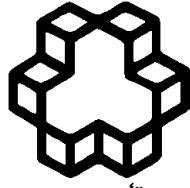


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



تأسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مخابرات

رساله دکترا

بررسی رفتار امواج الکترومغناطیسی در کوه‌های پلاسمونی با استفاده از معادلات انگرالی

استاد راهنما

دکتر محمد صادق ابریشمیان

نگارش

مجید رسولی دیسفانی

اسفند ۱۳۹۰

تقدیم به:

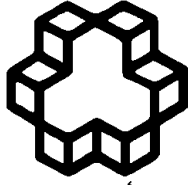
پدر و مادر عزیزم

که در درس زندگی و محبت را به من آموخته‌اند.

همسر عزیزم

که همراهی او امید دهنده و راهگشای لحظات زندگیم بوده

است.



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تاییدیه هیئت داوران

هیئت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان «بررسی امواج الکترومغناطیسی در گوه‌های پلاسمونی با استفاده از معادلات انتگرالی» توسط آقای مجید رسولی دیسفانی، صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه دکتری در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات با رتبه عالی مورد تأیید قرار می‌دهند.

امضاء	سمت	هیات داوران
	استاد راهنما	دکتر ابریشمیان
	استاد داور داخلی	دکتر میرطاهری
	استاد داور داخلی	دکتر گرانپایه
	استاد داور خارجی	دکتر راشد محصل
	استاد داور خارجی	دکتر مروج فرشی
	نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر نکویی

اظهار نامه دانشجو

اینجانب **مجید رسولی دیسفانی** دانشجوی دوره دکتری مهندسی برق گرایش مخابرات دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این رساله با عنوان **بررسی رفتار امواج الکترومغناطیسی در گوه‌های پلاسمونی با استفاده از معادلات انتگرالی** با راهنمایی جناب آقای دکتر محمد صدق ابریشمیان، توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده و در تدوین متن پایان نامه چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

1- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه نسخه برداری از کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

2- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقدیر و تشکر

ستایش خدای راست که پیوند دهنده ستایش به نعمت است و نعمت به ستایش. او را بر نعمتهایش می ستاییم چنانکه بر بلایش، و از او بر نفس خود مدد خواهیم که در آنچه باید کاهل است و بر آنچه نباید عاجل، و خواهان بخشش او هستیم در آنچه علمش آن را در بر گرفته و در کتابش بر شمرده. گواهی می دهیم که پرستش شونده ای جز خدای ما نیست، یکی است بی شریک، و محمد بنده اوست و پیامبرش، که درود خدا بر او و خاندان پاکش باد.^۱

از زحمات دلسوزانه جناب آقای دکتر محمد صادق ابریشمیان که دانشمندانه و با سعه صدر در انجام این رساله صمیمانه مرا راهنمایی کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از پروفیسور Pierre Berini از دانشگاه اتاوا کانادا که از ابتدای پروژه به عنوان مشاور این رساله دکتری با همفکری و راهنمایی های خود و فراهم آوردن امکان استفاده از مرکز تحقیقاتی HPCVL واقع در کشور کانادا در انجام این رساله مرا یاری فرمودند، سپاسگزاری می کنم.

همچنین سپاسگزار پدر و مادر همسر هستم که می دانم نبوده است جز به دعای خیر ایشان، از ابتدای زندگی.

و سپاسگذار تمام دوستانی هستم که به هر گونه مرا یاری نمودند.

چکیده

از خصوصیات مهم ساختارهای پلاسمونی متمرکز کردن نور در ناحیه‌ای بسیار کوچک‌تر از ابعاد طول موج است که موجب شده است تا ساختارهای پلاسمونی به عنوان جایگزینی برای فن‌آوری میکروالکترونیک و فائق آمدن بر محدودیت‌های سرعت و ابعاد مطرح شوند. از پارامترهای مهم در تمرکز پلاسمون‌های سطحی تأثیر لبه‌ها و گوشه‌ها در این ساختارهاست که نقش به‌سزایی در شکل‌گیری مدها و پراکندگی امواج الکترومغناطیسی دارند. با نزدیک شدن به ساختارهای نوک تیز، رفتار تکین در میدان‌های الکترومغناطیسی دیده می‌شود که برای دستیابی به افزونگی بسیار بالای میدان‌های الکترومغناطیسی و کاربردهای گوناگونی نظیر بیوسنسورها، زوناتورها و لیزرها مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این وجود تحقیقات در این زمینه تا به حال محدود به خصوصیات مدی گونه‌های پلاسمونی بوده و در مورد رفتار میدان‌های الکترومغناطیسی در نزدیکی لبه‌های نوک تیز پلاسمونی مطالعه جامعی صورت نگرفته است. در حالی که شناخت دقیق از آن، راه را برای تحقق بیوسنسورهای بسیار حساس، نانوزوناتورها با ضریب کیفیت بسیار بالا و ساختارهایی با قابلیت تمرکز بالای انرژی در ابعاد نانومتری فراهم می‌آورد.

در این رساله از روش معادلات انتگرالی فوق تکین برای بررسی چگونگی رفتار مولفه‌های مماسی میدان‌های الکترومغناطیسی در گونه‌های پلاسمونی استفاده شده است و تأثیر پارامترهایی نظیر طول موج میدان تابشی، زاویه گوه و زاویه تابش مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین بر اساس نتایج حاصل، محدوده اعتبار تئوری Meixner که به عنوان روشی تقریبی برای مطالعه میدان‌های الکترومغناطیسی در گونه‌های دی‌الکتریک استفاده می‌شده است، برای استفاده در ساختارهای پلاسمونی تعیین شده است. نتایج حاصل نشان دهنده معتبر بودن تئوری Meixner تحت شرایط خاصی از زاویه تابش، تلفات ماده و زاویه گوه است.

همچنین بر اساس رفتار امواج الکترومغناطیسی در ساختارهای تکین، ساختاری به شکل قطره اشک از جنس نقره به عنوان بیوسنسور و نانو رزوناتور ارائه شده است که ضریب کیفیت ۳۴۰۰، حساسیت حجمی ۱۹۰۰ نانومتر بر واحد ضریب شکست و ضریب شایستگی ۱۷۰۰ از خصوصیات ساختار پیشنهادی است. ضریب شایستگی بدست آمده در این ساختار، بیش از ۱۰۰ برابر بیشتر از دیگر نانو ساختارهای منفرد پلاسمونی نظیر نانوکره‌ها است.

فهرست مطالب

۷	۱- پلاسمونیک
۷	۱-۱- پلاسمونیک و کاربردهای آن
۱۳	۲- گوه‌های دی‌الکتریک و پلاسمونی
۱۳	۱-۲- مقدمه
۱۵	۲-۲- گوه‌های فلزی و دی‌الکتریک
۱۵	۱-۲-۲- روش Meixner
۲۱	۲-۲-۲- روش تقریب نور فیزیکی
۲۳	۳-۲-۲- معادله‌های انتگرالی تکین (SIE) و فوق تکین (HIE)
۳۴	۴-۲-۲- روش‌های عددی
۳۴	۳-۲- گوه‌های پلاسمونی و متامتریالی
۳۸	۴-۲- تعریف مساله
۴۰	۳- رفتار امواج الکترومغناطیسی در گوه‌های پلاسمونی
۴۰	۱-۳- مقدمه
۴۱	۲-۳- پراکندگی از استوانه دی‌الکتریک
۴۴	۳-۳- پراکندگی از گوه دی‌الکتریک به روش HIE
۴۷	۴-۳- رفتار امواج الکترومغناطیسی در گوه‌های پلاسمونی
۴۸	۱-۴-۳- محاسبه ضریب واگرایی در گوه‌های پلاسمونی به روش HIE
۵۰	۲-۴-۳- تاثیر تلفات بر رفتار امواج الکترومغناطیسی در گوه‌های پلاسمونی
۵۱	۳-۴-۳- رفتار میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی نزدیک به نوک گوه

- ۳-۴-۴- تاثیر زاویه گوه بر رفتار امواج الکترومغناطیسی در گوه های پلاسمونی ۵۴
- ۳-۴-۵- تاثیر زاویه تابش بر رفتار امواج الکترومغناطیسی در گوه های پلاسمونی ۵۵
- ۳-۴-۶- بررسی دقت روش Meixner در تعیین رفتار میدان های الکترومغناطیسی در گوه های پلاسمونی ۵۶
- ۳-۵-۵- ارائه ساختار به شکل قطره اشک پلاسمونی به عنوان تشدیدگر و بیوحسگر ۵۹
- ۳-۵-۱- خصوصیات تشدید ساختار قطره اشک پلاسمونی ۵۹
- ۳-۵-۲- خصوصیات تشدید ساختار قطره اشکی پلاسمونی ۶۳
- ۳-۵-۳- کاربرد ساختار قطره اشک پلاسمونی به عنوان بیوحسگر ۶۶
- ۴- نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۰
- ۴-۱- مقالات منتشر شده ۷۱
- ۵- مراجع ۷۴
- واژه نامه فارسی به انگلیسی ۸۰
- واژه نامه انگلیسی به فارسی ۸۱
- اختصارات ۸۲

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- ساختار گوه دی‌الکتریکی با شرایط مرزی دیوار الکتریکی و مغناطیسی [87] ۱۶
- شکل ۲-۲- گوه دی‌الکتریک مورد بررسی توسط MEIXNER [86] ۱۷
- شکل ۳-۲- رفتار میدان‌های الکترومغناطیسی نزدیک نوک گوه فلزی و دی‌الکتریک. N زاویه گوه است و ضریب گذردهی الکتریکی بیشترین مقدار ممکن فرض شده است [87] ۲۰
- شکل ۴-۲- ساختار یک گوه دی‌الکتریک با زاویه θ_d که تحت تابش موج با زاویه θ_i قرار گرفته است [90] ۲۲
- شکل ۵-۲- زاویه انتشار و ضریب‌های بارتاب فرنل بعد از بازتاب‌های متوالی درون گوه [90] ۲۲
- شکل ۶-۲- ساختار یک سطح دی‌الکتریک قرار گرفته بر روی یک نیم صفحه دی‌الکتریک [99] ۲۴
- شکل ۷-۲- سطح مقطع استوانه در محیط‌های مختلف [100] ۲۴
- شکل ۸-۲- سطح مقطع گوه [103] ۲۵
- شکل ۹-۲- سطح مقطع راداری شکل ۸-۲ بدست آمده به روش‌های SIE و HIE [103] ۳۱
- شکل ۱۰-۲- دامنه میدان E_ϕ مد TM در روش‌های SIE و HIE [103] ۳۲
- شکل ۱۱-۲- وابستگی دامنه میدان E_ϕ به زاویه گوه در مد TM به روش HIE [103] ۳۲
- شکل ۱۲-۲- دامنه شرط مرزی محاسبه شده به روش‌های SIE و HIE [105] ۳۳
- شکل ۱۳-۲- مقایسه مولفه‌های میدان الکتریکی محاسبه شده به روش‌های SIE و HIE [105] ۳۳
- شکل ۱۴-۲- سطح مقطع گوه تمام‌اده‌ای تحریک شده با خط جریان [110] ۳۵
- شکل ۱۵-۲- موجبرهای پلاسمونی W شکل (الف) و ۴ مد مختلف آن (ب) [13] ۳۶
- شکل ۱-۳- مقایسه سطح مقطع راداری استوانه دی‌الکتریک دایروی به شعاع $a = \lambda$ و مشخصات $\epsilon_r = 8$ و $\mu_r = 2$ بدست آمده به روش‌های معادله‌های انتگرالی تکین SIE و فوق تکین HIE و تحلیلی. طول موج میدان تابشی λ ، قطبش آن TE و TM و زاویه تابش $\phi_{inc} = 180^\circ$ فرض شده است. ۴۲
- شکل ۲-۳- دامنه تابع مرزی بدست آمده به روش HIE بر روی مرز استوانه دی‌الکتریک دایروی به شعاع $a = \lambda$ و مشخصات $\epsilon_r = 8$ و $\mu_r = 2$ و هوا. طول موج میدان تابشی λ ، قطبش آن TE و TM و زاویه تابش $\phi_{inc} = 180^\circ$ فرض شده است. ۴۲

- شکل ۳-۳- دامنه میدان‌های پراکنده شده E_z و H_ϕ از استوانه دی‌الکتریک دایروی با مشخصات $a = \lambda$ ، $\epsilon_r = 4$ و $\mu_r = 1$. طول موج میدان تابشی λ ، قطبش آن TE و TM و زاویه تابش $\phi_{inc} = 180^\circ$ فرض شده است. ۴۳
- شکل ۴-۳- مقایسه سطح مقطع راداری استوانه دی‌الکتریک دایروی بر حسب اندازه کوچکترین تکه $\Delta\phi$. مشخصات استوانه $a = \lambda$ ، $\epsilon_r = 4$ و $\mu_r = 1$ و قطبش تحریک TE_z ۴۴
- شکل ۵-۳- دامنه E_z پراکنده شده از استوانه دی‌الکتریک دایروی بر حسب اندازه کوچکترین تکه $\Delta\phi$. مشخصات استوانه $a = \lambda$ ، $\epsilon_r = 4$ و $\mu_r = 1$ و قطبش تحریک TE_z ۴۴
- شکل ۶-۳- سطح مقطع گوه دی‌الکتریک ۴۵
- شکل ۷-۳- سطح مقطع راداری گوه دی‌الکتریک شکل ۶-۳ به ازای میدان تابشی با طول موج λ ، قطبش TM و زاویه تابش $\phi_{inc} = 60^\circ$. مشخصات گوه $\beta = 90^\circ$ ، $a = \lambda$ ، $\epsilon_r = 10$ و $\mu_r = 1$ ۴۵
- شکل ۸-۳- تغییرات اندازه E^p پراکنده شده در راستای محور X ($\phi = 0^\circ$) و محور Y ($\phi = 90^\circ$) بر حسب ϵ_r در فاصله $10^{-1} \lambda - 10^{-6}$ از نوک گوه. مشخصات گوه $\beta = 90^\circ$ ، $a = \lambda$ ، $\epsilon_r = 10$ و $\mu_r = 1$ ۴۶
- شکل ۹-۳- تغییرات اندازه E^ϕ پراکنده در راستای محور X ($\phi = 0^\circ$) بر حسب β در فاصله $10^{-1} \lambda - 10^{-6}$ از نوک گوه. مشخصات گوه $\beta = 90^\circ$ ، $a = \lambda$ ، $\epsilon_r = 5$ و $\mu_r = 1$ ۴۶
- شکل ۱۰-۳- سطح مقطع گوه پلاسمونی ۴۷
- شکل ۱۱-۳- تغییرات ضریب دی‌الکتریک نقره و سیلیکا ۴۷
- شکل ۱۲-۳- ضریب واگرایی میدان‌های الکترومغناطیسی در گوه پلاسمونی بر حسب طول موج و زاویه گوه ۵۰
- شکل ۱۳-۳- ضریب واگرایی میدان‌الکتریکی در گوه پلاسمونی تلف‌دار و بدون تلف ۵۱
- شکل ۱۴-۳- دامنه میدان مغناطیسی پراکنده شده در گوه پلاسمونی با زاویه 60° درجه ۵۲
- شکل ۱۵-۳- دامنه میدان‌الکتریکی پراکنده شده در گوه پلاسمونی با زاویه 60° درجه ۵۳
- شکل ۱۶-۳- دامنه میدان‌الکتریکی پراکنده شده در گوه پلاسمونی با زاویه 60° درجه E^{scat} ۵۴
- شکل ۱۷-۳- گوه فلزی تلف‌دار با زاویه‌های 30° ، 60° و 90° درجه در طول موج‌های 500 و 1000 نانومتر E^{scat} ۵۵
- شکل ۱۸-۳- در طول موج 1200 نانومتر بر حسب زاویه‌های تابش E^{scat} ۵۶
- شکل ۱۹-۳- ضریب واگرایی بدست آمده به روش MEIXNER و HIE ۵۸
- شکل ۲۰-۳- ضریب واگرایی گوه پلاسمونی تلف‌دار و بدون تلف بدست آمده به روش MEIXNER و HIE ۵۸

- شکل ۳-۲۱- سطح مقطع TEARDROP فلزی احاطه شده با دی‌الکتریک که تحت تابشی موج صفحه‌ای با قطبش TM و زاویه تابش ϕ_{INC} قرار گرفته است. ۶۰
- شکل ۳-۲۲- سطح مقطع پراکندگی ساختار قطره اشکی از جنس طلا در خلا (قرمز) و در آب (آبی). سطح مقطع راداری در آب در ضریب ۰/۵ ضرب شده است. ۶۱
- شکل ۳-۲۳- سطح مقطع پراکندگی ساختار نزدیکی طول موج‌های تشدید ساختار ۶۲
- شکل ۳-۲۴- میدان الکتریکی پراکنده شده E_y^{scat} و E^{scat} نرمالیزه شده به E_0 در اولین مد تشدید (طول موج ۲۰۳۹/۲ نانومتر) (الف) و (ب) توزیع لگاریتمی و (ج) و (د) توزیع خطی و در دومین مد تشدید تشدید (طول موج ۱۱۲۶/۶ نانومتر) (ه) و (و) توزیع لگاریتمی و (ز) و (ح) توزیع خطی ۶۴
- شکل ۳-۲۴- سطح مقطع راداری ساختار (میکرومتر) در طول موج‌های تشدید الف) ۲۰۳۹/۲ نانومتر، ب) ۱۱۲۶/۶ نانومتر، ج) ۷۹۰/۷ نانومتر و د) ۶۱۷/۴ نانومتر. زاویه تابش ۹۰ درجه است و سطح مقطع راداری در طول موج‌های کناری با فاصله تشدید ± 1 و ± 10 نانومتر از طول موج‌های تشدید نشان داده شده است. ۶۵
- شکل ۳-۲۵- سطح مقطع راداری مونواستاتیک قطره اشک در آب نزدیکی طول موج‌های تشدید ۶۷

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۳ - $FWHM$ و ضریب کیفیت تشدید ساختار ۶۲

جدول ۲-۳ - $FWHM$ ، ضریب کیفیت، حساسیت حجمی و FOM در طول موج‌های تشدید قطره اشک پلاسمونی در آب

..... ۶۹

۱- پلاسمونیک

۱-۱- پلاسمونیک و کاربردهای آن

در سال‌های اخیر پلاسمون‌های سطحی و کاربردهای نوین آنها در نانو فن‌آوری حجم زیادی از تحقیقات را به خود اختصاص داده‌اند. در حالی که میکروالکترونیک مدرن از نظر سرعت و روش‌های پردازش اطلاعات به مرز خود رسیده است و ایجاد تحول اساسی در آن نظیر افزایش سرعت و کاهش ابعاد مدارها با فن‌آوری به کار رفته در آنها امکان‌پذیر نیست، پلاسمون‌های سطحی بهترین گزینه ممکن در مجتمع‌سازی مدارها هستند. از جمله خصوصیات مهم ساختارهای پلاسمونی، متمرکز کردن امواج الکترومغناطیسی در ناحیه‌ای بسیار کوچکتر نسبت به طول موج است که حد تفرق نامیده می‌شود و با به کارگیری ساختارهای پلاسمونی امکان کوچک کردن مدارها و پیاده‌سازی قطعات کاملاً نوری فراهم می‌آید. [1]

نانوذرات فلزی نقشی کلیدی را در تحولات فناوری اخیر ایفا کرده‌اند و امکان گذر از حد تفرق و به کارگیری ساختارهای نانومتری در زمینه‌های مختلف را فراهم کرده‌اند. [2][26]- از مهم‌ترین فلزات مورد استفاده در ساخت نانوذرات فلزی می‌توان به طلا و نقره اشاره کرد که خواص نوری این فلزات

خنثی^۱ توسط الکترون‌های باند هدایت^۲ آنها تعیین می‌شود. در واقع تعامل میان نور و نانوذرات فلزی توسط دو خصوصیت تشدید پلاسمون‌های سطحی متمرکز و یا نوسان چگالی بارهای آزاد بر روی سطوح بسته توجیه می‌شوند. [27]

از جمله عوامل محرک در توسعه تحقیقات در نانوساختارهای پلاسمونی می‌توان به سه عامل توسعه روش‌های لیتوگرافی و شیمیایی و امکان ساخت ادوات نانومتری پیچیده، پیشرفت فناوری‌های اندازه‌گیری و ارائه روش‌های تحلیل، مدل‌سازی و شبیه‌سازی پیشرفته برای شناخت دقیق خصوصیات فیزیکی ساختارهای نانومتری اشاره نمود که در سیر تحولات چند سال اخیر این فناوری نقش قابل توجهی را ایفا کرده‌اند.

پلاسمون‌های سطحی از اوایل سده گذشته برای دانشمندان شناخته شده بود اما در سال‌های اخیر توانایی ساخت ساختارهای در ابعاد نانومتر در فلزات میسر شده است. [۳] در این ساختارها پلاسمون‌های سطحی با نور تحریک می‌شوند و در فصل مشترک فلز و عایق در ابعاد نانو متری، خواص نوری متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. [28] این ساختارها خواص نوری متفاوت با مواد موجود در طبیعت نظیر ضریب شکست منفی از خود نشان می‌دهند که در کاربردهای گوناگون نظیر لنزهای با قدرت تمرکز بالا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. [22]

علاوه بر موجبرهای پلاسمون سطحی که قابلیت انتقال انرژی از طریق کوپلینگ پلاسمونهای سطحی و تمرکز نور در زیر حد تفرق را دارا هستند [6][8]-، ساختارهای تناوبی موجبری نیز به عنوان روشی برای تحقق ساختارهایی با ضریب شکست زیاد در ایجاد کوپلینگ پلاسمونهای سطحی مطرح

^۱ Noble metals

^۲ Conduction band

شده‌اند. [1][5]- همچنین پلاسمون‌های سطحی در ساختارهای از جنس ورق‌های نازک فلزی به عنوان موجبر استفاده شده‌اند. [10]-[9]

پلاسمون‌های سطحی متمرکز توانایی پراکندگی، جذب و تمرکز نور در ابعاد نانومتری را دارا هستند و از این پدیده در دستیابی به افزونگی^۱ بالای میدان‌های الکترومغناطیسی در ساختارهای نامتری و میکرومتری استفاده می‌شود. دیگر کاربردهای مرتبط به نانو ساختارها می‌توان به تمرکز میدان و پلاسمون‌ها برای کاربردهای پزشکی، افزایش قدرت سیگنال و تفکیک‌پذیری^۲ در میکروسکوپ‌های نوری میدان نزدیک و کنترل انتقال و سویچینگ سیگنال‌های نوری اشاره کرد. [25]

نانوذرات و نانوساختارهای فلزی در سال‌های اخیر به دلیل توانایی آنها در تمرکز انرژی در ابعاد زیر طول موج مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. برهم‌کنش نور و نانوساختارهای فلزی تحت تاثیر پلاسمون‌های متمرکز سطحی و بارهای سطحی روی سطح ساختار قرار دارد. [27][28]- این خصوصیت جالب نانوذرات و نانوساختارهای فلزی در کاربردهای متنوعی نظیر biosensorها [29]- [35] و میکرو و نانو تشدیدگرها [36] [45]- مورد استفاده قرار گرفته است که کاربرد آنها بر اساس شکل و ابعاد ساختار و محیط پیرامونی آن تعیین می‌شود. بر همین اساس شکل‌های هندسی متفاوت از استوانه‌ها [46][49]-، حلقه‌ها^۳ [42][44]، هسته‌ها^۴ [50][52]- و دیسک‌ها^۵ [37][38]- تا ساختارهای نوک تیز نظیر مکعب‌ها^۶ [53]، ستاره‌ها^۱ [54] و گوه‌ها^۲ [55][56]- مورد بررسی قرار

^۱ Enhancement

^۲ Resolution

^۳ Rings

^۴ Cores

^۵ Disks

^۶ Cubes

گرفته‌اند. در تمامی ساختارهای مورد اشاره فوق، تشدید پلاسمون‌ها به طور مستقیم توسط توپولوژی و ابعاد ساختار تعییت می‌شود. در حالی که کنترل بر روی خصوصیات تشدید و تغییرات در خصوصیات پراکندگی ساختارهای پلاسمونی به دلیل تشدید فانو^۳ می‌تواند در کاربردهای گوناگونی مورد توجه قرار گیرد. [57]-[63] تشدید فانو نتیجه تداخل سازنده یا مخرب میان یک تشدید تیز و یک تشدید پهن و یا مدهای مختلف ساختار است. [64][65]- این پدیده موجب می‌شود تا بتوان تشدیدهای پلاسمونی بسیار تیز را ایجاد نمود و به تشدیدگرهایی با ضریب کیفیت بسیار بالا دست یافت. [57][62],

در حالی که پلاسمون‌های سطحی برای کاربردهای بسیاری نظیر بیوحسگرها، موجبرها، تمرکز میدان‌های الکترومغناطیسی در ابعاد کوچک و مدارهای نوری مورد توجه قرار گرفته‌اند، اما همچنان نحوه انتشار پلاسمون‌های سطحی در ساختارهای تکین که دارای لیه‌های نوک تیز هستند، یک چالش اساسی به حساب می‌آید. روش‌های تئوری و آزمایشگاهی متنوعی برای تحقق تمرکز میدان‌های الکترومغناطیسی و پلاسمون‌های سطحی در ابعاد کمتر از طول موج ارائه شده‌اند که از این میان ساختارهای تکین که توانایی پشتیبانی از مدهای پلاسمونی سطحی متمرکز^۴ را دارند بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در چند سال اخیر رویکرد تحلیل ساختارهای تکین^۵ به کارگیری روش‌های عددی بوده است. در حالی که با توجه به روش‌های عددی در مدل‌سازی ساختارهای نوک تیز و خصوصیات آنها دارای محدودیت‌هایی نظیر پایداری محاسبات در بررسی میدان‌های الکترومغناطیسی در فواصل نزدیک به نوک هستند و کسب اطلاعات از نحوه انتشار و تمرکز پلاسمون‌های سطحی و توجیه

Stars ^۱

Wedges ^۲

Fano Resonance ^۳

Localized surface plasmon modes ^۴

Singular ^۵

پدیده‌های فیزیکی مشاهده شده در آزمایش‌ها به تنهایی با استفاده از روش‌های عددی میسر نبوده است و دانشمندان به کارگیری روشهای تئوری در کنار روش‌های عملی را لازمه توسعه استفاده از ساختارهای تکین در کاربردهایی نظیر بیوحسگرها و لنزها دانسته‌اند. برای مثال با استفاده از روشهای تئوری نشان داده شده است که علت تمرکز میدان در برخی ساختارهای نوک تیز کاهش سرعت پلاسمون‌های انتشاری با نزدیک شدن به نوک تیز است [24] در حالی که کسب چنین اطلاعاتی از ساختار با استفاده از روش‌های عددی امکان‌پذیر نیست.

۲- کوه‌های دی الکتریک و پلاسمونی

۲-۱- مقدمه

یکی از پارامترهای مهم در تمرکز پلاسمون‌های سطحی تاثیر لبه‌ها و گوشه‌ها در کوچک سازی و مجتمع سازی ادوات نوری است [12]. در ساختارهای پلاسمونی نیز همانند ساختارهای دی الکتریکی و فلزی، لبه‌ها و گوشه‌های نوک تیز تاثیر به سزایی در شکل گیری مدها و پراکندگی امواج الکترومغناطیسی دارند. این موضوع در تحلیل مدهای پلاسمون سطحی در موجبرهای مستطیلی فلزی [12][13]، مدهای پلاسمونی در چاه‌های W شکل [13] موجبرهای مجتمع دی الکتریکی و پلاسمونی [14]، بازتاب کننده‌های لایه‌ای پلاسمونی و مجتمع سازی ساختارهای نوری [15] بسیار مورد توجه بوده است. ضمن آن که در بسیاری از مقالات منتشر شده، با فرض بی نهایت بودن ابعاد ساختارها، عملاً از بررسی تاثیر گوشه‌های نوک تیز صرف نظر شده است درحالی که این فرض‌ها در پیاده سازی و آزمایشات این گونه‌ها فرض‌ها قابل قبول نبوده و تحلیل تاثیر گوشه‌های نوک تیز و لبه‌ها اجتناب ناپذیر است.