



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۱۳۹۷ بهمن ۹-۱۱



کوپلاژ xuv از طریق بلور فوتونی یک بعدی

داود جعفری، رضا اقبلاغی و رویا عزیزی

دانشکده علوم پایه، دانشگاه بناب، انتهای بزرگراه لایت، بناب

چکیده - در این مقاله سعی می کنیم آینه چند لایه ضد بازتاب را برای مد ۱ صلی بهینه کنیم تا بازتابندگی آن برای هارمونیک های بالا افزایش یابد. برای این منظور از یک آینه چند لایه از SiO_2 و AlAs با ضخامت های مختلف استفاده می کنیم، سپس برای هر لایه بهترین ضخامت را انتخاب کردیم. نتایج نشان می دهد ضریب عبور برای مد اصلی با زاویه تابش افزایش می یابد. همچنین پاشندگی ضریب عبور در مد اصلی با افزایش زاویه حادثه کاهش می یابد. از طرف دیگر ضریب بازتاب xuv با زاویه تابش افزایش می یابد. اما ضریب بازتاب تقریباً ثابت است. این نتیجه مهم است.

کلید واژه- بلور فوتونی، کوپلاژ xuv، هارمونیک بالا

xuv output coupler through a one-dimensional photonic crystal

Davod Jafari, Reza Agblaghi, and Roya Azizi

The Authors Affiliations (First complete name last name) and Emails

¹ Faculty of Science, University of Bonab, Bonab

Abstract- In this paper we try to improvement an antireflective multilayer mirror for basic mode so that its reflectivity increase for high harmonic mode. We use a multilayer mirror from SiO_2 and AlAs with different thickness, then we chose the best thickness for every layer. The result shows that the transitions coefficient increase with incident angle. Also transition dispersion decrease with increasing incident angle. On the other hand, xuv reflective coefficient increase with incident angle. But reflective coefficient is almost constant between $80 - 120^\circ$. This is an important property.

Keywords: photonic crystal, high harmonic, xuv output coupler

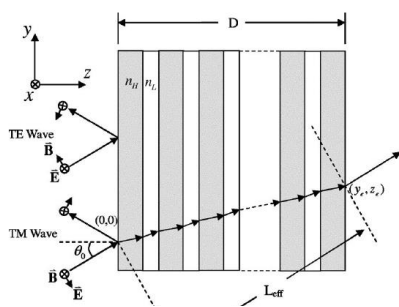
مقدمه

عنوان توری برای نور XUV عمل میکند و به پارامترهای پرتو میدان اصلی تاثیر نمی گذارد،

در این مقاله از آینه ضدبازتاب بر روی یک تیغه سیلیکون برای مد اصلی استفاده شده است و ضریب بازتاب ساختار برای هارمونیک های بالا محاسبه شده است.

تئوری

در سال های اخیر محیط های دی الکتریک متناوب که به عنوان بلورهای فوتونی شناخته می شوند، توجه شایانی را به خود جلب کرده اند. اگر تناوب در یک بعد باشد، بلور فوتونی یک بعدی داریم. در حالت کلی برای نور فرودی بر روی این بلور دو حالت قطبش در نظر گرفته می شود. در این دو حالت قطبش امتداد ارتعاش میدان الکتریکی در صفحه ی تابش و یا عمود بر صفحه ی تابش است. حالتی را که عمود بر صفحه ی تابش باشد، موج عرضی یا TE می نامند و در صورتیکه در صفحه ی تابش باشد، موج را طولی یا TM می نامند. از آنجا که رفتار این دو قطبش خاص در بازتاب از سطوح، متفاوت است؛ فرآیند بازتاب را بر اساس قطبش نور در این دو حالت ارزیابی می کنند (شکل ۱).



شکل ۱: طرح ساده ای از تابش مایل مد های TE , TM بر روی بلور فوتونی یک بعدی

ضریب عبور و ضریب بازتاب برای مد TM به ترتیب از روابط زیر بدست می آید:

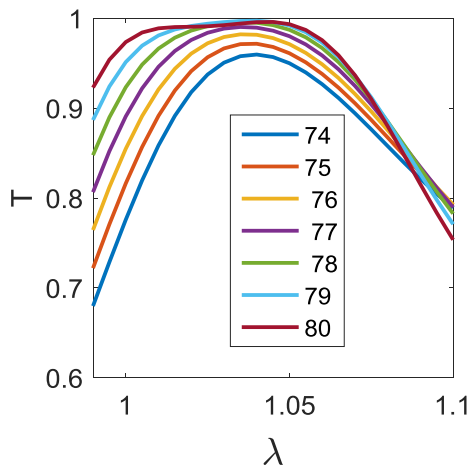
به طور معمول از تکنیک کاواک بهبود پالس فمتوثانیه برای تغییر فرکانس موثر از لیزرهای CW استفاده شده است [1]. این تکنیک اخیرا برای قفل شدگی مدهای لیزر تعمیم داده شده است [2] و در حال حاضر در گروه های علوم فوق سریع در مراکز مختلف در حال تحقیق است [3]. با استفاده از تکنیک کاواک بهبود پالس فمتو ثانیه می توان تا حد زیادی توان یک نوسانگر لیزر قفل شدگی مد داخل یک حفره را افزایش داد.

از روشهای بررسی کوپلاژ خروجی XUV صفحه بروسرست است، که ساده ترین کوپلاژ خروجی XUV شامل تیغهای از مواد با کیفیت نوری خوب است که برای میدان اصلی شفاف است و در داخل کاواک بهبود یافته بین کانون و آینه مقعر قرار گرفته است. در این مورد تلفات هارمونیک اصلی با قطبش P نزدیک صفر است. باتوجه به تفاوت شاخصهای انکساری بین XUV و میدان اصلی، بازتاب کوچک از XUV در سطح صفحه اتفاق می افتد [4]. یکی دیگر از روشهای کوپلاژ برای جداسازی میدان اصلی از تابش XUV استفاده از لایه سطحی آینه بازتاب چند لایه است که ضخامت این لایه دارای شیب کندی است. این امر سبب جدا سازی مد اصلی از تابش XUV می شود. این روش نسبت زاویه بروسرست مزیت های بهتری است. در روش دیگر یک روزنه کوچک در آینه مقعر پس از کانون در نظر می گیرند. نور XUV دارای واگرایی کم در مقایسه با مد اصلی است. بنابراین می تواند از این روزنه خارج شود. روزنه هارمونیکها مرتبه های پایینتر را حذف میکند. بدین ترتیب کاهش پهنای باند XUV از سمت طول موج بلند از طریق روزنه اتفاق می افتد. یک ایده جایگزین دیگر شامل توری XUV است که بر روی لایه سطحی آینه چند لایه ایجاد شده است. این ساختار به

انتخاب شده است. در ناحیه مادون قرمز ضریب شکست سیلیکون و آلومینیم آرسنید به ترتیب از روابط زیر بدست می آید:

$$n_{SiO_2} = 1 + \frac{0.6961663 \times \lambda^2}{\lambda^2 - (0.0684043)^2} + \frac{0.4079426 \times \lambda^2}{\lambda^2 - (0.1162414)^2} + \frac{0.89747494 \times \lambda^2}{\lambda^2 - (9.89616)^2}$$

$$n_{AlAs} = 2.0792 + \frac{6.0840 \times \lambda^2}{\lambda^2 - (2822)^2} + \frac{1.900 \times \lambda^2}{\lambda^2 - (27.62)^2}$$



شکل ۳: ضریب بازتاب از آینه چند لایه بر حسب طول موج برای زاویه های مختلف سایر پارامترها همانند شکل ۲

در شکل ۳ نمودار ضریب عبور بر حسب طول موج برای قطبش TM در زاویه های مختلف رسم شده است. همچنانکه از شکل مشاهده می شود در نزدیکی طول موج $\lambda = 1.03 \mu m$ با افزایش زاویه ضریب عبور نیز افزایش می یابد و به مقدار ماکزیمم می رسد. همچنین میزان تغییرات ضریب عبور با افزایش زاویه تابش کاهش می یابد. این تغییرات سبب می شود که اولاً اتلاف مد اصلی کاهش یابد و همچنین پاشندگی ضریب عبور هم کاهش یابد.

$$t(\omega) = \frac{2p_0}{[p_0 x_{22}(\omega) + p_s x_{11}(\omega)] - [p_0 p_s x_{12}(\omega) + x_{21}(\omega)]}$$

$$r(\omega) = \frac{[p_0 x_{22}(\omega) - p_s x_{11}(\omega)] - [p_0 p_s x_{12}(\omega) - x_{21}(\omega)]}{[p_0 x_{22}(\omega) + p_s x_{11}(\omega)] - [p_0 p_s x_{12}(\omega) + x_{21}(\omega)]}$$

که در اینجا $x_{ij}(\omega)$ عناصر ماتریس انتقال بلور فوتونی هستند،

$$X_N(\omega) = \Pi M_j(d_j, \omega) \equiv \begin{pmatrix} x_{11}(\omega) & x_{12}(\omega) \\ x_{21}(\omega) & x_{22}(\omega) \end{pmatrix}$$

که $M_j(d_j, \omega)$ ماتریس انتقال لایه j ام است بصورت زیر تعریف می شود:

$$M_j(d, \omega) = \begin{pmatrix} \cos[k_z^j d] & i \frac{1}{p_j} \sin[k_z^j d] \\ ip_j \sin[k_z^j d] & \cos[k_z^j d] \end{pmatrix}$$

در اینجا θ_j زاویه انتشار در لایه j ام است. و $p_j = \frac{\cos \theta_j}{n_j(\omega)}$ و همچنین $k_z^j = k_j \cos \theta_j$ مولفه بردار موج در راستای انتشار، z، است.

همچنین عبور و ضریب بازتاب شدت به ترتیب به صورت

$$T = \frac{P_s}{P_0} |t(\omega)|^2 \text{ و } R = |r(\omega)|^2 \text{ تعریف می شود:}$$

نتایج و بحث



شکل ۲: ساختار آینه چند لایه پیشنهادی جهت جداسازی مد اصلی از هارمونیک های بالا: لایه های فرد و زیر لایه از سیلیکون و لایه های زوج از آلومینیم آرسنید.

در این مقاله ساختار آینه چند لایه در شکل ۲ رسم شده است. این آینه از دو ماده سیلیکون و آلومینیوم آرسنید ساخته شده است. همچنین زیر لایه را از جنس سیلیکون

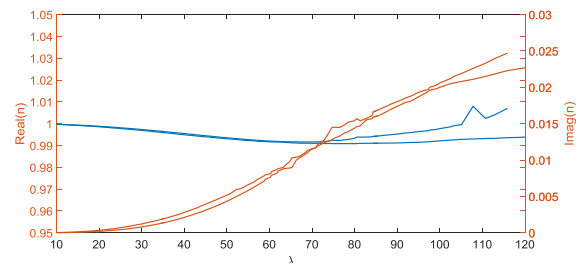
همچنین ضریب بازتاب برای هارمونیک های که در ناحیه
ماورای بنفش قرار می گیرند افزایش یابد.

نتیجه گیری

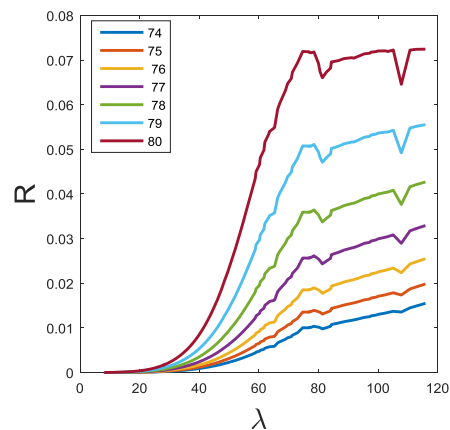
در این مقاله توانستیم با تنظیم ضخامت لایه های
مختلف آینه و زاویه تابش، شرایط لازم برای آینه ضد
بازتاب در مد اصلی را بدست آوریم. همچنین با توجه به
نمودار ها پاشندگی ضریب عبور با افزایش زاویه تابش
برای مد اصلی کاهش می یابد. از طرف با افزایش طول
موج ابتدا ضریب بازتاب افزایش می یابد و لی بعد از
 $80 A^\circ$ ضریب عبور تقریباً ثابت می ماند.

مرجع ها

- [1] A. Ashkin, G. Boyd, and J. Dziedzic, "Resonant optical second harmonic generation and mixing," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 2, no. 6, pp. 109 - 124, 1966.
- [2] E. O. Potma, C. Evans, X. S. Xie, R. J. Jones, and J. Ye, "Picosecond-pulse amplification with an external passive optical cavity," *Opt. Lett.*, vol. 28, no. 19, pp. 1835-1837, 2003.
- [3] R. J. Jones, K. D. Moll, M. J. Thorpe, and J. Ye, "Phase-coherent frequency combs in the vacuum ultraviolet via high-harmonic generation inside a femtosecond enhancement cavity," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 94, pp. 193-201, 2005.
- [4] B. Bernhardt, A. Ozawa, A. Vernaleken, I. Pupeza, J. Kaster, Y. Kobayashi, R. Holzwarth, E. Fill, F. Krausz, T. W. Hansch, and T. Udem, "Vacuum ultraviolet frequency combs generated by a femtosecond enhancement cavity in the visible," *Opt. Lett.*, vol. 37, no. 4, pp. 503-505, (2012)
- [5] I. Pupeza, E. Fill, and F. Krausz, "Low-loss VIS/IR-XUV beam splitter for highpower applications," *Opt. Express*, vol. 19, no. 13, pp. 12108-12118, (2011).
- [6] N. H. Liu, S. Y. Zhu, H. Chen, and X. Wu, *Phys. Rev. E* 65, 046607 (2002)
- [7] M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, 7th (expanded) ed. (Cambridge University Press, Cambridge, England, 1999).



شکل ۴: ضریب شکست سیلیکون و آلومینیوم ارسنید
بر حسب طول موج: الف ضریب جذب ب، ضریب شکست



شکل ۵: ضریب بازتاب برای آینه چند لایه بر حسب
طول موج (A°) برای زاویه های مختلف ، سایر پارامتر
ها همانند شکل ۲ است.

در شکل ۴ ضریب شکست سیلیکون و آلومینیوم ارسنید
بر حسب طول موج در محدوده $10-120 A^\circ$ رسم شده
است. در شکل ۵، نمودار ضریب بازتاب بر حسب طول
موج برای زوایا مختلف ساختار پیشنهادی رسم شده
است. با توجه به شکل با افزایش زاویه تابش ضریب
بازتاب نیز افزایش می یابد. همچنین با افزایش طول موج
ابتدا ضریب بازتاب افزایش می یابد و لی بعد از $80 A^\circ$
ضریب عبور تقریباً ثابت می ماند. ثابت ماندن ضریب
بازتاب سبب می شود آینه تاثیری بر دامنه هارمونیک های
منعکس شده تاثیر نداشته باشد. نتایج بدست قابل
مقایسه با نتایج بازتاب از تیغه سیلیکون است. هدف
بهبود نتایج بدست آمده با ایجاد تغییرات در ساختار آینه
چند لایه است که ضریب عبور مد اصلی افزایش یابد و