

طراحی و شبیه‌سازی دی‌مالتی‌پلکسر صوتی 1×3 مبتنی بر کریستال‌های فونونی شش ضلعی با استفاده از کاواک‌های رینگ رزوناتوری

مریم ایمانی^۱ کیازند فصیحی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده فنی و مهندسی- دانشگاه گلستان- گرگان- ایران

m.imani98@stu.gu.ac.ir

۲- دانشیار- دانشکده فنی و مهندسی- دانشگاه گلستان - گرگان- ایران

k.fasihi@gu.ac.ir

چکیده: در این مقاله، طراحی و شبیه‌سازی یک دی‌مالتی‌پلکسر صوتی مبتنی بر کریستال‌های فونونی با بهره‌گیری از کاواک‌های رینگ رزوناتوری ارائه شده است. دی‌مالتی‌پلکسر پیشنهادی دارای یک پورت ورودی و سه پورت خروجی است. ابعاد ساختار 243×180 میلی‌متر مربع بوده و از استوانه‌های آب در بستر جیوه تشکیل شده است. پس از اعمال یک موجی پالسی در محدوده فرکانسی $74/6$ تا $75/4$ کیلوهرتز به ساختار و محاسبه طیف عبور، مشاهده می‌شود که سه کانال با فرکانس‌های $74/82$ ، $75/02$ و $75/28$ کیلوهرتز تفکیک می‌شوند. در این پژوهش از روش المان محدود در نرم‌افزار کامسول استفاده شده است. ساختار پیشنهادی با برخورداری از عبوردهی بیشتر از $0/7$ در کانال‌های خروجی، ضرایب کیفیت بسیار بالا و مقدار هم‌شنوایی ناچیز بین کانال‌های خروجی (که در بدترین حالت 45 - دسی‌بل است)، دارای ویژگی‌های بسیار مناسبی برای پیاده‌سازی دی‌مالتی‌پلکسرهای صوتی است.

واژه‌های کلیدی: دی‌مالتی‌پلکسر صوتی، کریستال فونونی، رینگ رزوناتور، هم‌شنوایی، ضریب کیفیت

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.61186/jiaeee.21.85

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۱۳

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر کیازند فصیحی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران- گرگان- خیابان شهید بهشتی- دانشگاه گلستان- دانشکده فنی و مهندسی- گروه مهندسی برق

۱- مقدمه

کریستال‌ها، آرایش‌هایی متناوب از اتم‌ها و مولکول‌ها هستند. کریستال‌های فونونی ساختارهای تناوبی هستند که حداقل از دو ماده تشکیل شده‌اند؛ یکی ماده زیرساخت و دیگری پراکنده‌کننده‌هایی که بصورت متناوب در ماده زیرساخت قرار گرفته‌اند. به مانند کریستال‌های فوتونی [۳-۱]، ماهیت تناوبی در کریستال‌های فونونی نیز خواص جدیدی به آن‌ها می‌دهد که در مواد حجمی دیگر یافت نمی‌شود به عنوان مثال، این ساختارها می‌توانند شکاف باندهایی^۱ صوتی را ارائه دهند؛ گستره‌های فرکانسی که در آن‌ها انتشار امواج صوتی به درون ساختار ممنوع است [۴]. با بهره‌گیری از ایجاد شکاف باند فرکانسی، بسیاری از ادوات مبتنی بر کریستال‌های فونونی طراحی یا ساخته شده‌اند مانند: فیلترها^۲ [۵، ۶]، دی‌مالتی‌پلکسرها^۳ [۷، ۸]، حسگرها^۴ [۹، ۱۰]، منابع^۵ [۱۱]، سوئیچ‌ها^۶ [۱۲]، و موج‌برها^۷ [۱۳].

اینکه کریستال‌های فونونی در آینده‌ای نزدیک در کاربردهایی مانند مخابرات بی‌سیم، حس‌گر، پردازش سیگنال صوتی و تصویربرداری سونوگرافی به کار گرفته شوند، کاملاً مورد انتظار است. افزایش استفاده از افزاره‌های مبتنی بر کریستال‌های فونونی در سال‌های اخیر و شتاب تحقیقات و آزمایش‌ها در این عرصه دلیلی بر اهمیت قطعات مبتنی بر این ساختارها است. با توجه به گسترش روزافزون امواج صوتی و مکانیکی در محیط زندگی روزمره، نیاز برای کنترل این نوع امواج بیش از پیش مورد اهمیت قرار می‌گیرد.

اولین مطالعه عددی کریستال‌های فونونی در سال ۱۹۹۳ توسط سیگالاس انجام شد که در آن با استفاده از روش بسط امواج صفحه‌ای برای ساختاری متشکل از کره‌هایی در بستر یک ماده همگن، شکاف باند فونونی مشاهده و اندازه‌گیری شد [۱۴]. کریستال‌های فونونی بسته به اینکه از چه موادی برای اجزا و بستر استفاده شود به سه دسته‌ی مایع-مایع^۸، جامد-جامد^۹ و مایع-جامد^{۱۰} تقسیم می‌شوند. همچنین از لحاظ ابعاد به سه دسته‌ی یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی به معنای وجود تناوب در یک، دو و سه جهت تقسیم می‌شوند. منظور از تناوب در جهت‌های مختلف، وجود خاصیت تناوبی در خواص مکانیکی ساختار (پارامترهایی مانند چگالی) است. هرچقدر خواص مکانیکی ماده‌ی میزبان و ماده‌ی پس‌زمینه بیشتر باشد، محدوده‌ی شکاف باند گسترده‌تر خواهد بود. با نظر به اینکه ساختار دوبعدی بسیاری از خواص ساختار سه بعدی را دارد و حجم محاسبات کمتری برای شبیه‌سازی نیاز است در این پژوهش از کریستال دوبعدی استفاده می‌شود. اضافه کردن نقص‌ها به یک کریستال فونونی اجازه طراحی ادواتی مانند موج‌برها و کاواک‌های تشدید را می‌دهد. افزودن نقص به یک کریستال فونونی به معنی برهم زدن تناوب حاکم بر ساختار است. با اعمال نقص به ساختار و ایجاد یک مد نقص در محدوده‌ی شکاف باند فونونی می‌توان امواج صوتی درون شکاف باند فونونیک را کنترل کرد و کارکردهایی جدید را به یک کریستال فونونی افزود. نقص‌ها می‌توانند به صورت نقطه‌ای یا خطی باشند. این تغییرات می‌توانند شامل تغییر

اندازه‌ی شعاع حفره‌ها یا استوانه‌ها، تغییر موقعیت آن‌ها، تغییر ماده‌ی درون آن‌ها و یا هر تغییری که موجب برهم‌زدن تناوب و یکپارچگی ساختار می‌شود، باشند.

مطاعی و بهرامی [۷] در سال ۲۰۱۶ یک دی‌مالتی‌پلکسر ۸ کاناله مبتنی بر کریستال فونونی با شبکه مربعی متشکل از استوانه‌های آب در بستر تنگستن با کسرپرشدگی ۰/۴۶ طراحی و شبیه‌سازی کردند. نقص اعمالی در ساختار تغییر شعاع ۰/۰۱ میلی‌متری و جایگزینی آب با متیل نانوفلوروپتیل‌اتر در استوانه‌های مسیر خروجی است. رستمی دوگلرسا و همکاران [۸] نیز یک دی‌مالتی‌پلکسر صوتی قابل‌تنظیم با دو کانال خروجی طراحی کردند. این ساختار با شبکه‌ی مربعی و متشکل از استوانه‌های آب در بستر جیوه و کسر پرشدگی ۰/۳۰ است. نقص نقطه‌ای حاصل از تغییر جنس یکی از استوانه‌ها در مسیر خروجی از آب به MNE و ENE است. رستمی دوگلرسا و همکاران [۱۵] در تکمیل کار قبلی خود، یک دی‌مالتی‌پلکسر صوتی کریستال فونونی با ساختاری چنگال شکل با ۴ پورت خروجی ارائه دادند. ساختار پیشنهادی آن‌ها از یک شبکه مربعی از استوانه‌های پر شده با آب در بستر جیوه تشکیل شده است. در طرح قبلی این گروه، هدف سوئیچ کردن فرکانس دو کانال خروجی صرفاً با تنظیم دمای ماده پرکننده حفره‌ها بود درحالی‌که هدف گروه از طرح جدید در نظر گرفتن یک سیگنال صوتی پهن باند و دی‌مالتی‌پلکس کردن آن به چهار کانال باند باریک با ضرایب کیفیت بالا (در دمای ثابت) است. نقص‌های اعمالی به چهار کانال خروجی مشتمل بر تغییر جنس استوانه‌های تشکیل‌دهنده کاواک‌های کانال‌های خروجی از آب به MNE و تغییر در اندازه‌ی شعاع‌های این استوانه‌ها است. فانگ و همکاران [۱۶]، در سال ۲۰۲۳ یک حسگر کریستال فونونی با ساختار دو بعدی، ضریب کیفیت بالا و حساسیت عالی برای تشخیص غلظت استون ارائه دادند. میانگین مقدار ضریب کیفیت این ساختار برای غلظت‌های ده تا صد درصد برابر ۳۰۶۹۰ است. ماده‌ی بستر جیوه و پراکنده کننده‌ها از جنس آب هستند. شکاف باند این ساختار در محدوده‌ی ۱۹ تا ۲۲ کیلوهرتز است و نقص ایجادشده در ساختار موجب پدید آمدن مد نقصی در فرکانس ۲۴۵۶۰ هرتز شده است. حسگر یاد شده کاربردهای مفیدی در صنایع مختلف مثل صنایع دارویی، پتروشیمی و ... دارد [۱۶]. رحیمی و همکاران در سال ۲۰۲۳ یک دی‌مالتی‌پلکسر سه کاناله برای تشخیص ایزومرهای بنزن ارائه دادند که از استوانه‌هایی از جنس تنگستن در ماده بستر آلومینیوم در ساختاری چهارضلعی تشکیل شده است. شکاف باند این ساختار در محدوده‌ی فرکانسی ۱۸۰ تا ۲۵۰ کیلوهرتز است و نقایص ایجادشده در ساختار موجب پدید آمدن مدهای نقصی در فرکانس‌های ۱۸۹۵۰۰، ۱۹۲۰۰۰ و ۱۹۳۰۰۰ هرتز با ضرایب کیفیتی در حدود ۱۷۲۰۰۰ شده است [۱۷]. در بخش مقایسه با پژوهش‌های گذشته، نتایج این پژوهش‌ها با نتایج طرح پیشنهاد شده در این مقاله مقایسه می‌شود.

۲- مشخصات بلور فونونی استفاده شده و شکاف

باند فونونیک

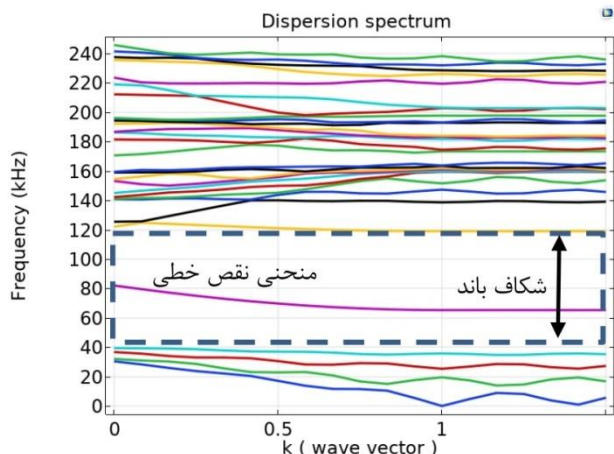
برای طراحی دی‌مالتی پلکسر پیشنهادی از یک کریستال فونونی سیال- سیال متشکل از استوانه‌های آب در بستر جیوه استفاده شده است (شکل ۱). ماده پرکننده استوانه‌های رنگی در دهانه‌های ورودی و خروجی کاواک‌های ساختار از آب به اتیل نانوفلورو بیوتیل‌اتر^{۱۱} تغییر پیدا کرده است. مشخصات فیزیکی سه ماده‌ی استفاده‌شده‌ی در این پژوهش در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات فیزیکی مواد استفاده شده در این پژوهش در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتیگراد)

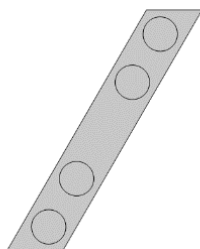
ENE	جیوه	آب	-
۱۴۲۱	۱۳۵۳۳	۹۹۶	چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)
۶۶۲/۶	۱۴۴۹	۱۴۹۶	سرعت صوت ($\frac{m}{s}$)

با توجه به اینکه اگر از مواد جامد برای شبیه‌سازی استفاده شود به پارامترها و تنظیمات بیشتری برای شبیه‌سازی نیاز است (مانند ضریب پواسون^{۱۲}، مدول یانگ^{۱۳} و ...)، به همین خاطر در این پژوهش از مواد سیال استفاده شده است. در این حالت معمولاً از پوسته‌ی نازک جامد برای جدا کردن دو سیال از یکدیگر به منظور ایجاد ساختاری پایدار استفاده می‌شود. بر اساس تحقیقات انجام شده، حضور این پوسته، تأثیر ناچیزی بر عملکرد کریستال فونونی دارد و قابل اغماض است [۱۵]. در پژوهش حاضر برای نخستین بار با استفاده از یک ساختار شش‌ضلعی فونونیک کریستالی، یک دی‌مالتی پلکسر صوتی طراحی و عملکرد آن در مقایسه با سایر تحقیقات ارائه شده، مورد بررسی قرار می‌گیرد. استفاده از این نوع ساختار در مقایسه با ساختار مربعی منجر به ایجاد شکاف باند وسیع‌تری شده و همچنین تفکیک بهتری را بین فرکانس‌های خروجی انجام می‌دهد. در ساختار مورد مطالعه فاصله‌ی بین استوانه‌ها (ثابت شبکه) و شعاع استوانه‌ها به ترتیب ۹/۰۰ و ۲/۷۸۱ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.

برای مشاهده شکاف باند فونونیک و مد نقص خطی (موج بر) ایجاد شده در درون شکاف باند بایستی کل ساختار شبیه‌سازی شود، اما برای سادگی و صرف زمان شبیه‌سازی کمتر بهتر است از تعریف سوپرسل استفاده شود. با تکرار دوره‌ای سوپرسل ساختار نهایی تشکیل می‌شود و از این رو نتایج حاصله از بررسی سوپرسل را می‌توان به کل ساختار تعمیم داد؛ این یکی از ویژگی‌های بسیار مهم ساختارهای متناوب است. شکل (۱) سوپرسل انتخابی و منحنی پراکندگی که نشان‌دهنده محدوده‌ی شکاف باند و منحنی مد نقص است را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل (۱): (الف) منحنی طیف پراکندگی و مد نقص خطی به ازای سوپرسل ۱×۵ حاصل از حذف استوانه‌ی مرکزی در دی‌مالتی پلکسر ۱×۳ با ساختار شش ضلعی (ب) سوپرسل ۱×۵ استفاده شده

طبق شکل فوق محدوده‌ی شکاف باند اکوستیکی ایجاد شده در ساختار پیشنهادی (بر اساس مقادیر انتخابی ثابت شبکه و مواد انتخابی و شعاع‌های انتخابی استوانه‌ها)، محدوده‌ی ۴۰ تا ۱۲۰ کیلوهرتز بوده و مد نقص خطی ایجاد شده بازه‌ی فرکانسی ۶۵ تا ۸۰ کیلوهرتز را شامل می‌شود. در ادامه با در نظر گرفتن این بازه‌های فرکانسی، ساختار دی-مالتی پلکسر پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است به هنگام شبیه‌سازی، در اطراف کریستال و به منظور جلوگیری از انعکاس امواج به درون ساختار و دریافت نتایج دقیق‌تر، از نواحی جاذب امواج تحت عنوان PML^{۱۴} با عرضی ۱/۵ برابر ثابت شبکه، استفاده شده است. جنس نواحی جاذب بایستی هم نوع ماده‌ی زمینه در نظر گرفته شود. در یک سلول واحد به نسبت مساحت اشغال شده توسط اجزا ساختار به مساحت سلول واحد، کسر پرشدگی گفته می‌شود. مقدار کسر پرشدگی^{۱۵} که طبق رابطه زیر در ساختاری با شبکه‌ی مثلثی محاسبه می‌شود، برابر با ۰/۳۴ خواهد بود [۱۸]:

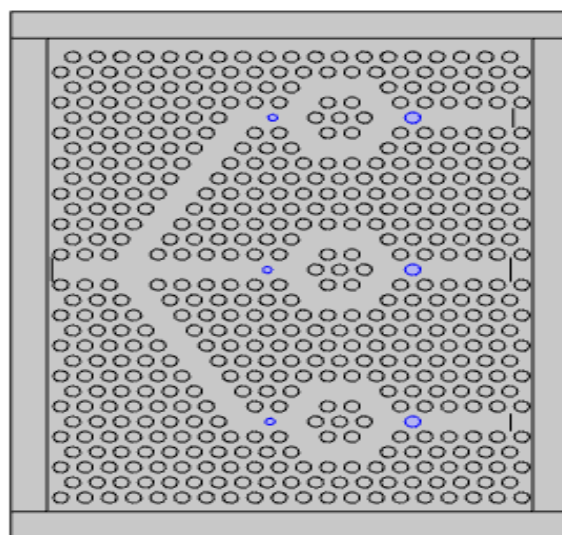
$$FF = \frac{\pi \times r^2}{\frac{\sqrt{3}}{2} \times a^2} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، a ثابت شبکه (فاصله‌ی بین مراکز استوانه‌ها) و r شعاع استوانه‌ها و FF کسر پرشدگی است.

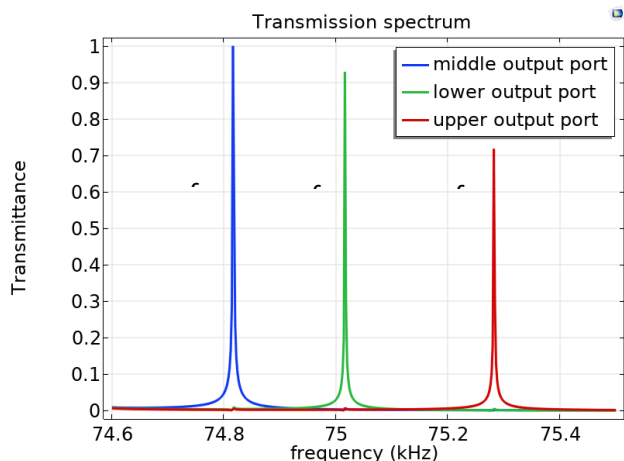
۳- طراحی و نتایج شبیه‌سازی

در این بخش به تشریح ساختار و اجزاء دی‌مالتی پلکسر پیشنهادی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی آن (که با استفاده از نرم‌افزار کامسول انجام می‌شود)، پرداخته می‌شود. در شکل (۱) دی‌مالتی پلکسر صوتی سه کاناله پیشنهادی، به همراه کاواک‌ها و کانال‌های خروجی طراحی شده، و محل‌های اعمال توان ورودی و مانیتورهای اندازه‌گیری توان خروجی نشان داده شده است. در ساختار فوق با حذف ردیفی از استوانه‌ها به عنوان نقص خطی^{۱۶}، موج‌برهایی برای هدایت موج صوتی ایجاد می‌شود. با تغییر جنس ماده‌ی پرکننده استوانه‌های رنگی در شکل (۱) از آب به ENE، تغییر مقدار شعاع استوانه‌های دهانه ورودی کاواک به $0.6r$ و همچنین تنظیم موقعیت آن‌ها در مقیاس میلی‌متری، سه کاواک تشدید پیاده‌سازی می‌شوند تا از این طریق بتوان امواجی با فرکانس مشخص را به کانال خروجی متناظر هدایت نمود.

با اعمال یک پالس صوتی گوسی شکل به ورودی ساختار می‌توان مقدار طیف عبور نرمالیزه شده را در هر کدام از پورت‌های خروجی محاسبه نمود (به شکل (۲) توجه شود). شبیه‌سازی‌های انجام شده برای محاسبه طیف‌های عبور نرمالیزه شده در گستره فرکانسی $74/6$ تا $75/4$ کیلوهرتز در سه پورت خروجی نشان دهنده آن است که موج با فرکانس $75/282$ کیلوهرتز به خروجی بالایی، موج با فرکانس $74/816$ کیلوهرتز به خروجی میانی و موج با فرکانس $75/016$ کیلوهرتز به خروجی پایینی هدایت شده‌اند.



شکل (۲): ساختار دی‌مالتی پلکسر 1×3 با ساختار شش ضلعی. شعاع استوانه‌های موجود در دهانه ورودی کاواک‌ها $0.6r$ بوده و همچنین استوانه کوچک رنگی در دهانه کاواک بالایی به اندازه $0.002a$ به سمت راست و استوانه کوچک رنگی در دهانه کاواک پایینی نیز به اندازه $0.001a$ به سمت راست جابجا شده‌اند



شکل (۳): نمودار طیف انتقال دی‌مالتی پلکسر 1×3 پیشنهادی

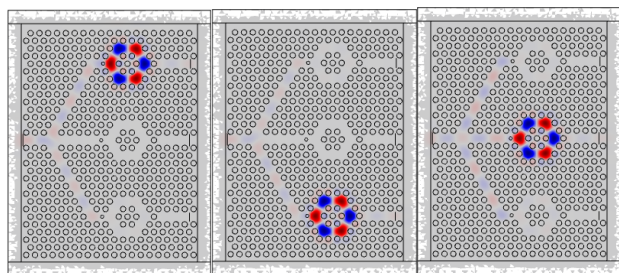
مقادیر ضریب کیفیت کاواک‌های تعبیه شده در هر یک از سه کانال خروجی در جدول (۲) نشان داده شده‌است.

جدول (۲): مقادیر فرکانس مرکزی و ضریب کیفیت کاواک‌های طراحی شده

خروجی‌ها	middle cavity	lower cavity	upper cavity
f_0 (kHz)	$74/82$	$75/02$	$75/28$
FWHM (Hz)	$2/95$	$2/10$	$2/15$
Q	24940	37510	37640

در جدول (۲) f_0 مقدار فرکانس مرکزی هر قله تشدید و FWHM پهنای فرکانسی است که در آن مقدار عبوردهی بیشتر از نصف مقدار بیشینه آن است. شکل (۲) منحنی‌های عبوردهی را بر حسب دسی‌بل نشان می‌دهد که از روی آن می‌توان مقادیر هم‌شنوایی را در هر کدام از کانال‌های خروجی بدست آورد. بر این اساس مقادیر دقیق هم‌شنوایی، محاسبه شده در کانال‌های خروجی، در جدول (۳) آورده شده است. در هر کانال خروجی، مقدار هم‌شنوایی (که پارامتری بر حسب دسی‌بل است) میزان اثرگذاری سایر کانال‌های خروجی را به عنوان کمیتی نامطلوب، نشان می‌دهد. بنابراین، مقادیر تداخل کوچکتر به معنای وضوح و عملکرد بالاتر دی‌مالتی پلکسر برای هر کانال خروجی است. با بررسی مقادیر حاصل مشخص می‌شود که با بهره‌گیری از کاواک‌های رینگ‌رزوناتور در ساختار شش ضلعی، مقدار هم‌شنوایی بین کانال‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد. در پایان لازم است تا به وابستگی دمایی عملکرد دی‌مالتی پلکسرهای فونونیک نیز اشاره

در شکل (۵) پروفایل توزیع توان موج های صوتی در فرکانس های تشدید کاواک های موجود در کانال های خروجی دی مالتی پلکسر نشان داده شده است.



شکل (۵): پروفایل های توزیع توان امواج صوتی در کانال های خروجی در فرکانس های تشدید

۳-۱- مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی دی مالتی- پلکسر پیشنهادی با پژوهش های گذشته

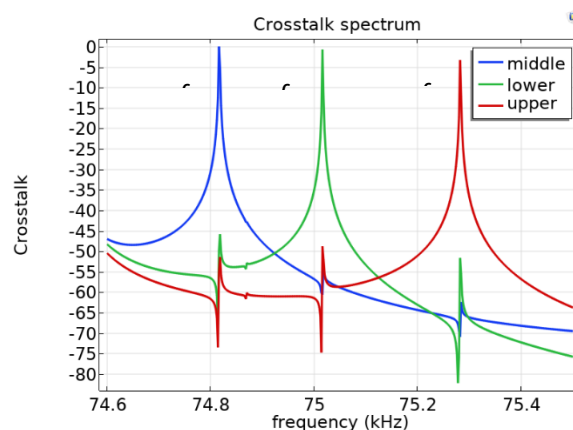
در این بخش ویژگی های ساختاری و عملکردی سه پژوهش انجام شده در گذشته با طرح پیشنهادی مورد مقایسه قرار می گیرند. جدول (۳) این مهم را به خوبی نشان می دهد.

جدول (۴): مقایسه نتایج پژوهش های گذشته با طرح پیشنهادی

پیشنهادی	[۷]	[۸]	[۱۵]	[۱۶]	[۱۷]	-
۳۳۳۶۲	-	۲۶۹۰	۳۵۴۵	۲۰۶۹۰	۱۷۲۰۰۰	میانگین ضریب کیفیت
-۴۵	-۲۶	-	-۳۲	-	-	بیشینه هم شنوایی (dB)
%۷۰	%۲۰	%۹۰	%۷۰	۴۵%	۸%	کمترین عبوردهی
۱×۳	۱×۴	۱×۴	۱×۴	۱	۱×۳	تعداد خروجی
۲۴۲×۱۸۰	۱۱۷×۴۵۵	۱۵۰×۱۵۵	۲۲۰×۱۶۰	۴۰۰×۲۰۰	۲۲۰×۱۳۰	ابعاد (mm ²)
شش ضلعی	چهار ضلعی	چهار ضلعی	چهار ضلعی	چهار ضلعی	چهار ضلعی	نوع ساختار استفاده شده

همان طور که مشخص است طرح پیشنهادی منجر به ارائه دی مالتی پلکسری با ضریب کیفیت خیلی بیشتر و همچنین هم شنوایی کمتر بین کانال ها نسبت به پژوهش های قبلی خود می شود.

شود. تاکنون چندین پژوهش در مورد تأثیر دما بر عملکرد بلورهای فونونیک و نیز دی مالتی پلکسرهای فونونیک انجام شده است [۱۸، ۱۹]. به دلیل وابستگی حرارتی ویژگی های الاستیکی مواد بکار گرفته شده (عدد پواسون، ماژول یانگ، سرعت صوت و چگالی ماده)، ساختار باند فونونیک و به عبارتی موقعیت و پهنای شکاف باند فونونیک نیز تغییر خواهد کرد. علاوه بر این، به دلیل تغییر در مشخصات کاواک های ساختار، فرکانس های تشدید آن ها و به عبارتی فرکانس های کار دی مالتی پلکسر نیز متأثر خواهد شد. به دلیل اینکه مقادیر ضریب کیفیت کاواک های یک دی مالتی پلکسر، به جهت به حداقل رساندن اثر هم شنوایی نوعاً بسیار بالاست، تغییر دما می تواند منجر به جابجایی قابل ملاحظه در فرکانس ساختار تشدید شود. بر اساس نتایج برخی از پژوهش های انجام شده، تغییراتی دمایی در حد ۲۰ درجه سانتیگراد در یک دی مالتی پلکسر فونونیک، قادر است عبوردهی یک کانال را از حالت عبور کامل به عدم عبور تغییر داده و به بیان دیگر منجر به پیاده سازی یک سوئیچ حرارتی شود [۱۹]. با این وجود چون تمرکز این مقاله بر روی استفاده از ساختار شش ضلعی برای طراحی دی مالتی پلکسر فونونیک و کاهش مقدار هم شنوایی است، از تأثیرات دمایی صرف نظر شده و شرایط کاری قطعه در دمای اتاق در نظر گرفته می شود.



شکل (۴): منحنی مقدار هم شنوایی بین کانال ها بر حسب دسی بل

جدول (۳): مقادیر هم شنوایی بین کانال ها

Output	middle	lower	upper
middle	-	-۵۵dB	-۶۳dB
lower	-۴۵dB	-	-۵۲dB
upper	-۵۲dB	-۵۰dB	-

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک دی‌مالتی‌پلکسر صوتی مبتنی بر کریستال‌های فونونی شش‌ضلعی طراحی و شبیه‌سازی شد. منحنی‌های شکاف باند و نمود نقص خطی ساختار کریستال فونونی شش‌ضلعی بدست آمد. در ساختار پیشنهادی از کریستال فونونی سیال-سیال متشکل از استوانه‌های آب در بستر جیوه استفاده شد. با بهره‌گیری از کاواک‌های رینگ رزونانسی که مستقیماً در مسیر کانال‌های خروجی قرار گرفته‌اند، دی‌مالتی‌پلکسر پیشنهادی می‌تواند سه کانال باند باریک را به خروجی‌ها هدایت نماید. برخورداری از ویژگی‌هایی همچون عبوردهی بیشتر از ۰/۷، میانگین ضریب کیفیت حدوداً برابر با ۳۳۶۳ و مقدار هم‌شنوایی بسیار ناچیز بین کانال‌ها (که در بدترین حالت ۴۵-دسی‌بل است)، باعث می‌شود تا ساختار پیشنهادی از قابلیت زیادی برای پیاده‌سازی دی‌مالتی‌پلکسرهای صوتی برخوردار باشد.

مراجع

- [1] فصیحی، کیازند. "طراحی و شبیه‌سازی حسگر گاز نوین حساسیت بالا مبتنی بر بلور فوتونی با ضریب شکست منفی"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد ۱۶، شماره ۲، ۱۳۹۸.
- [2] نوروزی، سعیده. فصیحی، کیازند. "طراحی و شبیه‌سازی حسگر فشار مبتنی بر یک تیغه فوتونیک کریستال دو بعدی از جنس PbMoO_4 "، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد ۱۸، شماره ۱، ۱۴۰۱.
- [3] یوسفی هاشم آباد، راضیه. فصیحی، کیازند. "طراحی و شبیه‌سازی حسگر دمای بلور فوتونی حساسیت بالا مبتنی بر کاواک پر شده با آب مقطر"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد ۱۸، شماره ۱، ۱۴۰۱.
- [4] M. M. Sigalas and E. N. Economou, "Comment on acoustic band structure of periodic elastic composites", Phys. Rev. Lett., vol. 75, no. 19, p. 3580, 1995.
- [5] A. Khelif, B. Djafari-Rouhani, J. O. Vasseur, P. A. Deymier, P. Lambin, and L. Dobrzynski, "Transmittivity through straight and stublike waveguides in a two-dimensional phononic crystal", Phys. Rev. B., vol. 65, no. 17, pp. 1743081–1743085, 2002.
- [6] A. Khelif, B. Djafari-Rouhani, O. Vasseur, and A. Deymier, "Transmission and dispersion relations of perfect and defect-containing waveguide structures in phononic band gap materials", Phys. Rev. B., vol. 68, no. 2, pp. 1–8, 2003.
- [7] F. Motaei and A. Bahrami, "Eight-channel acoustic demultiplexer based on solid-fluid phononic crystals.pdf", Photonics Nanostructures - Fundam. Appl., vol. 39, 2020.
- [8] B. Rostami-Dogolsara, M. K. Moravvej-Farshi, and F. Nazari, "Designing Switchable Phononic Crystal-Based Acoustic Demultiplexer", IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, vol. 63, no. 9, pp. 1468–1473, 2016.
- [9] R. Lucklum, M. Zhubtsov, A. Oseev, M.-P. Schmidt, S. Hirsch, and F. Hagemann, "Phononic Crystals and Applications", AMA Conferences 2013 - SENSOR pp. 62–67, 2013.
- [10] P. Moradi, H. Gharibi, A. M. Fard, and A. Mehaney, "Four-channel ultrasonic demultiplexer based on two-dimensional phononic crystal towards high efficient liquid sensor", Phys. Scr., vol. 96, no. 12, p. 125713, 2021.
- [11] C. Qiu, Z. Liu, J. Shi, and C. T. Chan, "Directional acoustic source based on the resonant cavity of two-dimensional phononic crystals", Appl. Phys. Lett., vol. 86, no. 22, p. 224105, 2005.
- [12] A. Bahrami, M. Alinejad-Naini, and F. Motaei, "A proposal for 1×4 phononic switch/demultiplexer using composite lattices", Solid State Commun., vol. 326, 2021.
- [13] A. Shakeri, S. Darbari, and M. K. Moravvej-Farshi, "Designing a tunable acoustic resonator based on defect modes, stimulated by selectively biased PZT rods in a 2D phononic crystal", Ultrasonics, vol. 92, pp. 8–12, 2019.
- [14] M. M. Sigalas and E. N. Economou, "Elastic and acoustic wave band structure", J. Sound Vib., vol. 158, no. 2, pp. 377–382, 1992.
- [15] B. Rostami-Dogolsara, M. K. Moravvej-Farshi, F. Nazari, J. Liu, H. Guo, and T. Wang, "Designing phononic crystal based tunable four-channel acoustic demultiplexer", J. Mol. Liq., vol. 281, no. 4, pp. 100–107, 2019.
- [16] T. Fang, X. Sun 1, X. Wen, Y. Li 1, X. Liu 1, T. Song, Y. Song, Z. Liu, "High- performance phononic crystal sensing structure for acetone solution concentration sensing", Scientific Reports, vol. 13, no. 1, p.7057, 2023.
- [17] M. Rahimi, A. Bahrami, "Phononic Crystal Sensor-Demultiplexer for Detection of Benzene Isomers", Optik, p.171112, 2023.
- [18] A. Khelif and A. Adibi, "Phononic Crystals", Springer, New York, 2016.
- [19] A. Bahrami, M. Alinejad-Naini, F. Motaei, "A proposal for 1×4 phononic switch/demultiplexer using composite lattices", Solid State Communications, vol. 326, p.114179, 2021.
- [۲۰] علی‌نژاد نائینی، مهران. رستمی، علی. "فیلتر التراسونیک فزود- فرود بر پایه بلورهای فونونی جامد/سیال دوبعدی"، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸.

زیر نویس‌ها

¹ Band gap² Filters³ Demultiplexers⁴ Sensors⁵ Sources⁶ Switches⁷ Waveguides⁸ Fluid-fluid⁹ Solid-solid¹⁰ Fluid -solid¹¹ Ethyl Nonfluorobutyl Ether (ENE)

¹² Poissons ratio

¹³ Youngs modulus

¹⁴ Perfectly matched layer

¹⁵ Fill fraction (FF)

¹⁶ Point defect