

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق

گرایش الکترونیک

---

---

طراحی و تحلیل حسگر گاز فیبر کریستال نوری

---

---

مؤلف :

رضا محمدی گیسکی

استاد راهنما :

دکتر مریم پور محی آبادی

استاد مشاور :

مهندس علیرضا انوری

بهمن ماه ۱۳۹۳



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

**بخش مهندسی برق**

**دانشکده فنی و مهندسی**

**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

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

دانشجو: رضا محمدی گیسکی

استاد راهنما: دکتر مریم پور محی آبادی

استاد مشاور: مهندس علیرضا انوری

دوره ۱: دکتر جمیله سید یزدی

دوره ۲: دکتر مهدیه مهران

نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: دکتر علی ماهانی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر مرتضی زند رحیمی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

## تشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره-ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگاران بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی‌هایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاری گرشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی‌رسید.

ابتدا از استاد گرانقدرم سرکار خانم دکتر مریم پورمحمی‌آبادی که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال سپاس را دارم.

از استاد عالی قدرم جناب آقای مهندس علیرضا انوری که زحمت مشاوره این پایان نامه و همچنین از اساتید ارجمندم جناب آقایان دکتر حکیمی، دکتر صانعی، دکتر ماهانی و سرکار خانم دکتر مهران کمال تشکر و قدردانی را دارم.

سپاس آخر را به مهربانترین همراهان زندگیم به پدر و مادر و همسر عزیزم که حضورشان در فضای زندگیم مصداق بی‌ریای سخاوت بوده است.

## چکیده

فیبرهای کریستال نوری، ساختارهای جدیدی از موجبرهای نوری هستند که دارای قابلیت جدیدی برای افزایش برهمکنش نور و گاز یا مایع درون حفره‌ها از طریق میدان میراشونده هستند. اخیراً به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد این گونه فیبرها، محققین آنها را در کاربردهای متنوعی از جمله طراحی حسگر، طراحی ادوات نوری برای کاربرد در مخابرات نوری و ادوات نظامی پیشنهاد می‌دهند.

لذا با توجه به این موضوع، در این پایان‌نامه به طراحی و شبیه‌سازی حسگر گاز مبتنی بر فیبر کریستال نوری با ساختارهای مختلف پرداخته شده است. داشتن حساسیت نسبی زیاد و تلفات تحدید کم به طور همزمان در حسگر گاز فیبر کریستال نوری بسیار مهم است. اما در اغلب موارد داشتن این دو خصوصیت به طور همزمان مشکل است. تغییر ویژگی‌های ساختار مانند تغییر قطر، شکل و فاصله بین حفره‌ها، سبب کنترل بهتری در خصوصیات مانند حساسیت نسبی و تلفات تحدید می‌شود. ساختارهای ارائه شده برای حسگر گاز دارای تلفات تحدید پایین در محدوده وسیعی از طول‌موج و حساسیت نسبی بالا می‌باشند. نتایج مقایسه نشان می‌دهد که طرح‌های ارائه شده از ضریب کیفیت بهتر و حساسیت بالاتری نسبت به طرح‌های موجود برخوردار هستند.

**کلید واژه-** تلفات تحدید، حسگر گاز، حساسیت نسبی، ضریب کیفیت، فیبر کریستال نوری

## فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ حسگرهای گاز مبتنی بر فیبر کریستال نوری	۲
۳-۱ ضرورت انجام تحقیق	۳
۴-۱ اهداف اساسی تحقیق	۳
۵-۱ ساختار پایان نامه	۴
فصل دوم : مروری بر تحقیقات انجام شده	۵
۱-۲ مقدمه	۶
۲-۲ حسگر گاز موجر کریستال نوری	۶
۳-۲ حسگر گاز فیبر کریستال نوری	۱۰
۴-۲ روش ساخت حسگر گاز کریستال نوری	۲۰
۵-۲ روش ساخت حسگر گاز فیبر کریستال نوری	۲۱
۶-۲ جمع بندی	۲۳
فصل سوم : اصول و مفاهیم ویژگی های حسگر گاز فیبر کریستال نوری	۲۴
۱-۳ مقدمه	۲۵
۲-۳ تحلیل فیبر کریستال نوری	۲۵
۳-۳ حساسیت نسبی	۲۶
۴-۳ تلفات	۲۸
۱-۴-۳ تلفات تحدید	۲۸

۲۸	..... ۵-۳ جمع‌بندی
۳۰	..... فصل چهارم: طرح‌های پیشنهادی حسگر گاز فیبر کریستال نوری
۳۱	..... ۱-۴ مقدمه
۳۱	..... ۲-۴ طرح پیشنهادی اول
۳۶	..... ۳-۴ طرح پیشنهادی دوم
۴۱	..... ۴-۴ طرح پیشنهادی سوم
۴۶	..... ۵-۴ نتیجه‌گیری
۴۷	..... فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۴۸	..... ۱-۵ مقدمه
۴۸	..... ۲-۵ نتیجه‌گیری
۴۹	..... ۳-۵ پیشنهادات

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: چند نمونه از ساختارهای فیبرهای کریستال نوری [۲,۳]. ۳
- شکل ۱-۲: طرح کلی حسگر گاز موجبر کریستال نوری [۱۳]. ۷
- شکل ۲-۲: نمودار طیف انتقالی بر حسب طول موج برای گاز هلیوم و هوا با  $a=441 \text{ nm}$  و  $r=0/33a$ . ۸
- شکل ۳-۲: نمودار طیف انتقالی بر حسب طول موج برای گاز آرگون و هوا با  $a=441 \text{ nm}$  و  $r=0/33a$ . ۸
- شکل ۴-۲: ساختار حسگر گاز بر اساس شکاف در موجبر کریستال نوری [۱۴]. ۹
- شکل ۵-۲: نمودار طیف انتقالی بر حسب فرکانس نرمالیزه. ۱۰
- شکل ۶-۲: سطح مقطع فیبر کریستال نوری با هسته هوا در مرجع [۲۳]. ۱۲
- شکل ۷-۲: نمودار حساسیت نسبی بر حسب ضریب شکست  $n_1$  با  $d_1=1 \mu\text{m}$ ،  $\Lambda=2/3 \mu\text{m}$  و  $\lambda=1/6 \mu\text{m}$ . ۱۳
- شکل ۸-۲: نمودار حساسیت نسبی بر حسب طول موج با  $d_1=1 \mu\text{m}$ ،  $d=1/4 \mu\text{m}$  و  $n_1=1/5$ . ۱۳
- شکل ۹-۲: سطح مقطع فیبر کریستال نوری با هسته آلایش شده با اکسید ژرمانیوم در مرجع [۲۶]. ۱۴
- شکل ۱۰-۲: (الف) نمودار حساسیت نسبی بر حسب طول موج با  $\Lambda=2/3 \mu\text{m}$ ،  $d=1/4 \mu\text{m}$  و  $n_s=1$  (ب) نمودار تلفات تحدید بر حسب طول موج با  $\Lambda=2/3 \mu\text{m}$ ،  $d=1/4 \mu\text{m}$  و  $n_s=1$ . ۱۵
- شکل ۱۱-۲: سطح مقطع فیبر کریستال نوری با افزایش حفره‌های دو حلقه بیرونی تر [۲۴]. ۱۶
- شکل ۱۲-۲: نمودار حساسیت نسبی بر حسب طول موج با  $d_c=1 \mu\text{m}$ ،  $d_1=1/4 \mu\text{m}$  و  $d_2=1/56 \mu\text{m}$ . ۱۶
- شکل ۱۳-۲: نمودار تلفات تحدید بر حسب طول موج با  $a=1/8 \mu\text{m}$ ،  $d_1=1/4 \mu\text{m}$  و  $d_2=1/74 \mu\text{m}$ . ۱۷
- شکل ۱۴-۲: (الف) سطح مقطع فیبر کریستال نوری با حلقه شش گوش در اطراف هسته آلایش شده با اکسید ژرمانیوم، (ب) سطح مقطع فیبر کریستال نوری با حلقه دایره‌ای در اطراف هسته آلایش شده با اکسید ژرمانیوم [۲۵]. ۱۸



شکل ۲-۱۵: نمودار حساسیت نسبی بر حسب طول موج با  $\Lambda=2/3 \mu\text{m}$  ،  $d_c=1/2 \mu\text{m}$  ،  
 دایره‌های  $d_3=2 \mu\text{m}$  و برای شش گوش  $d_4=1/2 \mu\text{m}$  ..... ۱۸  
 برای  $w=0/6 \mu\text{m}$  و  $d_1=1/4 \mu\text{m}$  ،  $d_2=1/8 \mu\text{m}$  و  $d_3=1/8 \mu\text{m}$  ،  
 دایره‌های  $d_3=2 \mu\text{m}$  و برای شش گوش  $d_4=1/2 \mu\text{m}$  ..... ۱۹  
 شکل ۲-۱۶: نمودار تلفات تحدید بر حسب طول موج با  $\Lambda=2/3 \mu\text{m}$  ،  $d_c=1/2 \mu\text{m}$  ،  
 ..... ۱۹  
 شکل ۲-۱۷: مراحل ساخت کریستال نوری بر روی ویفر SOI [۲۸] ..... ۲۱  
 شکل ۴-۱: سطح مقطع حسگر پیشنهادی با قطر حفره مرکزی  $d_c=1/4 \mu\text{m}$  ، قطر حفره های  
 یک حلقه درونی  $d_1=1/48 \mu\text{m}$  ، قطر حفره های شش حلقه بیرونی  $d_2=1/56 \mu\text{m}$  و ثابت  
 شبکه  $a=1/6 \mu\text{m}$  ..... ۳۲  
 شکل ۴-۲: توزیع شدت میدان مود پایه. .... ۳۲  
 شکل ۴-۳: نمودار حساسیت نسبی بر حسب طول موج با  $d_c=1/4 \mu\text{m}$  ،  $d_1=1/48 \mu\text{m}$  ،  
 ..... ۳۳  
 شکل ۴-۴: نمودار حساسیت نسبی بر حسب طول موج با  $d_c=1/4 \mu\text{m}$  ،  $d_1=1/48 \mu\text{m}$  ،  
 ..... ۳۴  
 شکل ۴-۵: نمودار تلفات تحدید بر حسب طول موج با  $d_c=1/4 \mu\text{m}$  ،  $d_1=1/48 \mu\text{m}$  ،  
 ..... ۳۵  
 شکل ۴-۶: نمودار حساسیت نسبی بر حسب طول موج با  $d_c=1/4 \mu\text{m}$  ،  $d_1=1/48 \mu\text{m}$  ،  
 ..... ۳۵  
 شکل ۴-۷: سطح مقطع فیبر پیشنهادی با قطر حفره های حلقه های بیرونی تر  $d_2=1/6 \mu\text{m}$  ، قطر  
 حفره های دو حلقه درونی  $d_1=1/4 \mu\text{m}$  ، قطر حفره مرکزی  $d_c=1/2 \mu\text{m}$  و ثابت شبکه  
 ..... ۳۷  
 شکل ۴-۸: توزیع شدت میدان مود پایه. .... ۳۷  
 شکل ۴-۹: نمودار حساسیت نسبی بر حسب طول موج برای PCF پیشنهادی با  $d_2=1/6 \mu\text{m}$  ،  
 ..... ۳۹  
 شکل ۴-۱۰: نمودار حساسیت نسبی بر حسب طول موج برای PCF پیشنهادی با  $d_2=1/6 \mu\text{m}$  ،  
 ..... ۳۹

شکل ۴-۱۱: نمودار تلفات تحدید برحسب طول موج برای PCF پیشنهادی با  $d_p=1/6 \mu\text{m}$ ،  
 $d_1=1/4 \mu\text{m}$ ،  $d_c=1/2 \mu\text{m}$  و  $1/6 \mu\text{m}$ ،  $1/8 \mu\text{m}$ ،  $2 \mu\text{m}$ ،  $2/3 \mu\text{m}$ ،  $a=2/3 \mu\text{m}$  ..... ۴۰

شکل ۴-۱۲: نمودار تلفات تحدید برحسب طول موج برای PCF پیشنهادی با  $a=1/6 \mu\text{m}$  و  
 $d_p=1/6 \mu\text{m}$  و  $d_1=1/4 \mu\text{m}$  و قطر هسته  $1/3 \mu\text{m}$ ،  $1/2 \mu\text{m}$ ،  $1 \mu\text{m}$ ،  $d_c=1 \mu\text{m}$  ..... ۴۰

شکل ۴-۱۳: سطح مقطع فیبر پیشنهادی با قطر حفره های حلقه های بیرونی  $d_p=1/56 \mu\text{m}$ ،  
 قطر حفره های یک حلقه درونی  $d_1=1/4 \mu\text{m}$ ، قطر حفره مرکزی  $d_c=1/2 \mu\text{m}$ ، قطر  
 حفره های اضافی  $d_e=0/2 \mu\text{m}$ ، قطر حلقه  $R=1/1 \mu\text{m}$  و ثابت شبکه  $a=1/6 \mu\text{m}$  ..... ۴۲

شکل ۴-۱۴: توزیع شدت میدان مود پایه. .... ۴۳

شکل ۴-۱۵: نمودار حساسیت نسبی برحسب طول موج با  $d_1=1/4 \mu\text{m}$ ،  $d_c=1 \mu\text{m}$ ،  
 $d_p=1/56 \mu\text{m}$ ،  $R=1/1 \mu\text{m}$ ،  $d_e=0/2 \mu\text{m}$  برای  $a=1/6 \mu\text{m}$  و  $d_e=0/125 \mu\text{m}$  برای  
 $a=1/8 \mu\text{m}$ ،  $2/3 \mu\text{m}$ ،  $2 \mu\text{m}$ ،  $2/3 \mu\text{m}$  ..... ۴۴

شکل ۴-۱۶: نمودار تلفات تحدید برحسب طول موج با  $d_1=1/4 \mu\text{m}$ ،  $d_c=1 \mu\text{m}$ ،  
 $d_p=1/56 \mu\text{m}$ ،  $R=1/1 \mu\text{m}$ ،  $d_e=0/2 \mu\text{m}$  برای  $a=1/6 \mu\text{m}$  و  $d_e=0/125 \mu\text{m}$  برای  
 $a=1/8 \mu\text{m}$ ،  $2/3 \mu\text{m}$ ،  $2 \mu\text{m}$ ،  $2/3 \mu\text{m}$  ..... ۴۴

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲: مقایسه خصوصیات حسگر گاز فیبر کریستال نوری بعضی از مراجع. .... ۱۹
- جدول ۱-۴: حساسیت نسبی و تلفات تحدید برای انواع گازها. .... ۳۶
- جدول ۲-۴: حساسیت نسبی و تلفات تحدید برای انواع گازها. .... ۴۱
- جدول ۳-۴: حساسیت نسبی و تلفات تحدید برای انواع گازها. .... ۴۵
- جدول ۴-۴: مقایسه نتایج حسگرهای گاز پیشنهادی با برخی از مراجع. .... ۴۵

# فصل اول

## مقدمه

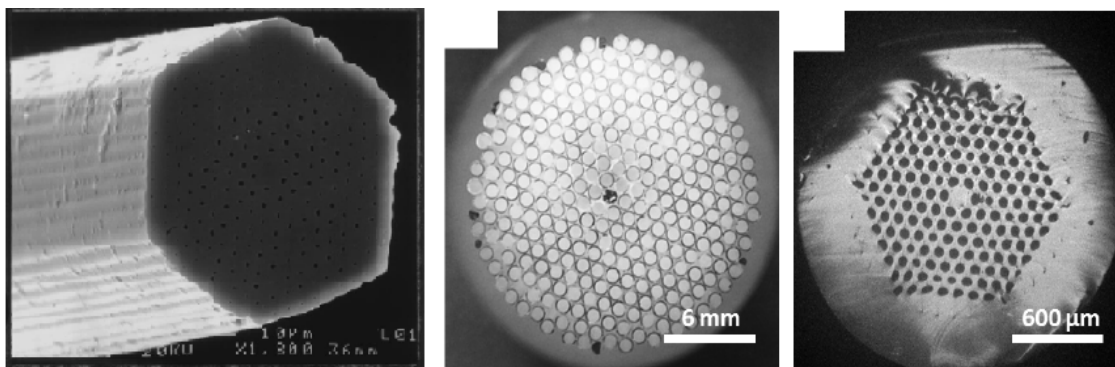
در محیط زندگی ما ممکن است آلاینده‌ها و گازهای بسیاری وجود داشته باشند که در نهایت منجر به تخریب محیط زیست، انفجار، ایجاد باران‌های اسیدی، اثرات گلخانه‌ای، تخریب لایه ازن و مسمومیت‌های خطرناک در افراد شود. برای تشخیص این گازها و مواد شیمیایی به ابزار و فناوری نیازمندیم که بتوانیم آنها را تشخیص داده و در صورت امکان بتوان با آنها مقابله کرد. فناوری‌ها و روش‌های مختلفی برای تشخیص گاز وجود دارد، از جمله این روش‌ها اکسیدهای فلزی نیمه‌رسانا، نانولوله‌های کربنی، نوری و غیره می‌باشد. سنجش گاز با روش‌های نوری معمولاً دارای حساسیت و طول عمر بسیار طولانی‌تر نسبت به روش‌های غیر نوری می‌باشد. از روش‌های نوری برای تشخیص گاز، حسگرهای مبتنی بر کریستال نوری را می‌توان معرفی کرد [۱]. حسگرهای گاز مبتنی بر کریستال نوری را به دو دسته حسگرهای گاز موجبر کریستال نوری (PCW)<sup>۱</sup> و حسگرهای گاز فیبر کریستال نوری (PCF)<sup>۲</sup> تقسیم می‌کنند. در این پایان نامه، طراحی و تحلیل ساختار حسگرهای گاز فیبر کریستال نوری بررسی می‌شود.

## ۲-۱ حسگرهای گاز مبتنی بر فیبر کریستال نوری

فیبرهای کریستال نوری ساختارهای جدیدی از موجبرهای نوری هستند که شامل آرایه‌ای از حفره‌های هوا در امتداد طول فیبر می‌باشند. یک نقص کوچک در این ساختارها یک مسیر نوری را فراهم می‌سازد که طیف نوری در یک فرکانس خاص می‌تواند در آن انتشار یابد. در نتیجه یک فیبر کریستال نوری را شکل می‌دهد که شامل آرایه‌ای از حفره‌های هوا در امتداد طول فیبر به عنوان پوسته نیز بوده و نقص در ساختار تناوبی، نقش هسته فیبر را بازی می‌کند (شکل ۱-۱) [۲-۳]. در این فیبرها قابلیت جدیدی برای افزایش برهمکنش نور و گاز یا مایع درون حفره‌ها از طریق میدان میرا شونده ایجاد شده که از آنها در کاربردهای متنوعی از جمله طراحی حسگر استفاده می‌شود [۴-۹]. در حسگرهای گاز مبتنی بر فیبر کریستال نوری، با استفاده از پارامترهایی نظیر قطر حفره‌ها و ثابت شبکه، سبب ایجاد ویژگی‌های قابل توجهی شده‌اند که این ویژگی‌ها شامل تک مود بودن، تلفات و حساسیت نسبی می‌باشد. در حقیقت این پارامترهای طراحی قادرند که انعطاف‌پذیری بیشتری در بهبود خصوصیات حسگر مانند تلفات و حساسیت نسبی ایجاد کنند [۱۰].

<sup>۱</sup> Photonic Crystal Waveguide

<sup>۲</sup> Photonic Crystal Fiber



شکل ۱-۱: چند نمونه از ساختارهای فیبرهای کریستال نوری [۲-۳].

### ۳-۱ ضرورت انجام تحقیق

در سال‌های اخیر از روش‌های نوری برای تشخیص گاز استفاده می‌شود که معمولاً مهمترین عامل در حسگرهای گاز حساسیت بالا و طول عمر طولانی مورد نیاز است [۱]. از روش‌های نوری، حسگرهای فیبر کریستال نوری به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد مثل تلفات تحدید<sup>۱</sup> خیلی پایین و حساسیت نسبی بالا، مورد توجه قرار گرفته‌اند. در یک حسگر گاز فیبر کریستال نوری با هسته توپر، نور توسط حفره‌های هوای موجود در پوشش، در هسته محدود می‌شود. اگر تعداد این حفره‌های هوا کافی نباشد نور از هسته خارج شده و نشت می‌کند [۱۱]. بنابراین با طراحی دقیق پارامترهای ساختار فیبر مثل قطر حفره‌ها و ثابت شبکه می‌توان تلفات تحدید را کاهش داد. همچنین یکی از پارامترهای مهم دیگر در حسگر، حساسیت نسبی می‌باشد. در ساختار فیبر می‌توان با تغییر نسبت قطر حفره‌ها به ثابت شبکه، تغییری در حساسیت نسبی ایجاد کرد، زیرا می‌توان کسر پرشدگی هوا در پوسته را تغییر داد و این به معنی تغییر کسر توان کلی درون حفره‌ها است [۱۰].

### ۴-۱ اهداف اساسی تحقیق

داشتن حساسیت نسبی بالا و تلفات تحدید کم به طور همزمان در حسگر گاز مبتنی بر فیبر کریستال نوری بسیار مهم است. اما در اغلب موارد داشتن این دو خصوصیت به طور همزمان مشکل است و بهبود یکی از آنها سبب تخریب دیگری می‌شود. بنابراین در این پایان‌نامه سعی شده با تغییر ویژگی‌های ساختاری و با ایجاد مصالحه، حسگرهای گاز ای طراحی شود که حساسیت نسبی بالا و تلفات تحدید کم به طور همزمان دارا باشند.

<sup>۱</sup> Confinement Loss

## ۵-۱ ساختار پایان نامه

ابتدا در فصل دوم مروری بر تحقیقات انجام شده، در مورد حسگرهای گاز موجبر کریستال نوری و حسگرهای گاز فیبر کریستال نوری و سپس به روش‌های ساخت این حسگرها به طور خلاصه پرداخته شده است. در فصل سوم، ویژگی‌ها و عملکرد حسگر گاز فیبر کریستال نوری به کمک پارامترهای آن تعیین می‌شود. از جمله ویژگی‌های مهم در این حسگرها، حساسیت نسبی و تلفات تحدید می‌باشد که با تغییر پارامترهای ساختار می‌توان کنترل مناسبی بر روی ویژگی‌های ساختار داشته باشیم. در فصل چهارم طرح‌های جدیدی ارائه می‌گردد که هر دو خصوصیت حساسیت نسبی بالا و تلفات تحدید پایین را دارا می‌باشند. در فصل پنجم نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادات را خواهیم داشت.

## فصل دوم

مروری بر تحقیقات انجام شده



کریستال‌های نوری دارای اهمیت تحقیقاتی بالایی به علت ویژگی‌های منحصر به فرد فیزیکی مانند طیف بازتاب/انتقال، برخوردار هستند. در سال‌های اخیر کریستال‌های نوری به منظور ساخت قطعات نوری خصوصاً مدارهای مجتمع نوری مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. وجود نقص در کریستال نوری امکان کنترل و هدایت نور را در آن ایجاد می‌کند [۱۲]. حسگر گاز مبتنی بر کریستال نوری بر اساس تعامل بین نور و گاز عمل می‌کند، مخصوصاً وقتی که ضریب شکست در کریستال نوری به علت تغییر در گاز، تغییر می‌کند در نتیجه طول‌موج آن تغییر می‌کند [۱۳-۱۴]. حسگرهای گاز نوری را به دو دسته حسگرهای گاز موجبر کریستال نوری و حسگرهای گاز فیبر کریستال نوری تقسیم می‌کنند.

## ۲-۲ حسگر گاز موجبر کریستال نوری

حسگر گاز مبتنی بر موجبر کریستال نوری بر اساس فعل و انفعالاتی که بین نور و گاز به وجود می‌آید، عمل می‌کند [۱۵]، مخصوصاً وقتی که ضریب شکست در کریستال نوری به علت تغییر در گاز، تغییر می‌کند. وجود نقص در کریستال نوری امکان کنترل و هدایت نور را در آن ایجاد می‌کند که منجر به ایجاد موجبر و یا کاواک<sup>۱</sup> می‌گردد. برخلاف موجبرهای دی‌الکتریک معمولی که بر اساس ضریب شکست، نور را هدایت می‌کنند، در موجبرهای کریستال نوری شکاف باند سبب انتشار نور در موجبر می‌شود [۱۳-۱۴].

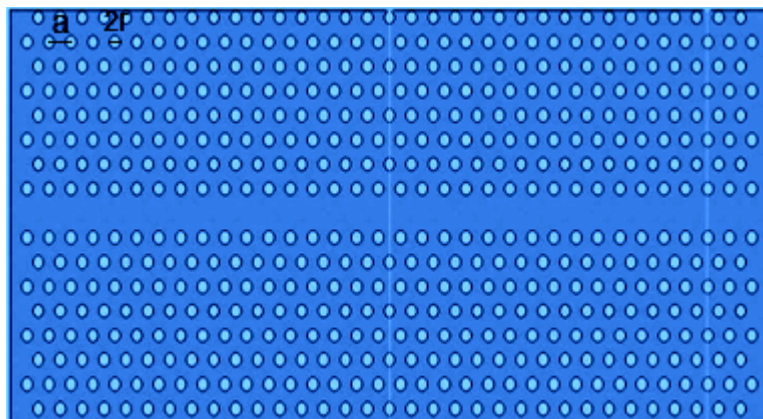
با ظهور کریستال‌های نوری یک‌بعدی در سال ۱۹۳۵ به ضخامت یک چهارم طول‌موج، جهت محدود کردن تابش الکترومغناطیسی به کار رفت. ویژگی این ساختارها تغییر تناوبی ضریب شکست در آنهاست. اگر این تناوب در یک بعد باشد به کریستال تشکیل شده، کریستال نوری یک‌بعدی گویند و اگر تناوب ساختار در دو و سه بعد باشد کریستال نوری دو و سه‌بعدی را به وجود خواهد آورد [۱۶-۱۷]. در سال ۱۹۸۷ برای اولین بار ساختارهای دو بعدی و سه بعدی توسط یابلونوویچ<sup>۲</sup> [۱۸] و جان<sup>۳</sup> [۱۹] بکار گرفته شد. ولی به دلیل عدم وجود فناوری و روش‌های ساخت مناسب، تولید انبوه کریستال‌های نوری تا سال ۱۹۹۷ به درازا کشید. بعد از آن طراحی و مدل‌سازی حسگرهای گاز بر اساس کریستال نوری آغاز شد.

<sup>۱</sup> Cavity

<sup>۲</sup> Yablonoitch

<sup>۳</sup> John

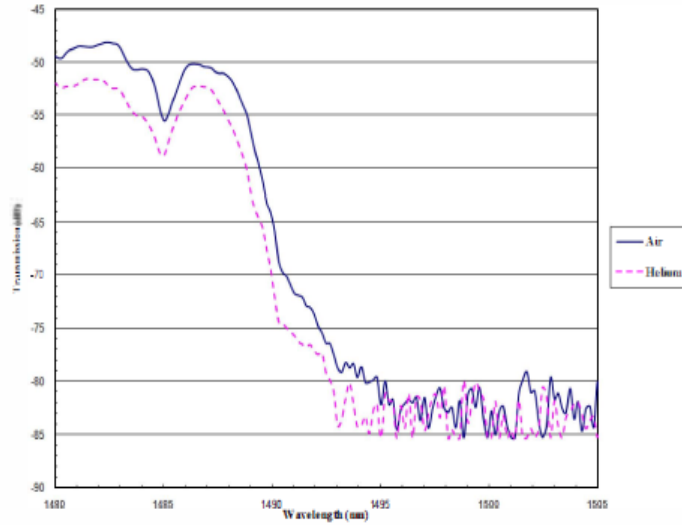
در مرجع [۱۳] حسگر گاز موجبر کریستال نوری پیشنهاد شده است. سنجش گاز بر اساس تعامل بین حالت نور کند و گاز معرفی می‌شود، مخصوصاً وقتی که ضریب شکست موجبر کریستال نوری به علت تغییر در گاز، تغییر می‌کند و نور کند موجبر کریستال نوری تحت تأثیر واقع شده و در نتیجه طول موج آن تغییر می‌کند. شکل ۱-۲ طرح کلی حسگر گاز موجبر کریستال نوری را نشان می‌دهد که  $a$  ثابت شبکه و  $r$  شعاع حفره‌ها می‌باشد.



شکل ۱-۲: طرح کلی حسگر گاز موجبر کریستال نوری [۱۳].

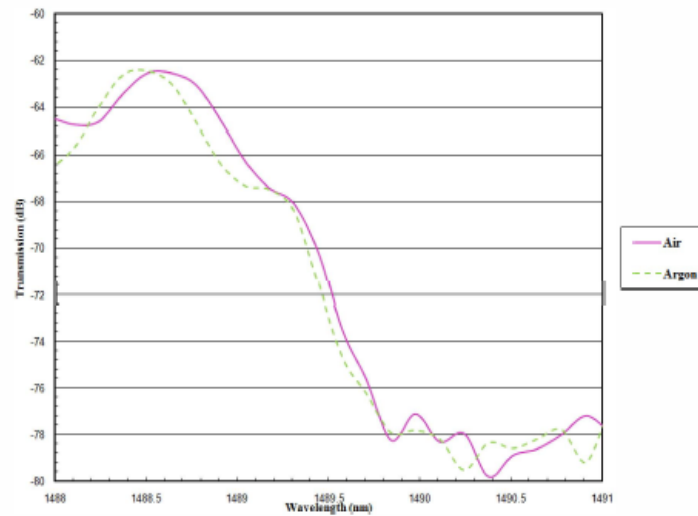
شکل ۲-۲ مقایسه طیف انتقالی گاز هلیوم<sup>۱</sup> (ضریب شکست  $n=1/000035$ ) با هوا (ضریب شکست  $n=1/000292$ ) که به عنوان گاز مرجع است، را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود حسگر به گاز هلیوم واکنش نشان می‌دهد و طول موج آن نسبت به هوا  $0/6$  nm تغییر می‌کند. تغییر طول موج مرکزی طیف مبنای سنجش در حسگرهای گاز است.

<sup>۱</sup> Helium



شکل ۲-۲: نمودار طیف انتقالی بر حسب طول موج برای گاز هلیوم و هوا با  $a=441 \text{ nm}$  و  $r=0.33a$  [۱۳].

در نمودار شکل ۲-۳ مقایسه طیف انتقالی گاز آرگون<sup>۱</sup> (ضریب شکست  $n=1.000282$ ) با هوا (ضریب شکست  $n=1.000292$ ) نشان داده شده است. با توجه به این نمودار تغییر طول موج بین هوا و آرگون حدود  $0.05 \text{ nm}$  است.

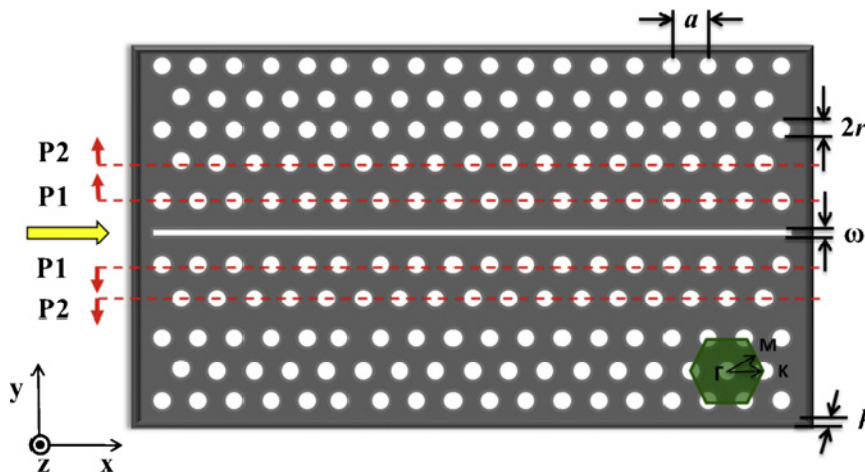


شکل ۲-۳: نمودار طیف انتقالی بر حسب طول موج برای گاز آرگون و هوا با  $a=441 \text{ nm}$  و  $r=0.33a$  [۱۳].

<sup>۱</sup> Argon

در مرجع [۱۴] حسگر گاز بر اساس شکاف در موجبر کریستال نوری می‌باشد که بستر آن از سیلیکون بر روی ماده عایق (SOI)<sup>۱</sup> استفاده شده است. با استفاده از این فناوری، ساخت تیغه‌های کریستال نوری به شکل حفره‌های هوایی و نیز میله‌های دی‌الکتریک در داخل ماده زمینه میسر خواهد بود.

شکل ۴-۲ ساختار حسگر بر اساس شکاف در موجبر کریستال نوری را نشان می‌دهد. در این شکل با حذف یک ردیف از حفره‌های هوا و جایگزینی یک شکاف باریک، گاز آزمون می‌تواند از آن شکاف به حفره‌ها نفوذ کند. در این حسگر مکان ردیف اول و دوم از حفره‌های هوا به منظور بهبود خواص نور کند در موجبر کریستال نوری تغییر می‌کند. در این ساختار  $a$  ثابت شبکه،  $r$  شعاع حفره‌ها،  $w$  پهنای شکاف و  $h$  ضخامت ورقه می‌باشد.



شکل ۴-۲: ساختار حسگر گاز بر اساس شکاف در موجبر کریستال نوری [۱۴].

در ساختار حسگر گاز مبتنی بر موجبر کریستال نوری پارامترهایی نظیر قطر حفره‌های ساختار، قطر موجبر، عرض ورودی و خروجی موجبر و ... وجود دارد که با استفاده از آنها ساختار را بهینه‌سازی می‌کنند [۲۰]. شکل ۵-۲ ساختار بهینه‌شده حسگر را به همراه طیف انتقالی نشان می‌دهد. می‌توان با  $a=413/9$  nm،  $r=0/5a$ ،  $s=2/9a$ ،  $w=4/9a$  حساسیت حسگر را به دلیل کاهش سرعت نور در شکاف موجبر کریستال نوری به اندازه ۱۲۶۰ برابر افزایش داد.

<sup>۱</sup> Silicon-On-Insulator