

مقدمه‌ای بر کاربرد لیزرهای
نیمه‌رسانا
در ارتباطات نوری

دیوید جی. کلوتزکین

ترجمه

دکتر خسرو مبهوتی

کلوتزکین، دیوید جی.

مقدمه ای بر کاربرد لیزرهای نیمه رسانا در ارتباطات نوری / تالیف دیوید جی.

کلوتزکین، ترجمه خسرو مبهوتی، ارومیه: انتشارات دانشگاه ، ۱۳۹۸.

۳۹۰ص.، جدول ، نمودار، مصور،(انتشارات دانشگاه ارومیه، ۲۷۷).

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۶۸۱-۶۹-۴

کتابنامه.

۱- لیزر نیمه هادی . الف مبهوتی، خسرو، مترجم.. ب عنوان. ج. فروست.

شمار ملی: — رده کنگره: TA، ۱۷۰۰، ۶م/ک/، ۱۳۹۸

عنوان: مقدمه ای بر کاربرد لیزرهای نیمه رسانا در ارتباطات نوری

تالیف: دیوید جی. کلوتزکین،

مترجم: خسرو مبهوتی

ناشر: انتشارات دانشگاه ارومیه

سال نشر: ۱۳۹۸

سری انتشارات: ۲۷۷

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۶۸۱-۶۹-۴

مقدمه مترجم

این کتاب برای دانشجویان دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد که علاقه‌مند به آشنایی با مراحل ساخت، عملکرد لیزرهای نیمه‌رسانا و کاربرد آن‌ها در مخابرات نوری بدون ورود به مباحث پیچیده هستند، تالیف گردیده است. مثال‌های کاربردی، شکل‌های متنوع و جمع‌بندی هر فصل بر اساس نکات مهم، پرسش‌ها و تمرین‌ها از نقاط قوتی است که برای این کتاب می‌توان برشمرد.

نگارش و یا ترجمه یک کتاب گرچه تجربه رضایت بخشی را دربر داشته و گامی در جهت ادای دین نسبت به جامعه علمی کشور برشمرده می‌شود، اما نشانی از یک فرآیند زمان‌بر سنگین فکری و جسمی است. سپاس بی‌پایان به درگاه خداوند که توفیق به پایان بردن این ترجمه را عنایت فرمود.

فرصت را غنیمت شمرده و از سرکار خانم ندا صمدزاده و جناب آقای امیرقمری که از ابتدا تا انتها، پایه‌پای من همراه و همکار بنده بوده و مرا یاری کرده‌اند، سپاس‌گزاری می‌نمایم و برای آنها آرزوی توفیق روزافزون در عرصه علم و دانش را دارم.

ضمناً از دو همکار عزیز جناب آقای دکتر محمد تقی احمدی و سرکار خانم دکتر فاطمه مدرسی که ویرایش علمی و ادبی کتاب را به عهده گرفته‌اند و از مدیریت محترم امور پژوهش جناب آقای دکتر امیر عباس فرشید و مسئولین محترم کتابخانه مرکزی و انتشارات دانشگاه سراسری ارومیه جناب آقای منوچهر ده‌بزرگی و میکائیل پاشازاده نهایت تقدیر و تشکر را دارم.

امید است برگردان این کتاب مورد استفاده دانشجویان رشته‌های علوم پایه و مهندسی و

دانشپژوهان سایر رشته‌ها قرار گرفته و مفید
به فایده باشد. هرچند در حد توان کوشیده شده
که ترجمه‌ای به دور از اشتباه و روان ارائه
گردد اما با وجود این، از خوانندگان گرامی
تقاضا دارم تا ضمن مطالعه کتاب از نظرات
سازنده خود اینجانب را بهره‌مند فرمایند.
خداوند یار و همراه شما
باشد.

خسرو مبهوتی- استادیار فیزیک

اسفند ماه ۱۳۹۸

پیشگفتار مولف

کمتر کسی در مورد اهمیت لیزرهای نیمه‌رسانا پرس و جو می‌کند. اطلاعاتی که آنها انتقال می‌دهند محور اصلی شبکه جهانی وب است و آنها بطور فزاینده‌ای کاربردهای جدیدی در حالت جامد و اسپکتروسکوپی می‌یابند و در طول‌موج‌های جدیدی از فرابنفش در گالیم نیتريد تا طول‌موج‌های بلندتر تولید شده توسط لیزرهای آبشار کوانتومی تنظیم می‌شوند. بطور کلی در ارتباطات نوری لیزرها به روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند، از ارتباطات شهری که از دستگاه‌های مدولاسیون مستقیم استفاده می‌کنند گرفته تا سیستم‌های انتقال 100 Gb/s که جزیی از طرح‌های مدولاسیون و آشکارسازی پیشرفته هستند. در این کتاب، لیزرهای نیمه‌رسانا از دیدگاه کاربردی به کسانی که برخلاف داشتن پیش زمینه‌ای در مهندسی یا اپتیک، هیچ شناختی از لیزرها ندارند، معرفی می‌شود. هدف در اینجا ارائه مفاهیمی از لیزرهای نیمه‌رسانا است که برای دانشجویان کارشناسی و دانشجویان کارشناسی ارشد سال اول تحصیلات تکمیلی هم در دسترس و هم جالب باشد. مخاطبین این کتاب کسانی هستند که بطور بالقوه به حرفه‌ای در لیزرهای نیمه‌رسانا علاقه‌مند هستند و تصمیم دارند اهمیت موضوع و چگونگی مقدمات آن را در تمامی حوزه‌ها مورد بررسی قرار دهند. امید است در این کتاب خواننده را با عناصر علمی و مهندسی این رشته آشنا سازیم. موضوعات و تاکیدات این کتاب بطور گسترده بر پایه آزمایشات و تجارب مولف در صنعت نیمه‌رسانا برگزیده شده است. هدف مولف این است که پس از مطالعه این کتاب مخاطب اکثر جنبه‌های تولید و عملکرد لیزر را درک کند تا بتواند بلافاصله بطور فعال در مهندسی مواد شرکت کند.

این کتاب با صحبت کردن کلی در مورد ارتباطات نوری و نیاز به لیزرهای نیمه‌رسانا آغاز می‌شود و سپس فیزیک عمومی این لیزرها را بررسی می‌کند و به سمت جزئیات مربوط به نیمه‌رساناها پیش می‌رود و شامل فصل‌هایی در مورد کاواک‌های نوری، مدولاسیون مستقیم، پسخورانند توزیع یافته و خصوصیات الکتریکی لیزرهای نیمه‌رسانا می‌گردد و موضوعاتی مانند تولید و پایداری لیزر را نیز مورد بررسی قرار می‌دهد. این کتاب یکی از منابع مناسب در دوره عمومی فوتونیک و اپتوالکترونیک و یا مخابرات نوری می‌باشد.

دیوید
کلوتزکین جی.

فهرست

- [فصل اول](#) معرفی اصول اولیه ارتباطات نوری.....۳
- ۱-۱ مقدمه۳
- ۲-۱ مقدمه‌ای بر ارتباطات نوری.....۴
- ۱-۲-۱ مبانی ارتباطات نوری.....۴
- ۲-۲-۱ یک رخداد قابل توجه۷
- ۳-۲-۱ تقویت کننده‌های نوری.....**Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۲-۱ یک تکنولوژی کامل.....**Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۱ تصویری از لیزرهای نیمه‌رسانا ..**Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۱ پیکربندی کتاب.....**Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۱ پرسش‌ها**Error! Bookmark not defined.**
- [فصل دوم](#) اساس لیزرها**Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲ مقدمه**Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۲ مقدمه‌ای بر لیزرها**Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۲ تابش جسم سیاه**Error! Bookmark not defined.**

- ۲-۲-۲ دیدگاه آماری ترمودینامیک تابش جسم سیاه **Error!**
Bookmark not defined.
- ۳-۲-۲ برخی توابع توزیع احتمال **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۲-۲ چگالی حالات **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۲-۲ طیف جسم سیاه **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۲ تابش جسم سیاه: دیدگاه انیشتین **Error! Bookmark not defined.**
defined.
- ۴-۲ مفاهیم لیزر **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۲ تفاوت بین گسیل خودبه‌خود، نشر تحریکی و لیزینگ
..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۶-۲ چند نمونه از سیستم‌های لیزر **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۶-۲ لیزر فیبری آلاییده با اربیوم **Error! Bookmark not defined.**
defined.
- ۲-۶-۲ لیزر گازی نئون-هلیوم **Error! Bookmark not defined.**
- ۷-۲ خلاصه و نکات آموزنده **Error! Bookmark not defined.**
- ۸-۲ پرسش‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۲ مسائل **Error! Bookmark not defined.**
- فصل سوم نیمه‌رساناها به عنوان مواد لیزر: اصول **Error!**
Bookmark not defined.
- ۱-۳ مقدمه **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۳ باندهای انرژی و بازترکیب تابشی **Error! Bookmark not defined.**
defined.
- ۳-۳ مجموعه مواد لیزرهای نیمه‌رسانا **Error! Bookmark not defined.**
defined.
- ۴-۳ تعیین گاف انرژی **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۴-۳ قانون وگارد: ترکیبات سه‌تایی **Error! Bookmark not defined.**
defined.
- ۲-۴-۳ قانون وگارد: ترکیبات ۴ تایی **Error! Bookmark not defined.**
defined.

- ۵-۳ ثابت شبکه، کرنش، و ضخامت‌های بحرانی **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۵-۳ لایه‌های نازک رشد یافته به روش برآرایی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۵-۳ کرنش و ضخامت بحرانی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۶-۳ گاف‌های انرژی مستقیم و غیرمستقیم **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۶-۳ نمودارهای پاشندگی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۶-۳ ویژگی‌های نمودار پاشندگی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۶-۳ گاف‌های انرژی مستقیم و غیرمستقیم **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۶-۳ فونون‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۷-۳ خلاصه و نکات آموزشی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۸-۳ پرسش‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۳ مسائل **Error! Bookmark not defined.**
- فصل چهارم نیمه‌رساناها به عنوان مواد لیزری چگالی حالات، چاه کوانتومی و تقویت..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۴ مقدمه **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۴ چگالی الکترونها و حفره‌ها در یک نیمه‌رسانا **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۴ تغییر معادله ۹-۴: جرم مؤثر **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۲-۴ تصحیح معادله ۹-۴ با در نظر گرفتن گاف انرژی **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۴ چاه‌های کوانتومی به عنوان مواد لیزری.. **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۴ سطوح انرژی در یک چاه کوانتومی ایده آل **Error! Bookmark not defined.**

- ۴-۳-۲ ترازهای انرژی در یک چاه کوانتومی حقیقی..... **Error!**
Bookmark not defined.
- ۴-۴ چگالی حالات در یک چاه کوانتومی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۵ تعداد حاملها **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۵-۱ سطوح شبه فرمی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۵-۲ تعداد حفره ها در برابر تعداد الکترونها **Error!**
Bookmark not defined.
- ۴-۶ شرط لیزینگ..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۷ بهره نوری **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۸ بهره نوری نیمه‌رسانا **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۸-۱ چگالی حالات جفت شده **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۸-۲ فاکتور اشغال **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۸-۳ ثابت تناسب..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۸-۴ گسترش پهنای خط..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۹ خلاصه و نکات آموزشی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۱۰ نکات آموزشی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۱۱ پرسش‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۱۲ مسائل..... **Error! Bookmark not defined.**
- **فصل پنجم** عملکرد لیزرهای نیمه‌رسانا **Error! Bookmark not defined.**
defined.
- ۵-۱ مقدمه..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۲ یک لیزر نیمه‌رسانای ساده **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۳ یک مدل کیفی لیزر..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۴ اتلاف جذب **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۴-۱ جذب باند به باند و حاملهای آزاد **Error! Bookmark not defined.**
defined.
- ۵-۴-۲ جذب باند به ناخالصی..... **Error! Bookmark not defined.**

- ۵-۵ مدل معادله نرخ..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۵-۵ طول عمر حامل..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۵-۵ پیامدهای حالت پایا..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۵-۵ واحدهای بهره و طول عمر فوتون... **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۵-۵ بازده شیب..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۶-۵ دستگاه‌های با وجوه پوشش داده شده **Error! Bookmark not defined.**
- ۷-۵ تجزیه و تحلیل DC کامل..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۸-۵ خلاصه و نکات آموزشی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۵ پرسش‌ها..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۵ مسائل..... **Error! Bookmark not defined.**
- فصل ششم خصوصیات الکتریکی لیزرهای نیمه‌رسانا..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۶ مقدمه..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۶ اصول اولیه پیوندهای $p - n$ **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۶ چگالی حامل به عنوان تابعی از موقعیت تراز فرمی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۲-۶ ساختار بانندی و بارها در پیوند $p - n$ **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۲-۶ شدت جریان در یک پیوند $p - n$ **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۲-۶ جریان نفوذ..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۳-۲-۶ جریان رانش..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۲-۶ ولتاژ داخلی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۲-۶ پهنای ناحیه بار فضایی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۶ پیوندهای $p - n$ نیمه‌رسانا همراه با اعمال بایاس..... **Error! Bookmark not defined.**

- ۱-۳-۶ با یاس اعمال شده و ترازهای شبه فرمی **Error!**
Bookmark not defined.
- ۲-۳-۶ باز ترکیب و شرایط مرزی **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۳-۶ جریان نفوذ ناحیه شبه خنثی حامل اقلیت **Error!**
Bookmark not defined.
- ۴-۶ پیوندهای $p-n$ لیزر نیمه رسانا **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۴-۶ فاکتور ایده آل دیود **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۴-۶ مقید کردن ترازهای شبه فرمی در حالت آستانه
Error! Bookmark not defined.
- ۵-۶ خلاصه خصوصیات دیود **Error! Bookmark not defined.**
- ۶-۶ تماس فلزی با نیمه رسانا **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۶-۶ تعریف ترازهای انرژی **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۶-۶ ساختارهای باند **Error! Bookmark not defined.**
- ۷-۶ تحقق اتصالات اهمی در لیزرها .. **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۷-۶ رسانش جریان سراسر یک پیوندگاه فلز -
نیمه رسانا : گسیل گرمایی **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۷-۶ رسانش جریان از میان یک پیوندگاه فلز -
نیمه رسانا : جریان تونل زنی **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۷-۶ مقاومت دیود و اندازه گیری مقاومت تماسی **Error!**
Bookmark not defined.
- ۸-۶ خلاصه و نکات آموزشی **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۶ پرسشها **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۶ مسائل **Error! Bookmark not defined.**
- [فصل هفتم](#) کاواک نوری **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۷ مقدمه **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۷ نمای کلی فصل **Error! Bookmark not defined.**

- ۳-۷ مروری بر یک کاواک نوری فابری - پرو **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۷ مدهای نوری طولی پشتیبانی شده بوسیله یک کاواک لیزر **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۴-۷ مدهای نوری پشتیبانی شده توسط یک سنجه: کاواک لیزری در یک بعد **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۴-۷ محدوده آزاد طیفی در یک سنجه طویل **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۴-۷ محدوده آزاد طیفی در یک کاواک لیزر فابری- پرو **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۴-۷ خروجی نوری یک لیزر فابری - پرو... **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۴-۷ مدهای طولی **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۷ محاسبه بهره از طیف نوری **Error! Bookmark not defined.**
- ۶-۷ مدهای عرضی در یک کاواک نوری **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۶-۷ اهمیت مدهای عرضی در لیزرهای واقعی **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۶-۷ بازتاب کلی داخلی **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۶-۷ مدهای مغناطیسی و الکتریکی عرضی... **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۶-۷ تجزیه و تحلیل کمی مدهای موجبر **Error! Bookmark not defined.**
- 7-7 طراحی موجبر دو بعدی **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۷-۷ محدودیت در دو بعد **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۷-۷ روش ضریب شکست موثر **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۷-۷ اهداف طراحی موجبر برای لیزرها **Error! Bookmark not defined.**
- ۸-۷ خلاصه و نکات آموزشی **Error! Bookmark not defined.**

- ۹-۷ پرسش‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۷ مسائل **Error! Bookmark not defined.**
- [فصل هشتم](#) مدولاسیون لیزر **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۸ مقدمه **Error! Bookmark not defined.**
- انتقال نوری آنالوگ و دیجیتال **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۸ مشخصات انتقالات دیجیتال **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۸ مدولاسیون سیگنال کوچک لیزر **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۸ اندازه‌گیری مدولاسیون سیگنال کوچک **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۳-۸ مدولاسیون سیگنال کوچک LED ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۳-۸ معادله نرخ بازبینی شده برای لیزرها **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۳-۸ استخراج پاسخ همگن لیزر سیگنال کوچک **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۳-۸ پاسخ همگن لیزر سیگنال کوچک **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۸ مدولاسیون جریان AC لیزر **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۴-۸ طرح کلی استنتاج شده **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۴-۸ اندازه‌گیری و معادله مدولاسیون لیزر .. **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۴-۸ تحلیل پاسخ مدولاسیون لیزر **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۴-۸ بیان اثرات TC **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۸ محدودیتهای پهنای باند لیزر **Error! Bookmark not defined.**
- ۶-۸ اندازه‌گیری شدت نسبی نویز **Error! Bookmark not defined.**
- ۷-۸ مدولاسیون سیگنال بزرگ **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۷-۸ مدل‌سازی الگوی چشم **Error! Bookmark not defined.**

- ۲-۷-۸ ملاحظات برای سیستم‌های لیزری **Error! Bookmark not defined.**
- ۸-۸ نتیجه‌گیری **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۸ خلاصه و نکات آموزشی **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۸ پرسش‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۱-۸ مسائل **Error! Bookmark not defined.**
- **فصل نهم** لیزرهای با پسخوراند توزیع یافته .. **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۹ یک لیزر تک طول‌موج **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۹ الزامات لیزرهای تک طول‌موج **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۹ تحقق دستگاه‌های تک طول‌موج **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۲-۹ محیط بهره باریک **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۲-۹ محدوده آزاد طیفی بزرگ و پهنای باند بهره متوسط **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۲-۹ بازتابنده‌های براگ خارجی **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۹ لیزرهایی با پسخوراند توزیع یافته: بررسی اجمالی **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۹ لیزرهایی با پسخوراند توزیع یافته: ساختار فیزیکی **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۳-۹ طول‌موج براگ و جفت شدگی **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۳-۹ بهره رفت و برگشت واحد **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۳-۹ پوش بهره **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۳-۹ لیزرهایی با پسخوراند توزیع یافته: طراحی و ساخت **Error! Bookmark not defined.**
- ۶-۳-۹ لیزرهایی با پسخوراند توزیع یافته: فاز خالص صفر **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۹ داده‌های تجربی از لیزرهایی با پسخوراند توزیع یافته **Error! Bookmark not defined.**

- ۹-۴-۱ تاثیر فاز بر جریان آستانه.. **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۴-۲ تاثیر فاز بر توزیع توان کاواک و شیب..... **Error!**
Bookmark not defined.
- ۹-۴-۳ تاثیر فاز بر عملکرد تک مد.. **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۵ مدلسازی لیزرهای با پسخوراند توزیع یافته..... **Error!**
Bookmark not defined.
- ۹-۶ نظریه مدهای جفت شده..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۶-۱ تصویری گرافیکی از پراش..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۶-۲ نظریه مد جفت شده در لیزر با پسخوراند توزیع یافته..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۶-۳ اندازه‌گیری K..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۷ لیزرهای تک مد ذاتی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۸ انواع دیگر توری..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۹ نکات آموزشی..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۱۰ پرسش‌ها..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۹-۱۱ مسائل..... **Error! Bookmark not defined.**
- **فصل دهم** پاشندگی، ساخت و پایداری.. **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۱ مقدمه..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۲ پاشندگی و دستگاه‌های تک مد..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۳ تاثیرات دمایی بر لیزرها..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۳-۱ تاثیرات دما بر طول‌موج..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۳-۲ تاثیرات دما بر خصوصیات DC..... **Error! Bookmark not**
defined.
- ۱۰-۴ ساخت لیزر: رشد ویفر، ساخت ویفر، ساخت و آزمایش تراشه..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۴-۱ ساخت ویفر زیرلایه..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۴-۲ طراحی لیزر..... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱۰-۴-۳ رشد ساختار ناهمگون..... **Error! Bookmark not defined.**

- ۱۰-۳-۱ رشد ساختار ناهمگون : رونشینی پرتو مولکولی
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۳-۲ رشد ساختار ناهمگون: رسوب دهی شیمیایی بخار
 فلز آلی.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۵ ساخت توری.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۵-۱ ساخت توری.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۵-۲ رورشد توری.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۶ ساخت ویفر.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۶-۱ ساخت ویفر: موجبر ریج (گیسلنده از لبه)
Bookmark not defined.
- ۱۰-۶-۲ ساخت ویفر: ساختار ناهمگون مدفون در برابر
 موجبر ریج.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۶-۳ ساخت ویفر : لیزرهای گسیلنده از سطح با کاواک
 عمودی.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۷ ساخت تراشه.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۸ آزمایش ویفر و بازده.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۹ قابلیت اطمینان.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۹-۱ آزمایش دستگاه منفرد و حالت‌های خرابی.....
Bookmark not defined.
- ۱۰-۹-۲ تعریف خرابی.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۹-۳ وابستگی آرنیوس به نرخ‌های استهلاک
Error! Bookmark not defined.
not defined.
- ۱۰-۹-۴ آنالیز نرخ‌های استهلاک MTBF و FITS
Error! Bookmark not defined.
defined.
- ۱۰-۱۰ سخن نهایی.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۱۱ خلاصه و نکات آموزشی.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۱۲ پرسش‌ها.....
Error! Bookmark not defined.
- ۱۰-۱۳ مسائل.....
Error! Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined.....نمایه •

معرفی اصول اولیه ارتباطات نوری

در این فصل، انگیزه و هدف مطالعه لیزرهای نیمه‌رسانا و رئوس مطالب این کتاب، توضیح داده می‌شود.

۱-۱ مقدمه

گنجاندن موضوعی مانند لیزرهای نیمه‌رسانا برای ارتباطات نوری در یک کتاب با حفظ شیوایی، کار دشواری است. این مبحث، گستره وسیعی از ابعاد مختلف علوم مشتمل بر اپتیک^۱، فوتونیک^۲، فیزیک حالت جامد^۳ و الکترونیک^۴ را در بر می‌گیرد، که هر یک از اینها خود مستلزم چندین کتاب درسی هستند. هدف این کتاب، معرفی لیزرهای نیمه‌رسانا به روشی قابل فهم و جذاب برای دانشجویان کارشناسی و دانشجویان کارشناسی سال اول می‌باشد. مخاطبان این کتاب کسانی هستند که بیشتر به کار در حوزه لیزرهای نیمه‌رسانا و به تصمیماتی که به جهت اهمیت موضوع و اساسی بودن آن در مجموع زمینه‌ها گرفته می‌شود، علاقه‌مند هستند. هدف ما این است که رضایت خواننده این اثر از هر دو جنبه علمی و مهندسی این رشته جلب شود. قبل از اینکه سراغ جزئیات فنی مبحث لیزرهای نیمه‌رسانا در ارتباطات برویم، منطقی است که یک گام به عقب بازگشته و اهمیت علمی و تاریخی این

¹ Optics

² Photonics

³ Solid State Physics

⁴ Electronics

دستگاه‌ها و همچنین نیاز لیزرهای نیمه‌رسانا به منابع نوری در ارتباطات نوری را بدانیم. نهایتاً در انتهای این فصل علاقه‌مندیم تا ماهیت لیزرهای نیمه‌رسانا را به خواننده معرفی نماییم و همچنین نحوه ترتیب‌بندی مطالب کتاب شرح داده شود.

۲-۱ مقدمه‌ای بر ارتباطات نوری

۱-۲-۱ مبانی ارتباطات نوری

ارتباطات نوری به نوبه خود دارای تاریخ طولی است. ارتباطات نوری مدرن برپایه لیزرها و فیبرهای نوری به دلایل اساسی و تکنولوژیکی، راه حلی برای ارتباطات نوری‌اند (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱ مزایای استفاده از ارتباطات نوری

از آنجایی که نور یک موج الکترومغناطیس با فرکانسی در حدود چند صد THz است، می‌تواند اطلاعات بیشتری را نسبت به سایر امواج مرسوم طیف الکترومغناطیسی با فرکانس پایین تحمل کند.

نور پهنای باند وسیعی دارد.

موجبرهای انعطاف‌پذیر با تلفات خیلی پایین (فیبرهای شیشه‌ای) اختراع شده‌اند که اجازه می‌دهند پالس‌های نوری درست مانند سیگنال‌های الکتریکی منتقل گردند.

نور به راحتی هدایت شود.

بهترین طول‌موج برای انتقال می‌تواند به راحتی با دستگاه‌های نیمه‌رسانا تولید و آشکار گردد و ساخت این منابع و آشکارسازها می‌تواند مقرون به صرفه باشد.

نور می‌تواند به آسانی تولید و آشکار گردد.

نکته آخر نمونه‌ای مهم برای لیزرهای نیمه‌رسانا در ارتباطات نوری است. مدت‌ها پیش، پائول ریور از فانوس‌ها برای اعلان رسیدن و نحوه نقل و انتقال مهاجمان بریتانیایی استفاده کرد. آن فانوس‌ها با بدنه‌ای سیاه و نوری که با گرما شکل گرفته، نوری ناهمدوس در طیفی از طول‌موج‌ها تولید کرده و آن را در محیطی پر اتلاف و متلاطم نشر می‌دادند. با این وجود اطلاعات مایل‌ها حمل می‌شد. به منظور بهره مند شدن از خصوصیات شگفت‌انگیز نور، و انتقال آن در صدها مایل، یک منبع همدوس با طول‌موج منفرد مناسب، همراه با موجبری بدون اتلاف و بسیار شفاف مورد نیاز است. پاسخ ما به این نیاز یک لیزر نیمه‌رساناست.

اصول ارتباطات نوری فیبری، بر پایه پالس‌های نوری تولید شده به وسیله لیزر است که چندین هزار مایل در سرتاسر فیبر منتقل می‌شوند که در نتیجه آن میزان بسیار عظیمی از اطلاعات می‌تواند در هر فیبر منتقل شود.

نور طول‌موج‌های مختلف، می‌تواند بدون تاثیر بر یکدیگر منتقل شود و نور در هر طول‌موج قادر است تا چندین گیگابیت بر ثانیه اطلاعات را جابه‌جا کند. اکثر قریب به اتفاق این بیت‌ها بوسیله لیزرها تولید می‌شوند که یکی از مفیدترین و کاربردی‌ترین اختراعات نیمه دوم قرن بیستم است. اولین گسیل همدوس از نیمه‌رساناها توسط گروهی به رهبری رابرت هال^۵ در سال ۱۹۵۸ به نمایش گذاشته شد.

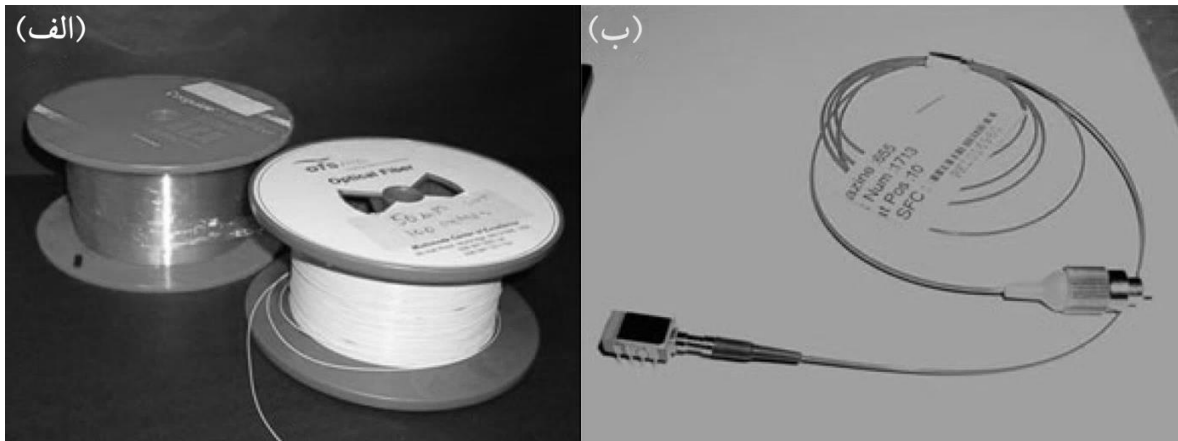
اولین لیزر ساختار ناهمگون دوگانه توسط هربرت کرومر^۶ پیشنهاد شد و برای او و ژورس آ. آلفرو^۷ جایزه ۲۰۰۰ نوبل را به جهت "توسعه ساختارهای ناهمگون نیمه‌رسانا مورد استفاده در سرعت‌های بالا و اپتوالکترونیک" به ارمغان آورد. جک اس. کیلبی^۸ نیز به دلیل "نقش وی در اختراع مدار مجتمع" جایزه ۲۰۰۰ نوبل را از آن خود کرد. تکنولوژی فیبر نوری میلیاردها میلیارد بیت را قادر ساخته تا بدون وقفه و یکپارچه از یک سوی جهان به سوی دیگر شارش یابند. قطعات ساختاری این شبکه ارتباطات نوری در شکل ۱-۱ نشان داده شده‌اند.

⁵ Robert Hall

⁶ Herbert Kroemer

⁷ Zhores I. Alferov

⁸ Jack S. Kilby

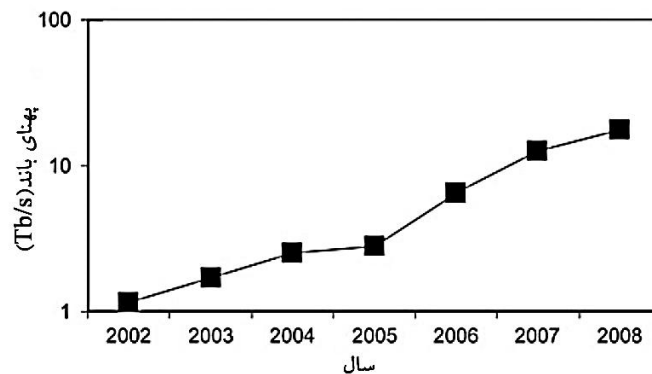


شکل 1-1 الف) یک پیچہ فیبر نوری بدون روکش که شامل ۲۰ کیلومتر (۱۲ مایل) فیبر و یک پیچہ روکشدار فیبر که شامل ۱۰۰ متر فیبر است؛ ب) یک فرستنده لیزر نیمه‌رسانا که نشان‌دهنده ورودی الکتریکی و خروجی نوری است.

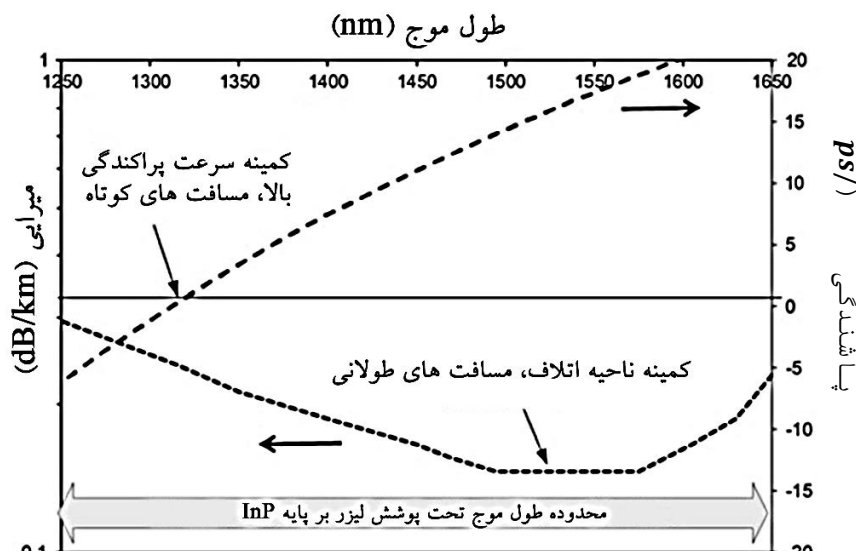
تصویر سمت چپ شکل 1-1 نشان‌دهنده پیچہ‌هایی از فیبر نوری است، که حجم فشرده قابل حملی از این موجبرهای با قابلیت مسیردهی آسان را نشان می‌دهد. در سمت راست شکل 1-1 یک فرستنده لیزر نیمه‌رسانای منفرد است که دارای ورودی الکتریکی و خروجی فیبر نوری است. سیگنال الکتریکی به نور مدوله می‌شود که به یک فیبر نوری متصل می‌گردد. مایل‌ها از این فیبرها در زیر زمین کانال‌دهی شده‌اند و پهنای باند عظیمی در همه جا قابل دستیابی است. رشد استفاده از این پهنای باند را می‌توان در شکل ۱-۲ مشاهده نمود. از سال ۲۰۰۶، میزان داده‌های دیجیتالی تقریباً هر ۱/۵ سال دو برابر شده است. استفاده از پهنای باند جهانی در حال حاضر چیزی حدود ۲۰ ترابیت بر ثانیه می‌باشد. به منظور درک توان انتقال نوری فیبر، پهنای باند مشاهده شده‌ای که سرتاسر یک فیبر نوری منفرد می‌تواند انتقال یابد، حدود ۱ ترابیت بر ثانیه است. ظرفیت پهنای باند وسیعی در فیبر نوری موجود است، و بطور قابل توجهی از اکثر فیبرهای نوری استفاده کمی می‌شود.

۲-۲-۱ یک رخداد قابل توجه

ارتباطات نوری بر پایه انتقال پالس‌های نوری از میان فیبر نوری استوار است. این کاربرد قابل توجه، خود را مدیون رخدادی مفید و البته اختراعی تصادفی می‌داند. این رخداد در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. اختراع هنگامی صورت گرفت که در سال ۱۹۷۰ مورر^۹، اسکولتز^{۱۰} و کک^{۱۱} در کورنینگ برای اولین بار فیبری با سطوح اتلاف پایین (20 db/km) را به عرصه نمایش درآوردند.



شکل ۲-۱ رشد جهانی استفاده



شکل ۱-۳ میرایی و پاشندگی در برابر طول‌موج در سرتاسر طیف پهنای باند، تحت پوشش بوسیله لیزرهای نیمه‌رسانای مبتنی بر InP که اغلب در ارتباطات نوری استفاده می‌شوند.

^۹ Maurer

^{۱۰} Schultz

^{۱۱} Keck

شکل ۱-۳ اتلاف نوری در فیبر شیشه‌ای تک مد مدرن امروزی را بر حسب dB/km نشان می‌دهد. فیبر نوری مدرن "کورنینگ SMF-28" دارای کمینه اتلافی حدود 0.2 dB/km در طول موج 1550 nm است. اگر هدف انتقال توان تا جای ممکن باشد، این طول موج 1550 nm با اتلاف کمینه، بهترین انتخاب برای طول موج می‌باشد (به دلایلی بعداً مورد بحث قرار می‌گیرد، پنجره پاشندگی پایین، حدود 1310 nm نیز بسیار مطلوب است). منابع نوری که این اطلاعات را انتقال می‌دهند از کجا می‌آیند؟

لیزرهای نیمه‌رسانا بوسیله نیمه‌رساناها ساخته می‌شوند که نیمه‌رساناها یک خصوصیت طبیعی به نام گاف انرژی^{۱۲} دارند و طول موج نوری را که می‌توانند نشر دهند، کنترل می‌کنند. شکل ۱-۳ همچنین طیف وسیعی از طول موج‌هایی را که توسط نیمه‌رساناهای مبنی بر InP ^{۱۳} مورد استفاده هم به عنوان منابع نوری و هم آشکارسازها، تولید یا آشکار می‌شوند، به تصویر می‌کشد. طول موج‌های پیرامون 1300 و 1500 نانومتر به سادگی بوسیله ایجاد ساختارهای ناهمگون از نیمه‌رساناهای مختلف بطور مناسب دسترس‌پذیرند. از این رو، در ناحیه کم اتلاف شیشه، منابعی که مولد نور هستند (در طول موج پیرامون 1550 نانومتر یا $1/55$ میکرومتر) را می‌توان به سادگی توسط نیمه‌رساناها ساخت. لیزرهای نیمه‌رسانا و دیودهای نشردهنده نور بطور حیرت‌آوری منابع نور مناسبی هستند. آن‌ها کوچک، ساده در ساخت، و ارزان بوده و می‌توانند از تمام تجربیات و زمینه‌هایی که در ساخت نیمه‌رسانا برای علم الکترونیک استاندارد، رشد یافته، بهره ببرند. این انطباق خوب مابین ساخت راحت منبع نور و طول موج ویژه مورد نیاز، به اهمیت و رشد چشمگیر این تکنولوژی منجر شده است. بدون این منابع نور مناسب و وجود موجبری بسیار عالی، ممکن است از دیگر تکنولوژی‌ها به عنوان گزینه‌ای برای مخابرات، استفاده شود. مروری عالی از رشد بسیار سریع تکنولوژی فیبر نوری در کتاب "شهر نور: روایت فیبرهای نوری" نوشته جف هچ^{۱۴}، ارائه شده است.

¹² Band gap

¹³ InP Based Semiconductors

¹⁴ Jeff Hecht