بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

# فیلترهای مایکروویو 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 مایکروویو به دلیل کاربردهای گسترده در مخابرات مورد توجه فراوان قرار گرفته اند. امروزه طراحی و ساخت فیلترهای مایکوویو 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 مایکروویو با استفاده از عناصر سازنده بلور، به عنوان عامل تغییر ساختاری نشان داده شده است.**

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

# 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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]

## ۱- مقدمه

بلورهای فوتونی ساختارهای دی الکتریک یا فلزی هستند که درآن ها ضریب شکست به صورت متناوب در محدوده‌ای از مرتبه طول موجِ 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 نورتحت کنترل قرارگیرد.

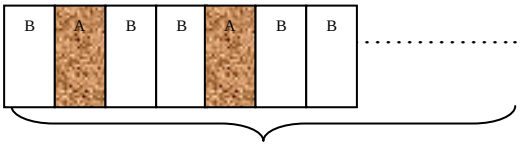
بلورهای فوتونی درمحدوده مایکرویوبه عنوان موجبرهای افت پایین، جفت کننده‌ها، بازتاباننده‌ها، آنتن‌های بهره بالا و عدسی‌های مایکروویو مورد استفاده قرار می‌گیرند[۱] [۳].به کارگیری این ساختارهای متناوب درمحدوده مایکروویو با بهره گیری از فریت ها که دارای گذردهی مغناطیسی مخالف یک هستند، امکان پذیر می‌شود. این 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 ازمواد فرومغناطیس با فرکانس تشدید بالا استفاده می‌شود. از سویی رسانندگی بالای این مواد اجازه انتشارموج الکترومغناطیس را در محدوده مایکروویو 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[1] (FMR) توسط عوامل خارجی مانند میدان مغناطیسی از اهمیت بسزایی در راستای طراحی فیلترهای کوک پذیر مایکروویو برخوردار است.

در این گزارش تغییر باند نواری فوتونی[2](MPBG) و فرکانس تشدید فرومغناطیسی و همچنین بازه فیلترینگ در بلورهای مگنتوفوتونی شامل نانوسیم‌های فرومغناطیسی درمحدوده مایکرویو مورد تحقیق قرار گرفته است.

## ۲- ساختار فیلتر مایکروویو

بلور مغناطیسی فوتونی یک بعدی با ساختار $M=\left(\left(M_bM_aM_b\right)^2M_b\right)^n$ شبیه به موجبر کاواک های تزویج شده یک بعدی معرفی می‌شود (شکل۱). لایه A ازجنس پلیمرباضریب شکست $n_p=2.89$ و لایه B شامل نانو سیم های فرومغناطیسی Permalloy($Ni_{80}Fe_{20}$) فرونشانیده شده در بستره ی پلیمری با ضریب شکست $n_{eff}$ و $\mu_{eff}$ است، ضخامت هر یک ازلایه ها۵۳۸ /۱میلی متردر نظر گرفته شده است.




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

به دلیل وجـود نانوسـیم هـای فرومغناطیسـی در لایـه B ضـریب پـذیرفتاری مغناطیسـی مـوثر $\mu_{eff}$ بـه صـورت زیرتعریف می‌شود:

$$\mu_{eff}=\frac{\mu^2-\kappa^2}{\mu} \qquad (۱)$$

که در این رابطه $\mu_f$ ، $\kappa_f$ بیانگر عنصرقطری وغیرقطری تانسور پذیرفتاری مغناطیسی برای یک نانوسیم:

$$\mu_f=1+\frac{\omega_m\left(\omega_r+i\omega\alpha\right)}{\left(\omega_r+i\alpha\omega\right)^2-\omega^2}\left(\frac{1+\alpha_n}{2}\right)$$
$$\kappa_f=\frac{\omega_m\omega\alpha_n}{\left(\omega_r+i\alpha\omega\right)^2-\omega^2} \qquad (۲)$$

تعریف می‌شود و کمیت های $\alpha$ ، $\omega_r$ ، $\alpha_n$و $p$ به ترتیـب فاکتور میرایی‌گیلبرت، فرکانس تشـدید فـرو مغناطیسـی،

[1] Ferromagnetic Resonance
[2] Magnetic Photonic Band Gap



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]

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

$$\mu = 1 + p\left(\mu_f - 1\right)$$
$$\kappa = p\kappa_f \qquad (۳)$$

معرف عنصرقطری وغیرقطری تانسور پذیرفتاری مغناطیسی برای مجموعه‌ی نانوسیم‌هاست. دستیابی به پاسخ اپتیکی سیستم موردنظر،باکمک روابط ماتریس انتقال به صورت زیرممکن می‌شود:

فرض کنید یک موج الکترومغناطیس تکفام با قطبش TE به طورعمودبرسطح این بلور می‌تابد. با حل معادلات ماکسول، عناصرماتریس برای هر لایه وبه دنبال آن ماتریس مشخصه کل $M$ به صورت زیرمعرفی می‌شود:

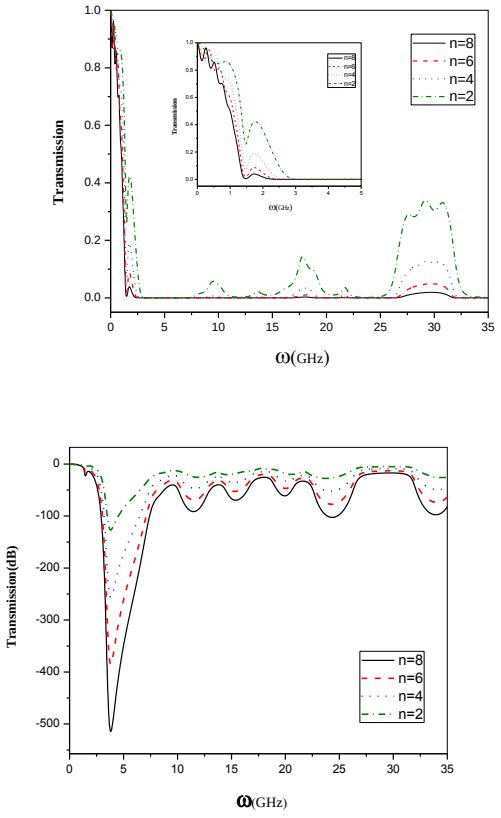
$$M_a = \begin{pmatrix} \cos\beta_a & \frac{i\sin\beta_a}{q_a} \\ iq_a\sin\beta_a & \cos\beta_a \end{pmatrix}$$
$$M_b = \begin{pmatrix} \cos\beta_b & \frac{i\sin\beta_b}{q_b} \\ iq_b\sin\beta_b & \cos\beta_b \end{pmatrix} \qquad (۴)$$
$$M = \left(\left(M_b M_a M_b\right)^2 M_b\right)^n$$

$\beta_a$ ، $\beta_b$ بیانگرفازو $q_a$ ، $q_b$ عکس ضریب شکست لایه هاست.درنهایت ضریب عبور به صورت زیر به دست می آید:

$$t = \frac{2P_i}{P_i(M_{11} + P_i M_{12}) + P_i(M_{21} + M_{22})} \qquad (۵)$$

که $P_i$ معرف عددموج در محیط فرودیست. باچشم پوشی ازاثرات میدان ناهمسانگردی وباتوجه به عمود بودن میدان برنانوسیم‌ها، حال پاسخ اپتیکیِ سیستم را به ازای $H_{dc} = 0$ ، $\alpha_n = 0.8$ ، $\alpha = 0.08$ ، $p = 0.3$ باتغییر تعدادسلول واحدمورد بررسی قرار می‌دهیم.

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



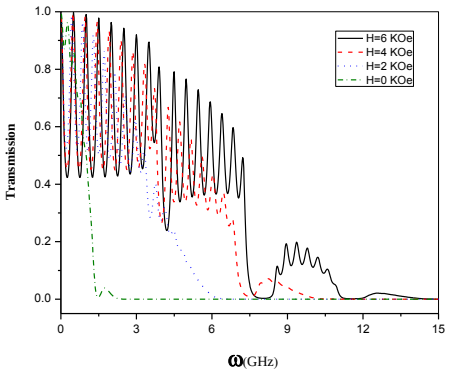

شکل(۲): پاسخ اپتیکی بلورفوتونی مغناطیسی به ازای اعدادتکرارمختلف.(الف)منحنی بلور،(ب)منحنیِ افت توان ($\omega_r = 1.463GHz$) ، منحنی ضمیمه شده تغییر فرکانس FMR در بازه کوچکتر را نشان می دهد.



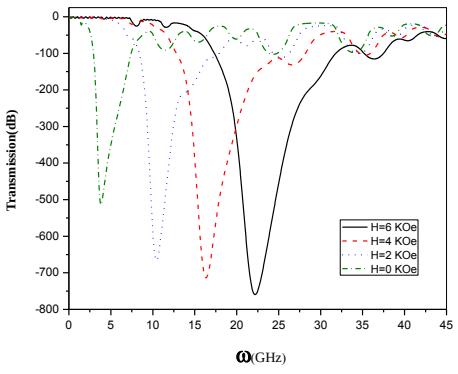
[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]

از سوی دیگر، جذب امواج الکترومغناطیسی حوالی فرکانس تشدید فرومغناطیسی نانو سیم ها 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 $M=\left(\left(M_bM_aM_b\right)^2M_b\right)^8$ رابررسی می‌کنیم:




(الف)




(ب)

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

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

## ۳- نتیجه‌گیری

فیلترهای مایکروویو بر پایه نانو سیم های مغناطیسی در بلور فوتونی مغناطیسی طراحی شد. ایجاد باندهای نواری ممنوعه و باندهای میان گذر عبوری در فیلترهای مایکروویو به ازای تغییر در عدد تکرارِ لایه های سازنده بلور فوتونی مغناطیسی مورد تحقیق قرار گرفت. همچنین قابلیت کوک پذیری فرکانس تشدیدیِ نانو سیم های 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. Piraux 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 comminications. 130, 451 (2004).



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]