



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

گرایش مخابرات

پایان نامه کارشناسی

موضوع: آشنایی و تجزیه تحلیل ماتریالها

آرژنده: وحید قربانی

استاد راهنما: آقای دکتر زلفخانی

تاریخ دفاعیه: مهر ۸۹

## چکیده:

بشر از دیرباز رویای نامریی شدن را در ذهن خود پرورانده. با متامتریالها توانسته اند در فرکانسهای مایکروویو به این امر دست یابند. گزارشی که بی بی سی در این مورد ارائه کرده ما را بیشتر با کلیات متامتریال آشنا می کند:

" تیمی از دانشمندان آمریکایی و بریتانیایی با موفقیت توانسته است شنلی را برای نامرئی کردن اجسام در آزمایشگاه امتحان کند.

این وسیله، طی آزمایش هایی در دانشگاه دوک در کارولینای شمالی، یک سیلندر کوچک مسی را از چشم مایکروویو (ریزموج ها) مخفی نگاه داشت.

این وسیله باعث می شود که مایکروویو (که طول موج آنها بسیار کوتاه است) از اطراف شیء کمانه کرده اما دوباره در آن سو جمع شده و به راه خود ادامه دهند، انگار از فضای خالی عبور کرده اند.

با این حال ناپدید کردن شیء در برابر چشم انسان هنوز مختص داستان های تخیلی است این شنل نامرئی کننده شامل ده حلقه فایبرگلاس پوشیده از عنصر مس است و در دسته "متا

مواد (metamaterial) "جای می گیرد. این یک ترکیب مصنوعی است که می توان آن را طوری طراحی کرد که باعث تغییر در جهت حرکت امواج الکترومغناطیسی شود.

ریزموج ها هم مانند امواج قابل رؤیت نور از سطح اشیاء منعکس می شوند، که آنها را هویدا می کند. البته این "هویدا" شدن توسط ابزارها انجام می شود و در توانایی چشم انسان نیست.

## فصل تازه

آب رفتار متفاوتی دارد. وقتی آب در رودخانه در اطراف یک قلوه سنگ هموار جریان پیدا می کند، در آن سوی سنگ دوباره جمع می شود و به راه خود ادامه می دهد. کسی که به جریان می نگرد متوجه نمی شود که آب از یک مانع گذشته است.

شنل ساخته شده از "متا مواد" نیز مایکروویو را مانند آب در اطراف سنگ هدایت می کند.

جان پندری استاد امپریال کالج لندن که در این تحقیق شرکت داشته است به بی بی سی گفت: "این 'متا مواد' فصل تازه ای در الکترومغناطیس گشوده است. ما در های یک باغ سری را باز کرده ایم".

در این آزمایش، دانشمندان ابتدا ریزموج ها را در طول فضایی خالی و بدون مانع رها کرده

و آن را اندازه گیری کردند. آنها سپس یک سیلندر مسی در همان فضا قرار داده و سپس تلاطم یا پراکندگی به وجود آمده در ریزموج ها را اندازه گرفتند.

در وهله بعد، محققان شنل نامرئي کننده را روي سيلند مسي قرار دادند. شنل به طور كامل تلاطم امواج را از بين نبرد اما ميزان ريزموج هاي مسدود يا منعكس شده را به شدت کاهش داد.

به طور اصولي، از همين طرح نظري مي توان براي نامرئي كردن اشيا در برابر نور قابل رؤيت استفاده كرد، اما لازمه آن وجود ساختارهاي بسيار ظريفتر و ريزتر در "متمواد" است كه دانشمندان هنوز موفق به توسعه آن نشده اند.

محققان مي گویند كه اگر مي توان اشيا را از چشم امواج مايكروويو پنهان كرد، پس مي توان آن را از چشم رادار هم مخفي نگاه داشت - احتمالي كه براي طراحان نظامي جذاب خواهد بود.

پروفيسور پندري گفت مي توان شنل نامرئي را اطراف يك جت جنگنده يا تانك پيچيد، اما وي گفت: "اين چيزي نيست كه در برابر باد مقاوم باشد؛ بيشتر مثل سايه بان است".

اهداف ما در اين پايان نامه ارايه تاريخچه و تحليل ساختار متماتريال و ارايه چند نمونه از متماتريالهاي ساخته شده و کاربرد آنها مي باشد.

## فهرست

### عنوان

### شماره صفحه

# ایمان نامه کارشناسی

### مقدمه:

۷

### تعریف:

۹

### ساختار:

۱۲

معرفی یک نمونه متامتریال به همراه نتایج شبیه سازی آن با نرم افزار Hfss: ۲۲

غیر ایزوتروپیک بودن متامتریالها: ۲۵

منابع: ۳۱

## مقدمه:

امکان داشتن مواد واسطی با ضریب شکست منفی - مواد دست چپی (LHM) Left Handed Medium -

اولین بار توسط یک فیزیکدان روس به نام وسلگو Veselago در سال ۱۹۶۸ مطرح شد. او در یک مقاله

کلاسیک (what-if) بر روی امکان وجود مواد منفی دو گانه (DNG) تحقیق و رفتار الکترو دینامیکی آنها را

بررسی کرد. وسلگو با بعضی نتایج غیر معمول و عجیب از قبیل امواج وارونه، ضریب شکست منفی، اثر داپلر

معکوس لنز کامل و از این دست چیزها مواجه شد. به هر حال او به این نتیجه رسید که هیچ ماده (DNG)

در طبیعت وجود ندارد، مگر اینکه آنها به طور مصنوعی ساخته شوند. هر چند معلوم شد که یک واسط شامل

آرایه ای از میله های هادی می تواند یک  $\epsilon < 0$  ایجاد کند (برای فرکانسهای کوچکتر فرکانس پلاسما)، اما

امکان رسیدن به  $\mu < 0$  به طور تجربی فراهم نشد. در سال ۱۹۹۹، Pendry et al با مثالهای متنوعی

چگونگی حصول یک  $\mu < 0$  را با استفاده از هادیها نشان داد. این ساختار یک نوسان کننده با حلقه های

چندتایی بود (SRR) آرایه ای از این حلقه های چندتایی یک ساختاری با  $\mu < 0$  در گستره فرکانسی بالاتر

حیطه فرکانس نوسان خودش ایجاد می کرد. ترکیب میله های هادی که  $\epsilon < 0$  را ایجاد می کند و آرایه ای

از حلقه های چندتایی که  $\mu < 0$  را پدید می آورد یک ساختار مصنوعی مختلط را نتیجه داد که دارای هر

دو ثابت دی اکتريک و نفوذ پذیری مغناطیسی منفی - در محدوده فرکانسی بالاتر از یک فرکانس باریک باشد.

یک گروه تحقیقی در دانشگاه کالیفرنیا در سان دیه گو (USCD) یک واسط کامپوزیتی (مثلثی شکل) ساخت

و با کنترل نتایج تیوری، اندازه گیری هایی انجام داد که نشان دهنده ضریب شکست منفی بود

یک گروه تحقیقی در MIT آزمایش را تکرار کرد و یافته های (USCD) را تایید کرد.



در آن موقع چندین گروه تحقیقی مطالعه بیشتری را روی ویژگی ها و عملکرد های LHM های مبتنی بر

SRR آغاز کردند و این به راه افتادن سیلی از مقالات از سیلی از مقالات را در حوزه علمی مشترک فیزیک و

ماکروویو به همراه داشت.

با این وجود به واسطه ی ای ن که این قبیل ساختارهای نوسانی بسیار پراستلاف و باند باریک هستند برای

عملکرد های مایکروویو مناسب نیستند و چندین گروه از محققین خطوط انتقال (TLS) را به عنوان ساختار

هدایتی پیشنهاد کردند (شیوه TL).

در ژوئن ۲۰۰۲ در سمپوزیوم واحد بین المللی آنتنهای و انتشار و تئوری تکنیکهای ماکروویو IEEE، سه گروه

مختلف استفاده از خطوط انتقال را به عنوان ساختار هدایتی و به کارگیری آنها با استفاده از اندوکتانس

های موازی و کاپاسیتانس های سری جهت ایجاد مقادیر  $\mu$  و  $\epsilon$  منفی مورد نیاز را پیشنهاد کردند.

این مقاله ها به عنوان راهنما برای طراحی ساختارهایی که مدل معادل TL بهره می برند به کار گرفته

شد. ویژگی های امواج هدایت شده در باریکه های ساخته شده از مواد دست چپی LHM توسط باکارلی

Baccarelli et al آزمایش شده است.

### تعریف:

مواد عادی در طبیعت دارای  $\epsilon$  (ضریب گذردهی الکتریکی) و  $\mu$  (ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی) مثبت

هستند. متامتریال به موادی گفته می شود که دارای  $\epsilon < 0$  یا  $\mu < 0$  یا هر دوی آنها باشند.

این باعث می شود که انتشار موج در این مواد با انتشار موج در حالت عادی فرق کند. اگر فقط  $\epsilon$  یا  $\mu$  منفی

باشند دوباره موج در این مواد قابل انتشار است ولی انتشار با موارد عادی متفاوت است. مهمترین تفاوت این

است که در مواد عادی انرژی حمل شده توسط موج در همان جهتی حمل می شود که موج انتشار پیدا می

کند. ولی در متامتریال ها انرژی در جهت معکوس انتشار موج حمل می شود.

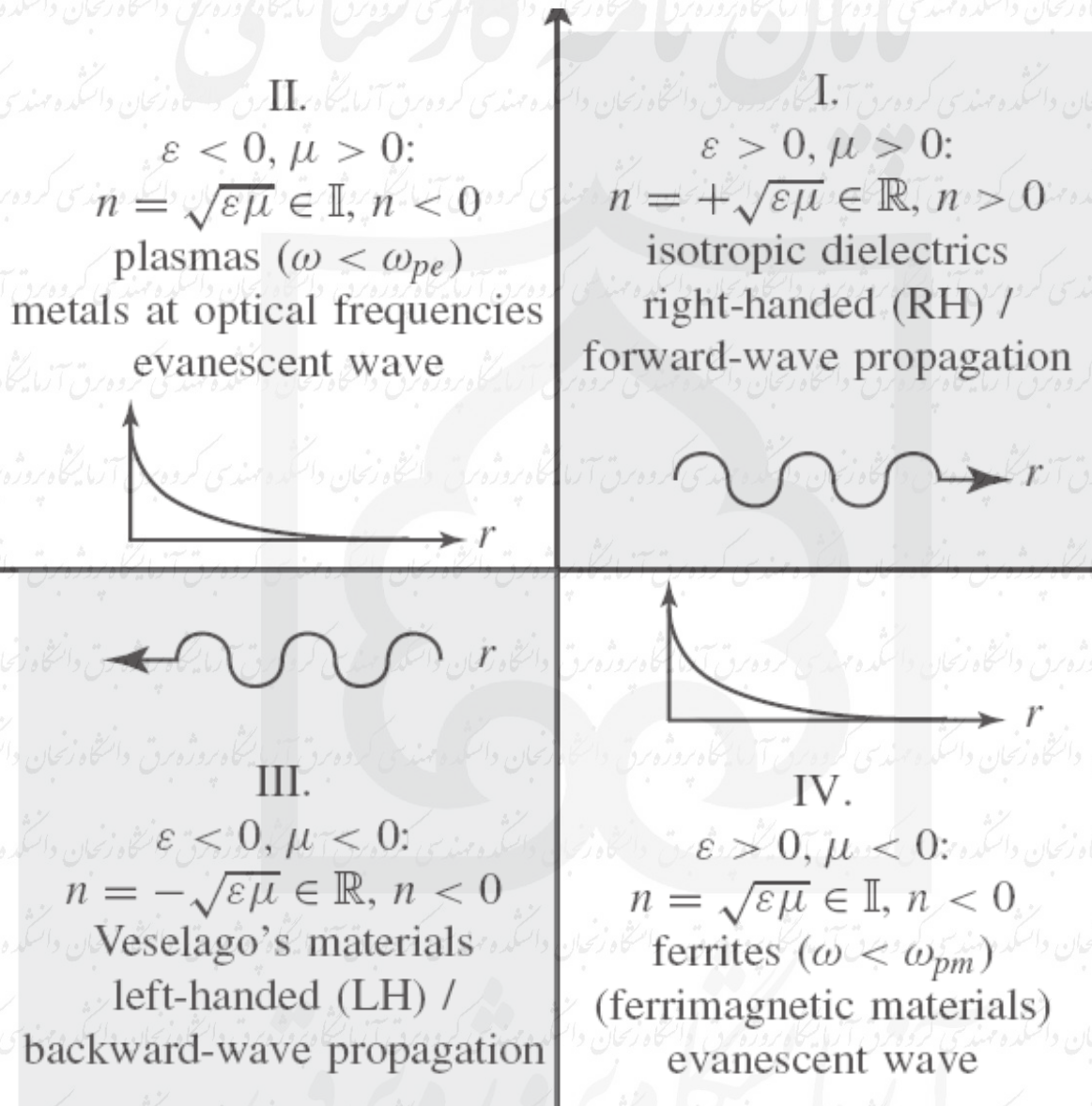
تفاوت مهم دوم این است که در متامتریال ها امواج میرا (امواجی که وقتی در محیط عادی منتشر می شود

دچار تضعیف شدیدی می شوند) در متامتریال ها تقویت می شوند در حالیکه در مواد عادی تضعیف می

شوند.

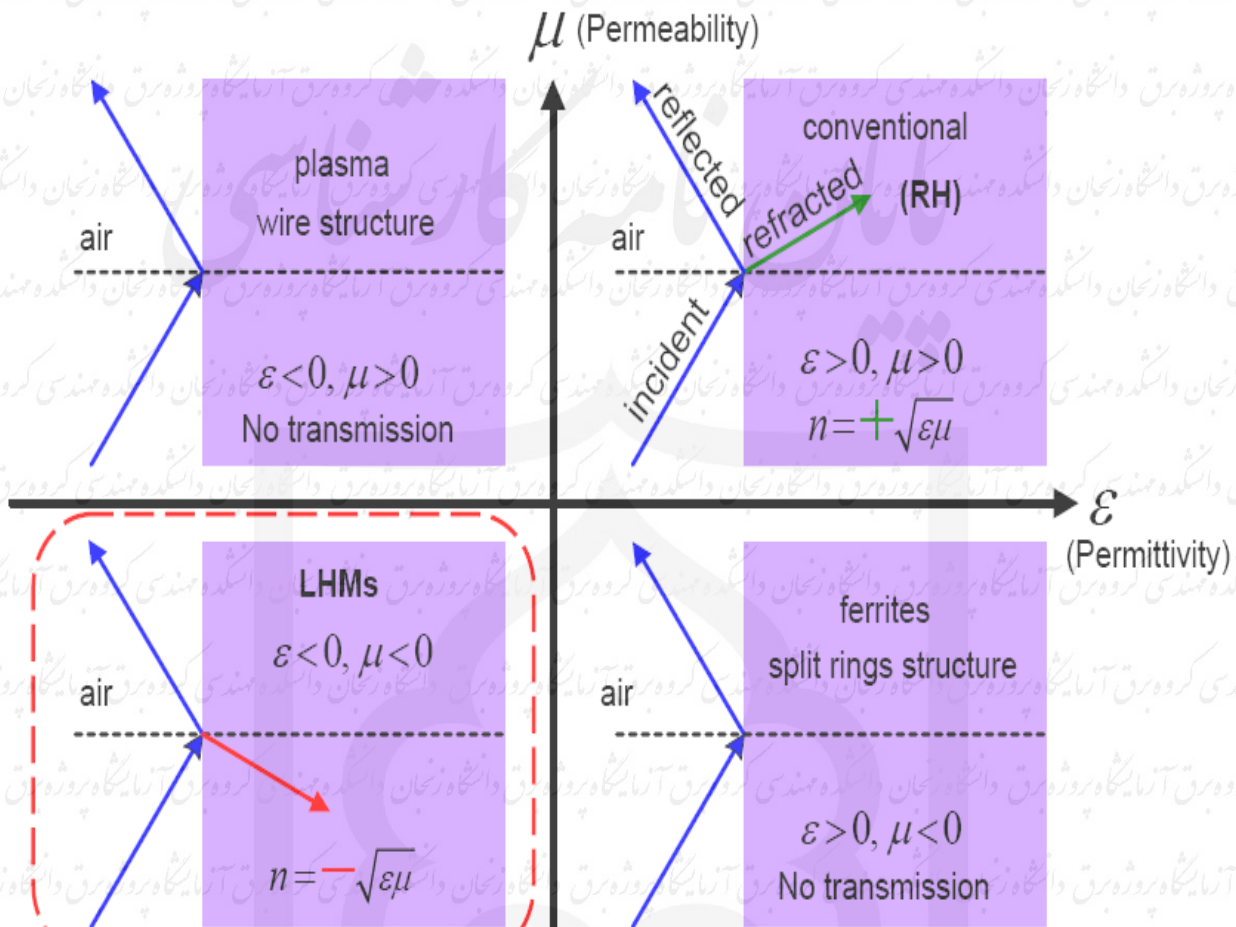
مثبت یا منفی بودن  $\epsilon$  و  $\mu$  چهار حالت دارد که با رسم نموداری در شکل زیر نمایش داده شده. محور عمودی

$\mu$  و محور افقی  $\epsilon$  می باشد.





همچنین در شکل زیر رفتار موج در این چهار ناحیه نشان داده شده:



## ساختار:

متماتریال ها باید با شکل مصنوعی ساخته شوند و در طبیعت وجود ندارند. معمولا بر هم کنش فلز با امواج

الکترومغناطیسی باعث می شود که بعضی مواقع خواص متماتریال به وجود آید.

۳۰ سال پس از کارهای veselago اولین ماده LH ساخته شد. همانطور که Veselago گفته بود

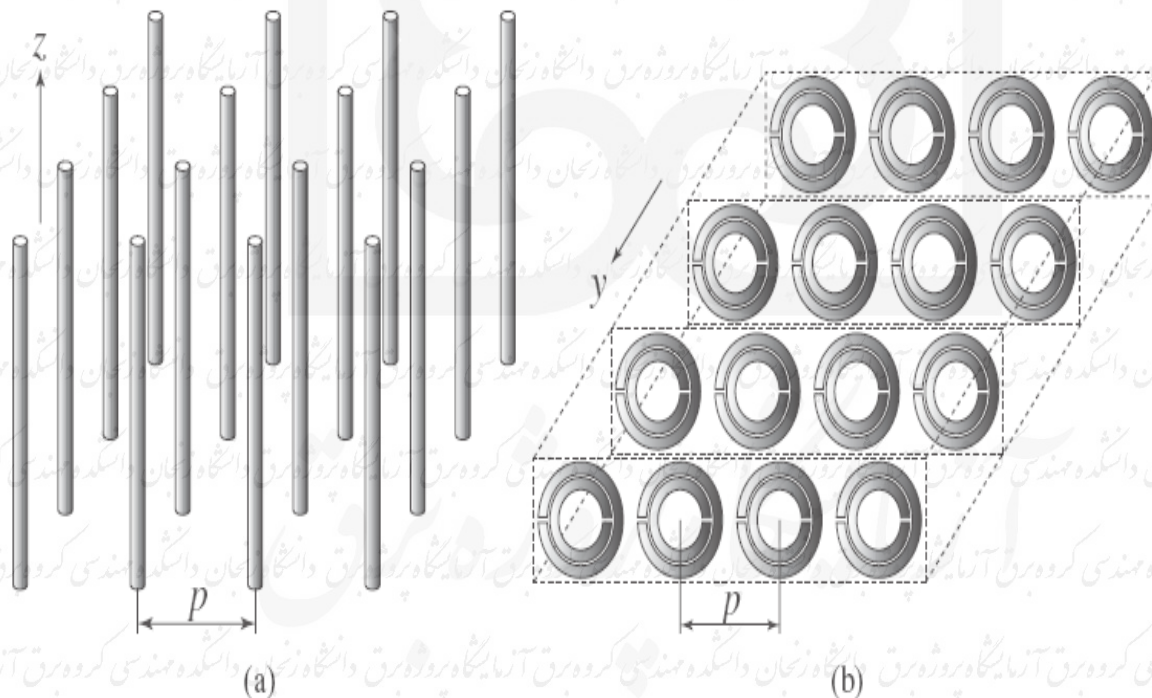
متماتریال یک ماده طبیعی نبود ولی یک ساختار منظم موثر مصنوعی بود که Smith و همکارانش در

دانشگاه کالیفرنیا ارایه شد که این ساختار از کارهای قبلی Pendary در Imperial College London

الهام گرفته شده بود.

Pendary دو ساختار که یکی  $\mu > 0, \epsilon < 0$  و دیگری  $\mu < 0, \epsilon > 0$  بودن ارایه کرد که در زیر نمایش

داده شده اند:







## کاربردها:

- در موجبرها: میتوان به عنوان حذف کننده مود و آهسته کننده موج استفاده کرد

## Phase shifter

- بهبود مشخصات آنتن از جمله گین و تطبیق

- نامرئی کردن نوری که محققان زیادی در حال تحقیق در این مورد هستند اتفاق میافتد . این عمل

به دلیل منفی بودن

- ساخت لنز کامل ( لنز کامل به لنزی گفته می شود که دقت بینهایت دارد و هر جسم ریزی را می

تواند ببیند لنزهای ساخته شده با مواد عادی اشیاء کوچکتر از طول موج را نمی توانند ببینند).

## منابع

- [1] J. B. Pendry, A. J. Holden, W. J. Stewart, and I. Youngs, "Extremely low frequency plasmons in metallic meso structures," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 76, pp. 4773–4776, 1996.
- [2] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, and W. J. Stewart, "Low frequency plasmons in thin wire structures," *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 10, pp. 4785–4809, 1998.
- [3] D. F. Sievenpiper, M. E. Sickmiller, and E. Yablonovitch, "3D wire mesh photonic crystals" *Phys. Rev. Lett.*, vol. 76, pp. 2480–2483, 1996.
- [4] D. F. Sievenpiper, E. Yablonovitch, J. N. Winn, S. Fan, P. R. Villeneuve, and J. D. Joannopoulos, "3D metallo-dielectric photonic crystals with strong capacitive coupling between metallic islands," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 80, pp. 2829–2832, 1998.
- [5] ELECTROMAGNETIC METAMATERIALS: TRANSMISSION LINE THEORY AND MICROWAVE APPLICATIONS, CHRISTOPHE CALOZ, TATSUO ITOH, University of California at Los Angeles, 2006.