



دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

طراحی و ساخت یک حسگر گاز برمبنای ساختار فیبرنوری

توسط

سارا شریف پور بوشهری

اساتید راهنما

دکتر سیدمحسن حسینی گلگو

دکتر محمدحسین شیخی

اسفند ۹۲

سلام افلا

دانشکده فنی

گروه برق

گرایش الکترونیک

طراحی و ساخت یک حسگر گاز برمبنای ساختار فیبرنوری

از

سارا شریف پور بوشهری

اساتید راهنما

دکتر سیدمحسن حسینی گلگو

دکتر محمدحسین شیخی

اسفند ۹۲

تقدیم به:

"دانش" جویان

سپاسگزاری:

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت.
در این جا بر خود لازم می دانم از زحمات اساتید راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر محمد حسین شیخی و جناب آقای دکتر سیدمحسن حسینی گلگو که در این مدت بزرگوارانه با بنده همکاری کردند و در تمام طول این مسیر مرا راهنمایی کردند، صمیمانه تشکر کنم. همچنین بی اندازه سپاس دار خانواده ام هستم که بدون همراهی و همکاری ایشان حتی گام کوچکی از این مسیر قابل پیمودن نبود.

فهرست مطالب

فصل اول: فیبرنوری و کاربردهای آن.....	۱
۱-۱. مقدمه.....	۲
۱-۲. نور و طبیعت آن.....	۲
۱-۳. فیبر نوری و انواع آن.....	۳
۱-۴. پارامترهای فیبرنوری.....	۶
۱-۵. موج میراشونده.....	۸
۱-۶. کاربردهای فیبر نوری.....	۹
فصل دوم: حسگرهای شیمیایی فیبرنوری.....	۱۴
۲-۱. مقدمه.....	۱۵
۲-۲. پارامترهای مشخصه حسگرهای فیبر نوری.....	۱۵
۲-۲-۱. حساسیت.....	۱۵
۲-۲-۲. زمان پاسخ.....	۱۶
۲-۲-۳. زمان بازیابی.....	۱۶
۲-۳. مواد حسگری.....	۱۷
۲-۳-۱. اکسیدهای فلزی.....	۱۷
۲-۳-۲. مواد فلزی.....	۱۹
۲-۳-۳. مواد پلیمری.....	۱۹
۲-۳-۴. کریتوفان‌ها.....	۲۰
۲-۳-۵. نانولوله‌های کربنی.....	۲۱
۲-۴. انواع حسگرهای فیبرنوری.....	۲۲
۲-۴-۱. حسگرهای فیبر نوری optrode.....	۲۲

۲۵.....	۲-۴-۲. حسگرهای فیبر نوری میدان میراشونده.....
۲۹.....	۲-۴-۳. حسگرهای فیبر نوری توری براگ.....
۳۲.....	۲-۴-۴. حسگرهای فیبر نوری تشدید پلاسمون سطحی.....
۳۵.....	۲-۴-۵. حسگرهای فیبرنوری فوتونیک کریستال.....
۴۰.....	فصل سوم: شبیه‌سازی.....
۴۱.....	۳-۱. مقدمه.....
۴۱.....	۳-۲. معرفی نرم افزار OptiBPM.....
۴۲.....	۳-۳. طراحی یک حسگر فیبر نوری در محیط OptiBPM.....
۴۲.....	۳-۳-۱. آغاز کار.....
۴۶.....	۳-۳-۲. طراحی در محیط Designer.....
۴۸.....	۳-۴. شبیه‌سازی.....
۵۰.....	۳-۵. نتایج شبیه‌سازی.....
۵۳.....	فصل چهارم: فرایند ساخت.....
۵۴.....	۴-۱. مقدمه.....
۵۴.....	۴-۲. مواد و تجهیزات.....
۵۷.....	۴-۳. اصلاح ساختار فیبر.....
۵۸.....	۴-۳-۱. برداشتن لایه پلیمری.....
۵۹.....	۴-۳-۲. نصب بر روی پایه نگهدارنده و تمیزکاری.....
۵۹.....	۴-۳-۳. برداشتن لایه پوشش (cladding).....
۶۲.....	۴-۴. اتصال کانکتورها و تست فیبر.....
۶۷.....	۴-۵. آماده سازی فیبر برای لایه نشانی.....
۶۷.....	۴-۶. لایه نشانی لایه حساس.....

۶۸.....	۴-۷. سیستم برای تست حسگر
۶۸.....	۴-۸. ساخت سیستم برای بررسی تاثیر دمای تفجوشی بر روی حساسیت و خواص نوری اکسید قلع
۷۰.....	۴-۹. محاسبه تراکم گاز یا بخار الکل.....
۷۲.....	فصل پنجم: اندازه‌گیری‌ها، نتایج و بحث
۷۳.....	۵-۱. مقدمه.....
۷۳.....	۵-۲. بررسی ساختار و مورفولوژی سطح لایه‌های نازک اکسید قلع.....
۷۴.....	۵-۳. ویژگی های نوری و حسگری لایه‌های نازک اکسید قلع
۷۴.....	۵-۳-۱. محاسبه ضریب شکست
۷۵.....	۵-۳-۲. بررسی طیف جذبی و حسگری حسگرهای نوری بر پایه فیلم‌های نازک اکسید قلع
۷۹.....	۵-۴. بررسی حساسیت حسگر فیبرنوری به بخار الکل ها
۸۳.....	۵-۵. پاسخ دینامیکی حسگر فیبرنوری
۸۶.....	۵-۶. تکرارپذیری.....
۸۷.....	فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۸.....	۶-۱. نتایج
۸۸.....	۶-۱. پیشنهادات.....
۹۰.....	مراجع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱. تقسیم بندی محدوده های مختلف طول موجی..... ۳
- شکل ۱-۲. نمایی از لایه های یک کابل فیبر نوری..... ۵
- شکل ۱-۳. انواع فیبر نوری..... ۵
- شکل ۱-۴. پروفایل ضریب شکست فیبر نوری..... ۶
- شکل ۱-۵. انتقال پرتو نور در فیبر نوری..... ۷
- شکل ۱-۶. موج میراشونده در مرز دو محیط با ضریب شکست متفاوت..... ۹
- شکل ۱-۷. انواع حسگر فیبرنوری بر اساس نقاط اندازه گیری..... ۱۲
- شکل ۱-۸. حسگر فیبرنوری غیرذاتی و حسگر فیبرنوری ذاتی..... ۱۳
- شکل ۲-۱. دو طرح از حسگر فیبر نوری نانوسیم پلیمری. الف) نانوسیم پلیمری متصل شده به انتهای یک فیبر باریک شده. ب) نانوسیم پلیمری بین دو فیبرنوری باریک شده..... ۲۰
- شکل ۲-۲. ساختار مولکولی کریپتوفان A و E..... ۲۱
- شکل ۲-۳. پیکربندی های مختلف حسگر optrode..... ۲۳
- شکل ۲-۴. حساسیت حسگر Liu و همکارانش به هگزانول، متانول و استون. الف) با ماده حساس NOA 81. ب) با ماده حساس PEG 400..... ۲۴
- شکل ۲-۵. تغییرات شدت نور بازگشتی حسگر Fujiwara بر حسب تغییرات درصد وزنی الف) اتانول و ب) ساکارز در محلول..... ۲۴
- شکل ۲-۶. الف) فیبر مخروطی شده. ب) فیبر زدایش شده. ج) فیبر D شکل..... ۲۶
- شکل ۲-۷. مدل ارایه شده توسط Renganathan و همکارانش برای حسگرهای فیبرنوری برپایه میدان میراشونده..... ۲۷
- شکل ۲-۸. پاسخ حسگر Yan و همکارانش به گازهای هیدروژن، متان و مونوکسید کربن..... ۲۸
- شکل ۲-۹. تغییرات در شدت نور خروجی از حسگر Manivanna و همکارانش بر حسب تراکم های مختلف گاز آمونیا..... ۲۹
- شکل ۲-۱۰. الف) فیبر توری براگ. ب) پروفایل ضریب شکست هسته فیبر..... ۳۰

شکل ۱۱-۲. الف) خروجی حسگر Yang به ۳,۵٪ گاز متان. ب) جابه‌جایی طول موج خروجی حسگر برحسب تراکم متان.....	۳۱
شکل ۱۲-۲. جابه‌جایی طول موج خروجی حسگر Rajan در حضور تراکم‌های متفاوت Naringin.....	۳۵
شکل ۱۳-۲. الف) فیبر فوتونیک کریستال با هسته توخالی -ب) فیبر فوتونیک کریستال با هسته جامد.....	۳۶
شکل ۱۴-۲. هدایت پهنه ممنوعه در فیبر فوتونیک کریستال با هسته توخالی.....	۳۸
شکل ۱۵-۲. جابه‌جایی حسگر Villatoro و همکارانش به ازای تراکم‌های مختلف THF، ایزوپروپانول، استونیتریل و متانول.....	۳۹
شکل ۱-۳. طرح‌واره یک حسگر فیبرنوری برپایه میدان میراشونده.....	۴۱
شکل ۲-۳. پنجره ورودی رابط گرافیکی OptiBPM Designer.....	۴۳
شکل ۳-۳. پنجره Initial Properties جهت تعیین مشخصات اولیه ویفر و موجبر.....	۴۳
شکل ۴-۳. پنجره Profile Designer OptiBPM جهت تعیین مواد و ساختارها.....	۴۴
شکل ۵-۳. پنجره تعیین مشخصات ماده دی الکتریک.....	۴۴
شکل ۶-۳. پنجره طراحی موجبر.....	۴۶
شکل ۷-۳. پنجره Designer.....	۴۷
شکل ۸-۳. ساختار حسگر شبیه سازی شده.....	۴۸
شکل ۹-۳. پنجره تعیین مشخصات اولیه موج ورودی.....	۴۸
شکل ۱۰-۳. پنجره انتخاب میدان ورودی.....	۴۹
شکل ۱۱-۳. پنجره ویرایش مشخصات میدان گاوسی.....	۴۹
شکل ۱۲-۳. پنجره تعیین پارامترهای شبیه سازی.....	۵۰
شکل ۱۳-۳. توان نسبی خروجی در طول فیبر برای ساختار حسگر با ضخامت پوشش باقی مانده ۰,۵ میکرومتر. در حضور هوا (منحنی قرمز رنگ) و در حضور بخار اتانول (منحنی سیاه رنگ).....	۵۱
شکل ۱۴-۳. توان خروجی در طول فیبر برای حسگر با ضخامت های پوشش ۰,۵ (سبز)، ۱ (قرمز)، ۱,۵ (آبی) و ۳ (بنفش).....	۵۲
شکل ۱۵-۳. تغییرات نرمالیزه شده توان خروجی حسگر به ازای ضخامت‌های مختلف باقی مانده از پوشش فیبر.....	۵۲
شکل ۱-۴. مواد مصرف شده در پروژه.....	۵۶
شکل ۲-۴. تجهیزات استفاده شده در پروژه. الف) اسپکتروفوتومتر. ب) لیزر. ج) توان سنج نوری. د) AFM. ه) میکروسکوپ نوری. و) Stripper. ز) Cleaver. ح) دوربین فیبرنوری. ط) سمباده مخصوص فیبرنوری. ی) میکروپیپت.....	۵۸
شکل ۳-۴. تصویر فیبرنوری بدون روکش پلیمری.....	۵۹

- شکل ۴-۴. فیبر نوری نصب شده بر روی پایه نگهدارنده..... ۵۹
- شکل ۴-۵. تصویر فیبر- الف: در آغاز فرایند زدایش. ب: پس از ۶۰ دقیقه زدایش. ج: پس از ۱۰۵ دقیقه زدایش. د: پس از ۱۹۰ دقیقه زدایش..... ۶۱
- شکل ۴-۶. نمودار تغییرات ضخامت فیبر بر حسب مدت زمان زدایش..... ۶۱
- شکل ۴-۷. تصویر فیبر نوری پس از پایان فرایند زدایش. ضخامت فیبر در این مرحله ۱۰ میکرومتر است..... ۶۱
- شکل ۴-۸. کانکتور SC..... ۶۳
- شکل ۴-۹. کانکتور ST..... ۶۳
- شکل ۴-۱۰. کانکتور FC..... ۶۴
- شکل ۴-۱۱. کانکتور LC..... ۶۵
- شکل ۴-۱۲. کانکتور MU..... ۶۵
- شکل ۴-۱۳. نحوه سمباده زنی فیبر نوری..... ۶۶
- شکل ۴-۱۴. تصویر نوک فیبر نوری پس از صیقل کاری..... ۶۶
- شکل ۴-۱۵. تصویر حسگر قبل از آماده شدن برای لایه نشانی..... ۶۷
- شکل ۴-۱۶. تصویر فیبر با پایه نگهدارنده که در صفحه پلکسی ثابت شده است..... ۶۹
- شکل ۴-۱۷. سامانه تست حسگر گاز فیبرنوری..... ۶۹
- شکل ۵-۱. لگوی XRD لایه اکسیدقلع لایه نشانی شده با روش تبخیر با پرتو الکترونی بر روی زیرلایه شیشه سودا لایم پس از بازپخت در دمای 300°C ۷۳
- شکل ۵-۲. تصویر AFM فیلم های نازک اکسید قلع، الف) نمونه حرارت ندیده. ب) عملیات حرارتی در دمای 150°C . ج) عملیات حرارتی در دمای 300° . د) عملیات حرارتی در دمای 400°C ۷۴
- شکل ۵-۳. طیف جذبی فیلم نازک اکسیدقلع لایه نشانی شده بر روی شیشه سودا لایم به روش تبخیر با پرتوالکترونی..... ۷۵
- شکل ۵-۴. طیف جذبی لایه های نازک اکسید قلع، قبل و بعد از بازپخت در دماهای مختلف..... ۷۶
- شکل ۵-۵. طیف جذب حسگر نوری در حضور هوا (—) و 10000 ppm بخار اتانول (.....). الف) نمونه بازپخت نشده. ب) نمونه بازپخت شده در دمای 150° درجه سانتی گراد. ج) نمونه بازپخت شده در دمای 300° درجه سانتی گراد. د) نمونه بازپخت شده در دمای 400° درجه سانتی گراد..... ۷۸
- شکل ۵-۶. حساسیت حسگرهای نوری اکسیدقلع تفجوشی نشده ()، تفجوشی شده در دمای 150°C (----)، تفجوشی شده در دمای 300°C (.....)، تفجوشی شده در دمای 400°C (-.-.-) به 10000 ppm اتانول..... ۷۹

- شکل ۷-۵. منحنی تغییرات توان خروجی بر حسب غلظت در حضور بخار متانول..... ۸۰
- شکل ۸-۵. منحنی تغییرات توان خروجی بر حسب غلظت در حضور بخار اتانول..... ۸۱
- شکل ۹-۵. منحنی تغییرات توان خروجی بر حسب غلظت در حضور بخار ۱-پروپانول..... ۸۱
- شکل ۱۰-۵. منحنی تغییرات توان خروجی بر حسب غلظت در حضور بخار ۱-بوتانول..... ۸۲
- شکل ۱۱-۵. پاسخ دینامیکی حسگر فیبرنوری به تراکم‌های مختلف از بخار متانول..... ۸۴
- شکل ۱۲-۵. پاسخ دینامیکی حسگر فیبرنوری به تراکم‌های مختلف از بخار اتانول..... ۸۴
- شکل ۱۳-۵. پاسخ دینامیکی حسگر فیبرنوری به تراکم‌های مختلف از بخار ۱-پروپانول..... ۸۵
- شکل ۱۴-۵. پاسخ دینامیکی حسگر فیبرنوری به تراکم‌های مختلف از بخار ۱-بوتانول..... ۸۵
- شکل ۱۵-۵. پاسخ حسگر به ppm ۱۰۰۰ اتانول در آزمایش های مکرر..... ۸۶

NA: Numerical Aperture.
ppm: Part Per Million.
FBG: Fiber Bragg Grating.
SPR: Surface Plasmon Resonance.
SPW: Surface Plasmon Wave.
TM: Transverse Magnetic.
THF: Tetrahydrofuran.
FD-BPM: Finite Difference Beam Propagation Method.
AFM: Atomic Force Microscope.
DI: DeIonized
SC: Structured Connector.
FC: Fixed Connection.
ST: Straight Tip.
MU: Miniature Unit.
LU: Lucent Connector.
 μm : Micro Meter.
nm: Nano Meter.
pm: Pico Meter.
dB: Decibel.
eV: Electron Volt.

طراحی و ساخت یک حسگر گاز فیبرنوری برمبنای ساختار فیبرنوری

سارا شریف پور بوشه‌ری

پوشش دور هسته یک فیبرنوری تک‌مد با استفاده از روش زدایش شیمیایی مرطوب تا نزدیکی هسته برداشته شد. لایه‌های آمورف اکسیدقلع با تکنیک تبخیر به روش پرتو الکترونی بر روی هسته فیبر و لام‌های شیشه‌ای لایه‌نشانی شدند. فشار محفظه به طور میانگین 4×10^{-5} Torr بود و زیرپایه‌ها (فیبرها و لام‌های شیشه‌ای) در دمای اتاق قرار داشتند. لایه‌های حاصل، یکنواخت و زرد رنگ بودند و اندازه‌ی دانه‌ها در حدود ۲۰ نانومتر بود. نمونه‌های نشانده شده بر روی لام‌های شیشه‌ای در دماهای ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تفجوش شدند. با بالا رفتن دمای تفجوشی اندازه دانه‌ها بزرگتر، ناهمواری سطح بیشتر و حساسیت حسگر نسبت به بخار اتانول کمتر شد. از این رو لایه اکسیدقلع بدون عملیات حرارتی به عنوان لایه حساس حسگر فیبرنوری انتخاب گردید. پاسخ حسگر فیبرنوری به بخار الکل‌های متانول، اتانول، ۱-پروپانول و ۱-بوتانول بررسی و ثبت شد. نتایج نشان داد که حسگر بیشترین حساسیت را نسبت به الکل ۱-پروپانول و کوتاه‌ترین زمان پاسخ را نسبت به متانول و اتانول دارد. همچنین تکرارپذیری حسگر نیز در چهار آزمایش متوالی بررسی شد و حسگر تکرارپذیری قابل قبولی از خود نشان داد. به منظور بهینه‌سازی ساختار حسگر از نظر ضخامت پوشش باقی‌مانده از فیبر، شبیه‌سازی‌هایی با نرم‌افزار OptiBPM انجام شد. نتایج نشان داد که حسگر با ضخامت پوشش بین ۰٫۵ تا ۱ میکرومتر ساختار بهینه از نظر حساسیت و تلفات توان است.

کلید واژه: حسگر، حسگر فیبرنوری، اکسیدقلع، متانول، اتانول، پروپانول، بوتانول.

Abstract

Design and fabrication of a gas sensor based on fiber-optic structure

Sara Sharifpour Boushehri

The cladding layer of a single mode fiber-optic is removed using wet chemical etching technique. The amorphous layers of SnO₂ are deposited on the core of the fiber-optic and soda lime glasses using electron beam evaporation technique. The chamber pressure was about 4×10^{-5} Torr and the substrates were kept at room temperature. The SnO₂ layers were uniform, yellow in color and the grain size was about 20 nm. The samples on the soda lime glasses are annealed at 150, 300 and 400 °C. By increasing the annealing temperature, the roughness and the grain size are increased and the sensitivity to ethanol vapor is decreased. Hence, the not annealed SnO₂ is chosen as a sensing layer of fiber-optic sensor. The fiber-optic sensor response to methanol, ethanol, 1-propanol and 1- butanol vapors are investigated. The results show that the fiber-optic sensor has the most sensitivity to 1-propanol vapor and the fastest response to methanol and ethanol vapor. Also, the repeatability of the sensor response was checked. During four consecutive experiment the sensor has almost the same behavior. The sensor structure, sensitivity and power loss was simulationed using OPTiBPM software. The results show that the structure with remaining cladding thickness between 0.5 and 1 μm is the optimized structure.

Key words: Sensor, Fiber-optic sensor, Tin oxide, Methanol, Ethanol, Propanol, Butanol.

فصل اول

فیبر نوری و کاربردهای آن

۱-۱. مقدمه

پس از دهه ۶۰ میلادی که می‌توان آن را آغاز تکنولوژی فیبرنوری دانست، روز به روز بر کاربردهای مختلف فیبرنوری افزوده شد. فیبرهای نوری با ویژگی‌هایی همچون قیمت ارزان، تلفات اندک و ابعاد بسیار کم، گزینه مناسبی برای نقل و انتقال داده هستند. با پیشرفت تکنولوژی و فراهم شدن تجهیزات نوری مناسب مانند منابع و آشکارسازهای نوری، فیبرهای نوری هر روز بیشتر در دل صنعت و تکنولوژی روز، به ویژه مخابرات، جا باز کردند. به نحوی که مخابرات سیم مسی پس از مدت کوتاهی جای خود را به مخابرات فیبرنوری داد [1].

از سوی دیگر با معرفی مواد و ساختارهای جدید فیبرنوری، دریچه‌ای تازه بر کاربردهای آن گشوده شد. یکی از این شاخه‌های نوین، حسگرهای گاز مبتنی بر فیبرنوری هستند. تشخیص وجود و میزان غلظت گازها و بخار مواد شیمیایی سمی و قابل اشتعال یکی از چالش‌های مهم در صنایع مختلف از جمله صنایع شیمیایی، نفت، گاز و معادن است. این تشخیص باید سریع، دقیق و ایمن باشد. در سال‌های اخیر، در میان تکنیک‌های حسگری گوناگون، روش حسگری براساس فیبرنوری به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی چون مصونیت نسبت به نویز الکترومغناطیس، قابلیت حسگری از راه دور، دقت و سرعت نسبتاً خوب و قابلیت به کارگیری در محیط‌هایی که خطر انفجار وجود دارد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است [2].

در این فصل، ابتدا توضیحات مختصری در مورد ماهیت نور ارائه داده می‌شود. سپس به معرفی فیبرنوری و اساس انتشار نور در فیبرهای نوری پرداخته می‌شود. در انتها کاربردهای گوناگون فیبرنوری و مفهوم کلی حسگری فیبرنوری را معرفی می‌شود.

۱-۲. نور و طبیعت آن

معمولاً گمان می‌کنیم که نور را خیلی خوب می‌شناسیم. اما فقط بخش کوچکی از نور را با یکی از اصلی‌ترین حواسمان می‌بینیم. نور را معمولاً به سه روش توصیف می‌کنند:

در اپتیک هندسی نور را به صورت پرتوهایی توصیف می‌کنند که با برخورد با سطوح منعکس شده یا تجزیه می‌شوند. این توصیف بسیار ساده برای توصیف عبور نور در برخی کاربردها مفید است اما در توضیح بسیاری از پدیده‌ها، به ویژه پدیده‌های مربوط به مخابرات نوری و حسگرهای نوری، ناتوان است. به عنوان مثال، میدان‌های میراشونده در مرز دو دی‌الکتریک و یا تشکیل پلاسمون‌های سطحی در مرز فلز-دی‌الکتریک را نمی‌توان با اپتیک هندسی توصیف کرد.

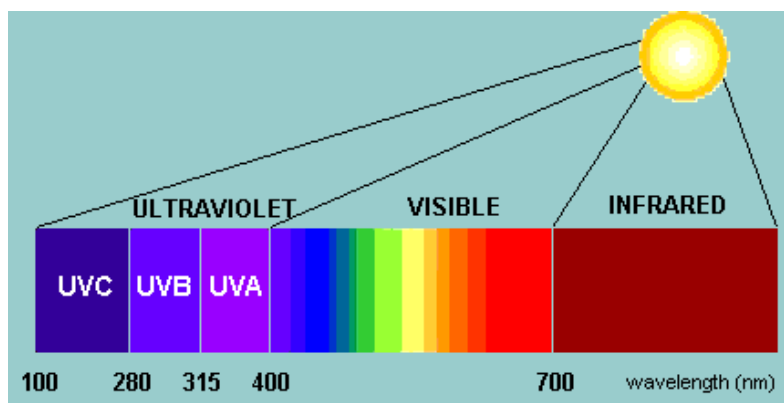
در توصیفی دیگر نور را به صورت یک موج الکترومغناطیس در نظر می‌گیرند. مثلاً در زمینه مخابرات نوری اکثر اوقات بهتر است نور را به صورت یک موج الکترومغناطیس در نظر بگیریم. در این توصیف برای توصیف نور، مانند سایر امواج الکترومغناطیس، از معادلات ماکسول استفاده می‌شود.

در بسیاری زمینه‌ها، نور را متشکل از ذرات کوچکی به نام فوتون در نظر می‌گیرند که این ذرات دارای جهت و انرژی هستند. برخی پدیده‌ها، مانند اثر فوتوالکتریک را نمی‌توان با مدل موجی توصیف کرد ولی نظریه فوتون برای توصیف چنین پدیده‌هایی مناسب است.

در توصیف نور به عنوان یک موج الکترومغناطیس، برای آن فرکانس و طول موج در نظر می‌گیرند و به هر محدوده فرکانسی یا طول موجی، نام خاصی اطلاق می‌کنند. این تقسیم بندی در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

۳-۱. فیبر نوری و انواع آن

همان‌گونه که پیش از این بیان شد دهه ۶۰ میلادی را می‌توان آغاز تکنولوژی فیبرنوری دانست. اختراع لیزر در اوایل این دهه دانشمندان را به جستجوی محیط مناسبی برای انتقال نور واداشت. در سال ۱۹۶۶ کائو و هاگهام^۱ فیبرهای نوری از جنس شیشه را به عنوان موجبر نور پیشنهاد کردند. فیبرهای اولیه دارای تلفات بسیار زیادی بودند (هزار دسیبل بر کیلومتر) در همان زمان کابل‌های کواکسیال تلفاتی معادل ۵ تا ۱۰ دسی بل بر کیلومتر داشتند. همچنین اتصال کابل‌های فیبرنوری به یکدیگر مشکلات بسیاری داشت. اما در عرض ده سال تلفات فیبر به زیر ۵ دسی بل بر کیلومتر رسید و مشکلات اتصال نیز حل شد. به موازات پیشرفت تکنولوژی ساخت فیبر، صنعت نیمه هادی نیز منابع نوری و آشکارسازهای نوری مناسبی عرضه داشت. اکثر تلاش‌های اولیه در این زمینه



شکل ۱-۱. تقسیم بندی محدوده های مختلف طول موجی.

^۱ Kao and Hockham

در محدوده طول موجهای ۰/۸ تا ۰/۹ میکرومتر انجام شد. اما بعدها با معلوم شدن خواص بهتر فیبر در طول موجهای ۱/۱ تا ۱/۶ میکرومتر قطعاتی که توانایی کار در این طول موجها را داشته باشند به بازار عرضه شدند. فیبرنوری در واقع یک موجبر استوانه‌ای است که از دو استوانه هم‌مرکز به نام‌های هسته^۱، با ضریب شکست بزرگتر n_1 و پوشش^۲، با ضریب شکست کوچکتر n_2 تشکیل شده است. جنس فیبرهای تجاری عمدتاً از سیلیکا (SiO_2) است و برای تغییر در ضریب شکست هسته و پوشش ناخالصی‌هایی را وارد سیلیکا می‌کنند. این ناخالصی‌ها علاوه بر تعیین ضریب شکست، در میزان تلفات در محدوده‌های مختلف طول موجی نیز مؤثرند. مثلاً می‌توان از سیلیکای خالص برای پوشش استفاده کرد و با آلايش هسته با اکسیدهایی مانند Al_2O_3 ، GeO_2 یا P_2O_5 ضریب شکست آن را کمی افزایش داد [3]. همچنین برای این‌که از مزیت کم تلف بودن سیلیکای خالص بهره‌مند شویم، می‌توان هسته را از جنس سیلیکای خالص ساخت و پوشش را با فلورایدی همچون ZrF_4 ، BaF_2 ، AlF_3 و LiF_3 آلايش نمود [3]. این نوع فیبرها در محدوده ۲ تا ۴ میکرومتر، تلفات کمی دارند. انواع دیگری از فیبرهای نوری هم هستند که از ترکیباتی از پلیمرها ساخته می‌شوند. این نوع فیبرها بیشتر جنبه آزمایشگاهی و تحقیقاتی دارند و قطر آن‌ها چندین برابر بزرگتر از فیبرهای سیلیکایی است.

قطر فیبرهای نوری سیلیکایی استاندارد معمولاً کمتر از ۲۰۰ میکرومتر است، از این رو این فیبرها بسیار نازک و شکننده هستند. به منظور افزایش استحکام مکانیکی تارهای فیبر، معمولاً لایه‌هایی از جنس پلاستیک، پلیمر و کتان به دور آن می‌پیچند که به این مجموعه کابل فیبرنوری^۳ می‌گویند. در یک کابل ممکن است چندین تار فیبرنوری وجود داشته باشد. شکل ۱-۲ طرح‌واره لایه‌های یک کابل نوری را نشان می‌دهد. در واقع فقط دو لایه درونی، هسته و پوشش، وظیفه هدایت و انتقال نور را بر عهده دارند و بقیه لایه‌ها تنها برای استحکام هستند.

فیبرهای نوری بر اساس مدهای انتشاری به دو دسته تک مد^۴ و چندمد^۵ و بر اساس نوع تغییرات ضریب شکست به دو گونه ضریب شکست پله‌ای^۶ و تدریجی^۷ تقسیم‌بندی می‌شوند. شکل ۱-۳ انواع مختلف فیبرنوری را نشان می‌دهد. تفاوت این فیبرها در مسیری است که نور در طول فیبر می‌پیماید. به مسیرهایی که نور در فیبر

^۱ Core

^۲ Clad

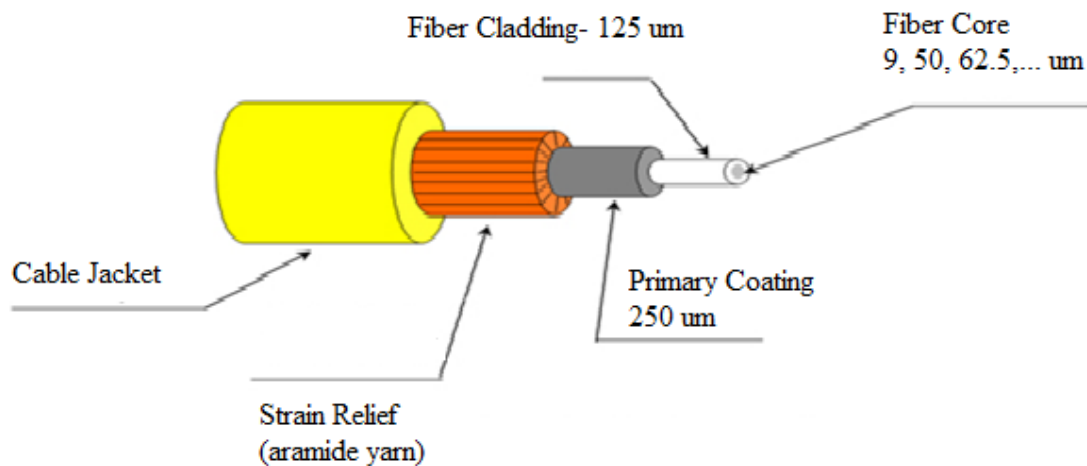
^۳ Fiber Optic Cable

^۴ Single mode

^۵ Multi mode

^۶ Step-index

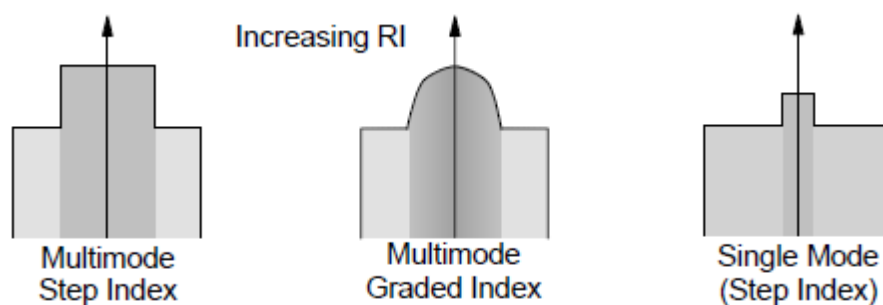
^۷ Graded-index



شکل ۱-۲. نمایی از لایه های یک کابل فیبر نوری.

می‌پیماید "مد" می‌گویند. اگر قطر هسته فیبر، نسبت به طول موج عبوری در فیبر، به اندازه کافی کوچک باشد تنها یک مسیر برای عبور نور وجود خواهد داشت و به این فیبرها، فیبر تک‌مد می‌گویند. اما اگر قطر هسته به اندازه کافی بزرگ باشد مسیرهای مختلفی برای عبور نور وجود خواهد داشت و به این فیبرها، فیبرهای چند مد می‌گویند. مثلاً برای یک فیبر نوری سیلیکایی با قطر هسته ۶۲٫۵ میکرومتر و طول موج ۱۳۰۰ نانومتر در حدود ۴۰۰ مد وجود خواهد داشت. باید توجه داشت که نور در مسیر (مد) های مختلف، سرعت‌های متفاوتی خواهد داشت [4].

اما همان‌طور که گفته شد تغییرات ضریب شکست هم می‌تواند به صورت پله‌ای و هم تدریجی باشد. پروفایل تغییرات ضریب شکست برای این سه نوع فیبر در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. در ضریب شکست پله‌ای



شکل ۱-۳. انواع فیبر نوری [4].