



۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق

افزاده های تار (فیبر) نوری

جلد دوم:

لنیرهای ر (برای نور) و آلایده به عنصرهای کایب خاک، و درامان،

تألیف:

دکتر نصرت... گرازی

مهندس نیلوفر کاژاد افشار

بهار ۱۳۹۴

سزشناسه	: گرانپایه، نصرت الله، ۱۳۳۱
عنوان و نام پدیدآور	: افزاره های تار (فیبر) نوری
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، -۱۳۹۳
مشخصات ظاهری	: ج.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-6383-97-2
وضعیت فهرست نویسی	: فیپای مختصر
یادداشت	: این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
یادداشت	: واژه نامه.
یادداشت	: کتابنامه.
مندرجات	: ج. ۱. لیزر های تار (فیبر) نوری «آلاییده به عنصرهای کمیاب خاک» و «رامان»
شناسه افزوده	: پاکزاد افشار، نیلوفر، ۱۳۵۲-
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی- انتشارات
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۷۶۸۰۶۳

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  <http://publication.kntu.ac.ir>

نام کتاب: افزاره های تار (فیبر) نوری جلد دوم لیزر های تار (فیبر) نوری «آلاییده به عنصرهای کمیاب خاک» و «رامان»

مؤلفین: دکتر نصرت الله... گرانپایه عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، نیلوفر پاکزاد افشار

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: ۱۳۹۴

تیراژ: ۲۵۰ جلد

قیمت: ۱۸۰۰۰ تومان

کد کتاب: ۳۸۳

ISBN: 978- 600-6383-97-2

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۳۸۳-۹۷-۲

صحافی: گرنامی

آدرس و تلفن مرکز پخش و فروش: خیابان ولیعصر(عج)، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، روبروی ساختمان اسکان (۰۲۱-۸۸۷۷۲۲۷۷)

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

پیشگفتار

اولین بار تقویت نور بر اثر تابش برانگیخته^۱ در ۲۶ اردیبهشت سال ۱۳۳۹، توسط «تئودور مایمن»^۲ بر روی یک لیزر جامد یا قوت^۳ در طول موج سرخ ۶۹۴۳ نانومتر در آزمایشگاه تحقیقاتی هیوز^۴ و در ۲۱ آذر توسط دانشمند ایرانی «علی جوان» و دو تن از همکارانش در آزمایشگاه بل بر روی یک لیزر گازی هلیوم-نئون با نور سرخ با طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر صورت گرفت. یک سال بعد «الیاس اسنیتزر»^۵ و همکاران موفق شدند اولین لیزر، «لیزر فیبر» نوری متشکل از یک متر تار (فیبر) آلاییده به عنصر کمیاب خاک نئودیمیوم را در طول موج ۱/۰۶ میکرومتر با بهره‌ای حدود ۴۷ دسی‌بل در مجتمع نوری امریکایی^۶ آزمایش کنند. سه سال بعد اولین تقویت‌کننده تار (فیبر) نوری نیز توسط همین گروه آزمایش^۷ در آزمایشگاه هیوز ساخته شد. امروزه لیزرها در زمینه‌های مختلف خدمت بشر درآمده‌اند. لیزرها که در حالت کلی به سه دسته مهم گازی، جامد و مایع تقسیم می‌شوند، در کاربردهای علمی چون مخابرات ثابت، طیف نگاری، اندازه‌گیری فاصله و سرعت (لیدار)^۷، خنک کردن، گداخت هسته‌ای، و کاربردهای نظامی چون ایجاد پرتوهای مایع، زلزله‌ای، موشک‌ها در هوا، هدف‌یابی و بینایی لیزری، کاربردهای پزشکی و دندانپزشکی، کاربردهای صنعتی و تجارتي چون برش و جوش فلزات سخت و حکاکی روی آینه، تابش آلودگی هوا ذخیره-سازی دیتا روی لوح‌های فشرده، چاپگرهای لیزری، هولوگرافی و هدف‌های نمایش-دهنده لیزری، سامانه‌های هدایتی و ناوبری (مانند ژيروسکوپ نوری)، لیدار، و ... کاربرد دارند.

^۱ Light amplification by stimulated emission radiation: Laser

^۲ Theodore Harold "Ted" Maiman

^۳ Solid-state ruby laser

^۴ Hughes Research Laboratories

^۵ Elias Snitzer

^۶ American Optical Complex

^۷ Light detection and ranging: LIDAR

لیزرهای تار (فیبر) نوری به دلیل حجم کم، بازدهی و قدرت نوری خروجی بالا، قابلیت اطمینان، انعطاف پذیری، طراحی و ساخت آسان، نگهداری و کاربرد آسان مورد استقبال شدید قرار گرفته و با توجه به اینکه عنصرهای مختلف کمیاب خاک و ترکیب آنها، تارهای نوری ساخته شده با مواد مختلف، در کنار تقویت رامان می‌توانند بازه وسیعی از طول‌موج‌ها را با مشخصه‌های مورد نیاز تولید کنند، روز به روز انواع لیزرهای گازی، جامد و نیم‌رسانا با نوع تار نوری آن جایگزین می‌شوند.

این کتاب، جلد دوم مجموعه کتاب‌های افزاره‌های تار (فیبر) نوری است. جلد اول به تقویت‌کننده‌های تار نوری می‌پردازد و در این جلد اصول حاکم بر مواد و عملکرد لیزرهای تار نوری، آلاینده به اربیم و نیز لیزرهای تار نوری رامان بررسی می‌شوند. در این کتاب در نه فصل مطالب در مورد عنصرهای آلاینده کمیاب خاک، لیزرهای تار سیلیکایی موج پیوسته، لیزرهای تار نانولورایدی برای بازه نور مرئی، لیزرهای تار با پهنای خط کم و زیاد، لیزرهای تار با سازه‌های کلیدزنی (Q)، لیزرهای تار با مد قفل‌شده، و لیزرهای تار رامان بررسی خواهند شد.

در اینجا لازم می‌دانم از دخترم، زهرا، که در تالیف قسمت‌هایی از کتاب و ویرایش چند فصل آن، همکاری نمود تشکر و قدردانی کنم. از سرکار خانم الهام کبیری که با علاقه و دقت تمام طرح روی جلد کتاب را تهیه نمودند، تشکر و قدردانی می‌کنم. ایشان در شرایط زندگی در خارج از کشور با صبر و حوصله طرح روی جلد کتاب به زیبایی آماده و برایم ارسال کردند. از داوران محترم کتاب که برایم شناس هستند، ولی در اصلاح و ارتقای کتاب سهم ارزشمندی داشتند، تشکر می‌کنم.

شک نیست که در چاپ نخست، کتاب دارای نواقصی است، که از خوانندگان و سروران گرامی تقاضا دارم، محبت نموده و توصیه‌ها و راهنمایی‌های ارزنده خود را توسط رایانامه به نشانی (granpayeh@eetd.kntu.ac.ir) برایم ارسال فرمایند، تا در چاپ‌های بعدی، به کلیه آن‌ها ترتیب اثر داده و ویرایش‌های لازم را انجام دهم.

فهرست مطالب

بیشگفتار ز

فہرست مطالب..... ط

فصل نخست ۱

مقدمه

٢ - ١ - ١

۱-۱-۳ تاریخ تالیف..... ۳

۴-۱-۳- ویرگی های ل: ناری ۴

فصل دوم ۱۱

۱۱ خواص عنصرهای آلاینده‌ی کم‌باز

١٣..... ١-٢- مقدمة

۲-۲- ساختار الکترونی و ترازهای کوانتومی در انتاندها..... ۱۳

۲-۳- بدیده انقباض در عنصرهای کماب خات ۱۵

۲۲..... ۲-۴-۱ اهلس

٢٤..... ٢-٤-١- واهلش طولی

۲۵..... ۲-۴-۲- واهلش عرضی

۲-۴-۳- طول عمر تراز و یازدهمی کوانتومی..... ۲۵

۲-۵- گذارهای تشعشعی و کمیت‌های توصیف کننده‌ی آن ۲۶

۲۷..... ۲-۵-۱- اندرکنش فوتون با ماده

۲۸-۲-۵-۲- کمیت‌های مهم در توصیف گذارهای تشعشعی..... ۲۸

۲۸..... گذار ۱-۲-۵-۲- شدت خطی

۲-۲-۵-۲- احتمال گذار خودپه خودی و طول عمر تشعشعی ۲۹

- ۳۰-۲-۵-۳- نسبت شاخه‌ای یک گذار معین.....
- ۳۰-۲-۵-۴- سطح مقطع گذار.....
- ۳۴-۲-۵-۵- شدت نوسان.....
- ۳۵-۲-۶- گذارهای غیر تشعشعی.....
- ۴۰-۲-۷- پهنای خطی باریکه‌ی لیزر و پهن‌شدگی آن.....
- ۴۷-۲-۸- برهم‌کنش‌های یون-یون.....
- ۵۰-۲-۱- واهلش متقابل.....
- ۵۱-۲-۸- جذب حالت برانگیخته.....
- ۵۲-۲-۸-۳ فرآیند تبدیل به بالا با همکاری.....

۵۵

فصل سوم

۵۵

خواص و آلاینده‌های لیزرهای تار سیلیکایی موج پیوسته

- ۵۷-۳-۱- مقدمه.....
- ۵۸-۳-۲- کاواک‌های نوری برای لیزرهای تار سیلیکایی موج پیوسته.....
- ۶۲-۳-۳- تارهای خاص برای لیزرهای توان بالا.....
- ۶۲-۳-۳-۱- تار دو غلافی.....
- ۶۵-۳-۳-۱- بهینه‌سازی شکل غلاف در تارهای دو غلافی.....
- ۶۶-۳-۳-۱-۲- تکنیک‌های تزویج نور دمش.....
- ۶۸-۳-۳-۲- تارهای با نمایه M.....
- ۶۹-۳-۳-۳- تارهای دیگر برای توان‌های بالا.....
- ۷۰-۳-۴- مشکلات لیزرهای تار سیلیکایی در توان‌های بالا.....
- ۷۰-۳-۴-۱- فرو شکست مغزی.....
- ۷۰-۳-۴-۲- نشر گرمایی.....
- ۷۳-۳-۵- آلاینده‌های مختلف در لیزرهای تار سیلیکایی موج پیوسته.....
- ۷۳-۳-۵-۱- نئودیموم.....

۷۷.....	۳-۵-۲- اربوم
۸۲.....	۳-۵-۳- ایتربیوم
۸۶.....	۳-۵-۴- تولیوم
۸۹.....	۳-۵-۵- هولمیوم
۹۲.....	۳-۵-۶- پراسئودیمیوم
۹۴.....	۳-۵-۷- ساماریوم

۹۵

فصل چهارم

۹۵

لیزرهای آری فلئورایدی برای بازه نور مرئی

۹۷.....	۴-۱- مقدمه
۱۰۰.....	۴-۲- فرآیند دمش تبدیل به بالا
۱۰۸.....	۴-۳-۱- لیزرهای آری فلئورایدی آلائیده به پراسئودیمیوم
۱۱۷.....	۴-۳-۲- لیزر تارای ZBLAN آلائیده به نئودیمیوم در ناحیه بنفش و فرابنفش
۱۲۶.....	۴-۳-۳- لیزر تارای ZBLAN آلائیده به هولمیوم در ناحیه سبز
۱۳۱.....	۴-۳-۴- لیزر تارای ZBLAN آلائیده به اربوم با گسیل نور سبز

۱۴۱

فصل پنجم

۱۴۱

لیزرهای تارای با پهنای خط کم

۱۴۳.....	۵-۱- مقدمه
۱۴۳.....	۵-۲- مفاهیم اولیه کاربرد پهنای خط
۱۴۸.....	۵-۳- روشهای اندازه گیری پهنای خط

۱۵۵

فصل ششم

۱۵۵

لیزرهای تارای با پهنای خط زیاد

۱۵۷.....	۶-۱- مقدمه
۱۵۷.....	۶-۲- انواع منبعهای تارای با پهنای خط زیاد

- ۱۵۸ ۶-۲-۱- لیزر تاری با پهنای خط زیاد
- ۱۵۹ ۶-۲-۲- منبع تاری آب‌فلوئورسنت
- ۱۶۱ ۶-۲-۳- انواع دیگر منبع‌های تاری با پهنای خط گسترده

۱۶۳

فصل هفتم

۱۶۳

لیزرهای تاری با سودهی (کلیدزنی) Q

- ۱۶۵ ۷-۱-۱- دمد
- ۱۶۶ ۷-۱-۲- شیک سودهی Q
- ۱۶۷ ۷-۳- مبانی طری لزر تاری با سودهی Q
- ۱۷۰ ۷-۴-۱- روش‌های بهر - انرژی پالس
- ۱۷۰ ۷-۴-۱- افزایش بون دس
- ۱۷۰ ۷-۴-۲- کاهش قطر مغزی تار
- ۱۷۱ ۷-۴-۳- محاسبه بهینه طول تار
- ۱۷۱ ۷-۴-۴- تعیین تراگسیل خروجی مناسب
- ۱۷۲ ۷-۴-۵- انتخاب تاری با تلفات داخلی کمتر
- ۱۷۳ ۷-۵-۱- روش‌های سودهی Q در لیزرهای تاری
- ۱۷۴ ۷-۵-۱- سودهی فعال حجمی
- ۱۷۴ الف- سودهی مکانیکی
- ۱۷۴ ب- سودهی الکترواستاتیکی
- ۱۷۵ ج- سودهی آکوستوآپتیکی
- ۱۷۵ ۷-۵-۲- سودهی غیرفعال حجمی
- ۱۷۶ ۷-۵-۳- سودهی اپتیک مجتمع
- ۱۷۶ ۷-۵-۴- سودهی تمام-تاری
- ۱۷۷ ۷-۵-۵- تقویت پالس
- ۱۷۸ ۷-۶- بررسی محدودیت‌ها در لیزرهای تاری با سودهی Q

۱۷۸	۱-۶-۷- آستانه آسیب نوری
۱۷۸	۲-۶-۷- اثر غیرخطی مدولاسیون خود فاز
۱۸۰	۳-۶-۷- اندرکنش‌های غیرکشسان

۱۸۵

فصل هشتم

۱۸۵

لیزرهای تاری با مد قفل‌شده

۱۸۷	۱-۸- مقدمه
۱۸۸	۲-۸- قفل‌زنی مد در لیزر
۱۹۰	۳-۸- مبنای نظری لیزر تاری با مد قفل‌شده
۱۹۰	۱-۳-۸- معادله غیرخطی شرودینگر
۱۹۷	۲-۳-۸- لایه‌های غیرخطی
۱۹۸	۳-۳-۸- قطبش در حالت
۲۰۱	۴-۸- جواب‌های تحلیلی
۲۰۱	۱-۴-۸- پاشندگی
۲۰۲	۲-۴-۸- مدولاسیون خودفاز
۲۰۳	۳-۴-۸- چرخش قطبش غیرخطی
۲۰۴	۴-۴-۸- سالیتون
۲۰۵	۵-۴-۸- پراش برانگیخته رامان
۲۰۶	۵-۸- پایدارسازی لیزر تاری با مد قفل‌شده
۲۰۸	۶-۸- قفل‌زنی مد در لیزرهای تاری
۲۰۸	۱-۶-۸- قفل‌زنی فعال لیزر تاری تک‌مد
۲۱۰	۲-۶-۸- قفل‌زنی فعال-غیرفعال
۲۱۱	۳-۶-۸- لیزر تاری تک‌مد با قفل‌زنی غیرفعال
۲۱۷	۴-۶-۸- لیزرهای تاری قفل‌شده چندمد

۲۱۹

فصل نهم

۲۱۹

لیزرهای تاری رامان

۲۲۱ ۱-۹- مقدمه

۲۲۱ ۲-۹- پدیده رامان

۲۲۳ ۳-۹- لیزر تاری رامان و مبانی نظری آن

۲۲۴ ۱-۳-۹- پراش برانگیخته رامان در تارهای نوری

۲۲۶ ۲-۳-۹- ساختار لیزر تاری رامان

۲۲۸ ۳-۳-۹- کیفیت باریکه

۲۲۹ ۴-۹- بررسی لیزر تاری رامان در طول موج ۵۸۹ نانومتر

۲۳۷

مرجع‌ها

۲۴۷

واژه‌نامه انگلیسی-فارسی

۲۵۹

واژه‌نامه فارسی-انگلیسی