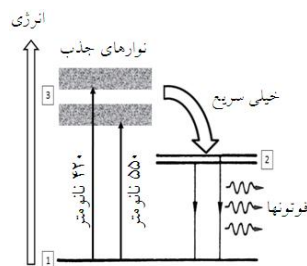
معمولا در بررسیهای اولیه توکامک های آزمایشگاهی با آن مواجه هستیم. چنانچه طول موج نور فرودی به مراتب کوچکتر از طول دبای در پلاسما باشد پراکندگی ناهمدوس به وقوع پیوسته و طیف حاصل نشانگر توزیع سرعت الکترونی می باشد که از طریق آن  $T_e$  و  $n_e$  قابل استحصال خواهند بود. چنین وضعیتی در توکامک های آزمایشگاهی مورد نظر در این مقاله در صورت به کار گیری نور لیزر یاقوت برقرار است زیرا در این حالت پارامتر پراکندگی به معادله زیر

$$\alpha \approx \frac{1}{4\pi \sin(\theta/2)} \frac{\lambda_i}{\lambda_D} \quad \text{معادله (۱)}$$

تقریبا ۰.۰۷ می شود که در مقایسه با طول دبای در توکامکهای مذکور (تقریبا ۱۰۵۰۰nm) بسیار کوچک است.

### روش کار

نوسانگر مطرح در این مقاله متشکل از چهار مؤلفه ساختاری است: ماده فعال، منبع دمش، سوئیچ Q و تشدیدگر. ماده فعال یاقوت مصنوعی با آرایش ۰.۰۵ درصد وزنی توسط  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  است. این ماده همانند ماده فعال در برخی مسافت یابهای لیزری که در دهه های اخیر مورد استفاده بوده اند به طول ۷۵cm و قطر ۳mm است. لیزر یاقوت سه تراز است (شکل ۱) و بنابراین برای انبوهی کل ترازها در آن خواهیم داشت:  $N_1 + N_2 \approx N_{\text{tot}}$  که در این صورت عمل لیزری مستلزم آن است نیمی از انبوهی به تراز بالایی ۲ انتقال یابد و در همین جاست که دمش اپتیکی به بلور با شدت بالا در طرح ما ضروری می شود.



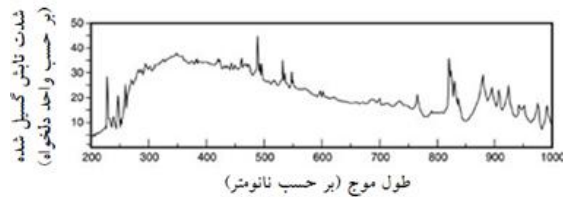
شکل ۱ چگونگی بروز گذار بین ترازهای انرژی در بلور یاقوت به عنوان ماده فعال لیزری

گزینش منبع دمش اپتیکی در طرح ما بر این نکته مهم استوار بوده که بیشینه طیف خروجی آن سازگار با نوار جذب بلور در شکل ۱ باشد از این رو یک فلش لامپ زنون خطی با فشار ۴۰۰ تور و قطر ۶mm و طول قوس ۷۶mm (همخوان با ابعاد ماده فعال) با طیف گسیلی در شکل ۲ انتخاب گردید.

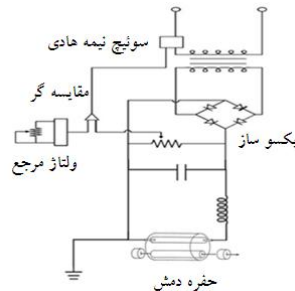


## بست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

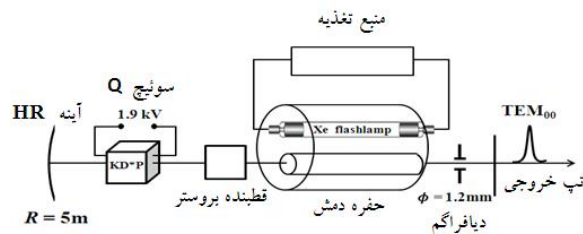
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۲ طیف گسلی فلش لامپ انتخاب شده در طول موج های کوتاه به خوبی با نوارهای جذب میله لیزر سازگاری دارد [۶].  
یک استوانه با مقطع بیضوی از جنس آلومینیوم صیقلی (برای افزایش بازده انتقال اپتیکی) مطابق شکل ۳ دربرگیرنده میله و لامپ است که در محورهای کانونی واقع شده اند. منبع تغذیه لامپ نیز متشکل از یک منبع تغذیه DC (۱۰۰۰ ولت) و یک خازن (۲۰۰ میکروفاراد) و یک شکل دهنده پالس و یک مدار تریگر است. انتهای کاتدی لامپ متصل به زمین و انتهای آنی آن عایق بندی می شود. چیدمان اجزای نوسانگر در شکل ۴ آمده است.  $KD^*P$  با ضریب شکست ۱٫۵۱ و ثابت الکترواپتیکی  $10^{-6} \times 26.4$  میکرون بر ولت تحت ولتاژ ۱٫۹ کیلوولت به عنوان سوئیچ Q تأخیر  $\lambda/4$  ایجاد می کند. تشدیدگر نیز با وجود عدم تقارن دارای ثابت پایداری ۰٫۹ در طراحی ما شده است. به منظور گزینش مد  $TEM_{00}$  دیافراگمی با دهانه  $1.2\text{mm}$  محاسبه شده است.



شکل ۳ منبع تغذیه فلش لامپ. قرار گرفتن میله و لامپ در طول محورهای کانونی بازده انتقال اپتیکی را افزایش می دهد



شکل ۴ چیدمان اجزای نوسانگر در طرح مورد نظر

برای محاسبه و برآورد توان خروجی نوسانگر  $E_{os}$  از معادله مفهومی زیر بهره گرفته شده است:

$$E_{os} = \frac{\gamma_1}{2\gamma} \beta b N_p V E_{ph}$$

معادله (۲)  $E_{ph}$  انرژی فوتون گسیل شده و  $V$  حجم ماده فعال و  $\beta b N_p$  تغییر در وارونی انبوهی طی گسیل تب و  $\beta b$  نسبت تغییرات به وارونی در قله است که از طریق تنظیم انرژی دمش بدست می آید و  $\gamma_1 = -\ln R$



# بیست و یکمین کنفرانس هشتاد و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ و انشگاه اصفهان

R) ضریب بازتاب پنجره خروجی است) و  $\gamma$  اتلاف در هر عبور از تشدیدگر است و ضریب  $\beta$  برای آن ناشی از یک رفت و برگشت درون تشدیدگر است.

## نتایج

در جدول ۱ مجموعه ای از نتایج حاصل در این مقاله گردآوری شده است

جدول ۱ کمیات برگزیده و عمدتا محاسبه شده در فرآیند طراحی نوسانگر منبع لیزری مورد بحث

طول ماده فعال	۷۵ میلیمتر	وارونی انبوهی در قله تپ	$3 \times 10^8$ بر سانتیمتر مکعب
قطر ماده فعال	۶٫۳ میلیمتر	تغییر وارونی انبوهی نسبت به قله	۱٫۶
طول مؤثر تشدیدگر	۵۵٫۷ سانتیمتر	شعاع پرتو خروجی از نوسانگر	۰٫۵ میلیمتر
شعاع انحنای آینه عقبی تشدیدگر	۵ متر	انرژی تپ خروجی از نوسانگر	۲۰ میلی ژول
شعاع انحنای آینه خروجی تشدیدگر	بینهایت	شار انرژی خروجی از نوسانگر	۲ ژول بر سانتیمتر مربع
دهانه دیافراگم خروجی	۱٫۲ میلیمتر	پهنای تپ خروجی از نوسانگر	۲۰ نانوثانیه
ضریب پایداری تشدیدگر	۰٫۹	توان خروجی نوسانگر	۱ مگاوات
ولتاژ اعمال شده بر سوئیچ Q	۱٫۹ کیلو ولت		

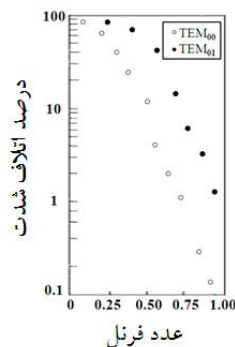
## بحث و نتیجه گیری

به منظور دستیابی به تپ خروجی توان بالا از نوسانگر ولتاژ اعمال شده بر دو سر سوئیچ Q ۱٫۹ کیلوولت انتخاب گردید ولی با افزایش این ولتاژ تأخیر اپتیکی مخالف با ربع طول موج در یک رفت یا برگشت خواهد شد و نتیجتاً راندمان قفل سازی موقت تپ بین آینه عقبی و قطبندگی کاهش خواهد یافت. بهینه سازی FWHM برای تپ نیز با انتخاب انرژی دمش با اندازه دو برابر مقدار آستانه صورت گرفته است. برای ارزیابی راندمان گزینش مد  $TEM_{00}$  از پارامتر اپتیکی عدد فرنل استفاده کرده ایم اما باید توجه داشت با تغییر این پارامتر در گستره صفر تا یک اتلاف شدت برای مدهای  $TEM_{00}$  و  $TEM_{01}$  تغییر خواهد کرد به طوری که بازای  $1.2\text{mm}$  برای دهانه دیافراگم تشدیدگر عدد فرنل از مرتبه ۰٫۵ خواهد شد که به ترتیب اتلاف های بیش از ۶۰٪ و تقریباً ۱۰٪ برای مدهای  $TEM_{01}$  و  $TEM_{00}$  مطرح می کند. به عبارت دیگر راندمانی بالاتر از ۸۰٪ برای گزینش مد  $TEM_{00}$  حاصل شده است (شکل ۵).



# بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۵ اتلاف برای مدهای TEM<sub>00</sub> و TEM<sub>01</sub> به عنوان تابعی از عدد فرنل

در خاتمه لازم به ذکر است که تولید تپ های لیزری توان بالا مبتنی بر ترکیب یک نوسانگر اصلی و یک یا چند تقویت کننده لیزری است و این تکنیک زنجیره ای در افزایش انرژی فوتون های حاصل از پراکندگی ضعیف تامسون در برهمکنش لیزر با پلاسما بسیار مؤثر است.

## مراجع

- [1] A.J.H.Donne and C.J.Barth, *Laser-aided Plasma Diagnostics*, Transactions of Fusion Science and Technology (2006).
- [2] W.Koechner, *Solid-State Laser Engineering* (Springer Verlag, New York).
- [3] Orazio Svelto, *Principles of lasers*, 2<sup>nd</sup> ed. (Plenum Press, 1982)
- [4] B.A.Lengyel, *Lasers*, 2nd ed. (Wiley-Interscience, New York, 1971).
- [5] Wegrzyn, J., G.Patonay, and I.Warner, *Versatile Power Supply Circuit for Xenon Flashlamps*, Review of Scientific Instruments 60 (1988).
- [6] *An Overview of Flashlamps and CW Arc Lamps*, Technical Bulletin 3. Sunnyvale, CA: ILC Technology, 1986.
- [7] W.Demtroder, *Laser Spectroscopy* (Springer Verlag, 2008).
- [8] Pedrotti, Frank L. , *Introduction to Optics* (2nd edition).