

---

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای غلامحسین حقیقت پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان آنالیز و شبیه سازی لیزر

های تابنده از سطح با کاواک عمودی مبتنی بر کریستال فوتونی در تاریخ

۱۳۸۹/۱۲/۲۲ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد الکترونیک پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر وحید احمدی	استاد	
استاد ناظر	دکتر محمدکاظم مروج فرشی	استاد	
استاد ناظر	دکتر احسان اله کبیر	استاد	
استاد ناظر	دکتر فاطمه شهبهانی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمدکاظم مروج فرشی	استاد	

### دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.**

**ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.**

**تبصره:** در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

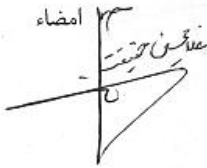
**ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.**

**ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.**

**ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.**

نام و نام خانوادگی

امضاء





### آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته \_\_\_\_\_ است که در سال \_\_\_\_\_ در دانشکده \_\_\_\_\_ دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر \_\_\_\_\_، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر \_\_\_\_\_ و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر \_\_\_\_\_ از آن

دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رایبه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیبه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب \_\_\_\_\_ غلامحسین حقیقت دانشجوی رشته \_\_\_\_\_ برق - الکترونیک مقطع \_\_\_\_\_ کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: \_\_\_\_\_

تاریخ و امضا: \_\_\_\_\_  
۸۹/۱۲/۲۳



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک

آنالیز و شبیه سازی لیزرهای تابنده از سطح با کاواک عمودی مبتنی بر کریستال فوتونی

غلامحسین حقیقت

استاد راهنما:

دکتر وحید احمدی

زمستان ۱۳۸۹

---

تقدیم به

عزیزانم

پدر و مادر مهربانم و خواهر نازنینم

به خاطر تمام زندگیم

---

## تشکر و قدردانی

خدای مهربان را سپاس می گویم به خاطر تمام لطف هایش در لحظه لحظه زندگیم و پروردگار را شکر می -  
کنم به خاطر تکمیل این پروژه و از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر وحید احمدی به خاطر کمک های مؤثرشان  
صمیمانه تشکر می کنم. نهایت ارادت خود را تقدیم می کنم به خانواده عزیزم که در طی انجام این پروژه همواره  
حامی من بودند. همچنین از تمامی دوستان عزیزی که در آزمایشگاه شبیه سازی قطعات و سیستم های  
اپتوالکترونیک مرا یاری دادند سپاسگزارم.

غلامحسین حقیقت

اسفند ۱۳۸۹

## چکیده

در این پایان نامه به تحلیل مشخصات لیزرهای تابنده از سطح با کاواک عمودی در بستر کریستال نوری می-پردازیم؛ لیزرهای تابنده از سطح با کاواک عمودی پیش از این نیز به علت ابعاد کوچک کاواک، فشردگی بیشتر و همچنین امکان آزمایش همزمان مورد توجه بسیاری قرار گرفته بودند. این لیزرها همواره در مقایسه با لیزرهای تابنده از لبه از مشکل وجود چند مود در خروجی و در نتیجه وجود پروفایل مودی ناهمدوس رنج می برده اند. همین امر باعث می شد استفاده از آنها در ارتباط نوری فضای آزاد، انتقال داده از طریق فیبر تک مود و حسگرها که تک مودی حائز اهمیت است با چالش مواجه شود. برای غلبه بر این مشکل چندین راه در ابتدا پیشنهاد شد که یکی از آنها ایجاد یک لایه اکسید در بالای ناحیه فعال برای محصور کردن جریان در مرکز ناحیه فعال و در نتیجه حذف مودهای اضافی بود ولی باز هم مشکلی وجود داشت و آن این بود که برای ایجاد تک مودی در خروجی می بایست روزنه اکسید کوچک انتخاب می شد. این شرایط منجر به توان خروجی کم می شد که قطعاً مطلوب نبود. به همین منظور تکنیکی ارائه شد که اساس کار این پایان نامه است و آن اینکه روزنه اکسید را به قدر کافی بزرگ انتخاب می کنیم اما برای حفظ تک مودی از ساختار کریستال نوری استفاده می کنیم. پیش از این نیز در فیبرها برای بوجود آوردن تک مودی از کریستال نوری استفاده شده بود.

برای تحلیل ساختاری که در بالا شرح داده شد از تکنیک تفاضل محدود استفاده شده است. معادلات نرخ حامل، دما و موج را به صورت خودسازگار و با استفاده از این تکنیک حل کرده ایم. در این روش عددی، مش بندی به صورت یکنواخت بوده است. از حل معادله موج شرایط را برای احراز تک مودی فراهم کرده ایم، برای نسبت قطر سوراخ به فاصله سوراخها کمتر از  $0/33$  در یک موجبر ساده و برای نسبت قطر سوراخ به فاصله سوراخها کمتر از  $0/38$  در لیزر کاواک عمودی مبتنی بر کریستال فوتونی به تک مودی رسیده ایم. سپس با علم به این شرایط، معادلات نرخ حامل و حرارت را به صورت کوپل با این معادله حل کرده ایم و پدیده SHB را در لیزرهای کاواک عمودی معمولی و لیزرهای کاواک عمودی مبتنی بر کریستال نوری بررسی کرده ایم. همچنین اثر افزایش دما و خود کانونی را بر روی ضریب شکست بررسی کرده ایم. وجود ساختار کریستال نوری باعث کاسته شدن از دمای ناحیه فعال می شود. با مقایسه توان خروجی این دو قطعه مشخص می کنیم که در حضور کریستال نوری توان خروجی به عنوان نمونه در جریان  $2/5$  میلی آمپر مقدار  $2$  میلی وات می باشد در حالی که در همین جریان در لیزر معمولی توان  $3$  میلی وات را دریافت خواهیم کرد.

**کلید واژه :** لیزر تابنده از سطح با کاواک عمودی، کریستال نوری، تک مودی و تکنیک تفاضل محدود



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست علایم و نشانه‌ها.....	ج
فهرست جدول‌ها.....	د
فهرست شکل‌ها.....	ه
<b>فصل ۱- مقدمه.....</b>	۱
۱-۱- تاریخچه و معرفی.....	۱
۱-۲- نقص در شبکه کریستال نوری.....	۶
۱-۳- کاواک کریستال فوتونی.....	۷
۱-۴- کریستال فوتونی در لیزرهای تابنده از سطح.....	۸
۱-۵- ساختار پایان نامه.....	۱۰
<b>فصل ۲- بررسی ساختار و معادلات حاکم بر PC VCSEL.....</b>	۱۱
۲-۱- مودهای نوری یک لیزر.....	۱۱
۲-۱-۱- تابش تک مودی.....	۱۲
۲-۲- بررسی ساختارهای محصور کنندگی در VCSEL.....	۱۳
۲-۲-۱- ساختارهای جزیره ای.....	۱۳
۲-۲-۲- لیزر با ساختار اکسیداسیون گزینشی.....	۱۴
۲-۲-۳- لیزر با ساختار کاشت یونی.....	۱۵
۲-۲-۴- ساختار مدفون غیر همجنس.....	۱۶
۲-۲-۵- ساختار PC-VCSEL در بستر VCSEL با روزنه اکسیدی.....	۱۷
۲-۳- پدیده های فیزیکی مؤثر بر عملکرد VCSEL.....	۲۱
۲-۳-۱- تنظیم نشدگی گین-کاواک.....	۲۱
۲-۳-۲- پدیده SHB.....	۲۲
۲-۳-۳- اثر خودکانونی.....	۲۲
۲-۳-۴- لنز حرارتی.....	۲۲
۲-۳-۵- غیر یکنواختی جریان تزریقی در مرز لایه فعال.....	۲۳
۲-۴- مشخصات کمی.....	۲۴
۲-۵- مدل نوری در VCSEL ها.....	۲۹

---

۳۲.....	مدل الکتریکی.....	۶-۲
۳۴.....	مدل حرارتی.....	۷-۲
۳۸.....	<b>فصل ۳- آنالیز و تحلیل عددی PC-VCSEL</b> .....	
۴۲.....	به کارگیری الگوریتم خودسازگار در حل معادلات.....	۱-۳
۴۵.....	<b>فصل ۴- نتایج شبیه سازی عددی PC-VCSEL</b> .....	
۴۵.....	نتایج شبیه سازی.....	۱-۴
۴۶.....	۱-۱-۴- ساختار موجبر پسیو.....	
	۲-۱-۴- تحلیل موده‌های نوری در کاواک و یکسل های هدایت شونده با ضریب شکست و هدایت شونده با گین.....	۴۸
۵۰.....	۳-۱-۴- مود نوری برای ساختار هدایت با ضریب شکست.....	
۵۳.....	۴-۱-۴- اثر لنز حرارتی بر روی موده‌های کاواک.....	
۶۳.....	<b>فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات</b> .....	
۶۳.....	نتیجه گیری.....	۱-۵
۶۴.....	پیشنهادات جهت ادامه کار.....	۲-۵
۶۵.....	<b>فهرست مراجع</b> .....	
۶۸.....	واژه نامه فارسی به انگلیسی.....	
۷۰.....	واژه نامه انگلیسی به فارسی.....	

---

---

## فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
ضریب نفوذ حامل	$D_n$
طول عمر حامل	$\tau_n$
فرکانس لیزر	$\nu$
ثابت انتشار	$\beta_z$
تراکم حامل در آستانه شفافیت	$N_{tr}$
ضریب تلفات	$\alpha$
بازده کوانتومی	$\eta$

---

---

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۴۴	جدول ۱-۳: پارامترهای بکاررفته در فرمولها.....

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: بازار جهانی فروش دیود های لیزری به همراه کاربردهای آن [۲].....	۱
شکل ۲-۱ : ساختار نمونه یک VCSEL (سمت چپ) و یک دیود لیزری با تابش از لبه (سمت راست) [۲]..	۴
شکل ۳-۱: شکل های نمادین از کریستال های فوتونی در یک، دو و سه بعد که ساختار تناوبی در آنها مشخص است [۸].....	۵
شکل ۴-۱: نمونه ای از کاواک کریستال نوری: (الف) کاواک تشکیل شده با برداشتن ۷ سوراخ، (ب) کاواک با سوراخهای جابجا شده، (ج) کاواک تشکیل شده توسط یک سوراخ برداشته شده و سطری از سوراخهای کوچکتر و (د) موجبر کاواک کوپل شده.....	۷
شکل ۵-۱: شکل شماتیک از فیلتر جدا کننده کانال کاواک – تشدیدی.....	۸
شکل ۶-۱: نمونه ای از فیبر کریستال فوتونی با الگوی مثلثی [۱۹].....	۹
شکل ۱-۲: طیف انعکاسی کاواک یک ویکسل، طول موج انعکاسی حدود ۹۰۰ نانومتر می باشد [۲۰].....	۱۱
شکل ۲-۲: (الف) مود غالب شبه گاوسی، (ب) مود عرضی مرتبه بالای لیزر [۱۴].....	۱۲
شکل ۳-۲: ساختار VCSEL جزیره ای با تابش از پایین [۲].....	۱۴
شکل ۴-۲: نمونه ای از ساختار اکسیداسیون گزینشی [۲].....	۱۵
شکل ۵-۲: نمونه ای از ساختار VCSEL با مکانیزم کاشت یونی [۲].....	۱۵
شکل ۶-۲: نمونه ای از ساختار مدفون غیر همجنس.....	۱۷
شکل ۷-۲: ساختار PC-VCSEL مورد مطالعه در این پایان نامه [۳۰].....	۱۸
شکل ۸-۲: ضریب وابستگی عمق سونش . بیشترین اثر کریستال فوتونی هنگامی ظاهر می شود که در سراسر قطعه سوراخهای منظم کریستال نوری داشته باشیم ( $\gamma = 1$ ) [۱۳].....	۱۹
شکل ۹-۲: ساختار موجبر کریستال نوری در بستر لیزر تابنده از سطح با کاواک عمودی. $d_n$ قطر سوراخ هوایی و $\Lambda$ فاصله مرکز تا مرکز می باشد [۳۰].....	۲۰

- شکل ۲-۱۰: نمایش موقعیت طول موج رزونانس کاواک در طیف بهره در سه حالت مختلف..... ۲۱
- شکل ۲-۱۱: روابط میان پدیده های مختلف در لیزرهای نیمه هادی [۲۱]..... ۲۸
- شکل ۲-۱۲: توزیع دمایی در VCSEL. رنگ نواحی از قرمز به آبی نمایشگر قسمت‌های داغتر تا قسمت‌های سردتر است. فلشها نمایش توزیع جریان است..... ۳۱
- شکل ۳-۱: الگوریتم حل خودسازگار معادلات..... ۴۳
- شکل ۴-۱: پروفایل ضریب شکست عرضی بر حسب شعاع لیزر..... ۴۶
- شکل ۴-۲: ضریب شکست مود بر حسب نسبت قطر سوراخ به فاصله سوراخها برای موجبر پسیو  
 $(\Delta n = 0)$ ..... ۴۷
- شکل ۴-۳: شکل شماتیک با معرفی اجزای VCSEL با ساختار کاشت یونی (سمت چپ)
- و VCSEL با ساختار اکسیداسیون گزینشی (سمت راست)..... ۴۸
- شکل ۴-۴: ضریب شکست مؤثر مود بر حسب نسبت قطر سوراخ به فاصله سوراخها برای ویکسل  
 هدایت شونده با گین با ساختار  $\Lambda = 2\mu m$  و  $r_a = 2\mu m$ ..... ۴۹
- شکل ۴-۵: ضریب شکست مؤثر مود در ویکسل هدایت شونده با گین ترکیب شده با موجبر  
 کریستال نوری تک مود در  $d_h / \Lambda = 0.33$  و  $\Lambda = 2\mu m$ ..... ۵۰
- شکل ۴-۶: پله ضریب شکست مؤثر بر حسب فاصله اکسید از DBR بالایی و قطر اکسید [۳۴]..... ۵۱
- شکل ۴-۷: قرار دادن لایه اکسید در موقعیتی که شدت میدان نوری حداقل باشد [۳۵]..... ۵۲
- شکل ۴-۸: ضریب شکست مؤثر مود در ویکسل هدایت شونده با ضریب شکست به صورت تابعی  
 از شعاع محدود کنندگی نوری..... ۵۳
- شکل ۴-۹: ضرایب مؤثر مود بر حسب پله ضریب شکست در  $r_a = 6\mu m$  ،  $d_h / \Lambda = 0.33$  و  
 $\Lambda = 2\mu m$ ..... ۵۴
- شکل ۴-۱۰: پروفایل تراکم حامل به ازای جریان های بالای آستانه و به ازای  $d_h / \Lambda = 0.33$ ..... ۵۶

---

شکل ۴-۱۱: منحنی چگالی حامل نسبت به شعاع ناحیه فعال در جریان های برابر..... ۵۶

شکل ۴-۱۲: توزیع شعاعی افزایش دما بر حسب درجه کلوین در جریان های برابر..... ۵۷

شکل ۴-۱۳: توزیع شعاعی افزایش دما در ناحیه فعال به ازای  $d_h / \Lambda = 0.33$ ..... ۵۹

شکل ۴-۱۴: منحنی شعاعی لنز حرارتی در جریانهای بالای آستانه به ازای  $d_h / \Lambda = 0.33$ ..... ۵۹

شکل ۴-۱۵: اثر خود کانونی در مقادیر مختلف جریان بر حسب شعاع ناحیه فعال..... ۶۰

شکل ۴-۱۶: مجموع اثر خود کانونی و لنز حرارتی که به صورت تغییرات ضریب شکست مدل

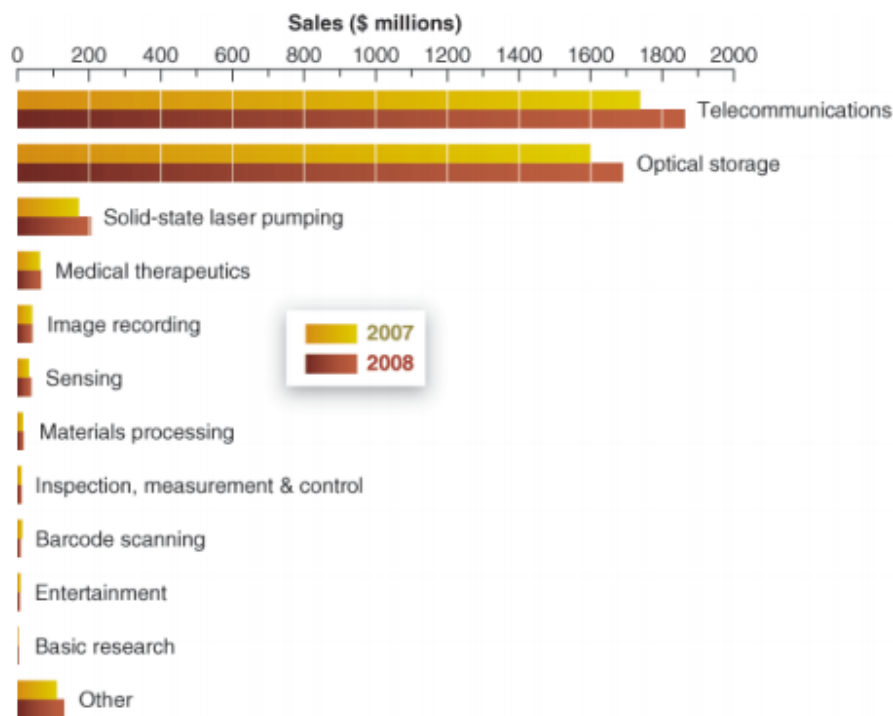
می شود ..... ۶۱

شکل ۴-۱۷: نمودار توان بر حسب جریان ..... ۶۲

## فصل ۱ - مقدمه

### ۱-۱ - تاریخچه و معرفی

لیزرهای تابنده از سطح با کاواک عمودی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۷ توسط پروفسور ایگا و دانشجویانش در موسسه تکنولوژی توکیو کشف شد [۱]. پس از دو دهه از کشف آن، ساخت آن در صنعت شروع شده است. کاربرد اولیه آن به عنوان منابع لیزر در فیبر نوری فاصله کوتاه مخابراتی می باشد. کاربردهای دیگر آن از جمله کاربردهای سنسوری، ماوس های نوری برای کامپیوترهای خانگی و اتصالات فضای آزاد می باشد. از شکل ۱-۱ می توان دریافت که دو عرصه مهم در بازار دیودهای لیزری، کاربردهای مخابراتی و انباره های نوری است.



شکل ۱-۱: بازار جهانی فروش دیودهای لیزری به همراه کاربردهای آن [۲]

<sup>۱</sup> - Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL)



---

در بازار جهانی لیزر که با لیزرهای نیمه هادی اشغال شده است، اغلب آنها تابنده از لبه می باشند. اما پیشرفت ویکسل ها بسیار سریع بوده زیرا آنها مزایای زیادی از خود بروز داده اند و در مواردی استفاده شده اند که لیزرهای تابنده از لبه به راحتی به آن دست نیافته اند. این خواص ویژه عبارتند از :

- **تابش از سطح:** ویکسل ها از سطحشان نور را می تابانند که عمود بر لایه های اپیتاکسی می باشد. این امر آنها را برای استفاده در آرایه های دو بعدی با پکیج فشرده متناسب می کند. به علاوه تابش سطحی به آنها این امکان را می دهد که با ادوات نوری دیگر کوپل شوند به خصوص با موجبرهای فیبری و میکرولنزها.
- **بیم دایروی:** بر خلاف لیزرهای تابنده از لبه، بیم خروجی تابنده از ویکسل دارای شکل گاوسین دایروی است. بنابراین خیلی واگرا نیست. این امر باعث می شود تا نور برای رسیدن به فیبر نوری بدون نیاز به لنز نوری پیچیده مشکلی نداشته باشد.
- **جریان آستانه کم:** ناحیه فعال کوچک در ویکسل ها امکان وجود جریان آستانه کوچک را می دهد. این خاصیت به خصوص در ادوات کم توان و نور سریع اهمیت دارد زیرا در آنجا آستانه کم به معنی تاخیر روشن شدن کم و مصرف توان کم است. از سوی دیگر توانهای حداکثری که توسط ویکسل تابیده می شود به طور کلی کمتر از لیزرهای با تابش از لبه است. به هر حال ویکسل های با محیط وسیع می تواند توان زیادی تولید کند اگر چه در محدوده چند مود.
- **رشد اپیتاکسی صفحه های آینه ای :** DBR ها می توانند مانند تمام ادوات بر روی ویفر رشد اپیتاکسی داشته باشند. اگر چه در ابتدا این کار نسبت به لیزرهای تابنده از لبه بسیار پیچیده تر بود اما چندین مزیت داشت. هنگامی که تکنولوژی به خوبی پیشرفته شد دیگر نیازی به بریدن صفحه ها نبود. علاوه بر این به خاطر کاواک بسیار کوچک و ساختار متناوب آینه ها یک طول موج تکی

---

انتخاب می شود. اگر چه اثرات مشابهی را می توان توسط تابنده ها از لبه با فیدبک گسترده دریافت کرد، ساخت شبکه لازم برای این امر پیچیدگی پردازش را به طور قابل توجهی افزایش می دهد [۳].

VCSEL شامل یک منطقه فعال حاوی ۳ تا ۵ چاه کوانتومی از جنس GaAs است که بین آینه های بازتابنده براگ<sup>۲</sup> که به صورت ساختار اپیتاکسی بر روی زیرلایه ویفر (معمولاً GaAs) رشد داده می شود قرار دارد. مرسوم ترین نوع VCSEL دارای طول موج ۸۵۰ نانومتر می باشد که شامل زیرلایه GaAs و DBR از جنس AlGaAs است که هر پرپود DBR دارای آلیاژهای متناوبی از آلومینیوم و گالیوم می باشد. تعداد متداول دوره تناوب DBR ۲۵ و ۳۵/۵ به ترتیب برای آینه های بالا و پایین می باشد. ماده تشکیل دهنده هر جفت لایه DBR یکی به صورت نوع p و دیگری به صورت نوع n دوپ می شود؛ کنتاکت های اهمی برای تزریق جریان تعبیه شده اند.

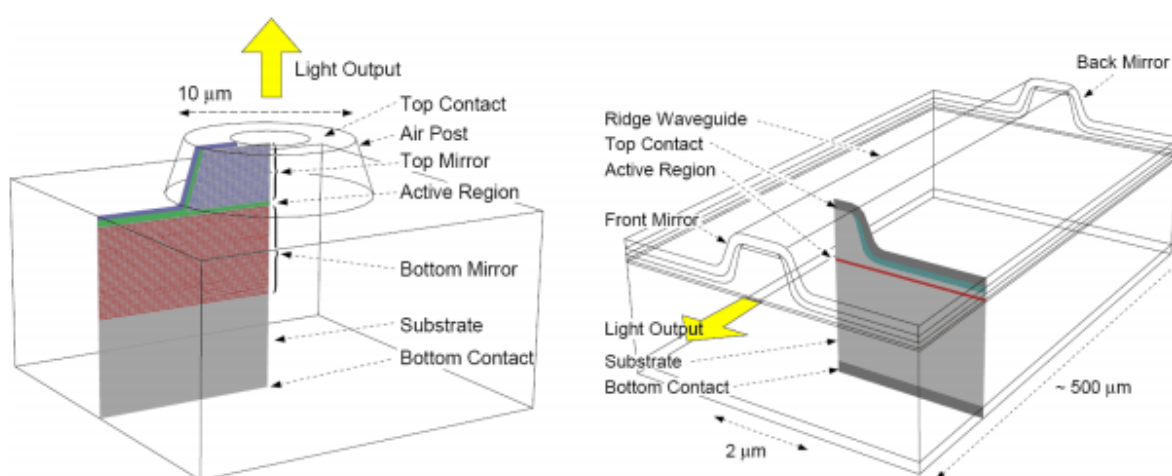
تحقیق در مورد VCSEL ها به سرعت در حال انجام است، هدف اصلی کاهش جریان آستانه و عملکرد تک مود جانبی است. به توجه به اینکه نیاز پیوسته ای به بهبود عملکرد لیزر در مخابرات فیبر نوری وجود دارد، روشهای جدیدی برای بهبود مشخصه های VCSEL ضروری به نظر می رسد. ساختارهای کریستال نوری که شرح داده خواهد شد دارای پتانسیل لازم برای بهبود برخی خواص VCSEL می باشند و حتی ساختار جدیدی از VCSEL را می سازد.

VCSEL ها نمونه ای از ادوات نوری هستند که پیش از این از نوع ویژه ای از کریستال نوری استفاده می - کرد: آینه های DBR در VCSEL که از دو نوع مختلف ماده دی الکتریک یا نیمه هادی به صورت لایه های متناوب استفاده می کند نمونه ای از ساختار کریستال نوری یک بعدی است. آینه های DBR برای محصور کنندگی طولی در VCSEL استفاده می شود. VCSEL ها از طریق اکسیداسیون لایه های اپیتاکسی و یا کاشت یونی به محصور شدگی جانبی میدان نوری و محصور شدگی جریان دست می یابند. حامل ها از طریق لایه های

---

<sup>2</sup>-Distributed Bragg Reflector(DBR)

دوپ شده در DBR ها تزریق می شوند تا در چاه های کوانتومی منطقه فعال بازترکیب شوند. این پیکربندی امکان رسیدن به تک مودی تحت شرایط معینی را می دهد. VCSEL ها پیش از این به خاطر حجم کوچک منطقه فعال نسبت به آینه های تابش از لبه دارای جریان آستانه کمتری بوده اند. در راستای جانبی، محدود شدگی ضریب شکست با افزودن روزنه اکسید بدست می آید [۳] در شکل ۱-۲ شماتیکی از یک VCSEL و یک لیزر تابش از لبه را نشان داده ایم.



شکل ۱-۲: ساختار نمونه یک VCSEL (سمت چپ) و یک دیود

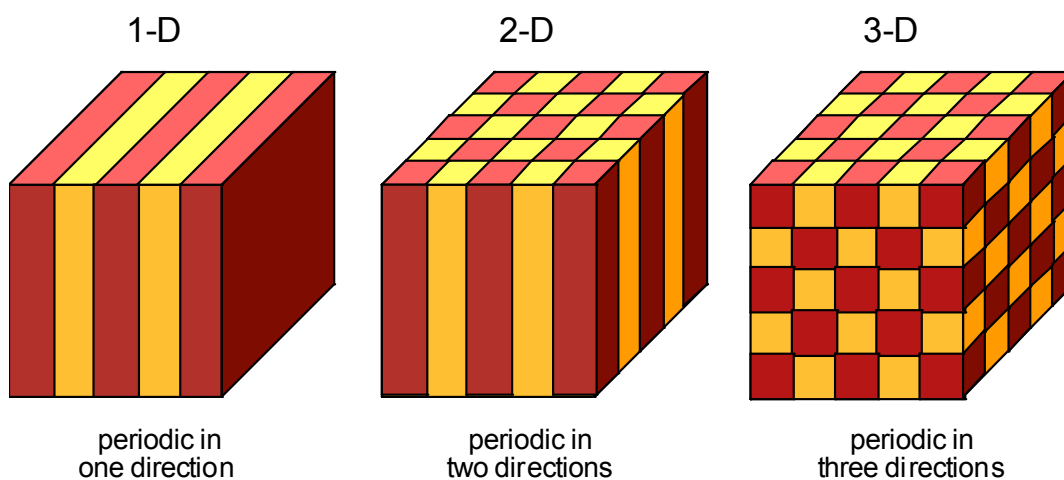
### لیزری با تابش از لبه (سمت راست) [۲]

عملکرد VCSEL در حالت تک مود جانبی برای اتصالات نوری فضای آزاد، انتقال داده از طریق فیبر تک مود و طیف نگاری مدولاسیون دارای اهمیت است. روشهای دیگری که برای رسیدن به عملکرد تک مود در VCSEL انجام شده اند همواره با روزنه های اکسید کوچک، روند پیچیده ی ساخت یا تلف نوری اضافی چالش داشته اند. اما VCSEL مبتنی بر کریستال فوتونی می تواند عملکرد تک مود با توان بالا را حاصل کند و پروسه ساخت آسانی دارد و روزنه اکسید را نیز می توان بزرگ انتخاب کرد.

کریستال های نوری در سال ۱۹۸۷ توسط یابلونوویچ کشف شد [۴]. او نشان داد که تابش خود به خودی می تواند کاملاً در باند گپ الکترومغناطیسی حذف شود، این باندگپ با ساختار دی الکتریک تعیین می شود.

یک باند گپ نوری مربوط است به گستره ای از فرکانس های تابشی الکترومغناطیسی که در آن انتشار از طریق کریستال در هر جهت ممنوع می شود. در تجربه اول ساختار سه بعدی مکعبی مرکز وجهی<sup>۳</sup> وجود باند گپ در فرکانس های میکروویو را تایید می کرد [۵]. علاوه بر این کریستال های دو بعدی برای ایجاد باندگپ در راستای جانبی کشف شده اند. از آنجا که ساختارهای دو بعدی از نظر پروسه ساخت ساده هستند (لیتوگرافی)، بسیاری از ادوات نوری از این کریستال ها استفاده کرده اند. [۶]

نمونه ای از ساختار کریستال فوتونی یک، دو و سه بعدی در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. از روی شکل می توان دریافت که تناوب در ساختار های فوق الذکر به ترتیب در یک، دو و سه راستا وجود دارد.



شکل ۱-۳: شکل های نمادین از کریستال های فوتونی در یک، دو و سه بعد که ساختار تناوبی در آنها مشخص است. [۸]

محدود کنندگی کریستال نوری در غالب VCSEL روشی است برای کنترل تغییرات جانبی ضریب شکست در کاواک VCSEL از طریق افزودن سوراخ های کوچک به آن. این ایده با الهام از فیبرهای کریستال فوتونی دنبال شد که در آنها سوراخ ها که منطقه هسته مرکزی را احاطه کرده بود موازی با راستای انتشار بود و منجر به عملکرد تک مود مستقل از فرکانس کاری می شد [۷]. سوراخها طوری قرار می گرفتند که الگوی کریستال

<sup>3</sup> -face-centered-cubic(fcc)