

TÍTULO: Magnetismo y Materiales Magnéticos			
AÑO: 2024	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS:	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 40 horas de teoría y 10 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

La Física del Estado Sólido se ha revelado como una disciplina fundamental para el desarrollo de la tecnología actual. En particular, el conocimiento de las propiedades magnéticas en diversos materiales permitió, por ejemplo, el avance de la industria electrónica utilizando materiales con magnetorresistencia gigante o la construcción de electroimanes de campos magnéticos altos y también poderosos motores DC sin disipación, a partir de superconductores. Actualmente, el avance de las técnicas de caracterización de materiales permite diseñar dispositivos en escalas nanométricas, lo que abre un nuevo espectro de aplicaciones tecnológicas en las que el magnetismo y el comportamiento de los electrones y su espín siguen jugando un papel fundamental.

Los tópicos que incluye este curso cubren las áreas de materiales magnéticos, nanomagnetismo, spintrónica, sistemas de baja dimensión, y semiconductores magnéticos, con un especial énfasis en técnicas de medición y uso de grandes instrumentos.

El curso está dirigido principalmente a Estudiantes de posgrado de Física, Química, Ingeniería y Ciencia de Materiales. Jóvenes investigadores y profesionales de apoyo de centros de investigación, el mismo abarca amplios aspectos del magnetismo desde la física fundamental hasta los nuevos materiales magnéticos aplicados a dispositivos y tecnologías, y los últimos avances en investigaciones en el área.

OBJETIVOS

Como objetivo, se espera lograr el conocimiento de técnicas experimentales y teóricas usadas en el estudio de materiales magnéticos, nanomagnetismo, spintrónica, sistemas de baja dimensión y semiconductores magnéticos.

Se espera que los participantes puedan profundizar en los fundamentos básicos del magnetismo y en los temas de investigación que se están desarrollando en la actualidad constituyendo el curso un aporte a la formación y difusión del magnetismo, tanto en el aspecto teórico como el experimental y que permita dotar a los alumnos de conocimientos para un mejor aprovechamiento de las capacidades instaladas tanto en sus instituciones de pertenencia como en otras instituciones. Además, los temas del curso están enfocados tanto a técnicas específicas como a aspectos teóricos, buscando la generación de nuevos usuarios calificados de estas técnicas con la consecuente generación y/o fortalecimiento de líneas de investigación.

PROGRAMA

Unidad I: Espintrónica y láminas delgadas

El objetivo de esta unidad es brindar los conocimientos básicos de espintrónica en láminas delgadas

Parte I

- 1.- Dinámica de la magnetización y resonancia ferromagnética en láminas delgadas.
- 2.- Corrientes de carga y corrientes de spin.

3.- Efecto Hall de Spin inverso y Efecto Hall de Spin.

Parte II

1.- Técnicas de bombeamiento de espín y detección de corrientes de espín en láminas delgadas.

2.- Efecto Rashba-Eldelstein y Efecto Espin Seebeck

3.- Espintrónica con materiales semiconductores. Espintrónica con materiales metálicos.

4.- Espintrónica con material antiferromagnético.

5.- Computadores espintrónicos. Perspectivas. Espintrónica con magnones.

Unidad II: Aleaciones Heusler y semi-Heusler: Teoría y Experimentos

Esta unidad tiene como objetivo introducir conceptos generales sobre las aleaciones Heusler y semi-Heusler. El propósito es proporcionar una comprensión de los temas fundamentales de las aleaciones Heusler utilizando herramientas matemáticas lo más simples posible. Se revisarán los modelos básicos y propiedades físicas de las aleaciones Heusler, utilizando AlCu_2Mn y TiNiSn como ejemplos principales.

1.- Introducción

2.- Aleaciones Heusler

2.1 Aleaciones semi-Heusler, 2.2 Aleaciones Heusler, 2.3 Estructura cristalina y ordenamiento atómico, 2.4 Estructura electrónica, 2.5 Estructura magnética

3. Aleaciones Heusler en dispositivos para la espintrónica 3.1 Dispositivos de magnetorresistencia 3.2 Inyección de espín 3.3 Espintrónica y skyrmion

4. Preparación de aleaciones Heusler y semi-Heusler

4.1 Preparación de la aleación a partir de sus componentes 4.2 Preparación de películas delgadas 4.3 Medición de las propiedades de transporte eléctrico 4.4 Medición de las propiedades magnéticas.

5. Resumen y Perspectivas

5.1 Aplicaciones actuales y futuras cercanas 5.2 Propiedades topológicas de las aleaciones Heusler

Unidad III: Cálculos micromagnéticos en simetría cilíndrica

Esta unidad tiene como objetivo proporcionar una visión básica de la Teoría del Continuo como herramienta para abordar cálculos micromagnéticos para muestras ferromagnéticas. En esta unidad se aprenderá a resolver problemas que involucran nanohilos y nanotubos magnéticos utilizando cálculos analíticos. Otro objetivo de esta unidad es que los alumnos sean capaces de reproducir resultados previamente publicados, que les permita iniciar la investigación en un problema propio usando elementos avanzados de micromagnetismo. El curso será impartido mediante clases teóricas. Además, se considera la exposición de los alumnos sobre algunos artículos seleccionados.

1. Micromagnetismo básico

a. Energía de Zeeman

b. Energía de intercambio

c. Energía magnetostática

- i. Esfera físicamente pequeña
- ii. Campo demagnetizante
- d. Energía de anisotropía
 - i. Anisotropía uniaxial
 - ii. Anisotropía cúbica
 - iii. Anisotropía en simetría ortorrómbica
 - iv. Anisotropía superficial
- e. Energía magnetoelástica y magnetoestricción
- 2. Elementos de micromagnetismo
 - a. Ecuación de movimiento
 - 3. Cálculo de las energías involucradas
 - a. Autoenergías de partículas cilíndricas
 - b. Diagramas de fase magnéticos
 - 4. Energías de interacción magnetostática
 - 5. Modos de reversión de la magnetización (energía y ancho de pared)
 - a. Pared de dominio tipo transversal
 - b. Pared de dominio tipo vórtice
 - 6. Cálculo de la coercividad/nucleación

Unidad IV: Magnetismo en sólidos bajo la lupa de la Espectroscopia Mössbauer

El Objetivo de esta unidad es abordar el magnetismo en sólidos mediante la caracterización utilizando Espectroscopia Mössbauer.

- 1. Efecto Mössbauer: absorción resonante nuclear, eventos libres de retroceso
- 2. Factor de Lamb-Mössbauer y su dependencia con la temperatura
- 3. Isótopos Mössbauer
- 4. Espectros Mössbauer
- 5. Dispositivo experimental
- 6. Ajuste de espectros
- 7. Interacciones hiperfinas
- 8. Parámetros hiperfinos: corrimiento isomérico, desdoblamiento Cuadrupolar y campo magnético hiperfino
- 9. Interacciones combinadas (eléctrica + magnética)
- 10. Fenómenos de relajación: superparamagnetismo
- 11. Ejemplos

PRÁCTICAS

Actividades prácticas

Experimentos de magnetotransporte sobre aleaciones Heusler

Medición de propiedades magnéticas en aleaciones Heusler

Se realizarán utilizando la infraestructura y el equipamiento del laboratorio de Ciencia de Materiales bajo la supervisión del Dr. Marcos Oliva

Evaluación: Se prevé, luego de finalizado el curso, la elaboración de una presentación sobre

temas específicos que serán propuestos por los docentes.

BIBLIOGRAFÍA

Unidad I

- "Materiais e dispositivos eletrônicos", Sergio M. Rezende, 4ta. edición ISBN 978-85-7861-359-4. Editora Livraria da Física, (2015).
- "Spin Hall Effect" M. I. Dyakonov and V. I. Perel, Pis'ma Zh. Eksp. Teor. Fiz. 13, 657 (1971) [Sov. Phys. JETP Lett. 13, 467 (1971)].
- "Spin hall effect," Hirsch, Physical Review Letters, vol. 83, nº 9, p. 1834, 1999.
- "Spin to charge current conversion by inverse spin Hall effect in the metallic antiferromagnet Mn₂Au at room temperature", M. Arana et al. Physical review. B, Condensed matter 98(14) (2018)
- "Fundamentals of Magnonics", S. M. Rezende, Publisher Springer Springer Nature Switzerland AG 2020, ISBN: 978-3-030-41316-3, Series ISSN 0075-8450, Series E-ISSN 1616-6361, Edition Number 1 (2020).

Unidad II

- Spintronics: A Challenge for Materials Science and Solid-State Chemistry, C. Felser et-al., Angew. Chem. Int. Ed. 2007, 46, 668 – 699.
- I. Galanakis, "Heusler alloys", Springer Series in Materials Science 222, DOI 10.1007/978-3-319-21449-8_1

Unidad III

- A. Aharoni, Introduction to the Theory of Ferromagnetism, 2nd Edición, Clarendon Press (2007).
- P. Landeros, J. Escrig, D. Altbir, D. Laroze, J. D'Albuquerque e Castro, P. Vargas, Physical Review B 71, 094435 (2005).
- P. Landeros, J. Escrig, D. Altbir, M. Bahiana, J. D'albuquerque e Castro, Journal of Applied Physics 100, 044311 (2006).
- J. Escrig, P. Landeros, D. Altbir, E. E. Vogel, P. Vargas, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 308, 233 (2007).
- J. Escrig, P. Landeros, D. Altbir, E. E. Vogel, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 310, 2448 (2007).
- D. Laroze, J. Escrig, P. Landeros, D. Altbir, M. Vázquez, P. Vargas, Nanotechnology 18, 415708 (2007).
- J. Escrig, D. Altbir, M. Jaafar, D. Navas, A. Asenjo, M. Vázquez, Physical Review B 78, 184429 (2007).
- J. Escrig, S. Allende, D. Altbir, M. Bahiana, Applied Physics Letters 93, 023101 (2008).
- P. Landeros, S. Allende, J. Escrig, E. Salcedo, D. Altbir, E. E. Vogel, Applied Physics Letters 90, 102501 (2007).

Unidad IV

- N. N. Greenwood, T. C. Gibb, Mössbauer Spectroscopy, Chapman and Hall Ltd. (1971).

- S. Mørup, Paramagnetic and Superparamagnetic Relaxation Phenomena studied by Mössbauer Spectroscopy, Polyteknisk Forlag, Lyngby (1981)
- G. J. Long, F. Grandjean, Mössbauer Spectroscopy Applied to Magnetism and Materials Science, Springer, eBook ISBN 978-1-4899-2409-4 (2013).

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

El estudiante debe asistir al 80 % de las horas teóricas y realizar el 100% de los prácticos propuestos.

Al finalizar se evaluarà mediante un examen individual e integrador de los contenidos del curso.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos básicos sobre Magnetismo y Materiales Magnéticos