

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

مقدمه‌ای بر

فوتونیک

ترجمه و تألیف:

دکتر سعید علیائی

استاد دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

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	: فیبا
یادداشت	: واژه نامه
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۴۴۹-۴۷۷
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 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 چهارم	: پاییز ۱۴۰۱
انتشارات	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
طراح جلد	: صابر یحیی پور
چاپ و لیتوگرافی	: نشر شریف - نگین سبز
ناظر چاپ	: محمد معتمدی نژاد
شمارگان	: ۱۰۰ جلد
قیمت	: ۱۲۰.۰۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۲۶۵۱-۵۱-۱ ISBN: 978-964-2651-51-1

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.

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

تقدیم به همسر م

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. پره‌های گونه‌ای از این پروانه به نام مورفو ریتنور (*Morpho Rhetenor*)، نور آبی را در محدوده وسیعی از زوایای تابشی، بازتاب می‌کند. این بازتاب به دلیل 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، پره‌های 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 به تدریج 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 در حد 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 در خصوص 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 در خصوص 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"^۱ نوشته دکتر ریچارد کویمبای^۲ 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 نویسندگان 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 رجایی 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 علیانی

دی‌ماه ۱۳۸۸

s_olyaee@srttu.edu

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱ تعریف فوتونیک
۲	۲-۱ مخابرات فیبر نوری
۴	۳-۱ مروری بر محتوای فصل‌ها
	فصل دوم: مروری بر اپتیک
۷	۱-۲ طبیعت نور
۱۰	سرعت فاز و گروه
۱۲	انرژی در یک موج نوری
۱۳	۲-۲ نور در شرایط مرزی
۱۳	قانون اسنل
۱۵	معادلات فرنل
۱۹	زاویه بروستر
۲۲	بازتاب داخلی کلی
۲۵	۳-۲ نور عبوری از روزنه
۲۶	پراش
۲۷	تداخل
۳۲	۴-۲ اپتیک تصویر
۳۵	۵-۲ تداخل سنجی
۳۵	تداخل سنج مایکلسون
۳۷	تداخل سنج هموداین
۳۹	تداخل سنج هتروداین
۴۰	تداخل سنج فیزوا
۴۱	تداخل سنج تویمن - گرین
۴۳	تداخل سنج فابری - پرو
۴۳	تداخل سنج ماخ - زندر
۴۵	تمرین‌ها

فصل سوم: موجبرهای تخت

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

فصل چهارم: موجبرهای استوانه‌ای

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

فصل پنجم: تلفات در فیبر نوری

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

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

فصل ششم: پاشیدگی در فیبر نوری

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

فصل هفتم: اتصالات و تشخیص تلفات فیبر

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

۱۴۴	۳- ضریب تلفات فیبر	
۱۴۷		تمرین‌ها

فصل هشتم: فیبرهای کریستال فوتونی

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

فصل نهم: نور غیرخطی

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

۲۲۰	تطبیق فاز
۲۲۳	ترکیب سه موجی
۲۲۷	ترکیب چهار موجی
۲۲۹	۳-۹ ضریب شکست غیر خطی
۲۳۲	کلیدزنی نوری
۲۳۴	چرپ شدگی پالسی و سالیتون های موقتی
۲۳۸	فشرده سازی پالس
۲۳۹	خودکانونی و سالیتون های فضایی
۲۴۲	۴-۹ اثرات الکترواپتیک
۲۴۳	اثر پاکل
۲۵۲	اثر الکترواپتیک کِر
۲۵۴	تمرین ها

فصل دهم: مروری بر فیزیک نیم رسانا

۲۵۹	۱-۱۰ نیم رسانای یکنواخت
۲۶۰	باندهای انرژی
۲۶۶	انرژی و اندازه حرکت
۲۷۳	بازده تشعشع
۲۷۸	۲-۱۰ نیم رساناهای لایه ای
۲۷۸	پیوندگاه p - n
۲۸۸	پیوندهای ناهمگون: چاه کوانتومی
۲۹۱	اتصالات فلز - نیم رسانا
۲۹۱	ترازهای انرژی
۲۹۶	دیود شاتکی
۲۹۷	اتصالات اهمی
۲۹۸	تمرین ها

فصل یازدهم: منابع نوری

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

فصل دوازدهم: تزویج منبع نور به موجبر

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

فصل سیزدهم: آشکارسازهای نوری

۳۶۴	۱-۱۳ آشکارسازهای حرارتی
-----	-------------------------

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

فصل چهاردهم: آشکارسازهای دیود نوری

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

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

فصل اول

مقدمه

۱-۱ تعریف فوتونیک

صنعت الکترونیک در طول قرن بیستم، انقلاب بزرگی را در زندگی ما ایجاد کرد. لامپ خلاء به صورت عملی ساخته شد و برای انتقال اطلاعات در فواصل طولانی در سامانه‌های رادیویی و تلویزیونی به کار 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 به عنوان 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 به کار 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^۱ 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. در حال 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

^۱ Optical switching

گراهام بل^۱ دانست. در سال ۱۸۸۰ بل موفق به اختراع افزارهای شد که آن را فوتوفون^۲ 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^۳ 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 این رو 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^۴ 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. به‌رحال 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^۵ و هوکام^۶ پیشنهاد دادند که اگر درجه خلوص شیشه به‌اندازه کافی بالا باشد، با تمرکز نور در مرکز فیبر از طریق اصل بازتاب داخلی کلی^۷ (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 1 dB/m بودند. برآوردهای اولیه برای یک سامانه مخابرات فیبر نوری نشان می‌داد که می‌بایست تلفات به مرتبه 10 dB/km کاهش یابد. چنین شیشه‌ای آنچنان شفاف است که پس از انتشار در فاصله حدود 300 متر، تقریباً 50% 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 Total Internal Reflection: TIR

تحولی مهم در سال ۱۹۷۰ رخ داد. در این سال گروهی از محققین شرکت کورنینگ^۱ 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 20 dB/km حاصل شد (امروزه به این روش "نشست داخلی بخار"^۲ می‌گویند). از آن به بعد، توسعه فیبرهای نوری با تلفات کم، سرعت یافت. در سال ۱۹۷۶ تضعیف به 0.5 dB/km ، در سال ۱۹۷۹ به 0.2 dB/km و در سال ۱۹۸۲ به 0.16 dB/km 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.

۳-۱ 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