لیزر در پزشکی؛ ۱۳۹۸، دورهٔ ۱۶، شمارهٔ ٤، صفحات: ۲۴–۱۶.

مقاله يژوهثي

بررسی تنظیم پذیری لیزر حالت جامد InP/In_xGa_{1-x}AsP برای کاربردهای پزشکی: تأثیر تغییر گاف نواری و انـدازهٔ کاواک

خلاصه

على عبداله زاده ضيابري

مقدمه: بهدلیل بهبود پیوستهٔ فناوری لیزرهای دیودی، این گونه از لیزرها به گونهٔ فزایندهای برای کاربردهای پزشکی در کانون توجه قرار گرفتهاند. لیزرهای دیودی همزمان تنظیم پذیری و توان گسیلشی بالا و اندازهٔ کوچک با قیمت به صرفه را ارائه می دهند. بنابراین، لیزرهای دیودی به گونهٔ فزایندهای در کاربردهای مهمی همچون لیزر شبکیهای پی آرپی، تومو گرافی اپتیکی همدوس، تصویربرداری اپتیکی افشانده، تصویربرداری زمان عمر فلورسان و تصویربرداری تتراهر تز ترجیح داده شدهاند. در این مقاله لیزر دیودی حالت جامد با ناحیهٔ اکتیو و تصویربرداری تتراهر تز ترجیح داده شدهاند. در این مقاله لیزر دیودی حالت جامد با ناحیهٔ اکتیو دسترس هستند به طور عمده به گاف نواری مادهٔ موجود در بخش فعال مربوط است. بنابراین در این پژوهش با تغییر درصد عناصر موجود در مادهٔ فعال، گاف نواری بهینه برای رسیدن به بیشینهٔ بهرهٔ لیزری به دست می آید. همچنین به منظور دست یابی به بهینه ترین مقادیر مشخصه های خروجی، تغییرات مشخصه های یادشده با ابعاد کاواک لیزری نیز بررسی می شوند.

روش بررسی: در این پژوهش یک مدل بهرهٔ اپتیکی وابسته به بسامد برای برآورد بیناب گسیلشی نور به کار میرود. این کار با کدنویسی در محیط برنامهٔ ۲۰۱۴ تعریف می شود، می پذیرد. برای این منظور: ۱- ساختار لیزر با کمک دستورات Atlas تعریف می شود، ۲- مدل های قطعه و بایاس اولیه تنظیم می گردد، ۳- ماژول LASER در Atlas فعال می شود، ۴- مش بندی فضا برای حل معادلهٔ موج هلمهولتز انجام می پذیرد، ۵- مدل های فیزیکی لیزر و پارامترهای وابسته مانند مدل بهرهٔ اپتیکی وابسته به بسامد تعریف می شوند و ۶- پارامترهای الکتریکی و اپتیکی لیزر محاسبه می شوند.

یافتهها: نتایج حاصل از شبیهسازیها نشان دادند که مشخصههای خروجی لیزر دیودی InP/In_xGa_{1-x}AsP بهشدت به تغییرات نسبت x و ابعاد کاواک لیزری حساس هستند. مشاهده گردید که با افزایش مقدار x و درنتیجه کاهش گاف انرژی، توان لیزری برحسب جریان بایاس افزایش پیدا نمود و بهرهٔ اپتیکی بهازای ۲۵/۰ x=۲ به بهینهٔ مقدار خود رسید.

 ۱. استادیار، گروه فیزیک، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران همچنین رابطهٔ مستقیمی بین توان خروجی لیزر و ابعاد کاواک دیده شد درصورتی که بهرهٔ اپتیکی با افزایش طول کاواک کاهش محسوسی یافت. برآیند نتایج مشخص نمود که برای لیزر دیودی طراحیشده بهینهٔ مقادیر x و L بهترتیب برابر ۰/۲۵ و ۵۰ میکرون میباشند.

نتیجهگیری: در این مقاله تلاش گردید تا با بهینهسازی دو پارامتر نسبت عناصر In و (x) Ga و نیز ابعاد کاواک لیزری L که بهعنوان مشدد لیزری عمل می کند، مشخصههای خروجی شامل توان گسیلیدهٔ لیزری، مشخصهٔ جریان-ولتاژ، بهرهٔ اپتیکی و چگالی فوتونی محاسبه گردند. محاسبههای صورت گرفته نشان می دهد که با انجام تنطیمات مؤثر برروی ساختار و پیکربندی لیزر حالت جامد InP/In_xGa_{1-x}AsP اسکان چیرگی بر معایبی مانند توان خروجی پایین تر نسبت به لیزرهای گازی، پهنای طیفی گسترده^۱ و کار در رژیم چندمد^۲ فراهم می شود. نتیجه این که به دلیل مزیتهایی از جمله امکان پمپاژ بهوسیلهٔ جریان الکتریکی، بازدهی بسیار بالا، ابعاد کوچک، سادگی اتصال به فیبرهای نوری و هزینهٔ بسیار پایین در قیاس با لیزرهای گازی، با انجام مهندسی برروی گاف نواری، زیرلایه و اندازهٔ مانند جراحی پلاستیک استفاده نمود.

واژەھاى كليدى:ليزرديودى، گافنوارى، كاواكليزرى، توان ليزرى،بھرةاپتيكى، چگالى فوتونى

نويسندهٔ مسئول: على عبداله زاده ضيلېرۍ تلفن: ۰۹۱۲۳۳۸۲۵۰۳ پست الکترونيک: ali_abdolahzadeh@liau.ac.ir

1. Wide spectral width

2. Multimode regime

به نیمرساناهای ترکیبی مورد استفاده و درصد عناصر مورد استفاده در آنها، طولموجهای گسیلش برای نمونه در نیمرساناهای ترکیبی III-V از بخــش آبی تا نزدیک فروسـرخ (۴۰۰ نانومتر تا ۲ میکرومتر) را دربرمی گیرد. اگرچه در جریانهای بالا، مدهای کناری بیناب به اندازهٔ کافی فریز می شوند، این امکان وجود دارد که کاربردهای لیزرهای دیودی بهوسیلهٔ مشخصههای طیفیشان محدود گردد. در این موارد، پهنای باند گسیلشــی را میتوان برای نمونه با فیدبک ذاتــی یا بیرونی باریک نمود. مـورد دوم همچنین امکان تنظیم پذیری گسـیلش تک-مد را برای روی چند ده نانومتر فراهم مینماید و افزون بر آن تنظیم پذیری را از راه تزریق جریان یا دمای لیزر ممکن می کند. علی رغم شهار طول موجهایی که با ديودهاي ليزري ميتوان به آنها دست يافت، توان بروندهي ممكن است کافی نباشد. افزون بر آن، دیگر طول موجها، به ویژه در بخش دیدگانی، بهدلیل نبود ساختارهای لیزری در دسترس ممکن است که دستیافتنی نباشــند. یک گزینه برای دسترسی به این طولموجها یا افزایش توان در بخش ویژهای از بیناب، تبدیل بسامد غیرخطی است. دیگر راه حلها پمپاژ اپتیکی لیزرهای نیمرسانا یا لیزرهای حالت جامد است. بهدلیل برانگیزش ایتیکے، این لیزرھا در قیاس با لیزرھای دیودی یمیاژشــدهٔ

مقدمه

از نخستین نمایش لیزر از سوی تیودور میمن (Theodore Maiman) در سال ۱۹۶۰ کاربردهای لیزر به شکل گستردهای افزایش یافته است[۱]. با بهبود روشهای تولید و نیز کارآیی، لیزرهای دیودی همچنان جذابتر می شوند. به دلیل پمپاژ الکتریکی مستقیم، لیزر های دیودی با فاصله کاراترین چشمههای نور در دسترس کنونی هستند [۲و۳]. با استوار بودن بر فنآوری تراشیه میتوان آنها را در شیمارگان بالا و در قیمت پایین تولید نمود. بهدلیل جاگیری آنها تنها در چند mm^۳ آنها را بهعنوان دستگاههای لیزری با اندازهٔ کوچک مطرح میسازد. همهٔ این ویژگیها پتانسیل به کارگیری از آنها ازجمله کاربردهای زیست پزشکی را افزایش میدهد. کاربردهای تصویربرداری و تشـخیصی، بـرای نمونهٔ توموگرافی همدوس اپتیکی، تصویربرداری زمان عمر فلورسان، تصویربرداری نوری افشانده، تصویربرداری THz، تصویربرداری لیزری داپلر یا بینابنگاری رامان برای درمان های مستقیمی مانند Photocoagulation، رامان Photo-dynamic therapy، بيومدولاسيون و زيستفعالسازى (Bioactivation). در مقایسه با لیزرهای محدود به گذارهای اتمی ویژه، لیزرهای دیودی بازهٔ طیفی گســـتردهتری را یوشش میدهند. بسته

الکتریکی بازدهی اپتیکی کاهشیافتهای را نشان میدهند.

نیمەرسانای ترکیبے III-V آلیاژ سے گانه In_xGal_{1-x}As برای گسترش ابزار فوتونیکے و ایتوالکترونیکی کاربرد بسیاری دارد [۴]. نيمەرساناھاى بر پاية In_xGal_{1-x}As را مىتوان براى طراحى قطعات اپتیکی در بازهٔ طیفی ۳/۶۰ μ۳–۰/۸۵ به کار برد[۵]. این آلیاژ را می توان با روشهای رونشســتی ٔ مانند MOCVD و MBE تهیه نمود[عو٧]. نیاز به دیودهای نور گسیل LEDs کاراً و لیزرهایی که بتوانند در سرتاسر بخــش دیدگانی (مرئی) کار کنند و نیـز پنجرههای فیبر نوری در ۱/۳ و ۱/۵۵ میکرومتر پژوهشها را بهسوی نیمهرساناهای گاف مستقیم بهعنوان مواد فعال پیش برده است. از آنجاکه طول موج گسیلش یک نیمهرسانا به انرژی گاف آن بستگی دارد، پژوهشها بر مهندسی مواد نوین که گاف نواریشان دارای انرژی های طراحی شده براساس نیاز مشتری است، متمرکز شده است. هنر مهندسی گاف نواری ۲ بهطور عمده بر دانش رشد کریستال استوار است. در رشددهی لایهٔ فعال لیزری، یک لایه با خلوص بسیار بالا برروی یک کریستال کپهای به نام بستر یا زیرلایه نشانده می شود. سازگاری ساختاری مادهٔ فعال و زیرلایه شمار دررفتگیها را در لایهٔ فعال کاهــش میدهد اما، محدودیتهایی را بـر گاف نواری اعمال میکند که می توان آن را به سادگی مهندسی نمود. در آلیاژ سه گانه ۔In_xGal xAs کے بهازای ٪x=۵۳ با سےاختار InP سےازگار اسےت، گاف نواری In_{0.53}Ga_{0.47}As میباشد. فوتودیودهای (λ=۱/۶۵ μm) ۰/۷۵ eV رشد دادهشده برروی InP آشکارسازی ممتازی را در طول موجهای ۱/۳ یا ۱/۵۵ μm نشـان میدهند اما، برای ساختن یک گسیلنده در این طولموج، میباید گاف نواری را افزایش دهیم درحالی که بهطور هم زمان شرط سازگاری ساختاری می باید حفظ گردد. این امکان از راه افزودن عنصــر چهارمی مانند Al یا P به آلیاژ میســر می شــود. در این مقاله با مهندسی گاف نواری بهازای مقادیر گوناگون x در ترکیب چهارگانه In_xGal_{1-x}AsP بەعنوان مادة فعال ليزر ديودى تالاش مىگردد که مقدار بهینهٔ توان و بازده برای لیزر بهمنظور کاربردهای پزشکی بهدست آید. همچنین تأثیر طول کاواک لیزری بر مشخصههای خروجی پیکربندی طراحی شده مورد بررسی قرار می گیرد. کارهای صورت گرفته از سوی دیگر پژوهشگران برروی این ساختار بیشتر بر روشهای رشد کریستال و جزئیات فنی مربوط به آنالیز و مشخصهیابی استوار است. برای نمونه نانولیزر InP/InGaAs رشد دادهشده برروی سیلیکون (۰۰۱) [۸] و لیزرهای InP/InGaAs nano-ridge رشد دادهشده روی Si در دمای اتاق [۹] بهدلیل وجود پارامترهای گوناگون اثرگذار بر خروجی ليزر يادشده، انجام شبيهسازي پيش از ساخت نمونه افزون بر صرفهجويي در وقت و هزینه، امکان طراحی و ساخت قطعهای کارآتر با بازدهی بیشتر را ممکن میسازد.

1. Epitaxial methods

2. Bandgap engineering

تئوری و روش بررسی

در این مقاله برای طراحی و شبیهســازی لیزر دیودی گسیلندهٔ جانبی^۳ فابری-پرو[†] InP/InGaAsP و محاسبهٔ پارامترهای خروجی از نرمافزار Silvaco نسـخهٔ ۲۰۱۴ استفاده شده است. شبیه ساز Laser در ماژول Atlas نرمافزار Silvaco شبیهسازی الکتریکی و اپتیکی لیزرهای نيمه, سانا را انجام مي دهد. شبيه ساز Laser همراه با شبيه ساز Blaze کار می کند و ۱- امکان حل معادلهٔ هلمهولتز برای محاسبهٔ مدهای ايتيكي، ميدان أنها و الگوهاي شــدت ميدان را فراهم مي كند، ٢- بهرهٔ اپتیکی وابسته به انرژی فوتونی و ترازهای شبه فرمی را محاسبه میکند، ۳- بازترکیب حاملها مربوط به گسیل نور را برآورد میکند (یعنی همان گسیل برانگیخته)، ۴- معادلههای نرخ فوتونی را برای محاسبهٔ چگالی فوتونی کیفی حل مینماید، ۵- توان برونداد نور لیزر را محاسبه می کند و مشخصهٔ جریان – ولتاژ را نمایش میدهد. برای شبیهسازی لیزر، معادلههای پایهای نیمهرسانا (معادلههای ۱-۴) بهطور خودسازگار همراه با یک معادلهٔ ایتیکی که توزیع شـدت میـدان ایتیکی را تعیین می کند، حل می شوند. معادلهٔ پواسون پتانسیل الکترواستاتیکی را به چگالی بار فضایی پیوند میدهد:

$$div(\varepsilon\nabla\psi) = -\rho \tag{1}$$

در رابطهٔ بالا ψ پتانسیل الکتریکی، ٤ گذردهی الکتریکی و ρ چگالی بار هستند. میدان الکتریکی از روی گرادیان پتانسیل الکتریکی بهدست میآید:

$$E = -\nabla \psi \tag{7}$$

معادلههای پیوستگی برای الکترونها و حفرهها بهترتیب بهصورت زیر

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q} div \vec{J}_n + G_n - R_n$$
 (۳

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{1}{q} div \vec{J}_p + G_p - R_p \tag{6}$$

nو qبه ترتیب چگالی الکترون و حفره، Lو J_p چگالی جریان الکترون و حفره، G_p و G_n نرخ تولید الکترون و حفره و R_n و R_n نرخ بازتر کیب الکترون و حفره می باشند. شبیه ساز Laser از دستگاه مختصات زیر استفاده می کند: • محور X عمود بر کاواک لیزر می باشد و در امتداد سطح قرار دارد (از چپ به راست).

• محور Y عمود بر کاواک لیزر می باشد و از سطح به جهت پایین امتداد دارد. • محور Z در امتداد سطح کاواک می باشد.

3. Edge-emitting

4. Fabry-Perot

 $I_m(x, y) = \left(\left[\vec{E}_m \times \vec{H}_m^*\right] + \left[\vec{E}_m^* \times \vec{H}_m\right]\right) \hat{z}$ (17)

و برروی سطح بهنجاریده می گردد:

$$\int I_m(x,y)dS = 1 \tag{17}$$

ضريب شكست مؤثر وضريب جذب مؤثر دراين صورت چنين به دست مى آيند:

$$n_{eff,m} = \Re e[\beta_m] \frac{c}{\omega} \tag{14}$$

$$\alpha_{eff,m} = \mathbf{Y} \Im m[\beta_m] \tag{10}$$

بازترکیـب حاملها مربوط به گسـیل نــور برانگیختــه بهصورت زیر مدلسازی میشود:

$$R_{ST}(x,y) = \sum_{j=x,y,z} \sum_{m} \frac{c}{n_{eff,m}} g_j(x,y) \Gamma_m^j(x,y) . S_m$$

 $g_j(x,y)$ ســـیگمای دوم برروی همهٔ مدهای لیزری جمع میبندد. jدر رابطهٔ بــالا بهرهٔ موضعی برای میدان الکتریکی پلاریزه در راســـتای است. $\Gamma^j_m(x,y)$ نیز عبارتاستاز:

$$\Gamma_m^j(x,y) = 2\Re e \Big[n_j(x,y) \Big] \frac{\left| E_m^j(x,y) \right|^2}{\int I_m(x,y) dS} \qquad (1)$$

بهرهٔ اپتیکی پارامتری است که مدلهای الکتریکی و اپتیکی را بههم پیوند میدهد. بهرهٔ اپتیکی به ترازهای شــبهفرمی بستگی دارد و بهنوبهٔ خود بر گذردهی دیالکتریکی اثر میگذارد و از جفتشدگی میان آهنگ بازتر کیب



شكل۱:نمایش پیكربندی واجزای گوناگون لیزردیودی گسیلندهٔ جانبی فابری - پروInP/InGaAsP.

معادلات الکتریکی و اپتیکی در صفحهٔ XY یعنی عمود بر کاواک لیزر حل میشوند. رویهمرفته، مؤلفههای میدان الکترومغناطیسی در دستگاهی از معادلات به هم جفتشده هستند و با معادلهٔ برداری هلمهولتز داده میشوند:

$$\nabla \times \frac{1}{\varepsilon} \nabla \times \vec{H} = \frac{\omega^{\mathsf{r}}}{c^{\mathsf{r}}} \vec{H} \tag{a}$$

با درنظر گرفتن اینکه موجبر لیزر در راستای Z همگن است، تنسور گذردهی دیالکتریک قطری میباشد و با فرض نامغناطیسی بودن ماده معادله بهصورت زیر نوشته میشود:

$$\frac{\partial^{\mathsf{v}} H_x}{\partial x^{\mathsf{v}}} + \varepsilon_x \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\varepsilon_z} \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) + \left(1 - \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} \right) \frac{\partial^{\mathsf{v}} H_z}{\partial x \partial y} - \varepsilon_y \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\varepsilon_z} \right) \frac{\partial H_y}{\partial x} + \frac{\omega^{\mathsf{v}}}{\varepsilon^{\mathsf{v}}} \varepsilon_y H_x = \beta^{\mathsf{v}} H_y$$

(6

$$\varepsilon_{x} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\varepsilon_{z}} \frac{\partial H_{y}}{\partial x} \right) + \frac{\partial^{2} H_{y}}{\partial y^{2}} + \left(1 - \frac{\varepsilon_{x}}{\varepsilon_{z}} \right) \left(\frac{\partial^{2} H_{x}}{\partial x \partial y} \right) - \varepsilon_{x} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\varepsilon_{z}} \right) \frac{\partial H_{x}}{\partial y} + \frac{\omega^{2}}{\varepsilon^{2}} \varepsilon_{x} H_{y} = \beta^{2} H_{y}$$

مسئلهٔ بالا یک مسئلهٔ ویژهٔ مقداری مختلط غیرهرمیتی بهازای توان دوم ثابت انتشار β و ویژهٔ بردار $(H_x, H_y) = z^3$ میباشد. این دستگاه معادلات با روش المان محدود جداسازی میشود و با درنظر گرفتن \mathscr{O} بهعنوان پارامتر با یک حل کنندهٔ ویژهٔ مقداری تکرار کننده حل می گردد. برای راهاندازی حل کنندهٔ برداری هلمهولتز برای شبیه سازی لیزر پارامتر برای راهاندازی حل کنندهٔ برداری هلمهولتز برای شبیه سازی لیزر پارامتر NMODELS را برروی دستورهای SER و NODELS تنطیم می کنیم. شمار کل مدهای عرضی که می باید محاسبه شود با پارامتر می کنیم. مقداری، همهٔ دیگر مؤلفههای میدان ایتیکی به دست می آیند:

$$H_{z} = \frac{i}{\beta} \left(\frac{\partial H_{x}}{\partial x} + \frac{\partial H_{y}}{\partial y} \right) \tag{A}$$

$$E_{x} = \frac{i}{\omega \varepsilon_{xx} \varepsilon_{0}} \left(\frac{\partial H_{z}}{\partial y} - \frac{\partial H_{y}}{\partial z} \right)$$
(9)

$$E_{y} = -\frac{i}{\omega \varepsilon_{yy} \varepsilon_{0}} \left(\frac{\partial H_{z}}{\partial x} - \frac{\partial H_{x}}{\partial z} \right) \qquad (1)$$

$$E_{z} = \frac{i}{\beta \varepsilon_{zz}} \left(\varepsilon_{xx} \frac{\partial E_{x}}{\partial x} + \varepsilon_{yy} \frac{\partial E_{y}}{\partial y} \right) \tag{1}$$

شدت هر مد اپتیکی عرضی در این صورت



شکل۲: تغییرات گاف نواری In_xGa_{1-x}AsP بهازای مقادیر گوناگون x. مقادیر گاف نواری بهکار بردهشده در محاسبهها روی نمودار نشان داده شدهاند

نمایش میدهد. مقاومت ســری لیزر دیودی از روی شــیب منحنی I-V بالاتر از ولتاژ کار^۷ تعیین میشود[۱۱].

مقادیر بالای مقاومت سری می تواند یک عامل اصلی در خراب شدن دیود لیزری به شام آید. ولتاژ کار پارامتر دیگری است که می توان آن را از روی منحنی I-V به دست آورد و دلالت دارد بر طول موج عملیاتی لیزر دیودی. از روی شکل ۴ به طور کیفی آشکار است که ولتاژ کار به ازای X=1/10 بیشترین و به ازای X=1/10 کمترین مقدار را دارا می باشد. از سوی دیگر شیب نمودار با افزایش X کاهش می یابد. وارون شیب نمودار I-V با مقاومت الکتریکی قطعه متناظر است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که با قزایش در صد ایندیوم (X) مقاومت الکتریکی قطعه افزایش می یابد. اگرچه با توجه به اختلاف بسیار اندک شیب منحنی ها بالاتر از نقطهٔ کار تفاوت در مقاومت ها ناچیز است.

بهرهٔ اپتیکی معیاری است از میزان کمی تقویت نور بهوسیلهٔ قطعهٔ

7. Turn-on voltage



شکل۳: توان کل گسیلیدهٔ لیزر برحسب جریان اعمال شده بهازای مقادیر گوناگون X

حامل های برانگیخته (RST) و چگالی فوتون ها (S) به دست می آید:

$$G_m = \sum_{j=x,y,z} \iint g_j(x,y,\omega_m) \Gamma_m^j(x,y) dS \qquad (1)$$

Atlas بر پایهٔ رابطههای یادشدهٔ بالا، یک برنامهٔ کامپیوتری در محیط Atlas برنامهٔ Silvaco نوشته شد تا با آن بتوان تغییرات توان لیزر، بهرهٔ اپتیکی و چگالی فوتونی را با تغییر گاف نواری ناحیهٔ فعال لیزر بررسی نمود. شکل ۱ نمایی از ساختار طراحیشده برای لیزر دیودی گسیلندهٔ جانبی فابری-پرو InP/InGaAsP را نمایش میدهد.

تغییرات گاف نواری ناحیهٔ فعال In_xGa_{1-x}AsP در K۳۰۰ باتوجه به رابطهٔ زیر درنظر گرفته شد[۱۰]:

$$E_{\sigma}(x) = 1/47\Delta - 1/\Delta \cdot 1x + \cdot/479x^{7}$$
(19)

يافتهها

بررسی مشخصههای لیزر با تغییر گاف نواری مادهٔ فعال

در این بخش نخست تغییرات مشخصههای خروجی لیزر فابری-پرو InP/ In_xGal_{1-x}AsP با طول ثابت کاواک^۵ ۵۰ میکرون را بهازای مقادیر ۳۰و ۲۵، ۲۰، ۲۵ x بررسی مینماییم. از روی معادلهٔ ۱۹ تغییرات گاف نواری In_xGal_{1-x}AsP برحسب x در شکل نشان داده شده است. همان گونه که از شکل دیده می شود، با افزایش نسبت ایندیوم In و کاهش درصد گالیوم Ga اندازهٔ گاف نواری ترکیب In_xGal_{1-x}AsP کاهش می یابد.

در شکل ۳ توان کل گسیلیدهٔ لیزری بهازای مقادیر گوناگون x برحسب شارش جریان آستانه⁶ (جریان آند) نشان داده شده است. در دیودهای نور گسیل LED جریان آستانه لحاظ نمی شود اما، در لیزرها مورد بحث قرار می گیرد. پیش از تابش نور بهوسیلهٔ لیزر، توان خروجی اندک است. بنابراین تزریق جریان باید به مقدار جریان آستانه برسد تا لیزر شــروع به کار کند. پیش از جریان آستانه، لیزر در مد LED کار می کند زیرا گسـیل نـور رخ میدهد امـا هنگامی که شـارش از حد آسـتانه فراتر میرود، گسیل تقویتشده روی میدهد و لیزر کار میکند. از روی شـکل ۳ دیـده میشـود کـه اگرچـه مقادیر جریان آسـتانه بهازای مقادیر گوناگون X بسیار کوچک است اما، بیشترین جریان آستانه بهازای X=۰/۱۵ و کمترین مقدار آن بهازای X=۰/۲۵ رخ میدهد. همچنین توان گسیلیده در ناحیهٔ کار لیزر با افزایش X افزایش مى يابد. همانند ديگر قطعات الكترونيكى و اپتوالكترونيكى، مشخصه جریان-ولتاژ یکی از مهمترین شاخصهای لیزرهای دیودی میباشد. شکل ۴ منحنی مشخصهٔ جریان-ولتاژ لیزر را بهازای مقادیر گوناگون X 5. Cavity

^{6.} Threshold flow



شکل ۴: مشخصهٔ جریان-ولتاژ لیزر گســـیلندهٔ جانبی فابری-پرو In_xGa_{1-x}AsP بهازای مقادیر گوناگون x. داخل شکل نمودار با مقیاس بزرگتر نشان داده شده است.

اپتیکی. بهرهٔ اپتیکی لیزری به چگالی الکترونی در ترازهای گوناگون بستگی دارد که آن هم به نوبهٔ خود به شدتهای اپتیکی وابسته مقادیر گوناگون X در شکل ۵ نشان داده شده است. از روی شکل دیده می شود که کمترین بهرهٔ اپتیکی به ۲۰/۱۵ مربوط می شود. از سوی دیگر بهازای ۲۵/۲۵ محل تقاطع نمودار با محور افقی (محور ولتاژ) کمترین مقدار را در مقایسه با دیگر مقادیر X نشان می دهد که گویای بهرهٔ اپتیکی مطلوبتر در مقایسه با دیگر حالتها می باشد.

چگالی فوتون های تولیدشده برحسب طول موج در شکل ۶ نشان داده شده است. دیده می شود که با تغییر x طول موج کار لیزر کاهش یافته است. همچنین چگالی فوتونی با افرایش درصد In افت می کند.

بررسی کارکرد لیزر با تغییر ابعاد کاواک

کاواک (مشدد) های نوری یکی از بلوکهای اصلی ساختمان لیزرها بهشهار میآیند. یک لیزر به کاواکی نیاز دارد که در آن تابش لیزر به



شكل۵: تغييرات بهرهٔ اپتيكى برحسب ولتاژ باياس بهازاى مقادير گوناگون x



شکل۶: تغییرات چگالی فوتونی برحسب طول موج بهازای مقادیر گوناگون X

جریان می افتد و از بخش فعال گذر می کند تا اتلاف نوری جبران شود. هنگامی که محیط بهره^۸ یک مادهٔ نیمهرسانا است، یک کاواک فابری-پرو را می توان به وسیلهٔ باز تابش های اپتیکی فرنل در میان صفحه های جداشدهٔ تراشه ایجاد نمود. درون کاواک موجهای الکترومغناطیسی الگوهای موج ایستاده را شکل می دهند که دارای گره و شکم هستند. افزایش طول کاواک سبب کاهش اتلاف آیینه خواهد شد که این امر کاهش پهنای باریکه را در پی خواهد داشت. در این بخش با درنظر گرفتن ۲۵ پیامدهای تغییر طول کاواک (L) بر مشخصه های خروجی لیزر بررسی می شود. شکل ۷ توان کل گسیلیدهٔ لیزری به ازای مقادیر گوناگون L بر حسب شارش جریان آستانه نشان داده شده است.

همان گونه که از شکل پیدا است، افزایش طول کاواک از ۵۰ میکرون به ۱۰۰ میکرون سـبب افزایش توان گسیلیدهٔ لیزر گردیده است. همچنین می توان دید که با افزایش L جریان آستانه کاهش یافته است.



شكل ٧: توان كل گسيليدة ليزر برحسب جريان اعمال شده بهازاي مقادير گوناگون L

L شکل ۸ منحنی مشخصهٔ جریان-ولتاژ لیزر را بهازای مقادیر گوناگون نمایش میدهد. از روی شکل آشکار است که ولتاژ کار بهازای L=۵۰μm بیشترین مقدار را دارا میباشد. ازسویدیگر شیب نمودار با افزایش L کاهش یافته است که گویای افزایش مقاومت الکتریکی قطعه است.

بهرهٔ اپتیکی محاسبهشده برحسب ولتاژ بایاس قطعه بهازای مقادیر گوناگون L در شکل ۹ نشان داده شده است. از روی شکل دیده می شود که کمترین بهرهٔ اپتیکی به L=۱۰۰µm مربوط می شود. همچنین بهازای L=۵۰µm محل تقاطع نمودار با محور ولتاژ کمترین مقدار را در مقایسه با دیگر مقادیر L نشان می دهد.

چگالی فوتونهای تولیدشده برحسب طولموج اپتیکی بهازای مقادیر گوناگون طول کاواک در شکل ۹ نشان داده شذه است. از روی شکل دیده می سود که با افزایش L طولموج کار لیزر افزایش یافته است. همچنین چگالی فوتونی بهازای L=۱۰۰µm بیشترین مقدار را دارد.

بحث و نتيجه گيرى

لیزرهای دیودی در سرتاسر طیف کاربردهای پزشکی گوناگونی را پوشش میدهند، از لیزرهای دیودی فرابنفش (۲۰۰ نانومتر) و بنفش مورد استفاده در استریلیزاسیون و برخی کارهای جراحی، درمان فوتودینامیک در طول موج مرئی (۶۹۰-۶۳۰ نانومتر) تا طول موجهای بالاتر. کاربردهای زیبایی و آرایشی مانند برداشتن موهای زائد، جوان سازی پوست و برداشتن رگهای واریسی در بازهٔ طول موجی ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ نانومتر صورت می گیرد. افرون بر آن در این طول موجی کاربردهایی در دندانپزشکی و درمانهای جراحی وجود دارد. کاربردهای درمان پوست در ۱۹۴۰ نانومتر و نیز کاربردهای پزشکی بیشتر در ۱۵۵۰ نانومتر و ۱۹۴۰ این گونه از لیزرها روز به روز افزایش می بد. در جدول ۱ نمونه هایی از کاربردهای پزشان کاربردهای در این می کند و دامنهٔ کاربردهای این گونه از لیزرها روز به روز افزایش می بد. در جدول ۱ نمونه هایی از کاربردهای پزشکی لیزرهای دیودی خلاصه شدهاند. به طور کلی ناحیهٔ میفی که لیزرهای حالت جامد پوشش می دهند از mm را ۲۰۰ m را

برای پوشـش دادن بازهٔ طول موجی یادشده، نیمه رساناهای ترکیبی گوناگونـی می باید به کار گرفته شـوند. گزینش طول مـوج لیزری λ را می توان با تنظیم نسـبت مـواد در ترکیب مورد نظر انجـام داد. در بازهٔ طیفـی آبی تا سـبز از مـادهٔ ترکیبـی In_xAlyGa_{1-x-y}N اسـتفاده می شـود[۲۱و۲۲]. دیودهای گسـیلندهٔ قرمز بیـن ۲۵۵ نانومتر و ۷۵۰ نانومتر برپایهٔ Pa_{1-x-y}P امی اشـند. بین ۶۷۰ تا ۸۹۰ نانومتر از نانومتر برپایهٔ In_xAl_yGa_{1-x}-yP می اشـند. بین ۲۹۰ تا ۸۹۰ نانومتر از بلندتـر تا Al_xGa_{1-x}-yP به عنوان لایهٔ فعال استفاده می شود. طول موجهای بلندتـر تا In_xGa_{1-x}As_yP₁ را می تـوان با به کارگیـری _V-19 پوشش داد[۱۴و۱۵].





شکل۸: مشـــخصهٔ جریان-ولتاژ لیزر گسیلندهٔ جانبی فابری-پرو In_xGa_{1-x}AsP بهازای مقادیر گوناگون طول کاواک. داخل شکل نمودار با مقیاس بزرگتر نشان داده شده است.



شکل٩: تغییرات بهرهٔ اپتیکی برحسب ولتاژ بایاس بهازای مقادیر گوناگون طول کاواک



شکل۱۰: تغییرات چگالی فوتونی برحسب طول موج بهازای مقادیر گوناگون طول کاواک

با استفاده از بستر InP، دو ترکیب آخر میتوانند طولموجهای بلندتر تا ۲/۳µm را نیز پوشش دهند. پارامتر کلیدی در تغییر نسبتهای مربوط به مواد ترکیبی یادشده گاف نواری لایهٔ فعال میباشد. درواقع، با تغییر مقادیر x و γ هدف تغییر گاف نواری لایهٔ فعال است. بنابراین در این مقاله تلاش گردیده است تا با مهندسی گاف نواری لایهٔ فعال ۲-۱ منابر این در این مقاله تلاش ۱- امکان پوشش دهی طول موجهای بلندتر فراهم آید و ۲- مشخصههای خروجی لیزر طراحی شده بهینه گردند. همچنین بهمنظور دستیابی به بازهٔ طول موجی گستردهتر جهت پوشش نیازهای پزشکی یادشده در جدول ۱ لایهٔ مورد نظر برروی بستر InP

در تلاش نخست، ابتدا تغییرات پارامترهای خروجی با نسبت X بررسی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش درصد In (مقدار X) توان گسیلیدهٔ لیزری افزایش یافت. باتوجه به شکل ۲ مقادیر گاف نواری بهازای ۲۰۳۰ و ۲/۱۰۱۵ و ۲/۱۰۱۴ و ۱/۲۱۰eV میباشد. توان اپتیکی با رابطهٔ زیر داده میشود:

$$P = h \, v \, \phi \tag{7}$$

در این رابطه h ثابت پلانک، ν بسامد فوتون و ϕ شار فوتونهای نشریافته (شمار فوتونها بر یکای زمان) است. بنابراین میتوان نتیجه گرفت که با افزایش x و کاهش گاف نواری لایهٔ فعال میزان شار فوتونی افزایش یافته است. از سوی دیگر با افزایش طول کاواک از ۵۰ میکرون به ۱۰۰ میکرون توان اپتیکی روند افزایشی نشان داد. این روند را میتوان به افزایش شار فوتونی در نتیجهٔ افزایش سطح مؤثر لایهٔ فعال نسبت داد.

نتایج تغییرات مربوط به نمودار مشخصهٔ جریان-ولتاژ I-V با x و طول کاواک L نشان داد که ولتاژ کار بهازای x=۰/۲۵ و μm کمترین مقدار را نشان میدهد. همچنین منحنیهای مربوط به بهرهٔ اپتیکی و چگالی فوتونی نشان میدهند که انتخاب x=۰/۲۵ و L=۵۰μm رای لیزر دیودی In_xGa_{1-x}As_yP_{1-y} رشدیافته بر بستر InP منجر به بهینهٔ مقادیر خروجی می گردند.

کاربرد پزشکی	طول موج (نانومتر)
درمان فتوديناميكي	4-0
درمان فتوديناميكي	880-881.801.980
درمان فتوديناميكي دژنراسيون وابسته به سن ماكولا (ARMD) و لكههاي پوستي مربوط به پيري	۶۸۹ .۷۳۰
زیبایی. برداشتن مو. دندانپزشکی. جراحی. عروق. چشمپزشکی	۱·±۸۱۰
برداشتن رگهای واریسی، کاربردهای جراحی	94.
دندانپزشكى، درمان پروستات، جراحى، چشمپزشكى	۱۰±۹۸۰
برداشتن مو، برداشتن تاتو و خالکوبی	1.94
ليپوساكشن	121.
جراحى	124-122.
درمان جوش و اکنه، جراحي	144-140.
درمان جوش و آکنه، جانگزین لیزر تالیوم در جراحی	11170.

جدول۱: نمونهٔ کاربردهای پزشکی لیزرهای دیودی گوناگون

References:

1. Maiman TH. Stimulated optical radiation in Ruby. Nature. 1960; 187: 493–4.

2. Knigge A, Erbert G, Jonsson J, Pittroff W, Staske R, Sumpf B, Weyers M, Trankle G. Passively cooled 940 nm laser with 73% wall-plug efficiency at 70 W and 25/spl deg/C. Electron. Lett. 2005; 41: 250–1.

3. Kanskar M, Earles T, Goodnough T, Stiers E, Botez D, Mawst L. 73% CW power conversion efficiency at 50 W from 970 nm diode laser bars. Electron. Lett. 2005; 41: 245–7.

4. Asar T, Özçelik S, Özbay E. Structural and electrical characterizations of InxGa1-xAs/InP structures for infrared photodetector applications. J. Appl. Phys. 2014; 115: 104502.

5. Kaniewski J, Piotrowski J. InGaAs for infrared photodetectors. Phys. Technol., Optoelectron. Rev. 2004; 12(1): 139–48.

6. Schleeh J, Rodilla H, Wadefalk N, Nilsson P, Grahn J, Cryogenic noise performance of InGaAs/InAlAs HEMTs grown on InP and GaAs substrate. Solid-State Electron. 2014; 91: 74–7.

7. Yasuda Y, Koh S, Ikeda K, Kawaguchi H. Crystal growth of InGaAs/InAlAs quantum wells on InP(110) by MBE. J. Cryst. Growth. 2013; 364: 95–100.

8. Han Y, Ng WK, Xue Y, Li Q, Wong KS, Lau KM. Telecom InP/InGaAs array directly grown on (001) silicon-on-insulator. Optics Lett. 2019; 44(4): 767–70.

9. Han Y, Ng WK, Ma C, Li Q, Zhu S, Chan CCS, Ng KW, Lennon S, Taylor RA, Wong KS, Lau KM. Room-temperature InP/InGaAs nanoridge lasers grown on Si and emitting at telecom bands. Optica. 2018; 5(8): 918–23.

10. Nahory RE, Pollack MA, Johnson Jr WD, Barns RL. Band gap versus composition and demonstration of Vegard's law for In1–

xGaxAsyP1-y lattice matched to InP. Appl. Phys. Lett. 1978; 33: 659.

11. Gupta MC, Ballato J. Ed. Hand-book of Photonics. 2nd Edn. CRC Press, 2006: 9-4.

12. Vurgaftman I, Meyer JR, Ram-Mohan LR. Band Parameters for III-V compound semiconductors and their alloys. J. Appl. Phys. 2001; 89: 5815–75.

13. Kneissl M, Rass J, in: Weber H, Loosen P, Poprawe R. (eds.), Landolt-Bornstein – Laser Physics and Applications, Subvolume B: Laser Systems Part 3 (Springer, Berlin), 2006: 27–42.

14. Iga K. Surface-emitting laser-its birth and generation of new optoelectronics field. IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 2000; 6: 1201–15.

15. Wenzel H, in: Schulz W, Weber H, Poprawe R. (eds.), Landolt-Bornstein – Laser Physics and Applications, Subvolume B: Laser Systems Part 2 (Springer, Berlin), chap. 5.2, 2008; 163–83