فصلنامه پژوهش در علوم، مهندسی و فناوری
دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱
صفحات ۱۵۲-۱۶۱
ISSN: 2476-5082
www.uctjournals.com

بررسی دیودهای نوری پیشرفته مخابرات نوری با طول موج ۱/۳۳ میکرون

سعید مداحی کیوی
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه برق مخابرات نوری، دانشگاه تبریز، ایران
saeedmaddahi72@gmail.com

چکیده

دیودهای لیزری نقش اساسی در مخابرات نوری ایفا می‌کنند و ارسال داده‌ها را بصورت سیگنال به عهده دارند. از مشخصه‌های لازم برای دیودهای نوری می‌توان به طول عمر بالا، همگرایی و قدرت مناسب و طول موجی با کمترین اتلاف و پاشندگی در فیبرهای نوری اشاره نمود. هزینه کمتر طراحی و ساخت و کنترل ساده رشد لایه‌های دیود یکی از مسائل مهمی است که در انتخاب دیودها باید در نظر داشت. نسل اول دیودها بر اساس زیرلایه GaAs با طول موج ۸۵۰ نانومتر و هزینه ساخت نسبتاً مناسبی طراحی و ساخته می‌شدند. نسل دوم، InP است که طول موج ۱۳۱۰ نانومتر را پوشش می‌دادند. امروزه با استفاده از تکنیک ابرشبکه‌ها و چاه‌های کوانتومی نسل سوم دیودها وارد کاربردهای تجاری شده‌اند که بیشتر آنها طول موج ۱۵۵۰ نانومتر را پوشش می‌دهند. آنچه در این نوشتار بدان پرداخته خواهد شد، بررسی مشخصه‌ها و مواد سیستمی دیودهای لیزری در طول موج ۱۳۳۰ نانومتر است.

واژه‌های کلیدی: مخابرات نوری، دیود نوری، دیود نورگسیل، تراز انرژی

۱- مقدمه

مخابرات نوری یکی از شکلهای ارتباطات است که از نور بعنوان حامل پیام استفاده میکند. مخابرات بیسیم نوری که از انتقال پیام با آتش و دود در فانوسهای دریایی در زمانهای کهن سرچشمه داشته است به فناوری مکمل مخابرات فرکانس رادیویی با ظرفیت بالا، تکامل یافته است. سامانه های مخابرات بیسیم نوری از طول موجهایی در طیف فروسرخ برای مخابرات فروسرخ و در طیف نور مرئی برای مخابرات نور مرئی استفاده میکنند. مخابرات بیسیم نوری به دلیل داشتن طیف عظیم بدون نیاز به مجوز نزدیک به ۶۷۰ تراهرتز، توانایی لازم را برای فراهم کردن یک پیوند بیسیم با سرعت بسیار بالای انتقال داده دارد. در طول سال های گذشته و شکل های گوناگونی از سیستم های مخابراتی ارائه شده است که علت اصلی پیشرفت ارسال و انتقال اطلاعات به فاصله ای دورتر و افزایش سرعت انتقال و حجم بیشتری از اطلاعات , در واحد زمان که «ظرفیت سیستم» نامیده می شود. بوده است. تا سال ۱۸۸۷ که امواج الکترو مغناطیس توسط هرتز کشف شد. تنها محیط انتقال , سیم ها بودند. در سال ۱۸۹۵, اولین سیستم مخابراتی رادیویی توسط مارکونی ارائه شد. در سیستم های الکتریکی و معمولا انتقال اطلاعات پس از تبدیل سیگنال اطلاعات به یک موج الکترومغناطیسی که به آن موج حامل می گویند, صورت می گیرد. [۱] در این روش حجم اطلاعات قابل ارسال کردن به فرکانس موج حامل بستگی دارد. هر چه فرکانس موج حامل بیشتر باشد، پهنای باند یا ظرفیت آن بیشتر است. برای افزایش اطلاعات و همچنین در اختیار داشتن سرویس های مخابراتی وسیع و باید پهنای باند فرکانسی وسیعی در دسترس بوده و برای افزایش پهنای باند, باید فرکانس افزایش یابد. یعنی طول موج کمتر (طیف أمواج نوری بین ۵۰um تا ۱۰۰um می باشد که بخشی از آن حدود 400 nm تا ۷۰۰nm , طیف نور مرئی می باشد. فرکانس امواج نوری بین ۱۰۱۲ الی ۱۰۱۶HZ است). امواج نوری مانند امواج رادیویی در دو محیط انتقال و هوا و موج حامل , قابل استفاده است. در سال ۱۹۸۵, تئوری تقویت کننده های لیزری ارائه گردید. با این اختراع در سال ۱۹۹۰, منابع تشعشع الکترومغناطیسی همدوسی و در دسترس قرار گرفت و باعث گردید تا طیف مرئی قابل استفاده گردد. با اختراع لیزر و مشاهده اینکه نور منتشره از لیزر شباهت زیادی با امواج الکترومغناطیسی ارسالی از یک فرستنده رادیویی دارد, فکر استفاده از لیزر برای انتقال اطلاعات به وجود آمد. فرکانس نور لیزر در حد ۱۰۱۶Hz ۵۷ است و ظرفیت اطلاعات آن تقریبا ۱۰۰ برابر سیستم های مایکروویو معادل ۱۰ میلیون کانال تلویزیونی است. اولین محیطی که برای انتقال اطلاعات در سیستم های مخابرات نوری مورد استفاده قرار گرفت, جو یا اتمسفر بود که به علت اختلالات ناشی از شرایط جوی، نظیر رعد و برق، بارندگی، سرما و گرما و .... ضریب شکست هوا تفاوت می یافت و تنظیم لنز عدسی ها به هم می خورد و شدت نور تغییر پیدا می کرد. در هوا میزان تلفات از نوع جذبی و بر حسب طول موج , متفاوت است. [۲]

با توجه به اشکالاتی که در انتقال نور در هوا وجود داشت، به فکر استفاده از هدایت نور توسط موج بر افتادند. در تلاش های ابتدایی و اشعه نور در طول مسافت طولانی هدایت گردید و این عمل با بکارگیری عدسی هایی که در لوله مناسبی قرار داده شده بودند انجام شد. به این ترتیب از تمایل اشعه به پخش در اطراف، بر اثر شکست نور, ممانعت به عمل آمد و از ورود شعاع های تور خارجی و رطوبت به آن جلوگیری شد. چنین سیستم هایی نیز به نتیجه مطلوب نرسید زیرا به علت لرزش زمین عدسی ها کمی جابه جا شده و مسیر نور تغییر می کرد. به این ترتیب فکر استفاده از «شیشه» به عنوان محیط انتقال مطرح گردید. [۳]

آنچه در این نوشتار بدان پرداخته خواهد شد، بررسی مشخصه‌ها و مواد سیستمی دیودهای لیزری در طول موج ۱۳۳۰ نانومتر است. [۴]

فیبر نوری

فیبرهای نوری رشته های بلند و نازکی از شیشه بسیار خالصند که ضخامتی در حدود قطر موی انسان دارند. آنها در بسته هایی بنام کابلهای نوری کنار هم قرار داده می شوند و برای انتقال سیگنالهای نوری در فواصل دور مورد استفاده قرار می گیرند.

قسمتهای مختلف یک رشته فیبر نوری

هسته: هسته بخش مرکزی فیبر است که از شیشه ساخته شده و نور در این قسمت سیر میکند. [۵]

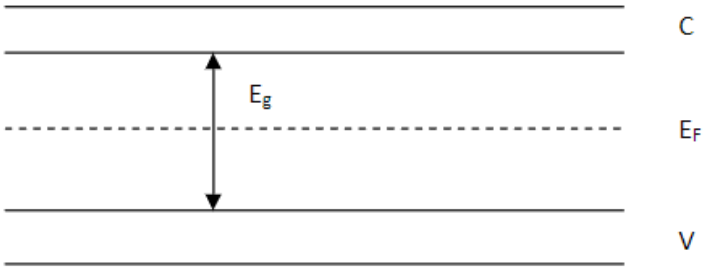
لایه روکش: واسطه شفافی که هسته مرکزی فیبر نوری را احاطه میکند و باعث انعکاس نور به داخل هسته می شود.

روکش محافظ: روکشی پلاستیکی که فیبر نوری در برابر رطوبت و آسیب دیدن محافظت می کند. صدها یا هزاران عدد از این رشته های فیبر نوری بصورت بسته ای در کنار هم قرار داده میشوند که به آن کابل نوری گویند. این دسته از رشته های فیبر نوری با یک پوشش خارجی موسوم به ژاکت یا غلاف محافظت می‌شوند. نور در یک کابل فیبر نوری، بر اساس قاعده ای موسوم به باز تابش داخلی، مرتبا بوسیله دیواره آینه پوش لایه ای که هسته را فراگرفته، به این سو و آن سو پرش میکند و در طول هسته پیش می رود. [۶]

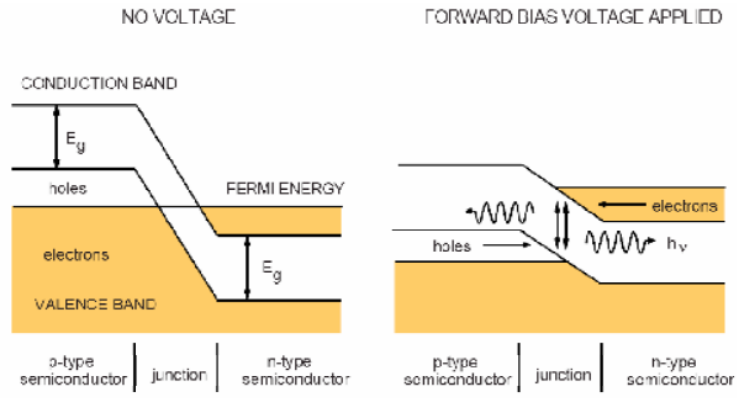
انواع فیبر نوری فیبرهای نوری دو نوعند: لیزرهای نیم رسانا و ترازهای انرژی

بر خلاف سیستمهای اتمی - مولکولی در لیزرها که ترازهای انرژی آنها به تابع موجهای جایگزیده وابسته اند، در لیزرهای نیم رسانا امکان صحبت درباره تابع موج تک اتم وجود ندارد و به جای آن باید در مورد تابع موجی که مربوط به کل بلور است، بحث کنیم.

طرح انرژی برای یک نیم رسانای ایده آل در شکل ۱ آمده است. طیف تراز انرژی از نوارهای زیادی تشکیل شده است. این نوارها عبارتند از نوار ظرفیت V و نوار هدایت C که توسط ناحیه انرژی ممنوع از هم جدا شده اند. (گاف انرژی) و طبق اصل طرد پائولی در هر حالت انرژی فقط دو الکترون با اسپین مخالف می‌تواند وجود داشته باشد. [۷]



شکل۱- نوار ظریف رسانش و تراز هرمی در نیم‌رسانا



شکل۲- ترازهای انرژی در یک لیزر نیم‌رسانا

طبقه بندی دیودهای لیزری

به منظور رسیدن به برابری عملکرد دیودهای لیزری از لحاظ اعتبار و پایایی با بقیه لیزرها، آنها به برخی پیشرفتهای مهم نیاز دارند.

اول) کاهش گرما تا جایی که وارونگی جمعیت حفظ شود.

دوم) بهینه کردن کیفیت و همگرایی پرتوها

سوم) فراهم کردن سطوح توان بالاتر تا جایی که یک مرد خروجی گذرنده منفرد بدست آید.
چهارم) کنترل طول موج خروجی
اولین مورد اینگونه برآورده می شود که بازده وارونگی جمعیت تحت جریان داده شده زیاد شود یا شار جریان درون ناحیه کوچک کم شود. در طراحی ساختمان جفت ساختار با محبوس کردن بارهای حامل، وارونگی جمعیت بیشتر میشود. یک اتصال جفت ساختاری شامل لایه بسیار نازک نوع p (در حدود ۲/۰pm) از یک ماده گاف مستقیم است که گاف آن کمتر از لایه های ضخیمتر نوع p و n در بالا و پایین آن می باشد. هنگامی که یک ولتاژ مستقیم به ناحیه اتصالp-p-n داده می شود، الکترونها و حفره ها از نواحی خارجی به داخل ناحیه فعال مرکزی تزریق می شوند که در آنجا درون چاه پتانسیلی که بوسیله مواد گاف بیشتر ایجادشده، گیر می افتند." بارهای حامل محبوس شده" درون این حجم، وارونگی جمعیت را زیاد می کنند که به معنای بهره بیشتر، آستانه جریان کمتر، گرمای کمتر و نور بیشتر است. این پدیده بوسیله افزایش جریان محبوس شده نیز به داخل جفت ساختار می تواند کمک کننده باشد. یک روش برای ایجاد جریان محبوس شده، استفاده از الکترودهای نواری بجای سطح گسترده دیود است. حبس جریان در ناحیه کوچک عمودی روی صفحه اتصال، منجر به چگالی جریان بیشتر، نفوذ بیشتر بارهای حامل درون دیود، بازده بیشتر و گرمای کمتر می شود.[۸]

دیودهای هندسی نواری

تکنیکهای زیادی برای حبس شار جریان در ناحیه کوچک وجود دارد که در آن بجای اینکه لایه یکپارچه فلزی استفاده شود، یک لایه نواری از فلز باردار شده مثبت بین دو لایه عایق مثل Si02 گذاشته می شود و اتصال P-P-n را می پوشاند.
دیودهای هندسی نواری به دو دسته تقسیم می شوند:[۹]
۱) دیودهای بهره هدایت شونده ۲) دیودهای ضریب هدایت شونده "

دیودهای بهره هدایت شونده

در این لیزرها، جریان تزریقی در یک ناحیه کوچک زیر نوار محدود می شود و ناحیه فعال مسطح و پیوسته است. عمل لیزینگ تنها در ناحیه محدود به لایه های زیرین تماس نواری اتفاق می افتد و پگالی جریان شارش می یابد. محبوس شدن افقی انتشار موج از میان ناحیه فعال بوسیله تفاوت ضریب شکست ایجاد شده ناشی از جریان تولید شده وارونی جمعیت اتفاق می افتد. اگر موج گسیلی در صفحه افقی از میزان ابعاد افقی نوار گسترده تر شود، توسط ناحیه غیر بر انگیخته شده لایه فعال جذب خواهد شد. در ابعاد عمودی نیز ضریب شکست لایه های پوشاننده موج را به داخل ناحیه فعال بر می گردانند.

لیزرهای ضریب هدایت شونده

کنترل مد عرضی در دیودهای لیزری می تواند با استفاده از ضریب هدایت شونده در صفحه اتصال انجام گیرد. کنترل مد برای بهینه سازی جریان خطی و مدولاسیون لیزرها لازم است. دو طرف طول و عرض ناحیه فعال بوسیله موادی با ضریب شکست پایین پوشانده شده و ناحیه فعال در کل جهات با لایه های ضریب شکست پایین مدفون می شود (موادی مانند InP) به همین دلیل این لیزرها، لیزرهای مدفونی نیز نامیده می شوند [۱۰]. مرتبه ضریب عرضی در طول ناحیه اتصال در حدود دو مرتبه از اثرات ایجاد شده حاملها بزرگتر است در نتیجه خواص عمل لیزینگ این لیزرها، در ابتدا بوسیله موجبر مستطیلی که در ناحیه فعال محدود شده است، تعیین می شود. ابعاد عرضی ناحیه فعال و ضریب ناپیوسته آن از پایین ترین مدهای عرضی انتخاب می شود که می توانند درون موجبر منتشر شوند.این قطعات، پرتوهایی را با کیفیت بالا تولید می کنند اما توان خیلی بالا ندارند در حدود چند صد میلی وات) خاصیت مهم دیگر آنها حبس جریان تزریقی به داخل ناحیه فعال می باشد. [۱۱]
پدیده "حبس حاملها" و "حبس جریان راه را برای ایجاد "حبس فوتونها آسان می سازد. تکنیک ضریبی معمولا برای گیر اندازی فوتونها درون حفره نوری بکار برده می شود تا چگالی توان حفره نوری افزایش یابد.[۱۲] یک لایه نازک فعال نوع p از یک ماده هسته گاف باریک که بوسیله مواد مشخصه گاف پهن، از چهار طرف پوشیده شده است که دارای ضریب شکست کمتری نسبت به لایه فعال می باشد.

این طراحی در دیود بهره هدایت شونده نیز وجود دارد، اما مزیت بیشتری برای گیر انداختن نور درون یک ناحیه باریک در انعکاس نهایی دارد که ناشی از ضریب شکست بیشتر درون حفره است.
این طراحی به حبس فوتونهای تولید شده در ناحیه باریک کمک می کند و بازگشت نوری و وارونگی جمعیت را افزایش می دهد. نکته قابل توجه این است که هر دو دیود ضریب هدایت شونده و بهره هدایت شونده پرتو همدوس و باریکتری از نور در ناحیه فعال تولید می کند در حالیکه جفت ساختار پرتو گسترده‌ای را در کل ناحیه اتصال بوجود می آورد. دیودهای ضریبی نسبت به دیودهای بهره ای پر تو همدوس تر و باریک تر تولید می کند اما دیرتر به توانهای بالا می رسند. [۱۳]
از نظر تاریخی، قطعات بهره ای هدایت شونده اولین بار از نقطه نظر سهولت طراحی شدند. اگرچه این لیزرها آستانه جریان بالاتری نسبت به لیزرهای ضریب هدایت شونده دارند و وقتی که طول موج افزایش یابد، خواص نامناسبی را از نشان می دهند. در مقابل طراحی لیزرهای ضریب هدایت شونده به یک یا دو مرحله رشد روی صفحه مسطح نیاز دارند که در مجموع این پروسه با دقت بیشتری انجام می شود. بر خلاف پیچیدگی در ساخت، خواص اجرای مناسب، آستانه جریان پایین، هدایت پایای مد اصلی و خواص مدولاسیون سرعت خوبی دارد که این لیزرها را کاندیدای مناسبی برای کاربردهای عملی می سازد.[۱۵].

لیزرهای چاه کوانتومی

اگر ضخامت ناحیه فعال نوع p را در جفت ساختار به ۵۰mm یا کمتر برسانیم، که با توسعه تکنیکهای ساخت نیمه هادی ممکن شده است، اثرات کوانتومی در ناحیه اتصال بوجود می آید. هر دو نوار ظرفیت و رسانش به دو زیر باند با انرژی و اندازه حرکت بارهای حاملی که به ضخامت لایه ها بستگی دارد، از هم جدا می شوند. چنین جفت ساختارهایی با یک لایه فعال کمتر از ۵۰Hm چاه کوانتومی (QW)نامیده می شود که اگر یک لایه فعال استفاده شود، چاه کوانتومی منفرد (SQW) می گویند و وقتی که لایه های جفت ساختاریSQW پشت سر هم قرار گیرند، چاه کوانتومی جند گانه "(MQM) می نامند .SQW و MQW هر دو از گروههای بهره هدایت شونده و ضریب هدایت شونده هستند. آنها بهره بالاتر، آستانه جریان کمتر و پرتو خروجی همدوس تری نسبت به مدلهای جفت ساختاری دارند. بررسی کاملتر این بحث در بخشهای آینده است. تا اینجا دو هدف اول را که یکی کاهش گرما برای حفظ وارونگی جمعیت و دیگری بهبود کیفیت و واگرایی پرتوها بود و در لیزرهای بهره ای و ضریبی یا در همتایشان QW بر آورده شد، بحث کردیم. [۱۴]
تا اینجا دو هدف اول را که یکی کاهش گرما برای حفظ وارونگی جمعیت و دیگری بهبود کیفیت و واگرایی پرتوها بود و در لیزرهای بهره ای و ضریبی یا در همتایشان QW برآورده شد، بحث کردیم. سومین هدف، تهیه سطوح توان بالاتر است که آن نیز بر آورده شده است بخاطر اینکه توان مشخصه این طراحی ها قابل مقایسه با بسیاری از لیزرهای مرسوم دیگر است. اگر چه برای رسیدن به توان های بالاتر، لیزرهای منفرد به آرایه هایی دسته بندی شوند. یک آرایه یک بعدی که شامل مجموعه ای از آرایه های درجه بندی شده فعال در یک خط که به وسیله فاصله کوتاه حدود ۱۰pm از یکدیگر جدا شده اند. آرایه دو بعدی نیز به وسیله قرار دادن آرایه های یک بعدی روی یکدیگر به دست می آید. طراحی این چنین آرایه هایی توان موج پیوسته ای حدود ۱۰۰W در دمای اتاق را می دهد. که در پمپاژ لیزرهای حالت جامد مثلNd:YAG یا Nd:YV04 به کار می رود. کیفیت این پرتو ضعیف است چرا که دیودهای جداگانه اغلب همفاز نیستند اما برای بهره پمپاژ کافی هستند برای بهینه سازی همفازی، طراحی های قفل فاز (Row آرایه موجبر نوری تشدید شده) ایجاد شده که در آن فواصل کوتاه بین نوارها برابر با مضرب فردی از نصف طول هاست که جفت کردن نور دیودهای مجاور را ممکن می سازد. [۱۵]

لیزرهای لبه گسیل و سطح گسیل

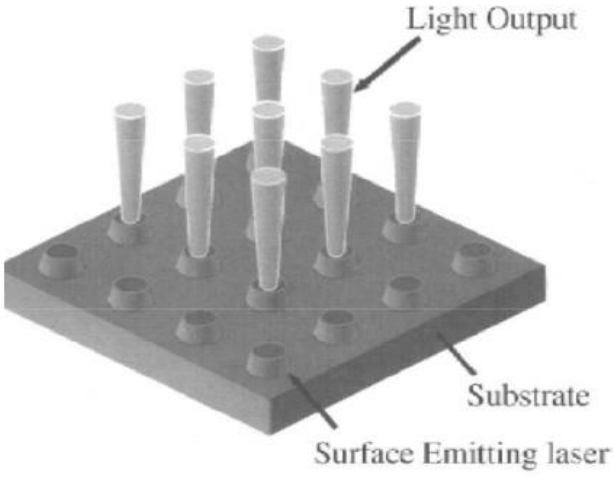
تا اینجا درباره دیودهای لیرزی بحث کردیم که از لبه های خود نور گسیل می کردند. که دیودهای لبه گسیل نامیده می شوند. طبقه بندی مهم دیگری از دیودهای لیرزی داریم که نور از سطح خود گسیل می‌کنند. (دیودهای سطح گسیل به دو دسته اساسی تقسیم می‌شوند.

۱) PCSEI حفره افقی دیود سطح گسیل
۲) vCSEI حفره عمودی

PCSEL به طور عملی یک دیود لبه گسیل است، که در آن سطوح زاویه وار برای بازتاب نور به صورت عمود بر سطح اضافه شده است. در مقابل دیودهای لبه گسیل، آVCSE یک حفره تشدید کننده عمود بر سطح اتصال دارند، همراه با آیینه هایی که از که از لایه نازک (HR بازتاب کننده قوی) ساخته شده و در بالا و پایین لایه اتصال نصب شده اند. توان VCSEI در حدود میلی وات است و معمولا از لبه گسیل ها کمتر است چرا که پرتو تنها از میان یک ناحیه هستند کوچک عبوری می کند که بر سطح اتصال عمود است.[۱۵]

لیزرهای سطح گسیل (SE)

عرصه جدیدی از علم الکترو نوری که شامل ارتباطات نوری ظرفیت بالا، دیسکهای نوری چند کاره، پردازشگرها و اتصالات نوری می باشد، توسعه فراساختارهای نوین را برای آینده بسیار ضروری ساخته و به توسعه لیزرهای سطح گسیل شتاب زیادی داده است. شکل ۳ نمایی از لیزرهای سطح گسیل حفره عمودی را که در سال ۱۹۷۷ توسط ga پیشنهاد شد، نشان می دهد. . [۱۶] این حفره بوسیله دو سطح از لایه اپی تکسی تشکیل شده و نور خروجی از آن بصورت عمود بر سطح یکی از آینه ها خارج می شود.



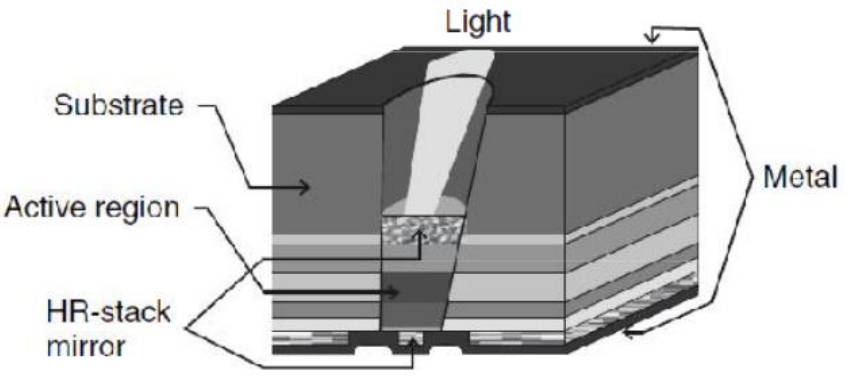
شکل ۳- نمایی از یک لیزر سطح گسیل

ساختار لیزری که گسیل آن بصورت عمود بر سطح الکترود باشد، بوسیله (1965 melngilise) . [۱۷] با توده InSb در دمای ۱۰k در یک میدان مغناطیسی قوی معرفی شد. بعد از آن مطالعات روی لیزرهای حفره صفحه ای که بصورت نوری پمپاژ شده بودند با فیلمهای CdS و CdSe توسط چندین گروه انجام شد. استفاده از لیزر جفت ساختار صفحه گسیل به عنوان یک قطعه نیم رسانا توسط Iga(۱۹۷۷) پیشنهاد شد.[۱۸] اولین فعالیت لیزری صفحه گسیلGaInAs/InP در سال ۱۹۷۹ بود که که آستانه جریان ۹۰۰mA و شرایط پالسی در ۷۷K داشت.(Soda1979) [۵۰] از آن پس، گروهی روی این موضوع کار کردند که امکان استفاده از لیزرهای VCSEL با GaInAsP/InP و GaAlAs/GaAs بدست آورند (۱۹۷۹) و در دمای اتاق فعالیت پالسی GaAlAs/GaAs را در سال ۱۹۸۴ بدست آوردند. لیزرهای سطح گسیل بر حسب ساختمان حفره به چهار دسته تقسیم می شوند.[۱۴]

۱- لیزرهای سطح گسیل حفره عمودی
۲- لیزرهای سطح گسیل توری جفت شده
۳- لیزرهای سطح گسیل با آینه های منعکس کننده ۴۵۰
۴- لیزرهای سطح گسیل حفره تاشده

لیزرهای سطح گسیل حفره عمودی (vCSEL)

در لیزرهایVCSEL محور حفره نوری در راستای شار جریان می باشد در حالیکه در دیودهای لیزری معمولی عمود بر جهت شار است. طول ناحیه فعال در مقایسه با ابعاد عرضی خیلی کم است و انتشار بیشتر از سطح حفره می باشد تا از لبه حفره مانند آنچه که در شکل ۴ آمده است. منعکس کننده ها در انتهای حفره، آینه های دی الکتریکی هستند با ارتفاعهای متغیر و ضریب شکست پایین که ضخامت آنها ربع طول موج است . چنین آینه های دی الکتریکی درجه بالایی از طول موج انتخابی بازگشتی مورد نیاز در سطح آزاد با طول موج ۸ را فراهم می کنند.[۱۴]



شکل۴ - لیزر سطح گسیل حفره عمودی

از آنجا که VCSELها از بالای سطح تراشه گسیل دارند قبل از اینکه به قطعات جداگانه تقسیم شوند میتوانند مورد ازمایش قرار گیرند . این موضوع قیمت ساخت این قطعات را کم میکند و اجازه میدهد که VCSEL ها نه تنها از یک بعد بلکه در آرایه های دو بعدی نیز ساخته میشود.

آستانه جریان در vCSEL

آستانه چگالی جریان لیزرهای سطح گسیل تجربی در مقایسه با لیزرهای نواری معمولی بالاتر است
که ناشی از انعکاس ناکافی آینه هاست. تا سال ۱۹۸۸ این موضوع از فعالیت موج - پیوسته لیزرهای سطح گسیل در دمای اتاق ممانعت می کرد. برای افزایش انعکاس ناحیه p (قسمت انعکاس دهنده مقید شده) حلقه الکترودی پیشنهاد شد که آینه منعکس کننده جدا از الکترود قرار می گرفت .(Uchiyama &lga 1984)[۵۶] یا منعکس کننده چند لایه ای دی الکتریکی (Kinoshita1987) [۶۷] که منعکس کننده قسمت خارجی ناحیه ۱ را پوشش می داد. برای ایجاد جریان محبوس شده کافی در ناحیه فعال برخی از ساختارها معرفی شده بودند. - حلقه کم ارتفاع - حلقه تپه ای با ارتفاع زیاد (پلی آمید مدفون شده). جفت ساختارهای مدفون شده دایره‌ای
هادی و چاه های کوانتومی به عنوان VCSEL با چگالی جریان ۱۸۲mA معرفی کرد. از آن به بعد بسیاری از تحقیقات روی توسعه VCSEL ها متمرکز شد و کاربردهای تجاری آن در سال ۱۹۹۶ به اجرا در آمد. مفهوم VCSEL دریچه ای جدید برای نورهای یکپارچه باز کرد. [۱۴]
Hewelett Packard روی VCSEL اینطور ذکر شده است: " نتایج تحقیقات فشرده نشان می دهد که انرژی فعال سازی و طول عمر استهلاک VCSEL های اکسیدی و کاشت یونی مشابه هم هستند و به یک مقدار توان خروجی دارند [۵۰] تولیدات مربوط به VCSEL اکسیدی در صنعت از تحقیقات تا تولید مشکلات خاصی را به دنبال دارد. میزان اکسیداسیون لایه های اکسیدی به مقدار زیادی به Al بکار رفته دارد. هر تغییر داخلی در میزانA میزان اکسیداسیون را تغییر خواهد داد که باعث می شود. "
گاهی نتایج در دریچه ها خیلی بیشتر یا خیلی کمتر از مقدار استاندارد مشخصه ی آن شود. قطعات با طول موج بلند از nm ۱۳۰۰ تا ۲۰۰۰nm با حداقل ناحیه فعال از InP ساخته می شود حتی VCSEL با طول موج بلندتر نیز تجربی شده اند و

اغلب بصورت نوری پمپاژ می شوند .VCSEL های ۱۳۱۰nm به عنوان کمترین پاشندگی در فیبرهای نوری در طیف طول موجها قابل توجه هستند.

سیستمGaInAsP/InP مورد کاربرد زیادی قرار گرفته است. اما این مواد سیستمی برای ساختن VCSEL مشکلات اساسی دارد که ناشی از موارد زیر است:

مزیت ها و محدودیتهای VCSEL

در مقایسه با تولید لیزر های لبه گسیل تولید VCSELها چندین مزیت دارند. دیود های لبه گسیل تا انتهای پروسه تولید، نمی توانند آزمایش شوند. اگر یک دیود لبه گسیل به طور کامل کار نکند ،هر چند ناشی از تماس نامناسب یا مواد ضعیف و کیفیت رشد باشد ، زمان تولید و مواد به کار رفته تلف شده محسوب میشود.

مثلا اگر ولتاژ الکتریکی بطور کامل از مواد دی الکتریک در طی خورندگی از بین نرود، یک پروسه موقتی آزمایشی که آیا لایه بالایی با لایه اولیه تماس دارد یا نه، به پروسه تولید اضافه می شود. به علاوه، چون VCSEL ها پرتو عمودی بر لایه فعال گسیل می کنند، بر عکس پرتو موازی در گسیلنده های لبهای، دهها هزار VCSEL بطور همزمان روی ۳ اینچ ویفر GaAs می تواند استفاده شود. با اینکه پروسه تولید VCSELزحمت بیشتر و مواد بیشتری را لازم دارد، اما خروجی قابل کنترل تری دارد. ولی با این حال معمولا توان خروجی پایین تری دارد.

خروجی بزرگتر دهانه VCSEL در مقایسه با بیشتر لیزرهای لبه گسیل زاویه همگرایی کمتری از از پر تو خروجی را بوجود می آورد و بازده جفت شدگی بیشتری را با فیبر های نوری ممکن می سازد طول موج VCSELها نیز بوسیله تنظیم ضخامت لایه های منعکس کننده تغییر می کند. با اینکه VCSEL امروزی در مدهای طولی چندگانه یا در مدهای رشته ای گسیل دارند، VCSELهای تک مد امروزه مرسوم هستند . مسائلی که باید در ساخت VCSELها در نظر گرفت:

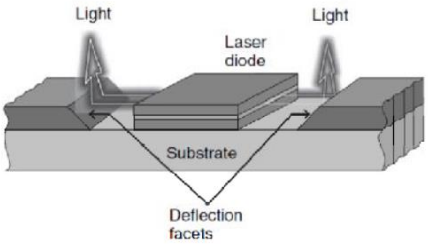
- استفاده از DBR ها با انعکاس و گذردهی بالا
- کمینه کردن اتلاف نوری
- بیشینه کردن همپوشانی میدان نوری و بهره
- ایجاد الکترود برای کم کردن مقاومت جهت عملکرد با بهره بیشتر
- منتقل کردن گرما برای عملکرد در دمای بالا و ایجاد توان بالا

لیزرهای سطح گسیل توری جفت شده [۱۴]

این لیزرها شامل منعکس کننده DBR یا DFB هستند که در یک توری جفت شده مسطح استفاده می شوند. یک تکنولوژی توسعه یافته که برای لیزر DFB مورد استفاده قرار گرفته، در این طرح آمده است. [۶۱] طول تابشی این توری چند صد میکرون است و پرتو خروجی بسیار باریک می تواند باشد. زاویه در حدود ۰/۰۱۲ گزارش شده است [۱۲] با استفاده از یک ساختار جفت شده عرضی و محوری، یک آرایه همدوس از اجزا چندگانه می تواند ساخته شود.(Evans ۱۹۸۹) که خروجی پالسی در حدود ۵۰۰mw گسیل می کرد [۶۳]. یکی از مسائل آن، زوال بهره خروجی ناشی از شکست نور به سوی زیر لایه است که این مشکل با استفاده از یک آینه منعکس کننده به سمت بالا، مثل فلز طلا و استفاده از منعکس کننده پراگ نیمه هادی به منظور منعکس کردن پر توی زیر لایه به سمت خروجی حل شده است. با معرفی یک توری متقارن دایره ای، لیزر سطح گسیل توری دار دایره ای از دسته لیزرهای سطح گسیل پیشنهاد شده است. (wu 1991) [۱۰]

لیزرهای سطح گسیل با آینه های منعکس کننده با زاویه ۴۵ درجه [۱۴]

این لیزر (شکل ۵) که از آینه های منعکس کننده با زاویه ۴۵ استفاده می کند Springthorpe) 1985) [۶۵] که پرتو خروجی از آینه های صاف شده لیزر گرفته می شود. اولین قطعه آن از Ga InAsP/InP با استفاده از تکنیک انتقال مادی فراهم شد. سپس ۱۶۴ قطعه آرایه بندی شده جهت توان بالا بکار گرفته شد. در واقع خیلی بیشتر از یک وات برای توان پیوسته ای که بدست آمده بود. هم چنین روی قطعهGaAlAs/GaAs کار شد که در حدود ۷۰w در شرایط پالسی با ۶۶ ٪ بهره کوانتومی گزارش شد. [۹]



شکل۵- لیزر SE با آینه‌های ۴۵درجه

لیزرهای سطح گسیل حفره تاشده

در ساختار این لیزر از یک آینه درون حفره ای منکس کننده ۴۵۰ یا یک موجبر خمیده استفاده می شود (wu ۱۹۸۸ yuasa 1987&) [۶۴] ,[۷۲] در ساختار موجبر خمیده لایه فعال روی زیر لایه ای که حفره خمیده دارد، رشد داده می شود. نور خروجی با یک زاویه از موجبر به محیط تابش می شود. یک لیزر حفره تاشده از منعکس کننده های۴۵ درون حفره ای مانند یک قالب استفاده می کند که در جایی که آینه حفره را در بر می گیرد، بر آمده می شود. یک حفره تا شده به همراه منعکس کننده برای توان بالا تولید می کنند بیشتر از۵۰ برای خروجی موج پیوسته از یک آرایه دو بعدی ۱۶٪ ۹۴ گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

دیود لیزرهای نیمه رسانا (به اختصار دیود لیزر) همانند سایر لیزرها، فیزیک و مکانیزم مشابهی دارند؛ با این تفاوت که ماده فعال (محیط بهره – Gain Medium) درون آن‌ها حالت جامد (پیوند p-n) است. در نتیجه یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این نوع از لیزرها، اندازه کوچک آن‌ها است که باعث کاربردهای فراوانی در تکنولوژی و صنعت شده است. می‌توان گفت دیود لیزر ها از نظر مقیاس، در حد و اندازه LEDها هستند.

عملکرد دیود لیزر ها همانند LEDها است. برای تولید نوری با مشخصات پرتو لیزری نیاز است که تغییراتی را در یک دیود LED پیوند p-n ایجاد کنیم. در دیود لیزرها غالباً به جای نیمه هادی سیلیکون، از ترکیب آلیاژ آلومینیوم (aluminum) و گالیم آرسنید (gallium arsenide) یا ایندیوم گالیوم آرسنید فسفرید (indium gallium arsenide phosphide) استفاده می‌کنند. در نتیجه با اتصال جریان الکتریکی به دیود مذکور و عبور الکترون‌ها از سد پتانسیل p-n و ترکیب آن‌ها با حفره‌ها، انرژی اضافه الکترون‌ها در قالب فوتون منتشر می‌شود.

روند فوق (تبدیل الکترون‌های وارد شده به فوتون‌های خروجی) مشابه با فرآیند گسیل القایی (Stimulated Emission) در سایر لیزرها است. در سایر لیزرها پس از عمل پمپاژ (اعمال نیرو محرکه اولیه جهت تولید فوتون‌ها توسط لامپ فلاش، یک لیزر دیگر یا تخلیه الکتریکی)، نور تولید شده بین دو آینه بازتابنده (محیط کاواک) تقویت شده و توسط لنزهایی به بیرون منتقل می‌شود. شکل زیر شماتیکی ساده از نحوه عملکرد لیزر یاقوت قرمز است.

در دیود لیزر ها نیز فرآیندی مشابه رخ داده و فوتون‌های تولید شده در محل اتصال پیوند p-n (تقریباً به عرض یک میکرون) که در اپتیک به کاواک فابری پرو (Fabry – Perot Resonant Cavity) معروف است، تقویت شده و توسط لنزهایی همگرا به بیرون منتقل می‌شوند. که در نتیجه می‌توانستند یک پرتو منفرد را در فرکانس یا طول موجی خاص تابش کنند. در مخابرات فیبر نوری، از دیود لیزرهایی استفاده می‌شود که در طول موج‌های مخابراتی 1310nm, 1490nm, 1550nm کار می‌کنند.

منابع

[1]Kao.C.K,Hockman.G.A, proc,IEEE,1158, 2016.
[2]Karpon.F.P,Keck.D.B,Maurer,Appl,Phys,lett 17.423, 2017.
[3] Keiser, Gerard, Optical Fiber Communication, 3rd ed., McGraw-Hill, Singapore (2020)
[4] Saleh.T.A, Fiber Optic Data Communication :Technological Trends and

Advanced,Casmier Decusatis, Academic Press,2012
[5] Agrawal, G.P, Fiber-optic communication systems, Ed. 3, New-York, John Wiley & Sons, Inc, 2012
[6] Story of Fiber Optics, Jeff Hecht, Oxford University Press, New York, 2019
[7] Bohren,C. F. and Huffman, D.R. "Absorption and Scattering of Light by Small Particles", Wiley, 2018
[8] Marcatili, E.A.J, Objectives of early fibers: Evolution of fiber types, in S.E. Miller and A.G. Chynoweth, eds., Optical Fiber Telecommunication, Academic, New York, 2017.
[9] Kerker, M.The Scattering of Light,Academic, New York ,1990
[10] Marcatili, E.A.J., Objectives of early fibers: Evolution of fiber types, in S.E. Miller and A.G. Chynoweth, eds., Optical Fiber,elecommunication, Academic, New York, 1979.
[11]Svelto.O,Principles of Lasers,4th,springer,1998
[12]Chuang.S.l,physics of optoelectronic Devise,Jhon Wiley & Sons, Inc, New York,1995
[13]Chow.w,Kokh.s.w,Semiconductor laser fundamentals, Springer, Berlin,1999
[14]Kapon,Eli , Semiconductor lasers II :Material and structures, Institute of micro and opto electronics, department of physics, 1990
[15] Abramzyk, Halina, Introduction to laser spectroscopy, Chemistry Department,Technical Univercity,Poland, 2005
[16] Nagaatsu Ogasawara. Lasers, semiconductor. Technical report, Nagaatsu Ogasawara,University of Electro-Communications
[17] Richard Scheps. Laser Diode-Pumped Solid State Lasers. SPIE Press, 2002.
[18] Niloy K. Dutta Govind P. Agrawal. Semiconductor Lasers. Van Nostrad Reinhold,2 edition, 1993