

**NOMBRE: CRISTALES FOTÓNICOS Y METAMATERIALES**

**CLAVE: O**

**CICLO: 2-3 SEMESTRE**

**PERFIL DEL DOCENTE: DOCTOR EN CIENCIAS (FÍSICA u ÓPTICA)**

**HRS./SEM.: 4 (4 hrs. en aula)**

**Objetivo:** El estudiante, al finalizar el curso, conocerá las bases fundamentales de Cristales fotónicos, metamateriales y estructuras plasmónicas, que le permitirán manejar métodos numéricos rigurosos como una herramienta indispensable tanto en el modelado de los sistemas periódicos como en el aprendizaje e investigación de otras áreas afines de la óptica e ingeniería física.

## **TEMAS Y SUBTEMAS (5)**

### **1. INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA DE ESTADO SÓLIDO**

#### 1.1 Estructuras cristalinas

- 1.1.1 Arreglos periódicos de átomos
- 1.1.2 Tipos de redes fundamentales
- 1.1.3 Sistemas de índices para planos cristalinos
- 1.1.4 Estructuras cristalinas simples

#### 1.2 Redes recíprocas

- 1.2.1 Difracción de ondas por cristales
- 1.2.2 Amplitud de onda esparcida
- 1.2.3 Zonas de Brillouin

#### 1.3 Bandas de energía

- 1.3.1 Modelo del electrón libre
- 1.3.2 Funciones de Bloch
- 1.3.3 Ejemplo: Modelo de Kronig-Penney

### **2. FUNDAMENTOS DE ÓPTICA DE ONDAS**

#### 2.1 Modelos teóricos

- 2.1.1 Óptica de ondas
- 2.1.2 Óptica geométrica

#### 2.2 Propagación de ondas – Ecuaciones de Maxwell

- 2.2.1 Ecuación de onda en el vacío
- 2.2.2 Ondas en medios dieléctricos

#### 2.3 Condiciones de frontera

#### 2.4 Teorema de Bloch

### **3. MÉTODO DE EXPANSIÓN DE ONDAS PLANAS**

#### 3.1 Algoritmo del método de ondas planas en 1D

- 3.1.1 Vectores de la red recíproca y la zona de Brillouin
- 3.1.2 Expansión de Fourier de la función dieléctrica
- 3.1.3 Valores y vectores propios de una matriz

#### 3.2 Cálculo de estructuras de bandas para cristales fotónicos 1D

- 3.2.1 Resultados numéricos
- 3.2.2 Estructuras de bandas fuera de eje para PhC 1D

#### 3.3 Estructuras de bandas para cristales fotónicos en 2D y 3D

- 3.3.1 Algoritmo del método de ondas planas en 2D
- 3.3.2 Cálculo de estructuras de bandas para PhC 2D
- 3.3.3 Algoritmo del método de ondas planas en 3D
- 3.3.4 Cálculo de estructuras de bandas para PhC 3D

### **4. MÉTODO DE LA ECUACIÓN INTEGRAL**

#### 4.1 Consideraciones preliminares

- 4.1.1 Los campos electromagnéticos
- 4.1.2 Teorema integral de Green
- 4.1.3 Las funciones fuente
- 4.1.4 Discretización de las ecuaciones integrales
- 4.2 Problemas sujetos a condiciones de frontera
  - 4.2.1 Ecuación de Laplace
  - 4.2.2 Ecuación de Helmholtz
- 4.3 Aplicación a cristales fotónicos en 2D
  - 4.3.1 Cálculo de estructura de bandas para PhC 2D
- 4.4 Propagación del campo electromagnético
  - 4.4.1 Guías de ondas
  - 4.4.2 Sistemas periódicos

## 5. METAMATERIALES Y ESTRUCTURAS PLASMÓNICAS

- 5.1 Introducción
  - 5.1.1 Veselago y el medio izquierdo
  - 5.1.2 Refracción negativa en una interface plana
  - 5.1.3 Dieléctricos artificiales
  - 5.1.4 Permitividad y permeabilidad negativa
- 5.2 Fundamentos principales de los metamateriales izquierdos
  - 5.2.1 Lateralidad izquierda desde las ecuaciones de Maxwell
  - 5.2.2 Condiciones de entropía en medios dispersivos
  - 5.2.3 Condiciones de frontera
  - 5.2.4 Efectos en medios izquierdos
- 5.3 Plasmones-polaritones de superficie
  - 5.3.1 Propiedades del plasmón-polaritón de superficie
  - 5.3.2 Plasmón-polaritón en una superficie plana
  - 5.3.3 Resonancia de un plasmón en un cilindro metálico
  - 5.3.4 Simetría de un plasmón-polaritón
  - 5.3.5 Bandas de plasmones en una red cristalina
- 5.4 Aplicaciones de metamateriales y plasmones de superficie en cristales fotónicos
  - 5.4.1 Refracción negativa en cristales fotónicos
  - 5.4.2 Propiedades ópticas de estructuras plasmónicas en sistemas periódicos

### Bibliografía:

- [1] Charles Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, John Wiley & Sons, 1996.
- [2] Igor A. Sukhoivanov and Igor V. Guryev, *Photonic Crystals: Physics and Practical Modeling*, Springer, 2010.
- [3] John D. Joannopoulos, Steven G. Johnson, Joshua N. Winn and Robert D. Meade, *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light*, Second Edition, Princeton University Press, 2008.
- [4] Kiyotoshi Yasumoto, *Electromagnetic Theory and Applications for Photonic Crystals*, CRC Press, 2006.
- [5] Said Zouhdi, Ari Sihvola, and Alexey P. Vinogradov, *Metamaterials and Plasmonics: Fundamentals, Modelling, Applications*, Springer, 2009.
- [6] G. V. Eleftheriades and K. G. Balmain, *Negative-Refractive Metamaterials: Fundamentals Principles and Applications*, John Wiley & Sons, 2005.
- [7] Ricardo Marqués, Ferran Martín and Mario Sorolla, *Metamaterials with Negative Parameters*, John Wiley & Sons, 2008.
- [8] Stefan Maier, *Plasmonics: Fundamentals and Applications*, Springer, 2007.

**Técnicas de enseñanza sugeridas**

Exposición oral	( X )
Exposición audiovisual	( X )
Ejercicios dentro de clase	( X )
Seminarios	( )
Lecturas obligatorias	( X )
Trabajos de investigación	( )
Prácticas en taller o laboratorio	( )
Prácticas de campo	( )
Otras:	( X )

**Elementos de evaluación sugeridos**

Exámenes parciales	( X )
Exámenes finales	( X )
Trabajos y tareas fuera del aula	( X )
Participación en clase	( X )
Asistencia a prácticas	( )
Otras:	( X )

**Metodología:** Habrá exposiciones por parte del profesor utilizando tanto el pizarrón como acetatos, diapositivas, cañón o videos. También los alumnos participarán en la exposición de temas que el profesor considere pertinentes. En todo caso se promoverá la discusión y participación de los estudiantes.

Libros de texto: Refs. [1], [2], [3] y [5].

Lecturas obligatorias se recomiendan:

- Estructuras de cristales y redes recíprocas de la Ref. [1].
- Fundamentos de óptica de ondas de la Ref. [2].
- Diseño de cristales fotónicos para aplicaciones de la Ref. [3].
- Análisis de refracción negativa en cristales fotónicos de la Ref. [6].

Bibliografía complementaria: Refs. [4], [6], [7] y [8].

**Evaluación:**

Se evaluará con un porcentaje de ponderación del 50% de los exámenes parciales, el 10% de un examen final, el 20% de los trabajos y tareas, el 10% de la participación en clase, y el 10% del reporte de las lecturas obligatorias. Todos estos elementos deberán retroalimentar la práctica docente para mejorar la eficiencia y disminuir la reprobación.