

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El estudiante comprenderá los principios fundamentales y procesos físicos de los dispositivos optoelectrónicos básicos y guías de onda que entran en la composición de un sistema optoelectrónico.

TEMAS Y SUBTEMAS

1. Dispositivos de semiconductores.

1.1. Breve recordatorio de la teoría de bandas.

- 1.1.1. Semiconductores, banda prohibida, nivel de Fermi.
- 1.1.2. Semiconductores intrínsecos y extrínsecos (tipos p y n), unión p-n.
- 1.1.3. Tasas de absorción y de emisión espontánea y estimulada.

1.2. Fotodetectores.

- 1.2.1. Emisión fotoeléctrica (tubo fotomultiplicador, contador de fotones), foto-conductividad.
- 1.2.2. Fotodetector p-n, corriente de oscuridad.
- 1.2.3. Fotodetector p-i-n, movilidad de electrones y huecos, capacitancia de la unión, corrientes drift y de difusión, tiempo de respuesta (frecuencia máxima de operación).
- 1.2.4. Fotodetector Schottky.
- 1.2.5. Fotodetector de avalancha.
- 1.2.6. Eficiencia de un fotodetector, responsividad (A/W), espectro de responsividad.
- 1.2.7. Ruido de fotodetectores: ruido de disparo, térmico (Nyquist), 1/f (flicker).
- 1.2.8. Sensibilidad a la señal de modulación.

1.3. Emisores de luz.

- 1.3.1. Diodo emisor de luz ("Light Emitting Diode", LED), fuentes superluminiscentes (SLED).
 - 1.3.1.1. Espectro de emisión de un LED (densidad espectral de electroluminiscencia).
 - 1.3.1.2. Eficiencia, responsividad, característica potencia-corriente.
- 1.3.2. Amplificadores de semiconductor.
 - 1.3.2.1. Coeficiente de ganancia, inversión de población, transparencia.
 - 1.3.2.2. Espectro de ganancia.
- 1.3.3. Láseres de semiconductor.
 - 1.3.3.1. Umbral, eficiencia, responsividad, característica potencia-corriente.
 - 1.3.3.2. Modos longitudinales y transversales, láseres Fabry-Pérot, DBR, DFB y VCSEL, espectros de emisión.
- 1.3.4. Práctica.

Se recomienda una práctica con un diodo láser: medición del espectro óptico abajo y arriba del umbral, espectro óptico en función de la temperatura, potencia de salida en función de la corriente de bombeo. Alternativamente, se recomienda un trabajo numérico basado en un software comercial.

2. GUÍAS DE ONDA

2.1. Introducción.

- 2.1.1. Teoría de óptica geométrica (rayos, ley de Snell, reflexión total interna).
- 2.1.2. Teoría de óptica ondulatoria, teoría de Maxwell, ecuación de Helmholtz.
- 2.1.3. Guías de onda, metálicas y dieléctricas.

2.2. Guía dieléctrica plana.

- 2.2.1. Derivación gráfica de la condición de autoconsistencia, solución gráfica para modos guiados, dependencia del número de modos con los parámetros de la guía y longitud de onda (regímenes monomodo y multimodo), longitud de onda de corte.
- 2.2.2. Derivación a partir de las ecuaciones de Maxwell.
- 2.2.3. Perfil transversal de campo de los modos guiados, factor de confinamiento.
- 2.2.4. Extensión a las guías rectangulares (óptica integrada).

2.3. Guía cilíndrica (fibra óptica).

- 2.3.1. Teoría de modos guiados
 - 2.3.1.1. Introducción: fibras monomodales y multimodales, de índice escalonado y graduado, rayos meridionales y oblicuos.
 - 2.3.1.2. Fibras de índice escalonado: ecuaciones de Maxwell y ecuación de Helmholtz en coordenadas cilíndricas, resolución para modos guiados, modos HE, EH, TE y TM, ecuación de eigenvalores.
 - 2.3.1.3. Aproximación del guiado débil: modos polarizados linealmente (LP), ecuación de eigenvalores, solución gráfica, número de modos (regímenes monomodo y multimodo), longitud de onda de corte.
 - 2.3.1.4. Perfil transversal de campo de los modos.
- 2.3.2. Dispersión en fibras ópticas.
 - 2.3.2.1. Dispersión modal.
 - 2.3.2.2. Dispersión cromática (de velocidad de grupo, GVD): material y de guía. Dispersión normal y anómala, espectro de dispersión de fibra estándar monomodo, de fibra de dispersión desplazada (DSF), de compensación de dispersión (DCF), de dispersión aplanada (DFF).
 - 2.3.2.3. Dispersión de modos de polarización (PMD).
- 2.3.3. Espectro de atenuación de fibras ópticas.
- 2.3.4. Fabricación de fibras: preforma y estiramiento (MCVD, OVD, DND).
- 2.3.5. Birrefringencia en fibras: lineal y circular (actividad óptica).
- 2.3.6. Comunicación por fibra óptica.
 - 2.3.6.1. Principios de la comunicación por fibra óptica.
 - 2.3.6.2. Espectro de un pulso Gaussiano, ensanchamiento de pulsos ópticos por propagación en fibra óptica, pulsos con chirp.
- 2.3.7. Práctica.

Se recomienda una práctica sobre las propiedades modales de fibra óptica: 1) comparación de patrones de interferencia modal de fibra de salida de un diodo láser visible (rojo ó verde) original, después de la fibra SMF-28 y después de la fibra multimodal (50 micras o 62.5 micras de diámetro del núcleo) y 2) medición de la longitud de onda de corte de la fibra SMF-28. Alternativamente, se recomienda un trabajo numérico usando un software comercial, por ejemplo, el cálculo y la representación gráfica del perfil transversal de intensidad de los modos guiados en una fibra óptica.

3. DISPOSITIVOS DE FIBRA ÓPTICA

3.1. Rejillas de Bragg.

- 3.1.1. Ecuaciones de modos acoplados, espectro de rejillas uniformes, longitud de onda de Bragg.
- 3.1.2. Rejillas apodizadas, con tilt, rejillas en fibra de alta birrefringencia.
- 3.1.3. Rejillas de periodo largo.
- 3.1.4. Aplicaciones de rejillas.
- 3.1.5. Práctica: estudio de los espectros de transmisión y de reflexión de una rejilla de Bragg.

3.2. Amplificadores y láseres de fibra óptica.

- 3.2.1. Fibra dopada con iones activos, niveles de energía, bandas de emisión.
- 3.2.2. Amplificadores de fibra óptica.
- 3.2.3. Láseres de fibra óptica (dopada con Er, Yb, Tm, Ho, etc.).

- 3.2.4. Aplicaciones de los láseres de fibra óptica.
- 3.2.5. Práctica: láser de fibra dopada con erbio, espectro del láser abajo y arriba de umbral, potencia de salida del láser en función del bombeo, modos del láser (espectro de radiofrecuencia) o régimen pulsado por modulación de bombeo (periodo-1).
- 3.3. Otros dispositivos de fibra.
 - 3.3.1. Acopladores y multiplexores.
 - 3.3.2. Empalmes, pérdidas por empalme.
 - 3.3.3. Interferómetros de fibra óptica (modal, Fabry-Pérot, Mach-Zehnder, Sagnac).
 - 3.3.4. Sensores de fibra óptica.
 - 3.3.5. Práctica: sensor de temperatura o de índice de refracción.

4. INTERACCIÓN LUZ-MATERIA

- 4.1. Efecto electro-óptico lineal (Pockels), moduladores de fase y de amplitud.
- 4.2. Efecto electro-óptico de segundo orden (Kerr).
- 4.3. Efecto magneto-óptico (Faraday), aisladores, circuladores ópticos, sensores de corriente eléctrico y de campo magnético, espejos de Faraday.
- 4.4. Efectos acústico-óptico, moduladores acústico-ópticos.
- 4.5. Efectos Brillouin y Raman en fibras ópticas.
- 4.6. Práctica sobre el efecto Faraday o un modulador acusto-óptico.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

- i) **Frente a docente:** Se cubre un total de 28 sesiones de una hora y media a la semana con la participación activa del estudiante. Cada tópico tratado será reforzado mediante la ejemplificación en aplicaciones prácticas y con la participación activa de los alumnos a través de preguntas.
Comentarios:
 - 1) Cada práctica se desarrollará durante una sesión de 2 horas, fuera del tiempo regular de clase.
 - 2) El nivel de detalle alcanzado en la impartición de los diferentes temas y el tiempo dedicado a cada uno de ellos, quedará a criterio del docente, quien tomará en consideración los intereses particulares de los estudiantes. De igual manera, la elección de las prácticas de laboratorio se deja al criterio del docente de común acuerdo con los estudiantes.
- ii) **Independientes:**
 - 1) El estudiante resolverá una serie de problemas numéricos y algebraicos para reafirmar los temas tratados.
 - 2) Lectura de artículos científicos sobre dispositivos específicos.
 - 3) Búsqueda de bibliografía específica para el desarrollo de un proyecto.

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION Y ACREDITACION

El curso se evalúa de acuerdo a los siguientes conceptos: tareas, exposiciones, trabajo numérico y en laboratorio, proyecto, exámenes y asistencia. El porcentaje para cada uno de estos puntos, será criterio del docente.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Fundamentals of photonics, B. E. A. Saleh, M. C. Teich, John Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed., 2007.
- Optoelectronics and Photonics, S.O. Kasap, Prentice-Hall, 2007.
- Fundamentals of optical fibers, J. A. Buck, John Wiley & Sons, Inc., 2nd Ed., 2004.

Bibliografía Complementaria

- Fiber-optic communication systems, G. P. Agrawal, John Wiley & Sons, Inc., 3rd Ed., 2002.
- Semiconductor devices: physics and technology, S. M. Sze, M. K. Lee, John Wiley & Sons, 3rd Ed., 2012.

- Introduction to solid state physics, C. Kittel, John Wiley & Sons, 8th Ed., 2004.
- Solid State Physics, N. W. Ashcroft, N. D. Mermin, Brooks Cole, 1st Ed., 1976.
- Fiber Bragg gratings: Fundamentals and applications in Telecommunications and Sensing, A. Othonos, K. Kalli, Artech House Publishers, 1999.
- Fiber Bragg gratings, R. Kashyap, Academic Press, 1999.
- Nonlinear fiber optics, G. P. Agrawal, Academic Press, 5th Ed., 2013.
- Handbook of optical fibre sensing technology, Editor: J. M. López-Higuera, John Wiley & Sons, 2002.