بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی فناوریهای نوین

گروه مهندسی فوتونیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد دررشته مهندسی فوتونیک گرایش نانوفوتونیک

عنوان

طراحی و ساخت سیستم نامرئی سازی در باند مایکرویو ۸ تا ۱۰ گیگاهرتز

استاد راهنما

دکتر علی رستمی

استاد مشاور

دکتر قاسم رستمی

پژوهشگر

علیرضا احقاقی ورجوی

شهریور ماه ۱۳۹۳

تقدیم به:

مادر مهربان و دلسوزم که

برای موفقیت من از

هیچ چیز حتی زندگیش

دریغ ننمود.

سپاسگذاری...

شاید دست تقدیر چنین رقم زد که بعد از سالیان دراز که از عرصه علم و دانش دور بودم دوباره بتوانم به این عرصه بازگردم و این بار با انگیزه ای بالا و تلاش فراوان همراه با کوله باری از تجربه، پله های سعادت و ترقی را طی نمایم و این مهم را ثابت کنم که برای کسب علم و دانش هیچ چراغ قرمزی وجود ندارد.

بهترین تشکراتم را تقدیم استاد بزرگوارم، جناب آقای دکتر علی رستمی می نمایم . همچنین از اساتید ارجمند، جناب آقای دکتر قاسم رستمی، سرکار خانم دکتر دولتیاری و جناب آقای دکتر پورزیاد به خاطر راهنمایی‌ها و حمایتهایشان نهایت تشکر و سپاس را دارم.

علیرضا احقاقی ورجوی

تابستان ۹۳

نام خانوادگی: احقاقی ورجوی **نام**: علیرضا

موضوع پایان نامه: طراحی و ساخت سیستم نامرئی سازی در باند مایکروویو ۸ تا ۱۰ گیگا هرتز

استاد راهنما: آقای دکتر علی رستمی **استاد مشاور**: آقای دکتر قاسم رستمی

مقطع تحصیلی :کارشناسی ارشد **رشته** : مهندسی فوتونیک **گرایش** : نانوفوتونیک
دانشگاه: تبریز **دانشکده** : مهندسی فناوریهای نوین **تاریخ فارغ التحصیلی** :
تعداد صفحات :۱۱۷

کلید واژه ها: پوشش نامرئی سازی، متا متریال، تبدیل مختصات نوری، امواج الکترومغناطیس

چکیده: با یک نگاه به تاریخ بشری در طی اعصار گذشته، این نکته به وضوح به چشم می‌خورد که انسان همواره به دنبال روشی بوده است که شیوه نامرئی سازی را بیاموزد.از افسانه های کهن تاریخی (از جمله افسانه های یونان باستان) گرفته تا فیلمها و سریال های مدرن امروزی (مانند فیلم مرد نامرئی) همه دلیلی بر این ادعا و اشتیاق می‌باشد. شاید سالها قبل چنین بنظر می‌رسید که دستیابی به این دانش غیر ممکن می‌باشد و یا تحقق آن منوط به آینده ای دوردست است در حالیکه امروزه گروههای تحقیقاتی گوناگونی در اکثر نقاط دنیا با استفاده از تکنولوژی های متعددی به موازات هم، مشغول فعالیت و تحقیق به روی موضوع نامرئی سازی می‌باشند. تعریف نامرئی سازی به این صورت است که یک جسم در زاویه دید ناظر قرار بگیرد ولی برای ناظر قابل رویت نباشد. همانطور که می‌دانیم عاملی که موجب دیده شدن یک جسم می‌گردد، امواج بازتابیده از سطح آن جسم می‌باشد که به چشم ناظر می‌رسد. در حالت کلی می‌توان ناظر را به عنوان یک آشکار ساز تصور کرد. بنابراین یک جسم وقتی نامرئی می‌شود که پرتویی از آن بازتاب نگردد و امواج الکترومغناطیس به مثابه آبی که یک صخره را دور می‌زند، جسم مورد نظر را دوربزند ودر نتیجه از دید ناظر در حضور جسم، نه خود جسم بلکه فضای پشت آن دیده شود. از آنجائیکه امواج الکترومغناطیس در گستره طول موجی، دارای فرکانس های متفاوتی می‌باشند بنابراین پوشش های نامرئی کننده در هر طیفی دارای ساختارهای متناسب با آن طول موج می‌باشند یکی از شیوه ها برای تحقق عمل نامرئی سازی استفاده از موادی موسوم به متامتریال (فراماده) می‌باشد. متامتریال ها در حقیقت موادی هستند که در طبیعت موجود نمی‌باشند و ساخته دست بشر می‌باشند. با استفاده از متامتریال ها می‌توان پوششی طراحی کرد که امواج الکترومغناطیس را در اطراف جسمی که می‌خواهیم نامرئی شود، خم نماید.

در این پایان نامه هدف طراحی یک پوشش نامرئی کننده باند پهن در حوزه مایکروویو در گستره فرکانسی ۸ تا ۱۰ گیگا هرتز می‌باشد و بنابه آنچه به تفضیل توضیح داده خواهد شد از نوع پوشش نامرئی کننده فرش گون در طراحی بهره خواهیم جست البته قابل ذکر است که پوشش های نامرئی کننده در حوزه امواج مایکروویو به علت حساسیت نظامی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد و از شیوه های مختلفی برای باند پهن نمودن پوشش استفاده می‌شود.

فهرست مطالب

۱ پیشینه تحقیق و بررسی منابع ۱

۱-۱ مقدمه ای بر نامرئی سازی ۱

۱-۲ روشهای مورد استفاده در نامرئی سازی ۲

۱-۲-۱ استفاده از ساختارهای نامرئی ساز بر پایه متامتریال ۲

۱-۲-۲ متامتریال چیست؟ ۲

۱-۲-۳ نامرئی سازی به شیوه پرتوافکنی بازتابی ۸

۱-۲-۴ نامرئی سازی با استفاده از ساختارهای پلاسمونیک ۱۱

۱-۲-۵ نامرئی سازی به روش پوشش زمانی- مکانی ۱۴

۱-۳ تئوری تبدیل نوری ۱۸

۱-۴ نمونه های عملیاتی پوشش های نامرئی کننده کامل ۲۳

۱-۴-۱ پوشش نامرئی کننده استوانه ای با استفاده از رینگ رزوناتورها ۲۳

۱-۴-۲ پوشش نامرئی کننده استوانه ای با کامپوزیت نانو سیم های فلزی ۲۹

۱-۵ نمونه های عملیاتی پوشش های نامرئی کننده فرش گون ۳۵

۱-۶ دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی فعال در زمینه نامرئی سازی ۳۹

۱-۶-۱ مرکز متامتریال و پلاسمونیک مجتمع، دانشگاه دوک ۳۹

۲ مبانی وروشها ۴۶

۲-۱ تبدیلات متعامد و تانسورهای دکارتی ۴۶

۲-۱-۱ تبدیلات متعامد ۴۶

۲-۱-۲ قرارداد جمع شاخص تکراری (قرارداد جمع اینیشتین) ۴۹

۲-۱-۳ تانسورهای دکارتی قائم ۵۱

۲-۱-۴ ناورداها، گرادیان ها، مشتق تانسورها ۵۵

۲-۱-۵ تنجش، ضرب نرده ای، واگرایی ۵۶
۲-۱-۶ چگالیهای تانسوری ۵۷
۲-۱-۷ ضرب برداری، کرل ۵۹
۲-۲ محاسبات تانسوری عام، فضای ریمان ۶۰
۲-۲-۱ چارچوب مختصات خمیده خط و فضای ریمانی ۶۱
۲-۲-۲ تانسورهای های هموردا و پادوردا ۶۴
۲-۲-۳ مشتق همموردای تانسورها و واگرایی ۶۷
۲-۲-۴ ضرب خارجی و کرل تانسورها ۶۸
۲-۲-۵ بالا بردن و پایین آوردن شاخصها ۶۹
۲-۳ تبدیل نوری و بدست آوردن روابط حاکم بر آن ۶۹
۲-۴ نگاشت ژئوکفسکی ۷۳
۲-۵ یافتن پروفایل ضریب شکست با نگاهی ساده تر ۷۵
۳ نتایج و بحث ۷۸
۳-۱ تحلیل پوشش در نرم افزار COMSOL ۸۰
۳-۱-۱ کوچک کردن ابعاد پوشش نامرئی کننده وتحلیل در COMSOL ۹۰
۳-۲ پیشنهاد سلول واحد وتحلیل در نرم افزار CST ۹۲
۳-۳ ارائه ساختار لایه ای جهت تحقق پوشش نامرئی کننده بطور عملی ۹۹
۳-۴ نمونه عملیاتی پوشش نامرئی کننده و نتایج حاصله ۱۱۰
۳-۵ نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۶
۳-۵-۱ نتیجه گیری ۱۱۶
۳-۵-۲ پیشنهادات ۱۱۶
مراجع: ۱۱۸

فهرست اشکال

شکل ۱. نامریی سازی به شیوه کامل (فضای آزاد ۴

شکل ۲. نامرئی سازی به شیوه فرش گون ۷

شکل ۳. کاربرد پوشش فرش گون درموجبرها ۸

شکل ۴.نحوه کارکرد و تجهیزات بکار رفته در سیستم پرتو افکنی بازتابی ۱۰

شکل ۵. تصویر حقیقی ردای نامرئی کننده ۱۰

شکل ۶. کاربرد پوشش ساخته شده در اتوموبیل ۱۱

شکل ۷. پوشش پلاسمونیک ۱۴

شکل ۸. اصول نامرئی سازی رویداد به شیوه پوشش زمان- مکان ۱۵

شکل ۹. تصاویر ضبط شده از سرباز آمریکایی ۱۷

شکل ۱۰. انتقال مختصات ۱۹

شکل ۱۱. مسیر پرتو در فضای مجازی ۲۲

شکل ۱۲. مسیر پرتو در فضای فیزیکی ۲۲

شکل ۱۳. مسیر پرتو در محیط مادی ۲۳

شکل ۱۴. پوشش استوانه ای کامل و سلول واحد سازنده آن ۲۴

شکل ۱۵. تصویر توزیع میدان برای پوشش استوانه ای ۲۸

شکل ۱۶. تصویر و عملکرد پوشش های نامرئی ساز در ابعاد و فرکانسهای مختلف. ۲۸

شکل ۱۷. پوشش نامرئی کننده با کامپوزیت نانو سیمها ۳۱

شکل ۱۸. پارامترهای سازنده پوشش کامپوزیت در طول موج۶۳۲/۸ نانومتر ۳۲

شکل ۱۹. نتایج شبیه سازی ساختار نامرئی سازکامپوزیت در طول موج ۶۳۲/۸ ..... ۳۳

شکل ۲۰. نمونه آزمایشگاهی پوشش نامرئی ساز فرش گون ۳۷

شکل ۲۱. پوشش نامرئی ساز فرش گون بر پایه سیلیکون در طول موجهای مادون قرمز نزدیک.... ۳۸

شکل ۲۲. ساختار با ضریب شکست تدریجی تولید شده در مرکز CMIP. ۴۰

شکل ۲۸. شماتیک برآمدگی و پوشش نامرئی کننده در نرم افزار COMSOL ۸۱

شکل ۲۹. توزیع میدان الکتریکی بازتابی از پوشش نامرئی کننده مستطیل شکل با ابعاد ۴۰cm×۲۰cm در فرکانس ۸ گیگاهرتز. ۸۵

شکل ۳۰. توزیع میدان الکتریکی بازتابی از پوشش نامرئی کننده مستطیل شکل با ابعاد ۴۰cm×۲۰cm در فرکانس ۹ گیگاهرتز. ۸۵

شکل ۳۱. توزیع میدان الکتریکی بازتابی از پوشش نامرئی کننده مستطیل شکل با ابعاد ۴۰cm×۲۰cm در فرکانس ۱۰ گیگاهرتز. ۸۶

شکل ۳۲. توزیع میدان الکتریکی بازتابی یک سطح هادی الکتریکی صاف (PEC). ۸۷

شکل ۳۳. توزیع میدان الکتریکی بازتابی از یک سطح برآمده بدون حضور پوشش نامرئی کننده.... ۸۷

شکل ۳۴. اندازه شدت میدان الکتریکی بازتابی در زاویه بازتابی ۳۰ درجه. ۸۸

شکل ۳۵. اندازه شدت میدان الکتریکی در زاویه بازتابی ۴۵ درجه. ۸۹

شکل ۳۶. اندازه شدت میدان الکتریکی در زاویه بازتابی ۵۵ درجه. ۸۹

شکل ۳۷. توزیع میدان الکتریکی بازتابی از پوشش نامرئی کننده مربع شکل با ابعاد۴/۵cm×۴/۵cm در فرکانس ۸ گیگاهرتز. ۹۱

شکل ۳۸. توزیع میدان الکتریکی بازتابی از پوشش نامرئی کننده مربع شکل با ابعاد ۴/۵cm×۴/۵cm در فرکانس ۹ گیگاهرتز. ۹۱

شکل ۳۹. توزیع میدان الکتریکی بازتابی از پوشش نامرئی کننده مربع شکل با ابعاد ۴/۵cm×۴/۵cm در فرکانس ۱۰ گیگاهرتز. ۹۲

شکل ۴۰. سلول واحد پیشنهادی. ۹۳

شکل ۴۱. نمای سلول واحد همراه با پورت ها در نرم افزار CST. ۹۶

شکل ۴۲. (a) قسمت حقیقی ضریب شکست، (b) قسمت موهومی ضریب شکست سلول واحد با h=2.2. ..... ۹۸

شکل ۴۳. تغییرات ضریب شکست سلول واحد با تغییر اندازه h در فرکانس ۹ گیگاهرتز. ۹۹

شکل ۴۴. شماتیکی از ساختار لایه ای برای پوشش نامرئی کننده. ۱۰۰

شکل ۴۵. نمونه های عملیاتی پس از انجام لیتوگرافی. ۱۱۱

شکل ۴۷. تصویر بزرگنمایی شده لایه ۵. ..... ۱۱۲

شکل ۴۸. تصویر بزرگنمایی شده لایه ۱۴. ..... ۱۱۲

شکل ۴۹. پوشش نامرئی کننده ساخته شده به صورت ساختار لایه ای. ۱۱۳

شکل ۵۰. پارامترS21 یک سطح صاف PEC . ۱۱۴

شکل ۵۱. پارامتر S21 ساختار لایه ای. ۱۱۴

شکل ۵۲. پارامتر S21 یک برآمدگی بدون پوشش. ۱۱۵

فهرست جداول

جدول ۱. ضریب شکست لایه ۱ تا ۵. ..... ۱۰۲

جدول ۲. ضریب شکست لایه ۶ تا ۱۰. ..... ۱۰۳

جدول ۳. ضریب شکست لایه ۱۱ تا ۱۵. ..... ۱۰۴

فصل اول

پیشینه تحقیق و بررسی منابع

۱ پیشینه تحقیق و بررسی منابع

۱-۱ مقدمه ای بر نامرئی سازی

با یک نگاه اجمالی به تاریخ بشری در طی اعصار گذشته، این نکته به وضوح به چشم می‌خورد که انسان همواره به دنبال روشی بوده است که شیوه و روش نامرئی شدن را بیاموزد. از افسانه های کهن تاریخی (از جمله افسانه های یونان باستان) گرفته تا فیلمها و سریالهای مدرن (مانند فیلم مرد نامرئی) همه دلیلی بر این ادعا می‌باشند. تعریفی که از نامرئی سازی می‌توان ارائه داد، به این صورت است که یک جسم در زاویه دید یک ناظر قرار بگیرد ولی برای آن ناظر قابل رویت نباشد. همانطورکه می‌دانیم عمل دیده شدن یک جسم به علت نور بازتابی از سطح آن جسم است که به چشم ناظر می‌رسد. اگر بخواهیم به صورت کلی صحبت کنیم و نور را به عنوان قسمتی از طیف فرکانسی امواج الکترومغناطیس در نظر بگیریم و همچنین ناظر را به عنوان یک آشکارساز تصور نمائیم عمل آشکار شدن یک جسم، بازتابش امواج الکترومغناطیسی است که از سطح آن جسم توسط آشکار ساز، آشکار می‌گردد. بنابراین برای اینکه یک جسم نامرئی شود باید هیچ موجی از آن بازتاب نگردد و امواج الکترومغناطس به مثابه آبی که یک صخره را دور می‌زند، جسم مورد نظر را دور بزند. شاید سالها قبل، یافتن روشی که بتوان به وسیله آن نور را خم کرد، غیر ممکن بنظر می‌رسید و شاید با یک نگاه خوش بینانه، بیشتر مردم دستیابی به این عمل را منوط به آینده ای بسیار دور می‌دانستند ولی باز تلاش های دانشمندان و پژوهشگرانی که مرزهای علم و دانش را گسترش می‌دهند، به ثمر نشست و دوباره در تاریخ بشر علم به پیروزی دست یافت و این آرزوی دست نیافتنی انسان را نیز جامع عمل پوشاند و افسانه نامرئی شدن از آزمایشگاه های فیزیک سر در آورد. اولین آزمایش در سال ۱۹۹۹

انجام شد و در پی آن اولین پوشش نامرئی کننده با استفاده از رینگ رزوناتور توسط جان پندری[1] و دی آر اسمیت [2] ساخته شد وامروزه این افسانه به عنوان یک علم روز در حال رشد و ترقی می‌باشد. هم اکنون با پیشرفت سایر تکنولوژی ها، تکنولوژی ساخت پوشش نامرئی کننده نیز در حال ترقی و توسعه می‌باشد. یکی از تکنولوژی های مورد استفاده، بکارگیری متامتریال[3] در ساخت پوشش نامرئی کننده می‌باشد.

۱-۲ روشهای مورد استفاده در نامرئی سازی

۱-۲-۱ استفاده از ساختارهای نامرئی ساز بر پایه متامتریال

۱-۲-۲ متامتریال چیست؟

هم اکنون یکی از تکنولوژی های بکار رفته در ساخت پوشش نامرئی سازی استفاده از متامتریال می‌باشد. متامتریال ها در حقیقت موادی هستند که ویژگیهایی از خود نشان می‌دهند که این خواص و ویژگیها در مواد موجود در طبیعت وجود ندارد بنابر این این مواد باید توسط دست بشر ساخته شوند تا خواص مورد نظر را از خود نشان دهند. البته اگر بخواهیم بطور دقیق واژه متامتریال را بررسی و موشکافی نمائیم باید بیان کنیم که کلمه متا یک کلمه یونانی به معنی فرا و متریال به معنی ماده می‌باشد که در کل واژه متامتریال را به کلمه فراماده می‌توان ترجمه کرد. این کلمه اولین بار توسط جان پندری در سال ۲۰۰۰ در مقاله اصلی وی در مورد یک ساختار کامپوزیت[4] که

[1] J.B Pendary

[2] D.R Smith

[3] metamaterial

[4] composite

همزمـان قابلیـت گـذردهی الکتریکـی و قابلیـت گـذردهی مغناطیسـی منفـی داشـت، بکـار بـرده شد[۱].البته مدارکی نیز دال بر اینکه واژه متامتریال قبل از پندری توسط روجر ام واسـلر[1] پروفسـور فیزیک دانشگاه تگزاس بکار برده شده است، وجود دارد[۲-۴]. در چندین سال اخیر، حوزه متامتریال به سرعت در زمینه های فیزیک، اپتیک، علم مواد، مکانیک و مهندسی برق رشد کرده است. استفاده از واژه متامتریال از اوایل این قرن بطور گسترده ای شایع گشته است بطوریکه بیش از ۲۰۰۰ مقالـه در بانک اطلاعاتی ای اس ای[2] و بیش از ۳۰۰۰۰۰ نتیجه جستجو در جستجوگر گوگل تا اوایل سـال ۲۰۰۹ در دست می‌باشد. با اینحال معنی واقعی متامتریال هنوز مبهم می‌باشد و یک تعریف واحـد و روشن برای واژه متامتریال هنوز منتشر نگردیده است. هدف از بیان این موضوع این می‌باشد که سوء برداشتی که از کلمه متامتریال بخصوص در زمینه نامرئی سازی با موادی که همزمان دارای قابلیـت گذردهی الکتریکی و قابلیت گذردهی مغناطیسی منفی، هستند را برطرف نماییم. این مواد که دارای ضریب شکست منفی می‌باشند به متامتریال های دست چپ[3] معروف می‌باشند خود زیر شاخه ای از متامتریال ها می‌باشند و همانگونه که در فصلهای آینـده خـواهیم دیـد در طراحـی پوشـش نـامرئی کننده لزوما نیازی به داشتن ضـریب شکسـت منفـی نخـواهیم داشـت. بنـابراین تعریـف جـامعی از متامتریال که برای هدفمان در این پایانامه از آن استفاده خواهیم کرد به شکل زیر می‌باشد:

متامتریال یک ساختار تصنعی (ساخت دست بشر) می‌باشد که ویژگیهایش را از یک سـلول واحـد[4] که تکرار آن ساختار مورد نظر را تشکیل می‌دهد، بجای مواد سازنده آن بدست می‌آورد. این سـاختار دارای یک مقیاس غیر یکنواختی می‌باشد که خیلی کوچکتر از طول مـوجی اسـت کـه در آن طـول

[1] Rodger.M.Wasler

[2] ISI (International Science Institute)

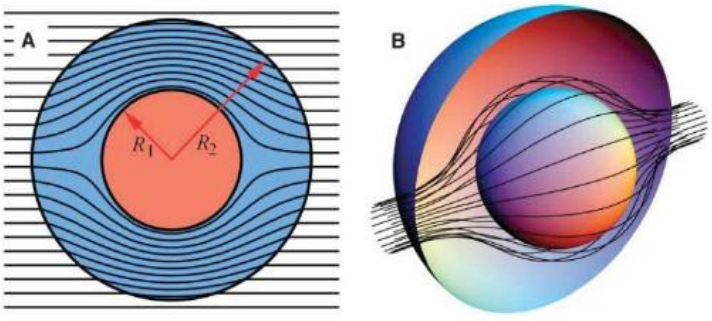
[3] Left Handed Metamaterials (LHM)

[4] unit cell

موج استفاده می‌شود. بنابراین با استناد به تعریف فوق، ما در طراحی پوشش نـامرئی کننـده از یـک ساختار پریودیک، که از تکرار یک سلول واحد ایجاد می‌شود، استفاده خـواهیم نمـود و یـک محـیط ناهمگن طراحی می نماییم تا توسط این محیط جهت موج الکترومغناطیس را خم نماییم.

۱-۲-۲-۱ پوشش نامرئی ساز کامل (فضای آزاد)[1] بر پایه متامتریال

در حالت نامرئی سازی کامل یا نامرئی سازی فضای آزاد، جسم مورد نظر در فضای آزاد قرار می‌گیرد و پوشش نامرئی کننده همانند جعبه ای دور جسم قرار می‌گیرد و همانطورکه در شکل ۲ نشان داده شده است پرتوهای نور قبل از برخورد با سطح جسم و بعد از دور زدن آن همگی بصورت راست و در راستای خط افقی هستند. در این حال هم خود جسم و هم پوشش نامرئی کننده، قابل رویت نمـی-باشند. پرتوهای نور به محض ورود به ناحیه پوشش تحت تاثیر ضریب شکست ناحیه به تدریج شروع به کج کردن راه خود می‌کند و مماس بر سطح جسم بدون لمس کردن آن، جسم را دور می‌زننـد و در انتهای جسم همه پرتوها با هم همرس می‌شوند و نسبت به وضعیت اولیه خود قبل از برخـورد بـا زاویه صفر قرار می‌گیرند[۵].



شکل ۱. نامریی سازی به شیوه کامل (فضای آزاد). در این روش جسم با پوشش نامرئی کننده احاطه می‌شود که خود پوشش هم باید قابل رویت نباشد. در این حالت پرتوها جسم مورد نظر را دور می‌زنند ودر انتهای جسم با همدیگر هم راس می‌گردند.

[1] perfect (free space) invisibility cloak

در این نوع پوشش از ساختارهایی بر اساس متامتریال استفاده می‌شود که دارای ضریب شکست تدریجی[1] می‌باشند یعنی به عبارت ساده تر ضریب شکست محیطی که ما در اطراف شئ مورد نظر قرار می‌دهیم نسبت به مکان تغییرمی‌کند. از طرفی ضریب شکست پوشش نامرئی کننده کامل، در جهت های مختلف تغییرات محسوسی دارد یعنی به عبارت دیگر ناهمسانگردی محیط در این روش بسیار بالا می‌باشد. در این ساختارها مجبور به استفاده از ساختارهای رزنانسی خواهیم بود و استفاده از ساختارهای رزنانسی نیز موجب باند باریک شدن و تلفات بالای این نوع پوشش می‌گردد. علاوه بر این معایب در این نوع پوشش در بعضی از نقاط پارامترهای سازنده ماده (قابلیت گذردهی الکتریکی- قابلیت گذردهی مغناطیسی) دارای مقادیر تعریف نشده می‌باشند. پس بطور کلی معایب پوشش نامرئی ساز کامل را بطور خلاصه به شکل زیر می‌توان طبقه بندی کرد:

۱- باند باریک بودن پاسخ فرکانسی پوشش

۲- اتلاف بالا

۳- مقادیر تعریف نشده پارامترهای سازنده ماده در بعضی نقاط

۱-۲-۲-۲ پوشش نامرئی ساز فرش گون[2] بر پایه متامتریال

به علت پیچیدگی و معایبی که پوشش نامرئی کننده کامل دارد یک تئوری که اخیرا پیشنهاد شده است، استفاده از پوشش نامرئی کننده فرش گون می‌باشد[۶]. این پوشش می‌تواند هر شئ ای که زیر این پوشش قرار می‌گیرد را نامرئی کند. در حالت عادی وقتی جسم روی یک سطح قرار می‌گیرد و پرتو نور و یا به شکل کلی تر امواج الکترومغناطیس به آن تابانده می‌شود، این جسم مانند

[1] graded refractive index

[2] carpet invisibility cloak

یک برآمدگی پرتوهای بازتابی را بهم می‌ریزد در حالیکه وقتی این جسم زیر این پوشش قرار می‌گیرد، پرتوهای بازتابی مانند حالتی که پرتوها از یک سطح صاف بازتاب می‌شوند، انعکاس پیدا می‌کنند و چنین به نظر می‌رسد که جسمی زیر این پوشش قرار نگرفته است. در حقیقت هر جسم پنهان شده در زیر این پوشش همانند یک سطح صاف هادی بنظر می‌رسد. در این شیوه از نامرئی سازی نیز ضریب شکست پوشش دارای تغیرات تدریجی نسبت به مکان می‌باشد. بزرگترین مزیت این نوع پوشش این است که پارامترهای سازنده ماده مقادیر تعریف نشده ندارند[۷]. علاوه بر مزیت فوق در این نوع پوشش در مقایسه با پوشش نامرئی ساز کامل ناهمسانگردی محیط بسیار کم می‌باشد[۸, ۹]. بنابراین به علت کم بودن ناهمسانگردی محیط از یک طرف و همچنین تغییرات نا محسوس در پارامترهای سازنده ماده از طرف دیگر، در ساخت این نوع پوشش نیازی به استفاده از رزوناتور و المان های نوسان ساز وجود ندارد و پوشش با مواد دی الکتریک[1] معمولی قابل پیاده سازی می‌باشد و این امرسبب می‌شود پهنای باند نامرئی سازی در این روش وسیعتر گردد. با تفاسیر فوق ساخت پوشش نامرئی ساز فرش گون در مقایسه با پوشش نامرئی ساز کامل بسیار ساده تر می‌باشد.کاربرد این نوع پوشش، در طول موج های نوری، خصوصا در طول موج های مادون قرمز[2] بصورت باند پهن و با تلفات کم بسیار رایج می‌باشد[۱۰]. بنابراین مزایای این روش را بصورت زیر می‌توان طبقه بندی کرد:

۱- باند پهن بودن پاسخ فرکانسی پوشش

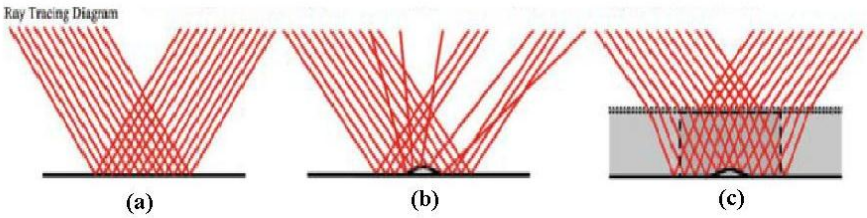
۲- اتلاف پائین

۳- نداشتن مقادیر تعریف نشده برای پارامترهای سازنده ماده

[1] dielectric

[2] infrared

شاید تنها عیب این سیستم این می‌باشد که جسم مورد نظر حتما باید روی یک سطح قرار بگیرد تا این پوشش همانند فرشی روی آن کشیده شود وعمل نامرئی سازی انجام گردد یعنی این پوشش تک جهتی می‌باشد در حالیکه در نامرئی سازی کامل (فضای آزاد) ما جسم را بصورت معلق در فضای آزاد متصور می‌شویم و پوشش همانند جعبه ای کل جسم را در بر می‌گیرد. شکل ۲ مسیر پرتوهای بازتابی یک سطح صاف، یک سطح دارای برآمدگی و یک سطح دارای برآمدگی که با پوشش فرش گون احاطه شده است را نشان می‌دهد. پوشش فرش گون اولین بار توسط جنسن لی[۱] و جان پندری معرفی شد که از تبدیل مختصات نوری همراه با نگاشت شبه یکنواخت[۲] بهره می-جست[۶]. البته روش هایی دیگری مانند پوشش های تک بعدی[۳] و پوشش هایی که از هندسه غیراقلیدسی[۴] سود می‌برند نیز در طراحی پوشش فرش گون مورد استفاده قرار گرفته شده است[۱۱, ۱۲].



شکل ۲. نامرئی سازی به شیوه فرش گون. (a) پرتوهای با زتابی از یک سطح صاف، (b) پرتوهای بازتابی از یک سطح دارای برآمدگی بازتابی از یک سطح برآمده که با پوشش فرش گون احاطه گردیده است.

[1] Jensen Li

[2] guasi conrormal mapping

[3] one dimensional

[4] non-Euclidean geometry