



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



## فیلترهای میکروویو کوک پذیر بر پایه ی نانوسیم های فرومغناطیسی در بلورهای فوتونی مغناطیسی

مهساصدقی پور و سیده مهری حمیدی

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده - فیلترهای میکروویو به دلیل کاربردهای گسترده در مخابرات مورد توجه فراوان قرار گرفته اند. امروزه طراحی و ساخت فیلترهای میکروویو بر پایه نانوسیم های مغناطیسی مطرح شده است و در راستای بهره گیری از فرکانس تشدید فرومغناطیسی نانوسیم ها، از آنها در ساختارهای متناوب بلورهای فوتونی استفاده می شود. به این ترتیب نانوسیم های مغناطیسی در بلور مگنتوفوتونی نقش بازی می کنند و تغییر مشخصه های بلور می تواند به تغییر در منحنی مشخصه این فیلترها منجر شود. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر کوک پذیری پاسخ تشدید فرومغناطیسی بلور به ازای میدان های مغناطیسی خارجی از ۰ تا ۴ کیلواورستد است. همچنین تغییر در طول موجهای جذبی فیلتر میکروویو با استفاده از عناصر سازنده بلور، به عنوان عامل تغییر ساختاری نشان داده شده است.

کلید واژه - بلور فوتونی مغناطیسی، نانوسیم های مغناطیسی، تشدید فرومغناطیسی.

## Tunable microwave filters based on ferromagnetic nanowires in magnetic photonic crystals

M. Sedghipour and S. M. Hamidi,

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran.

Abstract- In this paper we try to describe and design of tunable microwave filter based on magnetic nanowires in magnetic photonic crystal. Use of magnetic nanowires in these new structures yield to ability to control the ferromagnetic resonance of the nanowires and then to use as microwave filters. Our theoretical results show the tunable microwave filters by the aid of external magnetic field from zero to 4 KOe, which is very suitable in microwave devices.

Keywords: magnetic photonic crystal, magnetic nanowires, ferromagnetic resonance

## ۱- مقدمه

بلورهای فوتونی ساختارهای دی الکتریک یا فلزی هستند که در آن ها ضریب شکست به صورت متناوب در محدوده‌ای از مرتبه طول موج کاری تغییر می‌کند. این بلورها بخاطر کاربردهای علمی و عملی در سال های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. علت گرایش روز افزون به این بلورها وجود یک باند ممنوعه فوتونی در برخی فرکانس هاست که مانع عبور امواج الکترومغناطیسی در این ناحیه فرکانسی درون بلور می‌شود که شبیه باند ممنوعه الکترونی در نیمه رساناهاست. این ساختار اجازه می دهد از طریق باند ممنوعه فوتونی و باند عبوری، انتشار نور تحت کنترل قرار گیرد.

بلورهای فوتونی در محدوده مایکروبیبه عنوان موجبرهای افت پایین، جفت کننده‌ها، بازتابنده‌ها، آنتن‌های بهره بالا و عدسی‌های مایکروبی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. [۳] به کارگیری این ساختارهای متناوب در محدوده مایکروبی با بهره گیری از فریت ها که دارای گذردهی مغناطیسی مخالف یک هستند، امکان پذیر می‌شود. این دسته ساختارها شامل خطوط انتقال میکرواستریپ روی زیر لایه متناوب مغناطیسی هستند که شامل نانوسیم‌های فرومغناطیسی می‌باشند. در واقع فریت‌های مرسوم به دلیل دارا بودن فرکانس تشدید پایین در محدوده چندین گیگا هرتز کاربری نخواهند داشت، به همین دلیل از مواد فرومغناطیس با فرکانس تشدید بالا استفاده می‌شود. از سویی رسانندگی بالای این مواد اجازه انتشار موج الکترومغناطیس را در محدوده مایکروبی نمی‌دهد، بنابراین از نانوسیم‌های فرومغناطیسی که در پوسته متخلخل از پلی کربنات فرونشانیده شده‌اند، استفاده می‌شود [۲].

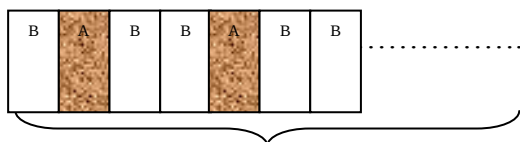
از سویی توانایی کنترل پاسخ فرکانس تشدید فرومغناطیسی<sup>۱</sup> (FMR) توسط عوامل خارجی مانند میدان مغناطیسی از اهمیت بسزایی در راستای طراحی فیلترهای کوک پذیر مایکروبی برخوردار است.

در این گزارش تغییر باند نواری فوتونی (MPBG)<sup>۲</sup> و فرکانس تشدید فرومغناطیسی و همچنین بازه فیلترینگ

در بلورهای مگنتوفوتونی شامل نانوسیم‌های فرومغناطیسی در محدوده مایکروبی مورد تحقیق قرار گرفته است.

## ۲- ساختار فیلتر مایکروبی

بلور مغناطیسی فوتونی یک بعدی با ساختار  $M = \left( (M_b M_a M_b)^2 M_b \right)^n$  شبیه به موجبر کاواک های تزویج شده یک بعدی معرفی می‌شود (شکل ۱). لایه A از جنس پلیمر با ضریب شکست  $n_p = 2.89$  و لایه B شامل نانو سیم های فرومغناطیسی Permalloy ( $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ) فرونشانیده شده در بستره ی پلیمری با ضریب شکست  $n_{eff}$  و  $\mu_{eff}$  است، ضخامت هر یک از لایه ها ۵۳۸/۱ میلی متر در نظر گرفته شده است.



$$M = \left( (M_b M_a M_b)^2 M_b \right)^n$$

به دلیل وجود نانوسیم های فرومغناطیسی در لایه B ضریب پذیرفتاری مغناطیسی موثر  $\mu_{eff}$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{eff} = \frac{\mu^2 - \kappa^2}{\mu} \quad (1)$$

که در این رابطه  $\mu_f$ ،  $\kappa_f$  بیانگر عنصر قطری و غیرقطری تانسور پذیرفتاری مغناطیسی برای یک نانوسیم:

$$\mu_f = 1 + \frac{\omega_m (\omega_r + i\alpha\omega)}{(\omega_r + i\alpha\omega)^2 - \omega^2} \left( \frac{1 + \alpha_n}{2} \right) \quad (2)$$

$$\kappa_f = \frac{\omega_m \omega \alpha_n}{(\omega_r + i\alpha\omega)^2 - \omega^2}$$

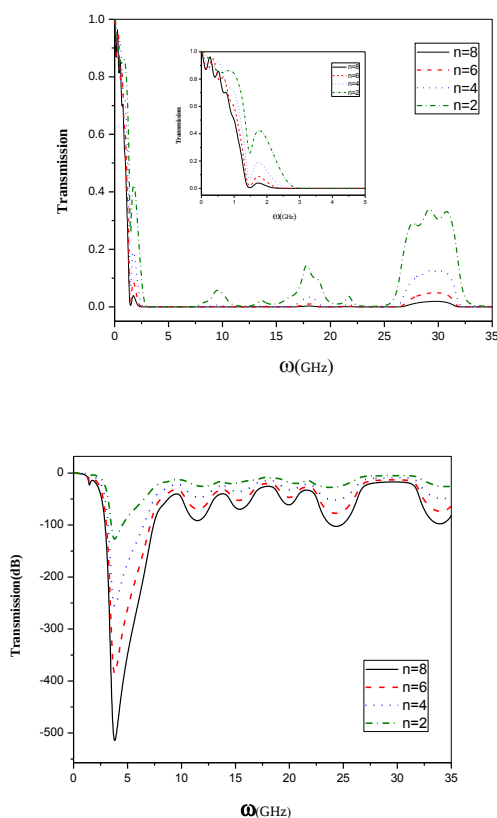
تعریف می‌شود و کمیت های  $\alpha$ ،  $\omega_r$ ،  $\alpha_n$  و  $p$  به ترتیب فاکتور میرایی گیلبرت، فرکانس تشدید فرو مغناطیسی،

<sup>1</sup> Ferromagnetic Resonance

<sup>2</sup> Magnetic Photonic Band Gap

تعداد سلول واحد مورد بررسی قرار می‌دهیم.  $H_{dc} = 0, \alpha_n = 0.8, \alpha = 0.08, p = 0.3$  با تغییر

با توجه به منحنی تغییرات پاسخ اپتیکی بلور فوتونی مغناطیسی، با افزودن عدد تکرار، منطقه باند نواری ظاهر می‌شود و همچنانکه انتظار می‌رود، به تعداد  $n-1$  قله در دو طرف محدوده باند نواری ظاهر می‌شود. به علاوه حوالی باند نواری فوتونی امواج الکترومغناطیسی بازتابیده می‌شوند. با تغییر عدد تکرار در بلور فوتونی مغناطیسی، قله اصلی عبوری در باند فوتونی ظاهر شده و به سمت فرکانس‌های بالاتر جابجا می‌شود.



شکل (۲): پاسخ اپتیکی بلور فوتونی مغناطیسی به ازای اعداد تکرار مختلف. (الف) منحنی بلور، (ب) منحنی افت توان  $(\omega_r = 1.463 \text{ GHz})$ ، منحنی ضمیمه شده تغییر فرکانس FMR در بازه کوچکتر را نشان می‌دهد.

مغناطش پسماند  $\left(\frac{m_r}{m_s}\right)$  و فاکتور پرشدگی است. هم

چنین

$$\mu = 1 + p(\mu_f - 1) \quad (3)$$

$$\kappa = p\kappa_f$$

معرف عنصر قطری و غیرقطری تانسور پذیرفتاری مغناطیسی برای مجموعه‌ی نانوسیم‌هاست. دستیابی به پاسخ اپتیکی سیستم مورد نظر، با کمک روابط ماتریس انتقال به صورت زیر ممکن می‌شود:

فرض کنید یک موج الکترومغناطیس تکفام با قطبش TE به طور عمود بر سطح این بلور می‌تابد. با حل معادلات ماکسول، عناصر ماتریس برای هر لایه و به دنبال آن ماتریس مشخصه کل  $M$  به صورت زیر معرفی می‌شود:

$$M_a = \begin{pmatrix} \cos \beta_a & \frac{i \sin \beta_a}{q_a} \\ iq_a \sin \beta_a & \cos \beta_a \end{pmatrix}$$

$$M_b = \begin{pmatrix} \cos \beta_b & \frac{i \sin \beta_b}{q_b} \\ iq_b \sin \beta_b & \cos \beta_b \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$M = \left( (M_b M_a M_b)^2 M_b \right)^n$$

$\beta_a, \beta_b$  بیانگر فاز و  $q_a, q_b$  عکس ضریب شکست لایه هاست. در نهایت ضریب عبور به صورت زیر به دست می‌آید:

$$t = \frac{2P_i}{P_i(M_{11} + P_i M_{12}) + P_i(M_{21} + M_{22})} \quad (5)$$

که  $P_i$  معرف عدد موج در محیط فرودست. با چشم پوشی از اثرات میدان ناهمسانگردی و با توجه به عمود بودن میدان بر نانوسیم‌ها، حال پاسخ اپتیکی سیستم را به ازای

### ۳- نتیجه‌گیری

فیلترهای میکروویو بر پایه نانو سیم‌های مغناطیسی در بلور فوتونی مغناطیسی طراحی شد. ایجاد باندهای نواری ممنوعه و باندهای میان گذر عبوری در فیلترهای میکروویو به ازای تغییر در عدد تکرار لایه‌های سازنده بلور فوتونی مغناطیسی مورد تحقیق قرار گرفت. همچنین قابلیت کوک پذیری فرکانس تشدید نانو سیم‌های فرو مغناطیسی به ازای میدانهای مغناطیسی خارجی از ۰ تا ۴ کیلواورستد مورد بررسی قرار گرفت.

### مراجع

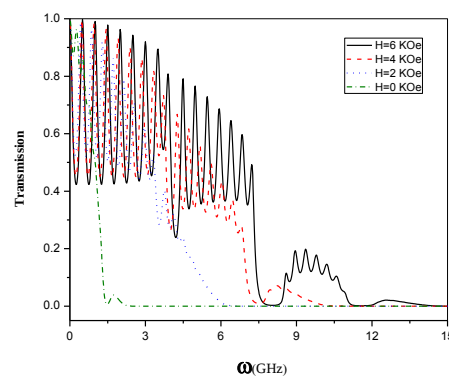
- [1] F. Gadot, A. Ammouche, A. de Lustrac, A. Chelnokov, F. Bouillault, P. Crozat, J.M. Lourtioz, "photonic band gap materials for devices in the microwave domain", IEEE Transaction On Magnetcs 34, 5(1998).
- [2] A. Saib, D. VJanvier, I. Huynen, A. Encinas, L. Piroux et al, "Magnetic photonic band gap materials at microwave frequency based on ferromagnetic nanowires", Appl. Phys. Lett. 83, 2378 (2003).
- [3] P. Xu, T. Y. Cai, Z. Y. Li, "Studies on magnetic photonic band gap material at microwave frequency", Solid state communications. 130, 451 (2004).

از سوی دیگر، جذب امواج الکترومغناطیسی حوالی فرکانس تشدید فرومغناطیسی نانو سیم‌ها رخ می‌دهد که با تغییر عدد تکرار در بلور بدون تغییر می‌ماند.

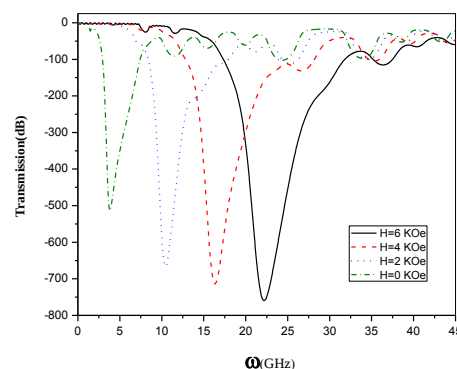
این بار با تغییر میدان مغناطیسی خارجی، پاسخ اپتیکی بلور فوتونی مغناطیسی با ساختار

$$M = \left( (M_b M_a M_b)^2 M_b \right)^8$$

را بررسی می‌کنیم:



(الف)



(ب)

شکل (۳): پاسخ اپتیکی بلور فوتونی مغناطیسی به ازای تغییر میدان مغناطیسی خارجی (الف) منحنی بلور، (ب) منحنی افت توان

به وضوح مشخص است که با افزایش میدان مغناطیسی خارجی، فرکانس تشدید به سمت فرکانس‌های بالاتر جابجا می‌شود.