

R₂Fe₁₄B(R=Dy,Er,Tm)화합물의 R-Fe 교환상호작용에너지

한국표준과학연구원 김윤배, 허진, 김창석

Exchange interaction of R-Fe in R₂Fe₁₄B(R=Dy,Er,Tm) compounds

KRISS Y.B.Kim J. Hur, C.S.Kim

1. 서론

희토류원소와 3d 천이금속은 다양한 강자성 금속간화합물을 이루며 영구자석, 광자기기록매체, 고자왜 재료 등에 응용되고 있다. 이들 화합물에서 Fe 부격자는 대체로 큰 자화와 높은 큐리온도의 특성을, 희토류부격자는 강한 결정자기이방성을 제공하며 두 부격자 사이에 강한 교환작용이 있을 경우 우수한 자기특성이 얻어진다. 부격자간의 교환작용에너지는 중성자회절, magnetic isotherm, magnetic ordering temperature, high field free powder법 등으로 결정 가능하다. 본 연구에서는 단결정 자화곡선을 이용하여 교환상호작용에너지를 결정하는 방법을 조사하였으며 새로운 분석법으로 활용될 수 있음을 제안하고자 한다.

2. 이론적배경

R, Fe 두개의 부격자로 이루어진 화합물이 자장 \vec{H} 중에 있을 때 자유에너지는 다음 식 (1) 과 같이 표현된다.

$$E = E_K^{Fe} + E_K^R + E_{RFe} + E_H \tag{1}$$

여기에서, E_K^{Fe} : Fe 부격자의 결정자기이방성에너지

E_K^R : R 부격자의 결정자기이방성에너지

E_{RFe} : R-Fe 부격자간 교환상호작용에너지

E_H : Zeeman 에너지

이다. 일축이방성 혹은 면이방성을 갖는 강자성계에서 자화곡란축 방향으로 자장을 가할 경우 자기모멘트는 용이축과 인가자장이 이루는 면상에서 회전하게 되며(1) 평형조건으로 부터 일축이방성(2) 및 면이방성에 관한 관계식 (2) 및 (3) 이 각각 얻어진다.

$$0 = 2K_{1Fe} \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} + 4 \left(\frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} \right)^3 (K_{2Fe} \pm K_{3Fe}) + \dots - M_{Fe}H + N_{RFe} M_{Fe} M_R \left(\frac{m - m_{Fe}}{M_R} - \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} \frac{\pm \sqrt{1 - (m - m_{Fe})^2 / M_R^2}}{\sqrt{1 - m_{Fe}^2 / M_{Fe}^2}} \right) \tag{3}$$

$$0 = (2K_{1Fe} + 4(K_{2Fe} \pm K_{3Fe}) + \dots) \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} - (4(K_{2Fe} \pm K_{3Fe}) + \dots) \frac{m_{Fe}^3}{M_{Fe}^3} + \dots + M_{Fe}H - N_{RFe} M_{Fe} M_R \left(\frac{m - m_{Fe}}{M_R} - \frac{m_{Fe}}{M_{Fe}} \frac{\pm \sqrt{1 - (m - m_{Fe})^2 / M_R^2}}{\sqrt{1 - m_{Fe}^2 / M_{Fe}^2}} \right) \tag{4}$$

식 (3) 및 (4) 를 이용하면 인가자장에 대한 부격자자화값 및 교환작용상수를 결정할 수 있다.

3. $R_2Fe_{14}B$ ($R=Dy,Er,Tm$) 의 R-Fe 교환작용상수

Fig.1 (a) 및 (b) 는 단결정 $Er_2Fe_{14}B$ 의 [001] 자화곡선을 분석하여 구한 Er 및 Fe 부격자의 자화과정을 나타낸 것이다. 각 부격자의 자화과정은 식 (4) 를 이용하여 계산하였으며 이때 Fe 부격자의 자기이방성은 $Y_2Fe_{14}B$ 의 실험 결과인 $K_{1Fe}=115$ J/kg [3] 를 인용하였다. 그림 (b) 에서 보는 바와같이 부격자간 교환에너지상수 N_{RFe} 를 적절하게 선택할 경우 정상적 자화과정을 만족하는 조건을 구할 수 있으며 이를 이용하여 N_{RFe} 를 결정할 수 있다. 표 1 은 이와같은 방법을 이용하여 구한 결과이다.

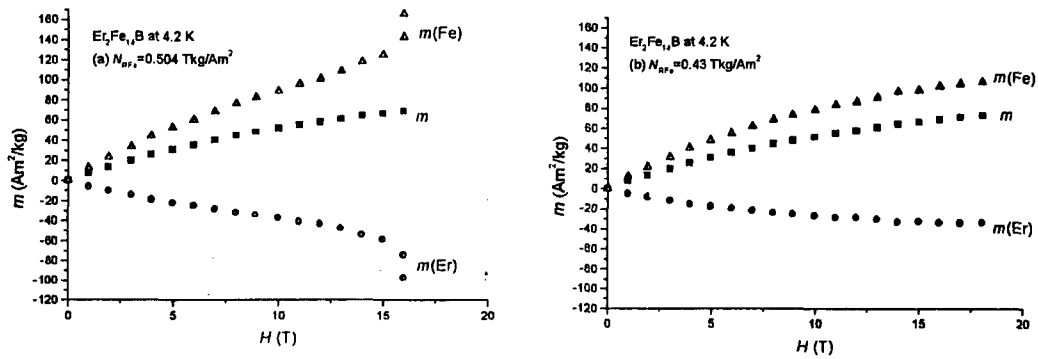


Fig.1 Sublattice magnetizations of $Er_2Fe_{14}B$ at 4.2 K. (a) $N_{RFe} = 0.504$ Tkg/Am² (b) $N_{RFe} = 0.43$ Tkg/Am².

Table. 1. Magnetic parameters applied to analysis and N_{RFe} of $R_2Fe_{14}B$ ($R=Dy,Er,Tm$) at 4.2 K.

$R_2Fe_{14}B$ ($R=$)	M_R^+	M_{Fe}^+	N_{RFe} (T/Am ² kg ⁻¹)	J_{RFe} (K)	
	(Am ² /kg)	(Am ² /kg)		this work	ref.[4]
Dy	98.4	155.7	0.9	10.6	9.7
Er	104.2	172.4	0.43	7.5	8.8
Tm	60.6	152.0	0.38	7.7	8.4

4. 참고문헌

- [1] Y.B. Kim and Jin Hanmin, J. Magn. Magn. Mater. 182 (1998) 55
- [2] Y.B. Kim and Jin Hanmin, J. Magn. Magn. Mater. (1998) in printing.
- [3] K.H.J. Buschow, in : Ferromagnetic Materials Vol. 4, eds. E.P. Wolfarth and K.H.J. Buschow (North-Holland, Amsterdam, 1988) p. 21.
- [4] J.P.Liu et. al. J. Magn. Magn. Mater. 132 (1994) 159.