بسم الله الرحمن الرحیم

مقدمه‌ای بر

فوتونیک

ترجمه و تألیف:

دکتر سعید علیائی

استاد دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

سر شناسنامه	:	علیائی، سعید، ۱۳۵۳-
عنوان و نام پدید آور	:	مقدمه ای بر فوتونیک /سعید علیائی.
مشخصات نشر	:	تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۸۸
مشخصات ظاهری	:	۵۰۴ ح.: مصور. نمودار
شابک	:	۹۷۸-۹۶۴-۲۶۵۱-۵۱-۱
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	واژه نامه
یادداشت	:	کتابنامه: ص. ۴۷۷-۴۴۹
یادداشت	:	نمایه.
موضوع	:	فیزیک - راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	:	فیزیک – ازمون ها و تمرین ها (عالی)
شناسه افزوده	:	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
رده بندی کنگره	:	QC۳۲/ع۸۲م۷ ۱۳۸۸
رده بندی دیویی	:	۵۳۰/۰۷۶
شماره کتابشناسی ملی	:	۱۹۳۰۴۷۹

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

عنوان	:	مقدمه ای بر فوتونیک
ترجمه و تألیف	:	دکتر سعید علیائی، استاد دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
ویراستار ادبی	:	عاطفه نجیبی
چاپ اول	:	تابستان ۱۳۸۸
چاپ پنجم	:	تابستان ۱۴۰۴
انتشارات	:	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
طراح جلد	:	صابر یحیی پور
چاپ و لیتوگرافی	:	باران علم
ناظر چاپ	:	محمد معتمدی نژاد
شمارگان	:	۱۰۰ جلد
قیمت	:	۵۵۰.۰۰۰ تومان
شابک	:	۹۷۸-۹۶۴-۲۶۵۱-۵۱-۱ ISBN: 978-964-2651-51-1

کلیهٔ حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان – کد پستی ۱۶۷۸۸-۱۵۸۱۱ – صندوق پستی ۱۶۳ – ۱۶۷۸۵ – تلفن: (۲۶۳۲) ۹ – ۲۲۹۷۰۰۶۰، ۲۲۹۷۰۰۷۰، نمابر: ۲۲۹۷۰۰۰۳، پست الکترونیکی: publish@sru.ac.ir، وب سایت: http://publish.sru.ac.ir

تقدیم به همسرم

که خواندن و نوشتن را به جای گفتن و شنیدن تحمل کرد
و بدون کمک‌های او هرگز این کار به سرانجام نمی‌رسید.

شرح تصویر روی جلد:

این تصویر یک موجبر کریستال فوتونی سیلیکونی را به همراه یک پروانه مورفو نشان می‌دهد. پرهای گونه‌ای از این پروانه به‌نام مورفو ریتنور (*Morpho Rhetenor*)، نور آبی را در محدوده وسیعی از زوایای تابشی، بازتاب می‌کند. این بازتاب به‌دلیل وجود رنگ‌دانه موجود در بافت نیست بلکه از وجود یک نانوساختار در بال‌های پروانه ناشی می‌شود. وجود بازتابش در محدوده وسیعی از زوایای تابشی، نشان‌دهنده این حقیقت است که این ساختار، یک نانوساختار کریستال فوتونی است. چنین ساختاری در سنگ‌های جواهر طبیعی، پرهای طاووس و در برخی از حشرات دیگر نیز وجود دارد.

پیشگفتار

با توجه به سرعت بالای نور و امکان ساخت افزاره‌های مجتمع تمام‌نوری، برخی از سامانه‌های الکترونیکی به‌تدریج جای خود را به سامانه‌های نوری می‌دهند. پرداختن به نکات مشترک علم الکترونیک و فوتونیک، دریچه‌های جدیدی را به مرزهای دانش باز کرده است. کتاب پیش‌رو قصد دارد تا درحد امکان و حوصله خواننده، به مباحث علمی فوتونیک در کنار الکترونیک نوری بپردازد. به همین دلیل، به همراه سه افزاره اصلی در سامانه‌های الکترونیک نوری، یعنی آشکارسازها، منابع و موجبرهای نوری، به مباحثی در خصوص نور غیرخطی، تداخل‌سنج‌های لیزری و ساختارهای کریستال فوتونی پرداخته شده است. از این‌رو، فصل اول کتاب به توضیحاتی درخصوص تعریف و لزوم فوتونیک می‌پردازد. مروری بر اپتیک و بحث در خصوص تداخل‌سنج‌ها در فصل دوم آمده است. موجبرهای تخت و استوانه‌ای نیز به‌عنوان مقدمه‌ای برای موجبرهای فیبر نوری، به ترتیب در فصل‌های سوم و چهارم مورد بحث قرار گرفته‌اند. فصل‌های پنجم تا هفتم موضوعات اساسی مطرح در فیبرهای نوری متداول، یعنی تلفات، پاشیدگی و تزویج آن‌ها را بررسی می‌کنند. پس از بررسی فیبرهای متداول، لازم است دانش جدید شکل‌گرفته بر روی فیبرها و یا به بیان دیگر همان فیبرهای کریستال فوتونی، مورد بررسی قرار گیرند. موضوع کریستال‌های فوتونی یک، دو و سه بُعدی و فیبرهای کریستال فوتونی در فصل هشتم آمده است. سپس مباحث مهم درخصوص نور غیرخطی در فصل نهم بررسی می‌شوند. برای بررسی افزاره‌های دوطرف یک موجبر که به‌عنوان مثال می‌توانند آشکارسازها و منابع تولید نور باشند، لازم است کلیاتی از فیزیک نیم‌رساناها مطرح شود. فصل دهم به همین منظور اختصاص یافته است تا مطالب فصل‌های بعدی برای درک خواننده ساده‌تر باشد. فصل یازدهم به بررسی دو چشمه مهم نوری یعنی دیودهای نورانی و دیودهای لیزری اختصاص دارد. موضوع تزویج آن‌ها به فیبر نوری هم در فصل دوازدهم بررسی می‌شود. در انتها، آشکارسازهای نوری مختلف در فصل‌های سیزدهم و چهاردهم مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در اصل، عمده محتوای این کتاب، برگردان بخش‌هایی از کتاب وزین "مقدمه‌ای بر فوتونیک و لیزر[1]" نوشته دکتر ریچارد کویمبای[2] است. با توجه به تاکید بر مباحث فوتونیک، در

[1] Photonics and Lasers: An Introduction
[2] Richard S. Quimby

کتاب پیش‌رو سعی شده است مطالب غیرمرتبط خلاصه شود. از سوی دیگر، برای درک بهتر از مطالب کتاب با توجه به گروه‌های هدف (فوتونیک و الکترونیک نوری دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد)، مباحث تکمیلی در حد حوصله خواننده ارائه شده است، که از آن جمله می‌توان به بررسی آشکارسازهای نوری خاص و تداخل‌سنج‌های لیزری اشاره کرد. از سوی دیگر، در نگارش متن تا حد امکان سعی شده است تا از واژگان اصیل و روان فارسی استفاده شود، ضمن این‌که به مفهوم علمی آن نیز خدشه‌ای وارد نشود.

در برخی از موارد درخصوص رساندن مفاهیم مورد نظر نیز با نویسنده‌های مراجع اصلی ارتباط برقرار شده که در همین‌جا بر خود لازم می‌دانم مراتب عمیق قدردانی خود را به دکتر کویمبای تقدیم کنم که با متانت بسیار، در روشن شدن مفاهیم برخی از جملات، اینجانب را یاری کردند. علاوه بر این، جا دارد که از کلیه عزیزانی که در ترجمه و نگارش این کتاب اینجانب را یاری کرده‌اند تشکر کنم، به‌خصوص جناب آقای دکتر گرانپایه، عضو محترم هیات علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، که با محبت فراوان، کمک‌های زیادی در ویرایش اولیه کتاب داشتند. زیبایی طرح جلد نیز مرهون زحمات جناب آقای صابر یحیی‌پور است که از ایشان تشکر می‌کنم. از دوستان عزیزم در حوزه انتشارات دانشگاه شهید رجائی که زحمات زیادی را تقبل کرده‌اند نیز قدردانی می‌نمایم. در انتها نیز مراتب عمیق قدردانی خود را تقدیم سرکار خانم نجیبی می‌کنم که با حوصله فراوان، ویرایش ادبی متن را بر عهده داشتند.

با وجود این‌که این کتاب، بارها مورد بررسی و ویرایش قرار گرفته است، اما بدون شک خالی از ایراد نیست. امیدوارم با دریافت نظرات و پیشنهادات ارزنده تمامی اساتید و دانشجویان محترم، ویرایش‌های بعدی از غنای بیشتری برخوردار باشد.

سعید علیائی
دی‌ماه ۱۳۸۸
s_olyaee@srttu.edu

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱ تعریف فوتونیک ۱
۱-۲ مخابرات فیبر نوری ۲
۱-۳ مروری بر محتوای فصل‌ها ۴

فصل دوم: مروری بر اپتیک

۲-۱ طبیعت نور ۷
سرعت فاز و گروه ۱۰
انرژی در یک موج نوری ۱۲
۲-۲ نور در شرایط مرزی ۱۳
قانون اسنل ۱۳
معادلات فرنل ۱۵
زاویه بروستر ۱۹
بازتاب داخلی کلی ۲۲
۲-۳ نور عبوری از روزنه ۲۵
پراش ۲۶
تداخل ۲۷
۲-۴ اپتیک تصویر ۳۲
۲-۵ تداخل‌سنجی ۳۵
تداخل‌سنج مایکلسون ۳۵
تداخل‌سنج همودین ۳۷
تداخل‌سنج هترودین ۳۹
تداخل‌سنج فیزوا ۴۰
تداخل‌سنج تویمن- گرین ۴۱
تداخل‌سنج فابری- پرو ۴۳
تداخل‌سنج ماخ- زندر ۴۳
تمرین‌ها ۴۵

فصل سوم: موجبرهای تخت

۳-۱ مودهای موجبر ۴۹
ضریب‌شکست موثر ۵۵
سرعت‌های مود ۵۷
۳-۲ نمودار مود ۶۰
توزیع میدان در یک مود ۶۴
۳-۳ پاشیدگی ۶۵
تمرین‌ها ۶۹

فصل چهارم: موجبرهای استوانه‌ای

۴-۱ زاویه پذیرش و روزنه عددی ۷۱
۴-۲ مودهای موجبر استوانه‌ای ۷۵
تعداد مود ۷۶
الگوی مود ۷۹
فیبرهای تک‌مود ۸۱
نمودار مود ۸۳
تقریب مود گوسی ۸۵
تمرین‌ها ۸۷

فصل پنجم: تلفات در فیبر نوری

۵-۱ تلفات جذب ۹۰
۵-۲ پراکنش ۹۲
پراکنش رالی ۹۳
پراکنش بریلوین ۹۶
پراکنش رامان ۹۸
۵-۳ تلفات خمش ۱۰۱
دیدگاه هندسه نور ۱۰۱

دیدگاه فیزیک نور ۱۰۳
مقیاس طول برای تلفات خمش ۱۰۴
تزویج (جفت‌شدگی) مود ۱۰۶
مودهای پوشش ۱۰۸
تمرین‌ها ۱۰۹

فصل ششم: پاشیدگی در فیبر نوری

۶-۱ فیبر شاخص تدریجی ۱۱۳
۶-۲ پاشیدگی درون‌مودی ۱۱۵
پاشیدگی ماده ۱۱۵
پاشیدگی موجبر ۱۲۰
پاشیدگی مود قطبیده ۱۲۴
پاشیدگی کل فیبر ۱۲۵
تمرین‌ها ۱۲۶

فصل هفتم: اتصالات و تشخیص تلفات فیبر

۷-۱ اتصالات فیبر ۱۲۹
پیوند (جوش) فیبر ۱۲۹
اتصال‌دهنده فیبر ۱۳۱
تزویج‌گر فیبر ۱۳۱
۷-۲ تلفات در اتصالات فیبر ۱۳۵
فیبر چندمود ۱۳۵
فیبر تک‌مود ۱۳۷
۷-۳ تشخیص تلفات فیبر ۱۳۹
روش بریدن ۱۳۹
بازتاب‌سنج نوری حوزه زمان ۱۴۱
۱- موقعیت پیوند یا شکستگی ۱۴۲
۲- بزرگی تلفات پیوند ۱۴۳

۳- ضریب تلفات فیبر ۱۴۴
تمرین‌ها ۱۴۷

فصل هشتم: فیبرهای کریستال فوتونی

۸-۱ کریستال‌های فوتونی یک‌بعدی ۱۵۲
شبکه شاخص پله‌ای ۱۵۲
شبکه شاخص سینوسی ۱۵۸
شکاف باند فوتونی ۱۶۶
مودهای محلی ۱۷۰
۸-۲ کریستال‌های فوتونی دو بعدی ۱۷۱
هندسه تخت ۱۷۲
هندسه فیبر ۱۸۱
هدایت بر اساس شاخص موثر ۱۸۱
هدایت بر اساس شکاف باند فوتونی ۱۸۷
۸-۳ کریستال‌های فوتونی سه بعدی ۱۹۱
تمرین‌ها ۱۹۷

فصل نهم: نور غیرخطی

۹-۱ سازوکارهای اساسی ۲۰۱
اعوجاج ابر الکترونی ۲۰۲
سایر سازوکارهای غیرخطی ۲۰۷
جهت‌گیری مولکولی ۲۰۷
الکتروتنگش ۲۰۸
جذب تشدیدی ۲۰۹
پراکنش ناکشسان ۲۱۲
اثرات حرارتی ۲۱۳
۹-۲ تبدیل فرکانسی ۲۱۴
تولید هارمونیک دوم ۲۱۴

تطبیق فاز ۲۲۰
ترکیب سه موجی ۲۲۳
ترکیب چهار موجی ۲۲۷
۹-۳ ضریب‌شکست غیرخطی ۲۲۹
کلیدزنی نوری ۲۳۲
چرپ‌شدگی پالسی و سالیتون‌های موقتی ۲۳۴
فشرده‌سازی پالس ۲۳۸
خودکانونی و سالیتون‌های فضایی ۲۳۹
۹-۴ اثرات الکترواپتیک ۲۴۲
اثر پاکل ۲۴۳
اثر الکترواپتیک کِر ۲۵۲
تمرین‌ها ۲۵۴

فصل دهم: مروری بر فیزیک نیم‌رسانا

۱۰-۱ نیم‌رسانای یکنواخت ۲۵۹
باندهای انرژی ۲۶۰
انرژی و اندازه حرکت ۲۶۶
بازده تشعشع ۲۷۳
۱۰-۲ نیم‌رساناهای لایه‌ای ۲۷۸
پیوندگاه $p - n$ ۲۷۸
پیوندهای ناهمگون: چاه کوانتومی ۲۸۸
اتصالات فلز- نیم‌رسانا ۲۹۱
ترازهای انرژی ۲۹۱
دیود شاتکی ۲۹۶
اتصالات اهمی ۲۹۷
تمرین‌ها ۲۹۸

فصل یازدهم: منابع نوری

۱۱-۱ دیود نورانی ۳۰۱
بایاس و توان نوری ۳۰۱
پاسخ فرکانسی و زمانی ۳۰۵
بازده گسیل ۳۱۱
۱۱-۲ دیود لیزری ۳۱۷
خصوصیات لیزرها ۳۱۷
آستانه ۳۱۷
جهت‌مندی ۳۱۹
خلوص طیفی ۳۲۲
زمان پاسخ ۳۲۴
انواع لیزرهای نیم‌رسانا ۳۲۶
لیزر با ساختار ناهمگون دوگانه ۳۲۶
لیزر چاه کوانتومی ۳۳۴
لیزر تک فرکانس ۳۳۶
لیزر گسیل سطحی با کاواک عمودی ۳۳۹
لیزر کوانتومی آبشاری ۳۴۱
تمرین‌ها ۳۴۵

فصل دوازدهم: تزویج منبع نور به موجبر

۱۲-۱ منبع نقطه‌ای ۳۴۹
۱۲-۲ منبع لامبرتین ۳۵۱
۱۲-۳ منبع لیزر ۳۵۶
تمرین‌ها ۳۵۹

فصل سیزدهم: آشکارسازهای نوری

۱۳-۱ آشکارسازهای حرارتی ۳۶۴

پاسخ زمانی ۳۶۴
آشکارساز ترموالکتریک ۳۶۷
آشکارساز پایروالکتریک ۳۶۸
۱۳-۲ آشکارسازهای فوتونی ۳۷۱
اثر فوتوالکتریک ۳۷۱
دیود نوری خلاء ۳۷۵
ضرب‌کننده فوتونی ۳۸۱
آشکارسازهای نوررسانا ۳۸۴
۱۳-۳ نویز در آشکارسازهای فوتونی ۳۹۲
نویز ساچمه‌ای ۳۹۳
نویز جانسون ۳۹۷
تمرین‌ها ۴۰۰

فصل چهاردهم: آشکارسازهای دیود نوری

۱۴-۱ بایاس دیود نوری ۴۰۳
۱۴-۲ اشباع خروجی ۴۱۰
حالت مود ولتاژی ۴۱۰
مود نوررسانایی ۴۱۵
۱۴-۳ زمان پاسخ ۴۱۸
ظرفیت خازنی پیوند ۴۱۹
زمان عبور حامل ۴۲۴
اتصال $p - n$ منفرد ۴۲۴
۱۴-۴ انواع دیودهای نوری ۴۲۷
دیود نوری پین ۴۲۷
دیود نوری بهمنی ۴۳۲
دیود نوری شاتکی ۴۴۱
دیود نوری با سد مدوله‌شده ۴۴۳
دیود نوری فلز- نیم‌رسانا- فلز ۴۴۴

۱۴-۵ نسبت سیگنال به نویز	۴۴۶
۱۴-۶ مدارهای آشکارساز	۴۵۱
تقویت‌کننده امپدانس بالا	۴۵۱
تقویت کننده انتقال امپدانس	۴۵۲
تمرین‌ها	۴۵۴
پیوست	۴۵۹
مراجع	۴۶۱
فهرست نمادها	۴۶۵
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی	۴۶۹
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی	۴۷۸
نمایه	۴۸۷

فصل اول

مقدمه

۱-۱ تعریف فوتونیک

صنعت الکترونیک در طول قرن بیستم، انقلاب بزرگی را در زندگی ما ایجاد کرد. لامپ خلاء به‌صورت عملی ساخته شد و برای انتقال اطلاعات در فواصل طولانی در سامانه‌های رادیویی و تلویزیونی به‌کار گرفته شد. همچنین لامپ‌های خلاء به منظور استفاده در رایانه‌های الکتریکی اولیه برای پردازش اطلاعات به کار برده شدند. پس از برداشتن گام‌های اولیه، مسیر حرکت به سوی افزاره‌های الکترونیکی سریع‌تر و کوچک‌تر بود. ابتدا ترانزیستورها به‌عنوان ادوات مجزا جایگزین لامپ‌های خلاء شدند و پس از آن مدارهای مجتمع با هزاران ترانزیستور و سپس میلیون‌ها ترانزیستور، بر روی همان ابعاد از تراشه نیم‌رسانا ساخته شدند. ره‌آورد این مینیاتورسازی، آسایش زیادی است که ما امروزه در استفاده از رایانه‌های شخصی، تلفن، سامانه‌های صوتی استریو، تلویزیون و دوربین فیلم برداری با آن‌ها خو گرفته‌ایم.

امروزه در اوایل قرن بیست و یکم، انقلاب مشابه‌ای در حال وقوع است. در این انقلاب جدید، نقش اصلی را الکترون که موجب بارور شدن صنعت الکترونیک شد بازی نمی‌کند، بلکه نقش اصلی بر عهده فوتون است که موجب پیدایش صنعت فوتونیک می‌شود. واژه فوتونیک از آن‌رو برای این کتاب انتخاب شده است تا بیان‌کننده کاربردها و پدیده‌هایی باشد که در آن نور (شامل فوتون‌ها) برای انتقال، پردازش اطلاعات و یا اصلاح فیزیکی مواد به‌کار می‌رود. شاید مهم‌ترین مثال امروزی، مخابرات فیبر نوری باشد. نور در فواصل طولانی در داخل فیبرهای نوری فوق‌شفاف حرکت و حجم زیادی از اطلاعات را بین قاره‌ها منتقل می‌کند. همچنین این فیبرهای نوری هستند که پایه اصلی شبکه‌های

انتقال اطلاعات سرعت بالا را تشکیل می‌دهند و به کاربران اینترنت اجازه می‌دهند که نه تنها به متن و گرافیک ساده بلکه به محتوای چند رسانه‌ای نیز دسترسی داشته باشند.

براساس تعریف بالا، فوتونیک شامل حافظه‌های نوری داده مانند لوح‌های فشرده و DVDها به منظور ذخیره صوت، تصویر و حافظه رایانه می‌شود. هرچند این کاربردها در حال توسعه هستند اما فن‌آوری‌های مرتبط با آن‌ها به رشد نهایی خود رسیده‌اند. البته کاربردهایی مانند کلیدزنی نوری[1] و پردازش نوری تصویر که در حیطه علم فوتونیک هستند، کم‌تر توسعه یافته‌اند. محاسبه‌گرهای نوری را می‌توان هدف نهایی تحقیقات علم فوتونیک دانست که در آن پردازش و ذخیره اطلاعات به‌طور عمده‌ای به‌صورت نوری انجام می‌شود. نتیجه این امر موجب پیدایش رایانه‌هایی بسیار سریع و کارآمد خواهد شد زیرا سیگنال‌های نوری با سرعت خیلی بالایی حرکت کرده و امکان پردازش موازی نیز برقرار خواهد بود. درهرحال تحقق عملی رایانه‌های نوری تا به امروزه مورد نظر بوده و همچنان راه طولانی تا رسیدن به این هدف باقی است.

حسگرهای نوری را نیز می‌توان جزء افزاره‌های فوتونی به شمار آورد زیرا آن‌ها برخی از خصوصیات محیطی از جمله دما، کشش، فشار و چگالی گونه‌های مختلف شیمیایی را به‌صورت نوری آشکارسازی و اطلاعات آن‌ها را منتقل می‌کنند. برخی از افزاره‌ها دارای کاربردهای متنوعی هستند، از جمله بیوحسگرها برای بدن انسان و حسگرهای کشش برای پل‌ها. جراحی لیزری یا ماشین‌کاری لیزری را نیز می‌توان به‌عنوان کاربردهای فوتونیک در علوم طبیعی به شمار آورد. این کاربردها بر جریان فوتون‌هایی با شدت زیاد استوارند.

۱-۲ مخابرات فیبر نوری

با وجود این‌که مخابرات فیبر نوری تنها یکی از موضوعات وسیع علم فوتونیک است، اما به دلیل موفقیت و اهمیت روزافزون فن‌آوری مرتبط با آن، در این کتاب تاکید خاصی روی آن وجود دارد. شروع مخابرات نوری را می‌توان از زمان اختراع تلفن توسط الکساندر

[1] Optical switching

گراهام بل[1] دانست. در سال ۱۸۸۰ بل موفق به اختراع افزاره‌ای شد که آن را فوتوفون[2] نامید. با استفاده از آن، اطلاعات مدوله شده بر روی پرتویی از نور خورشید در میان هوا منتقل می‌شد. نور مدوله شده به وسیله اثر فوتوآکوستیک[3] آشکارسازی می‌شد. جذب نور مدوله شده در داخل یک سلول شیشه‌ای بسته، موجب تولید موج صوتی در سلول می‌شود. هرچند این روش زیرکانه بود اما نسبت به تلفن کمتر عملیاتی شده و از این‌رو توسعه داده نشد. تا دهه ۱۹۶۰ مخابرات نوری به‌طور جدی مورد بررسی قرار نگرفت. در این زمان با دو پیشرفت هم‌زمان، مجدداً این موضوع مطرح شد. در اوایل این دهه، لیزر[4] توسعه داده شد و یک منبع نوری قوی و با جهت‌مندی بالا شکل گرفت. این دو خصوصیت برای ارسال سیگنال نوری در فواصل طولانی دارای اهمیت بسیاری است. به‌هرحال ارسال پرتو لیزر در هوا دارای محدودیت‌های مشهودی است که از آن جمله می‌توان به لزوم داشتن منبع لیزر پرتوان برای فواصل طولانی اشاره کرد. نیاز اولیه، روشی برای هدایت نور در یک مسیر کنترل شده در فواصل چند کیلومتری بود. در سال ۱۹۶۶، کاو[5] و هوکام[6] پیشنهاد دادند که اگر درجه خلوص شیشه به‌اندازه کافی بالا باشد، با تمرکز نور در مرکز فیبر از طریق اصل بازتاب داخلی کلی[7] (TIR)، می‌توان نور را هدایت کرد. هرچند این مقاله تئوری امکان تحقق مخابرات فیبر نوری را پیشنهاد می‌داد اما شیشه‌های موجود در آن زمان دارای تضعیف زیادی در مقابل نور بودند.

شیشه‌های موجود در دهه ۱۹۶۰ دارای تلفاتی در مرتبه 10^{3} dB/km و یا ۱dB/m بودند. برآوردهای اولیه برای یک سامانه مخابرات فیبر نوری نشان می‌داد که می‌بایست تلفات به مرتبه ۱۰ dB/km کاهش یابد. چنین شیشه‌ای آنچنان شفاف است که پس از انتشار در فاصله حدود ۳۰۰ متر، تقریباً ۵۰٪ از توان اولیه آن باقی می‌ماند. مشکل اصلی در دستیابی به چنین فیبری، حذف ناخالصی‌ها از شیشه است. این ناخالصی‌ها سهم بسیار زیادی در تلفات فیبر دارند.

---

1 Alexander Graham Bell
2 Photophon
3 Photoacoustic
4 Laser
5 Kao
6 Hockham
7 **T**otal **I**nternal **R**eflection: TIR

تحولی مهم در سال ۱۹۷۰ رخ داد. در این سال گروهی از محققین شرکت کرنینگ[1] روشی را به منظور کاهش شدید تلفات یافتند. آن‌ها به منظور کاهش تلفات، از نشست بخار SiO_2 بسیار خالص بر روی سطح داخلی لوله شیشه‌ای استفاده کردند. پس از گرم کردن و بیرون کشیدن لوله، تلفاتی کمتر از dB/km ۲۰ حاصل شد (امروزه به این روش "نشست داخلی بخار[2]" می‌گویند). از آن به بعد، توسعه فیبرهای نوری با تلفات کم، سرعت یافت. در سال ۱۹۷۶ تضعیف به dB/km ۰/۵، در سال ۱۹۷۹ به dB/km ۰/۲ و در سال ۱۹۸۲ به dB/km ۰/۱۶ رسید. در آن زمان، این تلفات به مقادیر تئوری به‌دست آمده برای فیبرهای سیلیکونی نزدیک شده بودند. دلایل ایجاد این تلفات را در فصل پنجم بررسی خواهیم کرد. شفافیت فیبرهای نسل آخر به حد باور نکردنی رسیده بود؛ یعنی ۵۰٪ انتقال در طول ۱۶ کیلومتر. با دسترسی به فیبرهای کم اتلاف، فیبرهای نوری در اکثر سامانه‌های مخابرات راه دور جایگزین سیم‌های مسی شدند.

مزایای بسیاری وجود دارد که باعث شده سیم‌های مسی جای خود را به فیبرهای نوری دهند. فیبرهای نوری در مقایسه با سیم‌های مسی با نرخ بیشتری و در فواصل طولانی‌تری داده‌ها را منتقل می‌کنند، ضمن این‌که دارای حجم کمتری نیز هستند. کابل فیبر نوری سبک و انعطاف پذیر است و اطلاعات را تا قبل از این‌که نیاز به تقویت داشته باشند، در فاصله طولانی‌تری انتقال می‌دهد. منابع طبیعی مورد نیاز برای ساخت فیبر نوری کمیاب نیستند، چراکه به‌طور عمده از سیلیکون و اکسیژن استفاده می‌شود و آن‌ها نیز به‌وفور در شن‌های سواحل دریا قابل دستیابی است. مزیت دیگر انتقال نور، غیر حساس بودن آن‌ها نسبت به تداخل‌های الکتریکی است. سیگنال‌های نوری قادر هستند کیفیت بالای خود را حتی در فواصل طولانی بین قاره‌ها حفظ کنند.

۱-۳ مروری بر محتوای فصل‌ها

هرچند حوزه علم فوتونیک وسیع‌تر از موضوع مخابرات فیبر نوری است، اما بخش‌های مختلف یک سامانه فیبر نوری، چهارچوب مناسبی را به منظور ارائه اصول مبنایی علم

[1] Corning Inc.
[2] Inside vapor deposition