بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸

طراحی فیلترجدید توری براگ فیبری(FBG) مبتنی بر میکرو کاواک بلور فوتونی آلاییده به مولکولهای نقاط کوانتومی

داود احمدی[۱]، فروغ بزرگ زاده[۲]، مصطفی صحرایی[۳]
پردیس بین المللی ارس، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران۱
پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران[۲و۳]

چکیده:
یک مدل جدید برای فیلتر توری براگ فیبری را بر اساس ساختار گاف باند فوتونیک[۱] یک بعدی که درون پنجره مخابراتی کار می-کند، پیشنهاد می‌کنیم. این دستگاه در میکرو کاواک بلور فوتونی نامتقارن با لایه نقصی که در مرکز ساختار قرار گرفته تحقق می-یابد. نشان داده شده که بسته به مقدار ولتاژ گیت و در نتیجه پارمتر تونل زنی، ویژگی‌های جذب و پاشندگی با تغییر ولتاژ مؤثر تغییر می‌کند. با بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر، فیلترینگ نوری با پهنای باند طیفی مخابراتی امکان‌پذیر است. تنظیم طول موج فیلتر و تعداد مودهای هدایت شده با تغییر خصوصیات لایه نقص کریستالی فوتونی انجام می‌شود. تأثیر زاویه تابش و قطبش میدان کاوشگر در طیف انتقال بررسی شده است.

کلمات کلیدی: میکرو کاواک بلور فوتونی، مولکول های نقاط کوانتومی، لایه نقص، تونل زنی، جذب و پاشندگی

Design of fiber bragg grating filter based on photonic crystal microcavity doped with quantum-dots molecules(QDM)

Ahmadi davood[1], Bozorgzadeh forough[2], Sahraei mostafa[3]
Aras International Campus, University of Tabriz, Tabriz, Iran[1]
Research Institute for Applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz, Iran[2,3]

Abstract:
We propose a new model for fiber Bragg grating filter based on one-dimensional defective photonic bandgap (PBG) structures, which operates within the Telecom windows. The device is realized in an asymmetric photonic crystal microcavity with the defect layer placed in the center of the structure. It is shown that depending on the gate voltage value and as a result of tunneling parameter, the adsorption and dispersion properties change with the effective voltage change. By optimizing the effective parameters, optical filtering with telecommunication spectral bandwidth is possible. Also, tuning the filtering wavelength and the number of guided modes is performed by changing the properties of PC's defect layer. The effect of the incident angle of the probe field on the transmittance spectra is calculated.

Keyword: photonic crystal microcavity, quantum-dot molecules, defect layer, tunneling, absorbtion &dispersion

[1] - PBG

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

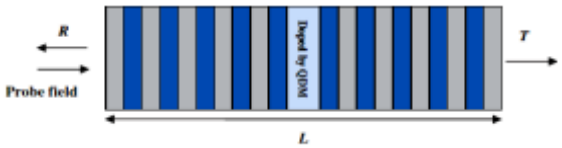
[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-07]

مقدمه:

اخیراً مطالعات زیادی در زمینه فیلترهای نوری با خصوصیات طیفی دلخواه و قابل کنترل گزارش شده است. فیلترهای نوری قابل تنظیم که اساسی ترین بخش در تجهیزات تقسیم طول موج متراکم[1] هستند[۱و۲]، برای انتخاب طول موج‌های برای انتقال به فیبرها و مسدود کردن طول موج‌های دیگر استفاده می‌شوند. در بین انواع مختلف فن آوری های فیلتر نوری، توری‌های براگ فیبری (FBG) یکی از مواردی هستند که به دلیل پایدار بودن بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. FBGها عناصر اصلی در ارتباطات با موج نور هستند و حوزه مخابرات فیبر نوری را متحول کرده‌اند. از آن‌جا که خصوصیات FBG ها به هندسه ساختار، ضریب شکست و وجود نقص بستگی دارد، شناسایی رفتار عملیاتی دقیق سیستم مهم است. با انگیزه از مطالعات نظری پیشین[۳]، یک روش جدید برای فیلتر نوری FBG با تعبیه مولکول نقاط کوانتومی InAs/GaAs در لایه نقص پیشنهاد می‌کنیم. از دیدگاه تجربی، ساختار توری با چند لایه دی الکتریک با استفاده از تکنیک‌های مختلفی از جمله فرآیند سل ژل ساخته می‌شود. در این حالت، تهیه کل ساختارها مقیاس‌پذیر است[۴].

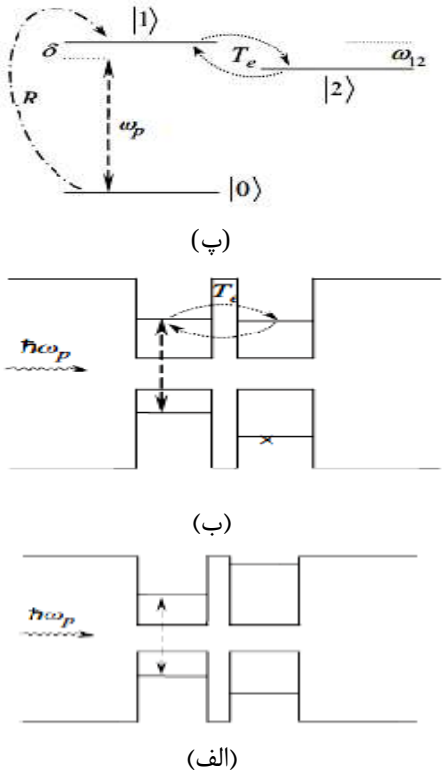
۱- مدل نظری و معادلات

مدل شامل یک سامانه به شرح زیر برای فیلتر نوری FBG است که در پنجره نوری مخابراتی عمل می‌کند. این سامانه مطابق شکل ۱ یک بلور فوتونی نامتقارن از جنس Sio2/Tio2 با ۲۱ لایه بوده که لایه وسط، لایه نقص شامل مولکول نقاط کوانتومی از جنس InAs/GaAs است.



شکل۱: سامانه فیلتر نوری FBG مورد نظر

از این به بعد برای سهولت ، لایه با ضریب شکست پایین ($n_{SiO_2}=1.47$) را با n_L و لایه با ضریب شکست بالا ($n_{TiO_2}=2.28$) را با n_H نمایش می‌دهیم. هر لایه ضخامت نوری ربع طول موج دارد که با توجه به طول موج مخابراتی در ناحیه مادون قرمز و به میزان $\lambda_p=1.55\mu m=1550nm$، ضخامت نوری به شکل $n_Hd_H= n_Ld_L= \lambda_p/4$ خواهد بود که d_Hوd_L به ترتیب ضخامت فیزیکی لایه های با ضریب شکست بالا و پایین طبق قانون براگ، انعکاس نور در نزدیکی شرایط براگ ($\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda$: n_{eff} ضریب شکست موثر و Λ گام ضریب شکست) اتفاق می‌افتد. ساختار را بصورت $(HL)^{N'}(D)(LH)^{N'}$ نمایش می‌دهیم. N' تعداد تناوب و D لایه نقص است. مولکول نامتقارن نقاط کوانتومی InAs/GaAs از دو نقطه کوانتومی به اندازه کافی به هم نزدیک تشکیل شده به‌طوری‌که تابع موج آن‌ها با هم هم‌پوشانی دارند. ساختار نواری و ترازی آن مطابق شکل ۲ است.



شکل۲: ساختار نواری مولکول های نقاط کوانتومی (الف) قبل از اعمال ولتاژ گیت (ب) بعد از اعمال ولتاژ گیت (پ)ترازهای انرژی بعد از اعمال میدان کاوشگر

با اعمال یک میدان الکترومغناطیسی، الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش نقطه کوانتومی اول برانگیخته می‌شود. این الکترون برانگیخته با اعمال ولتاژ گیت به نقطه کوانتومی دوم تونل زده و میزان این تونل زنی توسط ولتاژاعمالی کنترل می‌گردد. دو تراز $|0\rangle$ و $|1\rangle$ به ترتیب پایین ترین تراز نوار ظرفیت و بالاترین تراز نوار رسانش نقطه کوانتومی اول هستند. تراز $|2\rangle$ تراز برانگیخته نقطه کوانتومی دوم است. با اعمال ولتاژ گیت، در نوارهای رسانش تراز $|2\rangle$ به تراز $|1\rangle$ نزدیک‌تر شده درحالی‌که ترازهای پایینی در نوارهای ظرفیت در جای اولیه خود باقی مانده و دارای اختلاف انرژی بالا هستند.

در این مدل میدان کاوشگر با فرکانس ω_p و فرکانس رابی

[1] - Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-07]

$\Omega_p = \vec{E}_P.\vec{\varphi}_{10} / 2\hbar$ بین تراز پایه و برانگیخته نقطه کوانتومی اول یعنی $|0\rangle \rightarrow |1\rangle$ اعمال می شود. $\vec{\varphi}_{10}$ ممان دوقطبی گذار الکترون و $\vec{E}_P$ دامنه میدان الکتریکی میدان کاوشگر می‌باشد. هامیلتونی سیستم در تصویر اندرکنش به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$H = H_0 + H_1 \quad (۱)$$

$$H_0 = \hbar\omega_0 |0\rangle\langle 0| + \hbar\omega_1 |1\rangle\langle 1| + \hbar\omega_2 |2\rangle\langle 2| \quad (۲)$$

انرژی هر تراز از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$E_i = \hbar\omega_i, (i = 0,1,2) \quad (۳)$$

$$H_I = [\Omega_p e^{i\omega_p t} |0\rangle\langle 1| + T_e |1\rangle\langle 2| + H.C] \quad (۴)$$

T_e پارمتر مربوط به تونل زنی است. معادلات ماتریس چگالی در تقریب موج چرخان و مختصات دوران یافته :

$$\begin{aligned}
\dot{\rho}_{00} &= j*\Omega_p(\rho_{01} - \rho_{10}) + \Gamma_{10}\rho_{11} + \Gamma_{20}\rho_{22} \\
\dot{\rho}_{11} &= j*\Omega_p(\rho_{10} - \rho_{01}) + j*T_e(\rho_{12} - \rho_{21}) - \Gamma_{10}\rho_{11} \\
\dot{\rho}_{22} &= j*T_e(\rho_{21} - \rho_{12}) - \Gamma_{20}\rho_{22} \\
\dot{\rho}_{10} &= j*\Delta_p\rho_{10} + j*\Omega_p(\rho_{11} - \rho_{00}) - j*T_e\rho_{20} \\
&-(\Gamma_{10}/2)\rho_{10} \\
\dot{\rho}_{20} &= j*(\Delta_p + \omega_{12})\rho_{20} + j*\Omega_p\rho_{21} - j*T_e\rho_{10} \\
\dot{\rho}_{21} &= j*\Omega_p\rho_{02} + j*\omega_{12}\rho_{21} + j*T_e(\rho_{22} - \rho_{11}) - ((\Gamma_{10} + \Gamma_{20})/2)\rho_{21}
\end{aligned} \quad (۵)$$

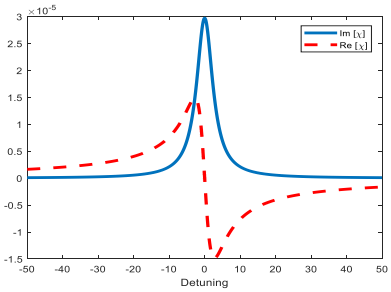
که $\Delta_p = \omega_{10} - \omega_p$ نامیزانی میدان کاوشگر، $\omega_{10} = \frac{2\pi c}{\lambda_0}$ و $\lambda_0 = 1.55\mu m$ طول موج است. Γ_{10} و Γ_{20} به ترتیب واهلش خودبخودی از ترازهای $|1\rangle$ و $|2\rangle$ هستند.پذیرفتاری خطی الکتریکی میدان کاوشگر با حل معادلات ماتریس چگالی بدست می‌آید. در مدل مورد نظر با فرض ضعیف بودن میدان کاوشگر ($\Omega_p \ll \Gamma_{10}$)، پذیرفتاری الکتریکی خطی آن از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$\chi = \chi' + i\chi'' = \frac{2N\varphi_{10}}{E_p\varepsilon_0}\rho_{10} \quad (۶)$$

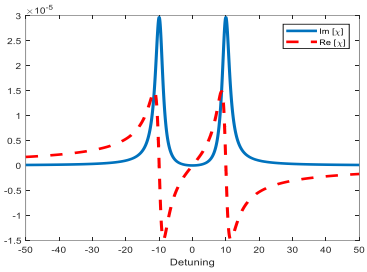
N چگالی حامل‌های بار در نقاط کوانتومی است. قسمت حقیقی و موهومی پذیرفتاری الکتریکی خطی به ترتیب پاشندگی و جذب نور در محیط را نشان می‌دهد.

۲- نتایج و بحث

در شکل ۳ نمودارهای جذب و پاشندگی نشان داده شده است. در شکل (۳-الف) ولتاژ گیت اعمال نشده و در نتیجه تونل زنی صورت نگرفته و یک پیک جذب در طول موج ۱۵۵۰nm مشاهده می‌شود. در این طول موج شیب پاشندگی نیز منفی است. در شکل (۳-ب) اثر تونل زنی T_e با اعمال ولتاژ گیت و ایجاد هم‌دوسی در سیستم موجب کاهش قابل ملاحظه جذب در محدوده طول موجی ۱۵۵۰nm شده است. همچنین شیب پاشندگی نیز از منفی به مثبت تغییر نموده است. تغییر شیب پاشندگی از منفی به مثبت می‌تواند اساس طراحی کلیدزنی نوری باشد که در سیستم‌های مخابرات نوری مورد استفاده واقع می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل۳: نمودارهای جذب و پاشندگی (الف) بدون اثر تونل زنی با T_e=۰ (ب) با اعمال ولتاژ گیت و در نتیجه اثر تونل زنی با $T_e = 10\ mev$.

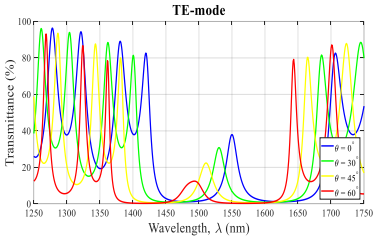
در شکل۴ نمودارهای مربوط به عبوردهی نور برای مد TE وابسته به زاویه برخورد میدان کاوشگر به سطح فیلتر FBG پیشنهادی و نیز پارامتر تونلی T_e رسم شده اند. برای دستیابی به حداکثر انتقال برای حالت نقص، پیشنهاد می شود مواد با اختلاف بالای ضریب شکست انتخاب شوند. ما در این مقاله یک دسته از لایه دوبل SiO/TiO2 دارای اختلاف زیاد در ضریب شکست با Δn/n=49٪ در ۱۵۵۰nm انتخاب شده است. در شکل (۴-الف)، نمودارهای عبوردهی مد TE بدون اثر تونل زنی با T_e=۰ برای زوایای مختلف برخورد میدان کاوشگر بر سطح فیلتر مورد نظر شامل ۰،۴۵،۳۰و۶۰ درجه نسبت به خط عمود رسم شده اند. با تغییر زاویه برخورد میدان کاوشگر به سطح فیلتر، ارتفاع پیک عبوری تابعی کاهشی از زاویه تابش است، یعنی پیک باند عبوری با افزایش زاویه تابش کاهش می‌یابد. همچنین پیک مد نقص با افزایش زاویه تابش به طول موج های کوتاه تر تغییر می‌کند که این خود می‌تواند امکان

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

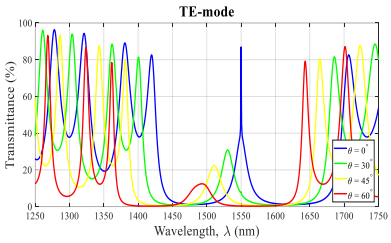
[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-07]

تنظیم فیلتر مورد نظر در محدوده باند درخواستی را فراهم نماید.

در شکل (۴-ب)، نمودارهای عبوردهی مد TE با اثر تونل زنی با T_e=۱۰ برای زوایای مختلف برخورد میدان کاوشگر بر سطح فیلتر مورد نظرشامل ۰،۳۰،۴۵و۶۰ درجه نسبت به خط عمود رسم شده‌اند. مطابق نمودارها مجدداً ارتفاع پیک عبوری تابعی کاهشی از زاویه تابش است و پیک مد نقص با افزایش زاویه تابش به طول موج های کوتاه‌تر تغییر می‌کند. در این حالت میزان عبوردهی پیک نقص افزایش خیلی چشمگیری را نسبت به حالت قبلی بدون اثر تونل زنی دارد.



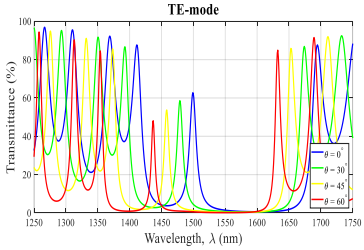
(الف)



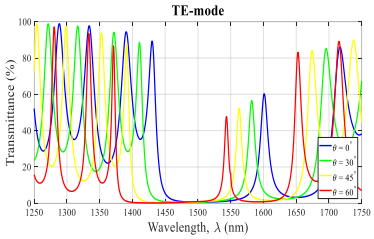
(ب)

شکل ۴: نمودارهای عبوردهی برای مد TE برای زوایای مختلف برخورد میدان کاوش‌گر بر سطح فیلتر مورد نظرشامل ۰، ۳۰،۴۵و۶۰ درجه نسبت به خط عمود (الف) بدون اثر تونل زنی با T_e=0 (ب) با اثر تونل زنی با T_e=10.

در شکل ۵ تأثیر خصوصیات هندسی در عبوردهی میدان کاوشگر با مد TE از فیلتر مورد نظر نشان داده شده است. این نشان می‌دهد که افزایش ضخامت لایه نقص، مود نقص را به طول موج‌های طولانی تر تغییر می‌دهد، در حالی‌که کاهش ضخامت لایه نقص باعث می‌شود مود نقص در طول موج کوتاه‌تر ظاهر شود.با کاهش ضخامت لایه نقص، حتی می‌توان فیلترهای FBG با طول موج انتخابی را که عمدتاً در سایر باندهای ارتباطی (مخابراتی) کار می‌کنند به دست آورد.



(الف)



(ب)

شکل ۵ نمودارهای عبوردهی فیلتر مورد نظر برای مد TE (الف) با ضخامت لایه نقص $d_D = 0.8(\lambda_0 / 2n_D)$ (ب) با ضخامت لایه نقص $d_D = 1.2(\lambda_0 / 2n_D)$

۳-نتیجه گیری:

به طور خلاصه، ما از لحاظ تئوری فیلترباند باریک توری براگ فیبری متشکل از میکرو کاواک کریستال فوتونی آلاییده به مولکول نقاط کوانتومی را پیاده سازی کرده‌ایم. نشان داده شده است که با توجه به تغییر ولتاژ گیت و در نتیجه پارمتر تونل زنی، می‌توان جذب، پاشندگی میدان پروب را کنترل نمود. همچنین انتقال نور از دستگاه به زاویه تابش میدان کاوشگر و همچنین خصوصیات هندسی میکرو کاواک کریستال فوتونی بستگی دارد. با تغییر ولتاژ گیت، می‌توان یک فیلتر FBG داشت. نشان داده شده است با افزایش ضخامت لایه نقص، نقص به طول موج‌های طولانی‌تر و نیز بالعکس منتقل می‌شود. قابل ذکر است که با مهندسی لایه نقص کریستال فوتونی می‌توان یک فیلتر FBG دلخواه را بدست آورد. یافته‌های ما ممکن است به طرح‌های جدیدی از فیلترهای نوری قابل تنظیم منجر شود که می‌تواند در کاربردهای مختلف "به خصوص در ارتباطات مخابراتی" مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از مواد ارزان قیمت و پاسخ نوری قابل اعتماد از مهم‌ترین مزایای ساخت چنین فیلتر FBG هستند.

مراجع

[1] Stamatios V,Kartalopoulos,” Networks , Devics &Technology,2003 DWDM”,ISBN 964 -96117-3-8.

[2]Manolatou,c.,Khan,M.J.,Fan,S.,Villeneuve,P.R.,HAUS,H.,and Joannopoulos,J.D,”Coupling of modes analysis of resonant channel add-drop filters”,IEEE J.Quantum Electron,35,1322-1331,1999.

[3]M.R.Mehmannavaz,r.Nasehi,H.Sattari,M.Mahmoudi,”Controlling the optical bisability and multistability via tunneling-induced and incoherent pumping field in a triple coupled quantum dots at a wavelength of λ=1550 nm”,superlattices and microstructures 75 (2014) 27-38.

[4]J.Jasieniak,C.Sada,A.Chiasera,M.Ferrari,A.Martycci,P.Mulvaney,”Sol-Gel based vertical optical microcavities with quantum dot defect layers”, Adv.Funct.Mater.2008,18,3772-3779.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-07]