

کریستالهای فوتونیک یک بعدی فلز-دی الکتریک شفاف

ح.علی مددی^۱، ع.بنانج^۲، م.حمیدی^۳، م.واعظ زاده^۱، م.نوربخش^۲، ف.پور حیدری^۲

^۱دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی گروه فیزیک، سازمان انرژی اتمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای - پژوهشکده لیزر و اپتیک، ^۲دانشگاه 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 فوتونیک 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 $Glass / (Cu - MgF_2)^3 / Air$ در مقایسه با تک لایه ای از مس با ضخامتی معادل با مجموع لایه های مس در سازه بلورهای فوتونیک، بیش از ۵۰٪ افزایش پیدا می کند که تطابق خوبی با نتایج حاصل از محاسبات تئوری بر اساس روش ماتریس انتقال^۱ دارد.

81.15.Ef Vacuum deposition

Transparent one dimensional metal-dielectric photonic crystal

alimadadi, h^۱; Bananej, a^۲; hamidi, m^۲; vaez zade, m^۱; norbakhsh, m^۲; heidar por, f^۲

^۱Physics Department KNT University, tehran, Iran

^۲Laser and optics School, NSTRI, Tehran, Iran

^۳Laser 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.

^۱ Transfer Matrix Method

۱- مقدمه

با توجه به بالا بودن خواص اپتیکی غیر خطی در فلزات (10^6 مرتبه بیش از سیلیکا) و نیز زمان واهلش در حد پیکوثانیه، می توان از فلزات در سیستمهای پردازشگر تمام نوری، محدود کننده های نوری^۲ و یا سوئیچ های نوری سریع که بر اساس خاصیت اپتیک غیر خطی (Kerr effect) عمل می کنند، استفاده نمود (۱). فلزات خواص غیر خطی بالایی نسبت به دی الکتریک ها دارند که این 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 المانهای فوتونیک غیر ممکن می باشد(۲).

در طی سالهای اخیر، به منظور استفاده مطلوب از خواص اپتیکی غیر خطی فلزات بکارگیری از محلولهای کلوئیدی نانو ذرات فلزی و یا شیشه های آلانیده 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 بکارگیری از بلورهای فوتونیک 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 فوتونیک یک مفهوم کلی است و دارای انواع مختلف می باشد، کریستال فوتونیک یک بعدی به محیط هایی اطلاق می شود که ثابت دی الکتریک به طور پیرویدیک در آن تغییر کند. سازه مورد بحث در این مقاله یکی از انواع کریستال فوتونیک را شامل می شود. در این تحقیق، ابتدا به شبیه سازی رفتار اپتیکی (ضریب عبور) سازه

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^۳ فلز می باشد. لازم به توضیح 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 تطابق مناسب بین نتایج تجربی و تئوری می باشد.

۲- کریستالهای فوتونیک یک بعدی فلز-دی الکتریک

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:

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

که در این رابطه، n و k قسمت حقیقی و موهومی ضریب شکست می باشند ($N = n + ik$). با استفاده از این رابطه و با توجه به مقادیر n و k برای مس ($N_{Cu} = 0.261 + i3.64$) و عمق پوسته

در طی سالهای اخیر، به منظور استفاده مطلوب از خواص اپتیکی غیر خطی فلزات بکارگیری از محلولهای کلوئیدی نانو ذرات فلزی و یا شیشه های آلانیده 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 بکارگیری از بلورهای فوتونیک 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 فوتونیک یک مفهوم کلی است و دارای انواع مختلف می باشد، کریستال فوتونیک یک بعدی به محیط هایی اطلاق می شود که ثابت دی الکتریک به طور پیرویدیک در آن تغییر کند. سازه مورد بحث در این مقاله یکی از انواع کریستال فوتونیک را شامل می شود. در این تحقیق، ابتدا به شبیه سازی رفتار اپتیکی (ضریب عبور) سازه

Skin depth³² Optical limiter

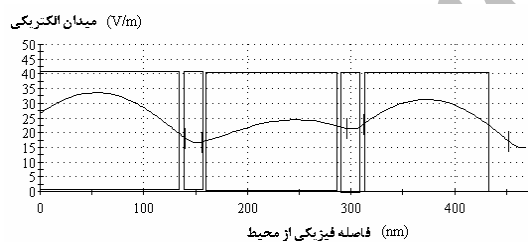
پشتیبانی پمپ مکانیکی به خلاء پایین رسیده است، روی زیرلایه شیشه انجام شده است.

با استفاده از تئوری ماتریس انتقال، به هر لایه فلز و دی الکتریک ماتریسی تحت عنوان ماتریس حالت

$$\text{به صورت } \begin{pmatrix} \cos \delta & \frac{i}{n} \sin \delta \\ in \sin \delta & \cos \delta \end{pmatrix} \text{ اختصاص می}$$

دهیم که در آن n ضریب شکست هر کدام از محیطها و δ اختلاف فاز ایجاد شده در اثر گذر از محیط می باشد (۶). با ضرب کردن این ماتریس ها، متناسب با تعداد و خصوصیات لایه ها، درصد عبور و توزیع میدان الکتریکی این ساختار را به دست می آوریم.

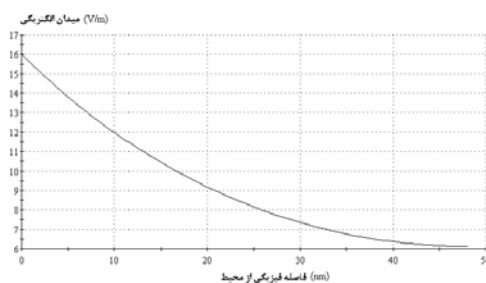
توزیع میدان الکتریکی در این ترکیب، در شکل ۲ مشاهده می شود که نشان دهنده افزایش میدان الکتریکی (انرژی تابشی) عبور کرده از بلور فوتونیک، در مقایسه با لایه فلزی با ضخامت برابر با مجموع ضخامت لایه های فلزی در بلور است.



شکل ۲. توزیع میدان الکتریکی در بلور نوری فلز- دی الکتریک

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 فوتونیک فلز- دی الکتریک مورد نظر نیز محاسبه و در شکل ۳(ب) نشان داده شده است.

در طول موج 600 نانومتر، به ازای ضخامتهای بیشتر از 13 نانومتر، مقدار انرژی انعکاسی بیش از 92٪ خواهد شد و این واقعیت را در شکل (۱) که نشان دهنده توزیع میدان الکتریکی در لایه ای از مس به ضخامت 48 نانومتر است، نشان داده ایم.

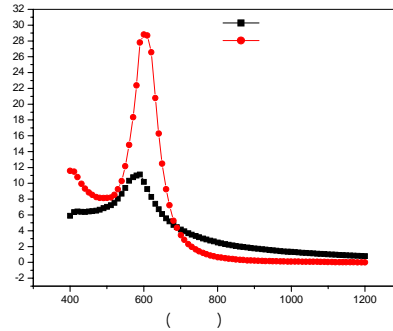


شکل ۱. توزیع میدان الکتریکی در 48 نانومتر لایه مس به منظور حل این مشکل و توانایی استفاده از خواص غیر خطی اپتیکی فلز، از این ماده در ساختاری متناوب همراه با لایه های دی الکتریک، تحت عنوان بلورهای فوتونیک فلز- دی الکتریک، استفاده می کنیم (4). به این صورت که کریستال نوری فلز- دی الکتریک را به صورت $Glass / (MD)^3 / Air$ در نظر می گیریم که در آن M بیانگر لایه ی فلزی و D نشان دهنده لایه ی دی الکتریک است که به ترتیب از Cu و MgF_2 استفاده کرده ایم. ضخامت هر کدام از لایه های دی الکتریک با در نظر گرفتن عمق نفوذ امواج پلاسمونی در ترکیب فلز- دی الکتریک برابر با 140 نانومتر و ضخامت لایه های مس، از مرتبه عمق نفوذ فلز (در طراحی ما 16 نانومتر) در نظر گرفته شده است. مجموع ضخامت لایه های فلزی به کار رفته در این ترکیب، برابر با ضخامت تک لایه مس مورد بحث می باشد ($d \approx 3\delta$).

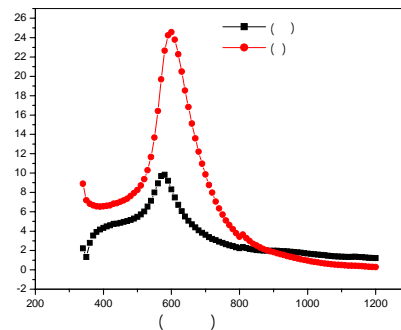
آماده سازی این لایه ها به روش تبخیر حرارتی برای مس و تفنگ الکترونی برای MgF_2 ، در محیط خلاء 10^{-6} میلی بار که با استفاده از پمپ دیفیوژن و با

۳-منابع:

- [1] T. Tokizaki, A. Nakamara, S. Kaneko, K. Uchida, Appl. phys. lett 65, 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).



شکل ۳. نمودار انتقال نمونه با استفاده از تئوری ماتریس انتقال. (الف) با یک لایه مس (ب) نمودار انتقال نمونه فلز-دی الکتریک با لایه های متناوب $(Cu/MgF_2)^3$ 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 $(Cu/MgF_2)^3$ با مقایسه شکل های ۳ و ۴، تطابق نتایج تئوری به دست آمده و نتایج تجربی را می توان ملاحظه کرد و در نتیجه با مشاهده افزایش ۵۰ درصدی در انتقال از بلور فوتونیک فلز دی الکتریک $Glass / (Cu - MgF_2)^3 / Air$ می توان از خواص اپتیکی غیر خطی فلز مس در طول موج ۶۰۰ نانومتر به راحتی استفاده نمود.