

الکترونیک نوری

گردآورنده:

سید خسروی

(عضو هیأت عالی دانشگاه رازی)

دانشگاه رازی

۱۳۹۹

Khosravi, Saba

Optoelectronics



سرشناسه : خسروی، صبا

عنوان : الکترونیک نوری / گردآورنده صبا خسروی

مشخصات نشر : کرمانشاه، دانشگاه رازی، ۱۳۹۹ = ۲۰۲۰ م.

مشخصات ظاهری : ۴۶۷ ص.

فروست : دانشگاه رازی؛ ۳۸۵ : الکترونیک؛ ۴

شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۳۹۳-۰۳۴-۶

یادداشت : عنوان اصلی

یادداشت : کتابنامه

موضوع : الکترونیک نوری

موضوع : الیاف نوری

شناسه رده : عنوان

شناسه افزوده : دانشگاه رازی

رده بندی کنگره : ۳۹۹ الف ۸۰ / ۱۷۵۰ TA

رده بندی دیویی : ۶۲۱.۳۸۱۰۲

انتشارات دانشگاه رازی ۳۸۵

Optoelectronics

Razi University Press

© 2020/1399

Print Run: 500

Price: 740000 تومان

ISBN: 978-600-393-034-6

Printed in Iran

Press.razi.ac.ir

عنوان کتاب: الکترونیک نوری

گردآورنده: دکتر صبا خسروی

ناشر: دانشگاه رازی

تاریخ و نوبت چاپ: ۱۳۹۹-اول

شمارگان: ۵۰۰

قیمت: ۷۴۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۳۹۳-۰۳۴-۶

قطع: وزیری

سامانه فروش آنلاین

مراکز پخش: تهران: مرکز نشر دانشگاهی ۸۸۵۵۶۱۶۸ - کتابیران ۶۶۴۹۲۲۶۶ - دانشیران ۶۶۴۱۶۱۷۶

Tehran: Ketabiran: +98 021 66492266 Daneshiran: +98 021 66416176

کرمانشاه: مرکز چاپ و نشر دانشگاه رازی - تلفن ۰۸۳۳-۴۲۸۰۸۰۲

Kermanshah: 083- 34280802

Email: Press@razi.ac.ir

مسئولیت درستی مطالب به عهده مترجمان است. (این کتاب با کاغذ حمایتی منتشر شده است).

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

پیشگفتار

الکترونیک نوری^۱ به واسطه کاربردهای گسترده در حوزه‌های مخابراتی، محاسباتی، دفاعی، پزشکی، انرژی، نجوم، زمین‌شناسی و ... از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. ظهور این علم در هریک از زمینه‌های نامبرده، کاربرد فراوانی دارد که در ادامه تنها به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

امروزه اهمیت سیستم‌های مخابرات فیبر نوری^۲ با ظرفیت چند ترابایت بر ثانیه، به دلیل فرکانس بسیار بالای سیگنال نوری حامل، در مقایسه با فرکانس رادیویی^۳ و نیز فرکانس‌های موج مایکرووی^۴، برکسی پوشیده نیست. محدودیت‌های افزایش سرعت در ادوات الکترونیکی فرستنده و گیرنده با ورود لیزر^۵ و المان‌های پردازش سیگنال تمام نوری^۶ از قبیل تقویت‌کننده‌های تمام نوری^۷ به سیستم‌های مخابرات نوری، از بین رفته‌است و این سیستم‌ها تقریباً به‌طور کامل جایگزین سیستم‌های مخابراتی الکتریکی شده‌اند. ظرفیت بالای سیستم‌های مخابرات نوری سبب به‌کارگیری فن‌آوری لیزرهای فرابنفش^۸ به‌عنوان منابع نوری در صنایع دفاعی، برای انتقال حجم بزرگ^۹ از اطلاعات در تجهیزات رزمایشی شده است.

از دیگر مزایای سیستم‌های مخابرات فیبر نوری در مقایسه با سیستم‌های مخابرات الکتریکی، می‌توان به ایمن بودن سیگنال، عدم نفوذ امواج الکترومغناطیسی، تلفات پایین و به تبع آن کاهش تعداد تکرارکننده‌ها^{۱۰} در مسیر انتقال سیگنال نوری، ابعاد فیزیکی کوچک و وزن کم، انعطاف‌پذیری و استحکام بالا، عایق الکتریکی بودن محیط انتشار، امنیت سیگنال در برابر شنود، قابلیت اطمینان، نگهداری آسان و ... اشاره کرد. یکی دیگر از سیستم‌های مخابرات نوری، مخابرات نوری فضای آزاد^{۱۱} با سرعت بالا، حجم کم و امنیت بالاست؛ به همین دلیل از این فن‌آوری در مخابرات بین ماهواره‌ای و انتقال اطلاعات از زمین به ماهواره فضایی استفاده می‌شود. بر همین اساس انتقال داده با ظرفیت چند صد گیگابایت بر ثانیه به فاصله چند صد هزار کیلومتر گزارش شده است. با توجه به اینکه در این سیستم نیازی به محیط مادی انتشار سیگنال نیست؛ بنابراین زیرساخت این سیستم مخابراتی در برابر بلایای طبیعی مصون‌تر است.

¹ Optoelectronics

² Optical Fiber Communication

³ Radio Frequency

⁴ Microwave

⁵ Laser

⁶ All Optical Signal Processing

⁷ All Optical Amplifiers

⁸ Ultraviolet Lasers

⁹ Repeaters

¹⁰ Free Space Optical Communication

در سال‌های اخیر سیستم‌های محاسبات نوری^۱ با توجه به ویژگی‌هایی از قبیل ابعاد کوچک، توان مصرفی پایین، قابلیت انجام سریع عملیات پیچیده، مصون بودن سیگنال نوری در برابر تداخل امواج الکترومغناطیسی و ... در برابر سیستم‌های محاسبات الکترونیکی که دارای سرعت پردازش پایین، سرعت انتقال محدود و اتلاف^۲ توان بالا هستند، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌است. مزایای سیستم‌های محاسبات نوری در طراحی مشتق‌گیرها و انتگرال‌گیرهای تمام نوری^۳، سیستم نوری حل معادله دیفرانسیلی، گیت‌های نوری^۴، حافظه‌های نوری^۵، واحدهای محاسبه و منطق نوری^۶، گذرگاه‌های نوری^۷، سوئیچ‌های تمام نوری^۸ و ... در عمل نیز به اثبات رسیده است.

اهمیت سیستم‌های محاسبات نوری را می‌توان از آنجا درک کرد که امروزه به‌منظور افزایش سرعت پردازش داده‌ها، از ترکیب ابزار الکترونیکی و نوری استفاده می‌شود. با این حال تلاش برای دستیابی به سرعت پردازش بالا به کمک پردازش تمام نوری سیگنال‌ها، همچنان ادامه دارد و امید است که در آینده‌ای نه چندان دور شاهد ورود پردازنده‌های تمام نوری به سیستم‌های محاسباتی باشیم.

از کاربردهای مهم الکترونیک نوری در صنایع دفاعی می‌توان به هدایت لیزری^۹ موشک، رادارهای لیزری، انواع آشکارسازهای نور، در باند طول موجی سه تا پنج میکرومتر در دوربین‌های دید در شب^{۱۰} و دوربین‌های امنیتی حسگرهای نوری فرابنفش با توان تصویربرداری چند طیفی^{۱۱} به‌منظور ردیابی هدف در منطقه نظامی و ... اشاره کرد. تا به حال آشکارسازهای نوری فروانی در باند طول موجی سه تا پنج میکرومتری بر نانو ذرات و پدیده فوتوولتائیک^{۱۲} برای دستیابی به نسبت سیگنال به نویز^{۱۳} در طراحی و ساخته شده‌اند. نامرئی‌سازی^{۱۴} در باند طول موجی مادون قرمز نیز یکی دیگر از مسائلی است که به‌تازگی به‌منظور طراحی یک پوشش نامرئی‌ساز برای موشک‌ها، پهبادها، ترانزاکتورهای نظامی و ... در صنایع دفاعی اهمیت یافته است. با ورود فرامواد^{۱۵} به حوزه الکترونیک نوری، راه دستیابی

¹ Optical Computation Systems

² Loss

³ All Optical Differentiator and Integrators

⁴ Optical Gates

⁵ Optical Memory

⁶ Arithmetic and Logic Unit

⁷ Optical Busses

⁸ All Optical Switch

⁹ Laser Guidance

¹⁰ Photodetector

¹¹ Night Vision

¹² Multispectral-Imaging

¹³ Photovoltaics

¹⁴ Signal to Noise Ratio

¹⁵ Invisibility

¹⁶ Metamaterials

به طراحی پوشش نامرئی‌سازی در هر باند طول موجی هموارتر و سبب تحقق فرامواد مبتنی بر توزیع تصادفی نانو ذرات فلزی در محیط‌های پلیمری و در نهایت طراحی پوشش‌های نامرئی‌سازی انعطاف‌پذیر با اتلاف کم در باند طول موجی سه تا پنج میکرومتر شده است.

اهمیت الکترونیک نوری در حوزه مهندسی پزشکی به‌منظور تشخیص و درمان بیماری به اثبات رسیده است. برای نمونه می‌توان به جراحی به کمک لیزر اشاره کرد که در آن تخریب یا تشخیص بافت در نقاطی از بدن، که به کمک ابزارهای معمولی امکان‌پذیر نیست، با استفاده از نور لیزر امکان‌پذیر است. با توجه به اینکه تلاش می‌شود در حوزه سلامت، آثار مخرب روش‌های تشخیص سلول‌های سرطانی، که با استفاده از اشعه ایکس^۱ صورت می‌گیرد، به حداقل برسد از تصویربرداری حرارتی^۲ برای تشخیص، میزان پیشروی و عمق سلول‌های سرطانی استفاده می‌شود؛ از سوی دیگر طراحی حسگرهای بیولوژیکی نوری^۳ با حساسیت بالاتر از حسگرهای الکتریکی و الکترومکانیکی در تجهیزات پزشکی، سبب طراحی و ساخت حسگرهای بیولوژیکی مبتنی بر پلاسمونیک^۴ شده است؛ در نتیجه جایگزینی حسگرهای الکتریکی در تجهیزات پزشکی با حسگرهای تمام نوری در آینده‌ای نزدیک دور از انتظار نیست.

با توجه به تجدیدنپذیر بودن سوخت‌ها، فیللی به‌عنوان منابع تولید انرژی و همچنین نیاز به سیستم‌های تولید انرژی پاک و سازگار با محیط زیست، استفاده از دستگاه‌هایی که از منابع تجدیدپذیر در تأمین انرژی نظیر نور خورشید بهره می‌گیرند، نیاز مبرم هر جامعه است. از جمله این دستگاه‌ها در حوزه الکترونیک نوری می‌توان به سلول‌های خورشیدی^۵ مبتنی بر نانو ذرات و پلیمرها را نام برد، که براساس پدیده فوتوولتائیک^۶ در آن تولید انرژی الکتریکی از نور خورشید را دارند.

امروزه ماژول‌ها و صفحات خورشیدی^۵، که بر سقف منازل و ادارات نصب می‌شوند، سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی و تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مجموعه می‌شوند. در این راستا تلاش پژوهشگران در جهت افزایش بهره‌وری سلول‌های خورشیدی به‌منظور افزایش نیروگاه‌های خورشیدی با توانایی تولید بالا و مصرف انرژی‌های پاک و بدون آلودگی صوتی

^۱ X-Ray

^۲ Thermal Imaging

^۳ Optical Biosensors

^۴ Plasmonics

^۵ Solar Cells

^۶ Solar Modules and Panels

همچنان ادامه دارد. دیود نورگسیل با قابلیت تابش نور سفید^۱ در سیستم‌های روشنایی، یکی دیگر از ادوات کاربردی الکترونیک نوری در راستای کاهش اتلاف انرژی است.

کتاب پیش‌رو با توجه به اهمیت موضوع در هفت فصل نوشته شده است. در فصل نخست سیر تکاملی سیستم‌های مخابراتی از دیرباز تا سیستم‌های مخابرات فیبر نوری بیان شده است. در این فصل همچنین درباب اجزاء تشکیل‌دهنده یک سیستم مخابرات فیبر نوری مروری کوتاه شده است و در پایان فصل نیز مزایا و معایب مخابرات فیبر نوری در مقایسه با مخابرات الکتریکی آمده است.

برای درک کامل انتشار امواج الکترومغناطیسی در محیط‌های مختلف، در فصل دوم ابتدا مروری بر مفاهیم اساسی^۲ و شرایط مرزی میدان‌های موج الکترومغناطیسی در مرز مشترک دو محیط متفاوت انجام شده است، سپس انتشار موج الکترومغناطیسی در محیط‌های مختلف و بازتاب و شکست امواج برخوردی به مرز مشترک دو محیط با پارامترهای مختلف، مطالعه شده است. با توجه به اهمیت بسیاری از پدیده‌های فیزیکی با استفاده از خاصیت موجی نور به‌عنوان تابش الکترومغناطیسی ترجیه‌پذیر نیستند و توجیه آن‌ها تنها با رفتار ذره‌ای نور امکان‌پذیر است، آخرین بحث فصل سوم، توصیف رفتار دوگانه نور اختصاص یافته است.

در فصل سوم ابتدا ساختار داخلی فیبر نوری و پارامترهای مهم تعیین‌کننده در عملکرد فیبر بررسی شده است. در ادامه برای درک کامل انتشار نور در فیبر نوری، انتشار امواج الکترومغناطیسی در موج‌برهای دی‌الکتریک تحت^۳ مطالعات^۴ و سپس انتشار موج در فیبر نوری تحلیل شده است. براساس این تحلیل‌ها، مکانیزم‌های^۵ محدودکننده ارسال اطلاعات در سیستم‌های مخابرات فیبر نوری از قبیل تضعیف^۶ و پاشندگی^۷ بررسی شده‌اند. در پایان فصل، با توجه به اهمیت کوپلرها^۸ در الکترونیک نوری، انتشار نور در این ادوات مطالعه شده است.

با پیشرفت فن‌آوری نیمه‌هادی در صنعت الکترونیک و بهره‌گیری از توان سیستم‌های الکترونیکی و ادوات نوری مبتنی بر نیمه‌هادی‌ها در کنار یکدیگر برای دستیابی به عملکرد بهینه، فصل چهارم کتاب به بحث نیمه‌هادی‌ها اختصاص یافته است. در این فصل ضمن توصیف ساختار کریستالی نیمه‌هادی‌های مختلف، ساختار کریستال‌های قطبی^۹ نیز به دلیل اهمیت در ساخت سلول‌های خورشیدی^{۱۰} آورده شده است.

^۱ White Light Emitting Diode (White LED)

^۲ Maxwell's Equations

^۳ Planar Dielectric Waveguide

^۴ Attenuation

^۵ Dispersion

^۶ Couplers

^۷ Polar Crystalline

^۸ Solar Cells