به نام خدا

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

(گرایش مخابرات میدان و موج)

بررسی خواص و استفاده از EBG در افزایش بهره آنتنهای میکرواستریپی دو باندی با ساختار فرکتالی در باند X

نگارش:

فرشاد کشمیری

استاد راهنما:

دکتر مجید طیرانی

خرداد ۱۳۸۶

تقدیم به پدر و مادرم

و با تشکر از همسر مهربانم

سپاسگزاری

از زحمات و راهنمایی های ارزندۀ استاد بزرگوار و ارجمندم دکتر مجید طیرانی، نهایت تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از اعضای محترم هیئت داوری، دکتر همایون عریضی، دکتر احمد چلداوی و دکتر مهرشاهی که با دقت نظر کامل این پایان نامه را مورد ارزیابی قرار داده اند صمیمانه سپاسگزارم.

این پروژه تحت حمایت مادی و معنوی مرکز تحقیقات ایران می باشد. در اینجا از این مرکز تشکر و قدر دانی می گردد.

از همه کسانی که مرا در انجام این پروژه یاری رسانده اند، به ویژه آقایان دکتر محمد حکاک، دکتر غلامرضا داداش زاده، دکتر عباس پیرهادی، مهندس مهدی حسینی، مهندس اسرافیل جداری، مهندس میرعبدالهی و آقای رحیمی سپاسگزاری می نمایم.

چکیده :

در این پروژه ابتدا به بررسی انواع ساختارهای باند ممنوعه پرداخته ایم و سپس آنتنهای باند ممنوعه و نحوه کارکرد آنها را تشریح کرده ایم. در ادامه نحوه طراحی یک آنتن باند ممنوعه با استفاده از ساختار های دی الکتریک-فلز را نشان داده ایم. این آنتن از دو بخش مجزا تشکیل شده است، لایه *Superstrate* که به همراه صفحه زمین تشکیل یک رزوناتور را می دهد و تشعشع کننده اولیه که برای تحریک ساختار، در داخل رزوناتور قرار می گیرد. در فصل سوم، اصول طراحی لایه *Superstrate* عنوان شده است و در فصل چهارم این لایه با کمک نرم افزار *HFSS 9.2* که از روش المان محدود برای حل مسائل استفاده می کند، طراحی شده است. این لایه از المانهای فلزی با شکل حلقه تو در تو که بروی لایه دی الکتریک چاپ شده اند استفاده می کند. همانطور که در متن پروژه نیز اشاره شده است، با رعایت نکات طراحی می توان لایه *Superstrate* را با کمک تکنیک اعمال شرایط مرزی پریودیک، به راحتی شبیه سازی کرد. ساختار تشعشع کننده اولیه نیز نوع خاصی از یک آنتن پچ فرکتالی می باشد که توانایی ایجاد دو باند فرکانسی نزدیک به هم را داراست. هر دو باند کاری این آنتن دارای پلاریزاسیون خطی می باشند و به دلیل متعامد بودن پلاریزاسیون این دو باند، بهتر است که از لایه باند ممنوعه ای استفاده کنیم که قابلیت کار کردن در هر دو پلاریزاسیون افقی و عمودی را داشته باشد. دو المان حلقه تو در تو نیز به دلیل ساختار متقارن، می تواند درهر دو پلاریزاسیون باعث بالا رفتن بهره آنتن گردد. در فصل پنجم نیز ساختار نهایی که از ترکیب آنتن پچ با سه مرتبه فرکتالی و لایه *Superstrate* با ۴۹ المان حلقه تو در تو ارائه شده است. این ترکیب می تواند علاوه بر تطبیق در دو فرکانس ۹ و ۱۱ گیگا هرتز، بهره ای تا حدود ۱۵ *dBi* نیز داشته باشد.

واژگان کلیدی :

ساختار باند ممنوعه، لایه *Superstrate* ، آنتن فرکتالی و بهره بالا.

فهرست مطالب

فصل ۱- معرفی ساختارهای باند ممنوعه ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تفکیک محیطهای باند ممنوعه توسط جنس ساختار ۴

۱-۳- اختلال در ساختارهای با باند ممنوعه نوری ۱۱

۱-۴- نمودار پراکندگی ۱۶

فصل ۲- بررسی آنتنهای با باند ممنوعه ۱۹

۲-۱- مقدمه ۲۰

۲-۲- بررسی آنتنهای با باند ممنوعه نوری از دیدگاه *Metamaterials* ۲۱

۲-۳- بررسی آنتنهای با باند ممنوعه نوری از دیدگاه اختلالی ۳۳

۲-۳-۱- اثر تغییر دوره تناوب میله های دی الکتریک بر پهنای باند ممنوعه ۳۹

۲-۳-۲- اثر تغییر طول اختلال (*ld*) بر فرکانس اختلال (*fd*) و بررسی انواع ۴۲

۲-۳-۳- اثر اعمال اختلال نوع دوم میله های دی الکتریک بر فرکانس اختلال (*fd*) ۴۵

۲-۳-۴- ساختار آنتن میکرواستریپ، با بکار گیری *EBG* به عنوان *Superstrate* ۴۷

۲-۳-۵- استفاده از *EBG* برای بهبود عملکرد آرایه های آنتنی ۵۸

۲-۴- بررسی آنتنهای با باند ممنوعه نوری از دیدگاه *Fabry-Perot* ۶۱

فصل ۳- معرفی روند طراحی آنتنهای باند ممنوعه با بهره بالا ۷۰

۳-۱- مقدمه ۷۱

۳-۲- انتخاب المان به کار رفته در ساختار باند ممنوعه ۷۱

۳-۳- روش طراحی ساختارهای باند ممنوعه یک بانده ۷۳

۳-۴- روش طراحی ساختارهای باند ممنوعه دو بانده ۷۸

فهرست

فصل ۴- نتایج شبیه سازی لایه *Superstrate* و آنتن میکرواستریپ فرکتالی دو بانده ۸۱
۴-۱- مقدمه ۸۲
۴-۲- شبیه سازی لایه *Superstrate* ۸۲
۴-۲-۱- طراحی لایه *Superstrate* تک لایه یک بانده و دو بانده ۸۳
۴-۲-۲- طراحی لایه *Superstrate* دو لایه و تک بانده ۹۹
۴-۲-۳- طراحی لایه *Superstrate* دو لایه و دو بانده ۱۰۳
فصل ۵- ساختار پیشنهادی برای آنتن دو بانده با بهره بالا ۱۰۷
۵-۱- مقدمه ۱۰۸
۵-۲- طراحی تشعشع کننده اولیه ۱۰۸
۵-۲-۱- ساختارهای فرکتالی ۱۱۱
۵-۲-۲- نحوه تشعشع آنتن میکرواستریپ با ساختار فرکتالی پیشنهادی : ۱۱۵
۵-۳- ساختار نهایی آنتن باند ممنوعه پیشنهادی : ۱۲۶
۵-۴- ساخت آنتن باند ممنوعه : ۱۳۶
۵-۴-۱- آنتن پچ فرکتالی ۱۳۶
۵-۴-۲- آنتن باند ممنوعه متشکل از لایه *Superstarte* و آنتن پچ فرکتالی ۱۳۶
فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۴۷
۶-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۴۸
۶-۲- پیشنهادات ۱۴۹
مراجع ۱۵۰

فصل ۱- معرفی ساختارهای باند ممنوعه

۱-۱- مقدمه

کریستالهای نوری PC[1] تحول جدیدی در تکنولوژی فرکانس بالا محسوب می شوند که بیشترین کاربرد آنها در باند نوری و ساخت ادوات مربوط به این باند می باشد. اما اولین بار در سال ۱۹۹۱ پروفسور یابلنویچ[۲] توانست این تکنولوژی را با نام EBG[۳] در فرکانسهای مایکروویو و موج میلیمتری ابداع کند.

کریستالهای نوری دسته ای از ساختار های فلزی، دی الکتریک و یا ترکیب این دو هستند که باند ممنوعه[۴] فرکانسی ایجاد می کنند، بطوریکه در امواج تابیده شده از جهات مختلف تداخل سازنده ایجاد کرده و اجازه انتشار به آنها نمی دهند . بر اساس تناوب فیزیکی ساختار، باند ممنوعه را می توان در صفحات یک، دو و یا سه بعدی ایجاد کرد. کاربرد این مواد در فرکانسهای نوری بوده است اما اخیرا به علت مناسب بودن ابعاد این مواد برای فرکانسهای مایکروویو، در طول موجهای میلیمتری و سانتیمتری نیز کاربرد پیدا کرده است *[1]*.

در شکل ۱-۱ می توان تفاوت عملکرد یک ساختار برای دو فرکانس متفاوت را دید. در شکل(۱-۱ الف) ساختار به موج اجازه عبور نمی دهد پس این طول موج را باید در باند ممنوعه ساختار به حساب آوریم. در حالیکه در شکل (۱-۱ ب) موج با تضعیف کم از ساختار عبور می کند . این طول موجها را می توان در خارج باند ممنوعه فرکانسی مشاهده کرد.

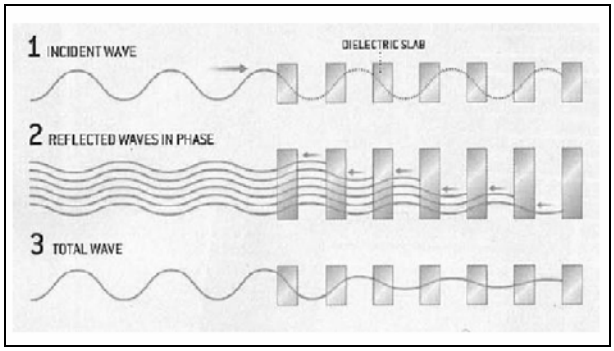
---

[1] *Photonic Crystals*

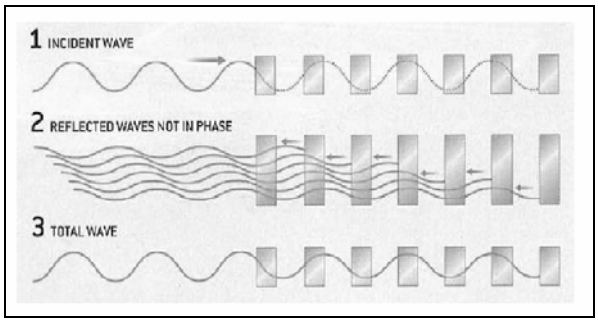
[2] *E. Yablonovitch*

[3] *Electromagnetic Band Gap*

[4] *Band Gap*



(الف)



(ب)

شکل ۱-۱ تابش امواج به کریستال نوری یک بعدی برای دو حالت الف) داخل باند ممنوعه و ب) خارج باند ممنوعه

یکی از مهمترین خواص مواد با باند ممنوعه نوری، تشکیل مدهای متمرکز در باند ممنوعه می باشد. این پدیده با بر هم زدن پریود ساختار بوجود می آید. این بر هم زدن نظم را می توان با اعمال یک اختلال[1] در ساختار ایجاد کرد. با اعمال تکنیکهای مختلفی که در ادامه خواهد آمد، می توان این باند عبور را تنظیم نمود. اگرچه این خواص مربوط به ساختارهای نوری می شود، مفهوم باند ممنوعه به همان اندازه قابل اعمال به تمام امواج الکترومغناطیسی با هر طول موجی می باشد.

[1] *Defect*

اگرچه در فرکانسهای مایکروویو می توان از دی الکتریک یا فلز برای ایجاد این ساختارها استفاده کرد، اما استفاده از مواد دی الکتریک- فلز[1] بیشتر رایج می باشد. *[2]* این ساختارها از کنار هم گذاشتن قطعات پریودیک فلزی بروی بوردهای مایکروویو ایجاد می شوند. حال آنکه می توان این فلزات پریودیک را در ساختارهای پیچیده دی الکتریک نیز جا سازی کرد. در طول موج در حد سانتیمتر یا میلیمتر می توان قطعات الکترونیکی را نیز در داخل این ساختار ها قرار داد. این مواد وقتی در طول موج میلیمتری استفاده می شوند با نام شکاف الکترومغناطیسی*(EMG)*[2] شناخته می شوند. در ضمن، ساختارهای دی الکتریک خالص معمولا در فرکانسهای پایین تر استفاده می شوند.

کاربرد ساختار های با باند ممنوعه الکترومغناطیسی در باند مایکروویو اخیرا رو به افزایش گذاشته اند. از این مواد برای تحقق فیلتر ها و موجبر ها و نیز سمتگرایی انتشار امواج الکترومغناطیسی در کاربرد های متفاوت می توان استفاده کرد *[1]*. از ساختار های دی الکتریک– فلز در باند مایکروویو می توان برای ساخت باز تاباننده ها، زیر لایه آنتنها، سطوح با امپدانس بالا و فیلترهای با پهنای باند بالا استفاده کرد. در بخش بعدی مفصلا راجع به کاربردهای ساختارهای باند ممنوعه توضیح داده خواهد شد.

با تغییر هندسه کریستالهای نوری می توان باند ممنوعه و باند گذر را تنظیم نمود. به این معنی که با تغییر مقیاس سلولهای اولیه می توان مطابق جدول ۱-۱، در نواحی متفاوت کاری از این ساختار ها استفاده کرد*[2]*. البته باید در اینجا به تفاوت ساختارهای با باند ممنوعه نوری با سطوح انتخاب گر فرکانسی (*FSS* [3]) اشاره کرد. ایجاد ساختارهای سه بعدی و بهره گرفتن از مفهوم اختلال از عمده مزیتهای ساختار های با باند ممنوعه فرکانسی نسبت به سطوح انتخابگر فرکانسی می باشد. در مرجع *[2,3]* در این مورد بحث شده است.

---

[1] *Metallo-dielectric*

[2] *Electromagnetic Gap*

[3] *Ferequency Selective Surface*

جدول ۱-۱ ارتباط اندازه سلولهای اولیه در ساختار باند ممنوعه با ناحیه کاری مورد استفاده

اندازه سلول اولیه	سانتیمتر	میکرومتر	دهم میکرومتر
ناحیه کاری	گیگا هرتز	مادون قرمز	نور مرئی

۱-۲- تفکیک محیطهای باند ممنوعه توسط جنس ساختار

هرچند ساختارهای باند ممنوعه ابتدا توسط مواد دی الکتریک ساخته شد، اما همانطور که در مقدمه بیان شد، جنس محیطهای باند ممنوعه را می توان به سه دسته زیر طبقه بندی کرد.

۱- ساختارهای فلزی[1]

۲- ساختار های دی الکتریک

۳- ساختارهای فلز- دی الکتریک

در این بخش به بررسی هریک از این ساختارها می پردازیم. باند ممنوعه نوری را می توان با شبکه های فلزی ایجاد کرد. اگر در باند مایکروویو به بررسی این شبکه های فلزی بپردازیم، می بینیم که این ساختارها توانایی ایجاد یک باند ممنوعه از فرکانس صفر تا f_p[2] را دارا هستند. فرکانس f_p به بزرگترین طول موجی که بتوان بر شبکه های فلزی گنجاند، وابسته است. به عبارت دیگر این فرکانس همان فرکانس رزونانس مشددهای[3] تشکیل شده در کریستالهای فلزی می باشد. در شکل۱-۲ می توان این باند ممنوعه و نیز باند عبور[4] را مشاهده کرد. به دلیل وابسته بودن این باند عبور به تزویج بین مشددهای درون کریستال، پهنای باند عبوروابسته به تعداد حفره ها و قدرت تزویج بین آنها خواهد بود. با افزایش تعداد لایه ها در جهت انتشار موج می توان تعداد فرکانسهای

---

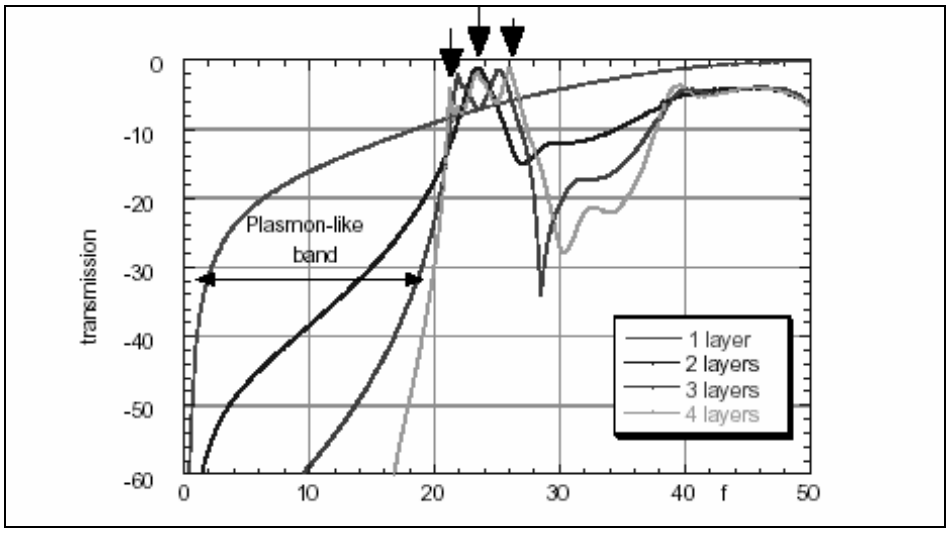
[1] *Metallic Lattices*

[2] *Plasmon-Like Frequency*

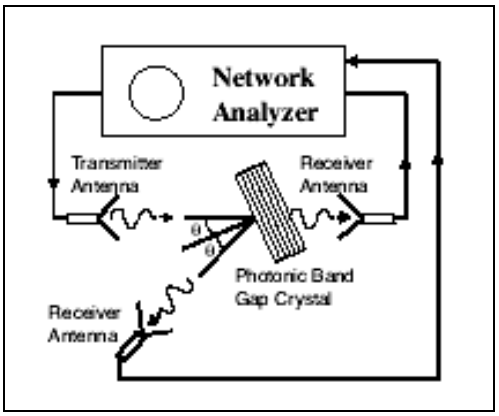
[3] *Cavities*

[4] *Allowed Band*

رزونانس بیشتری در باند عبور ایجاد کرد. به عنوان نمونه همانطورکه در شکل ۱-۲ دیده می شود، با افزایش تعداد لایه های یک توری فزی مربعی از یک تا چهار، تعداد فرکانسهای رزونانس در باند عبور از صفر تا سه افزایش پیدا کرده است. سه فلشی که در شکل ۱-۲ نشان داده شده اند، سه رزونانس در باند عبور یک توری فلزی مربعی چهار لایه را نشان می دهد. برای روشنتر شدن نحوه اندازه گیری ضریب بازتاب و ضریب انتقال این ساختارها، مجموعه اندازه گیری مربوطه را در شکل ۱-۳ آورده ایم. همانطور که در شکل دیده می شود، می توان به راحتی توسط یک *Network Analyzer* و یک محیط بدون بازتاب، مانند اتاق تست آنتن که تماما با جاذبهای الکترومغناطیسی پوشانده شده است، ضریب بازتاب و ضریب انتقال یک ساختار باند ممنوعه را در فرکانس مورد نظر اندازه گیری کرد.



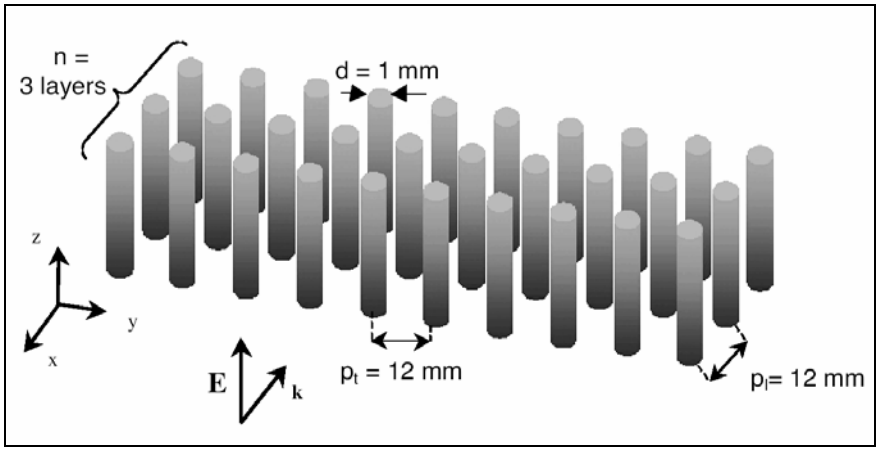
شکل ۱-۲ تغییرات ضریب انتقال (S21) برحسب فرکانس، برای یک شبکه فلزی مربعی متشکل از میله های مسی با قطر ۱،۵ میلیمتر که از هم ۶ میلیمتر فاصله دارند. این تغییرات برای تعداد متفاوتی از این لایه ها ترسیم شده است. [2]



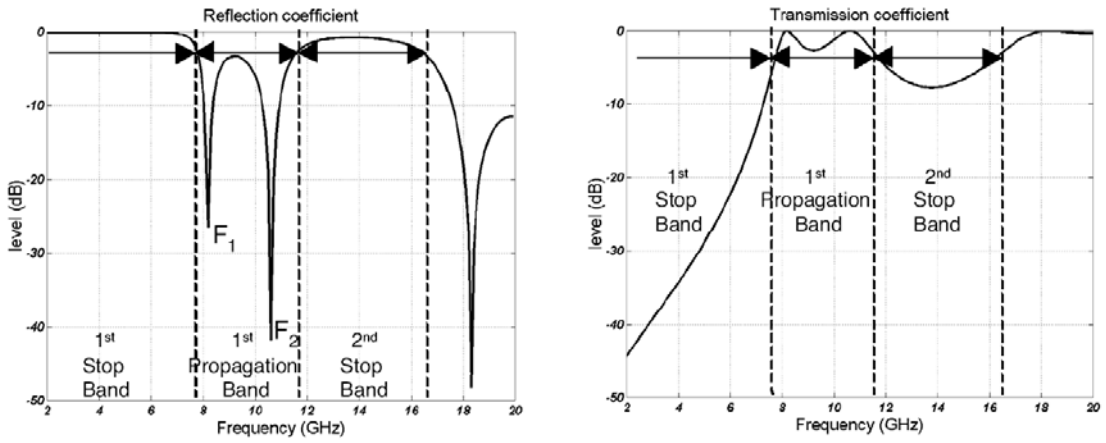
شکل۱-۳ روش اندازه گیری سیگنال بازتاب شده و منتقل شده از یک ساختار با باند ممنوعه [4]

برای ایجاد ساختارهای PBG با شبکه های فلزی، ساده ترین راه استفاده از میله های فلزی[1] است که در فضا به صورت دو یا سه بعدی قرار داده شده اند. این میله های فلزی می توانند به صورت ناپیوسته نیز در فضا قرار گیرند. در این حالت، ساختار مشابه محیطهای فلزی نخواهد بود. بلکه به صورت ترکیبی از فلز و دی الکتریک ($\varepsilon_r<1$) می باشد و رفتاری مشابه ساختارهای فلز- دی الکتریک از خود نشان می دهد *[5]*. هندسه میله های فلزی که به صورت دو بعدی در فضا قرار داده شده اند، در شکل ۱-۴ آمده است. همانطور که در شکل دیده می شود، d قطر میله ها، n تعداد لایه ها، P_t پریود عرضی و P_l پریود طولی می باشد. فرض شده است که این ساختار در جهت z , y تا بینهایت ادامه دارد. همانطور که در شکل ۱-۵ نشان داده شده است، یک باند گذر در کنار دو باند ممنوعه وجود دارد. در باند گذر، دو رزونانس که مربوط به سه لایه PBG می باشد، بوجود آمده است.

[1] *Metallic Rods*



شکل ۱-۴ هندسه شبکه دو بعدی PBG فلزی که دارای سه لایه می باشد. [6]



(ب) (الف)

شکل ۱-۵ تغییرات ضریب انتقال (الف) و بازتاب (ب)برای ساختار PBG فلزی. [6] (با ابعادی که در شکل ۱-۴ آمده است)

با تغییر مشخصات فیزیکی محیط *PBG*، می توان فرکانسهای رزونانس، پهنای باند گذر و باند ممنوعه و میزان اتلاف در باند ممنوعه را تنظیم نمود . در مرجع *[6]* در این مورد، مفصلا شبیه سازی هایی انجام شده است . اما برای داشتن یک دید کلی نسبت به ارتباط بین ابعاد فیزیکی و پارامترهای انتشاری می توان به جدول ۱-۲

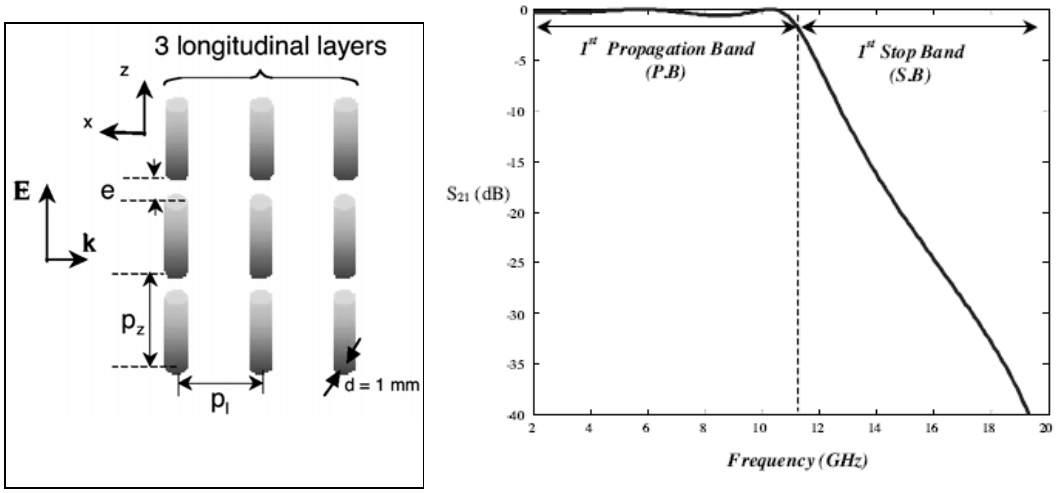
مراجعه کرد. در این جدول نحوه تغییرات فرکانسهای عبوری، پهنای باند گذر و ممنوعـه و میـزان اتـلاف در بانـد ممنوعه بر حسب پارامترهای فیزیکی ساختار باند ممنوعه نشان داده شده است.

جدول ۱-۲ تاثیر پارامترهای ساختار PBG فلزی بر باندهای انتشاری و ممنوعه. [6]

پارامتر متغییر در ساختار باند ممنوعه	قله های انتشاری (F1 , F2)	پهنای باند گذر	پهنای باند ممنوعه	میزان اتلاف در باند ممنوعه
$\uparrow P_l$	↓	↓	↓	↓
$\uparrow P_t$	↓	↑	↓	↑
↑d	↑	↓	↑	↓
↑n	تعداد قله های انتشاری=n-1	↑(تا n=7)	↓ (تا n=7)	↓

همانطور که ذکر شد، می توان بجای میله های پیوسته، از میله های ناپیوسته در فضا استفاده کرد. در اینـصورت دو پارامتر جدید به نامهای P_z ، تناوب در جهت z و e، فاصله میله ها از یکدیگر، تعریف می شـوند. ایـن سـاختار در شکل ۱-۶ نشان داده شده است. مشابه ساختارهای پیوسته فلزی، می توان ارتبـاط بـین پارامترهـای سـاختار گسسته PBG فلزی و مشخصه های تشعشعی آنتن را در جدول ۱-۳ مشاهده کرد.

مزیت عمده استفاده از این ساختار، امکان قرار دادن عناصر فعال در محل ناپیوستگی می باشـد. اگـر بـین میلـه های فلزی دیود قرار دهیم، با قطع دیودها ساختار به صورت ناپیوسته عمل می کند و با وصل دیـود هـا سـاختار مشابه میله های پیوسته می گردد. با این کار می توان باند ممنوعه را بـه بانـد گـذر و بـالعکس، تبـدیل کـرد. در مرجع *[7]* نحوه پیاده سازی چنین ساختاری بیان شده است.



(ب) (الف)

شکل ۱- ۶ الف) هندسه شبکه دو بعدی PBG فلزی که متشکل از میله های ناپیوسته می باشد. و تغییرات S21 بر حسب فرکانس برای این ساختار [6]

جدول ۱-۳ تاثیر پارامترهای ساختار PBG با میله های ناپیوسته، بروی باندهای انتشاری و ممنوعه. [6]

پهنای باند ممنوعه	پهنای باند گذر	پارامتر متغییر در ساختار باند ممنوعه
بی تاثیر	بی تاثیر	$\uparrow P_t$
$\uparrow$	$\downarrow$	$\uparrow P_z$
$\downarrow$	$\uparrow$	$\uparrow e$

یکی از مزایای استفاده از شبکه های فلزی نسبت به شبکه های دی الکتریک خالص، امکان ایجاد یک باند ممنوعه پهن باند، با به کار گرفتن تعداد محدودی لایه کریستالی می باشد. با توجه به این خاصیت ابعاد نهایی ساختار کوچکتر می گردد و می توان به ساختار های فشرده تری دست یافت *[8]*.

ساختار های باند ممنوعه می توانند از محیط های دی الکتریک خالص، یعنی بدون استفاده از فلز، تشکیل شده باشند. بازتابها از لایه های مختلف این محیط، به علت تغییر ضریب گذر دهی[1] محیط می باشد و بر حسب ابعاد این سلولها، می توان فرکانس گذر و ممنوعه این ساختارها را تنظیم کرد. این فرکانسها نسبت به ابعاد سلولهای دی الکتریک رابطه معکوس دارند و هرچه بتوان سلولهای کوچکتری ایجاد کرد، فرکانس کاری بالاتر می رود. بازه ای که می توان از این خاصیت استفاده کرد از امواج حوزه مایکرویو شروع شده و حتی تا مادون قرمز و مرئی نیز ادامه دارد. تنها محدودیت اعمالی به این ساختارها مشکلات ساخت می باشد، به طوری که برای فرکانسهای کمتر از میکرویو ابعاد ساختار بسیار بزرگ می شوند و همچنین برای کار در فرکانسهای بالا مانند مادون قرمز، ابعاد سلولها بسیار کوچک خواهند شد. این محیطها می توانند از میله های دی الکتریک در فضای آزاد، صفحه های دی الکتریک و .... تشکیل شده باشد. محیطهای دی الکتریک خالص، دارای یک باند ممنوعه در وسط باند هستند. با اعمال اختلال، یعنی حذف تعدادی از میله های دی الکتریک از محیط، فرکانس های رزونانس با پهنای باند نازکی[2] در باند ممنوعه بوجود می آید. نمونه هایی از این ساختار ها در قسمتهای بعدی توضیح داده شده است.

در بین ساختارهای دی الکتریک- فلز، برای رسیدن به ساختارهای فشرده تر، می توان ساختارهای پیچیده تر از میله های گسسته فلزی طراحی کرد. به دلیل حیاتی بودن حجم نهایی ساختار در کاربردهای آنتن، فیلتر و ... ساختارهای متفاوت دی الکتریک- فلز برای کار در باند میکرویو ارائه شده است که در این بین می توان به ساختارهای ارائه شده توسط *Sievenpiper [10], Itoh [14,43,44] , Mitra [4,32,46,50-52], ...* اشاره کرد.

---

[1] *Permittivity*

[2] *Narrow Band*

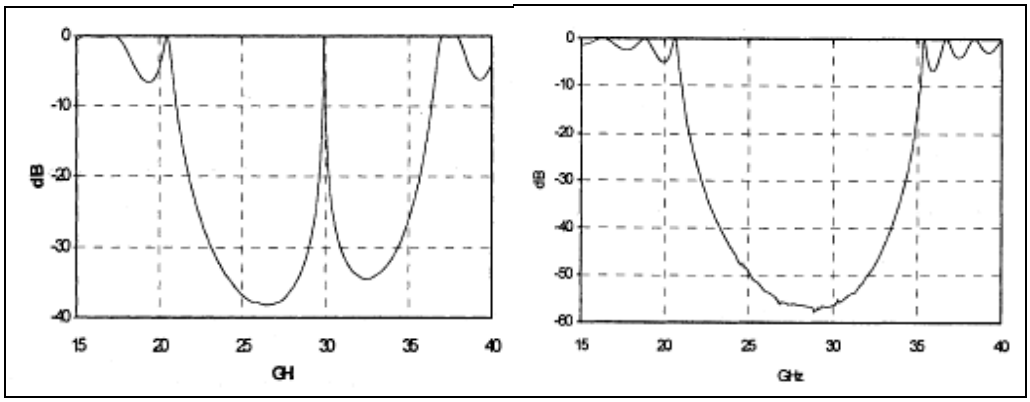
تمامی این ساختارها به صورتی طراحی شده اند که بتوان به راحتی آنها را با روشهای معمول ساخت در باند میکرویو تولید کرد.

فرایند تولید ساختارهای باند ممنوعه در فرکانسهای میکرویو بسیار ساده از فرکانسهای بالا، مانند فرکانسهای نوری و یا مادون قرمز، می باشد. بنابر این مهندسان میکرویو می توانند به راحتی از این ساختارها برای بهبود محصولات خود استفاده کنند. *[2]*

۱-۳- اختلال در ساختارهای با باند ممنوعه نوری

ساختار های با باند ممنوعه را که در آنها اختلال ایجاد کرده ایم *Doped Photonic Crystal* می نامند. این اختلال را می توان به عنوان مثال با حذف یک یا چند المان در ساختار باند ممنوعه ایجاد کرد. ایجاد اختلال در ساختار های با باند ممنوعه نوری، همانطور که قبلا ذکر شد، باعث ایجاد رزونانس در باند ممنوعه می شود. شکل ۱-۷، فرکانس رزونانس برابر ۳۰ گیگاهرتز را در یک باند ممنوعه در حدود ۱۳ گیگا هرتز برای یک ساختار باند ممنوعه که از میله های دی الکتریک ساخته شده است را نشان می دهد. به دلیل بوجود آمدن مدهای خاص در ساختار *Doped Photonic Crystal*، این رزونانس وابسته به محل ایجاد اختلال می باشد. می توان برای تحریک این مد بوجود آمده در ساختار، از یک منبع که در فرکانس و پلاریزاسیون مناسب کار می کند بهره گرفت. پهنای باند عبور در این فرکانس رزونانس، به ضریب کیفیت[1] اختلال بستگی دارد. میزان انتقال سیگنال از ساختار در این فرکانس، علاوه بر ضریب کیفیت اختلال به قدرت تزویج بین اختلال و موج تابیده شده نیز ارتباط دارد. این تزویج به محل اختلال در ساختار وابسته می باشد، که به معنی فاصله و تعداد لایه های بین منبع و اختلال است *[2]*.

[1] *Quality Factor*



الف ب

شکل۱-۷ تغییرات S21 برحسب فرکانس، برای یک ساختار دو بعدی باند ممنوعه نوری برای دو حالت الف) بدون اختلال و ب) با اختلال [1]

در مرجع *[8]* یک شبکه با پریودهای مختلف اختلال، برای افزایش تزویج بین منبع و اختلال در یک ساختار فلزی، پیشنهاد شده است. پس انرژی که از ساختار عبور می کند افزایش پیدا می کند. به این ترتیب، یک انتقال کامل موج *(0 dB)* به همراه پهنای باند قابل تنظیم - که وابسته به تعداد اختلالهای در مسیر تابش موج است - را می توان بدست آورد. اختلال در ساختارهای با باند ممنوعه به صورتهای مختلفی دیده می شود. با قرار دادن فاصله بین ساختار های باند ممنوعه از صفحه زمین یک آنتن مسطح، می توان نوعی اختلال بوجود می آورد.(شکل۱-۸-ب) با تغییر این فاصله می توان فرکانس رزونانس اختلال را تنظیم کرد ولی با تنظیم این پارامتر، نمی توان تغییری در پهنای باند فرکانس رزونانس بوجود آورد*[9]* . این فاصله معمولا برابر نصف طول موج فرکانس کاری آنتن می باشد. البته در صورت استفاده از هادیهای دیگر بین صفحه زمین و ساختار با باند ممنوعه نوری، این فاصله دچار تغییرات کمی خواهد شد*[10]*. در این پروژه از این روش برای بالا بردن بهره آنتن میکرواستریپ استفاده شده است و در ادامه توضیحات کاملی در اینباره داده خواهد شد.