



دانستنیهای لیزر

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

آرایه‌های دیودی مولدهای فشرده نور^۱

خلاصه

آرایه‌های لیزر دیود که دارای چگالی توان بالا، بازده بالا و طول عمر طولانی هستند، منابع حیاتی نور برای فرآوری مواد، دمش لیزرها و دیگر کاربردها به حساب می‌آیند.

آرایه‌های لیزر دیود پرتوان که از استک‌سازی لیزر دیودهای تک نوار^۲ یا چندنواری^۳ یا در برخی موارد لیزرهای تابش از سطح (VCSELs) ایجاد می‌شوند، قادر هستند توان‌های نوری از وات تا کیلووات برای کاربردهایی از قبیل دمش لیزر، گرمایش صنعتی، پرتوافکنی و یا تزویج به فیبر در افزاره‌های کاربرد مستقیم دیود (در فرآوری مواد و یا پزشکی) فراهم کنند.

لیزر دیودها اغلب بازده تبدیل توان الکتریکی به توان نوری بالاتری از دیگر انواع لیزرها دارند. در حقیقت این نوع لیزرها تقریباً کارآمدترین منابع نوری شناخته شده هستند. اشکال آرایه‌های لیزر دیود در کیفیت باریکه نسبتاً پایین آن است و امید چندانی نیست که در آینده نزدیک منابع لیزر دیود تک مد در سطح کیلووات قابل دستیابی باشد. با این وجود کاربردهای بسیاری وجود دارد که نیازی به باریکه تک مد ندارند، علاوه بر این سازندگان لیزر به طور مستمر تکنیک‌های ترکیب باریکه را پالایش نموده تا منابع لیزر دیود پرتوان درخشان‌تر تولید کنند.

کلمات کلیدی: لیزر دیود پرتوان، کاربرد لیزر دیودها، آرایه‌های لیزر دیود.

¹ Diode arrays are compact, high-power light dynamos

² Individual strip laser

³ Multi strip laser



دانستنیهای لیزر

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

از وات تا کیلووات

به گفته استیو پترسون مدیرکل شرکت DILAS (واحد توسکان، آریزونا) لیزر دیود پرتوان عمدتاً به ساختارهایی بر پایه بار یا تابشگر منفرد اطلاق می‌شود. حقیقت امر این است که این لیزرها، زنجیره‌ای را تشکیل می‌دهند که با تابشگرهای منفرد از یک سمت آغاز و به بارها (که عمدتاً یک سانتیمتر یا کمتر پهنا داشته و از چندین تابشگر بر روی یک قطعه نیمه‌هادی تشکیل شده است) در سمت دیگر ختم می‌شوند. لیزر دیودها سپس بر روی گونه‌های متفاوت هیت سینک نصب می‌شوند، انتخاب این هیت سینک‌ها وابسته به شرایط کاری و ساختار نهایی است که لیزر دیود بار باید در آن قرار گیرد.

شرکت DILAS در زمینه توان خروجی، لیزر بارهایی از چند وات تا صدها وات به ازای هر بار تولید می‌کند. دامنه طول موج تحت پوشش لیزرهای این شرکت از ۶۳۵ nm (قرمز مرئی) تا بزرگتر از ۲۳۰۰ nm و فراتر از آن بوده که در بعضی موارد بازده تبدیلی به بیش از ۷۰٪ می‌رسد. بارهای نصب شده بر روی چاهک گرمایی را در مرحله بعد می‌توان به صورت آرایه‌ای از بارها مونتاژ کرد و توان کل خروجی را در حدود کیلووات خواه به صورت باریکه لیزر آزاد و خواه به صورت تزویج شده به فیبر نوری به دست آورد. با چنین قابلیت‌هایی پترسون خاطرنشان می‌سازد: کلیه بازارهای سنتی دمش لیزرهای حالت جامد و لیزرهای فیبری، کاربردهای مستقیم لیزر دیودها در پزشکی مانند بیماری‌های پوستی، نوردرمانی، فرآوری‌های صنعتی مواد از قبیل لایه‌نشانی لمینت که بازارهایی در صنعت سینما ایجاد نموده و افزایش پیشرفت در تصویربرداری‌های پزشکی با این فن‌آوری‌ها قابل دستیابی است.

همچنین خاطرنشان می‌سازد که در سال‌های اخیر پیشرفت‌های خوبی در زمینه‌های گوناگون به دست آمده است: برای مثال بالارفتن توان خروجی لیزرهای مرئی قرمز و آبی برای کاربردهایی در صنعت سینما و درمان فوتودینامیک؛ ساخت سیستم‌های تزویج شده به فیبر با سطوح توانی ۱۰ kW در دامنه‌های طول موجی ۸۰۰ nm تا ۱۰۰۰ nm عمدتاً برای کاربردهایی در زمینه فرآوری مواد از قبیل جوشکاری؛ و واحدی توسعه یافته برای تسهیل تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI).

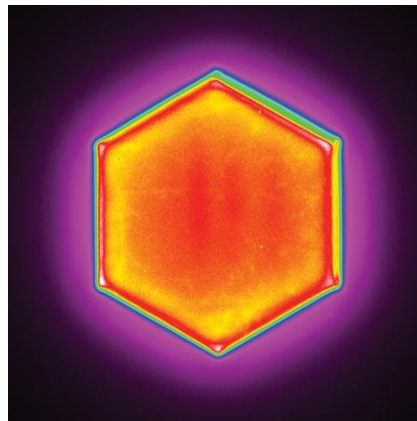


دانستنیهای لیزر

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

به گفته پترسون کلیه جنبه‌های فن‌آوری لیزر دیود در این مرکز به چالش کشیده شده است. این چالش‌ها شامل توسعه اساس طراحی ساختار روشنی و یغره‌های لیزر دیود، توسعه توری‌های براگ حجیم^۱ که پهنای طیفی لیزر دیودها را در دامنه‌ای که برای کاربردهای خاص مورد نیاز است باریک می‌کنند، ساختارهای مونتاژی سفارشی که امکان کوک خط طیف^۲ تابش شده از ماژول را فراهم می‌کنند و ساختار اپتیکی سفارشی که به باریکه خروجی با دقت لازم شکلی را می‌دهد که مورد نیاز کاربرد مورد نظر است.

پترسون همچنین دورنمایی از ماژول MRI ارائه نمود (شکل ۱)، بر طبق توضیحات، این ماژول امکان ابرقطبش ایزوتوپ‌های خاصی از زنون را طی فرایندی که تعویض اسپین با دمش نوری نامیده می‌شود، فراهم می‌کند؛ طول موج دقیق و از لحاظ طیفی به شدت نازک شده نور لیزر قطبیده مدور ناشی از ماژول، الکترون‌های روبیدیوم را در داخل سلول گاز برانگیخته می‌کند. به کارگیری گاز ابرقطبیده در MRI امکان مشاهده فرایندهای زیستی را در بدن فراهم می‌کند که به روش‌های دیگر قابل مشاهده نیستند (مانند فرایندهای عملکرد ریه‌ها و فشار خون بالای در مغز). این ماژول توان ۲۰۰ W را به صورت نوری مدور قطبیده در طول موج ۷۹۴/۷ nm با پهنای طیفی کمتر از ۰/۳ nm تابش می‌کند؛ باریکه منفرد با اغماض ۱۰۰٪ بازتاب دارد.



شکل ۱- باریکه خروجی از آرایه لیزر دیود ۲۰۰ W ساخته شده توسط DALSA که جهت تقویت تصویربرداری MRI استفاده شده است دارای باریکه‌ای شش ضلعی و اندازه باریکه حدود ۶۳ mm است. (Courtesy of DILAS)

¹ Volume Bragg gratings

² Spectral line



دانستنیهای لیزر

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

دیودهای مستقیم (کاربرد مستقیم لیزر دیودها)

به گفته تریسی ریبا مدیر تولید لیزرها در مرکز فن‌آوری لیزر TRUMPF (پلیموث، میشیگان): با وجود اینکه بارهای لیزر دیود به صورت گسترده به عنوان منابع دمش لیزر استفاده می‌شوند، با استفاده از تکنیک‌های صحیح اپتیکی، می‌توان نور خروجی از گونه‌های مشابه دیود را به فیبرهای نوری تزویج کرد و لیزر دیود مستقیم پرتوان ساخت. برای مثال ساختار بار دیود استفاده شده توسط TRUMPF جهت دمش لیزرهای دیسک این مرکز منبع سیستم‌های دیودی مستقیم سطح کیلووات این شرکت نیز هستند.

تکنیک‌های اپتیکی برای ترکیب خروجی لیزر دیودها به منظور تقویت توان، همراه با حفظ درخشندگی شامل ترکیب فضایی و طیفی باریکه است. اگرچه جزئیات استخراج شده از طراحی‌های دقیق اپتیکی و آنچه تمامی این تفاوت‌ها را در درخشندگی باریکه نهایی ایجاد می‌کنند اغلب اختصاصی هستند.

براساس توضیحات ریبا، بارهای لیزر دیود در سیستم‌های دیودی مستقیم شرکت TRUMPF بر روی هیت سینک‌هایی که به صورت غیرفعال خنک می‌شوند نصب شده است، بدین ترتیب نیاز به حجم بالایی از آب DI و همچنین خرابی میکروکانال‌ها حذف شده است (شکل ۲). در لیزر دیود مستقیم تزویج شده به فیبر از ترکیب طول موجی یک، دو یا سه طول موج بسته به توان لیزر و طول موج‌های متغیر ۹۲۰ nm تا ۱۰۲۰ nm استفاده شده است. حاصلضرب پارامتری باریکه (BPP) لیزر دیودهای مستقیم ۱۵۰W و ۳۰۰W این شرکت ۸ mm-mrad است، در حالی که BPP لیزرهای ۶۰۰ و ۹۰۰ وات آن ۱۲ mm-mrad است. همچنین در لیزرهای پرتوان ۲۰۰۰ تا ۴۵۰۰ وات ۳۰ mm-mrad و توان‌های بالاتر ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ وات ۵۰ mm-mrad است.



دانستنیهای لیزر

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران



شکل ۲- در این منبع نوری مستقیم دیودی ساخته شده توسط کمپانی TRUMPF که برای فرآوری مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد، نور حاصل از بارهای لیزر دیود پرتوان به صورت اپتیکی ترکیب شده و به داخل فیبرهای نوری (زرد رنگ) تزریق می‌شوند. محصول نهایی به صورت یک دستگاه لیزر ۶۰۰۰ W در تصویر سمت راست نشان داده شده است. (Courtesy of TRUMPF)

به گفته تریسی ریبا: لیزرهایی با دامنه توانی ۱۵۰ تا ۳۰۰ وات اغلب برای مقاصد جوش پلاستیک، لحیم‌کاری و کاربری‌های جوش توان پایین استفاده می‌شوند. توان‌های بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ وات برای جوش ورق‌های نازک فلزی و همچنین برش‌هایی در حجم کم ایده‌آل هستند. مدل‌های ۳۰ mm-mrad برای نفوذ عمیق و جوش رسانش حرارتی، عملیات حرارتی و لایه‌نشانی لیزری فلزات استفاده می‌شود در حالیکه ۵۰ mm-mrad نوعاً در جوش سخت، عملیات حرارتی و لایه‌نشانی لیزری فلزات استفاده می‌شود.

طول‌موج‌هایی در گستره طول موجی ۹xx nm اندکی کوتاهتر از لیزرهای سنتی ۱ μm از قبیل دیسک، فیبر و Nd:YAG است. این طول موج کوتاهتر امکان جذب بیشتر در مواد دارای بازتابندگی بالا از قبیل مس، برنج و آلومینیوم را فراهم می‌کند. به گفته تریسی ریبا علاوه بر این، نسخه‌های دارای کیفیت باریکه پایین‌تر به دلیل واگرایی بالا و توزیع مدی عمدتاً سرتخت^۱ برای جوش سخت و عملیات سطحی ایده‌آل هستند، این در حالی است که در صورت استفاده از باریکه‌های با کیفیت لیزرهایی از قبیل دیسک یا فیبر برای دستیابی به اثری مشابه آنچه توسط لیزرهای دیودی روی قطعه کار به دست می‌آید، نیاز به سیستم انتقال باریکه نسبتاً پیچیده و دارای فاصله کانونی بزرگ است.

^۱ Flat-top



دانستنیهای لیزر

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

جایگزین کردن فرایندهای سنتی

ویژگی‌های لیزرهای دیودی پرتوان می‌تواند منجر به انتقال آنها به نواحی مشخصی از فرآوری مواد شود، به گفته فرانک گبلر مدیر بازاریابی Coherent (سانتا کلارا، کالیفرنیا): کاربردهای اصلی مستقیم، تغییر مشخصه‌های سطح قطعات بزرگ فلزی از طریق عملیات حرارتی است (به صورت تاریخی به این عملیات سخت‌کاری گفته می‌شود).

شرکت Coherent، لیزر دیودها و آرایه‌های لیزر دیود را در گستره وسیعی از سطوح توانی در قالب تابشگر منفرد، بارهای خطی (تزیج شده به فیبر یا باریکه آزاد) و حتی آرایه‌های دوبعدی بارها، تولید می‌کند. قویترین سیستم ساخت این کمپانی، توان خروجی ۱۰ kW را در طول موج ۹۷۵ nm تولید می‌کند؛ در داخل این سیستم پنج‌آرایه‌بار لیزر دیود وجود دارد که هر کدام ۲ kW توان با اطمینان از ده‌ها هزار ساعت عملکرد، فارغ از هر نوع پشتیبانی برای این توان یا حتی بالاتر، تولید می‌کنند.

خروجی فضای آزاد سیستم لیزر به گونه‌ای پیکربندی شده است که به منظور فرآوری سریع نواحی بزرگ با کنترل بالا بر پارامترهای فرایندی، قادر به تولید متنوع شکل‌های تعویض‌پذیر باریکه باشد (با پهنای ۱ تا ۱۲ میلیمتر و طول ۶ تا ۳۶ میلیمتر).

به گفته گبلر: این محصول برای کاربردهای پوشش‌دهی نواحی وسیع و به منظور ایجاد لایه‌ای که به صورت متالورژیک به سطح فلز (اغلب نوعی از استیل شکل ۳) پیوند می‌خورد هدف‌گذاری شده است. این فرایند به منظور تغییر مشخصه‌های سطح (برای اصلاح مشخصه‌های پوشش‌دهی یا مقاومت بالا در برابر خوردگی) بدون اینکه مشخصه‌های مورد نظر در حجم قطعه تغییر کند (مشخصه‌های از قبیل مقاومت کششی یا سختی) صورت می‌گیرد. پوشش‌دهی همچنین به منظور جلا و بازسازی قطعات فرسوده نیز انجام می‌شود.

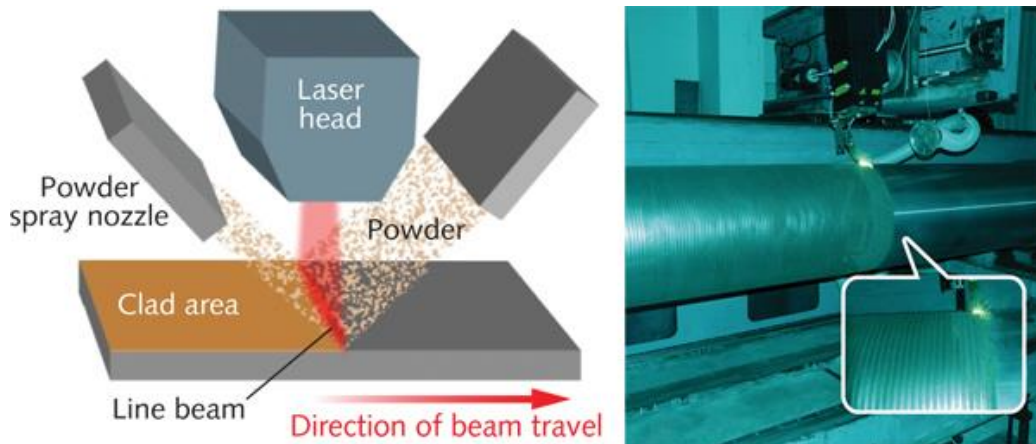
او همچنین می‌افزاید، به صورت سنتی قطعات بزرگ توسط افشانه‌های حرارتی پوشش‌دهی می‌شوند (برای مثال افشانه سرعت بالای اکسیژن و سوخت (HVOF)) یا قوس انتقال پلاسما (PTA) یا روش‌های کمتر مرسوم دیگر مانند الکتروپلیتینگ. افشاندن حرارتی، فرایندی سریع و نسبتاً ارزان است که در آن پودر فلز ذوب و سپس بر روی سطح افشانه شده و سپس سخت می‌شود. مشکل در اینجاست که این نوع لایه‌نشانی به صورت متالورژیک

در پیوند با سطح نیست و در نتیجه مقاومت پوشش‌دهی بلند مدت آن را محدود می‌سازد، علاوه بر این پوشش نهایی سطوح متنوعی از تخلخل داشته که می‌تواند مقاومت قطعه در مقابل خوردگی را به خطر اندازد.

در مقابل راهکار لیزر دیود نه تنها پودر را ذوب می‌کند، لایه بسیار نازکی از سطح خارجی زیرلایه را نیز ذوب می‌کند که در نتیجه، لایه‌ای کاملاً پیوند خورده و با تخلخل پایین ایجاد می‌شود.

به گفته گبلر: شرکت فن‌آوری لیزر Giantree (شانگهای، چین) یکی از پیشگامان کاربردهای پوشش‌دهی لیزری در چین است و تجربیات عظیم دسته اولی در زمینه پوشش‌دهی لیزری، لایه نشانی به روش افشانه حرارتی، ماشینکاری و سوراخکاری و فوت و فن مواد و آلیاژها دارد.

شرکت Giantree در حال حاضر دو سیستم پوشش‌دهی لیزری بر پایه لیزر دیود مستقیم در اختیار دارد که یکی از آنها لیزر ۱۰ kW شرکت Coherent است. کاربران خدمات Giantree در صنایع سنگین گوناگونی مشغول هستند، صنایعی از قبیل مراکز پتروشیمی و معادن زغال‌سنگ. نمونه‌ای از این قطعات گران‌قیمت که به پوشش‌دهی نیاز دارند نگهدارنده‌های هیدرولیک سقف تونل‌ها و مجاری معادن است که از فروریختن سقف جلوگیری می‌کنند (شکل ۳). شرکت Giantree سیلندرها و پیستون‌های نگهدارنده‌های سقف را با موادی از قبیل استیل ضدزنگ برای مقاومت بیشتر در مقابل خوردگی پوشش‌دهی می‌کند.



شکل ۳- مدل هندسی فرآوری برای پوشش‌دهی پودری توسط لیزر دیودهای پرتوان (سمت چپ). پوشش‌دهی سیلندرها و نگهدارنده‌های سقف توسط Giantree (سمت راست) که توسط سیستم لیزر دیود مستقیم پرتوان شرکت Coherent که ۱۰ kW توان در طول موج مادون‌قرمز نزدیک تولید می‌کند. (Above, courtesy of Coherent; right, courtesy of Giantree)



دانستنیهای لیزر

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

تا همین اواخر آبکاری انتخاب اول Giantree برای پوشش‌دهی این نگهدارنده‌ها بود. بنا به گفته کنت لیاوو مدیر Giantree: به سادگی مشخص شده است که پوشش‌دهی لیزری مقاومت بهتری در مقابل خوردگی ایجاد می‌کند و در نتیجه سبب عمر طولانی‌تر این نگهدارنده‌ها می‌شود زیرا این روش، پوششی با چگالی بالا ایجاد می‌کند در صورتی که آبکاری قادر به این کار نبود.

آرایه‌های VCSEL برای تصویربرداری و تشخیص حرکت

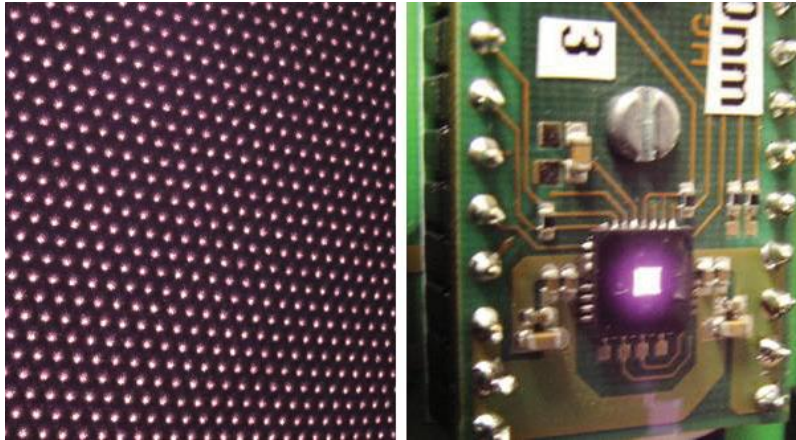
آرایه‌های لیزر دیود تنها به صورت دیودهای تابش از لبه نیستند. برای مثال شرکت Princeton Optronics (مرزویل، نیوجرسی) آرایه‌هایی از لیزرهای کاواک عمودی تابش از سطح (VCSELs) برای پرتوافکنی و دیگر کاربری‌ها می‌سازد.

به گفته چونی گاش مدیرعامل این شرکت یکی از پرحجم‌ترین کاربردهای لیزر دیودها تصویربرداری سه‌بعدی و تشخیص حرکت از طریق کامپیوترها، تبلت‌ها و گوشی‌های تلفن همراه است. پروژه‌هایی مانند پروژه تانگوی گوگل و ریل سنس اینتل، فن‌آوری‌های پایه هستند که باید توسط تولیدکنندگان برای تولید در آینده نزدیک تطبیق داده شوند. آرایه‌های VCSEL برای چنین کاربردهایی بسیار مناسب هستند.

تشخیص عمق به سه روش انجام می‌شود نور ساختار داده شده^۱، زمان پرواز^۲ و راهکارهای استریوسکوپیک. به گفته گاش آرایه‌های VCSEL در مقایسه با دیگر فن‌آوری‌ها در هر سه زمینه دارای برتری‌هایی هستند. این برتری از قابلیت نصب این افزاره بر روی سطح (در مقایسه با ساختار مونتاژی TO-can لیزرهای تابش از لبه) ناشی می‌شود که سبب می‌شود ارتفاع افزاره بسیار کوتاه شود. وی می‌افزاید برای پرتوافکن کامل دارای لنز پرتوافکنی، ارتفاع ۳ mm یا کمتر نیاز است.

¹ Structured light

² Time of flight



شکل ۴- پروژه پرتوافکن بر پایه VCSEL آرایه‌ای از نقاط برای ثبت داده‌های عمق در تشخیص سه بعدی (سمت چپ). یک آرایه VCSEL با توان ۸ W تنها مربعی با ضلع ۱/۵ mm است (سمت راست). (Courtesy of Princeton Optronics)

آرایه‌های VCSEL ساخته شده توسط Princeton Optronics در دمای 60°C بازده بالای ۴۰٪ داشته و اطمینان‌پذیری (متوسط زمان تخریب، MTTF) بیش از ۱۰۰ سال برای کارکرد در دمای 70°C دارند؛ این ارقام با فرایندهای اختصاصی ابداعی در این شرکت به دست آمده است.

گاش توضیح می‌دهد که در کاربردهای نور ساختار داده شده، الگویی از نقاط بر روی شی مورد نظر افکنده شده (شکل ۴) و با استفاده از دوربین؛ عمق از روی توزیع و شکل نقاط تخمین زده می‌شود.

برای اندازه‌گیری زمان پرواز، نیاز به زمان خیزش و سقوط بسیار سریع وجود دارد، آرایه‌های VCSEL زمان خیزش و سقوط بسیار سریعی دارند عمدتاً کمتر از ۳۰۰ ps و خیزش و سقوط کمتر از ۱۰۰ ps توسط ساختارهای نصب با القایدگی پایین قابل دستیابی است.

به گفته گاش: فن‌آوری توسعه یافته در Princeton Optronics بر پایه اعتبارات و سرمایه‌گذاری‌های آژانس پروژه‌های تحقیقاتی پیشرفته وزارت دفاع آمریکا (DARPA) و دیگر آژانس‌های تحقیقاتی بوده است. ما در اینجا تراشه‌های VCSEL را به سطوح توانی بالا در حدود کیلووات از آرایه‌ای $5 \times 5 \text{ mm}^2$ و بازده بیش از ۵۵٪ توسعه دادیم. او همچنین خاطرنشان می‌سازد این فن‌آوری برای ساخت انواع مختلف محصولات در حوزه کاربردی تصویربرداری سه بعدی استفاده شده است.



دانستیهای لیزر

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

نمونه‌ای از این محصولات آرایه VCSEL با توان ۸ W است که برای کاربردهای زمان پروازی و همینطور نورساختاریافته به کار رفته است. تراشه لیزر دارای اندازه $1/5 \times 1/5 \text{ mm}^2$ دارای تعداد زیادی افزاره‌های VCSEL بوده و بر روی زیرلایه سرامیکی قابل نصب روی سطح نصب شده است. این افزاره کاربردهای وسیعی در کامپیوترها، تبلت‌ها و تلفن‌های همراه یافته است.

مرجع:

<http://www.laserfocusworld.com/content/lfw/en/authors/john-wallace.html>