



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۱۳۹۷ بهمن ۹-۱۱



طرحی ارزان و بدیع برای ایجاد بازتاب القایی الکترومغناطیسی بوسیله فرامواد

مهدی عسکری^۱

بخش فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سلمان فارسی کازرون، کازرون

چکیده - در این مقاله ما ساختار فراماده جدیدی برای ایجاد بازتاب القایی الکترومغناطیسی در محدوده فرکانسی مایکروویو معرفی کرده ایم که در آن بجای ایجاد حفره در تیغه ای فلزی، که تاکنون در تمام ساختارهای معرفی شده به این هدف استفاده می شده است، از دو نوار مسی کوتاه با طول های متفاوت و دو نوار مسی بلند استفاده شده است. ساختار دارای ضریب شکست گروه بالایی بوده که آن را کاندید مناسبی برای کاربردهای نور آهسته می سازد. استفاده محدود از فلز بخصوص در محدوده های فرکانسی تراهرتز که فلزاتی مانند طلا و نقره بکار برده می شوند می تواند دریچه ای به سمت طراحی فرامواد با قیمت کمتر شود.

کلید واژه- بازتاب القایی الکترومغناطیسی، تشدید الکترومغناطیسی، فرامواد، مایکروویو.

A low cost and novel design for generating electromagnetically induced reflectance using metamaterials

Mehdi Askari

Physics Department, Faculty of Sciences, Salman Farsi University of Kazerun, Kazerun.

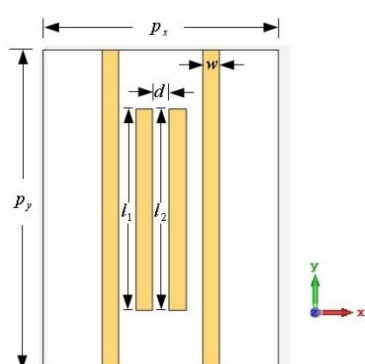
Abstract- In this paper we have designed a new metamaterial structure representing electromagnetically induced reflectance in which instead of using holes in metallic slabs, which has been the case in all introduced structures so far, two short wires with different lengths and two long wires have been used. The structure is found to have a large group index which makes it a good candidate for slow light applications. The limited use of metals, especially at terahertz frequencies in which gold and silver are usually used, can open up a new door to fabricating low cost metamaterials.

Keywords: Electromagnetically induced reflectance, electromagnetic resonance, metamaterials, microwave.

^۱ mehdiaskari@kazerunsfu.ac.ir

مقدمه

واحد را می پوشاند. در مقایسه با کار دیگری که ما در [۴] انجام داده بودیم حضور سیم های بلند باعث ایجاد برهم کنش موج الکترومغناطیسی با ساختار در تمام فرکانس ها می شود.



شکل ۱. سلول واحد ساختار معرفی شده.

روش انجام شبیه سازی

برای انجام شبیه سازی ها از نرم افزار CST Microwave Studio و روش محاسباتی Frequency Domain Solver استفاده نموده ایم. موج الکترومغناطیسی تخت را بگونه ای در راستای z و عمود بر ساختار به آن می تابانیم که میدان الکتریکی آن در راستای y و میدان مغناطیسی در راستای x باشد. برای نوارهای فلزی از مس با مدل فلز دارای افت با رسانندگی $\sigma = 5.8 \times 10^7 \text{ z/m}$ استفاده کرده ایم.

محاسبات و بحث

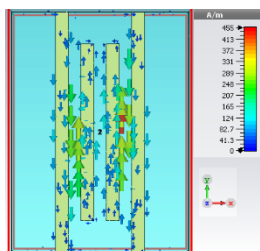
ابتدا در دو حالت متقارن یکی با $l_1 = l_2 = 6 \text{ mm}$ و دیگری با $l_1 = l_2 = 7 \text{ mm}$ ضریب بازتاب را محاسبه می کنیم (شکل ۲). در حالت متقارن با $l_1 = l_2 = 6 \text{ mm}$ ،

بازتاب القایی الکترومغناطیسی پدیده ای است که در آن در بین یک گاف در طیف بازتاب، پنجره فرکانسی باریکی با بازتاب بالا ایجاد می شود [۱ و ۲]. در سال های اخیر این پدیده به کمک فراموادی ایجاد شده که در همه آن ها از یک تیغه فلزی که تمام سلول واحد را می پوشاند با شکاف هایی در آن، استفاده شده است [۳]. در این مقاله ما برای اولین بار ساختار فراماده ای را معرفی نموده ایم که بدون ایجاد حفره در یک تیغه فلزی و تنها به کمک نوارهای باریک فلزی، بازتاب القایی الکترومغناطیسی را به نمایش می گذارد.

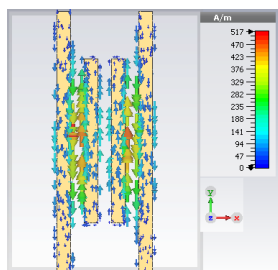
ساختار معرفی شده

شکل ۱ سلول واحد ساختار معرفی شده را نشان می دهد. همان گونه که از شکل پیداست سلول واحد این ساختار شامل دو نوار فلزی کوتاه و دو نوار فلزی بلند بوده که پهنا و ضخامت همه آن ها به ترتیب $w = 0.5 \text{ mm}$ و $t = 0.01 \text{ mm}$ و فاصله خالی بین هر دو نوار فلزی $d = 0.5 \text{ mm}$ است. نوارهای بلند تمام سلول واحد در راستای y را در بر می گیرند. طول نوارهای کوتاه در حالت متقارن با یکدیگر مساوی بوده و در حالت نامتقارن برابر $l_1 = 6 \text{ mm}$ ، $l_2 = 7 \text{ mm}$ است. ساختار در راستای x و y دوره ای و ابعاد سلول واحد در این دو راستا به ترتیب $p_x = 7 \text{ mm}$ و $p_y = 9.5 \text{ mm}$ است. نوارهای فلزی بر روی یک لایه دی الکتریک از جنس Duroid (tm) ضخامت 0.264 mm و ضریب گذردهی الکتریکی $\epsilon = 2.2$ قرار گرفته اند که در صفحه $x - y$ تمام سلول

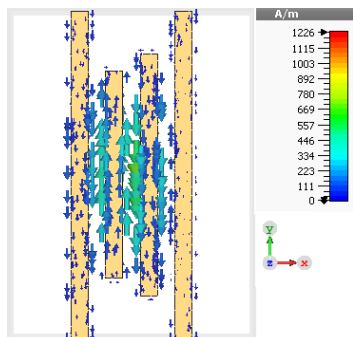
وقتی حالت نامتقارن با $l_1 = 6 \text{ mm}, l_2 = 7 \text{ mm}$ را در نظر می گیریم، در بین دو گاف بازتاب که در حالت های متقارن مشاهده گردید، یک درجه بازتاب در فرکانس 17.46 GHz پدیدار می شود (شکل ۳). شبیه سازی جریان سطحی این ساختار نامتقارن در فرکانس یاد شده نشان دهنده وجود جریان هایی در خلاف جهت در نوارهای کوتاه است که بدان معنا است که دوقطبی های الکتریکی ایجاد شده در نوارهای کوتاه اثر یکدیگر را خنثی کرده و با جلوگیری از پراکندگی موج الکترومغناطیسی درجه ای در بازتاب ایجاد می کنند (شکل ۶).



شکل ۴. شبیه سازی جریان سطحی در فرکانس 15.28 GHz در حالت $l_1 = l_2 = 7 \text{ mm}$

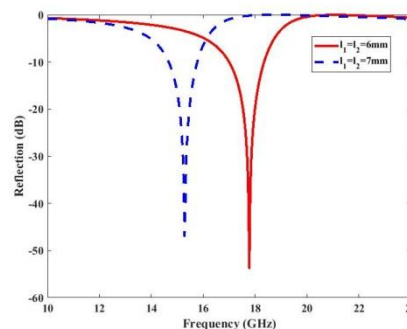


شکل ۵. شبیه سازی جریان سطحی در فرکانس 17.78 GHz در حالت $l_1 = l_2 = 6 \text{ mm}$



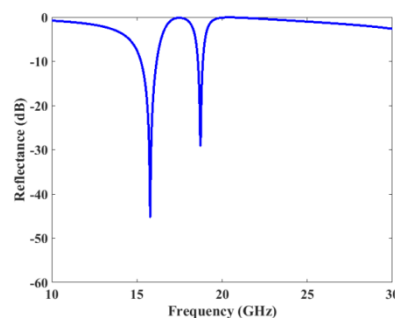
شکل ۶. شبیه سازی جریان سطحی در فرکانس 17.46 GHz در حالت $l_1 = l_2 = 6 \text{ mm}$. در این حالت دو قطبی های القا شده در جفت سیم های کوتاه اثر یکدیگر را خنثی کرده و باعث ایجاد بازتاب در موج الکترومغناطیسی می شود.

در فرکانس 17.78 GHz یک گاف در طیف بازتاب مشاهده



شکل ۲. طیف بازتاب ساختار متقارن. در حالت $l_1 = l_2 = 7 \text{ mm}$ طیف بازتاب در فرکانس 15.28 GHz و در حالت $l_1 = l_2 = 6 \text{ mm}$ طیف بازتاب در فرکانس 17.78 GHz گاف دارد.

می شود. این گاف هنگامی که $l_1 = l_2 = 7 \text{ mm}$ ، در فرکانس 15.28 GHz روی می دهد (شکل ۲). شبیه سازی جریان های سطحی در این دو فرکانس نشان دهنده ایجاد یک دو قطبی الکتریکی در نوارهای کوتاه و در نتیجه برهمکنش مستقیم موج الکترومغناطیسی فرودی با ساختار می باشد که در نتیجه باعث پراکندگی زیاد در موج الکترومغناطیسی و ایجاد گاف در طیف بازتاب می شود. در هر کدام از این حالت ها می توانیم نوارهای کوتاه را به عنوان عضو مد روشن^۲ در نظر بگیریم (شکل ۴ و ۵).



شکل ۳. طیف بازتاب در حالتی که ساختار نامتقارن است. در این حالت در بین دو گاف بازتاب و در فرکانس 17.46 GHz درجه ای در طیف بازتاب ایجاد می شود که نشان دهنده وجود پدیده بازتاب القایی الکترومغناطیسی است.

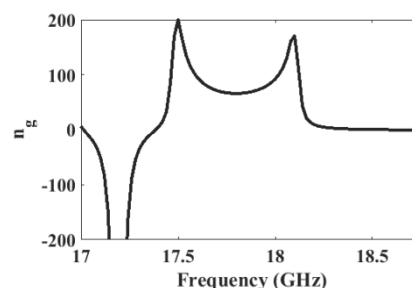
^۲ Bright mode element

ساختارهای معرفی شده تاکنون جزو مقادیر بسیار بالا است و ساختار را کاندید مناسبی برای کاربردهای ایجاد نور آهسته می سازد.

مرجع ها

- [1]. N. Liu, et. al., "Planar metamaterial analogue of electromagnetically induced transparency for plasmonic sensing", Nano. Lett., Vol. 10, pp. 1103-1107, 2010.
- [2]. X. He, et. al., "Active manipulation of electromagnetically induced reflection in complementary terahertz graphene metamaterial", Opt. Commun., Vol. 407, pp. 386-391, 2018.
- [3]. Z. Vafapour, "Large group delay in a microwave metamaterial analog of electromagnetically induced reflectance", JOSA A. Vol. 35, pp. 417-422.
- [4]. N. Niakan, M. Askari, and A. Zakery, "High Q-factor and large group delay at microwave wavelengths via electromagnetically induced transparency in metamaterials", JOSA B. Vol. 9, pp. 2329-2333.

در انتها با استفاده از ضرایب عبور و بازتاب S_{11} و S_{21} ، و با استفاده از روشهای بازتابی استاندارد، ضریب شکست موثر ساختار را محاسبه کرده و سپس با استفاده از رابطه $n_g = n + dn/d\omega$ ضریب شکست گروه را محاسبه می کنیم (شکل ۷). در پنجره بازتاب، مقدار ضریب شکست گروه نزدیک به ۲۰۰ است که در مقایسه با سایر ساختارهای معرفی شده تاکنون مقدار قابل توجهی است. بنابراین ساختار ما علاوه بر ارزان بودن در ساخت از نظر کارایی نیز جزو بهترین ها بوده می تواند بطور موثری برای ایجاد نور کند مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۷. ضریب شکست گروه محاسبه شده در حالت ساختار نامتقارن.

نتیجه گیری

در این مقاله ساختار فراماده ای را معرفی نموده ایم که بدون ایجاد حفره در یک تیغه فلزی، تنها به کمک نوارهای فلزی مشابه کلاسیکی بازتاب القایی الکترومغناطیسی را به نمایش می گذارد. سلول واحد این ساختار از دو نوار فلزی بلند و دو نوار فلزی کوتاه در وسط آن ها تشکیل شده است که همگی بر روی زیرلایه ای از دی الکتریک قرار دارند. هنگامی که طول نوارهای فلزی کوتاه با هم برابر است کافی در طیف بازتاب از ساختار مشاهده می شود ولی هنگامی که طول دو نوار کوتاه وسطی را نابرابر در نظر می گیریم به علت جفت شدگی بین این دو نوار پنجره عبوری در طیف بازتاب مشاهده می شود که مشابه کلاسیکی پدیده بازتاب القایی الکترومغناطیسی است. ضریب شکست گروه محاسبه شده برای ساختار مقدار نزدیک به ۲۰۰ را نشان می دهد که در مقایسه با