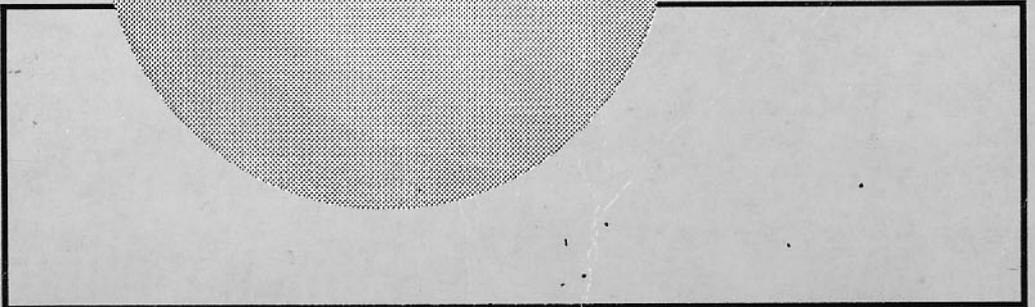
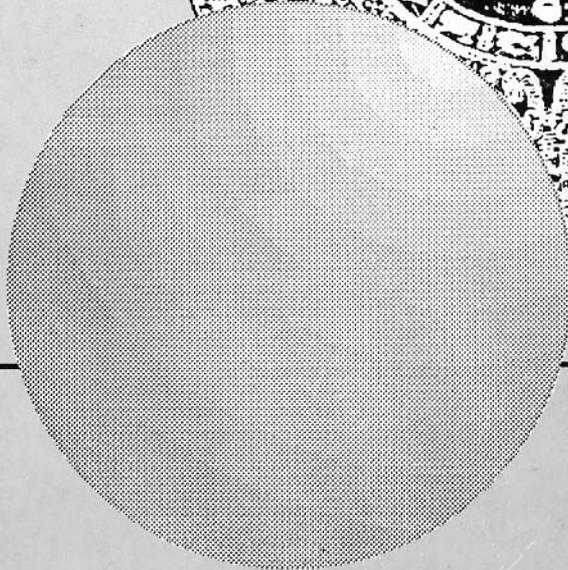
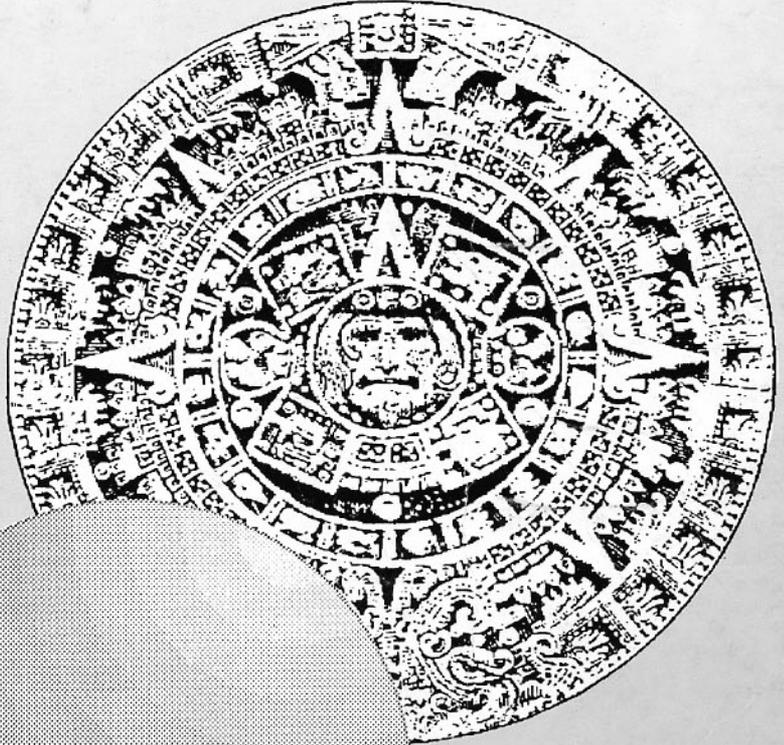


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/JUNIO 1992 VOLUMEN 2 No. 1

620
In



INGENIERIA

1992

INGENIERIA

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica

Volumen 2 Enero-junio 1992 Número 1

DIRECTOR

Rodolfo Herrera J.

EDITOR

Victor Herrera C.

CONSEJO EDITORIAL

Víctor Hugo Chacón P.

Ismael Mazón G.

Domingo Riggioni C.

CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial de la Universidad de Costa Rica

Apartado Postal 75

2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

CANJES

Universidad de Costa Rica

Sistemas de Bibliotecas, Documentación e información

Unidad de Selección y Adquisiciones-CANJE

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

Suscripción anual:

Costa Rica: ₡500,00

Otros países: US \$20,00

Número suelto:

Costa Rica: ₡250,00

Otros países: US \$10,00



DIODOS LASER DE ALTA POTENCIA

*Ing. Luis Diego Marín Naranjo M.Sc.**

Summary

Semiconductor-LASER technology has become specialized. Early diode LASERS were made for general-purpose use and packaged in metal housing similar to standard transistor cases. Some general-purpose diode LASERS are still made, but most are built and packaged with specific applications in mind. Many different semiconductor LASER structures have been designed and fabricated in recent years in attempts at further increasing optical output power. Several groups have reported development of LASER arrays capable of producing hundreds of milliwatts of power (1,2). In fact, most current research in the area of high power injection LASERS appears to be directed toward LASER arrays. In this paper we will briefly review basic types of injection LASER structures and discuss principles of high power operation. Emphasis will be placed on the development of wide stripe semiconductor LASERS as an alternative to phased-array emitters in providing high continuous-wave optical power. Finally, I will report on 100 μm GRIN-SCH wide stripe injection LASERS which have recently been fabricated at The Center for High Technology Materials - University of New Mexico, in Albuquerque, New Mexico, where I studied and did research.

Resumen

La tecnología del LASER Semiconductor o Diodo LASER se ha vuelto muy especializada. Los primeros diodos LASER se hicieron para uso general con un empaque similar a las carcasas metálicas de los transistores estándar. Algunos diodos LASER de propósito general todavía se hacen, pero la mayoría se construyen y empaquetan con alguna aplicación específica en mente. Se han diseñado y fabricado en años recientes muchas estructuras diferentes de LASER semiconductor con el fin de incrementar la potencia óptica de salida. Algunos grupos han reportado el desarrollo de arreglos de dispositivos LASER capaces de producir cientos de miliwatts de potencia (1,2). De hecho, la mayoría de la investigación actual en el área de los diodos LASER de alta potencia parece dirigida hacia los arreglos LASER. En este documento se revisa brevemente los tipos de estructuras básicas de los diodos LASER de inyección y se discuten los principios de operación de alta potencia. Se hace énfasis en el desarrollo de diodos LASER semiconductores de franja amplia como una alternativa a los emisores de arreglo en fase dando una alta potencia óptica en onda continua. Finalmente, se reporta acerca de un LASER de inyección de 100 μm de ancho de franja tipo GRIN-SCH que ha sido recientemente fabricado en "The Center for High Technology Materials, University of New Mexico", Albuquerque, New Mexico, E.U., en donde estudié mi posgrado y trabajé en investigación.

INTRODUCCION

Actualmente se dan en el mercado variadas aplicaciones para los diodos LASER. El haz colimado desde un diodo LASER provee la lectura de información de audio o video digital grabado en discos ópticos compactos, siendo esta la principal aplicación para cualquier dispositivo LASER en su forma más simple de empaque. La compañía SONY ha producido una línea completa de reproductores de discos compactos llamada "MultiDiscPlayer" (MDP), capaces de tocar cualquiera de los cinco tipos de audio digitales de video o audio existentes. Esto implica una alta utilización de diodos LASER para satisfacer la demanda de estos equipos,

siendo los diodos LASER de GaAlAs los más producidos en masa para esta aplicación. Los diodos se montan directamente en la cabeza reproductora que incluye óptica de enfoque y un detector de luz.

Debido a la economía de la producción en gran escala del semiconductor, "chips" de diodos LASER idénticos pueden ser empaquetados en otras formas para otras aplicaciones donde el bajo costo es más importante que las características per se del LASER en la aplicación. Por ejemplo, los diodos LASER usados en discos compactos son usados también en lapiceros luminosos para lectura de códigos de barras, montados en ciertos transmisores baratos para fibra óptica y

*Universidad de Costa Rica Escuela de Ingeniería Eléctrica

recientemente en punteros LASER para conferencistas, desplazando en muchas aplicaciones al LASER de He-Ne.

Los diodos LASER para aplicaciones con fibra óptica son basados en materiales semiconductores como GaAlAs y InGaAsP. Los LASER de GaAlAs emiten a longitud de onda más corta (800-900 nm) y son más baratos, pero las altas pérdidas de la fibra a estas longitudes de onda son muy altas, por lo que se emplean en aplicaciones de corta distancia como en Redes de Area Local (LAN).

Diodos LASER basados en InGaAsP emiten a longitudes de onda mayores (1300-1550 nm), son más caros pero se emplean cuando la distancia de transmisión es más importante. Para aplicaciones de velocidades modestas (menos de 10 Mbps) y cortas distancias de transmisión, diodos emisores de luz (LED) basados en GaAlAs o InGaAsP pueden ser usados en los transmisores, con un significativo ahorro en los costos.

El empaque del diodo LASER es una consideración primordial, y es el principal contribuyente al costo de los sistemas con fibra óptica de modo simple. El área emisora de luz del LASER debe acoplarse con el núcleo de una fibra monomodo portadora de la luz. El problema es que este núcleo posee un diámetro de 8 a 10 μm y las áreas emisoras del LASER son aún más pequeñas, imponiendo estrictas tolerancias y alineamientos mecánicos. El diodo LASER puede ser empacado en una carcasa que se acople con el conector de la fibra óptica, o el empaque puede incluir un sobrante de fibra óptica conocido como "pigtail" para su empalme con las fibras del sistema.

El principal desarrollo actualmente se basa en reducir los costos de conexión de los diodos LASER para fibra óptica, tomando en cuenta un parámetro como la potencia de salida en el conector o en el "pigtail" de fibra. Al reducir este costo se puede esperar un incremento en el mercado y así una mayor aplicación de sistemas de fibra óptica que posibilitaría en un futuro la conexión directa hasta los hogares, basado en el ISDN (Integrated Services Digital Network).

Las anteriores aplicaciones han empujado a los diodos LASER comercialmente disponibles a sus

límites. Es evidente que desarrollar dispositivos aún más poderosos, manteniendo la coherencia espacial y temporal dentro de un modo estable simple, será la meta de futuras investigaciones y esfuerzos de desarrollo.

Así pues, un área de rápido desarrollo es la tecnología de diodos LASER en arreglos monolíticos de alta potencia. En la sección II se hace una breve revisión de varias aplicaciones corrientes y futuras, las cuales requerirán el uso de LASER semiconductor de alta potencia. En la sección III se presentan las tres estructuras básicas y sus características generales, discutiendo también la combinación de LASERS individuales en arreglos, barras o pilas. La sección IV describe los principios que gobiernan la operación de alta potencia y como vencer algunos de los mecanismos limitantes al presente. En la sección V se discute la fabricación y procesamiento de los dispositivos usados en nuestros experimentos. La sección VI da una visión de las pruebas, caracterización y otros datos experimentales obtenidos de los dispositivos. Finalmente en la sección VII se sugieren algunas formas de incrementar la potencia de salida óptica de nuestros dispositivos, y se establecen algunos estudios para ser desarrollados en el futuro.

APLICACIONES

Como se mencionó anteriormente, la mayoría (sobre 90%) de los diodos LASER producidos se usan en sistemas de memoria óptica. En pocos años esta tecnología ha tenido, y continuará teniendo, una enorme tendencia en el mercado, desplazando a otras tecnologías de almacenamiento tal como discos "floppy", "cassettes", memorias en disco y aún cintas magnéticas. Esta expansión será posible con el desarrollo de diodos LASER de inyección de alta potencia y también con la fabricación de dispositivos que emitan a longitudes de onda más cortas. Ambos son requeridos para un almacenamiento de información más rápido y más denso.

Otra área con muchos avances recientes en términos de reducción de pérdida y materiales mejorados es el desarrollo de Redes de Area

Local (LAN) para comunicaciones y computación. Estos sistemas incurren en grandes pérdidas conforme el número de acopladores, conmutadores y terminales de cada LAN se incrementa. Algunos ejemplos de futuras redes son las redes de computadoras de alta velocidad, enlaces en aviónica y sistemas de satélites.

Para minimizar pérdidas e incrementar la confiabilidad de tales sistemas, será necesario incluir diodos LASER de alta potencia y amplificadores (1,3).

Ciertas aplicaciones en comunicaciones por fibra óptica de larga distancia, -notablemente aquellas que explotan los procesos de esparramiento no lineal estimulado en fibras-, requerirán el desarrollo de un nuevo dispositivo LASER de longitud de onda larga de alta potencia. Estos nuevos dispositivos tendrán que ser de modo simple, probablemente operar a $1.55 \mu\text{m}$ y necesitarán producir más de 1 watt (unidad radiométrica) de potencia óptica útil. Además probablemente serán de índice guiado, puesto que esto permite mayor pureza espectral y mejor estabilidad de modos que las estructuras de ganancia guiada. Los dispositivos de alta potencia habilitarán los sistemas de comunicación para que operen a razones de bit por segundo más altas con mayores espaciamentos entre repetidores (1).

Recientemente, los diodos LASER se han vuelto populares como bombeo para otros LASER (4,5). Antes de esto, lámparas de destellos habían sido usadas extensivamente para este propósito. Sin embargo, estas lámparas producen potencia sobre un espectro muy amplio siendo por esto muy ineficientes.

En contraste, los diodos LASER pueden ser fabricados para que emitan dentro de las bandas de bombeo de muchos cristales de dispositivos LASER de estado sólido, y después de incorporarlos al sistema, los diodos se pueden sintonizar finamente por temperatura para lograr la longitud de onda exacta deseada. Esta será un área importante para desarrollarla en el futuro (6,7).

Finalmente, se deben mencionar algunas de las aplicaciones comerciales y militares que

requerirán diodos LASER de alta potencia. En medicina LASER de alta potencia tal como sistemas de CO_2 , Ion-Argón y Nd:YAG y LASER de baja potencia de He-Ne, son corrientemente usados. Con niveles de potencia continua mejorada y estabilidad modal, arreglos y barras de LASER semiconductor serán capaces de reemplazar aún a los LASER de alta potencia de CO_2 como herramientas de cirugía.

En la industria, los diodos LASER continuarán siendo usados más y más como bombeo óptico para otros LASER y, como en medicina, arreglos, barras y pilas de diodos podrán trabajar directamente en aplicaciones de alta potencia.

Para incrementar velocidades de impresión óptica, los impresores de alta velocidad también requerirán de un LASER de alta potencia. Se desarrollan futuras aplicaciones militares, basadas en dispositivos pulsantes rápidos de altas potencias pico como armas, o sistemas LASER compactos más pequeños para identificación de objetivos y rastreo.

ESTRUCTURAS DE LASER DE INYECCION BASICAS

Los primeros LASER de inyección (diodos LASER) fueron del tipo homounión, las cuales eran uniones simples P-N difundidas formadas en materiales de brecha directa. Estos dispositivos no tenían ningún tipo de confinamiento óptico ni de portadores, y se basaban totalmente en un cambio de índice de refracción inducido por los portadores para crear una guía de onda óptica.

Un bombeo muy vigoroso era requerido para llegar a la acción LASER, con corrientes típicas de umbral de 40 a 50 kA/cm^2 a temperatura ambiente. Estos dispositivos se operaban en modo pulsante a bajo ciclo de trabajo a temperaturas criogénicas. El resultado del desarrollo de las heteroestructuras provocaron vastas mejoras en el confinamiento óptico y eléctrico resultando una drástica caída de las densidades de la corriente de umbral y un incremento de la eficiencia.

Un dispositivo de heterounión simple tiene una capa cubierta sobre sólo un lado de la región activa. Este tipo de dispositivo ha sido largamente usado para aplicaciones de alta potencia pico pulsante donde una fuerte guía de la onda es necesaria, pero el tamaño de la mancha del LASER es grande. Los dispositivos de doble heterounión tienen capas cubiertas sobre ambos lados de la región activa. Estos dispositivos son más adecuados para operación CW (Continuos Wave), donde se requiere un fuerte confinamiento de portadores y umbrales reducidos. Con la adecuada selección de la composición de las cubiertas y grosor de la capa activa, se obtienen diversos grados de efecto de guía de onda óptica. Se han dado densidades de corriente de umbral rípicas para un dispositivo heterounión de menos 1000A/cm².

Los dispositivos LASER de doble heteroestructura se fabrican con una capa activa que tiene una banda brecha para la acción LASER deseada, confinada entre dos capas con índice de refracción más bajo y más alta energía de banda brecha.

La doble heterounión se realiza usando una capa activa de GaAs levemente dopada con capas cubiertas adjacentes de Al_xGa_{1-x}As. Estas capas cubiertas cumplen doble propósito, al prevenir que los electrones se difundan lejos de la capa activa debido a una barrera de potencial formada como resultado del incremento en banda brecha y también proveen confinamiento óptico debido al cambio escalonado del índice refractivo.

Los dispositivos heterounión han permitido mucho mejor confinamiento transversal, tanto eléctrico como óptico. Veamos ahora el confinamiento lateral. Hay dos tipos de estructuras básicas, ganancia guiada e índice guiado, mostradas esquemáticamente en la Figura 1 (8).

La ganancia guiada se basa en el cambio de índice inducido por portadores dentro de la capa activa para restringir los modos laterales. Este tipo de dispositivo está propenso a inestabilidades de modo transversal que surgen de esta débil forma de guía de onda óptica.

Los dispositivos de índice guiado débil tienen índice escalonado, que se fabrican dentro del

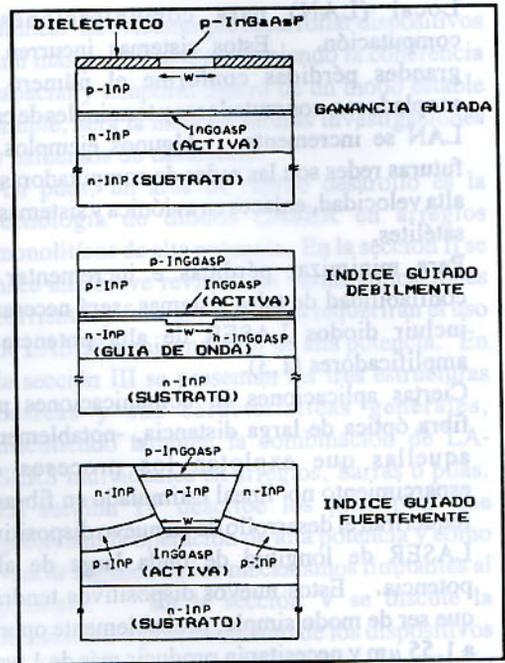


FIGURA 1.

ESTRUCTURAS BASICAS DE GEOMETRIA DE FRANJA ILUSTRANDO DIFERENTES TIPOS DE GUIA DE ONDA

dispositivo por crecimiento de capas de heteroestructura, sobre sustratos canalizados, durante el proceso de crecimiento del cristal. Estos índices escalonados son de un orden de magnitud más grande que los cambios de índice refractivo inducidos por portadores, ayudando así grandemente a la estabilización de modos transversales.

Los diodos LASER de índice fuertemente guiado tienen escalones formados por grabado y recrecimiento, creándose una capa activa que está efectivamente enterrada por un material de más bajo índice refractivo y mayor banda brecha. Como resultado, sólo se soporta un modo lateral simple.

Finalmente, debido a su gran importancia, se deben mencionar los arreglos, barras y pilas de diodos LASER. Un arreglo de LASER se forma fabricando muchos emisores simples con un contacto eléctrico común, puestos suficientemente cercanos uno del otro. La proximidad permite la superposición de los campos evanescentes de los emisores. Cuando todas las salidas de los emisores tienen una relación de fase fija, se obtiene un haz coherente. Los arreglos simples

son comúnmente capaces de producir muchos watts de potencia óptica coherente.

Las barras de LASER se componen de muchos dispositivos LASER individuales o arreglos, todos teniendo un contacto eléctrico común. Una barra de arreglo de LASER típica es de 1 cm de largo y tiene 20 arreglos de $100 \mu\text{m}$ en centros de $500 \mu\text{m}$, donde cada arreglo consiste de 10 emisores acoplados en fase. La generación de 38 watts de potencia continua desde una cara simple de una barra de 1 cm de largo ha sido reportada por investigadores de Spectra Diode Labs (7), y potencia pulsante más alta podría ser lograda. Estos dispositivos son sólo parcialmente coherentes.

En los últimos dos años el esquema de pila de barras de LASER ha sido fabricada. En modo pulsante a 0.6% de ciclo de trabajo, tres barras LASER han sido reportadas produciendo 300 W, mientras que una pila de 12 barras produjeron 800 W (7). Puesto que estos dispositivos pueden ser dirigidos y enfocados en algún grado, son ideales como bombeo óptico donde se acoplan al volumen del LASER siendo bombeado, y donde su falta de coherencia no es una desventaja primordial.

PRINCIPIOS DE OPERACION DE ALTA POTENCIA

Se empieza esta sección discutiendo los tres mecanismos que limitan la potencia de salida óptica de un diodo LASER: el quemado espectral y espacial de hoyos, el incremento de temperatura en la capa activa y el daño de cara catastrófico (CFD). Estos tres mecanismos deben ser combatidos y/o minimizados para incrementar la potencia óptica.

El quemado de hoyos espacial es el resultado de la naturaleza de onda estacionaria de un modo óptico, y conduce a la operación de modo múltiple espacial en alta potencia, aunque es parcialmente combatida por la difusión de portadores longitudinales. El quemado de hoyos espectral co resultando una drástica caída de las densidades de la corriente de umbral y un incremento de la eficiencia.

Un dispositivo de heterounión simple tiene una capa cubierta sobre sólo un lado de la región

activa. Este tipo de dispositivo ha sido largamente usado para aplicaciones de alta potencia pico pulsante donde una fuerte gufa de la onda es necesaria, pero el tamaño de la mancha del LASER es grande. Los dispositivos de doble heterounión tienen capas cubiertas sobre ambos lados de la región activa. potencia de salida se satura y aún decrece, asumiendo que CFD no ocurra primero. Esto puede ser observado en un gráfico corriente vs. potencia como un doblado de la curva a alta potencia. El calentamiento de la capa activa también causa que la ganancia pico y las frecuencias de modos individuales se desplacen, lo cual es generalmente no deseable. El principal mecanismo de calentamiento es la disipación óhmica, aunque alguna reabsorción de emisión espontánea también ocurre. Estos efectos son minimizados optimizando la eficiencia del LASER y reduciendo la impedancia térmica a través de un eficiente disipador de calor.

Diversos tipos de materiales para disipadores de calor han sido estudiados y parece que la cerámica BeO (Oxido de Berilio) provee un buen balance de disipación de calor y de acople de los coeficientes de expansión térmica del material LASER (1). Buenos contactos óhmicos, tanto en la interfaz semiconductor metal como en las heterouniones son extremadamente importantes. Las resistencias de contacto son reducidas por difusiones de los contactos y por un rápido curado a alta temperatura. En adición, se ha sugerido que es posible obtener potencias más altas a través del uso de sustratos tipo P opuesto a los comúnmente usados tipo N. Usando un sustrato tipo P, el contacto superior y las capas cubiertas, que están más cercanas a la capa activa, serían hechas tipo N y así tendrían una conductividad más alta y menos resistencia de contacto. Con menos calentamiento cerca de la capa activa, más potencia puede ser extraída (1).

El último factor limitante a la potencia optica de salida desde un LASER GaAs/GaAlAs es el daño catastrófico de cara (CFD), que resulta en una ablación de material de las caras. El mecanismo que parece causar CFD es la alta razón de recombinación superficial, o absorción,

cerca de las caras. Conforme más potencia se extraiga, más recombinación ocurre, causando un incremento en la temperatura, lo cual a su vez causa más absorción, con un posterior calentamiento y así el ciclo continúa. En algún punto, dependiendo de la intensidad umbral de daño crítico del material, ocurre un derretido o ablación del material de la cara. Para el sistema GaAlAs/GaAs, la intensidad de umbral de daño crítico es aproximadamente de 2 a 3×10^6 W/cm² para una cara no recubierta. Para pulsos de ancho δt bajo ($1 \mu\text{seg}$), el umbral de daño se incrementa aproximadamente como $\delta t^{1/2}$. Se cree que la intensidad crítica para el sistema InGaAsP/GaAs es al menos un orden de magnitud mayor (8). Se han propuesto muchos métodos para combatir el CFD, con notables resultados usando cubiertas de alta reflectividad (HR) y anti reflexión (AR), o usando espejos no absorbentes (NAM) (1).

CRECIMIENTO Y PROCESAMIENTO DE CRISTALES LASER

Uno de los logros más significativos en el área de fabricación del LASER semiconductor ha sido el desarrollo de la tecnología de Deposición de Vapor Químico Orgánico-Metálico (MOCVD). Esta técnica permite el crecimiento de capas cristalinas uniformes ultra delgadas con muy pocos defectos del arreglo. Este método es superior en muchos aspectos a otros métodos usados actualmente.

Los dispositivos estudiados en este experimento son Heteroestructuras de Confinamiento Separado de Índice Gradual (GRIN-SCH) ("Graded-Index Separate Confinement Heterostructure"), mostrado en la figura 2.

Como fue mencionado antes, las capas cubiertas confinan tanto los portadores inyectados y el modo óptico. En adición, nosotros incorporamos regiones de índice gradual entre las uniones lo cual tiende a canalizar portadores en la región activa, incrementando con ello el confinamiento. Al confinar portadores en la región activa se obtiene un decrecimiento en la corriente de umbral, lo cual decrece el calentamiento e incrementa la eficiencia. Una vez que las capas epitaxiales se han crecido por MOCVD sobre una oblea sustrato GaAs N⁺, empieza el procesado del material.

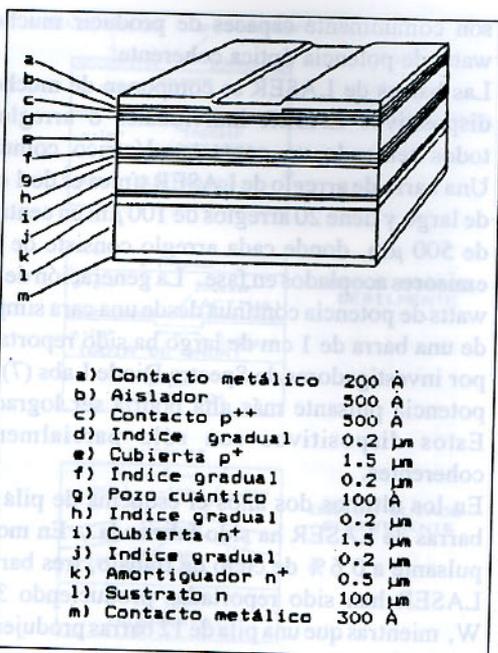


FIGURA 2.
ESTRUCTURA GRIN-SCH USADA EN LASERS DE FRANJA ANCHA Y DE ALTA POTENCIA (CAPAS Y GROSORES)

Empezando con un ciclo completo de limpieza por solvente, la oblea se cubre con una película delgada aislante por Deposición de salida se satura y aún decrece, asumiendo que CFD no ocurra primero. Esto puede ser observado en un gráfico corriente vs. potencia como un doblado de la curva a alta potencia. El calentamiento de la capa activa también causa que la ganancia pico y las frecuencias de modos individuales se desplacen, lo cual es generalmente no deseable. El principal mecanismo de calentamiento es la disipación óhmica, aunque alguna reabsorción de emisión espontánea también ocurre. Estos efectos son minimizados con contactos sobre el lado N, evaporización de contactos sobre el lado P), seguido por un rápido curado térmico. Finalmente, la oblea es fracturada y cortada en diodos LASER individuales, de $500 \mu\text{m}$ de largo por $500 \mu\text{m}$ de ancho, a los cuales se les hicieron pruebas de tipo eléctrico/óptico tal y como se describe en la siguiente sección.

CARACTERIZACION Y RESULTADOS

Las mediciones espectrales iniciales del material GRIN-SCH indicaron una longitud de onda de emisión de 856 nm. Las mediciones pulsantes fueron realizadas en diversos dispositivos GRIN-SCH completos. Puesto que los dispositivos no estaban ligados aún a un disipador de calor, no se hicieron pruebas bajo CW. Todas las mediciones fueron realizadas usando pulsos a 100 Hz de frecuencia de repetición para dar un 1% de ciclo de trabajo. La mayoría de los diodos medidos fueron aquellos con franjas de 100 μm de ancho.

Una curva Potencia-Corriente (L-I) característica de los dispositivos se muestra en la figura 3. La figura 3a. muestra detalles de la porción de baja potencia de la curva, de lo cual se concluye que el LASER se comporta bien a bajos niveles de potencia.

La figura 3b muestra la región de alta potencia de la salida óptica. En esta figura se observa un doblado de la curva a alta potencia, lo cual se debe al calentamiento óhmico mencionado antes. De la figura 3a se observa que una corriente umbral aproximada de 150 mA, lo cual corresponde a una densidad de corriente de umbral de 300 A/cm². De la figura 3b se calculó una eficiencia cuántica de cerca de 88%. Una potencia de salida total de 1.5 W (para un 1% de ciclo de trabajo) fue extraída de los dispositivos y ésta estuvo limitada por disipación térmica en la ausencia de un adecuado disipador de calor. El nivel de potencia a la cual CFD podía ser esperada es aproximadamente 6W.

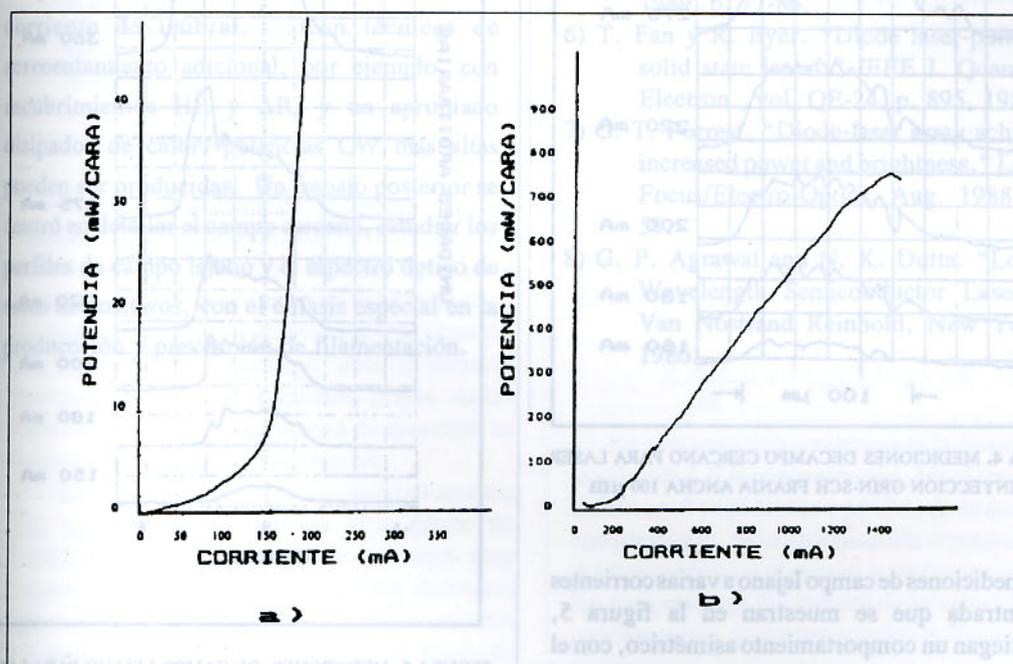


FIGURA 3.
CURVAS DE POTENCIA VS. CORRIENTE PARA UN LASER
INYECCION FRANJA ANCHA 100 μM :
A) CURVA BAJA POTENCIA DE SALIDA
B) CURVA ALTA POTENCIA DE SALIDA

La figura 4 muestra las mediciones del patrón de campo cercano a varias corrientes de entrada. Nosotros observamos que el perfil de campo cercano es aproximadamente $110\mu\text{m}$ FWHM a alta potencia. Nosotros también notamos la canalización del campo cercano probablemente debida a no uniformidad y filamentación incipiente.

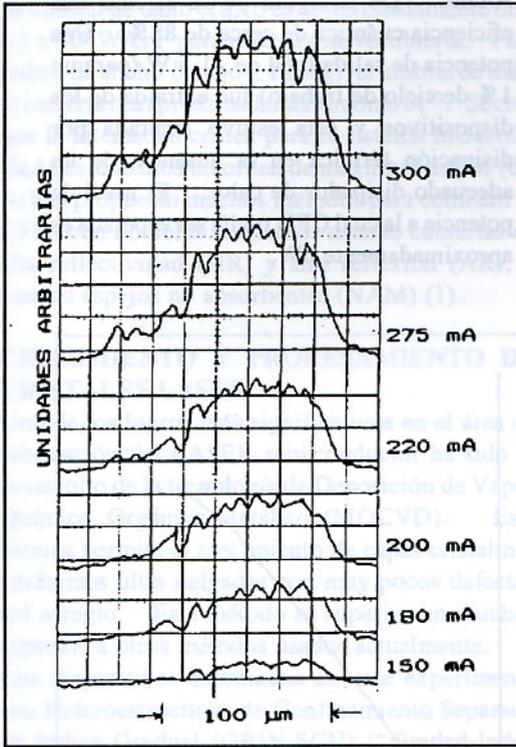


FIGURA 4. MEDICIONES DE CAMPO CERCANO PARA LASER DE INYECCION GRIN-SCH FRANJA ANCHA $100\mu\text{m}$

Las mediciones de campo lejano a varias corrientes de entrada que se muestran en la figura 5, despliegan un comportamiento asimétrico, con el pico ocurriendo a 4° aproximadamente fuera del eje, lo cual se debe probablemente a variaciones de grosor lateral. Usando la escala del gráfico de campo lejano, nosotros encontramos que el FWHM de los pulsos emergentes del campo lejano es aproximadamente 4 veces el límite por difracción.

Uno de los problemas más serios con diodos LASER de franja ancha de doble heterounión convencional es la filamentación, o auto-enfoque, causado por el cambio de índice de refracción conforme la ganancia se satura. El efecto es más débil en las estructuras de pozo cuántico estudiadas aquí, sin embargo, es todavía un efecto degradante potencial en los diodos LASER y puede causar falla catastrófica.

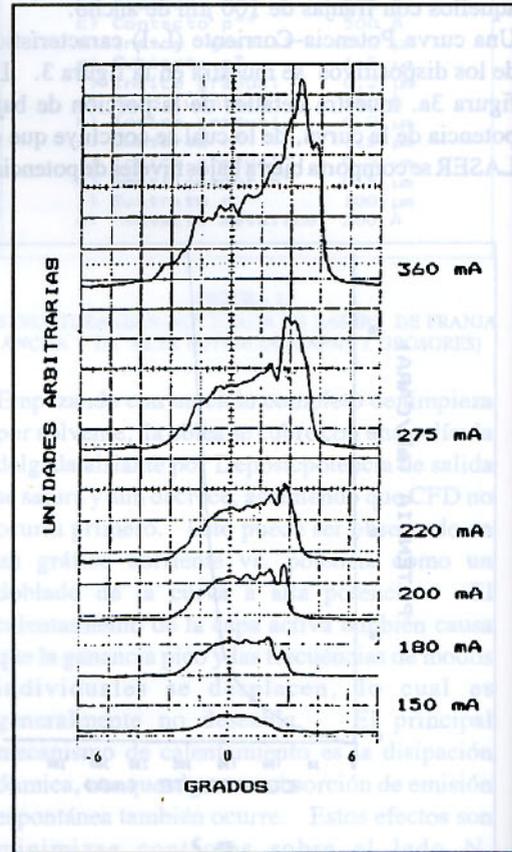


FIGURA 5. MEDICIONES DE CAMPO LEJANO PARA LASER DE INYECCION GRIN-SCH FRANJA ANCHA $100\mu\text{m}$

CONCLUSION

Los LASER semiconductores de franja ancha ofrecen una alternativa promisoría para emisores en arreglo de fase al proveer una potencia CW relativamente alta (.1 W) en el infrarrojo cercano. En este documento se han revisado las estructuras de LASER semiconductor básicas y los mecanismos limitantes. Se han descrito el crecimiento, fabricación y caracterización de LASERS de inyección de franja ancha de GAAs tipo GRIN-SCH producidos en The Center for High Technology Materials - The University of New Mexico. Estos dispositivos han cumplido con las expectativas al producir cerca de 1.5 W de potencia óptica con bajas densidades de corriente de umbral. Con técnicas de acrecentamiento adicional, por ejemplo, con recubrimientos HR y AR, y un apropiado disipador de calor, potencias CW más altas pueden ser producidas. Un trabajo posterior se centró en detallar el campo cercano, estudiar los perfiles de campo lejano y el espectro óptico de estos dispositivos, con el énfasis especial en la producción y prevención de filamentación.

BIBLIOGRAFÍAS

- 1) L. Figueroa, C. Morrison y L. Zinkiewicz. "High Power semiconductor lasers." Proc. SPIE, vol. 723, p. 2, 1986.
- 2) N. K. Dutta, T. M. Shen, S. G. Napholtz y T. Cella. "InGaAsP high power laser array." Proc. SPIE, vol. 723, p. 25, 1986.
- 3) S. H. Macomber y P. Akkapeddi. "Semiconductor laser power amplifier." Proc. SPIE, vol. 723, p. 36, 1986.
- 4) W. Striefer, D. R. Scifres, G. L. Harnagel, D. F. Welch. "Advances in diode laser pumps." IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-24, p. 883, 1988.
- 5) R. L. Byer. "Nonlinear frequency conversion enhances diode-pumped lasers." Laser Focus World, Tulsa, OK, March 1989, p. 77-86.
- 6) T. Fan y R. Byer. "Diode laser-pumped solid state lasers." IEEE J. Quantum Electron., vol. QE-24, p. 895, 1988.
- 7) G. T. Forrest. "Diode-laser array achieve increased power and brightness." Laser Focus/Electro-Optics, Aug. 1988, p. 59.
- 8) G. P. Agrawal and N. K. Dutta. "Long-Wavelength Semiconductor Lasers." Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.

ambiental de estos desechos puede dañar irreversiblemente los estuarios destruyendo su capacidad productiva y recreativa.

En América Latina existen muchos cuerpos de agua costeros con un alto grado de contaminación y el ingeniero a cargo muy a menudo carece de la información necesaria para estimar el daño debido a la contaminación o medir su impacto y diseñar así el grado de tratamiento requerido. El problema hidrodinámico fundamental es predecir el grado de dilución dadas las características físicas del lugar. En los últimos años, debido al avance, rapidez y eficacia de los métodos numéricos deterministas, los ingenieros costeros y científicos de varios países han comenzado a

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v \cdot (\rho C U \cdot J) - S = 0 \quad (1)$$

En esta ecuación ρ representa la densidad, U la velocidad, C la concentración, J es el transporte difusivo y S es la fuente o pérdida de la sustancia contaminante. Si introducimos la representación del Reynolds para el campo turbulento mediante los componentes fluctuantes de la velocidad y la concentración, podemos escribir la Ecuación (1) como

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v \cdot (\rho C U) - \nabla \cdot (K \nabla C) - S = 0 \quad (2)$$

En donde hemos introducido la hipótesis de Boussinesq, por la cual los términos fluctuantes turbulentos son los equivalentes de difusión $K = (K(x, y, z), W(x, y, z))$ y los gradientes de concentración. De la complejidad la anterior