## كريستالهاي فوتونيكي يك بعدي فلز-دي الكتريك شفاف

ح.على مددى .ع.بنانج ،م.حميدى ،م.واعظ زاده ،م.نوربخش .ف.پور حيدرى

دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی گروه فیزیک، <sup>۲</sup>سازمان انرژی اتمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای-پژوهشکده لیزر و اپتیک، <sup>۳</sup>دانشگاه شهید بهشتی پژوهشکده لیزر و پلاسما

چکیده – در این گزارش، به دلیل بالاتر بودن خواص اپتیکی غیر خطی فلزات نسبت به مواد دیگر و نیز پائین بودن ضریب عبور لایه های فلزی با ضخامت های بیشتر از عمق نفوذ، رفتار و چگونگی تولید کریستالهای فوتونیکی یک بعدی فلز-دی الکتریک با ضریب عبور بالا، مورد بررسی قرار گرفته است. در این نوع از مواد ترکیبی با خواص اپتیکی غیر خطی بالا، ضریب عبور از سازه آراد (200–20)/ Glass در مقایسه با تک لایه ای از مس با ضخامتی معادل با مجموع لایه های مس در سازه بلورهای فوتونیکی، بیش از ۵۰٪ افزایش پیدا می کند که تطابق خوبی با نتایج حاصل از محاسبات تئوری بر اساس روش ماتریس انتقال دارد.

## 81.15.Ef Vacuum deposition

Transparent one dimensional metal-dialectric photonic crystal

alimadadi, h';Bananej.a'; hamidi,m"; vaez zade,m';norbakhsh,m'; heidar por,f'

<sup>1</sup>Physics Department KNT University, tehjran,Iran <sup>2</sup>Laser and optics School, NSTRI,Tehran, Iran <sup>3</sup>Laser and Plasma institute, Shahid Beheshti University, Tehran,Iran

## Abstract

As we know metals have extremely large third order optical nonlinearity and fast response time and good candidate for all optical data processing. But being nontransmitting for optical radiation. In this paper we propose a new kind of artificial materials composed of one dimensional metal-dielectric photonic crystal as  $Glass (Cu-MgF_2)^3$  (Air which the thicknesses of total metal(Cu) layers are more than three times of its skin depth. According to the numerical results, it can be seen that the transmission of the one dimensional photonic crystal increased 50% with respect to the metal layer with the same thickness. The experimental results have a good agreement with theory.

<sup>1</sup> Transfer Matrix Method

Glass/(MD)³/Air که M نشاندهنده فلز مس، Cu، و Dنشاندهنده ماده دی الکتریک،Mgf2، می باشد، با استفاده از تئوری ماتریس انتقال، می پردازیم. روش **ماتریس بکار** گرفته شده برای ضریب عبور نور تابشی در شدت های پایین قابل قبول است .بنابراین در این روش اثرات غیر خطی اعمال نشده است و صرفاً رژیم خطی قابل قبول است.لازم به توضیح است که در این مقاله تاکید اصلی بر روی افزایش ضریب عبور در سازه فلز-دی الکتریک می باشد.اگر چه ضخامت کل فلز در سازه بیش از سه برابر ضخامت پوسته " فلز مي باشد.لازم به توضيح است به منظور بررسی اثرات غیر خطی از آزمایشات -z scan با استفاده از لیزر هارمونیک Nd\_YaG در حال انجام است . در قسمت تجربی به ساخت این ترکیب پرداخته ایم و نتایج به دست آمده بیانگر تطابِقی مناسب بین نتایج تجربی و تئوری می باشد. ۲- کریستالهای فوتونیکی یک بعدی فلز-دی الكتريك

همانطور که می دانیم، امواج تابشی به لایه ای از فلز با ضخامت بیشتر از عمق پوسته (δ)کاملاً منعکس شده و درصد عبور از این لایه خیلی ناچیز می باشد. به طور کلی، در حالت تابش عمود، مقدار انرژی منعکس شده به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$R = \frac{(1-n)^2 + k^2}{(1+n)^2 + k^2} \qquad (1)$$

که در این رابطه، n و k قسمت حقیقی و موهومی ضریب شکست می باشند (N = n + ik). با استفاده از ایسن رابطه و با توجه به مقادیر n و k برای مسس ( N<sub>Cu</sub> = 0.261+i 3.64) وعمسق پوسته

Skin depth<sup>3</sup>

۱– مقدمه

با توجه به بالا بودن خواص اپتیکی غیر خطی در فلزات (10<sup>6</sup> مرتبه بيش از سيليكا) و نيز زمان واهلش در حد پیکوثانیه، می توان از فلزات در سیستمهای پردازشگر تمام نوری، محدود کننده های نوری ویا سوئیچ های نوری سریع که بر اساس خاصیت اپتیک غیر خطی (Kerr effect) عمل می كنند، استفاده نمود (١). فلزات خواص غير خطي بالايي نسبت به دي الکتريک ها دارند که اين خاصیت ذاتی فلز است ، اما با توجه به ضریب تضعیف بسیار بالای فلزات در ضخامتهای بیشتر از عمق نفوذ، درعمل استفاده از فلزات در ساخت المانهاي فوتونيكي غير ممكن مي باشد(٢). در طی سالهای اخیر، به منظور استفاده مطلوب از خواص اپتیکی غیر خطی فلزات بکارگیری محلولهای کلوئیدی نانو ذرات فلزی و یا شیشه های آلائیده به نانو ذرات فلزی پیشنهاد شده اند که با توجه به خاصیت توده ای این نوع مواد استفاده از آنها در عمل مشکل است(۳و۴). امروزه بکار گیری از بلورهای فوتونیکی یک بعدی فلز-دی الکتریک به عنوان یک روش جایگزین توجه بسیاری از گروههای تحقیقاتی را جلب کرده است،که این ماده ترکیبی جدید با ضخامت فلزی چند عمق نفوذ در مقابل تابش های اپتیکی شفاف عمل می کند. کریستال فوتونیکی یک مفهوم کلی است و دارای انواع مختلف مي باشد، كريستال فوتونيكي يك بعدی به محیط هایی اتلاق می شود که ثابت دی الکتریک به طور پریودیک در آن تغییر کند. سازه مورد بحث در این مقاله یکی از انواع کریستال فوتونیکی را شامل می شود. در این تحقیق، ابتدا به شبیه سازی رفتاراپتیکی (ضریب عبور) سازه

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Optical limiter



شکل .۱. توزیع میدان الکتریکی در ۴۸ نانومتر لایه مس بـه منظـور حـل ايـن مـشكل و توانـايي اسـتفاده از خـواص غيـر خطـي اپتيكـي فلـز، از ايـن مـاده در ساختاری متناوب همراه با لایه هـای دی الکتریـک، تحت عنوان بلورهای فوتونیکی فلز- دی الکتریک، استفاده مي کنيم(4). به ايـن صـورت کـه کريـستال نوری فلز - دی الکتریک را بے صورت در نظر می گیریم که در آن *Glass /(MD)<sup>3</sup>/Air* M بیانگر لایه ی فلزی و D نشان دهنده لایه ی دی الکتریک است که به ترتیب از Cu و MgF2 استفاده کردهایم. ضخامت هر کدام از لایههای دی الکتریک با در نظر گرفتن عمـق نفـوذ امـواج پلاسـمونی در تركيب فلـز- دى الكتريـك برابـر بـا 140 نـانومتر و ضخامت لایه های مس، از مرتبه عمق نفوذ فلز (در طراحي ما 16 نـانومتر) در نظر گرفتـه شـده اسـت. مجموع ضخامت لایه های فلزی به کار رفته در این تركيب، برابر با ضخامت تك لايه مس مورد بحث مى باشد (*d* ≈ 3*δ*). آماده سازي اين لايه ها به روش تبخير حرارتي براي

مس و تفنگ الکترونی برای Mgf<sub>2</sub>، در محیط خلاء 10<sup>-6</sup> میلی بار که با استفاده از پمپ دیفیـوژن و بـا

پشتيبانی پمپ مکانيکی به خلاء پايين رسيده است، روی زیرلایه شیشه انجام شده است. با استفاده از تئوري ماتريس انتقال، به هر لايه فلز و دى الكتريك ماتريسي تحت عنوان ماتريس حالت  $\frac{i}{n}\sin\delta$  $\cos\delta$ | | اختصاص می به صورت  $in\sin\delta$   $\cos\delta$ دهیم که در آن n ضریب شکست هر کدام از محیطها و  $\delta$  اختلاف فاز ایجاد شده در اثر گذر از محیط میباشد(۶). با ضرب کردن این ماتریس ها، متناسب با تعداد و خصوصيات لايه ها، درصد عبور و توزيع ميدان الكتريكي اين ساختار را به دست مي أوريم. توزيع ميدان الكتريكي در اين تركيب، در شكل ٢ مشاهده می شود که نشان دهنده افزایش میدان الکتریکی (انرژی تابشی) عبور کرده از بلور

فوتونیکی ، در مقایسه با لایه فلزی با ضخامت برابربا مجموع ضخامت لایه های فلزی در بلور است.



همچنین با کمک گرفتن از این روش، نمودار انتقال لایه مس با ضخامت 48 نانومتر محاسبه شده است که در شکل ۳(الف) قابل مشاهده است. با توجه به این نمودار، می توان این لایه را کدر در نظر گرفت. از طرفی نمودار انتقال ترکیب بلور فوتونیکی فلز-دی الکتریک مورد نظر نیز محاسبه و در شکل ۳ (ب) نشان داده شده است. ٣-منابع:

[1]T.Tokizaki,A.Nakamara,S.Kaneko,
K.Uchida,Appl.phys.lett65,941(1994)
[2] S. Bennik, Y. Kwom, Yoon, R.
W. Boyd, Opt. lett, 24, 1416, (1999).
[3]A.Schweinsberg,G.Piredda,R.S.Bennik,R.W.boyd,phy,rev.lett.93,123902(2004)

[4]M.Scalora, M.J.Bloemer, J. Appl. Phys. Lett.72, 1676(1998).

[5] E.D.Palik, "Hand book of optical constants of solids".

(6) P. Yeh, "Optical waves in layered media", John willey and sons public. (2005).



شکل۳. نمودار انتقال نمونه با استفاده ازتئوری ماتریس انتقال. (الف) با یک لایه مس (ب) نمودار انتقال نمونه فلز- دی الکتریک با لایه های متناوب <sup>۳</sup>(Cu/MgF2) در تشابه با منحنی تغییرات میدان الکتریکی، انتقال در نمونه ترکیبی مورد نظر ما به اندازه ۵۰ درصد افزایش یافته است. به منظور مقایسه نتایج تجربی و تئوری، در شکل ۴.

نمودار انتقال تک لایه مس و بلور تهیه شده آورده شده است.



شکل .۴. (الف) نمودار انتقال نمونه با یک لایه مس (ب) نمودار انتقال نمونه با لایه های متناوب<sup>7</sup>(Cu/MgF2) با مقایسه شکل های ۳ و ۴، تطابق نتایج تئوری به دست آمده ونتایج تجربی را می توان ملاحظه کرد و در نتیجه با مشاهده افزایش ۵۰ درصدی در انتقال از بل\_\_\_\_ور فوت\_\_\_\_ونیکی فل\_\_\_ز دی الکتری\_\_\_ک بل\_\_\_ور موت\_\_\_ونیکی فل\_\_\_ز دی الکتری\_\_\_ک اپتیکی غیر خطی فلز مس در طول موج ۶۰۰ نانومتر به راحتی استفاده نمود.