



دانشکده فناوری های نوین  
گروه مهندسی فتونیک - نانو فتونیک

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی فتونیک- گرایش نانو فتونیک

عنوان

مدیریت سیگنال نوری در ابعاد نانو توسط آرایه های نانو ذرات  
فلزی در فوتونیک کریستال

اساتید راهنما

دکتر علی رستمی  
دکتر کریم عباسیان

استاد مشاور

دکتر سعید گل محمدی

پژوهشگر

سحر انصار نوری

بهمن ۱۳۹۰

صلى الله عليه وسلم

نام خانوادگی : انصاری		
نام : سحر		
عنوان پایان نامه : مدیریت سیگنال نوری در ابعاد نانو توسط آرایه های نانو ذرات فلزی در فوتونیک کریستال		
اساتید راهنما : دکتر علی رستمی و دکتر کریم عباسیان		
استاد مشاور : دکتر سعید گل محمدی		
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی فوتونیک	گرایش: نانو فوتونیک
دانشگاه : تبریز	دانشکده: مهندسی فناوریهای نوین	
تاریخ فارغ التحصیلی: ۹۰/۱۱/۱۲	تعداد صفحه: ۸۴	
<b>کلید واژه ها:</b> پلاسمونیک، نانو ذره، فرکانس رزونانس پلاسمون، پلاسمون سطحی، گشتاور دو قطبی		
<p><b>چکیده:</b></p> <p>با توجه به نیاز و پیشرفتهای حاصله در حوزه نور، امروزه تحقیقات وسیعی روی پردازش تمام نوری سیگنال های نوری انجام میشود. ادوات و روشهای نانوفوتونیک یکی از ابزارهای مناسب برای پردازش تمام نوری هستند. در این پروژه مدیریت سیگنال نوری در ابعاد نانو توسط آرایه های نانو ذرات فلزی کاشته شده در فوتونیک کریستال صورت میگیرد، که برای این منظور نور از یک محیط پلاسمونیک که متشکل از زنجیره ای از نانو ذرات فلزی <math>Ag, Au</math> است منتشر خواهد شد و دامنه و فاز نور ورودی پس از عبور از این محیط دستخوش تغییر میشود که در این پروژه این تغییرات (تغییرات دامنه و فاز میدان خروجی که از این محیط و زنجیره نانو ذرات عبور کرده است) محاسبه میشود. در هنگام برخورد میدان به هر کدام از نانو ذرات پلاریزاسیون آنها تغییر میکند که این تغییرات در نهایت موجب تغییر دامنه و فاز میدان خروجی می شود.</p> <p>خاصیتی که محیط پلاسمونیک برای ما ایجاد میکند این است که وقتی میدان از محیط پلاسمونیک عبور میکند موجب ایجاد پلاسمون های سطحی در محیط می شوند که این کار موجب میشود تمامی فنونها و فتونها از محیط عبور نکنند و مقداری از آنها در سطح فلزی محبوس می ماند که در ابزارهایی که از این نوع تکنیک ها استفاده میشود میتوان دستاوردها و خاصیت های جدیدی برای ابزارهای نوری ایجاد کرد که در مقایسه با ابزارهایی که از این تکنیک ها استفاده نشده است و خاصیت حبس نور وجود ندارد. این روش یک روش بهینه برای اندرکنشهای مقتضی و انتقال نور با سرعت و خواص مطلوب میتواند باشد.</p>		

## پاسکزاری

حکیم هستی بخش را شاکرم که توفیق انجام این پژوهش را به من عطا نمود.

از استاد فرزانه و بزرگوارم جناب آقای پروفور رستمی به خاطر راهنمایی های ارزنده و صبر و حوصله بی دریغشان صمیمانه سپاسگزارم.

از جناب آقای دکتر عباسیان، که با لطف بی دریغ خود بنده را در انجام این پایان نامه هدایت کردند، نهایت تشکر و پاسکزاری خود را

اعلام می نمایم.

همچنین از جناب آقای دکتر گل محمدی که به عنوان استاد مشاور قبول زحمت نموده و بار راهنمایی های ارزشمند، مراد انجام این تحقیق یاری

کردند، کمال تشکر را دارم.

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرکردانی و ترس در پناہشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دینشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۵	شرح تحقیق و اهداف
۶	(۱) فصل اول : بررسی منابع
۷	مقدمه
۸	(۱-۱) معادلات ماکسول
۱۰	(۲-۱) بررسی خواص نوری ساختارهای پلاسمونی
۱۰	(۱-۲-۱) معرفی تابع دی الکتریک و خواص آن
۱۲	(۲-۲-۱) تابع دی الکتریک گاز الکترون آزاد
۱۶	(۳-۱) پاشندگی گاز الکترون
۱۹	(۴-۱) انتقال های بین بانندی
۲۳	(۵-۱) پلاسمون های سطحی در فصل مشترک بین فلز و عایق
۲۳	(۱-۵-۱) معادله موج
۲۶	(۲-۵-۱) SPP ها در یک فصل مشترک
۳۲	(۶-۱) اثر ابعاد ذره و طول موج منبع بر پراکندگی
۳۳	(۷-۱) بررسی روابط حاکم بر پراکندگی نور منسوب به مای
۴۱	(۲) فصل دوم : مبانی و روشها
۴۲	مقدمه
۴۳	(۱-۲) تقریب الکترو استاتیک برای میدان های یک نانو ذره
۴۸	(۲-۲) روش تقریبی دو قطبی

۵۲	..... روش دقیق دو قطبی
۶۰	..... عوامل محدود کننده انتقال نور در ساختار زنجیره ای
۶۳	..... فصل سوم : نتایج و بحث
۶۴	..... مقدمه
۶۴	..... (۱-۳) نانو ذرات فلزی
۶۴	..... (۲-۳) مشخصات ساختار به کار رفته در نرم افزار
۶۵	..... (۱-۲-۳) شرایط مرزی PML
۶۵	..... (۳-۳) شبیه سازی زنجیره نانو ذرات فلزی و انتقال انرژی در آن ها در روش FDTD
۶۵	..... (۴-۳) انتخاب اندازه بهینه برای نانو ذرات
۶۶	..... (۵-۳) بررسی کره تنها از جنس نقره و شعاع ۵۰ نانو متر در بستر $SiO_2$
۶۸	..... (۶-۳) بررسی دو کره از جنس نقره و شعاع ۵۰ نانو متر در بستر $SiO_2$
۷۰	..... (۷-۳) بررسی سه کره از جنس نقره و شعاع های متفاوت در بستر $SiO_2$
۷۲	..... (۸-۳) مشخصات ساختار به کار رفته در شبیه سازی
۷۴	..... (۹-۳) تعیین نوع نقره مناسب در طول موج مخابراتی
۷۶	..... (۱۰-۳) نتایج حاصل از شبیه سازی برای ساختار T
۷۶	..... (۱-۱۰-۳) حالت اول : جدا کننده در مدل ساختار T
۷۸	..... (۲-۱۰-۳) حالت دوم : ساختار T با دو ورودی هم فاز
۷۹	..... (۳-۱۰-۳) حالت سوم : ساختار T با دو ورودی با فاز مخالف
۸۰	..... (۱۱-۳) جمع بندی و نتیجه گیری
۸۲	..... منابع و مراجع

## فهرست اشکال

شکل	صفحه
شکل (۱-۱) تابع دی الکتریک طلا از مدل گاز الکترون آزاد (خط ممتد) و مقادیر اندازه‌گیری شده (خط چین) [۱] .....	۱۵
شکل (۲-۱) رابطه پاشندگی گاز الکترون آزاد [۱] .....	۱۷
شکل (۳-۱) نوسان‌های طولی الکترون‌های هدایت فلز پلاسمونیک‌های حجمی [۱] .....	۱۸
شکل (۴-۱) تابع دی الکتریک طلا از مدل گاز الکترون آزاد (خط ممتد) و مقادیر اندازه‌گیری شده (خط چین) [۱] .....	۲۲
شکل (۵-۱) تابع دی الکتریک نقره از مدل گاز الکترون آزاد (خط ممتد) و مقادیر اندازه‌گیری شده (خط چین) [۱] .....	۲۲
شکل (۶-۱) امواج در جهت X محور مختصات دکارتی منتشر می‌شوند [۳] .....	۲۴
شکل (۷-۱) هندسه انتشار SPP در فصل مشترک بین عایق و فلز [۳] .....	۲۷
شکل (۸-۱) نمودار پاشندگی در فصل مشترک فلز درود با هوا و سیلیکا [۱] .....	۳۰
شکل (۹-۱) رابطه پاشندگی برای هوا و سیلیکا [۱] .....	۳۲
شکل (۱۰-۱) مختصات قطبی کروی برای یک کره با شعاع a، [۴] .....	۳۶
شکل (۱۱-۱) .....	۳۸
شکل (۱۲-۱) .....	۳۹
شکل (۱-۲) شکل کره همگن که در میدان ثابت قرار گرفته است [۴] .....	۴۴
شکل (۲-۲) اندازه و فاز قطبش پذیری $\alpha$ برای یک نانو ذره فلزی نسبت به فرکانس میدان ورودی (بر حسب الکترون ولت) در اینجا از $\epsilon(\omega)$ درود برای فلز نقره استفاده شده است [۴] .....	۴۶



شکل (۳-۲) خط ممتد بیانگر اندرکنش‌های بین دو قطبی‌های همسایه هم و خط چین بیانگر اندرکنش‌های پنج دو قطبی است [۶].....	۴۹
شکل (۴-۲) هندسه وجود دو نانو کره کنار هم [۲۱].....	۵۲
شکل (۵-۲) اثر میدان موازی و عمودی روی قطبش سیستم کره‌ها [۲۱].....	۵۷
شکل (۶-۲) ضریب انتقال توان محاسبه شده در آرایه‌های زنجیره نانو ذرات برای گوشه ۹۰ درجه در ساختار T [۲۲].....	۶۱
شکل (۱-۳) پاسخ طیفی تحریک نانو کره در مرکز ذره خط چین‌ها نتایج FDTD و خطوط ممتد نتایج محاسبات مای است. نقاط گرد روی منحنی بیانگر این است که از ثابت جانسون- کریستی برای تابع دی الکترونیک نقره استفاده شده است [۱۱].....	۶۶
شکل (۲-۳) توزیع میدان در ساختار: شدت میدان در جهت انتشار.....	۶۷
شکل (۳-۳) نمودار خطی شدت میدان در جهت انتشار.....	۶۷
شکل (۴-۳) نمودار ثابت های پالیک فلز نقره به ازای طول موج مرئی برای قسمت حقیقی ضریب شکست.....	۶۷
شکل (۵-۳) نمودار ثابت های پالیک فلز نقره به ازای طول موج مرئی برای قسمت موهومی ضریب شکست.....	۶۸
شکل (۶-۳) توزیع میدان در ساختار: شدت میدان در جهت انتشار.....	۶۹
شکل (۷-۳) نمودار خطی شدت میدان در جهت انتشار.....	۶۹
شکل (۸-۳) نمودار شدت میدان در جهت انتشار.....	۷۰
شکل (۹-۳) اثر تغییر پلاریزاسیون میدان ورودی روی دامنه در مکان یکی از ذرات.....	۷۰
شکل (۱۰-۳) توزیع میدان در ساختار: شدت میدان در جهت انتشار.....	۷۱
شکل (۱۱-۳) نمودار خطی شدت میدان در جهت انتشار.....	۷۱

شکل (۳-۱۲) طول موج رزونانس پلاسمون نقره پوشیده توسط سیلیکا که تقریباً در طول موج ۵۴۰ نانومتر رخ می‌دهد [۲۷] .....	۷۲
شکل (۳-۱۳-۱) نمودار ثابت‌های پالیک فلز نقره به ازای طول موج برای قسمت حقیقی ضریب شکست .....	۷۴
شکل (۳-۱۳-۲) نمودار ثابت‌های پالیک فلز نقره به ازای طول موج برای قسمت موهومی ضریب شکست .....	۷۴
شکل (۳-۱۳-۳) نمودار ثابت‌های CRC فلز نقره به ازای طول موج برای قسمت حقیقی ضریب شکست .....	۷۵
شکل (۳-۱۳-۴) نمودار ثابت‌های CRC فلز نقره به ازای طول موج برای قسمت موهومی ضریب شکست .....	۷۵
شکل (۳-۱۴) توزیع شدت میدان الکتریکی .....	۷۶
شکل (۳-۱۵) توزیع خطی میدان الکتریکی در راستای محور $y$ .....	۷۷
شکل (۳-۱۶) توزیع شدت میدان الکتریکی با استفاده از فلز نامناسب .....	۷۷
شکل (۳-۱۷) توزیع شدت میدان الکتریکی .....	۷۸
شکل (۳-۱۸) توزیع خطی میدان الکتریکی در جهت $y$ .....	۷۹
شکل (۳-۱۹) توزیع شدت میدان الکتریکی .....	۷۹
شکل (۳-۲۰) توزیع خطی میدان الکتریکی در جهت $y$ .....	۸۰

فهرست جدول ها

صفحه	جدول
۷۲ .....	جدول (۱-۳) ابعاد موجبر پلاسمونیک .....
۷۳ .....	جدول (۲-۳) مشخصات نانو کره های نقره .....

## مقدمه

پلاسمونیک بخش عمده رشته جذاب نانوفتونیک را در برمی گیرد که ثابت می کند چگونه میدان های الکترومغناطیسی می توانند در مقیاس های کوچک تر از طول موج محدود شوند. که این برپایه پروسه اثرات متقابل بین انتشار الکترومغناطیس و الکترون های هدایت در مرز فلز یا در نانوساختارهای کوچک فلزی است. محققان در این زمینه نشان داده اند که چگونه این رفتار بی نظیر و غیرمنتظره می تواند به وجود آید اگر غیریوستگی در ساختار رخ دهد [۱].

همچنین تاریخ نشان می دهد که دو موضوع اصلی پلاسمونیک که پلاسمون پلاریتون های سطحی و پلاسمون سطحی لوکالیزه شده است در سال های ۱۹۰۰ به طور وضوح توضیح داده شده است همچنین در طول قرن ۲۰ میلادی کاربردهای پلاسمون پلاریتون های سطحی در زمینه های مختلف به دست آمد. توضیح ریاضی و عددی این موج های سطحی در اوایل قرن ۲۰ در انتشار امواج رادیویی در سطح یک فلز با هدایت محدود بیان شد. در محدوده نور مرئی مشاهده شدت نور غیر عادی، زمانی که نور از یک ساختار شبکه ای و پریودیک<sup>۱</sup> فلزی منعکس می شد بیان شد. در حوالی سال ۱۹۷۵ پدیده تلفات که همراه با اثرات متقابل که در سطح های فلزی اتفاق می افتاد توسط ریچی<sup>۲</sup> برای انکسار پرتو الکترونی روی صفحه های فلزی نازک بررسی شد. که در همین زمان ها در سال ۱۹۶۸ به تحقیق در زمینه انکسار در ساختارهای شبکه ای و پریودیک در زمینه ی نوری پیوند خورد. از آن زمان به بعد تحقیقات در این زمینه در محدوده طیف مرئی انجام شد و اختراعات متعددی در محدوده میکروویوو تراهرتز در قرن ۲۱ انجام گرفت. در حوالی سال ۱۹۰۰ پلاسمون های سطحی لوکالیزه شده و شکل ریاضی و عددی آن توسط مای<sup>۳</sup> بیان شد. که در سال ۱۹۰۲ مای اقدام به بررسی کاربردی پراکندگی

---

۱- grating

۲- Ritchi

۳- Mie

موج الکترومغناطیسی توسط کره دی‌الکتریک همگن نمود. سپس در سال ۱۹۰۸ تئوری خود را در مورد جذب و پراکندگی رنگ نورهای مختلف توسط ذرات طلا که این ذرات توسط آب احاطه شده بودند ارائه نمود.

در سال ۱۸۹۸ لودویک لورنز<sup>۱</sup> درباره پراکندگی نور یک تئوری نسبتاً قوی ارائه کرد که در این تئوری وی بصورت مستقل، برخورد موج الکترومغناطیسی تخت را به کره نیمه هادی بررسی نمود. به‌همین دلیل تئوری مای بعدها بنام تئوری لورنز- مای نامیده شد. این تئوری یک پاسخ تحلیلی برای معادلات ماکسول می‌باشد که این معادلات دربرگیرنده پدیده پراکندگی و تابش الکترومغناطیسی نور توسط کره رسانا می‌باشد [۴و۱]

لرد ریلی<sup>۲</sup> از دیگر کسانی بود که در سال ۱۸۸۱ تئوری خود را مبتنی بر اثر پراکندگی نور برای ذرات با شکل و اندازه دلخواه که با ضریب شکست یکسان و برابر بودند ارائه کرد. سپس در سال ۱۸۹۹ تئوری خود را برای ذرات با ابعاد بسیار کوچکتر در مقایسه با طول موج برخوردی به آنها بررسی کرد که پراکندگی ریلی<sup>۳</sup> نام دارد. پراکندگی ریلی بیان‌گر این واقعیت بود که رنگ آبی آسمان به‌دلیل برخورد نور با مولکول‌های اتمسفر می‌باشد که این قضیه در طول موج‌های کوتاه مؤثر بود.

در سال ۱۹۱۵ دیبای<sup>۴</sup> تئوری در مورد ذرات با ابعاد بزرگتر در مقایسه با طول موج الکترومغناطیسی ارائه نمود که براساس آن یک رابطه فازی ثابت بین امواج پراکنده شده از نقاط مختلف از یک ذره یکسان وجود دارد اما هر عنصر پراکنده کننده از ذره به‌صورت مجزا مانند یک دوقطبی نوسان مستقل عمل می‌کند.

---

۱- Ludvig Lorenz

۲- Lord Rayleigh

۳- Rayleigh Scattering

۴- dipole

در ادامه و درسالهای بعد، پراکندگی، به صورت مفاهیم پراکندگی توسط یک ذره تنها و یا پراکندگی توسط تعدادی از ذرات که به صورت مجموعه‌ای از ذرات کنار هم قرار گرفته‌اند، مدنظر واقع شد.

تئوری ارائه شده توسط مای شامل جذب رزونانسی پلاسمونی ذرات طلا بود که این پدیده بحث پلاسمون‌ها را شامل می‌شد [۱۴].

پلاسمون‌ها، از اوایل دهه ۹۰ میلادی مورد توجه قرار گرفتند و در این زمینه توماس اِبسن<sup>۱</sup> در مؤسسه تحقیقاتی نیوجرسی<sup>۲</sup> یک لایه بسیار نازک از طلا را که نور از آن عبور می‌کرد، مدنظر قرار داد و هنگامی که زیر میکروسکوپ الکترونی آن را مشاهده نمود، متوجه شد که سطح آن دارای تعداد بسیار زیادی سوراخ است که قطر هر کدام از آن‌ها ۲۰۰ برابر نازکتر از موی سر است. اما نکته جالب این قضیه اینجا بود که شدت نوری که از سوراخها عبور می‌کرد بیشتر از شدت نوری بود که به سطح آن‌ها برخورد می‌کرد. تئوری نوری بیان می‌کند که قطر ۳۰۰ نانومتری سوراخهای یاد شده آن قدر کوچک می‌باشد که تنها ۰/۰۱ درصد از شدت نور فرود آمده روی آنها بایستی عبور کند. از طرف دیگر آزمایشات اِبسن نشان داد که علی‌رغم آنچه انتظار می‌رفت بیش از ۱۰۰ درصد شدت نور برخوردی به سوراخ از طرف دیگر خارج می‌شود [۱۵]. مشاهده و بررسی این پدیده منجر به بازسازی نظرات محققان این زمینه شد و از طرف دیگر باعث معرفی و پیدایش شاخه جدیدی به نام پلاسمونیک شد. به کمک پلاسمونیک احتمالاً بتوان در آینده، اطلاعات را با سرعت نور روی سطوح فلزی و در داخل مداراتی که به بزرگی چند اتم هستند انتقال و دریافت کنیم. اِبسن نتوانست مشاهدات خود را اثبات و به ثبت برساند.

---

۱- Tomas Ebbesen

۲- New Jersey

این نتایج تا سال ۱۹۹۸ که محققى به نام پیترولف<sup>۱</sup> در مورد نتایج آزمایش‌های ابرسن شنید ولی همچنان بدون توجیه باقی ماند. زمینه تخصصی ولف در مورد بررسی رفتار الکترون‌ها روی سطوح فلزی بود. الکترون‌ها روی سطوح فلزات می‌توانند آزادانه حرکت کنند و دریایی دوبعدی تشکیل می‌دهند که موج‌هایی به نام پلاسمون سطحی در آن پدید می‌آیند. ولف از این پدیده آگاهی داشت که نور تابیده شده به سطح فلز می‌تواند موجب نوسان گروهی الکترون‌های سطحی و ایجاد موج‌های پلاسمونی می‌شود اما لازمه این تفاق این است که انرژی و تکانه<sup>۲</sup> فوتون نور و پلاسمون‌های سطحی یکسان باشند.

از طرف دیگر، این اتفاق برای یک فلز صاف و براق در فرکانس‌های نور مرئی رخ نمی‌دهد. اما ولف نشان داد که شرایط برای فلزاتی که سوراخ‌های بی‌شماری در سطح آنها قرار داد فرق می‌کند. این سوراخ‌ها سبب می‌شود که انرژی و تکانه پلاسمون سطحی به نحوی تغییر کند که با فوتون نور مرئی بتواند اندرکنش کند. تنها کافی است که مکان اندازه سوراخ‌ها را در مقیاس مناسبی انتخاب کنیم تا هنگامی که نوری با طول موج مشخص به فلز می‌تابد پلاسمون‌های سطحی شروع به نوسان کنند [۱]. روی ورقه نازک ابرسن، پلاسمون‌های سطحی انرژی الکترومغناطیسی نور را جمع کرده و آنها را داخل سوراخ‌ها متمرکز می‌کنند. این میدان قوی از خلال سوراخ‌ها به سمت دیگر نفوذ کرده و در آنجا گروه دیگری از موج‌های سطحی را تحریک می‌کنند که این موج‌های سطحی مجدداً انرژی را به نور تبدیل می‌کنند. لذا در نتیجه برخلاف آنچه به نظر می‌رسد نور از خلال فلز گذشته است و نور دوم همان نوری نیست که در سمت اول به فلز برخورد کرده است. ولف برای اطمینان یافتن از صحت نظریه‌اش پس از بررسی و آزمایش‌های بیشتر، سرانجام در سال ۱۹۹۸، یعنی ۹ سال پس از کشف اولیه به همراه ابرسن نتایج را به صورت رسمی به انتشار رساند. دانشمندان از سال ۱۹۰۰ میلادی

---

۱- Peter Wolf

۲- Momentum

پلاسمون‌های سطحی را می‌شناسند ولی تنها در سال‌های اخیر موفق به ایجاد ساختارهایی در ابعاد نانومتر در فلزات شدند که سبب تحریک پلاسمون‌های سطحی با نور می‌شود [۱۶].

## شرح تحقیق و اهداف

در این تحقیق به بررسی میادین انتشاری در موجبرهای پلاسمونیک و تلاش برای بهینه‌سازی خواص آن پرداخته ایم و نیز انتقال نور توسط زنجیره‌ای از نانو ذرات فلزی را مورد بررسی قرار دادیم. در فصل اول، ابتدا به بحث در مورد ابر الکترون‌های آزاد، ثابت‌های دی‌الکتریک و چگونگی استفاده از خواص نوری فلزات و همچنین خصوصیات فلزات واقعی پرداخته ایم. همچنین مقدماتی در مورد پلاسمون‌های سطحی آورده شده است.

در فصل دوم، با استفاده از تقریب الکترواستاتیک، میدان تک ذره را محاسبه نمودیم سپس از دو مدل به بررسی انتشار در زنجیره نانو ذرات استفاده نموده ایم که مدل تقریبی دو قطبی و مدل دقیق دو قطبی اند. سپس روابط حاصل برای قطبیدگی موثر را بدست آورده ایم.

در فصل سوم نیز نتایج حاصل از شبیه‌سازی آورده شده است و نتایج این تحقیق به طور کامل در فصل سوم گنجانده شده است. در این فصل با استفاده از شکل‌های شبیه‌سازی شده توسط نرم افزار، چگونگی انتقال انرژی و کوپلینگ نور ما بین نانو ذرات فلزی نقره که در زنجیره قرار دارند نشان داده شده اند.



# فصل اول

بررسی منابع و پیشینه تحقیق

## مقدمه

ما از روش‌های ماکروسکوپی، برای بیان جذب و انتشار موج الکترومغناطیسی توسط ذرات استفاده می‌کنیم. در اینجا به بیان انتشار نور توسط یک ذره می‌پردازیم که از روش و تئوری الکترومغناطیسی کلاسیک و نور خطی کمک می‌گیریم. برای تمامی سیستم‌ها، فیزیک انتشار تقریباً یکی است. ماده از بارهای الکتریکی گسسته تشکیل یافته است. الکترون‌ها و پروتون‌ها. اگر یک ذره که می‌تواند هر جنسی داشته باشد، در مقابل موج الکترومغناطیسی قرار بگیرد، الکترون‌های ماده توسط میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی شروع به نوسان می‌کند. بارهای الکتریکی شتاب‌دار، انرژی الکترومغناطیسی را در تمام جهات پراکنده می‌کنند. این انتشار ثانویه موجب پراکندگی موج در تمام جهات می‌شود. به علاوه انتشار انرژی الکترومغناطیسی بارهای تحریک شده، ممکن است مقداری از انرژی الکترومغناطیسی ورودی را به فرم‌های دیگر انرژی (نظیر گرما به عنوان مثال) تبدیل کند که این پدیده جذب نام دارد.

جذب و پراکندگی نور دو پدیده مستقیم از هم نیستند و وقتی ما پراکندگی را بیان می‌کنیم همواره جذب را در کنار آن در نظر می‌گیریم. تمامی محیط‌های نوری، به دلیل غیر هموژن بودن محیط، نور را پراکنده می‌کنند. جهت‌های انعکاس و شکست پرتوها توسط قانون آینه‌ها و قانون اسنل<sup>۱</sup> به دست می‌آید، همچنین می‌توانند با استفاده از معادلات ماکسول به دست آیند. همچنین دامنه و فاز پرتوهای شکست یافته و انعکاسی توسط معادلات فرنل<sup>۲</sup> به دست آیند.

نکته دیگر مفهوم پراکندگی در یک ذره با شکل دلخواه است که این ذره در یک محیط محدود می‌باشد حال با اعمال میدان به این ذره تکانه دوقطبی در هر ناحیه به آن القا می‌شود که فرکانس نوسانات این دوقطبی‌ها با فرکانس موج پراکنده شده از ذره برابر با فرکانس میدان اعمالی خواهد بود.

---

۱- Snell

۲- Fresnel

از مبحث پراکندگی نور می‌توان به عنوان مکانیزمی برای قطبی کردن نور استفاده کرد. اگر نور برخوردی به ذره قطبی نباشد، آن‌گاه نور پراکنده شده قطبی خواهد بود ولی قطبیدگی  $100\%$  نخواهد بود. اگر پراکندگی توسط یک ذره معین صورت گیرد قطبی شدگی نور برخوردی کمتر از  $100\%$  خواهد بود.

نانوذرات فلزی در این میان از اهمیت زیادی برخوردارند که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت. از نانوذرات فلزی می‌توان برای هدایت، گسیل، افزایش و تغییر میدان‌های نوری استفاده کرد. برای پراکندگی نور توسط ذرات علاوه بر ابعاد ذرات، طول موج نور برخوردی به ذرات و مقایسه آن با ابعاد ذرات از اهمیت بالایی برخوردار است. این مقایسه به این ترتیب است که ابعاد ذره یا ذرات در مقایسه با طول موج می‌تواند بسیار کوچکتر یا بزرگتر و یا تقریباً یکسان باشند. شرط داشتن نوسانات همدوس و اتفاق افتادن رزونانس پلاسمونی که در نتیجه اندرکنش نور و ماده است، داشتن ذراتی با ابعاد بسیار کوچکتر از طول موج است [۵].

### ۱-۱) معادلات ماکسول

سرچشمه بدست آوردن معادلات ماکسول از روابط زیر ایجاد می‌گردد که قوانین اولیه الکتریسیته و مغناطیس می‌باشند:

$$\nabla \cdot D = \rho \quad \text{قانون کولمب}$$

$$\nabla \times H = J \quad \text{قانون آمپر}$$

$$\nabla \times E + \frac{\partial B}{\partial t} = 0 \quad \text{قانون فارادی}$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad \text{فقدان قطب های آزاد مغناطیسی}$$

(۱-۱)

با جایگذاری روابط و استفاده از برخی روابط معادل می توان معادلات ماکسول ماکروسکوپی را به

فرم آشنا و مشخص بدست آورد:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_{ext} \quad \nabla \cdot \mathbf{H} = \mathbf{J}_{ext} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad \nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0 \quad (2-1)$$

این معادلات چهار پارامتر میدان ماکروسکوپی  $\mathbf{D}$  (چگالی شارژ الکتریکی)،  $\mathbf{E}$  (میدان الکتریکی)،  $\mathbf{H}$  (میدان مغناطیسی) و  $\mathbf{B}$  (چگالی شار مغناطیسی) را به چگالی بار خارجی  $\rho_{ext}$  و چگالی جریان  $\mathbf{J}_{ext}$  خارجی ربط می دهد. چهار میدان ماکروسکوپی ذکر شده را می توان علاوه بر روابط ارائه شده از طریق پلاریزاسیون  $\mathbf{P}$  و مگنتیزاسیون  $\mathbf{M}$  به هم ربط داد.

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (3-1)$$

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - \vec{M} \quad (4-1)$$

$\epsilon_0$  گذردهی الکتریکی و  $\mu_0$  نفوذپذیری مغناطیسی است،  $\mathbf{P}$  دوقطبی الکتریکی در واحد حجم در داخل ماده را نشان می دهد که توسط جهت گیری دوقطبی های میکروسکوپی با میدان الکتریکی ایجاد شده اند.

$\mathbf{P}$  از طریق  $\nabla \cdot \vec{P} = -\rho$  به چگالی بار داخلی مرتبط می شود و از طرف دیگر پایستگی بار به

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

صورت مقابل است:

در ادامه به بررسی روابط حاکم بر پراکندگی نور توسط ذرات، سپس با استفاده از تئوری مای و

بر اساس روابط ماکسول به روابط حاکم بر پراکندگی بصورت جامع می پردازیم.