بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

اثر انحنای رأس اکسیکون روی رفتار رزوناتور در لیزرهای دیسکی نازک

رضا آقبلاغی، حبیب صاحب قران چره جلو

دانشگاه بناب

R.aghbolaghi@gmail.com, h.sahebghoran@ymail.com

چکیده – در این مقاله اثر انحنای رأس اکسیکون روی پروفایل عرضی مد غالب در پیکربندی لیزرهای دیسکی نازک برپایه اکسیکون بررسی شده است. از روش تکرار فکس-لی اسکالری جهت استخراج مد غالب رزوناتور به همراه حل عددی انتگرال پراش فرنل-هویگنس استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند تنها پارامتر هایپربولیدی و زاویه رأس انحنادار اکسیکون روی مدغالب رزوناتور تاثیر دارد..

کلید واژه- لیزرهای دیسکی نازک، رزوناتور بر پایه اکسیکون، انحنای رأس اکسیکون

Effect of Axicon Apex Curvature on Resonator Behavior in Thin Disk Lasers

Reza Aghbolaghi, Habib Sahebghoran Chreh Jaloo

R.aghbolaghi@gmail.com, h.sahebghoran@ymail.com

Abstract- In this article the effect of the axicon apex curvature on the transvers profile of the dominant mode has been studied in the axicon based thin disk laser configuration. To extracting of the dominant mode, the scalar Fox-Li method has been used along with numerically solving the Huygens Fresnel diffraction integral. The results show that the hyperboloid parameter and the angle of the curved apex axicon just has effects on the dominant mode of the resonator and the thickness of axicon has not effect on its profile.

Keywords: Thin disk lasers, Axicon based resonators, Apex curvatures of the axicon

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

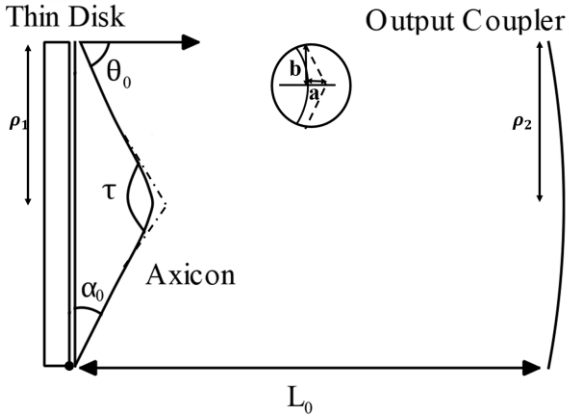
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

مقدمه

لیزر دیسکی نازک از جمله لیزرهای حالت جامد است که برای اولین بار درسال ۱۹۹۴ توسط گیزن معرفی شد، یکی از ویژگی‌های برجسته این لیزرها کم بودن اثرات مخرب گرمایی ناشی از گرادیان دما به دلیل ضخامت کم دیسک می‌باشد. تولید باریکه‌هایی با توان بالا و کیفیت خوب هم از دیگر مزایای این لیزرها می‌باشد[۱]. دسته‌ای از باریکه‌های غیرپراشی به نام بسل در سال ۱۹۸۷ توسط دیورنین و همکارانش معرفی شد که از ویژگی‌های برجسته آنها تغییرناپذیری پروفایل عرضی آنها در حال انتشار می‌باشد. این باریکه‌ها با تابع بسل توصیف می‌شوند[۲]. روش‌های متنوعی برای تولید این نوع باریکه‌ها وجود دارند که متداولترین آنها استفاده از عدسی‌مخروطی می‌باشد[۳]. تولید باریکه‌های بسل‌گونه از عدسی مخروطی نخست توسط روگل سالازارو پیشنهاد شد[۴]. این نوع تشدیدگر بر پایه عدسی مخروطی برای پیکربندی لیزرهای دیسکی نازک برای اولین بار توسط نویسندگان این مقاله مطرح شده است[۵]. اکسیکون با رأس انحنادار در خارج از رزوناتور در [۶] بررسی شده است. در این مقاله، ابتدا پیکربندی رزوناتور بر پایه اکسیکون با رأس گرد تشریح شده است. سپس تابع عبور و نحوه انتشار موج در داخل رزوناتور مرور شده اند. سرانجام در بخش بحث و نتیجه‌گیری پروفایل عرضی مد غالب رزوناتور برحسب پارامتر هایپربولیدی و زاویه رأس اکسیکون رسم و تفسیر شده‌اند.

پیکربندی رزوناتور بر پایه اکسیکون

پیکربندی رزوناتور پیشنهادی به همراه اکسیکون، شکل۱، شامل سه قسمت اصلی، عدسی اکسیکون، دیسک نازک و جفت‌ساز خروجی است. در لیزرهای دیسکی نازک از Yb:YAG به عنوان محیط فعال استفاده می‌شود. در این لیزرها به علت ضخامت کم دیسک، انتقال گرما از دیسک به خنک کننده به صورت یکنواخت انجام می‌پذیرد. دیسک نازک بر روی اکسیکون تعبیه شده است. طول تشدیدی کاواک L از رابطه‌ی $a_1/2\theta_0$ قابل محاسبه است و در آن a_1 شعاع عرضی اکسیکون و دیسک است و برابر با 5mm فرض شده است. زاویه مخروطی θ_0 و زاویه‌ی رأس گرد τ اکسیکون به ترتیب بصورت $(n-1)\alpha_0$ و $\pi-2\theta_0/(n-1)$ تعریف می‌شوند. ضریب شکست عدسی اکسیکون n و زاویه-ی گوه α_0 به ترتیب برابر با ۱/۸و ۰/۵ درجه فرض شده‌اند.



شکل ۱: پیکربندی رزوناتور برپایه اکسیکون با راس گرد را نشان می‌دهد.

تئوری و محاسبات

روش فکس-لی اسکالری یکی از رایج‌ترین روش‌ها جهت استخراج مد غالب رزوناتور است [6]. با در نظر گرفتن صفحه‌ی مرجع در پشت اکسیکون، نحوه انتشار یک بار رفت و برگشت باریکه در داخل رزوناتور به این صورت است که ابتدا تابع عبور اکسیکون به همراه تابع عبور فضای آزاد روی باریکه اعمال شده و باریکه به سطح آینه خروجی می‌رسد. بعد از اعمال تابع بازتاب آینه‌ی خروجی به همراه تابع عبور فضای آزاد، باریکه به سطح جلویی اکسیکون می‌رسد. سرانجام، باریکه با اعمال دوباره تابع عبور اکسیکون به صفحه‌ی مرجع می‌رسد. جهت انتشار باریکه در داخل رزوناتور انتگرال پراش فرنل هویگنس به صورت عددی حل شده است. تابع عبور فضای آزاد یک تابع یکتا است و روی پروفایل عرضی باریکه تأثیرگذار نیست. تابع عبور آینه خروجی [۶] و تابع عبور اکسیکون با رأس انحنادار [7] و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

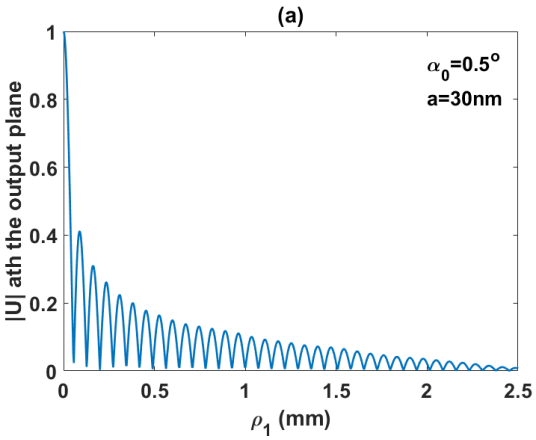
$$T_{axicon}(\rho_1)=\exp\left\{2ik\left[(n-1)\sqrt{a^2+\left(\frac{\rho_1}{\tan\left(\frac{\tau}{2}\right)}\right)^2}+d\right]\right\}$$

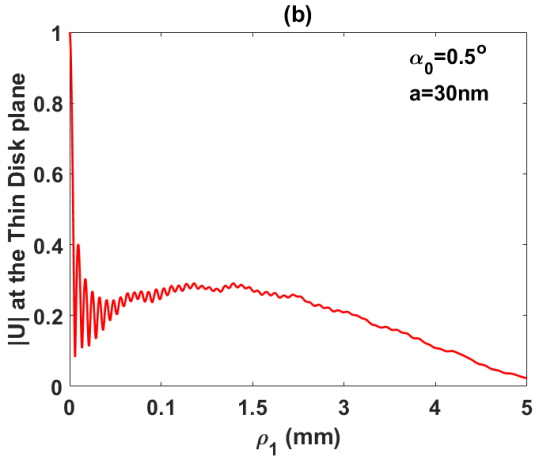
$$T_{OutputCoupler}(\rho_2)=\exp\left(-ik\rho_2^2/R\right) \qquad (۱)$$

که در آن a پارامتر هاپربولیدی[۱]، τ زاویه رأس انحنای اکسیکون، d ضخامت دیسک و k عدد موج می‌باشند. R بیانگر شعاع انحنای آینه خروجی می‌باشد (فرض شده است که آینه‌ی خروجی تخت است). همچنین ρ_1 و ρ_2 بیانگر مکان پرتو ورودی و خروجی روی اکسیکون و آینه‌ی خروجی هستند.

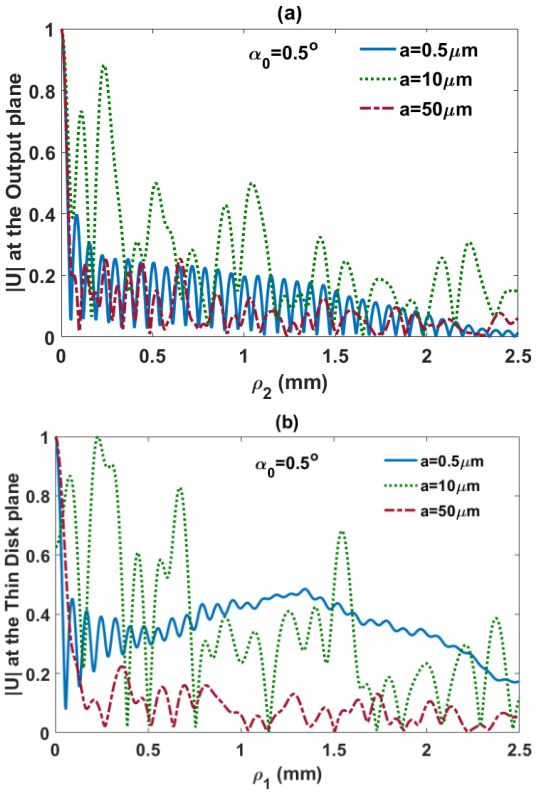
بحث و نتیجه گیری

با استفاده از متد فکس-لی و با حل معادله پراش اسکالری فرنل، هنگامیکه مقدار عددی پارامتر هایپربولید، a، خیلی کوچک است، پروفایل عرضی مد غالب رزوناتور بر حسب a در شکل ۲ رسم شده است. با توجه به منحنی واضح است که در حالت تیز بودن رأس اکسیکون، شکل مد غالب رزوناتور در خروجی نزدیک به بسل ایده‌آل است. در حالیکه با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای a در خروجی شکل پروفایل مد غالب، شکل ۳، از شکل بسل ایده‌آل دور می‌شود بطوریکه برای مقادیر خیلی بزرگتر برای a حالت بسل گونگی مد غالب از بین می‌رود.





شکل ۲: پروفایل عرضی مد غالب رزوناتور را نشان می‌دهد که بر حسب پارامتر هایپربولید خیلی کوچک رسم شده است.



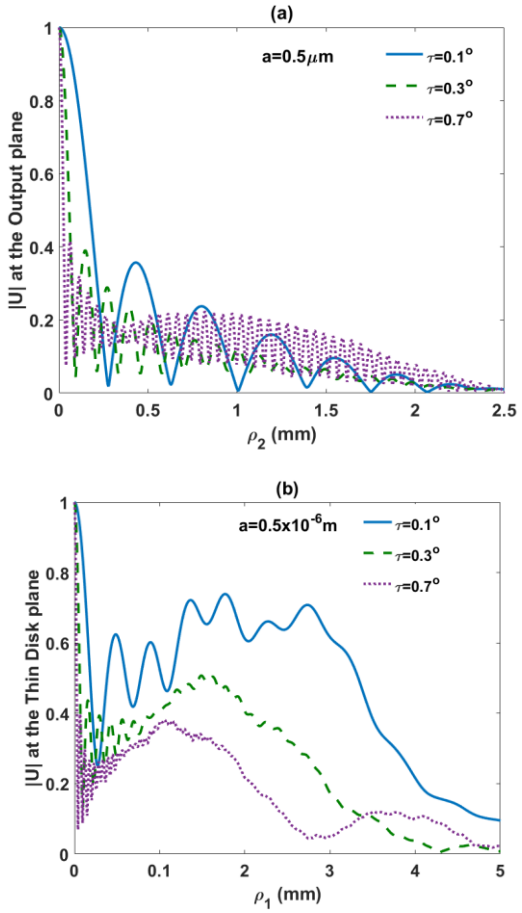
شکل ۳: پروفایل عرضی مد غالب رزوناتور را نشان می‌دهد که بر حسب تغییرات پارامتر هایپربولید رسم شده است.

از طرفی هر چقدر شعاع مد غالب در رزوناتور بزرگتر باشد مد توانایی پوشش بیشتر سطح محیط فعال را دارد و این باعث بیشتر شدن توان خروجی می‌شود. با توجه به شکل‌ها معلوم است که پروفایل عرضی باریکه تا شعاع ۲/۵ میلی-

[۱] Hyperboloid

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

متری دیسک نازک وجود دارد و بعد از آن تقریباً میرا می-شود. این از نقطه نظر استخراج توان بیشینه حایز اهمیت است چون پوشش کامل سطح محیط فعال با تغییر پارامتر هایپربولید تا نصف شعاع محیط فعال ممکن می‌شود و این نشان می‌دهد که وجود انحنا در رأس اکسیکون باعث کمتر شدن توان خروجی می‌شود شکل ۳b. همچنین در شکل ۴، پروفایل مد غالب رزوناتور بر حسب تغییرات زاویه τ رسم شده است. منحنی‌ها نشان می‌دهند که با تغییر این زاویه مد غالب رزوناتور دچار تغییر شکل می‌شود و این می‌تواند ناشی از کاهش طول تشدیدی رزوناتور با افزایش τ باشد چون بین طول تشدیدی رزوناتور و زاویه τ رابطه‌ی معکوسی وجود دارد. همانطور که در شکل ۴(a) واضح است با افزایش زاویه τ تعداد حلقه‌های باریکه‌ی بسل نیز افزایش می‌یابد و این نشان می‌دهد اکسیکون رأس گرد همانند اکسیکون رأس تیز [۶] عمل می‌کند.



شکل ۴: پروفایل عرضی مد غالب رزوناتور را نشان می‌دهد که بر حسب تغییرات زاویه‌ی رأس گرد رسم شده است.

نتیجه‌گیری

با وجود رأس گرد در اکسیکون مشخص شد که با افزایش پارامتر هایپربولید، رفتار مد خروجی از حالت بسل گونه دور می‌شود و این برعکس رفتاری است که برای رفتار مد غالب در پارامترهای هایپربولید خیلی کوچک مشاهده شده بود. علاوه بر این، پارامتر هایپربولید روی استخراج توان بیشنه از طریق شعاع مد غالب رزوناتور تأثیر دارد و با افزایش آن توان خروجی کاهش می‌یابد. همچنین با بررسی رفتار مد غالب رزوناتور بر حسب تغییر زاویه راس گرد τ مشخص شد که این دقیقا روی مد غالب رزوناتور از طریق طول تشدیدی تأثیر می‌گذارد و باعث افزایش تعداد حلقه‌های بسل می‌شود.

مرجع‌ها

[1] A. Giesen, G. Hollemann and I. Johannsen, "*Diode-pumped Nd:YAG thin disc laser*," Lasers&Electro-Optics, 1999.
[2] J. Durnin,"*Exact solutions for nondiffracting beams. I. The scalar theory*," J. Opt. Soc. Am. A 4, 651–654, 1987.
[3] G. Scott and N. McArdle, ''*Efficient generation of nearly diffraction-free beams using an axicon*,'' Opt. Eng. 3. 2640–2643 .1992.
[4] J.R.Salazar, G. H. C. New, and S. C. Cerda,"*Bessel–Gauss beam optical resonator*," Opt. Commun.190.117122, 2011
[5] R. Aghbolaghi, S. Batebi, and J. Sabaghzadeh, "*Thin-disk laser with Bessel-like output beam: theory and simulations*,"Appl. Opt. 52. 683-689, 2013.
[6] Raúl I. Hernández-Aranda, Sabino Chávez-Cerda, and Julio C. Gutiérrez-Vega, "*Theory of the unstable Bessel resonator*," J. Opt. Soc. Am. A 2. 1909-1917 .2005.
[7] O. Brzobohaty, T. Cizmar, P. Zemnaek, "*High quality quasi bessel beam generated by round tip axicon*", Opt.Express, V. 16, No, 17, 12688-12700, 2008.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]