بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

محاسبه پهنای باند زاویه‌ای و طیفی توری‌های حجمی به‌عنوان جفت‌کننده ورودی در نمایشگر موجبر تصویر

مصطفی جرگ[۱]، مسعود کاوش تهرانی[۱]، سید سجاد موسوی فرد[۲]

[۱]مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

[۲]دانشکده انرژی گروه فیزیک مهندسی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه

[1]mostafajorag2018@gmail.com, [1]m_kavosh@mut-es.ac.ir, [2]s.moosavifard@gmail.com

چکیده - پهنای باند زاویه‌ای و طیفی توری‌های حجمی که به‌عنوان جفت‌کننده ورودی در نمایشگر موجبر تصویر از آن‌ها استفاده می‌شود، بر روی میدان دید و یکنواختی رنگی تصویر نهایی دریافت شده تأثیرگذارند. در این مقاله با استفاده از نظریه موج‌های جفت شده، پهنای باند زاویه‌ای و طیفی توری‌های حجمی عبوری و بازتابی به‌عنوان جفت‌کننده ورودی در نمایشگر موجبر تصویر با استفاده از نرم‌افزار متلب در طول‌موج ناحیه مرئی رسم شده است. نتیجه نشان می‌دهد که پهنای باند زاویه‌ای توری حجمی بازتابی بیش‌تر از توری حجمی عبوری است و در نتیجه میدان دید آن محدودتر است. هم‌چنین پهنای باند طیفی توری حجمی بازتابی از توری حجمی عبوری کمتر و در نتیجه دارای یکنواختی رنگی بهتری است.

کلید واژه- توری حجمی، جفت‌کننده، موجبر، میدان دید

Calculation of angular and spectral bandwidth of volume grating as input coupler in image waveguide display

Mostafa jorag[1], Masoud kavosh Tehrani[1], Sayed Sajjad Mousavi Fard[2]

[1]Faculty of Applied Science ,Malek ashtar University of Technology,

[2] Faculty of Energy, Engineering Physic Group, Kermanshah University of Technology

[1]Mostafajorag2018@gmail.com, [1]m_kavosh@mut-es.ac.ir, [2]s.moosavifard@gmail.com

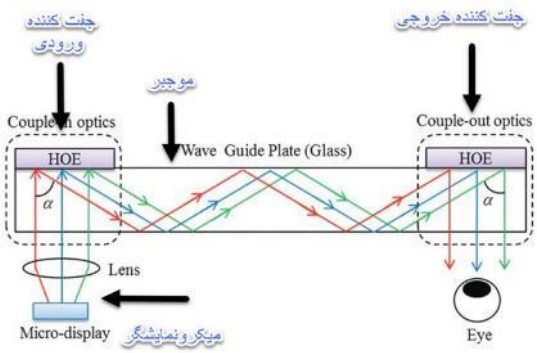
Abstract- The angular and spectral bandwidth of the volume grating, which is used as the input coupling in the image waveguide display, is affected on the field of view and color uniformity of the received final image. In this paper, using the coupled wave theory, the angular and spectral bandwidth of the transmission and reflection volume grating as input coupler in image waveguide display are plotted using the MATLAB software along the wavelength of the visible region. The result shows that the angular bandwidth of the reflection grating is more than the transmission one and therefore its field of view is more limited. Also, the spectral bandwidth of reflection grating is less than transmission one and as a result has better color uniformity.

Keywords: coupler, field of view, volume grating, waveguide

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-31]

مقدمه

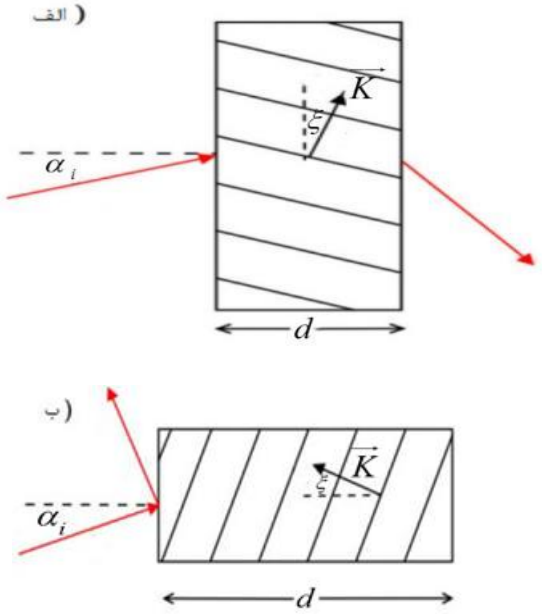
یک سامانه موجبر تصویر دستگاهی نمایشی است که در جلوی چشم انسان قرار می‌گیرد تا تصاویر مجازی را روی مناظر محیط نشان دهد. در مقایسه با نمایشگرهای سنتی وزن این سامانه می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی کاهش یابد. به‌طورکلی سامانه موجبر تصویر شامل یک میکرونمایشگر، جفت‌کننده‌های ورودی و خروجی و موجبر است. در شکل ۱ چگونگی عملکرد سامانه‌های موجبر تصویر نشان داده‌شده است [۱].



شکل ۱: تصویر پایه موجبر تصویر [۱]

عنصر جفت‌کننده ویژگی اصلی یک ترکیب موجبری است. ویژگی‌های اپتیکی ساختار جفت‌کننده ورودی مشخص کننده پهنای باند طیفی و زاویه‌ای است که می‌تواند بر روی کل سامانه اثرگذار باشد؛ بنابراین عنصر جفت‌کننده می‌تواند بر یکنواختی رنگ نسبت به میدان دید و جعبه چشم تأثیر داشته باشد. چندین فناوری برای ساخت جفت‌کننده‌ها وجود دارد که در صنعت به‌عنوان جفت‌کننده‌های ورودی و خروجی به کار می‌روند [۲]. پرکاربردترین این جفت‌کننده‌ها توری‌های حجمی هستند که مزایایی نظیر شفافیت بالا، وزن کم، اندازه کوچک و قیمت ارزان دارند [۱].

توری‌های حجمی توسط مدولاسیون ضریب شکست در حجمی از مواد حساس به نور تولید می‌شوند که توری براگ حجمی هم نامیده می‌شود. بسته به زاویه پراش، جهت توری در صفحه و مدولاسیون دوره‌ای توری، می‌توان انواع مختلفی از توری‌های براگ حجمی را طراحی کرد [۳]. همچنین توری‌های حجمی را می‌توان به دو صورت عبوری و بازتابی طراحی نمود که در شکل ۲ نشان داده‌شده است [۴].



شکل ۲: توری‌های براگ حجمی الف) توری عبوری ب) توری بازتابی [۴]

مدل غالب ریاضی برای توصیف توری‌های حجمی توسط کوگلینک در سال ۱۹۶۹ فرمول‌بندی شد [۳]. از این فرمول‌بندی ریاضی برای مدل‌سازی پهنای باند زاویه‌ای و طیفی توری‌های حجمی استفاده می‌شود.

بردار موج توری $\vec{K}$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\vec{K} = \frac{2\pi}{\Lambda} \qquad (۱)$$

که Λ دوره تناوب توری است. برای توری‌های عبوری و بازتابی شرایط براگ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-31]

$$\lambda = 2n\Lambda\cos\xi \tag{۲}$$

که n در آن ضریب شکست توری و ξ زاویه کج‌شدگی برای بردار موج توری و λ طول‌موج نور فرودی است. بر اساس نظریه کوگلینک بازده پراش برای توری‌های حجمی عبوری و بازتابی از روابط زیر به‌دست می‌آید [۵]:

$$\eta_R = \left(1 + \frac{1-\left(\frac{\zeta}{v_s}\right)^2}{\sinh\left(\sqrt{v_s^2-\zeta^2}\right)^2}\right)^{-1} \tag{۳}$$

$$\eta_T = \sin^2\left(\sqrt{v_s^2-\zeta^2}\right)\left(1+\frac{\zeta^2}{v_s^2}\right)^{-1} \tag{۴}$$

در اینجا η_R, η_T به‌ترتیب بازده پراش توری حجمی بازتابی و عبوری هستند. v_s به‌عنوان استحکام توری و ζ به‌عنوان واکوکی تعریف می‌شوند که از روابط زیر به‌دست می‌آیند.

$$v_s = \frac{\pi\Delta n d}{\lambda\sqrt{c_R c_S}} \tag{۵}$$

$$\zeta = \left(\frac{Kd}{2c_S}\right)\left(\left|\cos(\xi-\alpha_i)\right| - \frac{K\lambda}{4\pi n}\right) \tag{۶}$$

$$c_R = \cos(\alpha_i) \tag{۷}$$

$$c_S = \cos(\alpha_i) - \left(\frac{\lambda}{n\Lambda}\right)\cos(\xi) \tag{۸}$$

در این رابطه‌ها Δn مدولاسیون ضریب شکست، d ضخامت توری حجمی، c_R و c_S عوامل انحراف و α_i زاویه فرودی نور بر روی توری هستند [۵].

در این مقاله با استفاده از نظریه موج‌های جفت شده، پهنای باند طیفی و زاویه‌ای توری‌های حجمی عبوری و بازتابی به‌عنوان جفت‌کننده ورودی در نمایشگر موج‌بر تصویر با استفاده از نرم‌افزار متلب پس از بهینه‌سازی جفت‌کننده ورودی توری حجمی بازتابی و عبوری در نرم‌افزار کامسول در طول‌موج ناحیه مرئی رسم شده است.

شبیه‌سازی

در جدول ۱ و جدول ۲ به ترتیب مشخصات جفت‌کننده ورودی توری حجمی بازتابی و عبوری مشخص‌شده است. لازم به ذکر است که این مشخصات پس از بهینه‌سازی برای حداکثر بازدهی به‌دست و آورده شده است. بازده بهینه‌شده برای توری حجمی بازتابی و عبوری به‌ترتیب به ۱۰۰٪ و ۹۵٪ رسیده است.

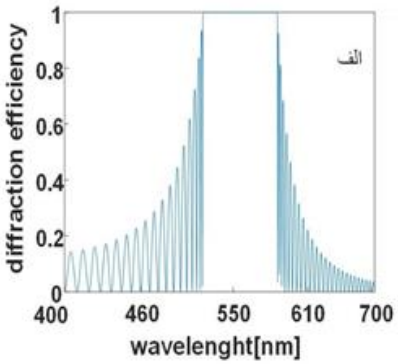
جدول ۱: مشخصات جفت‌کننده ورودی توری حجمی بازتابی

α_i (°)	ξ (°)	Λ (nm)	d (μm)	λ (nm)	n_0	Δn
۰	۶۰	۲۰۸	۱۰	۵۵۰	۱/۵۲	/۰۸

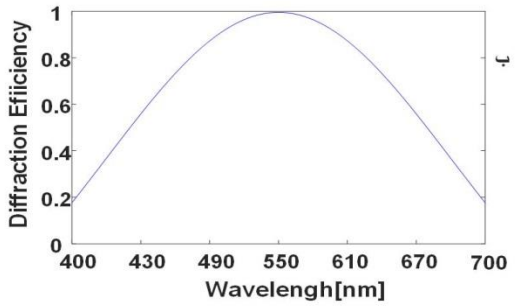
جدول ۲: مشخصات جفت‌کننده ورودی توری حجمی عبوری

α_i (°)	ξ (°)	Λ (nm)	d (μm)	λ (nm)	n_0	Δn
۰	۳۰	۳۶۱	۲	۵۵۰	۱/۵۲	/۰۸

شکل الف-۳ و ب-۳ به‌ترتیب پهنای باند طیفی جفت‌کننده ورودی توری حجمی بازتابی و عبوری را نشان می‌دهد. زاویه فرود در آن صفر درجه در نظر گرفته‌شده است.

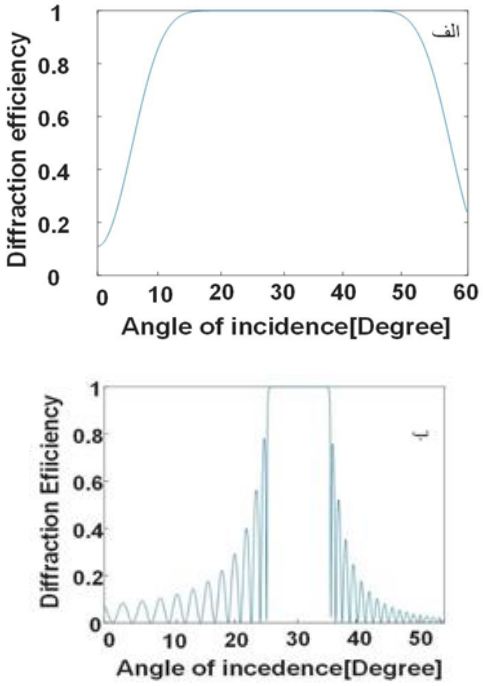


[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-31]



شکل ۳: پهنای باند طیفی جفت‌کننده ورودی الف) بازتابی ب) عبوری

در شکل الف-۴ و ب-۴ به ترتیب پهنای باند زاویه‌ای جفت‌کننده ورودی توری حجمی بازتابی و عبوری را نشان می‌دهد. زاویه فرود در این حالت ۳۰ درجه در نظر گرفته‌شده است.



شکل ۴: پهنای باند زاویه جفت‌کننده ورودی الف) بازتابی ب) عبوری

نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از نظریه موج‌های جفت‌شده، پهنای باند طیفی و زاویه‌ای توری‌های حجمی عبوری و بازتابی به‌عنوان جفت‌کننده ورودی در نمایشگر موج‌بر تصویر با استفاده از نرم‌افزار متلب در طول‌موج ناحیه مرئی رسم شد.

با توجه به شکل ۳ مشخص است که پهنای باند طیفی توری حجمی عبوری از توری حجمی بازتابی بیشتر است. در نتیجه اگر از توری حجمی بازتابی به‌عنوان جفت کننده ورودی در نمایشگر موج‌بر تصویر استفاده شود یکنواختی رنگی بهتری داریم.

با توجه به شکل ۴ مشخص است که پهنای باند زاویه‌ای توری حجمی عبوری از توری حجمی بازتابی کمتر است. در نتیجه اگر از توری حجمی عبوری به‌عنوان جفت کننده ورودی در نمایشگر موج‌بر تصویر استفاده شود میدان دید گسترده‌تری داریم.

منابع

[1] Hua Li, Xin Zhang, Guangwei Shi, Hemeng Qu, Yanxiong Wu, Jianping Zhang, *Review and analysis of avionic helmet-mounted displays*, SPIE Optical Engineering Volume 52 Issue 11 (2013) 1-14

[2] B. C. Kress, *Optical waveguide combiners for AR headsets: features and limitations*, SPIE, Digital Optical Technologies Munich, Germany (16 JULY 2019) 1-26

[3] H. Kogelnik, *Coupled Wave Theory for Thick Hologram Gratings*, Nokia Bell Labs, The Bell System Technical Journal, Volume 48 Issue 9 (1969) 2909-2947

[4] M.W. McCall, *Axial electromagnetic wave propagation in inhomogeneous dielectrics*, Mathematical and Computer Modelling, Volume 34 Issue 12-13 (2001), 1483-1497

[5] B. C. Kress, *Field Guide to Digital Micro-Optics*, 1st edition, SPIE, 2014

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-31]