بسم الله الرحمن الرحيم

١٠٧٥٥٠

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده‌ی علوم- بخش فیزیک

پایان‌نامه‌ی تحصیلی برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد فوتونیک

طراحی و مدل‌سازی حسگر بیوشیمیایی تمام نوری بر اساس حفره‌ی *CRR*

اساتید راهنما:

دکتر مجید تراز

دکتر رضا فرهی‌مقدم

مؤلف :

سحر فیلی

۱۳۸۷ /۹/ ۲۳

اسفند ۱۳۸۶

۱۰۷۵۵۰

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

بخش فیزیک

دانشکده علوم

دانشگاه شهید باهنرکرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: سحرفیلی

استاد راهنما: ۱- دکترمجیدتراز

۲- دکتررضا فرهی مقدم

داور۱: دکترحبیب تجلی سیفی

داور۲: دکترعلیرضا بهرامپور

دکترمحمدآقا بلوریزاده

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکترمحمدحسین زندی

۱۳۸۷ /۹/ ۲۳

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مولف است.

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به:

گرامی اساتید گرانقدرم، آموزگاران علم و اخلاق،

آقایان، دکتر مجید تراز و دکتر رضا فرّهی‌مقدم.

سفر، مرا به سرزمین‌های استوایی برد

و زیر آن بانیان سبز تنومند،

چه خوب یادم هست عبارتی را که به ییلاق ذهنم وارد شد:

وسیع باش ....

تنها و سربه‌زیر....

و سخت.

تشکر و قدردانی:

آنک در میان هلهله‌های دست‌افشان، شکرریز و عودسوز، شکرگزار آن وجود لامتناهی‌ام که اگر یاری‌های آسمانی او نبود، پس‌کوچه‌نشین پیچ و خم‌های سردرگمی و ناکامی مانده بودم.

واژه واژه‌ی این اوراق را خاک‌نشین پای عزیزانی می‌کنم که دستهاشان را در تفّ خورشید زندگی، سایه‌سار، مرحمتم کردند و روایت بازپسین ستایش من، نظرکنان پی خجستگی روزهای همه‌ی بزرگوارانی که در به سرانجام رسیدن این تلاش نیز، مرا چونان گذشته شرمسار گره‌گشایی‌های خود کردند.

چکیده

در این پایان‌نامه جهت داشتن حسگر بیوشیمیایی با قدرت حسگری بالا و همچنین قابلیت آشکارسازی بهتر، به بررسی حفره‌ی میکروحلقه‌های مزدوج بازتابنده(*CRR*) همراه با حفره‌ی فابری-پرو پرداخته شده‌است. در این راستا ضریب‌کیفیت حفره‌ی *CRR* محاسبه گردیده است و با بررسی عوامل تأثیرگذار بر آن، به بهینه‌سازی ضریب‌کیفیت (به عنوان یکی از عوامل مهم مؤثر بر حساسیت حسگر) اقدام شده است. سپس برای داشتن آستانه کلیدزنی بالا حفره‌ی مذکور، به یک حفره‌ی فابری-پرو، جفت شده است. مقایسه‌ی شکل خط تابع انتقالی انعکاسی حفره‌ی ساده و شکل خط فانوای تابع انتقالی انعکاسی سیستم جفت‌شده، بیانگر دست‌یابی به حسگری با حساسیت بالا می‌باشد. نحوه‌ی تأثیر ضریب انعکاس آینه‌های موجود در حفره‌ی فابری-پرو، بر حساسیت حسگر آخرین مطلبی است که بدان توجه شده است.

فهرست مطالب

مباحث	صفحه
۱. مقدمه	
۲. (۱-۱) علم نورشناخت از گذشته تا به امروز	۱
۳. (۱-۲) نگره‌های مختلف علم نورشناخت	۵
۴. (۱-۳) آنچه در این پایان‌نامه می‌خوانیم	۹
۲. میکروحفره‌ها وتئوری فانو	
۳. (۲-۱)میکروحلقه‌ها	۱۱
۴. (۲-۱-۱) فاکتور انبارش میدان	۱۵
۵. (۲-۱-۱) پهنای باند میکروحلقه	۱۶
۶. (۲-۱-۲) ضریب ظرافت حفره	۱۷
۷. (۲-۱-۳) طول عمر حفره	۱۷
۸. (۲-۱-۴) ضریب کیفیت حفره	۱۸
۹. (۲-۱-۵) کلیدزنی در میکروحلقه	۱۹
۱۰. (۲-۲) حسگرهای بیوشیمیایی	۲۲
۱۱. (۲-۲-۱) میدان‌های محوشونده	۲۳
۱۲. (۲-۲-۲) مدهای WGM	۲۶
۱۳. (۲-۲-۳) موجبرهای بیوحسگری	۲۹
۱۴. (۲-۳) تئوری فانو	۳۱
۳. تحلیل و بررسی میکروحلقه‌های مزدوج بازتابنده(CRR)	
۱۵. (۳-۱) طرح پیشنهادی برای حسگرهای بیوشیمیایی	۳۸
۱۶. (۳-۲) ماتریس پراکندگی	۴۲
۱۷. (۳-۳) بررسی حفره‌ی پیشنهادی	۴۶

۴. تشدیدکننده‌های فانو و بهینه‌سازی حسگر

۱۸. (۴-۱)کاربرد حسگرهای بیوشیمیایی ۶۲
۱۹. (۴-۲) تشدیدگرهای فانو ۶۴
۲۰. (۴-۳) بررسی حفره‌ی فانوی شامل میکروحلقه‌های بازتابنده ۶۹

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

۲۱. (۵-۱) نتیجه‌گیری ۷۷
۲۲. (۵-۲)پیشنهادات ۷۸

۶. مراجع

۲۳. مراجع ۸۱

فصل اول

مقدمه

مقدمه:

(۱-۱)علم نورشناخت از گذشته تا به امروز

برای آگاهی از آنچه بر علم نورشناخت گذشته است، می‌توان دیرینه‌ی این علم را در غالب چند بخش از نظر گذراند.

۱. نور در زمان باستان:

نور علمی است که می‌توان شروع آشنایی با آن را به دوره‌ی باستان نسبت داد. از تصور درستی که بابلی‌ها از چگونگی پیدایش خسوف و کسوف داشتند، چنان بر می‌آید که ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد از مستقیم‌الخط بودن سیر نور آگاه بوده‌اند. از به کار بردن طول سایه‌ی هرم‌ها برای اندازه‌گیری ارتفاع آفتاب توسط مصری‌ها چنین استنباط می‌شود که آن‌ها نیز از مستقیم‌الخط بودن سیر نور اطلاع داشته‌اند.

فیثاغورث(۵۱۰-۵۲۸ ق.م)، افلاطون(۳۴۸-۴۲۸ ق.م)، ارسطو(۳۲۲-۳۸۴ ق.م)، اقلیدس(۳۰۰ق.م)، ارشمیدس(۲۱۲-۲۸۸ ق.م)، هرون(قرن دوم ق.م) و بطلمیوس(قرن دوم ق.م در اسکندریه) از جمله یونانیانی بوده‌اند که درباره‌ی پدیده‌ی رویت، بازتاب نور و پیدایش تصاویر نظریاتی نگاشته‌اند. نظریه‌ی معروف به نظریه‌ی افلاطونی، علت بینایی را چنین بیان می‌کند که چشم اشعه‌هایی به خارج می‌فرستد که به اجسام برخورد می‌کنند و در اثر تصادم با آن‌ها، چشم را متأثر می‌کنند؛ چون این اشعه‌ها در مسافت‌های زیاد از هم دور می‌شوند، اجسام دور را خوب نمی‌توان دید. این عقیده تا قرن هفدهم میلادی در اروپا مورد قبول بود.

در باره‌ی کیفیت انتشار نور در اجسام، ارسطو به وجود ماده‌ای به نام اتر معتقد بود. وی می‌گفت اتر در فاصله‌ی بین اجسام در فضا موجود است و به‌وسیله‌ی ارتعاشات آن نور انتقال می‌یابد. این

نظریه‌ی فعالیت یک محیط در انتشار نور مسکوت ماند و نظریه‌ی افلاطون حکم‌فرما بود تا در قرن هفدهم هوک برای تفسیر پدیده‌ی پراش نور، فرض امواج نورانی را از نو به میان آورد.

هرون در قرن دوم میلادی پیمایش کمترین راه به‌وسیله‌ی پرتوی نورانی را تحت نام اصل کمترین تلاش ارائه داد؛ چنین اصلی در قرن هفدهم دگر بار توسط فرما[1] نیز بیان شد.

۲. قرون وسطی:

در ایران فارابی در قرن سوم هجری کتابی درباره‌ی علم مناظر نوشته است و احتمالاً پایه‌گذار علم پرسپکتیو می‌باشد. نظریه‌ی افلاطون درباره‌ی پدیده‌ی رویت همچنان متداول بود تا در قرن پنجم ابن‌هیثم آن‌را رد کرد. وی نظریه‌ی صحیح انتشار نور را در کتاب المناظر خود ارائه داد. در این کتاب وی بیان می‌کند که نقاط هر جسمی پرتوهایی به خارج می‌فرستد که به خط مستقیم انتشار می‌یابند و هنگامی‌که به چشم می‌رسند به‌وسیله‌ی جلیدیه تصویر جسم را تشکیل می‌دهند. ابن‌هیثم زوایای شکست نور را در هوا و آب و شیشه اندازه‌گیری کرده و منطبق بودن سطح تابش و سطح شکست نور را بیان می‌کند.

۳. قرن هفدهم میلادی:

تا قرن شانزدهم میلادی ترقی عمده‌ای که در علم نور به‌عمل آمد، ساختن عدسی‌های مختلف توسط هلندی‌ها بود. کپلر[2] در سال ۱۶۱۱ میلادی دستورهایی درباره‌ی دوربین‌هایی که دارای بیش از دو عدسی باشند نوشت. در اوایل قرن هفدهم میلادی یک هلندی به نام سینلیوس[3] شکست نور را شرح داد که دکارت[4] چند سال بعد نیز این قانون را از راه دیگری بیان کرد. فرما قانون شکست دکارت را از راه اصل کمترین تلاش فیلسوف یونانی- هرون- پیدا کرد و در آن به‌جای کمترین تلاش کمترین زمان را به‌کار برد.

نیمه‌ی دوم قرن هفدهم را می‌توان دوره‌ی نیوتن[5] و هویگنز[6] نام گذاشت. در سال ۱۶۵۰ کشیش ایتالیایی گریمالدی[7]، مشاهده کرد که نور می‌تواند موانع را تا اندازه‌ای دور بزند؛ اما چون هنوز تحت تأثیر عقاید قدیم درباره‌ی ماهیت نور بود، نتوانست این پدیده را تفسیر کند.

---

[1] Fermat
[2] Kepler
[3] Snelliues
[4] Descartes
[5] Newton
[6] Huygens
[7] Grimaldi

هوک[1] در سال ۱۶۶۷ میلادی در انگلستان در کتاب خود برای تفسیر تجربه‌ی گریمالدی، فرض عرضی بودن ارتعاشات نوری را پیشنهاد کرد. اما پیشنهاد وی رونقی نگرفت و مسکوت ماند. در آن زمان نیوتون با اینکه پیش از آن چند آزمایش برای حل مشکل موجی بودن یا ذره‌ای بودن نور پیشنهاد کرده بود، شخصاً معتقد به فرضیه‌ی ذره‌ای بودن نور بود. فرضیه‌ی مورد قبول نیوتون تا صد سال بعد از او رواج داشت. از کشف‌های مهم دیگری که در این دوره صورت گرفت، کشف متناهی بودن سرعت نور توسط رومر[2] دانمارکی بود.

در این دوره کار مهمی که هویگنز انجام داد، این بود که با فرض امواج ثانویه، موجی بودن نور را پایه‌گذاری کرد و پدیده‌های بازتاب، شکست نور ومستقیم‌الخط بودن پرتوهای نورانی را با فرض موجی بودن نور، تفسیر نمود.

۴. قرن هجدهم میلادی:

در قرن هجدهم ترقی محسوسی در علم نور به‌عمل نیامد، تنها برادلی[3] انگلیسی بیراهی نجومی را کشف کرد و از این‌رو توانست از راه تازه‌ای سرعت نور را اندازه‌گیری کند.

۵. قرن نوزدهم میلادی:

اوایل قرن نوزدهم را می‌توان دوره‌ی فرنل[4] نام نهاد. نام وی بزرگ‌ترین نام قرن نوزدهم در اپتیک است. فرنل پدیده‌ی پلاریزاسیون نور که توسط مالوس[5] فرانسوی کشف شده بود، را با فرض عرضی بودن ارتعاشات نورانی که هوک پیشنهاد کرده بود، تفسیر کرد و نظریه‌ی ریاضی شکست دوگانه را تدوین نمود. در این قرن یک پزشک انگلیسی به نام یانگ[6] توانست حلقه‌های نیوتون را با فرض موجی بودن نور و تداخل امواج تفسیر کند و تجربه‌ی دو روزنه، که به‌اسم او شناخته شده است، را ارائه دهد. این تجربه به وضوح تداخل امواج را نشان می‌دهد. وی پراش نور را نتیجه‌ی خمش و بازتابش نور به‌وسیله‌ی لبه‌های مانع دانست. در این دوره کشفیات دیگری نیز در اپتیک توسط چند دانشمند دیگر صورت گرفت.

---

[1] Hook
[2] Romer
[3] Bradley
[4] Fresnel
[5] Malus
[6] Young

در نتیجه‌ی این کشفیات، در سال ۱۸۶۴ ماکسول[1]، نظریه‌ی الکترومغناطیس نـور را وارد کـرد. به‌زودی صحت نتایج آن، به‌وسیله‌ی آزمایش‌های متعدد تحقیق شد. بیست و سه سـال بعـد از وارد شـدن نظریـه‌ی ماکـسول، ایجـاد امـواج الکترمغنـاطیس توسـط هرتـز[2] صـورت گرفـت و صـحت پیش‌بینی‌های آن نظریه را نیز به اثبات رسانید. در اواخر این قرن بود که لورنتز[3] نظریه‌ی الکترونـی ماده را تدوین نمود.

۶. قرن بیستم:

در اوایل قرن بیستم، پرتوهای X ، گاما، اثر فوتوالکتریک، اثر کامپتون و اثر رامان عقاید جدیـدی در نظریه‌ی نور پدید آوردند، زیرا نظریه‌ی ماکسول برای تفسیر آنها کافی نبـود؛ در نتیجـه نظریـه‌ی کوانتا به‌وسیله‌ی پلانک[4]، بوهر[5] و اینیشتین[6] تدوین شد. نظریه به‌گونه‌ای که در ابتدا بیـان مـی‌شـد، نتوانست پدیده‌های دقیق نور را تفسیر کند و نظریـه‌ی جدیـدتری بـه‌نـام مکانیـک مـوجی[7] توسـط دوبروی[8] و شرودینگر[9] درباره‌ی موجی بودن ماده بیان گردید که بسیاری از پدیده‌هـای تـازه کـشف شده را، به‌طور دقیق‌تری تفسیر می‌نمود.

با مروری که بر گذشته‌ی علم اپتیک شد می‌توان به وجود چهار دیـدگاه متفـاوت در نگـرش بـه این علم، پی برد.

---

[1] Maxwell
[2] Hertz
[3] Lorentz
[4] Planck
[5] Bohr
[6] Einstein
[7] Mecanique Ondulatoire
[8] De Broglie
[9] Schrodinger

(۱-۲)نگره‌های مختلف علم نورشناخت

۱. نگره‌ی ذره‌ای بودن نور:

در این نگره فرض می‌شود که نور، عبارت از ذرات ریزی است که چشمه‌ی نورانی بیرون می‌فرستد و هنگامی‌که این ذرات ریز از مایعات و بافت‌های چشم می‌گذرند، احساس بینش را پدید می‌آورند و طبعاً پرتوهای نورانی باید مانند هر ذره‌ای خط مستقیمی را بپیمایند.

۲. نگره‌ی موجی بودن ذره:

این نگره بر پایه‌ی اصل هویگنز استوار است. این اصل بیان می‌کند که هر نقطه از فضا هنگامی‌که یک موج نورانی به آن می‌رسد خود، منبع یک موج ثانوی می‌شود و پوشه‌ی این امواج ثانوی، سطح موج بعدی را تشکیل می‌دهد.

درباره‌ی انتشار نور، بیان نگره‌ی موجی چنین است که انتشار نور در محیطی به‌نام اتر صورت می‌گیرد که تمام فضا را فراگرفته است و در داخل اجسام نیز جا دارد.

درباره‌ی علت پدید آمدن نور از اجسام، این نگره ساکت است و درباره‌ی فعل و انفعال مابین ماده و نور مطلبی در آن بیان نمی‌شود.

۳. نگره‌ی الکترومغناطیس نور:

این نگره در سال ۱۸۶۵ توسط کلارک ماکسول[1] در انگلستان ارائه شد. از دید این نظریه نور عبارتست از دو ارتعاش عرضی مغناطیسی و الکتریکی که در فضا منتشر می‌گردند. سرعت نور و سرعت انتشار میدان‌های الکتریکی باید یکی باشد. سرعت نور را فقط می‌توان با اندازه‌گیری مقادیرسرعت میدان‌های الکتریکی تعیین نمود. نگره‌ی الکترومغناطیسی پدیده‌های انتشار نور را به خوبی بیان می‌کند، ولی درباره‌ی پدیده‌های مربوط به پیدایش و تبدیل انرژی نورانی، مانند وجود خطوط گسسته‌ی بیناب قاصر است. در اثر همین قصور در اوایل قرن بیستم ، نگره‌ی کوانتا به‌وجود آمد که می‌تواند این قبیل پدیده‌ها را تفسیر و پیش‌بینی کند.

۴. نگره‌ی کوانتا:

برای رفع نقایص نگره‌ی الکترو مغناطیس نور، پلانک در سال ۱۹۰۱ میلادی فرض کرد که انرژی گسیل شده از یک جسم سیاه در دمای معینی، متشکل از ذرات منفصل است؛ درحالی‌که تا

[1] Clark Maxwell

آن موقع همیشه انرژی را یک کمیت پیوسته می‌دانستند. هر کدام از ایـن ذرات را فوتـون[1] نامیـد و سرعت آن‌ها را سرعت نور دانست. به این ترتیب در قرن بیستم بار دیگر نگره‌ی ذره بودن نـور جلـوه نمود ولی در اثر تحقیقات دوبروی، بوهر، شرودینگر و دیراک این بار با نگره‌ی موجی توأم شـد؛ زیـرا دریافتند انرژی یک ذره متناسب با فرکانس یک موجی است که منحصر بـه آن ذره مـی‌باشـد. پـس این دو نگره‌ی ذره‌ای و موجی بودن نور با هم همبستگی دارند و از هم جدا نیستند. گـاهی جنبـه‌ی موجی آن بیشتر ظاهر می‌شود مانند پدیده‌های تداخل، پراش و پلاریزاسـیون نـور و گـاهی جنبـه‌ی ذره‌ای بودن آن، مانند اثر فوتوالکتریک، اثر کـامپتون و اثـر رامـان. از ایـن زمـان بـود کـه نظریـه‌ی موجی-ذره‌ای بودن نور یا به عبارتی نور فوتونی ارائه شد که در آن فوتون‌ها در حین تبادل انرژی بـا ماده ، رفتار ذره‌ای از خود نشان می‌دهند اما به‌صورت موج در فضا منتشر می‌گردند[۱-۵].

مجموعه‌ی این رهیافت‌ها امروزه پایه‌گذار علم جدیدی به‌نام فوتونیک شده است. انتظـار مـی‌رود علم فوتونیک نیز به‌مانند علم الکترونیک بتواند تحول عظیمی را در زندگی بشر ایجاد کند.

علم فوتونیک و زیرشاخه‌های آن کاربردهای وسیعی در زمینه‌هـای مختلـف دارنـد. از آن جملـه می‌توان به کاربرد این علم در مخابرات و سیـستم‌هـای پـردازش‌گـر اطلاعـاتی اشـاره کـرد. یکـی از زمینه‌هایی که اخیرا علم فوتونیـک بـه‌طـور وسـیعی وارد آن شـده اسـت، علـم پزشـکی مـی‌باشـد. کاربردهای این علم بیشتر زمینه‌های تشخیصی پزشکی را در بر می‌گیرد.

تقاضا برای حسگرهای بیوشیمیایی[2]، به علت رابطه‌ی تنگاتنگی که بـا زنـدگی انـسان‌هـا دارنـد، مدتی طولانی است که مورد توجه قرار گرفته اسـت. بـه عنـوان مثـال، آشـکار کـردن ویـروس‌هـا و باکتری‌ها، تشخیص‌های پزشکی و گزینش ترکیبات شـیمیایی در کـشف داروهـا از جملـه نیازهـای بشری است که مستلزم وجود حسگرهای بیو شیمیایی می‌باشد. همین مهم باعث شد که توجه ما به سوی حسگرهای بیوشـیمیایی جلـب شـود و در جـستجو و طراحـی حـسگری تمـام نـوری، جهـت تشخیص بیوملکول‌ها[3] و بررسی خواص آنها برآییم[۶].

به‌طور کلی حسگرهای نوری را می‌توان به دو دسته‌ی عمده تقسیم کرد: حـسگرهای بیولـوژیکی و حسگرهای شیمیایی. از این حسگرها همان‌گونه که ذکر شـد مـی‌تـوان در تـشخیص ویژگـی‌هـای شیمیایی و بیولوژیکی محیط بهره برد. سـاختار کلـی ایـن حـسگرها از دو بخـش حامـل و گیرنـده تشکیل شده است. نحوه‌ی کار این دو بخش بدین صورت است که ابتـدا حـسگر را در محیطـی کـه علاقمند به بررسی آن هستیم قـرار داده، در ایـن حالـت ملکـول هـدف طـی دو مکـانیزم حـسگری

[1] Photon
[2] Biochemicl Sensors
[3] Biomolecules

همگن[1] و یا حسگری سطحی[2] بر روی حسگر یا به عبارتی حامل قرار می‌گیرد. حامل می‌تواند فاکتوری برای تشخیص خصوصیات شیمیایی ملکول‌های بیولوژیکی شبیه آنتی‌بادی، آنزیم یا اسید نوکلئوتیدهای موجود درمحیط و سیستم‌های بیولوژیکی مانند سلول و بافت باشد. به هر حال هنگامی‌که بیوملکول بر روی حامل قرار گرفت، بر اثر برهم‌کنش با آن، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با انتقال تأثیرات این برهم‌کنش به گیرنده و تبدیل آن به سیگنال‌های مشخص، می‌توان خصوصیات بیوملکول هدف را مورد بررسی قرار داد. در این راستا کاری که در این پایان‌نامه به دنبال آن هستیم، طراحی یک ساختار حسگری تمام نوری با حساسیت بالا می‌باشد که بتواند در هر دو بخش حامل و گیرنده به‌صورت بهینه کار کند.

برای دست‌یافتن به این مهم، علاوه بر انتخاب یک حفره‌ی خاص به عنوان بخش اصلی حامل، از حفره‌های فانو[3] بهره می‌گیریم که بر مبنای تئوری فانو بنیان نهاده شده‌اند.

یوگو فانو[4] دانشمند اهل تورین[5] ایتالیا، در سال ۱۹۱۲ متولد شد. پدر وی جیو فانو (۱۸۷۱-۱۹۵۲) پروفسور ریاضیات و صاحب کرسی ریاضی در دانشگاه تورین بود. فانو پس از گذران دوران نوجوانی در ویلای پدری، در اوان جوانی وارد دانشگاه شد و به تحصیل ریاضیات پرداخت. پس از مدتی علاقه‌ی وافر به علم فیزیک، وی را بر آن داشت تا زیر نظر انریکو پریسکو[6] به تحصیل فیزیک بپردازد. دیری نپایید که به علت قابلیت‌هایی که از خود نشان داد، توانست وارد گروه انریکو فرمی[7] گردد. در این زمان به علت گرایش تحقیقات فرمی به سمت فیزیک اتمی، فانو نیز به مانند دیگر افراد گروه، وارد این زمینه‌ی علمی شد. وی علت شکل نامتقارن طیف جذبی عناصر خنثی را در پدیده‌ی خودیونش[8] جستجو کرد که در فصل بعد، به تفصیل در مورد آن بحث خواهد شد. در نهایت، وی توانست این پدیده را با ارائه‌ی نمودارهای خود که بعد از آن، تحت نام نمودارهای فانو شناخته شد، توجیه کند. همان‌گونه که در آینده خواهیم دید در این پدیده دو الکترون مدام با هم در حال تبادل انرژی هستند. به نظر می‌رسد اگر ما نیز دو حفره را به جای این دو الکترون در نظر بگیریم، که مدام با هم تبادل انرژی داشته باشند، می‌توانیم به نمودارهایی با شیب به مراتب بیشتر دست یابیم.

---

[1] Homogeneous Sensing
[2] Surface Sensing
[3] Fano Cavities
[4] Yougo Fano
[5] Turin
[6] Enrico Persico
[7] Enrico Fermi
[8] Auto ionization

به این حفره‌های خاص که از جفت شدن دو حفره به‌دست می‌آیند، حفره‌های فانو گفته می‌شود. در اینجا قابل توجه اینست که نمودارهای انتقالی در این حفره‌های خاص دارای شکلی کاملا برابر با نمودارهای فانو می‌باشند.

حفره‌ی فانوای که ما آن را بررسی می‌کنیم، شامل یک حفره‌ی فابری-پرو(متشکل از یک موجبر با آینه‌هایی در دو انتهای آن) مزدوج با میکروحلقه‌های بازتابنده[1] (CRR) می‌باشد.

همان‌گونه که بیان خواهد شد در حسگرها شیب نمودار انتقالی، (که دارای شکل خط فانو است) معرف حساسیت حسگر می‌باشد. خواهیم دید که این شیب دارای تابعیت مشخصی از ضریب انعکاس آینه‌ها می‌باشد. علت اینکه برج میکرومربع را به عنوان جایگزینی برای آینه‌ها پیشنهاد کرده‌ایم اینست که این ساختار شبیه توری[2] یا به عبارتی یک محیط چند لایه با ضریب‌شکست متفاوت، عمل می‌کند که دارای ضریب انعکاس و عبور مشخص می‌باشد. این ضرایب اخیر خود، به ضریب‌شکست هر لایه بستگی دارند. با این شرایط می‌توانیم با یک پمپ خارجی، به علت متفاوت بودن اثر کر[3] در هر لایه، ضریب‌شکست هر لایه از برج را تغییر دهیم که این، خود به معنای ایجاد ضریب عبور جدیدی در آینه است. این ضریب عبور جدید، بر روی شیب نمودار انتقالی تأثیر می‌گذارد. پس در هر زمان می‌توانیم بنا به نوع بیوملکولی که قصد بررسی آن را داریم، ساختار حسگری را به‌گونه‌ای تنظیم کنیم که شیب بیشینه، همواره در نمودار انتقالی موجود باشد.

در اینجا ما از حفره‌های بازتابنده به عنوان بخش اصلی حامل استفاده می‌کنیم؛ چرا که می‌دانیم هر آشکارساز، یک محدودیت در کمترین میزان شدت قابل آشکارسازی دارد. این محدودیت به صورت نسبت تغییرات شدت قابل آشکارسازی به کل شدت ورودی به آشکارساز می‌باشد. بنابر این در حالت انعکاسی، که تقریباً فقط سیگنال خروجی از سیستم به آشکارساز می‌رسد، می‌توان تغییرات بسیار کوچک را هم آشکار کرد.

به هر حال در کاری که ما انجام داده‌ایم، سعی شده تا با انتخاب حفره‌ی خاصی به‌عنوان بخش اصلی حامل با استفاده از خاصیت بازتابنده بودن حفره، بهینه‌سازی در بخش گیرنده ایجاد شود؛ تا با کمک آن بتوانیم آشکار سازی بهتر و قوی‌تری داشته باشیم. همچنین با استفاده از حفره‌ی فانو، به حساسیت بالایی برای حسگر مورد نظر دست‌یابیم و با در نظر گرفتن ضریب انعکاس آینه‌های موجود در حفره‌ی فانو به عنوان عاملی مؤثر بر حساسیت حسگر، همیشه بالاترین حساسیت را برای حسگر طراحی شده در اختیار بگیریم.

---

[1] Coupled Ring Reflector
[2] Grating
[3] Kerr effect

(۱-۳) آنچه در این پایان‌نامه می‌خوانیم

با توجه به مطالب ذکر شده، آنچه که خواننده در این پایان‌نامه مطالعه خواهد کرد را می‌توان شامل بخش‌های زیر دانست.

فصل دوم شامل سه بخش مجزا می‌باشد. فصل از خواص مهم میکروحلقه‌ها آغاز می‌شود، سپس در ادامه در مورد حسگرهای بیوشیمیایی و نحوه‌ی برهم‌کنش بیوملکول با آن‌ها صحبت به میان خواهد آمد و در نهایت به بررسی تئوری فانو که در فصول بعد از آن بهره گرفته می‌شود، پرداخته خواهد شد.

فصل سوم از سه بخش تشکیل شده است. در راستای طراحی حسگر بیوشیمیایی، در ابتدا علت پیشنهاد دادن این حفره در کاربرد حسگری بیان می‌گردد؛ سپس جهت تحلیل این حفره تا حدودی با روش ماتریس پراکندگی که در تحلیل سیستم‌های اپتیکی کاربرد فراوان دارد، آشنایی پیدا خواهد شد و در نهایت به‌کمک این روش حفره‌ی پیشنهاد شده به‌عنوان بدنه‌ی اصلی حسگر، مورد تحلیل و بررسی قرار خواهد گرفت.

فصل چهارم متشکل از چهار بخش می‌باشد. در ابتدا مروری بر کاربردهای حسگرهای بیوشیمیایی می‌گردد، در ادامه در مورد تشدیدکننده‌های فانو که در افزایش حساسیت حسگرها کاربرد دارند صحبت خواهد شد. در بخش سوم توجه خواننده، به بررسی حفره‌ی فانوی طراحی شده با حفره‌ی پیشنهاد شده در بخش قبل، معطوف خواهد گردید و در انتها با بررسی ضریب انعکاس اینه ها در حفره‌ی فانو، از آن به‌عنوان پارامتری بسیار مهم و تأثیرگذار بر حساسیت حسگر یاد خواهد شد، که برای داشتن حسگری با بیشینه حساسیت، توجه به آن ضروری می‌باشد.

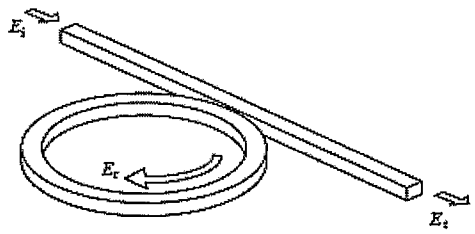
فصل پنجم نیز شامل نتیجه‌گیری و بیان تمام آنچه که در پایان‌نامه آمده است، خواهد بود. همچنین فصل در برگیرنده‌ی پیشنهاداتی که می‌تواند در ادامه‌ی این پایان‌نامه دنبال شود، نیز می‌باشد.

فصل دوم

میکروحفره‌ها و تئوری فانو

(۲-۱) میکروحلقه‌ها[1]:

یک مشدد حلقه‌ای[2] به بیان ساده، یک موجبر است که به‌صورت یک حلقه شکل داده شده است(شکل۲-۱). ساختار و عملکرد این حلقه‌ها بدین صورت است که حلقه را در کنار یک موجبر مستقیم قرار می‌دهند. در صورت ورود میدان الکتریکی E_i به درون موجبر مستقیم، این میدان به علت وجود میدان‌های محوشونده[3]، درون حلقه القاء می‌شود و در اثر یک پسخوراند[4] مثبت، میدان E_r در داخل میکروحلقه ساخته می‌شود. از این رویداد تحت عنوان جفت‌شدگی موجبر مستقیم و میکروحلقه یاد می‌گردد. لازم به ذکر است که نور در داخل میکرو حلقه و یا کلاً در حفره‌های مشدد، تقویت نمی‌شود بلکه انبارش می‌یابد. فاصله‌ی بین موجبر مستقیم و میکروحلقه و همچنین طول جفت‌شدگی، بر اساس مقدار توانی که لازم است تا از موجبر مستقیم به حلقه و یا برعکس جفت گردد، تعیین می‌شوند. بنابراین می‌توان گفت که میزان انرژی وارد شده به داخل میکروحلقه شدیداً به این دو عامل بستگی دارد.



شکل(۲-۱).ساختار میکروحلقه و موجبر[۷].

[1] Micro rings
[2] Ring resonator
[3] Evanescent field
[4] Feedback