Downloaded from joasi.ir at 13:31 +0330 on Tuesday December 18th 2018

شبیه‌سازی موج‌بر صدا توسط بلور فونونی دو بعدی با شبکه‌ی شش‌گوشه

حمدا... صالحی*، آزاده غلام‌پور، سیده فردوس شجاعی‌نژاد

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

در این مقاله، ابتدا، ساختار نواری یک بلور فونونی دو-بعدی با شبکه‌ی مربعی مشتمل بر استوانه‌های پلی‌متیل متاکریلیت در ماده‌ی زمینه هوا در نظر گرفته شد. با احتساب گاف نواری این ساختار، شبیه‌سازی موج‌بر صدا انجام گردید. نتیجه‌ی مورد انتظار نیز مشاهده شد، سپس، یک ساختار دیگر با شبکه‌ی شش‌گوشه مشتمل بر استوانه‌های آلومینیومی در ماده‌ی زمینه تنگستن مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از روش محاسباتی عنصر متناهی (المان محدود) و نرم‌افزار کامسول و برنامه‌نویسی در محیط متلب ساختار نواری محاسبه شد. هم‌چنین، اثر تقارن بر پهنای گاف نیز بررسی گردید. با تشخیص گستره‌ی گاف نواری، شبیه‌سازی موج‌بر صدا در بازه بسامدی ۰٫۵۹ و ۰٫۶۱ کیلوهرتز صورت گرفت.

کلیدواژه‌ها: بلور فونونی، شبیه‌سازی، موج‌بر صدا، نوار عبوری، گاف نواری.

۱. مقدمه

مواد مصنوعی متناوبی به نام بلورهای فونونی وجود دارند. این بلورها، امواج صدا را در بازه‌ای از بسامدها عبور نمی‌دهند. به این محدوده گاف نواری[1] گفته می‌شود که اندازه و مکان آن به سرعت صدا، چگالی محیط، کسر پرشدگی و ثابت شبکه وابسته است [۱]. در واقع این بلورها ساختارهای ترکیبی هستند که مواد تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها به گونه‌ای مرتب می‌شود که ویژگی‌های کشسانی/صوتی آن‌ها به‌طور دوره‌ای تکرار می‌شود. رفتار فونون در چنین ساختارهایی مانند رفتار الکترون در پتانسیل دوره‌ای بلور و هم‌چنین مانند رفتار فوتون‌ها در محیط‌های دی‌الکتریک تناوبی است. بنابراین انتشار فونون‌ها را می‌توان با ساختار نواری فونونی توصیف کرد. پرسش اصلی در مطالعه‌ی بلورهای فونونی امکان وجود گاف می‌باشد. گاف محدوده‌ای از بسامد است که در آن فونون امکان عبور از بلور را ندارد. طبق مطالعات انجام‌شده در میان ویژگی‌های فیزیکی بلورهای فونونی تقارن بلور اثر زیادی بر پیدایش و پهنای گاف دارد [۲]. در این بلورها اعتقاد بر آن است که کاهش تقارن باعث می‌شود تا مدهای تبهگن از هم جدا شوند و این عامل باعث افزایش پهنای گاف می‌شود [۳-۴]. اگرچه تحقیق در زمینه بلورهای فونونی مدت زمان بسیار کوتاهی است که آغاز شده است، اما ایده‌ی ساختار متناوب کشسانی قبل از این نشان داده شده بود. برای مثال، در سال ۱۹۷۹ نارایانامورتی[2] و همکاران، انتشار فونون با بسامد بالا از طریق ابرشبکه‌ی[3] GaAs/AlGaAs که می‌توانست همان بلور فونونی دوبعدی باشد را مورد بررسی قرار دادند. در سال ۱۹۸۷، آچنبخ[4] و همکاران؛ سهم بسامد پایین منحنی پراکندگی ساختار متناهی سه‌بعدی را به‌صورت نظری مورد بررسی قرار دادند [۵]. در واقع تحقیق روی ساختار بلورهای فونونی در سال ۱۹۹۲ با کار نظری مایکل سیگالاس[5] و همکاران شروع شد. آن‌ها گاف نواری کامل فونونی را بررسی و نشان دادند که ساختارهایی با شبکه‌ی متناوب سه‌بعدی متشکل از کره‌های یکسان با چگالی بالاتر نسبت به ماده‌ی زمینه، گاف فونونی بالاتری دارند. این ساختار می‌تواند جامد/جامد و یا سیال/سیال باشد. با وجود این حقیقت که انتشار موج صوتی درون جامدات با دو سرعت متفاوت (سرعت عرضی و طولی) رخ می‌دهد، و در حالی‌که موج صوتی درون سیالات فقط با یک نوع سرعت (سرعت طولی) منتشر می‌شود، سیگالاس و

* نویسنده پاسخگو: salehi_h@scu.ac.ir

[1] Band gap

[2] Narayanamurti

[3] Super lattice

[4] Achenback

[5] Michael Sigalas

www.SID.ir

Downloaded from joasi.ir at 13:31 +0330 on Tuesday December 18th 2018

اکونومو پیش‌بینی کردند که گاف نواری کامل فونونی باید در هر دو مورد وجود داشته باشد. مدتی بعد آن‌ها در یک آرایه‌ی دوبعدی متناهی متشکل از استوانه‌های موازی که با چگالی بالاتر نسبت به ماده‌ی زمینه قرار گرفته بودند، نیز یک گاف نواری کامل دوبعدی مشاهده کردند. اولین نمونه‌ی عملی که ویژگی‌های صوتی ساختارهای تناوبی را نشان داد، توسط فرانسیسکو مسجر[1] و همکاران در مؤسسه‌ی علوم مواد مادرید ساخته شد. هم‌چنین مانوویر کاشوواها[2] و همکاران در سال ۱۹۹۳ وجود گاف نواری فونونی را برای موج کشسانی قطبیده شده در سامانه کشسانی دوبعدی تأیید کردند [۶].

بلورهای فونونی ساختارهای تناوبی هستند که از مواد کشسانی مختلف ساخته و برای کنترل انتشار امواج مکانیکی طراحی شده‌اند. این ساختارها در دو گروه تناوبی و شبه تناوبی دسته‌بندی می‌شوند. مهم‌ترین کاربردهای این اثر در بلورهای فونونی، توانایی ساخت موج‌بر صوتی برای عبور موج صوتی از مسیر مشخصی در بلور بدون نفوذ درون بلور، و هم‌چنین ساخت ابرلنزهایی برای کانونی‌سازی امواج پراکنده‌شده از منبع موج است [۶]. لذا در این مقاله بناست تا اثر تقارن بر پهنای گاف و شبیه‌سازی موج‌بر صوتی توسط بلور فونونی دو بعدی با شبکه‌ی شش گوشه با استفاده از روش محاسباتی عنصر متناهی (المان محدود) و با استفاده از نرم‌افزار کامسول مورد بررسی قرار گیرد. این ابزارها امکان ساختن مدارهای فونونی را فراهم می‌سازند که در پردازش علائم در مخابرات، عکس‌برداری‌های فراصدا و سامانه‌های درمانی کاربرد دارند.

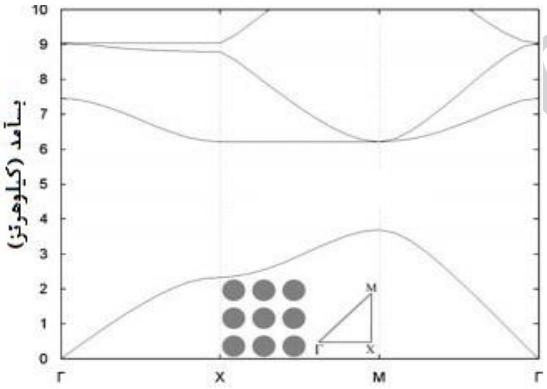
۲. مواد و روش‌ها

در ابتدا ساختار نواری به دست آمده از مرجع [۶]، شامل بلور فونونی با پراکننده‌های استوانه‌ای از جنس پلی‌متیل متاکریلیت[3] در ماده‌ی زمینه هوا، که توسط شبکه‌ی مربعی با ثابت شبکه‌ی a=۳۹ میلی‌متر و شعاع استوانه r=۱۷٫۵ میلی‌متر چیده شده‌اند، درنظر گرفته شد. پارامترهای مهم برای شبیه‌سازی شامل چگالی و سرعت صوتی می‌باشند که به‌ترتیب برای پراکننده‌ها و ماده‌ی زمینه در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱ ویژگی‌های پراکننده و ماده‌ی زمینه.

پراکننده‌ها		ماده‌ی زمینه (هوا)	
چگالی ρ_{PMMA}	۱۱۹۰ kg/m^3	چگالی ρ_{air}	۱٫۲ kg/m^3
سرعت صوتی C_{PMMA}	۲۶۹۴ m/s	سرعت صوتی C_{air}	۳۴۳ m/s

ساختار نواری مربوط به این بلور در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این ساختار یک گاف نواری کامل در محدوده‌ی بسامدی ۳٫۶۹ الی ۶٫۲۲ کیلوهرتز وجود دارد [۷]. انتظار می‌رود در این محدوده‌ی بسامدی با تاباندن موج به بلور در هیچ جهتی امکان عبور موج صوتی از بلور وجود نداشته باشد و بتوان از این محدوده‌ی بسامدی برای شبیه‌سازی موج‌بر صوتی استفاده نمود [۶].



شکل ۱ ساختار نواری بسامد یک شبکه‌ی مربعی [۷].

در ادامه، ساختار یک شبکه‌ی دوبعدی شش گوشه در نظر گرفته می‌شود. این بلور فونونی، شامل پراکننده‌های استوانه‌ای از جنس آلومینیوم در ماده‌ی زمینه تنگستن است که توسط شبکه‌ی شش گوشه با ثابت شبکه‌ی a=۱ سانتی‌متر و شعاع استوانه r=۰٫۳ سانتی‌متر چیده شده‌اند. پارامترهای مهم برای پراکننده‌ها و ماده‌ی زمینه در جدول ۲ ذکر شده‌اند.

[1] Francisco Meseguer
[2] Manvir Kushwaha
[3] Polymetheyl methacrylate

www.SID.ir

Downloaded from joasi.ir at 13:31 +0330 on Tuesday December 18th 2018

جدول ۲ ویژگی‌های پراکننده و ماده‌ی زمینه [۸].

پراکننده‌ها (آلومنیوم)		ماده‌ی زمینه (تنگستن)	
چگالی	۲۶۹۷ kg/m^۳	چگالی	۲۶۹۷ kg/m^۳
سرعت طولی صوتی	۶۴۱۰ m/s	سرعت طولی صوتی	۵۰۹۰ m/s
سرعت عرضی صوتی	۳۱۱۰ m/s	سرعت عرضی صوتی	۲۸۰۰ m/s

ساختار نواری مربوط به این بلور توسط روش محاسباتی عنصر متناهی (المان محدود) با استفاده از نرم‌افزار کامسول و برنامه‌نویسی در محیط متلب[1]، مورد محاسبه قرار گرفت.

معادله‌ی موج در محیط کشسان ناهمگن در حالت کلی به صورت زیر نوشته می‌شود [۹]:

$$\rho(\vec{r})\frac{\partial^2 u(r,t)}{\partial t^2}=\left[(\lambda+\mu)\nabla(\nabla.U(r,t)+\mu\nabla^2U(r,t)\right]+\left[\nabla\lambda(\nabla.U(r,t))+\nabla\mu\times\nabla\times U(r,t)+2(\nabla\mu.\nabla)U(r,t)\right] \quad (۱)$$

که در آن μ و λ ضرایب لامه‌ی ماده‌ی کشسان هستند. معادله‌ی فوق از دو عبارت تشکیل شده است. در صورتی که سطح مشترک دو ماده در مرز نسبت به سطوح هر یک از مواد کوچک باشد، می‌توان معادله‌ی حرکت در محیط کشسان را برای هر یک از مواد با ضرایب لامه‌ی ثابت، نوشت و عبارت دوم را برابر صفر قرار داد. اما در مرز به علت تغییرات ناگهانی ضرایب لامه، نمی‌توان از عبارت دوم صرف نظر کرد و برای سرتاسر ماده دو موج جداشده داشت. بنابراین امواج در محیط‌های تناوبی به علت شرایط مرزی، جفت‌شده هستند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های محیط‌های تناوبی وجود قضیه‌ی بلاخ در این محیط‌ها است که به‌صورت زیر بیان می‌شود [۹]:

$$U(r,t)=e^{ik.r}V_k(r,t) \quad (۲)$$

$$V_k(r,t)=V_k(r+R,t) \quad (۳)$$

که در آن R، بردار انتقال شبکه و k، بردار انتقال شبکه‌ی وارون می‌باشند. لذا قضیه‌ی بلاخ را می‌توان به صورت زیر نیز نوشت:

$$U(r+R,t)=e^{ik.R}U(r,t) \quad (۴)$$

این شکل معادله‌ی بلاخ را می‌توان به‌عنوان شرط مرزی بر معادله اعمال کرد. با در نظر گرفتن انتشار هماهنگ در فضای زمان می‌توان معادله را در هریک از مواد به صورت زیر نوشت:

$$-\rho\omega^2\psi(r)=[(\lambda+\mu)\nabla(\nabla.\psi(r))+\mu\nabla^2\psi(r)] \quad (۵)$$

در صورت داشتن تقارن انتقالی پیوسته در یک جهت، می‌توان تابعیت تابع موج در آن جهت (در این‌جا جهت z) را به صورت زیر نوشت:

$$\psi(x,y,z)=e^{ik_zz}\phi(x,y) \quad (۶)$$

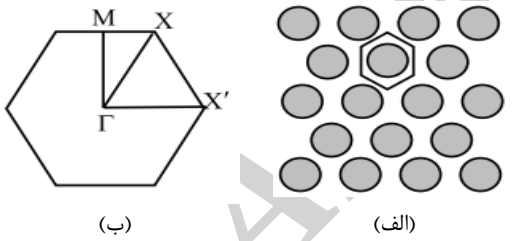
با در نظر گرفتن انتشار در صفحهٔ x-y ، خواهیم داشت:

$$\psi(x,y,z)|_{z=.}=\phi(x,y) \quad (۷)$$

بنابراین می‌توان معادله‌ی (۱) را به‌صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\begin{aligned}-\rho\omega^2\Phi_x(x,y)&=\left[(\lambda+2\mu)\frac{\partial^2\Phi_x(x,y)}{\partial x^2}+(\lambda+\mu)\frac{\partial^2\Phi_y(x,y)}{\partial x\partial y}+\mu\frac{\partial^2\Phi_x(x,y)}{\partial y^2}\right]\\-\rho\omega^2\Phi_y(x,y)&=\left[(\lambda+2\mu)\frac{\partial^2\Phi_y(x,y)}{\partial y^2}+(\lambda+\mu)\frac{\partial^2\Phi_x(x,y)}{\partial x\partial y}+\mu\frac{\partial^2\Phi_y(x,y)}{\partial x^2}\right]\\-\rho\omega^2\Phi_z(x,y)&=\mu\left[\frac{\partial^2\Phi_z(x,y)}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\Phi_z(x,y)}{\partial y^2}\right]\end{aligned} \quad (۸)$$

در سه معادله‌ی بالا مشاهده می‌شود که تابع موج در جهت x و y جفت‌شده می‌باشد ولی در جهت z مستقل است. معادلات بالا تابع پارامتر k هستند که طبق قضیه‌ی بلاخ در شبکه‌ی وارون تعریف می‌شوند [۹]. با توجه به ساختار بلوری شش گوشه‌ی به‌کار رفته در این تحقیق، منطقه‌ی ویگنر سایز و منطقه‌ی اول بریلوئن کاهش‌ناپذیر آن در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.



(ب) (الف)

شکل ۲ (الف) منطقه ویگنر سایز شبکه‌ی شش گوشه، (ب) ناحیه مثلثی، مشخص‌کننده ناحیه بریلوئن کاهش‌ناپذیر است.

هم‌چنین در محاسبات از نرم‌افزار کامسول مولتی‌فیزیک استفاده شده است. در اینجا، از نرم‌افزار مذکور و تعریف منطقه‌ی اول بریلوئن، به‌منظور به‌دست آوردن یک مقدار ویژه از بسامد و سپس محاسبه‌ی ساختار نواری بسامد استفاده شده است، که با یافتن منطقه‌ی کاهش‌ناپذیر در فضای معکوس، و طی کردن محیط منطقه، این ساختار حاصل شود و با اعمال شرایط مرزی جدید و تعریف

[1] Matlab

www.SID.ir

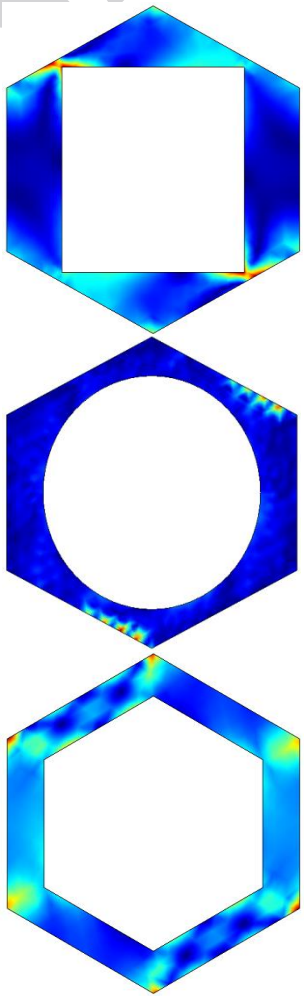
Downloaded from joasi.ir at 13:31 +0330 on Tuesday December 18th 2018

کدنویسی‌های مناسب، می‌توان ساختار نواری بسامد را به‌دست آورد.

۳. نتایج و بحث

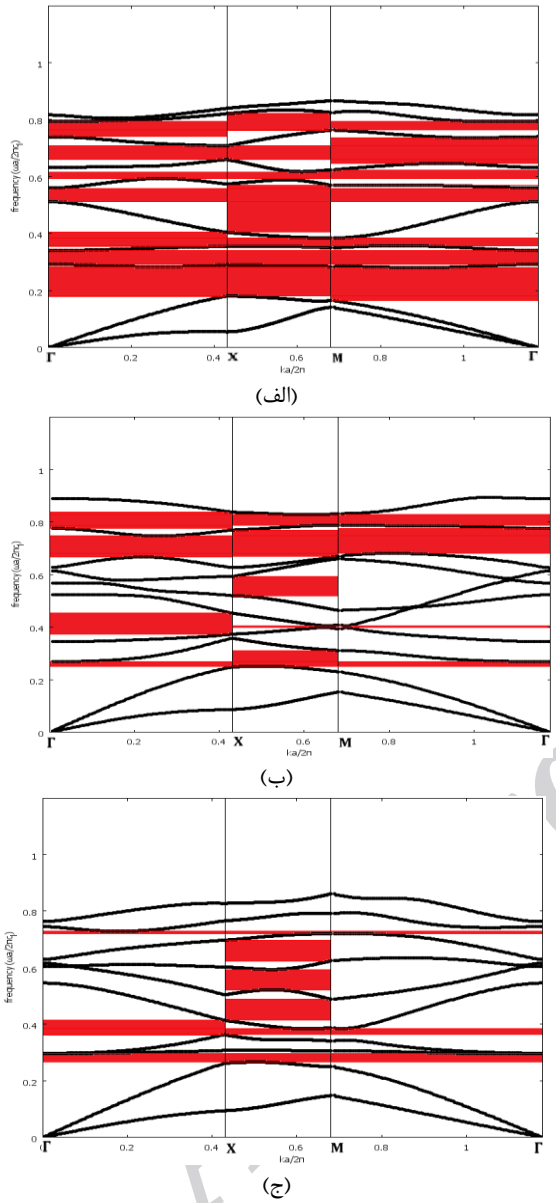
۳-۱. بررسی اثر تقارن بر پهنای گاف

در این قسمت، اثر تقارن بر پهنای گاف برای بلور فونونی آلومینیومی با حفره‌های استوانه‌ای هوا مورد بررسی قرار گرفته است. سپس، با تغییر مساحت یا شکل هندسی سطح مقطع حفره‌ها، به محاسبه و بررسی ساختار نواری، گاف و پهنای گاف پرداخته شده است. با در نظر گرفتن سه سطح مقطع متفاوت برای حفره‌ها؛ سطح مقطع، مربعی، دایره‌ای و شش ضلعی؛ سطح مقطع منطقه‌ای اول بریلوئن این ساختارها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳ سطح مقطع منطقه‌ی اول بریلوئن بلور فونونی شامل حفره‌های استوانه‌ای هوا در ماده زمینه آلومینیوم به‌ترتیب از بالا به پایین با سطح مقطع مربعی، دایره‌ای و شش ضلعی است.

شکل ۴ ساختار نواری بسامد و گاف‌های نواری ساختار بلور فونونی را نشان می‌دهد.



شکل ۴ ساختارهای نواری بلور فونونی شامل حفره‌های هوا در ماده‌ی زمینه آلومینیوم (الف) سطح مقطع مربعی، (ب) سطح مقطع دایره‌ای و (ج) سطح مقطع شش ضلعی.

اکنون اگر تقارن‌های شبکه‌ی شش ضلعی در نظر گرفته شود، هر سه ساختار از کل تقارن‌های شبکه پیروی می‌کنند، اما با در نظر گرفتن کسر پرشدگی ، به‌علت این‌که سطح مقطع شش ضلعی می‌تواند کل یک شبکه‌ی شش ضلعی را بپوشاند، بیش‌ترین مقدار کسر پرشدگی برای این سطح مقطع می‌تواند ۱ باشد. بنابراین از نظر

www.SID.ir

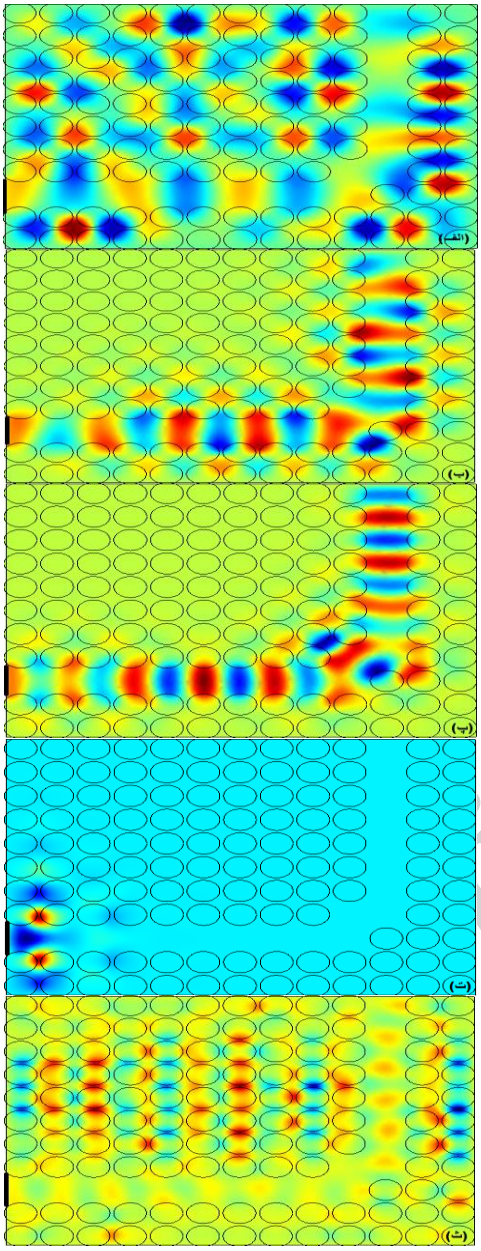
مجله انجمن مهندسی صوتیات ایران/ سال پنجم/ شماره ۱/ بهار و تابستان ۱۳۹۶

Downloaded from joasi.ir at 13:31 +0330 on Tuesday December 18th 2018

تقارن‌ها، سطح مقطع شش ضلعی در درجهٔ اول قرار دارد. اما در مورد دو ساختار دیگر، با سطح مقطع مربعی و دایره‌ای، با محاسبه‌ی کسر تخلخل آن‌ها، مشاهده می‌شود که مقدار این کسر برای سطح مقطع دایره‌ای بزرگ‌تر از سطح مقطع مربعی است. با توجه به ساختارهای نواری به‌دست آمده که در شکل۴ نشان داده شده‌اند، مشاهده می‌شود ساختاری که دارای حفره‌هایی با سطح مقطع مربعی، دایره‌ای و شش گوشه است، به‌ترتیب دارای تعداد گاف بیش‌تری است. از این مشاهدات نتیجه می‌شود که ساختاری که دارای حفره‌ای با سطح مقطع شش گوشه است به‌دلیل این که بیش‌ترین تقارن را با شبکه دارد و در صورتی‌که این حفره وسیع‌تر شود می‌تواند کل سطح شبکه را پوشش دهد، به این معنا که می‌تواند بیش‌ترین مقدار کسر تخلخل برابر با ۱ را داشته باشد، بنابرین کم‌ترین تعداد گاف‌ها را دارد. در مورد دو ساختار دیگر، از نظر تعداد تقارن‌ها یکسان هستند، ولی برای ساختار دارای حفره‌ای با سطح مقطع مربعی، تعداد گاف‌های بیش‌تری نسبت به ساختار دارای حفره‌هایی با سطح مقطع دایره‌ای وجود دارد. از این مشاهدات می‌توان نتیجه گرفت ساختاری که دارای کسر تخلخل بیش‌تری است و هم‌چنین ساختاری که دارای تقارن‌های بیش‌تری باشد، تعداد گاف‌های کم‌تری دارد.

۳-۲. شبیه‌سازی موج‌بر صوتی

با توجه به این که از گاف نواری کامل می‌توان در ساخت موج‌برهای صوتی استفاده کرد. به این ترتیب که اگر یک نقص خطی در بلور وجود داشته باشد و یا تشکیل داده شود، در صورتی‌که اگر در محدودهٔ بسامدی دارای گاف کامل، منبع موج صوتی قرار گیرد، امکان نفوذ موج صوتی در بلور وجود نخواهد داشت و در هر جهتی که موج به سمت دیواره‌های بلور تابیده شود، موج مانند یک عایق کامل عمل خواهد کرد. اکنون شبیه‌سازی‌های به دست آمده برای ساختار اول را ارائه شده است. محدوده‌ی بسامدی مربوط به گاف نواری به پنج مقدار بسامد، ۲٫۸، ۳٫۸، ۴٫۸، ۵٫۸ و ۶٫۸ کیلوهرتز تقسیم و شکل ۵ شبیه‌سازی‌های این موج‌بر را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۵-الف برای بسامد اول، که در محدوده‌ی گاف نواری نیست مشاهده می‌شود، موج نتوانسته از مسیر مشخص بین بلور عبور کند، و موج صوتی درون بلور فونونی نفوذ کرده و از آن می‌تواند عبور کند.



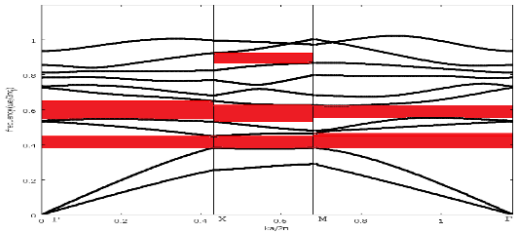
شکل ۵ به‌ترتیب، از (الف) الی (ث) شبیه‌سازی‌های انجام شده برای بسامدهای ۲٫۸، ۳٫۸، ۴٫۸، ۵٫۸ و ۶٫۸ کیلوهرتز.

اما برای بسامدهای درون محدوده‌ی گاف نواری، مشاهده می‌شود که بدون این که موج صوتی درون بلور نفوذ کند از مسیر بین بلور عبور خواهد کرد و تشکیل یک موج‌بر را می‌دهد و هم‌چنین برای بسامد آخر، یعنی مقدار ۶٫۸ کیلوهرتز، به علت این که بسامد مذکور، خارج از

www.SID.ir

Downloaded from joasi.ir at 13:31 +0330 on Tuesday December 18th 2018

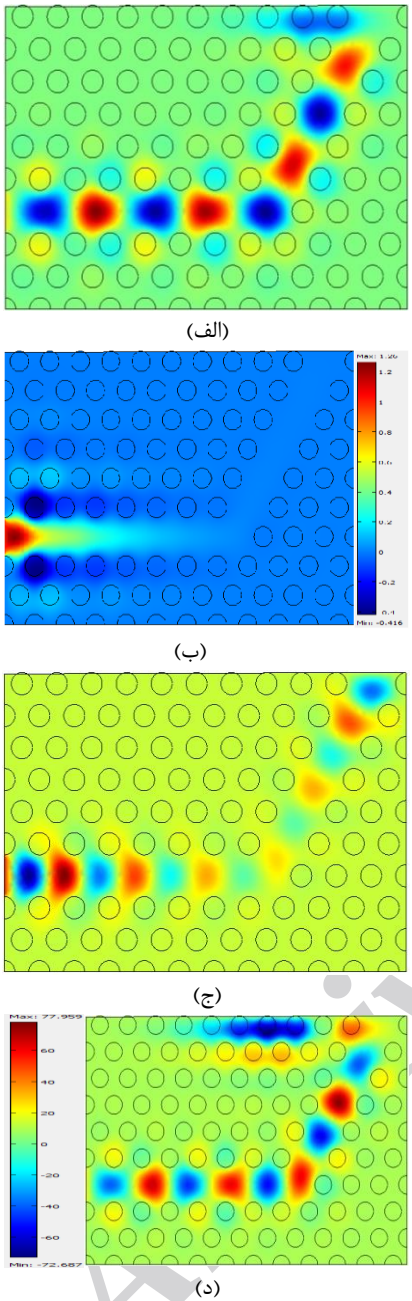
محدوده‌ی گاف نواری است، موج صوتی از مسیر بین بلـور عبور نکرده و درون بلور نفوذ کرده است. ساختار نواری بـه دست آمده برای شبکه‌ی شـش گوشـه در شـکل ۶ نشـان داده شده است.



شکل ۶ ساختار نواری بسامد شبکه شش گوشه.

در شکل ۶، منحنی‌های مشکی، نوارهای عبـوری را نشـان مـی‌دهنـد. در واقـع محـور عمـودی مقـادیر بسـامدی بهنجارشده و نمودار افقی، جهـت تـابش مـوج بـه بلـور را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بین بعضـی از نوارهای مشکی عبوری، محدوده‌های قرمز رنگـی وجـود دارد که منحنی‌های مشکی در آن محدوده وجـود ندارنـد، در واقع این محدوده‌هـا گـاف‌هـای نـواری، یـا محـدوده‌ی بسامدی ممنوعه می‌باشند، که نشان مـی‌دهـد اگـر در آن محدوده‌ی بسامدی به بلور موج صوتی تابانده شود، امکـان عبور از بلـور را نخواهنـد داشـت. بـازه‌هـایی کـه در تمـام جهت‌های تابش موج دارای گاف هستند، گاف نواری کامل نامیده می‌شوند، اما بازه‌هایی که فقط در جهت‌های خاصی دارای گاف هسـتد، گـاف جزئـی نامیـده مـی‌شـوند. البتـه گاف‌های نواری کامل مهم‌تر هستند، در واقع این گاف‌های کامل نشان می‌دهند، بلور فونونی، در هر جهت تابش موج، مانند یک عایق صوتی عمل می‌کند. یکی از محـدوده‌هـای گاف نواری کامـل، محـدوده‌ی بسـامدی بهنجارشـده بـین ۰٫۵۸ الی ۰٫۶۲ کیلوهرتز است.

لذا در این کار برای شبیه‌سازی موج‌بر صوتی، چهار مقـدار دلخـــواه بســـامد بهنجارشـــده‌ی، ۰٫۵، ۰٫۵۹، ۰٫۶۱و ۰٫۷ کیلـوهرتز در نظـر گرفتـه شـد. همـان‌طـور کـه مشـاهده می‌شود، بسامد اول و چهارم، در محدوده‌ی بسامدی گـاف قرار ندارند. شبیه‌سازی انجام‌شـده در شـکل ۷ نشـان داده شده است. شکل ۷ شبیه‌سازی انجام‌شده برای ساختار بلور فونونی مورد نظر را با داشتن ناراستی خطـی (ماننـد یـک مسیر یا یک صافی درون بلور) نشان می‌دهد.



شکل ۷ به‌ترتیب، از (الف) الی (د) شبیه‌سازی‌های انجام‌شده برای ساختار شش گوشه در بسامدهای بهنجارشده‌ی ۰٫۵، ۰٫۵۹، ۰٫۶۱و ۰٫۷ کیلوهرتز.

برای این ساختار، یک منبع موج صوتی در سمت چپ هـر کدام از ساختارها در نظر گرفته شد. چهـار مقـدار بسـامد بهنجارشده در نظر گرفته شد که مقـدار اول و چهـارم، در محدوده‌ی گاف نواری نیستند و در واقع این بسـامدهـا در ساختار نواری، مربوط به محدوده‌ی عبوری مـوج هسـتند. بنابراین وقتی موج بخواهد از این مسیر عبور کند، هنگامی که به دیواره‌های بلور برخورد کند، بازتاب کامل نداشـته و

www.SID.ir

Downloaded from joasi.ir at 13:31 +0330 on Tuesday December 18th 2018

درون بلـور نفـوذ مـی‌کنـد و در واقـع از درون بلـور عبـور می‌کند. ولی برای بسامدهای بهنجارشده دوم و سـوم، کـه در محدوده‌ی گاف نواری هستند، بدون نفوذ به درون بلور، در هر جهتی که به دیواره‌های داخلی ساختار برخورد کند، بازتاب کامل دارد و به این علت که بسامد، بسامد ممنوعـه است، موج صوتی می‌تواند بدون اینکه درون بلور وارد شود از مسیر مشخص‌شده هدایت شود و عبور کند.

بنابراین، با توجه به شکل ۷، مشاهده مـی‌شـود کـه بـرای بعضی از بسامدها، که مربوط به گاف‌هـا هسـتند، مـوج بـه خوبی از مسیر تعیین‌شـده عبـور خواهـد کـرد. امـا بـرای بسامدهای مربوط به نوار عبوری، اثر عبور مـوج ضـعیف‌تـر است و نتیجه شد که اگر در بلور یک ردیـف از اسـتوانه‌هـا حذف شود، یک ناراستی خطی وجود خواهد داشت. از این ناراستی می‌توان برای هدایت امواج صوتی در بسامدی در محدوده‌ی گاف استفاده کرد. زیرا دیـواره‌هـای آن مـوج را صد در صد بازتابش می‌کنند و امواج ناچارند که در مسـیر تعیین شده حرکت نمایند. این وسیله موج‌بر صوتی نامیده می‌شود. هم‌چنین می‌توان مسیر موج‌برها را به طور دلخواه تعریف و شاخه‌های مختلفی از موج‌برها را که بـا ضـخامت به اندازهٔ کافی بزرگ از هم جدا شده‌اند، ایجـاد نمـود. ایـن ابزارها امکان ساختن مدارهای فونونی را فراهم مـی‌سـازند کـه در پـردازش علائـم در مخـابرات، عکـس‌بـرداری‌هـای فراصدا و سامانه‌های درمانی کاربرد دارند.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقالـه بـا اسـتفاده از روش عنصـر متنـاهی (المـان محدود) با استفاده از نرم‌افزار کامسول و برنامـه‌نویسـی در محیط کامسول، ساختار نواری بسامد؛ اثر تقارن بر شبکه و گاف مربوط به بلور فونونی دو بعـدی بـا سـاختار شـبکه‌ی شش ضلعی محاسـبه شـد. سـپس بـا داشـتن محـدوده‌ی بسامدی گاف نواری، و با انتخاب بسامدهایی در محـدوده و خارج از محدوده‌ی گاف نواری، شبیه‌سازی موج‌بـر صـوتی انجام و از میان چهار مقدار دلخـواه بسـامد بهنجارشـده‌ی، ۰٫۵، ۰٫۵۹، ۰٫۶۱و ۰٫۷ کیلوهرتز؛ بسـامدهای ۰٫۵۹و ۰٫۶۱ کیلوهرتز در محدوده‌ی گاف نواری هستند و مـوج صـوتی می‌توانـد بـدون ایـن کـه درون بلـور وارد شـود، از مسـیر مشخص شده هدایت شود و عبور کند. هم‌چنین مشـخص شد بلور فونونی با حفره‌هایی با سطح مقطـع شـش ضـلعی بیش‌تـرین تقـارن را بـا شـبکه شـش ضـلعی و در نتیجـه کم‌ترین پهنای گاف را دارد. لذا با توجـه بـه شـبیه‌سـازی موج‌بر انجام شده، موج‌هـای کشسـانی بـا بسـامدهـایی در محـدوده‌ی گـاف نـواری، بـدون نفـوذ در بلـور از مسـیر تعیین‌شده درون بلور عبور خواهند کرد.

۵. فهرست منابع

[1] S. Alagoz, O.A. Kaya, B.B. Alagoz, "Frequency-controlled wave focusing by a sonic crystal lens," Applied Acoustics, vol. 70, no. 11-12, pp. 1400-1405, 2009.

[2] C.M. Anderson, K.P. Giapis, "Symmetry reduction in group 4mm photonic crystals," Physical Review B, vol. 56, no. 12, 1997.

[3] M. Qiu, S. He, "Large complete band gap in two-dimensional photonic crystals with elliptic air holes," Physical Review B, vol. 60, no. 15, 1999.

[4] C.M. Anderson, K.P. Giapis, "Larger two-dimensional photonic band gaps," Physical Review Letters, vol. 77, no. 14, 1996.

[5] A. Sukhovich, "Wave phenomena in phononic crystals," PhD Thesis, Manitoba University, pp. 1-62, 2007.

[6] T. Gorishnyy, M. Maldovan, C. Ullaland, E. Thomas, "Sound ideas," Physics World, vol. 18, no. 12, 2005.

[7] L.Y. Wu, L.W. Chen, Ch.M. Liu, "Experimental investigation of the acoustic pressure in cavity of a two-dimensional sonic crystal," Physica B: Condensed Matter, vol. 404, no. 12-13, pp. 1766-1770, 2009.

[8] N. Zhen, Y.Sh. Wang, Ch. Zhang, "Bandgap calculation of in-plane waves in nanoscale phononic crystals taking account of surface/interface effects," Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, vol. 54, pp. 125-132, 2013.

[9] S.F. Shojaienezhad, "The Effect of Symmetry on Negative Refraction in The 2D Phononic Crystals," Master of Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, 2013 (In Persian).

Archive of SID

www.SID.ir