



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بخش الکترونیک و مخابرات

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق (مخابرات میدان)

## بررسی تزویج مایکرواستریپ روی زیر پایه کایرال

به کوشش

علی طبخ شعبانی

استاد راهنما

دکتر فرزاد مهاجری


شهریور ۱۳۸۸



الله  
بسم الله الرحمن الرحيم  
الحمد لله رب العالمين  
والصلاة والسلام على  
سيدنا محمد وآله الطيبين  
الطاهرين

## اظہارنامہ

اینجانب علی طبخ شعبانی (850908) دانشجوی رشته‌ی برق-مخابرات گرایش میدان دانشکده‌ی مهندسی اظہار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظہار می‌کنم که پایان‌نامه و موضوع پایان‌نامه تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه‌ی حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه‌ی مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

 علی طبخ شعبانی

به نام خدا

بررسی تزویج خط مایکرواستریپ تزویجی روی زیر پایه کایرال

به کوشش:

علی طباح شعبانی

پایان نامه:

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از فعالیت های

تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی برق-مخابرات گرایش میدان

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته‌ی پایان نامه با درجه‌ی: خیلی خوب

.....  
دکتر فرزاد مهاجری، استادیار بخش الکترونیک و مخابرات (رییس کمیته)

.....  
دکتر شاهرخ جم استاد یار بخش الکترونیک و مخابرات دانشگاه صنعتی شیراز

.....  
دکتر رحیم غیور استاد بخش الکترونیک و مخابرات

شهریور ماه ۱۳۸۸

## سپاسگزاری

حمد و ثنا، خداوندی را سزاست که نعمت‌های بی‌دریغش را به ما کرامت فرموده‌است و زبان از شکر آن‌ها قاصر است.

با سپاس وستایش بیکران به درگاه دانای یکتا، که همواره توکل به او یاری‌دهنده راه‌های پرییچ و خم زندگی بوده‌است و وجود و نعمات بی‌پایانش را در نهایت کرم و بخشندگی بر من روا داشته‌است.

در آغاز بر خود لازم می‌دانم، تا از پدر بزرگوار و مادر مهربانم که همراه و مشوق اصلی من در دوران تحصیل بوده‌اند، قدردانی نمایم که اگر حمایت‌هایشان نبود شاید من راه تحصیل علم و دانش را دنبال نمی‌کردم. از همسر عزیزم که با ورودش به زندگی ام و محبت‌های بی‌کرائش انگیزش زیبا زیستن را در من آفرید.

از استاد راهنمای ارجمند، جناب آقای دکتر فرزاد مهاجری، که همواره مرا از دانش و اخلاق پسندیده خویش بهره‌مند ساخته‌اند، کمال امتنان را دارم.

از اساتید مشاور گرامی جناب آقایان، دکتر شاهرخ جم و دکتر رحیم غیور که از نظرات و راهنمایی‌های راه‌گشای ایشان استفاده نموده‌ام، سپاسگزاری می‌نمایم.

هم‌چنین مراتب سپاس خود را از کلیه اساتید و دوستانی که در مراحل انجام این پایان‌نامه از نظرات ارزنده‌ی ایشان بهره‌مند شده‌ام، اعلام می‌دارم.

چکیده

## بررسی تزویج مایکرواستریپ روی زیر پایه کایرال

به کوشش:

علی طبخ شعبانی

این پایان نامه به مقایسه ضریب تزویج خط مایکرواستریپ تزویجی عادی با خط مایکرواستریپ تزویجی با زیر پایه کایرال می پردازد. روابط ماکسول برای زیر پایه کایرال با اضافه کردن یک ترم جدید به روابط اصلاح می شود. این تغییرات میدان های الکتریکی و مغناطیسی روی استریپ دوم را نسبت به خط مایکرواستریپ عادی افزایش می دهد. این افزایش کاملاً چشمگیر است و در بعضی از موارد تا ۹ برابر مقدار اولیه نیز می رسد. همچنین، افزایش میدانها منجر به افزایش تزویج خط مایکرواستریپ می شود. بعلت وجود اثر کایرالیته، معادلات دیفرانسیل جزئی به معادلات دیفرانسیل جزئی تزویجی تبدیل می شود که با یک نرم افزار قوی قابل حل می باشد. به منظور حل و تحلیل این معادلات یکی از این نرم افزارها، نرم افزار *COMSOL Multiphysics* می باشد. ما همچنین بطور تحلیلی *SDGF* را در فرم بسته ماتریس انتقال  $4 \times 4$  بدست آوردیم که آن به میدان های الکترومغناطیسی متقاطع بالا و پایین مرز زیر پایه کایرال وابسته است. این حقیقت در افزایش سرعت شبیه سازی نکته کلیدی می باشد.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	۱- معرفی محیط کایرال .....
۲	۱-۱- مقدمه .....
۵	۲-۱- تاریخچه .....
۸	۳-۱- روابط اساسی .....
۱۰	۴-۱- امواج صفحه ایی در محیط دستگردان .....
۱۵	۲- خطوط مایکرواستریپ .....
۱۵	۱-۲- معرفی خط مایکرواستریپ .....
۱۹	۲-۲- تلفات مایکرواستریپ .....
۲۰	۳-۲- تحلیل W/H .....
۲۱	۴-۲- اثر ضخامت استریپ .....
۲۲	۵-۲- خطوط تزویج موازی و کوپلرهای جهت دار .....
۲۲	۱-۵-۲ ساختارها و کاربردها .....
۲۳	۶-۲- پارامترها و مشخصات اولیه .....
۲۴	۷-۲- خطوط مایکرواستریپ تزویجی .....
۲۶	۸-۲- پارامترهای کلی برای تزویج .....
۲۷	۱-۸-۲- فاکتور تزویج (C) .....
۲۸	۲-۸-۲- طول ناحیه تزویج (L) .....
۳۰	۳-۸-۲- دایرکتیویتهی کوپلر (D) .....



۳۳	..... مایکرواستریپ روی پایه کایرال
۳۳	..... ۱-۳- مقدمه
۳۵	..... ۲-۳- مایکرواستریپ تک استریپی روی پایه کایرال
۳۹	..... ۳-۳- مایکرواستریپ دو استریپی روی پایه کایرال
۴۰	..... ۱-۳-۳- معادلات انتگرالی
۴۶	..... ۲-۳-۳- SDGF
۵۵	..... ۴- نتایج و شبیه سازی
۵۵	..... ۱-۴- مقدمه
۵۸	..... ۲-۴- آشنایی مختصر با نرم افزار COMSOL MULTIPHYSICS
۶۳	..... ۳-۴- تحلیل مایکرواستریپ روی پایه کایرال با استفاده از نرم افزار COMSOL MULTIPHYSICS
۶۴	..... ۱-۳-۴- تحلیل از نمای بالا
۸۷	..... ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

## فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره	صفحه
جدول ۱-۴ مشخصات فیزیکی چند خط میکرواستریپ.....	۶۹
جدول ۲-۴ ابعاد چند خط میکرواستریپ .....	۶۵
جدول ۳-۴ طول و مقدار تزویج به ازای کایرالیته‌های مختلف برای حالت اول .....	۶۹
جدول ۴-۴ طول و مقدار تزویج به ازای کایرالیته‌های مختلف برای حالت دوم .....	۷۱
جدول ۵-۴ مقایسه تزویج بین استریپ‌ها در حالت سوم جدول ۲-۴.....	۷۴
جدول ۶-۴ تغییرات فیزیکی میکرواستریپ برای فاصله اولیه $d=0.7\text{mm}$ .....	۷۷
جدول ۷-۴ مقایسه تزویج بین استریپ‌ها در حالت اول جدول ۶-۴.....	۸۳
جدول ۸-۴ مقایسه تزویج بین استریپ‌ها در حالت دوم جدول ۶-۴.....	۸۴
جدول ۹-۴ مقایسه تزویج بین استریپ‌ها در حالت سوم جدول ۶-۴.....	۸۴
جدول ۱۰-۴ مقایسه تزویج بین استریپ‌ها در حالت چهارم جدول ۶-۴.....	۸۴

## فهرست شکل‌ها

عنوان و شماره	صفحه
شکل (۱-۱) آنتن لنز با دی الکتریک مصنوعی .....	۳
شکل (۲-۱) یک محیط Bi-anisotropic بصورت شماتیک .....	۴
شکل (۳-۱) الف) محیط چپگرد ب) محیط راستگرد .....	۴
شکل (۴-۱) تغییرات اعداد موج محیط دستگردان بر حسب فرکانس زاویه ای $\gamma = \mu = \mu_0$ , $\epsilon = \epsilon_0$ , $\nu = 10^{-3} \text{mho}$ .....	۱۳
شکل (۱-۲) یک خط میکرواستریپ چاپی روی زیر پایه دی الکتریک .....	۱۶
شکل (۲-۲) نمای روبروی یک خط میکرواستریپ .....	۱۷
شکل (۳-۲) خطوط میدان الکتریکی و مغناطیسی برای خط میکرواستریپ .....	۱۷
شکل (۴-۲) یک زوج موازی از خط میکرواستریپ تزویجی .....	۲۲
شکل (۵-۲) توزیع میدان ناشی از الف) تحریک مد فرد ب) تحریک مد زوج خط میکرواستریپ تزویجی موازی .....	۲۴
شکل (۶-۲) ابعاد سطح مقطع یک میکرواستریپ تزویجی .....	۲۵
شکل (۷-۲) نمایش پارامترهای تعریف شده برای خط انتقال تزویجی .....	۲۷
شکل (۱-۳) خط میکرواستریپ روی زیر پایه کایرال .....	۳۷
شکل (۲-۳) شمای کلی خط انتقال کایرال .....	۴۰
شکل (۳-۳) شمای کلی یک میکرواستریپ سه بعدی .....	۴۱
شکل (۱-۴) صفحه آغازین نرم افزار تحت عنوان Model Navigator .....	۵۹
شکل (۲-۴) Toolbar کار در COMSOL .....	۶۰
شکل (۳-۴) صفحه شروع کار در محیط دو بعدی .....	۶۰
شکل (۴-۴) استفاده از دکمه Physics پس از رسم شکل .....	۶۱
شکل (۵-۴) شکل مش بندی شده .....	۶۲
شکل (۶-۴) حل مساله بر حسب میدان الکتریکی .....	۶۲
شکل (۷-۴) یک میکرواستریپ سه بعدی .....	۶۳

- شکل (۸-۴) میدان الکتریکی نمای بالای میکرواستریپ در غیاب زیر پایه کایرال ..... ۶۴
- شکل (۹-۴) میدان الکتریکی میکرواستریپ روی زیر پایه کایرال ..... ۶۵
- شکل (۱۰-۴) میدان الکتریکی با افزایش عرض استریپ از  $W=0.1\text{mm}$  به  $W=0.15$  ..... ۶۶
- شکل (۱۱-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم به ازای  $0.001$  ,  $0.0001$  ,  $\gamma=0$  ..... ۶۷
- شکل (۱۲-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم به ازای  $\gamma \sim 0$  و  $0.001$  ,  $0.0001$  ..... ۶۸
- شکل (۱۳-۴) میدان الکتریکی روی استریپ اول در حالت اول جدول ۲-۴ ..... ۶۸
- شکل (۱۴-۴) میدان الکتریکی میکرواستریپ روی زیر پایه کایرال برای حالت دوم جدول ۲-۴ ..... ۶۹
- شکل (۱۵-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم در حالت دوم جدول ۲-۴ ..... ۷۰
- شکل (۱۶-۴) میدان الکتریکی روی استریپ اول در حالت دوم جدول ۲-۴ ..... ۷۰
- شکل (۱۷-۴) میدان الکتریکی برای حالت سوم جدول ۲-۴ ..... ۷۲
- شکل (۱۸-۴) میدان روی استریپ دوم برای سومین حالت جدول ۲-۴ ..... ۷۲
- شکل (۱۹-۴) میدان روی استریپ اول برای حالت سوم جدول ۲-۴ ..... ۷۳
- شکل (۲۰-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم به ازای کایرالیته  $\gamma=0.001$  ..... ۷۴
- شکل (۲۱-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم به ازای کایرالیته  $\gamma=0.0001$  ..... ۷۵
- شکل (۲۲-۴) میدان الکتریکی میکرواستریپ برای حالت اول جدول ۶-۴ ..... ۷۶
- شکل (۲۳-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم در حالت اول جدول ۶-۴ ..... ۷۷
- شکل (۲۴-۴) میدان های الکتریکی روی استریپ اول برای اولین حالت جدول ۶-۴ ..... ۷۷
- شکل (۲۵-۴) میدان الکتریکی میکرواستریپ برای حالت اول جدول ۶-۴ ..... ۷۸
- شکل (۲۶-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم در حالت دوم جدول ۶-۴ ..... ۷۸
- شکل (۲۷-۴) میدان الکتریکی روی استریپ اول در حالت دوم جدول ۶-۴ ..... ۷۹
- شکل (۲۸-۴) میدان الکتریکی روی میکرواستریپ برای حالت سوم جدول ۶-۴ ..... ۷۹
- شکل (۲۹-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم در حالت سوم جدول ۶-۴ ..... ۸۰
- شکل (۳۰-۴) میدان الکتریکی روی استریپ اول در حالت سوم جدول ۶-۴ ..... ۸۰
- شکل (۳۱-۴) میدان الکتریکی روی میکرواستریپ برای حالت چهارم جدول ۶-۴ ..... ۸۱
- شکل (۳۲-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم برای حالت چهارم جدول ۶-۴ ..... ۸۱
- شکل (۳۳-۴) میدان الکتریکی روی استریپ اول برای حالت چهارم جدول ۶-۴ ..... ۸۲
- شکل (۳۴-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم به ازای کایرالیته  $\gamma=0.0001$  ..... ۸۴
- شکل (۳۵-۴) میدان الکتریکی روی استریپ دوم به ازای کایرالیته  $\gamma=0.0001$  ..... ۸۵

فصل اول

معرفی محیط

کایرال

# ۱- معرفی محیط کایرال<sup>۱</sup>

## ۱-۱- مقدمه

در بررسی پدیده الکترومغناطیسی مواد مختلف نوع ساختار آن مواد در ایجاد خواص الکترومغناطیسی بسیار موثر است. ما در طبیعت یک سری مواد ثابت داریم که این مواد، خواص ثابتی دارند. بعضاً "ایجاد تغییرات در این مواد بسیار سخت و در مواردی غیر ممکن است. از آنجایی که تغییر پارامترهای مختلف در راستای بهبود بعضی از خواص مطلوب، یکی از زمینه های تحقیقات بشری بوده و نیز از آنجایی که با مواد موجود در طبیعت بعضی از این تغییرات به نتایج مطلوب نمی رسید، یک شاخه جدید در علوم بشری ایجاد شد و آن مواد مصنوعی است. این محیط ها با تغییر چینش مولکولها، اثر فشار، دما و حرارت و یا ترکیب مواد مختلف ایجاد می شود. در یک تقسیم بندی الکترومغناطیسی این محیط های مصنوعی به دسته های زیر تقسیم می شوند:

۱- دی الکتریک مصنوعی<sup>۲</sup>

۲- محیط Bi-isotropic

۳- محیط Bi-anisotropic

۴- محیط پیچیده<sup>۳</sup>

۵- محیط مرکب<sup>۴</sup>

۶- محیط کایرال

---

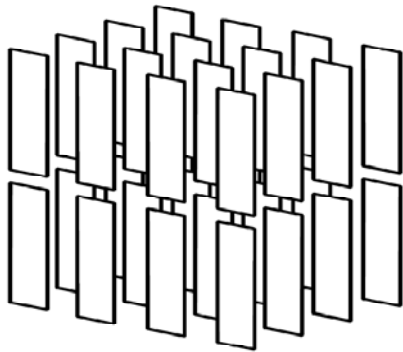
<sup>1</sup> Chiral

<sup>2</sup> Artifical Dielectric

<sup>3</sup> complex

<sup>4</sup> composite

در دی الکتریک مصنوعی چینش ذرات را تغییر می دهیم تا بتوان از پلاریزاسیون آن بطور ماکروسکوپی بعنوان یک دی الکتریک استفاده نمود. یک نمونه استفاده این دی الکتریک در آنتنهای لنز می باشد. یک واحد این ذرات اساساً " یک تکه فلز است که می تواند با مواد دی الکتریک یا مگنتیک ترکیب شود. اوج مطالعات دی الکتریک مصنوعی به سالهای ۱۹۵۰ بر می گردد.



شکل (۱-۱) آنتن لنز با دی الکتریک مصنوعی

محیط های Bi-isotropic و Bi-anisotropic از آن جهت که هم به میدان الکتریکی و هم به میدان مغناطیسی وابسته اند با پیشوند Bi نامیده می شوند.

در محیط Bi-isotropic روابط زیر حاکم است:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} + (\chi - j\eta) \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \vec{H} \quad (1-1)$$

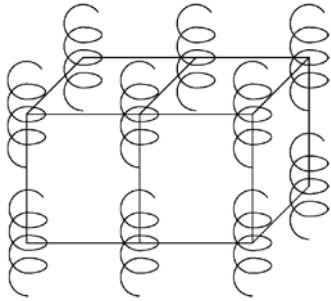
$$\vec{B} = \mu \vec{H} + (\chi + j\eta) \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \vec{E} \quad (2-1)$$

همچنین در محیط Bi-anisotropic میدانها تابعی از گذردهی الکتریکی و مغناطیسی غیر همسانگرد و نیز کایرالیته غیر همسانگرد میباشند، یعنی:

$$\vec{D} = [\epsilon]\vec{E} + [\gamma]\vec{H} \quad (3-1)$$

$$\vec{B} = [\gamma]\vec{E} + [\mu]\vec{H} \quad (4-1)$$

یک شکل شماتیک از این محیط در زیر نشان داده شده است، که این تغییرات بصورت مارپیچی است.

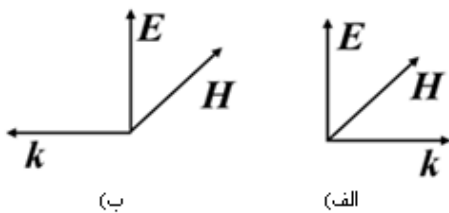


شکل (۲-۱) یک محیط Bi-anisotropic بصورت شماتیک

محیط پیچیده ممکن است از یک شکل پیچیده در ساختار یا چینش ذرات تشکیل شود.

محیط مرکب نیز حداقل از دو نوع ذره مختلف تشکیل شده است.

در سالهای اخیر تحقیقات بر روی نوع جدیدی از مواد الکترومغناطیسی با پلاریزاسیون راستگرد و چپگرد انجام شده است. از آنجا که در محیط راستگرد میدان الکتریکی  $\vec{E}$  و میدان مغناطیسی  $\vec{H}$  با بردار موج  $\vec{K}$  از قانون دست راست تبعیت می کند با این نام، نامیده می شود. در مورد محیط چپگرد نیز دقیقاً "همینطور است. شکل زیر این مفهوم را نشان می دهد.



الف) محیط چپگرد ب) محیط راستگرد

شکل (۳-۱) الف) محیط چپگرد ب) محیط راستگرد



از جمله این مواد که پلاریزاسیون راستگرد و چپگرد دارند، محیط کایرال<sup>۱</sup> یا محیط دستگردان است. مشخصه مورد توجه این مواد داشتن یک درجه آزادی بیشتر نسبت به مواد دیگر با نام کایرالیته ( $\text{Chirality}=\gamma$ ) است، که منجر به داشتن مشخصه بهتر نسبت به مواد دی الکتریک عادی می گردد. همچنین کاربرد زیاد در فرکانس ماکروویوی یک دلیل دیگر برای استفاده از این مواد بطور وسیع می باشد.

## ۱-۲- تاریخچه

بطور تاریخی، مفهوم کایرالیته الکترومغناطیسی از پدیده فعالیت نوری که در آغاز قرن ۱۹ کشف شد، نشأت می گیرد. پدیده فعالیت نوری طبیعی نقش عمده ای در مطالعه و توسعه دامنه گسترده ای از علوم مانند فیزیک نور، ساختمان مولکولی و ... بازی می کند.

فعالیت‌های نوری بعنوان یک مشخصه منحصر بفرد از حیات در نظر گرفته می شوند. فعالیت نوری به وابستگی پلاریزاسیون یک نقطه از محیط به میدان در آن نقطه و نقاط مجاورش اطلاق می شود. چنین اثری در محیط‌های دستگردان به وقوع می پیوندد. یک محیط دستگردان همسانگرد از نقطه نظر ماکروسکوپی یک محیط پیوسته است که از اشیاء دستگردان یکسانی تشکیل شده است که بطور یکنواخت توزیع و بطور تصادفی جهتدار شده اند. شی دستگردان یک جسم سه بعدی است که تحت اعمال انتقال یا چرخش نمی تواند منطبق بر تصویر آینه ای اش شود. یک شی از این نوع دارای این خاصیت است که بایستی چپگرد یا راستگرد باشد. یک شیء را که دارای خاصیت فوق نباشد غیر دستگردان گویند. بنابراین همه اشیاء موجود یا دستگردان یا غیر دستگردان هستند.

زمانی که یک موج با پلاریزاسیون خطی بطور عمودی به لایه ای از محیط دستگردان برخورد کند دو موج در آن محیط تولید می گردد، یکی موج با پلاریزاسیون دایروی چپگرد و دیگری راستگرد که دارای سرعت‌های فاز مختلف هستند. خارج لایه دستگردان دو موج با هم

ترکیب و تشکیل یک موج با پلاریزاسیون خطی می دهند. صفحه پلاریزاسیون این موج جدید نسبت به موج تابش چرخیده است. میزان این چرخش بستگی به مقدار مسافتی دارد که موج در محیط دستگردان طی می کند. این مطلب نشان می دهد که فعالیت‌های نوری نه تنها در سطوح لایه بلکه در درون آن نیز رخ می دهد.

در سال ۱۸۱۱، Argo [۱] دریافت که صفحه پلاریزاسیون نور پلاریزه خطی عبوری درون کریستال کوارتز وقتی در جهت انتشار محور کریستال منشور شود بوسیله این کریستال منحرف می شود. Argo ماهیت این پدیده را درک نکرد و بعدها آزمایش‌های Biot [۲] روی ورقه های کوارتز ماهیت آن را روشن تر کرد. یک گستره جدید در فیزیک با آزمایش‌های Biot بر روی یک کریستال کوارتز آغاز شد. او از آزمایش بر روی ورقه های کوارتز نتایج زیر را بدست آورد:

الف) فعالیت‌های نوری به ضخامت ورقه بستگی دارد. ب) نور با طول موج‌های مختلف دارای چرخش های نامساوی صفحه پلاریزاسیون است. ج) اگر دو ورقه کوارتز با ضخامت یکسان لکن جهت چرخش متضاد بکار برده شود اثر یکدیگر را از بین می برد و هیچگونه فعالیت نوری رخ نمی دهد. همچنین او کشف کرد که فعالیت‌های نوری تنها به اجسام کریستالی محدود نمی شود بلکه علاوه بر آن در مایعات آلی مثل روغن های ترپانتین، محلول‌های الکلی کافور و محلول‌های آبگین از شکر و اسید تار تاریک نیز دیده می شود.

Fresnel [۳] نشان داد که یک شعاع نور پس از حرکت در طول محور کوارتز تبدیل به اشعه های پلاریزه شده دایروی با جهت گردش‌های مختلف می گردد که با سرعت‌های فاز مختلفی حرکت می کنند. او بیان کرد که این اختلاف در سرعت‌های فاز ناشی از فعالیت‌های نوری است و نیز توضیح داد که: "این امر ممکن است ناشی از اجزای خاصی از محیط شکست دهنده و یا مجموعه ای از مولکولها که تفاوتی را بین احساس راست به چپ و چپ به راست نشان می دهند، باشد. مثلا "یک ترتیب مارپیچی از مولکولهای یک محیط بسته به اینکه این مارپیچها راستگرد یا چپگرد هستند خواص مختلفی از خود بروز می دهند".

Pasteur [۴] بیان کرد که ملکولها اشیائی سه بعدی اند و فعالیت نوری در یک محیط ناشی از دستگردانی مولکولهایش است.

یک قرن بعد از Pasteur نشان داده شد که ماده واقعا نامتقارن است. Lindman [۵]

یک دیدگاه جدید برای مطالعه دستگردانی ارائه کرد. او این مطلب را هنگامیکه از مدل‌های ماکروسکوپی محیط‌های دستگردان با استفاده از سیم پیچ‌هایی بجای ملکولهای دستگردان استفاده می کرد نشان داد و پدیده فعالیت نوری را با استفاده از ماکروویو بجای نور بیان کرد.

در آنتن های قرن ۱۹ فیزیکدانان شروع به توسعه تئوریهایی برای توصیف اثر امواج الکترومغناطیسی بر محیط‌های دستگردان کردند. Born [۶]، Oseen [۷]، Gray [۸] بطور مستقل و تقریبا همزمان شروع به توصیف و تشریح فعالیت های نوری کردند. در کار آنها یک مولکول فعال نوری بصورت یک توزیع فضایی از نوسانگرهای تزویج شده در نظر گرفته می شد.

Kuhn [۹] با در نظر گرفتن ساده ترین حالت از نوسانگرهای تزویج شده به تشریح پدیده فعالیت نوری پرداخت. Condon [۱۰] نشان داد که می توان پدیده فعالیت نوری را با در نظر گرفتن یک نوسانگر منفرد که در میدان نامتقارن حرکت می کند تشریح کرد. Bokut & Fedrov [۱۱] در مقاله ای انعکاس نور را از سطوح دستگردان بررسی کردند. Kong [۱۲]

در کتاب خود در باره محیط‌های غیر همسانگرد دو طرفه بحث کرد.

اندکی بعد یک توصیف ماکروسکوپی از اثر متقابل امواج الکترومغناطیسی با محیط‌های دستگردان توسط Jaggard [۱۳] ارائه شد که به بیان مطالب تئوری آزمایشهای Lindman می پرداخت.

مطالعات جدید در باره فعالیت‌های نوری شامل کار روی انتشار انتقالی در فصل مشترک بین محیط‌های دستگردان و غیر دستگردان توسط Engheta & Michelson [۱۴] و در باره انعکاس امواج از چنین فصل مشترکی بوسیله Silverman [۱۵] انجام شد. Bassiri [۱۶]

انعکاس و انتشار امواج در فصل مشترک بین محیط‌های دستگردان و غیر دستگردان و از یک لایه دستگردان را بررسی کرد.

### ۱-۳- روابط اساسی

یک اثبات مناسب برای روابط اساسی در محیطهای دستگردان توسط Post [۱۷] ارائه گردید. برای اثبات فیزیکی این روابط از سیم پیچهای هادی کامل، کوتاه و یکسان که بطور تصادفی جهتدار شده اند استفاده می گردد. یک سیم پیچ کوتاه از این نوع شامل یک حلقه دایروی است که دو انتهای آن سیم هادی راستی است که در جهات متضاد هم ، بر صفحه حلقه عمود است. طبق نظر Jaggard در اثر برخورد یک موج الکترومغناطیسی به یک سیم پیچ درون آن، هم ممان دوقطبی الکتریکی و هم مغناطیسی تولید می شود. این ممان دوقطبیها موازی محور سیم پیچ هستند. میدان الکتریکی برخوردی تولید جریانهایی در بخش مستقیم سیم پیچ می کند که این جریانها در بخش حلقوی آن نیز جریان می یابد. جریان در قسمت مستقیم سیم پیچ باعث ایجاد ممان دوقطبی الکتریکی و جریان در قسمت حلقوی باعث ایجاد ممان دو قطبی مغناطیسی می شود. همچنین میدان مغناطیسی برخوردی نیز تولید جریانهایی در بخش حلقوی سیم پیچ می کند که این جریان از قسمت های مستقیم سیم پیچ می گذرد. پس میدان مغناطیسی نیز تولید ممان دو قطبی الکتریکی و مغناطیسی می کند. وقتی میانگین تمام این ممان دوقطبی های الکتریکی و مغناطیسی سیم پیچ های با جهات دلخواه و تصادفی را در نظر بگیریم و فرض تغییرات زمانی سینوسی  $e^{j\omega t}$  را نیز قبول کنیم داریم:

$$\vec{P} = \chi_e \epsilon_0 \vec{E} + \gamma_e \vec{B} \quad (5-1)$$

$$\vec{M} = -\gamma_m \vec{E} + \chi_m \frac{1}{\mu_0} \vec{B} \quad (6-1)$$

که  $\vec{P}, \vec{M}$  به ترتیب ، بردارهای قطبی شونددگی و مغناطیس شونددگی محیط،  $\chi_e, \chi_m$  ضرایب خود تاثیر پذیری الکتریکی و مغناطیسی و  $\gamma_e, \gamma_m$  ضرایب تاثیر پذیری متقابل هستند . ضرایب نفوذ پذیری الکتریکی و مغناطیسی خلاء با  $\epsilon_0, \mu_0$  نشان داده شده است . حال طبق تعریف داریم: