

Interferometría con ondas de espín en materiales microestructurados

Giuseppe Pirruccio y César Ordóñez

Objetivo: Fabricar un interferómetro de Mach-Zehnder de tamaño micrométrico en películas delgadas de materiales magnéticos para estudiar y controlar la propagación de ondas de espín.

Descripción: En este curso los estudiantes fabricarán un interferómetro de Mach-Zehnder micrométrico en la superficie de una película de CoFeB o YIG y estudiarán la propagación y la interferencia de ondas de espín. La fabricación se llevará a cabo por medio de un láser pulsado explotando el fenómeno de la ablación laser.

Práctica completa

Introducción: Las ondas de espín son excitaciones que se dan en materiales magnéticos. Para producirlas se empieza con el aplicar un campo magnético externo a un material magnético (en nuestro caso CoFeB o YIG) el cual alinea en una sola dirección los espines del material. La excitación de la onda de espín corresponde a una perturbación de esta configuración de espín inicial. Esta perturbación inicial se da por medio de antenas tipo microcinta a las cuales se aplican microondas en un cierto rango de frecuencias. La onda se propaga por medio de interacción entre los espines adyacentes hasta alcanzar una segunda antena de microcinta puesta a una cierta distancia de la primera. Ésta convierte la onda de espín en microondas las cuales son detectadas. De esta forma se obtiene la transmisión de la onda de espín a través del material magnético. Por su carácter electromagnético y cuántico, las ondas de espín se pueden describir clásicamente como ondas electromagnéticas híbridadas con el campo de magnetización del material, o cuánticamente como cuasi-partículas conocidas como magnones las cuales cuantizan la onda.

Como por varios fenómenos ondulatorios, la relación de dispersión (y consecuentemente el espectro de transmisión) de las ondas de espín puede ser modificada y controlada utilizando microestructuras resonantes que permitan la selección de la frecuencia y del modo de la onda que se propaga, así como el control de la intensidad de la onda. Si la película magnética presenta una corrugación regular en su superficie se pueden observar bandas prohibidas y bandas permitidas en frecuencia las cuales son sintonizables por medio de los parámetros geométricos de la corrugación. Este fenómeno está basado en el teorema de Bloch. Estas corrugaciones unidimensionales micrométricas generan lo que se denomina cristal magnónico, lo cual es un elemento fundamental en el campo de la espintrónica. En analogía con lo que se hace con circuitos fotónicos, para propagar la onda de espín en la dirección y con el modo pre-establecido se usan guías de ondas. Para procesar la información de una onda de espín se puede usar un interferómetro de Mach-Zehnder integrado en la misma superficie y controlado ópticamente externamente. Para amplificar la onda de espín, se puede usar un resonador micrométrico

integrado, lo cual actúa como el análogo de un resonador tipo Fabry-Perot en los circuitos fotónicos.

Durante este curso utilizaremos un laser pulsado de femtosegundo de alta energía para ablacionar la superficie con precisión submicrométrica.

Durante las diferentes fases del experimento los estudiantes serán acompañados por los profesores del curso o por el técnico académico asociado a los dos laboratorios involucrados.

Actividad 1: Familiarizarse con el funcionamiento del laser pulsado presente en el Laboratorio de Nanofotónica Avanzada.

Actividad 2: Encontrar la energía por pulso necesaria y el numero de pulsos que se necesitan para ablacionar el material magnético.

Actividad 3: Familiarizarse con un código Matlab proporcionado por los profesores del curso con el cual los estudiantes generarán una microestructura en la superficie de una película delgada de CoFeB obtenida por sputtering o YIG. Este código controla tanto el laser pulsado como dos motores de paso que escanean la muestra.

Actividad 4: Observar el resultado al microscopio óptico y medir los parámetros geométricos de la estructura fabricada.

Actividad 5: Medir el espectro de transmisión de las ondas de espín que se propagan en la superficie de la película delgada antes de micro-estructurarla.

Actividad 6: Medir el espectro de transmisión de las ondas de espín que se propagan en la superficie de la película delgada después de haberla micro-estructurada.

Actividad 7: Entender el resultado y escribir un reporte sobre los experimentos.

Bibliografía

- 1) <https://www.intechopen.com/chapters/50866>
- 2) J. Appl. Phys. 126, 083902 (2019);
- 3) <https://www.spectroscopyonline.com/view/femtosecond-vs-nanosecond-laser-pulse-duration-laser-ablation-chemical-analysis>
- 4) Y. García Jomaso, et al., Spin waves dispersion relation engineering by magnonic crystals with arbitrary symmetry, J. Appl. Phys. 133, 063903 (2023)
- 5) M. Swyt, et al., *Magnonic notch filter based on spin wave caustic beams*, Appl. Phys. Lett. **124**, 112410 (2024).