

Propuesta de Proyectos Integradores

DATOS GENERALES DE LA PROPUESTA

Título de la propuesta: **Modelado y caracterización de la emisión de luz en láseres de cascada cuántica**

Apellido y Nombres del director/a: **ROZAS, Guillermo**

Dependencia: **Gerencia de Física, CAB (CNEA-CONICET)**

Dirección electrónica del director/a (ingresar una sola dirección): **grozas@cab.cnea.gov.ar**

Apellido y Nombres del co-director/a:

Dependencia:

Dirección electrónica del co-director/a (ingresar una sola dirección):

Lugar de realización de la tesis - Identificar claramente el lugar donde se desarrollará el trabajo de tesis.:
Laboratorio de Fotónica y Optoelectrónica, Gerencia de Física, CAB

DETALLE TÉCNICO DE LA PROPUESTA

Motivación - Breve descripción del contexto de la propuesta. (Máximo 500 palabras): **El interés en el rango espectral del infrarrojo medio (MIR), especialmente importante en aplicaciones de espectroscopía y sensado remoto, ha impulsado durante los últimos años la demanda de fuentes potentes, compactas y sintonizables en este rango, en particular de láseres de cascada cuántica (QCLs). En un láser semiconductor convencional la luz emitida es generada por la recombinación radiativa de electrones de la banda de conducción y huecos de la banda de valencia. En contraste, un QCL es un dispositivo unipolar basado en transiciones electrónicas de una subbanda de conducción confinada a otra en un sistema de pozos cuánticos acoplados, permitiendo en principio controlar por diseño la energía de emisión y hacerla arbitrariamente baja, lo cual los hace muy buenos candidatos para láseres en los rangos MIR y FIR.**

Para que un QCL emita luz, y lo haga de forma eficiente, deben conjugarse correctamente aspectos tanto del diseño como de la fabricación de la estructura semiconductor. La ganancia óptica es el resultado de una cuidadosa ingeniería de los estados confinados, sus tiempos de vida media y sus tasas de dispersión, lo que genera la inversión de población entre las dos subbandas láser de la región activa. Esta ingeniería debe tener en cuenta no sólo la imagen estática de la estructura, sino considerar cómo todos los parámetros involucrados se modifican para distintos potenciales aplicados, así como el rol que juega la realimentación dinámica con el campo electromagnético y la emisión óptica estimulada. Esta complejidad hace de los QCLs uno de los desafíos máximos de la manipulación por diseño de estados electrónicos en heteroestructuras y de la tecnología de dispositivos semiconductores.

Debido a su complejidad y a la precisión requerida, los QCLs son crecidos mediante epitaxia por haces moleculares (MBE), que permite obtener multicapas semiconductoras con control al nivel de la monocapa atómica. Una vez crecidas estas multicapas planares, un QCL requiere de un procesamiento mediante técnicas de litografía óptica y químico húmedo. Esto define la guía de ondas o cavidad óptica que confina el campo electromagnético, paso necesario para aprovechar la ganancia del material activo y convertirlo en un láser. El diseño de esta guía de ondas, que típicamente tiene tamaño sub-longitud de onda, es uno de los aspectos importantes a tener en cuenta en el diseño del láser dado que define la distribución del campo electromagnético interno y su interacción con los estados electrónicos. La cavidad óptica permite, además, controlar otros aspectos relevantes del láser, tales como el acople con el espacio vacío y las distribuciones espectrales y espaciales de los modos de emisión.

El proyecto integrador será realizado dentro de un proyecto orientado al desarrollo de QCLs en el

infrarrojo medio, y estará orientado al modelado, diseño y caracterización experimental del campo electromagnético y la emisión de los láseres, tanto comerciales como fabricados en el CAB. Existirá una cercana interacción tanto con el grupo de trabajo encargado del modelado de los estados electrónicos, como con el de crecimiento y procesamiento de las muestras.

Objetivos Proyecto Integrador - Breve descripción de los logros esperables como consecuencia de la ejecución de la propuesta, en cada uno de los semestres. (Máximo 300 palabras): **El alumno realizará modelados numéricos del campo electromagnético, diseño de guías de ondas semiconductoras, y mediciones experimentales de la emisión de campo lejano de los QCLs. El trabajo combina aspectos teóricos y experimentales, con una fuerte interrelación entre ellos a fin de desarrollar las herramientas de simulación y caracterización apropiadas a este tipo de heteroestructuras.**

Los objetivos puntuales del alumno durante el PI serán:

1 - aprender a usar métodos de cálculo numérico para modelar el campo electromagnético dentro de la guía de ondas y en el campo lejano, utilizando métodos de elementos finitos y considerando la inclusión de la ganancia óptica.

2 - modelar geometrías de guías clásicas simples (típicamente barras de algunas decenas o cientos de μm de ancho y algunos mm de largo) para entender cómo los parámetros de diseño afectan las propiedades del láser. A partir de estos resultados, definir una geometría óptima para láseres en el rango 10-16 μm .

3 - realizar mediciones sobre láseres comerciales para contrastar con el modelo. Esto incluye eventualmente el armado de un setup automatizado para mapear el campo lejano en el plano XY (el sistema actual es manual).

Objetivos PI con continuidad en tesis de Maestría en Ingeniería, objetivos para la Maestría Descripción tentativa de los objetivos para la Maestría. (Máximo 300 palabras) **El trabajo puede ser ampliado para la realización de una maestría posterior. Los objetivos de largo plazo pasarían en este caso por:**

- desarrollar y/o expandir las herramientas de cálculo numérico para acoplarlas a los programas de cálculo utilizados para el diseño electrónico, permitiendo contar con una herramienta de diseño "global".

- explotar las capacidades y conocimientos desarrollados en el PI para diseñar y caracterizar apropiadamente los láseres que se produzcan en el CAB, utilizando geometrías cada vez más complejas que optimicen tanto el espectro como la intensidad de la emisión.

Cronograma tentativo - Descripción de cronograma de trabajo sugerido para el plazo de la propuesta (12 meses): **Primer semestre:**

- **aprender a utilizar los métodos de cálculo numérico**
- **modelar el campo electromagnético interno y el campo lejano en geometrías simples**

Segundo semestre:

- **incluir la ganancia óptica en el modelo**
- **variar la geometría de la guía de ondas y estudiar las tendencias**
- **realizar mediciones de campo lejano en un láser comercial y contrastar con el modelo**

Tercer semestre (IT):

- **definir una geometría óptima para láseres en el rango 10-16 μ m**
- **automatizar el proceso de medición de campo lejano**
- **realizar mediciones y contrastar con el modelo sobre otros láseres disponibles**

Plan de Formación sugerido (solo para IM e IT) - Sirvase sugerir los cursos que al alumno le resultarían necesario o conveniente cursar para la realización del Proyecto Integrador. En el caso de Ingeniería Mecánica es necesario el cursado de una materia optativa de al menos 60 hs para completar el Plan Curricular de Ingeniería Mecánica.: - **En el caso de IT: se sugiere el cursado de materias relacionadas con óptica no lineal y/o emisión láser.**

- **En el caso de IN: se sugiere, además, el cursado de una materia de electromagnetismo para ingenieros.**

Información adicional que desee incluir: **Este trabajo estará enmarcado dentro del proyecto global de CNEA en el área de separación isotópica por láser, con el objetivo puntual de producir fuentes de luz en el rango 8-20 μ m. En particular, el desarrollo de este tipo de fuentes de luz es considerado prioritario dentro del Plan Estratégico 2015--2025 de investigación y desarrollo de CNEA, el cual contempla la creación de una línea de estudio y desarrollo de láseres de cascada cuántica (QCL) y fotodetectores infrarrojos de pozos cuánticos (QWIP), con aplicación directa en sus áreas de interés (industria nuclear, energías renovables, nanotecnología).**

El trabajo se propone dominar nacionalmente los conocimientos fundamentales de la física presente en nanoestructuras con transiciones inter-subbanda, y el diseño, fabricación y mejora de dispositivos semiconductores que emitan eficientemente en longitudes de onda de interés para CNEA y la industria nacional en general. Si bien en partes de ese rango existen láseres comerciales, ciertas longitudes de onda de interés para CNEA (en particular 16 μ m) no están disponibles. Por otro lado, siendo una tecnología estratégica, sería ideal que el desarrollo de los mismos sea realizado dentro del país.