

تولید باریکه‌های غیر پراشی در پیکربندی لیزر دیسک نازک

اردوان آل ناصر^{۱*}، رضا آقبلاغی

چکیده

در این مقاله به نحوه تولید باریکه‌های بسل-گاوس قطبیده شعاعی در ساختار لیزرهای دیسک نازک پرداخته شده است. در این تحقیق، معادله خودسازگار فرنل-هویگنس بمنظور دستیابی به اولین ویژه مدها و ویژه بردارها، با در نظر گرفتن روزنه محدود آینه‌ها، حل شده است. مهمترین المان‌هایی که در این تحقیق به آنها توجه شده است عبارتند از: پروفایل عبوری اندازه و فاز مد بسل اصلی در صفحه اکسیکون و صفحه خروجی، طول کاواک و زاویه تابش باریکه. در این تحقیق از رزوناتورهای ناپایدار استفاده شده است که نسبت به ساختارهای پایا، مدولاسیون دامنه یک شکل تری را نمایش می‌دهند که باعث می‌شود پروفایل میدان خروجی شباهت بیشتری به باریکه‌های بسل ایده‌آل داشته باشد

کلمات کلیدی: باریکه‌های غیر پراشی، لیزر دیسک نازک، معادله خودسازگار فرنل-هویگنس

مقدمه

پدیده پراش اساس کار علم فیزیک نوری است و نقش بسزایی در طراحی سامانه‌های نوری دارد. وجود پدیده پراش وابسته به ماهیت موجی نور می‌باشد و این پدیده زمانی رخ می‌دهد که نور در مسیر خود به یک مانع برخورد کند. در این مقاله سعی شده تا با شبیه‌سازی چیدمانی خاص از لیزر، به تولید باریکه‌هایی غیر پراشی بنام *باریکه‌های بسل* پرداخته شود. مهمترین ویژگی باریکه‌های بسل این است که پس از انتشار دچار پراشیدگی و واگرایی نمی‌شوند. یکی از کاربردهای مهم باریکه‌های بسل، نقش آن در تولید انبرک‌های نوری^۱ است که از آن در تغییر ساختارهای ژنتیکی و ذرات دی‌الکتریک استفاده می‌شود. بصره‌ترین و پر بازده ترین روش تولید باریکه‌های بسل استفاده از باریکه‌های گاوسی و عبور آنها از المان نوری اکسیکون می‌باشد (می‌تواند بصورت یک آینه بازتابی و یا یک

عدسی شکستی باشد) که باریکه حاصل از این فرایند، باریکه بسل-گاوس نامیده می‌شود. رزوناتورهای بر پایه اکسیکون اولین بار در سال ۲۰۰۱ توسط افرادی بنام *روگل-سالازار*^۲ و *خیلو*^۳ تهیه شد.

مزیت این چیدمان عدم نیاز به المان‌های درون کاواکی پیچیده و فرم خاصی از ماده فعال است. در سال ۲۰۰۵ یک گروه از دانشگاه مکزیک بروی تولید باریکه‌های بسل-گاوس با استفاده از اکسیکون ولیزر CO₂ پرداختند که در این مقاله با ایجاد تغییراتی در ساختار مذکور، نتایج جدیدی حاصل گردیده است.^[۱]

در این مقاله تحقیقاتی پیرامون نحوه استفاده از ساختار لیزر دیسک نازک Yb:YAG به جهت تولید باریکه‌های غیر پراشی بسل صورت گرفته است.

تابش باریکه لیزر، زاویه بروستر می‌باشد. استفاده از زاویه بروستر باعث می‌شود تا باریکه موجود در کاواک دچار قطبیدگی شعاعی شده و مد TM داشته باشد.

انتشار باریکه

انتگرال فرنل- هوینگس برای انتشار مد U_{lp} با ضریب مد قایم $p = 1, 2, 3, \dots$ و ضریب مد شعاعی $\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ درون سامانه استوانه ای از صفحه RP_m تا صفحه RP_n بدین صورت می‌باشد:

$$U_{lp}(r_n) = \int_0^{a_m} K_l(r_m, r_n) T_m(r_m) U_{lp}(r_m) dr_m \quad (3)$$

که در آن $T_m(r_m)$ تابع عبور المان نوری یا دهانه ایست که در صفحه RP_m قرار دارد و عبارت کرنل $K_l(r_m, r_n)$ بر حسب المان‌های ماتریس انتشار ABCD در صفحات m و n بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$K_l(r_m, r_n) = (-i)^{l+1} \left(\frac{k}{B}\right) r_m J_l\left(\frac{k}{B} r_m r_n\right) \exp\left[\frac{ik}{2B}(Ar_m^2 + Dr_n^2)\right] \quad (4)$$

که در آن J_l بیانگر تابع بسل مرتبه l می‌باشد. توابع انتقال اکسیکون و آینه خروجی کروی بصورت زیر می‌باشند:

$$T_1(r_1) = \exp(-i2kr_1\theta) \quad r_1 \leq a_1 \quad (5)$$

$$T_2(r_2) = \exp(-ikr_2^2/R) \quad r_2 \leq a_2 \quad (6)$$

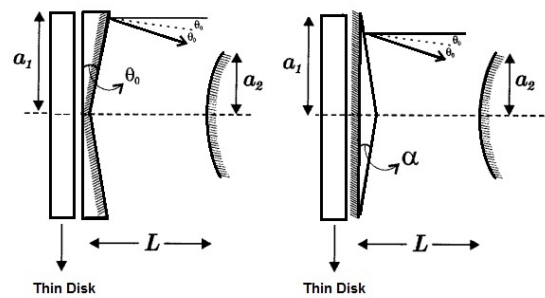
با توجه به مقادیر ذکر شده برای یک بار رفت و برگشت باریکه بین صفحات اکسیکون و آینه خروجی انتگرال زیر بدست می‌آید:

$$u_{lp}(r_3) = \int_0^{a_1} H_{lp}^{13}(r_1, r_3) u_{lp}(r_1) dr_1 \quad (7)$$

که در آن $H_l(r_1, r_3) = K_l(r_1, r_3) T_1(r_1)$ می‌باشد. با استفاده از حل عددی این معادلات می‌توان به نمودارهای مربوط به باریکه بسل در رزوناتور دست یافت.

ساختار رزوناتور

پیکربندی رزوناتور بسل ناپایدار شامل یک آینه و یا عدسی مخروطی شکل بنام اکسیکون با مشخصه زاویه‌ای θ و یک آینه کروی محدب خروجی در فاصله L از اکسیکون می‌باشد که در شکل زیر رسم شده است.



شکل ۱- ساختار رزوناتور با اکسیکون بازتابی (سمت چپ) و اکسیکون شکستی (سمت راست)

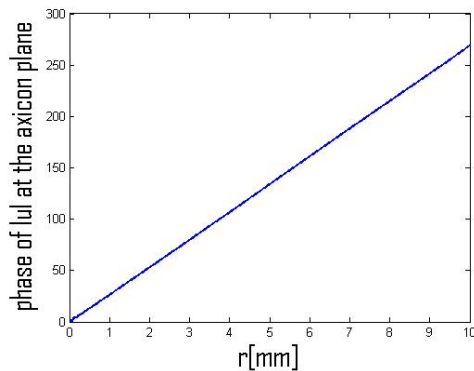
المان مخروطی که در ابتدای رزوناتور قرار دارد امواج تخت ورودی را به امواج مخروطی همگرا تبدیل می‌کند. مسیر باریکه‌هایی که بصورت افقی به صفحه اکسیکون می‌رسند، به جز آن دسته از باریکه‌هایی که از مرکز اکسیکون می‌گذرند، پس از عبور تحت زاویه 2θ نسبت به محور اپتیکی تغییر می‌کند. برای اکسیکون نازکی با ضریب شکست n زاویه شکست α ، مقدار زاویه θ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\theta = \arcsin(n \sin \alpha) - \alpha \approx (n - 1)\alpha \quad (1)$$

که در آن از تخمین زاویه کوچک $\sin \phi \approx \phi$ استفاده شده است، همچنین، طول کاواک بصورت زیر در نظر گرفته شده:

$$L = \frac{a_1}{2 \tan \theta} \quad (2)$$

تا در اثر تبدیل آینه کروی خروجی به آینه تخت، رزوناتور از حالت ناپایدار به حالت پایدار ایده‌آل تبدیل شود. چیدمان استفاده شده در این مقاله شامل یک بلور اکسیکون از جنس BK7 با ضریب شکست 1.506، لیزر Yb:YAG با طول موج 1030 نانومتر و آینه خروجی می‌باشد. همچنین زاویه

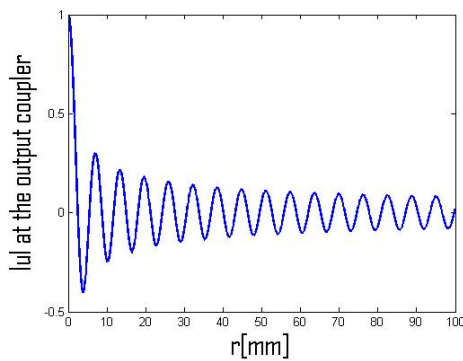


شکل ۲- (د)

شکل ۲- نمودار میدان در صفحه خروجی (الف) و صفحه اکسیکون (ب). فاز میدان در صفحه خروجی (ج) و صفحه اکسیکون (د).

نتایج بدست آمده در این مقاله نشان می‌دهند که استفاده از بلور اکسیکون $BK7$ ، ماده فعال $Yb:YAG$ و تابش باریکه‌ها تحت زاویه بروستر باعث می‌شوند تا شاهد باریکه‌های بسل با دامنه‌ای حدود ۱۰ برابر بیشتر از تحقیقات قبل باشیم. همچنین این باریکه‌ها، قطبیده شعاعی می‌باشند که این موضوع باعث می‌شود تا بتوانند کاربردهای عملی و تحقیقاتی فراوانی داشته باشند.

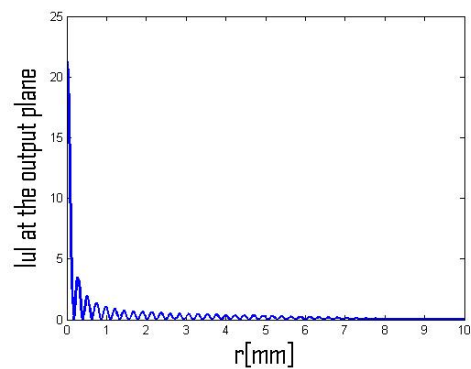
یکی دیگر از موارد مشاهده شده در نتایج این تحقیق، وجود دو پیک برای دامنه میدان موجود در اکسیکون است. از طرفی دیگر، با مقایسه نمودارهای بسل ایده‌آل، بسل حاصل از رزوناتور دارای آینه خروجی محدب و بسل حاصل از رزوناتور دارای آینه خروجی مقعر می‌توان به وضوح مشاهده کرد که با جایگذاری آینه محدب بجای آینه مقعر، به باریکه بسلی دست می‌ایم که بیشتر شبیه به حالت ایده‌آل است:



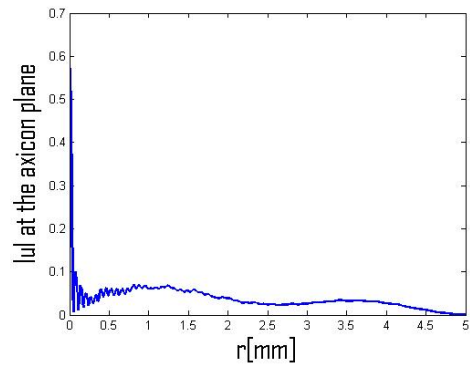
شکل ۳- (الف)

نتایج و بحث

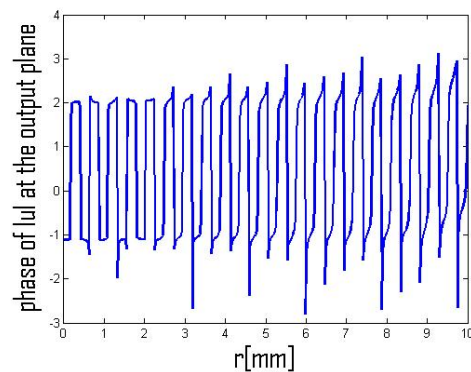
پارامترهای فیزیکی در نظر گرفته شده در این مقاله به جهت تولید باریکه‌های ایده‌آل، متناسب با رزوناتور لیزر دیسک نازک $Yb:YAG$ فرض شده‌اند و بصورت زیر می‌باشند: اندازه روزنه اکسیکون $a_1=10\text{mm}$ ، ضریب شکست $n=1.506$ ، زاویه شکست اکسیکون $\alpha = 0.5^\circ$ و طول موج 1030 nm . همچنین زاویه بروستر بدست آمده برای این چیدمان برابر 0.998 رادیان می‌باشد. با جایگذاری این مقادیر و حل انتگرال پراش فرنل - هویگنس به نمودارهای زیر دست می‌ایم:



شکل ۲- (الف)



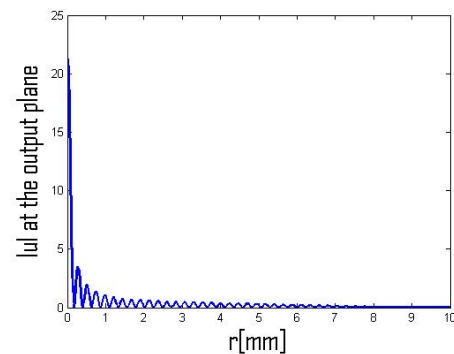
شکل ۲- (ب)



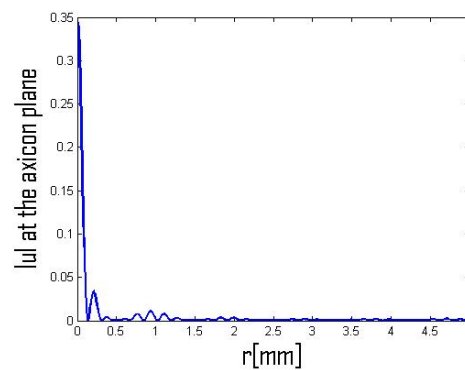
شکل ۲- (ج)

منابع

- [1] I.Hernandez R., Chavez S., Julio Guitarrez C.; "Theory of the unstable Bessel resonator," J. Opt. Soc. Am. A. 22, 140. 4780., No.9, 2005.
- [2].Guitarrez J. C., Rodolfo Rodrigez , Sabino Chavez ;"Bessel- Gauss resonator spherical output mirror: geometrical and wave- optic analysis' J. Opt. Soc. Am. A.20,140, 2003, PP. 3300.
- [3] McGloin D., Dholakia K.;"Bessel beams: diffraction in a new light" school of physics and astronomy, University of St. Andrew, North Haugh, Fife KY16 9SS UK, vol.46 .No.1., 2005.



شکل ۳- (ب)



شکل ۳- (ج)

شکل ۳- نمودار بسل ایده آل (الف)، بسل حاصل از آینه خروجی محدب (ب)، بسل حاصل از آینه خروجی مقعر (ج)

نتیجه گیری

نحوه تولید باریکه های بسل قطبیده در رزوناتور غیر پایدار با ساختار اکسیکون در پیکربندی لیزر دیسک نازک به روش حل انتگرالی مورد بررسی قرار گرفت. باریکه های بسل بدست آمده از این چیدمان، قطبیده می باشند. از باریکه های غیر پراشی در موارد گوناگونی از جمله انبرک نوری، شتاب دهنده الکترون، انتقال حجم بالای اطلاعات در موجبر ها و ... می توان استفاده کرد.

بررسی های دیگری می تواند با اضافه کردن المان هایی دیگر به چیدمان، و همچنین، استفاده از موادی متفاوت برای بلور اکسیکون و ماده فعال در این زمینه صورت گیرد.