بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فوتونیک

بررسی انتشار امواج الکترومغناطیسی در بلورهای فوتونی پلاسمایی دو و سه تایی یک بعدی

استاد راهنما
دکتر حسن رنجبرعسکری

استاد مشاور
دکتر علی‌رضا اشرف گنجوی

دانشجو
مریم گلزاری

اسفند ماه ۱۳۹۰

مدیر تحصیلات تکمیلی
دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان

دانشکده‌ی علوم پایه

گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد رشته‌ی فوتونیک

خانم مریم گلزاری با عنوان

بررسی انتشار امواج الکترومغناطیسی در بلورهای فوتونی پلاسمایی دوتایی و سه‌تایی یک بعدی

در تاریخ ۹۰/۱۲/۲۳ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر حسن رنجبر عسکری	با مرتبه ی علمی **دانشیار**	امضاء
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر علی‌رضا اشرف گنجوی	با مرتبه ی علمی **استادیار**	امضاء
۳- استاد داور داخل گروه	محمد خان‌زاده	با مرتبه ی علمی **مربی**	امضاء
۴- استاد داور خارج از گروه	دکتر فریده شجاعی	با مرتبه ی علمی **استادیار**	امضاء
۵ – نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی	دکتر سعید حاتمی	با مرتبه ی علمی **استادیار**	امضاء

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های

حاصل از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان است.

با تشکر از پدر و مادر فداکار و دلسوزم

با تشکر از همسر صبور و فداکارم

با تشکر از فرزندانم

چکیده

دربلورهای فوتونی مواد دی‌الکتریک، به‌صورت تناوبی مرتب می‌شوند که باعث ایجاد گاف‌های ممنوعه‌ای در عبور فرکانس‌های نور فرودی می‌گردند. این فاصلههای ممنوعه باند ممنوعه‌ی نوری (باند گب نوری) نامیده می-شوند. باند ممنوعه به دلیل تغییر ثابت دی‌الکتریک یا ضریب شکست مواد ایجاد می‌شود، به‌طوری‌که پهنای واقعی این باند ممنوعه به هندسه، اندازه، طبیعت و فضای ماده‌ای که بلور را می‌سازد بستگی دارد. در این پایان‌نامه به‌طور نظری و شبیه‌سازی به‌وسیله‌ی نرم‌افزار کامسول مشخصات پاشندگی عرضی و چگونگی انتشار امواج الکترومغناطیسی در ساختار باند ممنوعه‌ی بلورهای فوتونی پلاسمایی یک بعدی دوتایی و سه‌تایی که دارای چندین ماده‌ی متفاوت در یک سلول میباشند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. پس از مقایسه‌ی این دو روش افزایش باند ممنوعه با افزایش چگالی پلاسما و پهنای پلاسما تأیید می‌شود.

واژگان کلیدی: انتشار امواج الکترومغناطیسی، باند ممنوعه، بلورهای فوتونی پلاسمایی، ثابت دی‌الکتریک

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

فصل دوّم: بررسی ساختار بلورهای فوتونی و عبور موج از پلاسما ۷

۲-۱ مقدمه‌ای بر ساختار بلورهای فوتونی ۸

۲-۲ قضیه‌ی بلاخ ۱۳

۲-۳ مروری بر فیزیک پلاسما ۱۴

۲-۳-۱ تعریف پلاسما ۱۴

۲-۳-۲ نوسان‌های پلاسما و حرکت موجی ۱۵

۲-۳-۲-۱ نوسان‌های الکتروستاتیکی الکترون پلاسما ۱۵

۲-۳-۳ عبور امواج از پلاسما ۱۶

فصل سوم: انتشار موج در بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی ۱۸

۳-۱مقدمه ۱۹

۳-۲ مروری بر نظریه‌ی مسئله‌ی بلورهای فوتونی پلاسمایی دو تایی ۲۰

۳-۳ شبیه‌سازی ۲۴

۳-۳-۱ شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی به‌ازای $d=۰/۱$ و بسامدهای متفاوت ۲۴

۳-۳-۱-۱ حالت اول $d=۰/۱$ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۲۴

۳-۳-۱-۲ حالت دوم $d=۰/۱$ و $f=۶/۷۲\times۱۰^{۱۱}$ Hz ۳۰

۳-۳-۱-۳ حالت سوم $d=۰/۱$ و $f=۶/۷۲\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۳۲

۳-۳-۲ شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی به ازای $d=۰/۳$ و بسامدهای متفاوت ۳۶

۳-۳-۲-۱ حالت اول $d=۰/۳$ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۳۶

۳-۳-۲-۲ حالت دوم $d=۰/۳$ و $f=۳\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۳۸

۳-۳-۲-۳ حالت سوم $d=۰/۳$ و $f=۶/۷۲\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۴۱

۳-۳-۳ شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی در حالت d=۰/۸ و بسامدهای متفاوت .....۴۴.....
۳-۳-۳-۱ حالت اول d=۰/۸ و $f=۷۸\times۱۰^{۱۱}$ Hz .....۴۴.....
۳-۳-۳-۲ حالت دوم، d=۰/۸ و $f=۳۰\times۱۰^{۱۱}$ Hz .....۴۷.....
فصل چهارم: انتشار موج در بلور فوتونی پلاسمایی سه تایی یک بعدی .....۵۱.....
۴-۱ مقدمه .....۵۲.....
۴-۲ مروری بر نظریه‌ی مسئله‌ی بلورهای فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی .....۵۳.....
۴-۳ شبیه‌سازی .....۵۸.....
۴-۳-۱ شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ .....۵۹....
۴-۳-۱-۱ حالت اول a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و $f=۱۰^{۱۰}$Hz .....۵۹.....
۴-۳-۱-۲ حالت دوم a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و $f=۱۲\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۶۲.....
۴-۳-۱-۳ حالت سوم a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و $f=۲۰\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۶۶.....
۴-۳-۲ شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۲ .....۶۹...
۴-۳-۲-۱ حالت اول a=b=l=۵۰۰ μm و p=۲ و $f=۱۲\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۷۰.....
۴-۳-۲-۲ حالت دوم p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و $f=۲۰\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۷۲.....
۴-۳-۲-۳ حالت سوم p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و $f=۲۲/۵\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۷۶.....
۴-۳-۳ شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۳ .....۸۰....
۴-۳-۳-۱ حالت اول p=۳، a=b=l=۵۰۰μm و $f=۲۲/۵\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۸۱.....
۴-۳-۳-۲ حالت دوم p=۳، a=b=l=۵۰۰μm و $f=۱۲\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۸۳.....
۴-۳-۴ شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ .....۸۵
۴-۳-۴-۱ حالت اول b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و $f=۲۵\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۸۶.....
۴-۳-۴-۲ حالت دوم b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و $f=۱۸/۷۵\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۹۰.....
۴-۳-۵ شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ .....۹۴
۴-۳-۴-۱ خالت اول b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و $f=۱۵\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۹۵.....
۴-۳-۴-۲ حالت دوم b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و $f=۱۰\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۹۸.....
۴-۳-۶ شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ .....۱۰۰۱

۴-۳-۶-۱ حالت اول $b=۱۰۰۰\mu m$ و $a=l=۵۰۰\mu m$ و $p=۳$ و $f=۱۰\times۱۰^{۱۰}Hz$ .....۱۰۰۲.....

۴-۳-۶-۲ حالت دوم $b=۱۰۰۰\ \mu m$ و $a=l=۵۰۰\mu m$ و $p=۳$ و $f=۱۸/۷۵\times۱۰^{۱۰}Hz$ .....۱۰۰۴.....

۴-۳-۶-۳ حالت سوم $b=۱۰۰۰\ \mu m$ و $a=l=۵۰۰\mu m$ و $p=۳$ و $f=۱۵\times۱۰^{۱۰}Hz$ .....۱۰۰۸.....

۴-۳-۶-۴ حالت چهارم $b=۱۰۰۰\ \mu m$ و $a=l=۵۰۰\mu m$ و $p=۳$ و $f=۵\times۱۰^{۱۰}Hz$ .....۱۰۱۲.....

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات .....۱۱۴.....

نتیجهگیری و پیشنهادات

پیوست: مطالعه‌ی نرم‌افزار کامسول .....۱۱۷.....

حل سیستم های غیر خطی با COMSOL Multiphysics.....۱۱۸

مراجع .....۱۲۲.....

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱. از سمت راست به چپ :بلورهای نوری سه بعدی، دو بعدی و یک بعدی [۴] ۱

شکل ۱-۲. بلور نوری سه بعدی با کره‌های دی‌الکتریکی به قطر ۳۰۰ نانو متر[۴] ۳

شکل ۱-۳. یک بلور نوری سه بعدی ساخته شده از سیلیکان [۴] ۳

شکل ۲-۱. بلور فوتونی یک بعدی و پاسخ آن به دو طول موج متفاوت [۴۳] ۹

شکل ۲-۲. نمایش دو هندسه پایهی بلور فوتونی دو بعدی؛ چپ ساختار مربعی؛ راست ساختار مثلثی [۴۳] ۱۰

شکل ۲-۳. نمایش تقارن دورانی و سلول واحد در بلورهای فوتونی دو بعدی [۴۳] ۱۰

شکل ۲-۴ بلورهای فوتونی گرافیت (شکل راست) و فیبر براگ (شکل چپ) [۴۳] ۱۱

شکل۲-۵. تصاویری از بلورهای فوتونی مثلثی(چپ) و گرافیت (راست) [۴۳] ۱۱

شکل ۲-۶. تصاویر مربوط به تیغهی بلور فوتونی دو بعدی مثلثی با سوراخهای مثلثی[۴۳] ۱۱

شکل ۲-۷. بلور فوتونی گرافیت با تیغهی اتصال میان استوانهها[۴۳] ۱۲

شکل ۲-۸ دو نوع از فیبر بلور فوتونی سوراخدار[۴۳] ۱۲

شکل ۳-۱. تغییرات پریودیک پلاسما و دی‌الکتریک در یک بلور فوتونی پلاسمایی دو تایی [۴۳] ۲۰

شکل ۳-۲. تغییرات بردار موج (k) بر حسب فرکانس بهنجار شده، نشان دهندهی رابطهی پاشندگی، برای حالت d=۰/۱ .....۲۲

شکل ۳-۳. تغییرات بردار موج (k) بر حسب فرکانس بهنجار شده، نشان دهندهی رابطه پاشندگی، برای d=۰/۳ .....۲۳

شکل ۳-۴. تغییرات بردار موج (k) بر حسب فرکانس بهنجار شده، نشان دهندهی رابطهی پاشندگی، برای d=۰/۸ .....۲۳

شکل ۳-۵. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۲۴

شکل ۳-۶. نمای سه بعدی از شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۲۵

شکل ۳-۷. نمودار تغییرات مؤلفهی عمودی میدان الکتریکی دریک بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۲۶

شکل ۳-۸. انتشار چگالی انرژی مغناطیسی در بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۲۷

شکل ۳-۹. انتشار چگالی انرژی الکتریکی در بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۲۷

شکل ۳-۱۰. عبور چگالی انرژی کل در یک بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۲۸

شکل ۳-۱۱. عبور چگالی انرژی مغناطیسی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی. با d=۰/۱ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۲۸

شکل ۳-۱۲. نمودار عبور چگالی انرژی الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۲۹

شکل ۳-۱۳. نمودار عبور چگالی انرژی کل در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و $f=۷/۸\times۱۰^{۱۲}$ Hz ۲۹

شکل ۳-۱۴. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و f=۶/۷۲×۱۰۱۱ Hz (بسامد بهنجار ۰/۱۱۲). ۳۰
شکل ۳-۱۵. نمای سه بعدی از شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۱ Hz ۳۱
شکل ۳-۱۶. تغییرات مولفه‌ی z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۱ Hz ۳۱
شکل ۳-۱۷. عبور چگالی انرژی الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۱ Hz ۳۲
شکل ۳-۱۸. عبور مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی از داخل بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۲ Hz ۳۲
شکل ۳-۱۹. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۲ Hz به‌صورت نمای سه بعدی. ۳۳
شکل ۳-۲۰. نمودار تغییرات مولفه‌ی z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۲ Hz ۳۴
شکل ۳-۲۱. عبور چگالی انرژی الکتریکی از داخل بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۲ Hz ۳۴
شکل ۳-۲۲. عبور چگالی انرژی مغناطیسی از بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۲ Hz ۳۵
شکل ۳-۲۳. عبور چگالی انرژی کل از داخل بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۱ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۲ Hz ۳۵
شکل ۳-۲۴. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی به‌ازای d=۰/۳ و f=۷/۸×۱۰^۱۲ Hz ۳۶
شکل ۳-۲۵. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی d=۰/۳ و f=۷/۸×۱۰^۱۲ Hz به‌صورت نمای سه بعدی ۳۷
شکل ۳-۲۶. نمودار تغییرات مولفه‌ی z میدان الکتریکی در بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی به‌ازای d=۰/۳ و f=۷/۸×۱۰^۱۲ Hz ۳۸
شکل ۳-۲۷. عبور مؤلفه‌ی z میدان از بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۳ و f=۳×۱۰^۱۲ Hz ۳۸
شکل ۳-۲۸. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۳ و f=۳×۱۰^۱۲ Hz به‌صورت نمای سه بعدی. ۳۹
شکل ۳-۲۹. نمودار تغییرات مولفه z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۳ و f=۳×۱۰^۱۲ Hz ۳۹
شکل ۳-۳۰. نمودار عبور چگالی انرژی الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۳ و f=۳×۱۰^۱۲ Hz ۴۰
شکل ۳-۳۱. نمودار عبور چگالی انرژی مغناطیسی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۳ و f=۳×۱۰^۱۲ Hz ۴۰
شکل ۳-۳۲. نمودار عبور چگالی انرژی کل در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی به‌ازای d=۰/۳ و f=۳×۱۰^۱۲ Hz ۴۱
شکل ۳-۳۳. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی به‌ازای d=۰/۳ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۲ Hz ۴۱
شکل ۳-۳۴. نمای سه بعدی از شبیهسازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی با d=۰/۳ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۲ Hz. ۴۲
شکل ۳-۳۵. تغییرات مولفه‌ی z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۳ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۲ Hz. ۴۳
شکل ۳-۳۶. نمودار تغییرات چگالی انرژی الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی با d=۰/۳ و f=۶/۷۲×۱۰^۱۲ Hz. ۴۳
شکل ۳-۳۷. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی.با d=۰/۸ و f=۷۸×۱۰^۱۱ Hz ۴۵
شکل ۳-۳۸. نمای سه بعدی از شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی با d=۰/۸ و f=۷۸×۱۰^۱۱ Hz ۴۵

شکل ۳-۳۹. نمودار تغییرات مولفه z میدان الکتریکی در بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی.با d=۰/۸ و $f=۷۸\times۱۰^{۱۱}$ Hz ۴۶
شکل ۳-۴۰. نمودار تغییرات چگالی انرژی الکتریکی در بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی.با d=۰/۸ و $f=۷۸\times۱۰^{۱۱}$ Hz ۴۶
شکل ۳-۴۱. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی.با d=۰/۸ و $f=۳۰\times۱۰^{۱۱}$ Hz .....۴۷.....
شکل ۳-۴۲. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی.با d=۰/۸ و $f=۳۰\times۱۰^{۱۱}$Hz به‌صورت نمای سه بعدی. ۴۷
شکل ۳-۴۳. تغییرات مولفه‌ی z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی.با d=۰/۸ و $f=۳۰\times۱۰^{۱۱}$ Hz ۴۸
شکل ۳-۴۴. تغییرات چگالی انرژی الکتریکی در یک بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی با d=۰/۸ و $f=۳۰\times۱۰^{۱۱}$ Hz. .۴۹
شکل ۳-۴۵. نمودار تغییرات چگالی انرژی الکتریکی در بلور فوتونی پلاسمایی دوتایی یک بعدی با d=۰/۸ و $f=۳۰\times۱۰^{۱۱}$ Hz. ۵۰
شکل ۴-۱. یک سلول از بلور فوتونی پلاسمایی سه تایی یک بعدی با شیشه، پلاسما و MgF_2 [۴۲]. .....۵۳.
شکل۴-۲. نمودار $k(\omega)$ بر حسب بسامد بهنجار $\omega d/2\pi C$. (نمودار پاشندگی بر حسب بسامد بهنجار با p=۱ و a=b=l=۵۰۰μm) .....۵۵.....
شکل ۴-۳. نمودار $k(\omega)$ بر حسب بسامد بهنجار $\omega d/2\pi C$ (نمودار پاشندگی بر حسب بسامد بهنجار با P= ۲ و a=b=l=۵۰۰μm) .....۵۶.....
شکل ۴-۴. نمودار $k(\omega)$ بر حسب بسامد بهنجار $\omega d/2\pi C$. (نمودار پاشندگی بر حسب بسامد بهنجار ، با P= ۳ و a=b=l=۵۰۰μm) .....۵۶.....
شکل ۴-۵. نمودار $k(\omega)$ بر حسب بسامد بهنجار $\omega d/2\pi C$(نمودار پاشندگی بر حسب بسامد بهنجار با p=۱ و a=l=۵۰۰μm و b=1000μm). .....۵۷.....
شکل ۴-۶. نمودار $k(\omega)$ بر حسب بسامد بهنجار $\omega d/2\pi C$ (نمودار پاشندگی بر حسب بسامد بهنجار با p=2 و a=l=۵۰۰μm و b=1000μm) .....۵۷.....
شکل ۴-۷. نمودار $k(\omega)$ بر حسب بسامد بهنجار $\omega d/2\pi C$ (نمودار پاشندگی بر حسب بسامد بهنجار با P= ۳ و a=l=۵۰۰μm و b=1000μm) .....۵۸.....
شکل۴-۸. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و $f=۱۰^{۱۰}$Hz ۵۹
شکل۴-۹. نمای سه بعدی از شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و $f=۱۰^{۱۰}$Hz ۶۰
شکل ۴-۱۰. نمودار مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی بر حسب طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و $f=۱۰^{۱۰}$Hz .....۶۱.....
شکل ۴-۱۱. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و Hz p=۱ و $f=۱۲\times۱۰^{۱۰}$Hz ۶۲
شکل۴-۱۲. نمای سه بعدی از شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و $f=۱۲\times۱۰^{۱۰}$Hz .....۶۲.....

شکل ۴-۱۳. نمودار مربوط به مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۶۳

شکل ۴-۱۴. عبور چگالی کل انرژی از یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۶۴

شکل ۴-۱۵. عبور چگالی انرژی الکتریکی بر حسب طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۶۵

شکل ۴-۱۶. عبور چگالی انرژی کل(جمع انرزی الکتریکی و مغناطیسی) در طول. بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۶۵

شکل۴-۱۷. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۶۶

شکل۴-۱۸. نمای سه بعدی از بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۶۶

شکل ۴-۱۹. نمودار مربوط به مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی بر حسب طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۶۷

شکل ۴-۲۰. عبور چگالی انرژی الکتریکی از یک بلور فوتونی پلاسمایی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۶۸

شکل۴-۲۱. نمودار چگونگی عبور چگالی انرژی الکتریکی بر حسب طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۶۸

شکل ۴-۲۲. نمودار چگالی انرژی مغناطیسی بر حسب طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۶۹

شکل۴-۲۳. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی a=b=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۷۰

شکل۴-۲۴. نمای سه بعدی از شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی a=b=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۷۰

شکل ۴-۲۵. نمودار مربوط به مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی بر حسب طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با a=b=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۷۱

شکل۴-۲۶. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۷۲

شکل۴-۲۷. نمای سه بعدی از شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۷۲

شکل۴-۲۸. عبور چگالی انرژی الکتریکی از یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۷۳

شکل ۴-۲۹. نمودار مربوط به مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی بر حسب طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۷۴

شکل ۴-۳۰. نمودار عبور چگالی انرژی الکتریکی برحسب فاصله از ابتدای یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۷۴

شکل ۴-۳۱. نمودار چگالی انرژی مغناطیسی برحسب فاصله از ابتدای یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۷۵

شکل ۴-۳۲. نمودار عبور چگالی کل انرژی (مجموع انرژی الکتریکی و مغناطیسی) در امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۰×۱۰^۱۰Hz ۷۵

شکل ۴-۳۳. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz ۷۶

شکل۴-۳۴. نمای سه بعدی از شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz ۷۶

شکل۴-۳۵. عبور چگالی انرژی الکتریکی از بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz ..۷۷

شکل ۴-۳۶. نمودار مربوط به مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی بر حسب طول یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz ۷۸

شکل ۴-۳۷. عبور چگالی انرژی الکتریکی برحسب فاصله از ابتدای بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz ۷۸

شکل ۴-۳۸. عبور چگالی انرژی مغناطیسی برحسب فاصله از ابتدای بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۲، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz ۷۹

شکل ۴-۳۹. عبور چگالی انرژی کل در طول بلور فوتونی. پلاسمایی سه‌تایی با a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz ۸۰

شکل۴-۴۰. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با p=۳، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz. ۸۱

شکل۴-۴۱. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با p=۳، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz به‌صورت نمای سه بعدی. ۸۱

شکل ۴-۴۲. چگونگی عبور مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۳، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz ۸۲

شکل ۴-۴۳. نمودار چگالی انرژی مغناطیسی برحسب فاصله از ابتدای بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی p=۳، a=b=l=۵۰۰μm و f=۲۲/۵×۱۰^۱۰Hz ۸۲

شکل۴-۴۴. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با p=۳، a=b=l=۵۰۰μm و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۸۳

شکل۴-۴۵. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی به‌صورت نمای سه بعدی با p=۳، a=b=l=۵۰۰μm و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۸۳

شکل ۴-۴۶. نمودار عبور مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی بر امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با p=۳، a=b=l=۵۰۰μm و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۸۴

شکل ۴-۴۷. نمودار چگونگی عبور چگالی انرژی مغناطیسی در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی p=۳، a=b=l=۵۰۰μm و f=۱۲×۱۰^۱۰Hz ۸۵

شکل ۴-۴۸. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۵×۱۰^۱۰Hz ۸۶

شکل۴-۴۹. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و ۲۵×۱۰^۱۰Hz =f به‌صورت نمای سه بعدی ۸۶

شکل ۴-۵۰. عبور چگالی انرژی الکتریکی از یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۵×۱۰^۱۰Hz ۸۷

شکل ۴-۵۱. نمودار مربوط به مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمای سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۵×۱۰^۱۰Hz ۸۸

شکل ۴-۵۲. نمودار عبور چگالی انرژی الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۵×۱۰^۱۰Hz 88

شکل ۴-۵۳. نمودار عبور چگالی انرژی کل در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۲۵×۱۰^۱۰Hz ۸۹

شکل ۴-۵۴. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و ۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz =f ۹۰

شکل۴-۵۵. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی به‌صورت نمای سه بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۹۰

شکل ۴-۵۶. چگونگی عبور چگالی انرژی الکتریکی از یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۹۱

شکل ۴-۵۷. نمودار مربوط به عبور مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی در امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۹۲

شکل۴-۵۸. نمودار مربوط به عبور چگالی انرژی مغناطیسی درامتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۹۲

شکل ۴-۵۹. عبور چگالی انرژی الکتریکی در امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۹۳

شکل ۴-۶۰. عبور چگالی انرژی کل (مجموع انرژی الکتریکی و مغناطیسی) در امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۱ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۹۴

شکل ۴-۶۱. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz ۹۵

شکل۴-۶۲. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz به‌صورت نمای سه بعدی ۹۵

شکل ۴-۶۳. عبور مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی باb=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz ۹۶

شکل ۴-۶۴. نمودار مربوط به چگالی انرژی الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz ۹۷

شکل ۴-۶۵. نمودار عبور چگالی کل در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz ۹۷

شکل ۴-۶۶. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۰×۱۰^۱۰Hz ۹۸

شکل۴-۵۷. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۰×۱۰^۱۰Hz به‌صورت نمای سه بعدی ۹۸

شکل۴-۶۸. عبور مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی در امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۰×۱۰^۱۰Hz ۹۹

شکل۴-۶۹. نمودار مربوط به چگونگی عبور چگالی انرژی مغناطیسی در امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۰×۱۰^۱۰Hz ۱۰۰

شکل۴-۷۰. عبور چگالی انرژی الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۰×۱۰^۱۰Hz 100

شکل۴-۷۱. عبور چگالی انرژی کل در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۲ و f=۱۰×۱۰^۱۰Hz ۱۰۱

شکل ۴-۷۲. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۰×۱۰^۱۰Hz ۱۰۲

شکل ۴-۷۳. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی به‌صورت نمای سه بعدی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۰×۱۰^۱۰Hz ۱۰۲

شکل۴-۷۴. عبور مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۰×۱۰^۱۰Hz ۱۰۳

شکل ۴-۷۵. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۱۰۴

شکل۴-۷۶. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی به‌صورت نمای سه بعدی با b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۱۰۴

شکل ۴-۷۷. عبور چگالی انرژی کل از یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۱۰۵

شکل ۴-۷۸. نمودار مربوط به مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی در امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۱۰۶

شکل ۴-۷۹. چگونگی عبور چگالی انرژی الکتریکی در امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۱۰۶

شکل ۴-۸۰. عبور چگالی انرژی مغناطیسی در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۱۰۷

شکل ۴-۸۱. عبور چگالی انرژی کل (مجموع انرژی الکتریکی و مغناطیسی) در امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۸/۷۵×۱۰^۱۰Hz ۱۰۷

شکل ۴-۸۲. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz 108

شکل۴-۸۳. شبیه‌سازی یک بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی به‌صورت نمای سه بعدی b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz ۱۰۸

شکل ۴-۸۴. چگونگی عبور چگالی انرژی کل (مجموع انرژی الکتریکی و مغناطیسی) از یک بلور فوتونی پلاسمایی b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz ۱۰۹

شکل ۴-۸۵. عبور مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz ۱۱۰

شکل ۴-۸۶. عبور چگالی انرژی مغناطیسی در طول بلور فوتونی پلاسمایی با b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz ۱۱۰

شکل ۴-۸۷. عبور چگالی انرژی الکتریکی در طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با b=۱۰۰۰ μm و a=l=۵۰۰μm و p=۳ و f=۱۵×۱۰^۱۰Hz ۱۱۱

شکل ۴-۸۸. نمودار عبور چگالی انرژی کل (مجموع انرژی الکتریکی و مغناطیسی) در طول بلور فوتونی پلاسمایی با $b=۱۰۰۰\mu m$ و $a=l=۵۰۰\mu m$ و $p=۳$ و $f=۱۵\times۱۰^{۱۰}Hz$ ۱۱۱

شکل ۴-۸۹. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی $b=۱۰۰۰\mu m$ و $a=l=۵۰۰\mu m$ و $p=۳$ و $f=۵\times۱۰^{۱۰}Hz$ ۱۱۲

شکل۴-۹۰. شبیه‌سازی بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی یک بعدی با $b=۱۰۰۰\mu m$ و $a=l=۵۰۰\mu m$ و $p=۳$ و $f=۵\times۱۰^{۱۰}Hz$ به‌صورت نمای سه بعدی ۱۱۲

شکل۴-۹۱. نمودار مربوط به مؤلفه‌ی z میدان الکتریکی در امتداد طول بلور فوتونی پلاسمایی سه‌تایی با $b=۱۰۰۰\ \mu m$ و $a=l=۵۰۰\mu m$ و $p=۳$ و $f=۵\times۱۰^{۱۰}Hz$ ۱۱۳

فصل اول

مقدمه