این مقاله طبق مجوز شماره ۹۳/۱۷/۸۰۵ مرکز منطقه ای اطلاع رسانی علوم و فناوری RICeST زیر نظر وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در آن مرکز نمایه و منتشر شده است.

مدهای فوتونی محبوس در ساختارهای کاواک نانوباریکه بلور فوتونی مبتنی بر فابری پرو با استفاده روزنه‌های هوای مخروطی

مظفرالدین فردوسیان طهرانی

گروه برق، واحد سروستان، دانشگاه آزاد اسلامی، سروستان، ایران

چکیده

در این مقاله، مدهای فوتونی محبوس TE در ساختارهای کاواک نانوباریکه‌های (NB) مختلف ارائه شده است. این ساختارها بر اساس سیستم‌های موجبر باریک فابری پرو و توزیع بازتابنده‌های براگ (DBRs) هستند که با استفاده از روزنه‌های هوای مخروطی در مجاورت و دور از نانوکاواک (NC) ترکیب شده‌اند. در برخی بخش-های شبیه سازی، جداره دیوارهای NC در فرمی سهمی‌وار انحنادار شده‌اند. روزنه‌های مخروطی هوا و دیواره‌های باریک شده سهمی‌وار کاواک، مدهای TE با ضریب کیفیت بالا (Q) و حجم مودال پایین فراهم می‌کنند. در ساختار بهینه شده مقادیر بالای Q بزرگتر از 10^4 و حجم مودال به کوچکی $0.7\ (\lambda/n)^3$ به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی

کاواک نانوباریکه؛ مد محبوس؛ روزنه‌های هوای مخروطی؛

۱- مقدمه

کاربرد نوری ساختارهای نانومتری در یک نیم قرن پیش غیر قابل تصور یا به سختی امکان پذیر بود. ایده‌ی بلورهای فوتونی (PhCs) ابتدا توسط Eli Yablonovich در سال ۱۹۸۷ پیشنهاد شد. ساختار PhC را می‌توان با استفاده از ثابت دی الکتریک متناوب در انواع شبکه، در یک، دو و سه بعد طراحی و تولید کرد. کاواک PhCs که با تعیین یک نقص در شبکه عادی ساخته می‌شود، در دهه‌های اخیر به علت تعامل قوی بین نور و ماده توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۱]. نانوکاواک‌های فوتونیک بلوری (NCs) ساخته شده در مواد دی الکتریک نیمه هادی قادر به محبوس کردن نور در مقیاس حجمی به اندازه کسر مکعبی از طول موج نور درون کاواک هستند [۲-۵]. ضریب کیفیت بسیار بالا (Q) و حجم مودال کوچک در چنین نانوساختارهایی، منجر به ارائه کاربردی جدید در حوزه‌های وسیعی مانند لیزرهای با آستانه کم [۱، ۶-۹]، پدیده اپتیک غیر خطی [۱۰-۱۴]، شناخت آزمایشات الکترودینامیک کاواک کوانتومی در مواد حالت جامد [۱۵] و پردازش اطلاعات کوانتومی و فیلترهای با دقت بالا می‌شود [۱۶-۱۷].

در این مقاله، مدهای فوتونی را در ساختارهای کاواک نانوباریکه PhC (NB) مبتنی بر سیستم فابری پرو با توزیع بازتابنده‌های براگ که توسط مجموعه‌ای مخلوط از روزنه‌های هوای مخروط در ترکیب با کاواک دیوار منحنی انجام شده است، بررسی می‌شوند.

۲- شبیه سازی مدهای کاواک نانوباریکه با استفاده از روش اختلاف محدود دامنه فرکانس (FDFD)

ساختار کاواک نانوباریکه فوتونی بلور (PhC-NB)، همانطور که در شکل نشان 1-a داده شده است، شامل یک ردیف روزنه هوا (شکل استوانه عمودی)، در امتداد محور یک موجبر فوتونی باریک (به عنوان مثال سیلیکون) با عرض ۵۰۰ نانومتر، که همانند یک پل که در زیر آن هوا وجود دارد معلق است [۱۸]، و ضریب شکست مؤثر در اینجا ۳/۱۹ در نظر گرفته شده است. در این مقاله، قطبش TE حالت‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. در شبیه سازی ما بسته به انتخاب صحیح پارامترهای روزنه‌های هوا شامل قطر روزنه، فاصله سوراخ‌ها/ دوره زمانی در آینه‌ها، تغییر اندازه شبکه و قطرهای روزنه هوا در قسمت‌های مخروطی و طول کاواک، مقادیر بالای ضریب کیفیت (Q) بدست آمده است. تعداد روزنه‌های هوا در بخش مخروطی در نزدیکی کاواک (N_{TI}) به مقدار $N_{TI}=4$ بهینه شده است. به دلیل انعکاس موج از دیواره‌ها و آرایه‌های کاواک روزنه‌های هوا، انسجام امواج در حال گردش اصلاح خواهد شد. بنابراین، برای جبران جابجایی فاز، مقاطع مخروطی روزنه‌های هوا در نزدیکی و دور از کاواک NB استفاده شده است.

دو جفت چهارتایی روزنه که در همسایگی کاواک قرار گرفته‌اند ($N_{TI}=4$)، به ترتیب دارای قطر ۱۷۰، ۱۸۰، ۱۶۶، و ۱۳۱ نانو متر هستند و به ترتیب دارای شبکهٔ حفره‌ای (فاصله‌های مرکز تا مرکز) ۳۴۲، ۳۰۴، ۳۱۰ و ۲۹۰ نانومتر هستند. در حالی که دو جفت چهارتایی روزنه دورتر از محل حفره قرار گیرند ($N_{TO}=4$)، به ترتیب دارای قطر و شبکهٔ حفره‌ای برعکس خواهند بود ۱۳۱، ۱۶۶، ۱۸۰ و ۱۷۰ نانومتر برای قطر و ۲۹۰، ۳۱۰، ۳۰۴ و ۳۴۲ نانومتر برای شبکهٔ حفره‌ای [۱۸].

محاسبات با استفاده از روش اختلاف محدود دامنه فرکانس (FDFD) برای حفره‌ای با طول ۴۴۰ نانومتر، منجر به ضریب کیفیت در حدود۲۲۶۰ برای یک مد فوتونی در طول موج ۱۴۷۱/۸ نانومتر شد. طرح کلی و محاسبات دو و سه بعدی الگوهای توزیع شار انرژی این مدها، با استفاده اجزاء S_x و S_y بردار پوئینتینگ در شکل ۱ رسم و نشان داده شده است. مد درجه دو دارای الگوی توزیع به شدت گسترده‌تری است و بنابراین حجم مودال آن بیشتر از مد درجه یک / پایه است.