

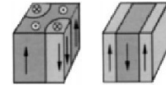
Evaluación

1) a) Usando los valores de K_{u1} y K_{u2} graficados en el paper de Kittel1949* para el Co (Fig. 19c), interpolar K_{u1} y K_{u2} cada 1°C y determinar la dirección de fácil magnetización en el intervalo de temperatura $0^\circ\text{C} \leq T \leq 400^\circ\text{C}$. Obtener curvas de E_K vs. θ en el intervalo $0 \leq \theta \leq 2\pi$ para valores de T equiespaciados en 50°C comenzando en 0°C . ¿Cuáles son las direcciones fáciles a $T = 250^\circ\text{C}$?

b) Calcular, en función del diámetro de una NP esférica de Co, la energía necesaria para crear una pared que la divide en 2 dominios semiesféricos de igual volumen, a 293 K y a 673 K. Para ello obtener de la literatura valores adecuados de las magnitudes A (stiffness) y Ms (esta última en función de T). Calcular el espesor de la pared a ambas temperaturas y compararla con los diámetros de NP empleados, discutir.

c) Usando los valores de la energía reducida $\epsilon_d = e_d/K_d$ ($e_d = E_d/V$, siendo E_d la energía magnetostática y V el volumen de NP) para un monodominio y un bidominio (curso, pág. 96) obtener el diámetro máximo D_{SD} del monodominio esférico a las temperaturas discretas mencionadas en a). Comparar con el resultado obtenido usando la expresión de Kittel (curso, misma pág.)

d) Considerar NPs cúbicas de Co. Estimar los tamaños límite para una NP monodominio, bidominio, tridominio: a) con dos dominios “cuarto de cilindro” y b) con tres dominios paralelos; en ausencia de campo aplicado, a las temperaturas discretas indicadas en a).



e) Volver a considerar NPs monodominio esféricas de tamaño máximo D_{SD} a cada una de las temperaturas discretas. Calcular $\sigma = \text{abs}(K_{u1} + K_{u2})V_{SD}/k_B T$ y verificar si los valores de σ son razonables como para aplicar el modelo de Stoner-Wolfarth. Discutir este punto.

Considerar sólo las energías de anisotropía E_K y Zeeman E_z . Escribir las expresiones de E_K , e_K , ϵ_K y E_{tot} , e_{tot} y ϵ_{tot} . Las cantidades e y ϵ son la densidad volumétrica de energía y la energía reducida $e/\text{abs}(K_{u1} + K_{u2})$, respectivamente. Volver a graficar E_K vs. θ (inciso a) para $H_{\text{ap}} = 1000$ Oe.

f) Graficar el campo de anisotropía $H_K = 2 \text{abs}(K_{u1} + K_{u2})/\mu_0 M_s$ para las temperaturas discretas indicadas en a). Considerar ahora sólo las temperaturas 0°C y 400°C y usando el procedimiento introducido en el curso obtener curvas de m vs. h , para $0 \leq h \leq 1$, para valores del ángulo entre H y el eje z (K), $\eta = 0, \pi/18, \pi/4, 4\pi/9$ y $\pi/2$, donde $m = M/M_s$ y $h = H/H_K$. Establecer los puntos (h, m) como aquellos para los cuales se satisface $d\epsilon_{\text{tot}}/dm = 0$ y corresponden a estados de equilibrio estable. Discutir los resultados.

g) Considerar NPs esféricas de Co de 6.7 nm de diámetro. Establecer $M_s = 1400$ emu/cm³, $K_{u1} = 4.5 \times 10^6$ erg/cm³, $K_{u2} = 2.05 \times 10^6$ erg/cm³. Verificar si se verifica el límite $\sigma \gg 1$ de barrera alta estudiado por Brown (Brown1979**). Suponer los ejes fáciles de NP están orientados en la dirección del campo aplicado. Usar como constante de atenuación $\lambda = 100$ 1/s para el Co (ecuación de Landau-Lifschitz-Gilbert). Verificar que v_{ij}^0 sea del orden de magnitud esperado (comentar). Calcular las frecuencias de salto ν_{12} y ν_{21} y el tiempo de relajación τ a temperatura ambiente para campo aplicado entre $H_{\text{ap}} = 0$ y $H_{\text{ap}} = 1000$ Oe y para temperatura entre 200 y 300 K para un campo aplicado de 50 Oe. Buscar en la literatura valores de λ y comparar.

h) Calcular la temperatura de bloqueo T_b de las NPs para $H_{\text{ap}} = 0$ Oe, 50 Oe y 1000 Oe, para el caso $\tau_{\text{exp}} = 100$ s. Calcular la susceptibilidad de equilibrio (de bajo campo) χ de las NPs en función de la temperatura; para ello tener en cuenta la dependencia de M_s con T. Graficar χ^{-1} en función de T/M_s^2 .

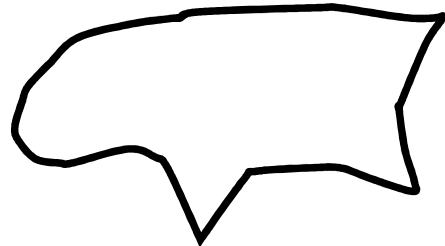
i) Suponer que las NPs están dispersas en un medio sólido no magnético en muestras con fracción de volumen $x_{mV} = 0.16$. Hay dos muestras con estructuras diferentes, en una las NPs están distribuidas cuasi-uniformemente, en la otra están agregadas en clusters. En este último caso puede suponerse que la región entre clusters no contiene NPs, que la fracción de volumen de NPs en los clusters es $x_{cV} = 0.48$ y que los clusters están orientados aleatoriamente. Suponiendo $\varphi = \varphi_c = 0.7$ obtener las distancias relativas Υ (en ambos casos) y Υ_c .

j) Se prepara, de cada muestra, un espécimen prismático de dimensiones $l_x = 4$ mm, $l_y = 1$ mm, $l_z = 0.1$ mm. Si se midiera la susceptibilidad de equilibrio κ de los mismos en las direcciones x , y , z , ¿qué resultados esperarías para κ^{-1} vs. T/Ms^2 ? Graficar las susceptibilidades que se medirían en las direcciones x , y , z , junto con la de NP no interactuante, para ambas dispersiones. ¿Cómo debería ser la relación de aspecto de una muestra con forma de prisma cuadrado para que a RT κ_x difiera de χ en no más del 5%?

k) Considerar prismas de Co dimensiones $l_x = l_y$, $l_z = 3 l_x$, (relación de aspecto $R = l_z/l_x = 3$) paralelos entre sí, distribuidos en una membrana circular de espesor l_z con su eje mayor perpendicular a la misma y formando un cristal bidimensional ordenado, cuadrado simple, de parámetro de red d , siendo el radio de la membrana varios órdenes de magnitud superior a su espesor. El eje hexagonal de la estructura cristalina del Co está en la dirección z . Considerar dos casos: (i) temperaturas de 0 °C y $l_x = 5$ nm; (ii) 400 °C y $l_x = 2$ nm. Analizar los valores de $\sigma = K_{ef}V_p/k_B T$ en cada caso y decidir si los prismas están bloqueados magnéticamente o no (utilizar los valores correspondientes de K_{u1} y K_{u2} y de M_s ; tener en cuenta que los prismas tienen una anisotropía efectiva $K_{ef} = K_{u1} + K_{u2} + K_{forma}$) Determinar el valor crítico l_x/d (suponiendo que se varía sólo d) para que el eje fácil pase de la dirección z al plano xy , en cada uno de los casos.

Para determinar K_{forma} obtener los factores desmagnetizantes de un prisma***. Para el caso (ii) calcular las susceptibilidades de equilibrio χ_x y χ_z usando las expresiones (3) y (4)**** con $K = K_{ef}$.

2) Considerar un trozo de película delgada de $Fe_{20}Ni_{80}$ (permaloy) cuya superficie tiene la forma mostrada en la figura. Obtener de la literatura valores de la anisotropía magnetocristalina K del material. Usando el estimador $Q = K/K_d$ estimar si se trata de un caso de alta o baja anisotropía y justificar si es aceptable usar el procedimiento de van den Berg (curso, págs. 111-120) para obtener una estructura de dominios probable. Dibujarla e indicar las direcciones de la magnetización sobre la superficie de la película. Proponer al menos una estructura alternativa (aparte de la que resulta de invertir las magnetizaciones de cada dominio).



Discutir los resultados.

*Kittel, 1949, RevModPhys 21, 541

**Brown, 1979, Transactions on Magnetics, Vol. MAG-15, No. 5, September 1979

*** <http://www.magpar.net/static/magpar/doc/html/demagcalc.html>

****PRB 95, 134421 (2017).