

Mössbauer 분광법에 의한 $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ 의 연구

채광표 · 권우현 · 이영배

전국대학교 응용물리학과, 충북 충주시 단월동 380-701

(1999년 10월 30일 받음, 1999년 12월 15일 최종수정본 받음)

Spin-Peierls(SP) 전이 현상을 나타내는 $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ 를 제조하여 자기적 특성과 결정학적 특성을 알기위하여 x 선 회절, 자기감수율과 Mössbauer 스펙트럼을 측정 분석하였다. 결정구조는 직방정계(orthorhombic)였고 격자 상수는 $a=4.795 \text{ \AA}$, $b=8.472 \text{ \AA}$, $c=2.932 \text{ \AA}$ 이며, SP 전이 온도(T_{sp})는 13 K임을 알아냈다. 상온에서 Mössbauer 스펙트럼은 Fe^{3+} 이온에 의한 두 개의 Zeeman선과 한 개의 이중선이 중첩되어 나타났다. Ge 이온만을 Fe 이온으로 치환시켜 만든 시료의 Mössbauer 스펙트럼은 Zeeman 선을 나타내고, Cu 이온만을 Fe 이온으로 치환시켜 만든 시료의 Mössbauer 스펙트럼은 이중선을 나타내는 것으로 보아 각각의 선이 Ge와 Cu 자리로 치환되어 들어간 Fe 이온에 의한 것으로 생각 된다. 또한 T_{sp} 이하에서 Mössbauer 변수들의 불연속을 이중체가 형성되면서 나타나는 이온들의 위치 이동에 관련시켜 해석하였다. 본 시료의 Néel 온도는 715 K이고, Debye 온도는 팔면체 자리가 540 K, 사면체 자리가 380 K임을 알아냈다.

I. 서 론

Spin-Peierls(SP)전이 현상이 절연성 무기화합물인 CuGeO_3 에서 나타남이 발견된 이후 SP 전이에 관한 여러 연구가 활발하게 이루어지고 있다[1-3]. CuGeO_3 에서 $S=1/2$ 인 반강자성의 균일한 선형 사슬의 Cu^{2+} 스핀이 c 축을 따라 늘어서 있다가 SP전이 온도 이하에서 이중체가 된다. 즉 단일 바닥 상태($S=0$)와 에너지 간격이 $\Delta \sim 2 \text{ meV}$ ($\sim 23 \text{ K}$) 떨어져 있는 삼중 여기 상태($S=1$)로 되는 것이다. SP 전이 온도 (T_{sp})에서부터 온도가 0에 접근함에 따라 자기감수율이 지수 함수적으로 감소하는데 x선 회절과 탄성 중성자 산란으로도 확인된다[4]. Cu 이온을 Zn 이온으로 치환한 $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{GeO}_3$ 에서 SP 전이 온도가 급격히 줄어드는 것이 밝혀졌으며, Cu 이온을 Ni, Mg와 Mn 으로 치환한 경우에도 유사한 결과가 나타났다. Ge 이온을 Si 이온으로 치환한 $\text{CuGe}_{1-x}\text{Si}_x\text{O}_3$ 의 경우 더 급격한 T_{sp} 의 감소가 나타났다[5-8].

지금까지의 연구는 대부분 SP계에서 Zn, Si 등의 비자성 이온의 치환효과에 관한 것이며 자성 이온을 치환한 연구는 극히 드물다. 더구나 Mössbauer 분광법을 이용한 초미세 상호 작용에 관한 연구는 최근에 본 연구실에서 수행한 것이 처음이다[9,10]. 이에 본 연구에서는 앞의 연구에 후속되는 내용으로써 SP 전이 현상이 두드러지게 나타나는 조성비인 $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ 를 제조하여 SP 전이 현상에서 나타나는 자기적 및 결정학적 특성을 보다 상세히 연구하였다. 특히 앞의 연구에서 밝히지 못했던 Mössbauer

스펙트럼에서 나타나는 Zeeman 선과 이중선의 근원을 알아내기 위하여 Cu 이온과 Ge 이온만을 각각 Fe 이온으로 치환한 시료를 제조하여 스펙트럼을 분석하였다.

II. 실험

$\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ 제조에 사용한 시료는 순도가 99.99% 이상인 GeO_2 , CuO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 의 분말로써 혼합하기에 앞서 산화물들이 함유하고 있는 습기를 제거하기 위하여 건조기를 이용하여 150 °C에서 10시간 동안 건조시켰다. 반응율을 높이기 위해 유압프레스를 이용하여 6 ton/ cm^2 로 10분간 압력을 가하여 pellet형태로 가공한 후, 1100 °C에서 24시간 동안 1차 열처리를 하였다. 열처리 후 시료를 전기로 안에서 서냉시켰다. 분쇄 성형 과정을 거쳐 다시 pellet 형태로 만든 후 1300 °C에서 24시간 동안 2차 열처리하였다. 제조된 시료의 결정구조 확인과 양이온분포를 추적하기 위하여 Phillips사의 PW1700과 Rigaku사의 A-III를 이용하여 분말법에 의한 x-ray 회절실험을 실시하였다. 실험시 target는 $\text{CuK}\alpha(\lambda = 1.541 \text{ \AA})$ 를 사용하였고, 측정은 2 θ 의 범위가 20°에서 80° 사이에서 실시하였으며, 측정시 필라멘트의 전류는 30 mA, 가속전압은 30 keV에서 35 keV 사이에서 변화시켜가며 실험을 하였다. 회절실험시 정확한 회절도를 얻기 위하여 scan speed는 분당 0.5°로 하였다. X-ray 회절실험을 통하여 얻어진 회절도는 컴퓨터를 이용하여 최소자승법으로 결정구조를 분석하였으며, 이 과정에서 Nelson-Riley법을 이용하

였다. Mössbauer 스펙트럼을 얻기 위하여 사용된 분광기는 전기역학적 등가속도형으로, γ 선원으로는 10 mCi $^{57}\text{Co}/\text{Rh}$ 를 이용하였고 4.2 K에서부터 고온까지 실험을 하였다. 자기 감수율을 측정하기 위하여 5 K부터 300 K 온도범위에서 1 T 자기장하에서 SQUID 실험을 하였다.

III. 결과 및 고찰

X선 회절 실험 결과 그림 1과 같이 결정이 이루어졌으며 결정구조는 그림 2와 같은 직방정계(orthorhombic)이다. 격자상수는 $a=4.795 \text{ \AA}$, $b=8.472 \text{ \AA}$, $c=2.932 \text{ \AA}$ 로 순수한 CuGeO_3 에 비교하여 볼 때 a 축과 c 축만 약간씩 줄어들었을 뿐 거의 변하지 않았다. 이로부터 Fe^{3+} 이온의 미소량 치환시에 결정 구조가 그대로 유지되고 이온간의 거리만 약간 변함을 알 수 있다.

그림 3은 온도 변화에 따른 자기감수율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 13 K에서 자기감수율이 감소하는 SP전이가 나타났다. 선행 연구[10]에서와 마찬가지로 T_{sp} 이하에서 온도가 0 K에 접근함에 따라 그림 3(a)에서 보듯이 자기감수율 χ 이 어느 정도 줄어들 뿐 0으로 접근하지는 않았다. 그 이유는 상자성의 기여 때문이라고 생각된다. 온도 변화에 따른 역자기감수율($1/\chi$)은 그림 3(b)에서 보듯이 약 200 K 이상의 온도에서 선형적으로 비례하였다.

CuGeO_3 에서 Cu이온과 Ge 이온을 각각 빼고 Fe 이온을 첨가한 시료($\text{Cu}_{0.95}\text{Fe}_{0.05}\text{GeO}_3$, $\text{CuGe}_{0.95}\text{Fe}_{0.05}\text{O}_3$)의 T_{sp} 는 각각 12.4 K와 11.4 K로 나타났으며, 저온에서 외부자기장 변화에 따른 자화를 측정된 결과에서는 Cu 이온 대

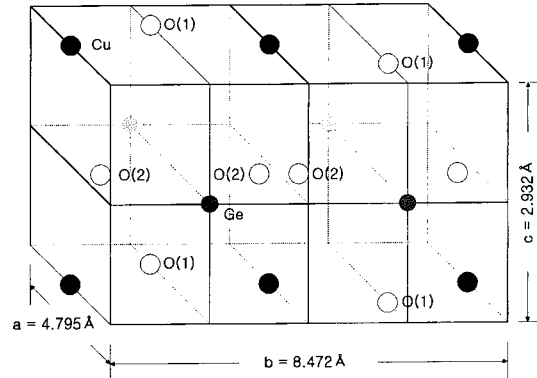


Fig. 2. Unit cell of CuGeO_3 . The atomic positions are Cu in 2(d) at $1/2, 0, 0$; Ge in 2(e) at $x, 1/4, 1/2$ ($x=0.0743$); O(1) in 2(f) at $x, 1/4, 0$ ($x=0.8700$), and O(2) in 4(i) at $x, y, 1/2$ ($x=0.2813, y=0.838$).

신에 Fe 이온을 치환시켰을 때가 Ge 이온 대신 Fe 이온을 치환시킨 것보다 상자성 특성이 더 강하게 나타났다 [10]. 이와 같은 사실은 뒤에서 논의하게 될 Mössbauer

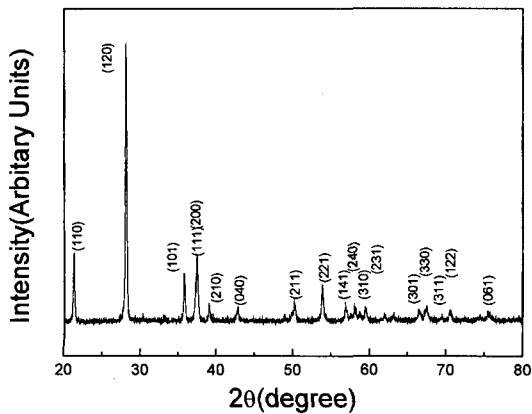


Fig. 1. X-ray diffraction pattern for $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ at room temperature.

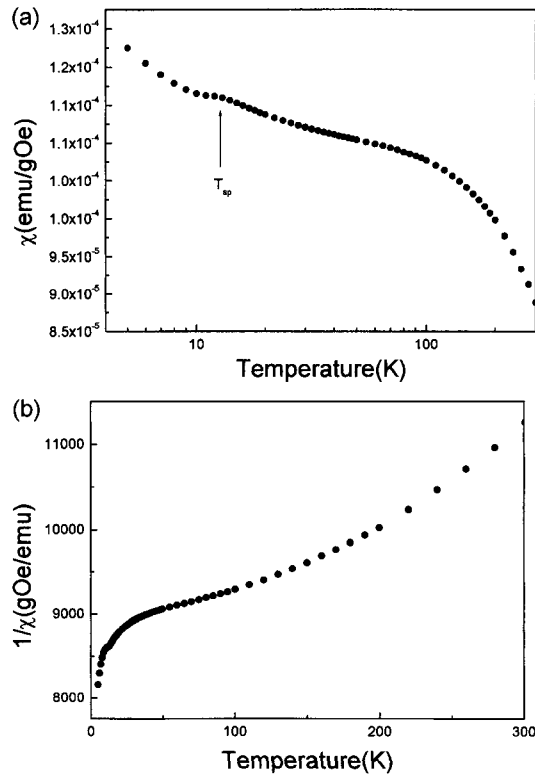


Fig. 3. (a) Magnetic susceptibility and (b) inverse susceptibility of $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ under 1T.

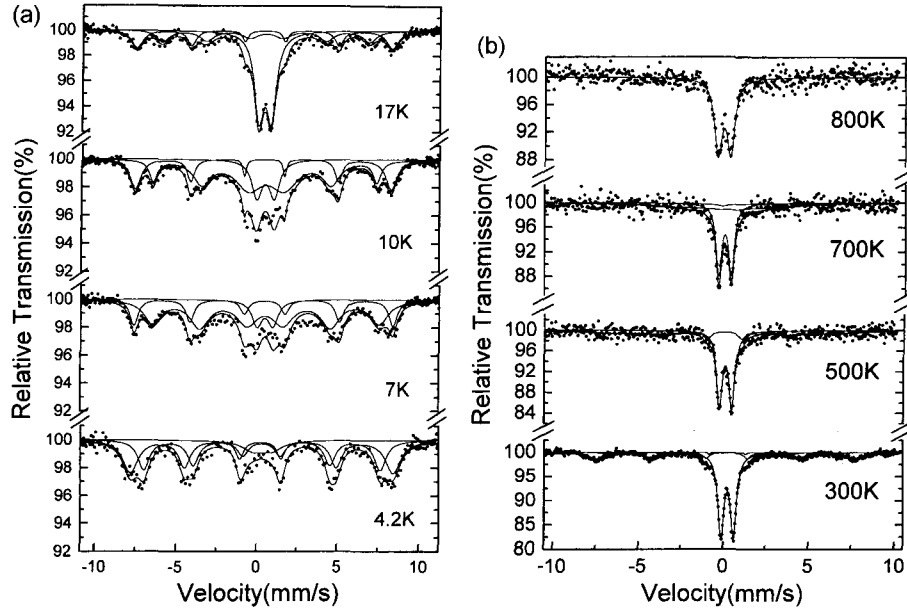


Fig. 4. Mössbauer spectra of $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ at (a) low temperature, and (b) high temperature.

스펙트럼 분석에서 Cu 이온 대신에 Fe 이온을 치환시켰을 때 상자성의 doublet이 나타나고, Ge 이온 대신에 Fe 이온을 치환시켰을 때는 초교환 상호작용이 발생되어 Zeeman선이 나타나는 결과와도 일치하는 내용이다.

Mössbauer 스펙트럼은 그림 4(a)에서 보듯이 T_{sp} 이상인 17 K부터 4.2 K까지 두 개의 Zeeman선과 하나의 이중선이 중첩되어 있는 모양을 보였는데 표 1은 컴퓨터로 분석한 결과이다. 최소 자승법으로 구한 Mössbauer 변수값들은 상온에서 초미세 자기장 값이 큰 sextet에서 $IS_1 = 0.141$ mm/s, $QS_1 = -0.058$ mm/s, $MHF_1 = 475.33$ kOe이며 초미세 자기장 값이 작은 sextet에서 $IS_2 = 0.256$ mm/s, $QS_2 = -0.093$ mm/s, $MHF_2 = 411.60$ kOe이다. Doublet은

$IS_3 = 0.231$ mm/s, $QS_3 = 0.737$ mm/s이다. 우리의 시료에서 Fe 이온은 팔면체의 Cu 자리나 사면체의 Ge 자리로 들어갈 가능성이 크다. Mössbauer 스펙트럼에서 Zeeman과 doublet의 근원을 알기 위하여 Cu 이온만을 Fe 이온으로 치환시킨 $\text{Cu}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{GeO}_3$ 와 $\text{Cu}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{GeO}_3$ 시료를 만들어 Mössbauer 스펙트럼을 측정된 결과 그림 5(a)와 (b)에서와 같이 doublet만 나오는 것을 확인하였으며, 마찬가지로 Ge 이온만을 Fe 이온으로 치환시킨 $\text{CuGe}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_3$ 시료는 그림 5의 (c)와 같이 두 개의 Zeeman 선만 나왔다. X선 회절 실험으로는 여전히 단일상 임을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로부터 우리는 doublet은 팔면체 Cu 자리에 치환된 Fe^{3+} 에 의한 것이며, sextet은 사면체 Ge 자리

Table I. Mössbauer parameters of $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$.

Temp. (K)	Zeeman 1			Zeeman 2			Doublet	
	MHF ₁ (kOe)	IS ₁ (mm/s)	QS ₁ (mm/s)	MHF ₂ (kOe)	IS ₂ (mm/s)	QS ₂ (mm/s)	IS ₃ (mm/s)	QS ₃ (mm/s)
800	-	-	-	-	-	-	-0.065	0.741
700	177.95	0.051	-0.375	50.72	0.210	-0.125	0.056	0.743
500	421.46	0.040	-0.060	390.67	0.236	-0.162	0.115	0.726
300	475.33	0.141	-0.058	411.60	0.256	-0.093	0.231	0.737
100	503.91	0.268	-0.056	414.65	0.281	-0.039	0.232	0.742
50	507.43	0.326	-0.042	415.00	0.285	-0.037	0.234	0.731
17	511.45	0.209	-0.046	415.26	0.285	-0.037	0.249	0.802
10	512.26	0.212	-0.065	448.48	0.336	-0.101	0.331	1.125
7	516.44	0.252	-0.066	452.38	0.336	0.063	0.326	1.019
4.2	517.90	0.254	0.076	453.96	0.299	0.021	0.348	1.141

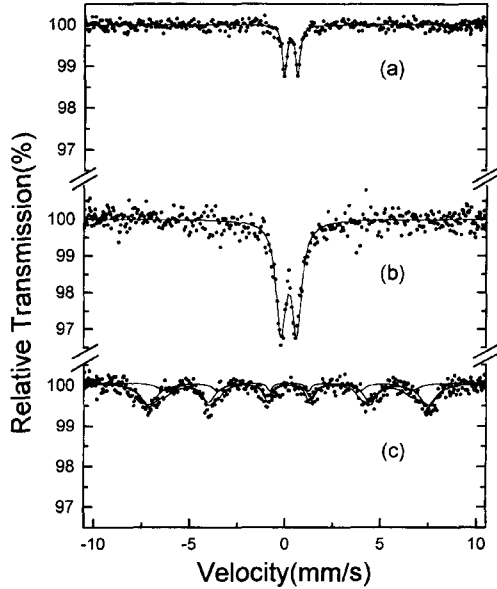


Fig. 5. Mössbauer spectra of (a) $\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x\text{GeO}_3$ ($x=0.1$), (b) $\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x\text{GeO}_3$ ($x=0.4$), and (c) $\text{CuGe}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x=0.4$) at room temperature.

에 치환된 Fe^{3+} 에 의한 것이라고 생각하였다. 특히 sextet 이 두 개로 나타나는 것으로 보아 Ge 자리에는 Fe^{3+} 가 서로 약간씩 다른 위치에 존재한다고 생각되었다. CuGeO_3 에서 Cu 이온은 산소원자에 의해 팔면체를 이루고 있다. 이들 팔면체는 c축을 따라 사각형으로 산소를 공유하며, 정점의 산소들은 b축을 따라 이웃하는 팔면체에 공유되어 있다. 이런 방법으로 경사진 팔면체에 의해 이루어진 가상적인 면이 형성되어 a/2씩 떨어져 있고, 이들 사이의 공간에 Ge원자가 c축에 평행하게 사슬을 이루어 자리 잡고 있다. 이러한 구조에서 Cu 사슬에서 $S=1/2$ 인 반강자성 관계가 c축에 평행하게 배치되어 O^{2-} 이온을 통하여 결합되어 있는 것이 주요 자기적 상호작용이다. 그러나 정점의 산소를 통하는 b축 방향의 약한 Cu-Cu 상호작용도 무시할 수는 없다. 우리 시료의 경우 Cu 자리로 일부 치환되어 들어간 Fe 이온은 주변에 Cu 이온과는 거리가 멀고 O 이온을 통하는 초교환 상호작용도 사이트각이 약 98° 이므로 불가능하므로 Mössbauer 스펙트럼은 이중선을 나타내게 된다. 한편 Ge 이온 자리에 들어간 Fe 이온은 O 이온을 지나 Cu 이온과 약 128° 를 이루어 초교환상호작용으로 Mössbauer 스펙트럼은 Zeeman 선을 나타내게 된다. 이때 Fe 이온의 자리가 일부 불규칙하여 스펙트럼선의 흡수율이 많고 세기가 강한 자기장과 흡수율이 적고 약한 세

Table II. Bond lengths between atoms in units of Å and bond angles between Cu, Ge and O in units of degrees of $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$.

	room temp.		below T_{sp}
Cu-O(2,3)	1.937	Cu(1,2)-O(2)	1.934
		Cu(2)-O(3)	1.926
		Cu(3)-O(3)	1.940
Ge-O(2,3)	1.723	Ge-O(2)	1.724
		Ge-O(3)	1.724
			1.724
Cu-Ge	3.287	Cu(1)-Ge	3.283
		Cu(2)-Ge	3.283
Cu-Cu	2.932	Cu(1)-Cu(2)	2.913
		Cu(2)-Cu(3)	2.932
		Cu(1)-O(2)-Cu(2), ϕ_1	97.93
Cu-O(2,3)-Cu	98.36	Cu(2)-O(3)-Cu(3), ϕ_2	98.66
Cu-O(2,3)-Ge	127.71	Cu(1)-O(2)-Ge, θ_1	128.72
		Cu(2)-O(3)-Ge, θ_2	128.11

기의 자기장이 증첩되어 나타났다.

온도를 300 K에서 800 K까지 올리면서 Mössbauer 스펙트럼을 측정하였더니 그림 4(b)에서 보듯이 초미세 자기장의 값이 서서히 줄어들다가 Néel 온도인 715 K에서는 이중선만 남았다.

한편 온도를 내리면서 Mössbauer 스펙트럼을 측정하였더니 Zeeman 선의 세기가 증가하면서 이중선도 여전히 존재하였다. 온도를 4.2 K까지 내리면서 측정한 Mössbauer 변수는 매우 흥미로운 결과가 나타났다. 즉, SP 전이 온도 이하인 10 K와 7 K에서 완화 현상을 보이는 스펙트럼이 나타나서 철 이온 주위의 자기적 상호 작용이 불안정함을 알 수 있다. 또한 SP 전이 온도에서 표 2에서 보듯이 Mössbauer 변수의 불연속이 나타난 것이다. 즉, 첫 번째 Zeeman 스펙트럼의 변수들은 T_{sp} 전후에서 큰 변화가 없었으나 두 번째 Zeeman 스펙트럼의 초미세 자기장의 값이 약 30 kOe 정도 증가하였고, 이중선의 사중극자 분열 값이 40~50 % 증가하고 이성질체 이동값도 50 % 정도나 증가한 것이다. 이와 같은 T_{sp} 이하에서의 Mössbauer 변수들의 흥미로운 변화는 선행 연구에서와 같이 결정구조와 이온 이동과 관련시켜 설명할 수 있다[9-11].

선행 연구에서[11] SP 전이가 일어나면 원자의 위치가 각각 $\text{Cu}:\Delta z = -0.00322$, $\text{O}(2):\Delta x = 0.00258$ 과 $\Delta y = 0.00114$ 만큼씩 이동하는 것으로 보고되었다. 그림 6을 참고하여 이 값을 우리 시료에 적용해보면 표 2에서와 같이 예상과는 달리 Cu(2)-O(2)-Ge의 각도 θ_1 이 127.71°에서 128.72°로 증가하고, Cu(2)-O(3)-Ge의 각도 θ_2 는 128.11°로 증가한다. 한편 Cu(1)-O(2)-Cu(2)의 각도 ϕ_1 은 98.36°에서

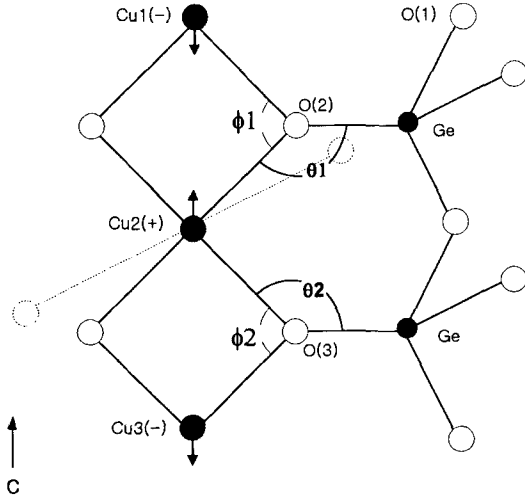


Fig. 6. Dimerized structure in the spin-Peierls state of $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$. Arrows and sign show the direction of displacements.

97.73°로 감소하며 Cu(2)-O(3)-Cu(3)의 각도 ϕ_2 는 98.66°로 증가한다. 또한, Cu(1,2)-O(2) 거리는 1.934 Å로 감소하고, Cu(2)-O(3)의 거리는 1.926 Å로 감소하고, Cu(3)-O(3) 거리는 1.940 Å로 증가하지만 O(2,3)-Ge 거리는 1.724 Å로 거의 일정하다. 이와 같은 각도 변화와 이온간의 거리 변화는 Mössbauer 변수의 변화인 두 번째 Zeeman선의 급격한 자기장의 증가 및 이중선의 QS와 IS의 증가와 일치하는 것이다. 즉, T_{sp} 이하에서는 이중체가 형성되면서 원자 위치가 이동하여 초교환 상호 작용이 증가하고, Cu 자리 주변의 원자 분포 대칭성과 공유 결합성이 감소한다고 해석할 수 있다.

그림 7은 온도에 대한 Mössbauer 스펙트럼의 흡수 면적비를 나타내며, 실선은 다음의 식에 의하여 계산한 결과치이다[12].

$$f = \exp\left(\frac{-6E_r T}{k\theta^2}\right)$$

$$\frac{I(T')}{I(T)} = \frac{f_s f_a' - f_a'}{f_s f_a - f_a}$$

I_a 와 I_b 는 팔면체와 사면체의 전체 면적을 나타내며, 이 식에서 변수값을 대입하여 양변에 log를 취하고 그래프의 기울기를 읽어서 팔면체 자리의 θ_a 와 사면체 자리의 θ_b 의 Debye 온도를 얻을 수 있다. Debye 온도는 팔면체 자리가 540 K, 사면체 자리는 380 K임을 알아냈다.

정량적인 결합특성을 이해하기 위해 물질의 힘상수

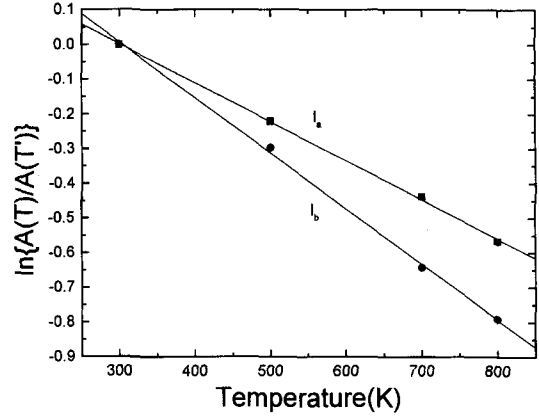


Fig. 7. Area ratio in logarithmic scale of octahedral a- and tetrahedral b site versus temperature.

(force constants)를 Domb와 Salter[13]가 제시한 다음의 관계식을 이용하여 계산하였다.

$$\lambda = \frac{3Mk^2\theta^2}{5\hbar^2}$$

여기서 λ 는 힘상수이며, M은 Mössbauer 핵의 질량, k는 Boltzman 상수, θ 는 Debye 온도이며, \hbar 는 플랑크 상수를 2π 로 나눈 값이다. 힘상수는 팔면체 자리가 2.8×10^5 dyne/cm, 사면체 자리가 1.4×10^5 dyne/cm로, 팔면체 자리의 결합력이 사면체 자리의 결합력보다 크다는 것을 알 수 있다.

요약하면 본 연구에서는 spin-Peierls(SP) 전이 현상을 나타내는 $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ 를 제조하여 자기적 특성과 결정학적 특성을 알기 위하여 x선 회절, 자기감수율과 Mössbauer 스펙트럼을 측정 분석하였다. 결정구조는 직방정계(orthorhombic)이고 격자 상수는 $a = 4.795$ Å, $b = 8.472$ Å, $c = 2.932$ Å이며, SP 전이 온도(T_{sp})는 13 K이다. 상온에서 Mössbauer 스펙트럼은 Fe^{3+} 이온에 의한 두 개의 Zeeman선과 한 개의 이중선이 중첩되어 나타났는데, Ge 이온만을 Fe 이온으로 치환시켜 만든 시료의 Mössbauer 스펙트럼은 Zeeman선을 나타내고, Cu 이온만을 Fe 이온으로 치환시켜 만든 시료의 Mössbauer 스펙트럼은 이중선을 나타내는 것으로 보아 각각의 선이 Ge와 Cu 자리로 치환되어 들어간 Fe 이온에 의한 것이라고 생각된다. 또한 T_{sp} 이하에서 Mössbauer 변수들의 불연속을 이중체가 형성되면서 나타나는 이온들의 위치 이동에 관련시켜 해석할 수 있다. 본 시료의 Néel 온도는 715 K이고, Debye 온도는 팔면체 자리가 540 K, 사면체 자리가 380 K이다.

참 고 문 헌

- [1] S. Huizinga, J. Kommandeuv, G. A. Sawatzky, B.T. Thole, K. Kopinga, W. J. M. de Jonge, and J. Roos, Phys. Rev. **B 19**, 4723(1979).
- [2] J. W. Bray, H. R. Hart, I. S. Jacobs, J. S. Kasi, G. D. Watkins, S. H. Wee, and J. C. Bonner, Phys. Rev. Lett. **35**, 744(1975).
- [3] M. Hase, I. Terasaki, and K. Uchinokura, Phys. Rev. Lett. **70**, 3651(1993).
- [4] J. P. Pouget, L. P. Regnault, M. Ain, B. Hennion, J. P. Renard, P. Veillet, G. Dhalenne, and A. Revcolevschi, Phys. Rev. Lett. **72**, 4037(1994).
- [5] S. Coad, J. G. Lussiev, D. F. McMarrow, and D. Mck, Paul, J. Phys. : Condens Matter **8**, 6251(1995).
- [6] M. Hase, I. Terasaki, Y. Sasago, and K. Uchinokura, Phys. Rev. Lett. **71**, 4059(1993).
- [7] Y. Ajiro, T. Asane, F. Masui, M. Mekata, H. Aruga-Katori, T. Goto, and H Kikuchi, Phys. Rev. **B 51**, 9399 (1995).
- [8] S. B. Oseroff et al., Phys. Rev. Lett. **74**, 736(1994).
- [9] K. P. Chae, W. H. Kwon, Y. B. Lee, S. W. Paik and S. H. Lee, Hyperfine Interactions, **122**, 269(1999).
- [10] 채광표, 권우현, 한국자기학회지, **9**, 143(1999).
- [11] S. Katano, O. Fujita, J. Akimitsu and M. Nishi, Phys. Rev. **B 52**, 15364(1995).
- [12] A. A. Bahgat, Phys. Stat. Sol(a) **52** (1979).
- [13] C. Domb and L. Salter, Philos. Mag. **43**, 1083(1952).

Mössbauer Studies of $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$

Kwang Pyo Chae, Woo Hyun Kwon, and Young Bae Lee

Department of Applied Physics, Konkuk University, Chungbuk 380-701, Korea

(Received 30 October 1999, in final form 15 December 1999)

Magnetic properties and crystallographic properties of $\text{Cu}_{0.95}\text{Ge}_{0.95}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ were studied by using x-ray diffraction, superconducting quantum interference device (SQUID) and Mössbauer spectroscopy. Our sample has orthorhombic structure and the lattice constants are $a = 4.795 \text{ \AA}$, $b = 8.472 \text{ \AA}$, $c = 2.932 \text{ \AA}$. The spin-Peierls (SP) transition temperatures of our sample is 13 K. The Mössbauer spectra consisted with two Zeeman sextets and one doublet due to Fe^{3+} ions. The Zeeman sextets come from tetrahedral Fe^{3+} ions and the doublets come from octahedral Fe^{3+} ions. The jump up of magnetic hyperfine field of 2nd Zeeman sextet and the increasing of the values of quadrupole splitting and isomer shift of doublet below SP transition temperature could be interpreted related with the atomic displacements. The N el temperature is 715 K, the Debye temperature are 540 K for octahedral site and 380 K for tetrahedral site, respectively.