

ESPECTROSCOPIA MAGNETO-ÓPTICA EN LAMINAS DELGADAS AMORFAS

DE LA ALEACION  $\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x}$

C.N. Afonso, F. Briones, S. Girón, A.R. Lagunas

- Instituto de Física de Materiales, C.S.I.C. Serrano 144. Madrid.
- Lab. de Magnetismo, Fac. Física, Universidad Complutense. Madrid.

INTRODUCCION

La espectroscopía de modulación magneto-óptica comienza a considerarse como una nueva técnica experimental para el estudio de la difícil estructura electrónica de los metales y aleaciones ferromagnéticas (1) (2). Sobre todo resulta eficaz en la identificación de transiciones interbanda y polarización de spin de los electrones de conducción. Al mismo tiempo pone de manifiesto efectos de anisotropía asociados a puntos determinados de las zonas de Brillouin y desplazamientos relativos de las subbandas de spin como consecuencia del canje (3).

Este trabajo presenta los primeros resultados de la aplicación de la espectroscopía m-o a los materiales ferromagnéticos amorfos, en particular las aleaciones  $\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x}$  preparadas en forma de lámina delgada por pulverización catódica.

La evolución de las propiedades m-o de las aleaciones amorfas con concentraciones crecientes de Si a partir de las del Fe puro y las mismas aleaciones en fase cristalina se ha seguido sobre medidas de la variación espectral de dos efectos m-o distintos: el Kerr transversal, que permite determinar los elementos no diagonales del tensor de conductividad óptica del metal con gran fiabilidad (4) (5), y el efecto m-o de simetría par, dependiente de los elementos diagonales del tensor, y originado en la anisotropía del cristal según la interpretación de Krinchik (6).

Desde el punto de vista tecnológico, la medida del efecto m-o transversal en las aleaciones amorfas tiene considerable interés para sistemas de memoria m-o y anillos laser giroscópicos (7).

METODO EXPERIMENTAL

Las láminas amorfas de  $\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x}$  se han preparado en un sistema de pulverización catódica tipo triodo, utilizando dos cátodos independientes de Fe y Si. La disposición geométrica de dichos cátodos es la indicada en la Fig. 1 y fue diseñada cuidadosamente de manera que se garantiza la homogeneidad de la muestra en una región de  $1 \text{ cm}^2$ .

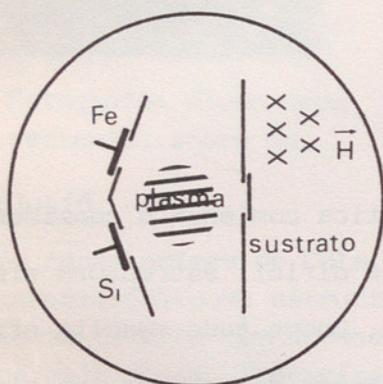


Fig. 1

Mediante un calibrado previo de la velocidad de pulverización en función de las tensiones de polarización de ambos cátodos, se puede controlar la composición de las láminas. El intervalo de trabajo ha sido  $0.8 \geq x \geq 0.6$  ya que en él la aleación es amorfa y ferromagnética a temperatura ambiente.

Las láminas son magnéticamente blandas, con campos coercitivos del orden de 1-3 Oe y presentan una anisotropía uniaxial inducida en su plano por el campo magnético (80 Oe) utilizado para concentrar axialmente el plasma de Argón a  $3 \times 10^{-4}$  torr.

La estructura "amorfa" de las muestras se ha estudiado por microscopía electrónica y difracción de rayos X. En el microscopio, con un portamuestras de calentamiento, se ha seguido el proceso de cristalización de las láminas; el cambio de fase tiene lugar con un crecimiento radial de grandes cristales a partir de un punto de nucleación, de manera análoga a la observada por otros autores (8) para el sistema  $\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x}$ . En un estudio paralelo llevado a cabo sobre las propiedades de transporte de esta aleación, se ha registrado el salto irreversible de la resistividad durante el cambio de fase, coincidiendo las temperaturas de cristalización obtenidas por ambos métodos dentro del rango 300-400 °C.

Las medidas de los efectos magneto-ópticos se han llevado a cabo con técnicas de detección síncrona en fase, como se ha descrito previamente (9). Para la medida de los efectos m-o con simetría par, se disponen dos pares de carretes de Hemholtz de forma que los campos magnéticos que crean sean perpendiculares; si ambos campos son sinusoidales y desfasados  $\pi/2$ , el campo resultante gira en el plano de

la muestra. Eligiendo la amplitud de forma que la lámina esté saturada en todas direcciones, la imanación sigue al campo y la transmitividad (reflectividad) de la muestra varía de forma sinusoidal con una frecuencia doble de la del campo; el valor pico-pico de esta modulación será  $I_{\parallel} - I_{\perp}$  donde  $I_{\parallel}$  es la transmitividad (reflectividad) de la muestra cuando la imanación es paralela al vector eléctrico de la onda incidente y  $I_{\perp}$  cuando es perpendicular.

En la medida del efecto Kerr transversal se aplica un campo magnético alterno perpendicularmente al plano de incidencia de la luz y se sincroniza el detector en fase a la frecuencia del campo.

### RESULTADOS

La amplitud del efecto magneto-óptico Kerr transversal (MOKE) se ha medido en el intervalo de energías 1.2-5 eV para tres ángulos de incidencia de la luz ( $50^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  y  $70^{\circ}$ ). En la Fig. 2 se representa la amplitud del MOKE medido con un ángulo de incidencia de  $70^{\circ}$  en cinco muestras amorfas de  $\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x}$  de diferente composición. En la Fig. 3 se representan los resultados obtenidos después de recocer las muestras en vacío a  $500^{\circ}\text{C}$ , temperatura a la cual todas han pasado a la fase cristalina; se incluyen los resultados obtenidos en una lámina policristalina de Fe que reproducen los resultados publicados previamente por Krinchik (10). Para otros ángulos de incidencia se han obtenido resultados análogos; en la Fig. 4 se representan los obtenidos a  $50^{\circ}$  en 3 muestras diferentes tanto en la fase amorfa (línea de trazos) como en la cristalina (línea continua). Un análisis de las Figs. 3 y 4 muestra como el espectro magneto-óptico medido en las láminas cristalizadas evoluciona gradualmente al espectro del Fe, a medida que el contenido en Fe aumenta.

En la Fig. 5 se representa la amplitud del efecto magneto-óptico par medido en la luz transmitida por tres láminas amorfas de  $\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x}$  ( $x = 0.67$ ) de distinto espesor y por una de ellas después de cristalizada.

### CONCLUSIONES

Los presentes resultados experimentales aportan nuevos datos al actual conocimiento, todavía rudimentario, del ferromagnetismo en materiales amorfos. Los

más importantes podrían ser:

- El estado "amorfo" no altera sustancialmente el comportamiento espectral, tanto de los elementos no diagonales (efecto Kerr  $m-o$ ) como de los diagonales (efecto par), como se deduce de la comparación de las curvas obtenidas en el estado amorfo y en el cristalino para distintas composiciones. Ello implica que las transiciones interbanda dependientes de la imanación no se modifican apreciablemente en el estado amorfo. Con ello se comprueba la constancia de la estructura electrónica a nivel local y el carácter también local de la interacción magneto-óptica a frecuencias ópticas.
- La estructura espectral de los efectos  $m-o$  en las aleaciones cristalinas  $Fe_x Si_{1-x}$  parece evolucionar gradualmente a partir de la del Fe cristalino a medida que aumenta la concentración de Si ensanchándose y desplazándose pero conservando las estructuras más importantes asociadas al ión Fe.
- Los efectos de simetría par no se anulan en absoluto en el estado amorfo. De acuerdo con la interpretación microscópica usualmente aceptada (3) la anisotropía cristalina se conserva entonces a nivel local en la fase amorfa.
- Un resultado general es que la amplitud de los efectos  $m-o$  es siempre mayor en el estado amorfo que en el cristalino (a pesar del aumento en el momento magnético por átomo observado en las concentraciones  $X \geq 0.8$  después de la cristalización). Una posible interpretación de este hecho es que en la fase amorfa la supresión, al menos en parte, del "quenching" del momento orbital por disminución de la simetría cristalina, da lugar a un aumento de la interacción spin-órbita y con ella a un reforzamiento de los efectos magneto-ópticos. Este punto podría confirmarse con medidas detalladas de la razón giromagnética en ambas fases. La interpretación definitiva, sin embargo, está pendiente de la determinación de las constantes ópticas de estas aleaciones.

#### REFERENCIAS

- (1) J.L. Erskine, Physica 89 B, 83 (1977)
- (2) M.B. Stearns, Phys. Rev. B8, 4383 (1973)
- (3) C.N. Afonso, Tesis, Univ. Complutense Madrid (1979)
- (4) F. Briones, Tesis, Univ. Complutense, Madrid (1972)

- (5) G.S. Krinchik y V.A. Artemjev, Sov. Phys. JETP 26, 1080 (1968)
- (6) G.S. Krinchik, E.A. Ganshina, Sov. Phys. JETP 38, 983-7 (1974)
- (7) J.J. Krebs, et al, J. Appl. Phys. 50 (3) 2449 (1979)
- (8) P.H. Mangin, et al., Phil. Mag. 36, 643 (1977)
- (9) C.N. Afonso, F. Briones, J.L. Vicent, J. Phys. D, 10, 753 (1977)
- (10) G.S. Krinchik, Gushchin, V.S., JETP Letters 10, 24-6 (1969)

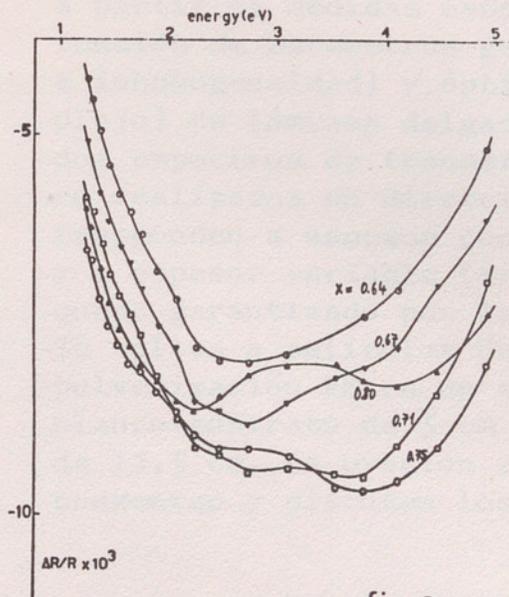


fig 2

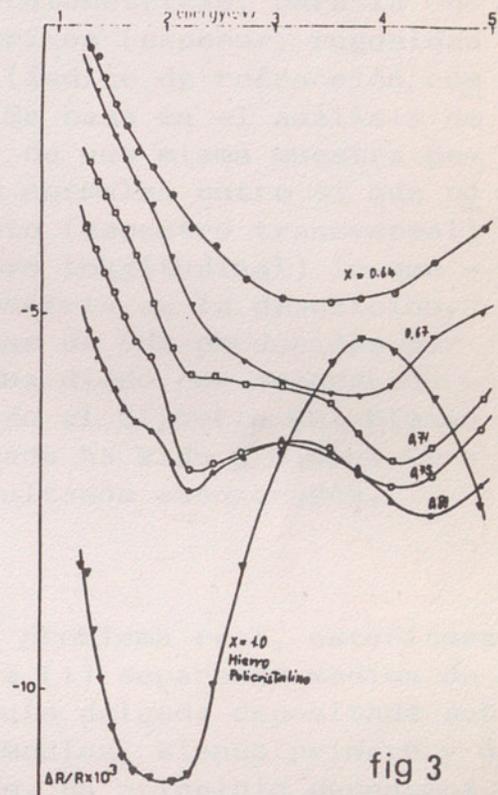


fig 3

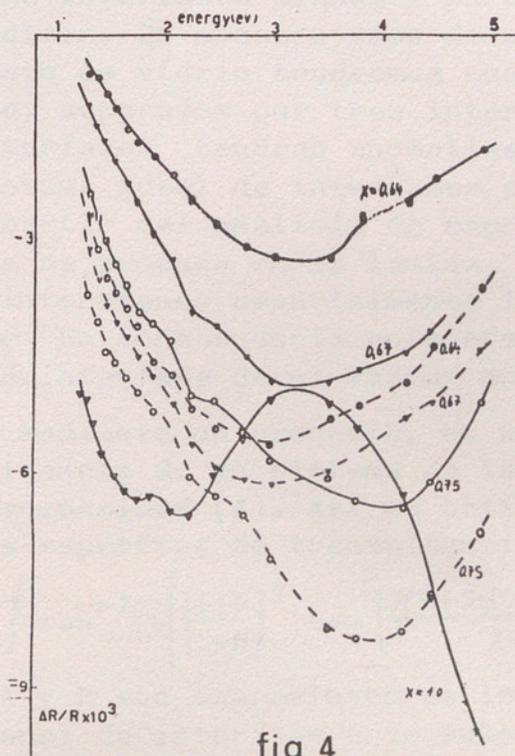


fig 4

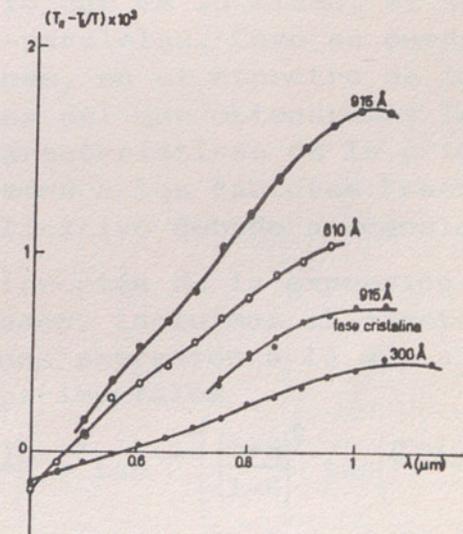


fig 5

Efecto m-o de simetría por Amorfo  $\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x}$   $x=0.08$  en transmisión.