

ИЗУЧЕНИЕ УПОРЯДОЧЕНИЯ СПЛАВОВ $Fe_3(Al, Ge)$ МЕТОДОМ ЯДЕРНОГО ГАММА-РЕЗОНАНСА

П. Л. ГРУЗИН, О. П. ЕЛЮТИН, В. С. МКРТЧЯН,
Ю. Л. РОДИОНОВ, М. Х. ХАЧАТРЯН

В работе показано, что в сплавах $Fe_3(Al, Ge)$ после отжига при $480^\circ C$ степень дальнего порядка по типу DO_3 возрастает с увеличением содержания Ge . В сплаве Fe_3Ge на начальных стадиях отжига при $480^\circ C$ образуется фаза, упорядоченная по типу DO_3 . После продолжительного отжига фаза типа DO_3 переходит в фазу типа $L1_2$. Введение алюминия в сплавы Fe_3Ge повышает стабильность фазы DO_3 .

В настоящей работе исследовались процессы упорядочения сплавов $Fe_3(Al, Ge)$ методом ядерного гамма-резонанса (ЯГР). Спектры ЯГР снимались на мессбауэровском спектрометре MS-10K (ГДР). Источником излучения служил изотоп $Co-57$ в платине. Экспериментальные ошибки значений эффективных сверхтонких магнитных полей (H), определение которых описано в ряде книг, в частности, [1], составляли ± 2 кэ. Степень дальнего порядка определяли, используя расчетную зависимость для относительного числа атомов железа, находящихся в различном окружении сплава Fe_3Al , от параметра порядка [2]. Образцы представляли собой порошки исследуемых сплавов.

Спектры резонансного поглощения гамма-квантов для сплавов $Fe_3(Al, Ge)$, закаленных от $1050^\circ C$, имеют вид магнитного расщепления с уширенными линиями (рис. 1). Такой вид спектров является характерным для атомов $Fe-57$, находящихся в различных окружениях, т. е. в неупорядоченном твердом растворе. Однако спектры для закаленных сплавов с увеличивающимся содержанием германия отличаются от спектров, характерных для статистического распределения атомов (рис. 16, в). Такое отличие формы может быть обусловлено тем, что в процессе закалки частично протекают процессы упорядочения по типу DO_3 . Увеличение отклонения от статистического распределения атомов с увеличением содержания германия в сплавах $Fe_3(Al, Ge)$, по-видимому, связано с повышением температуры упорядочения по типу DO_3 . Аналогичные результаты получены авторами работы [3] при исследовании закаленных сплавов железо-германий методом ЯГР.

Отжиг закаленных сплавов Fe_3Al , легированных германием при $480^\circ C$, приводит к значительному изменению резонансных спектров. Спектр для закаленного сплава Fe_3Al после отжига при $480^\circ C$ в течение 10 минут представляет собой суперпозицию нескольких спектров магнитного расщепления (рис. 2а). При полном упорядочении сплава Fe_3Al спектр состоит из двух спектров магнитного расщепления со сверхтонкими полями $H_1=300$ кэ и $H_2=215$ кэ [2]. Такие системы линий магнитного расщепления связаны с атомами железа, имеющими в первой координационной сфере соответственно 8 ($H_1=300$ кэ) и 4 ($H_2=215$ кэ) атомов железа (атомы

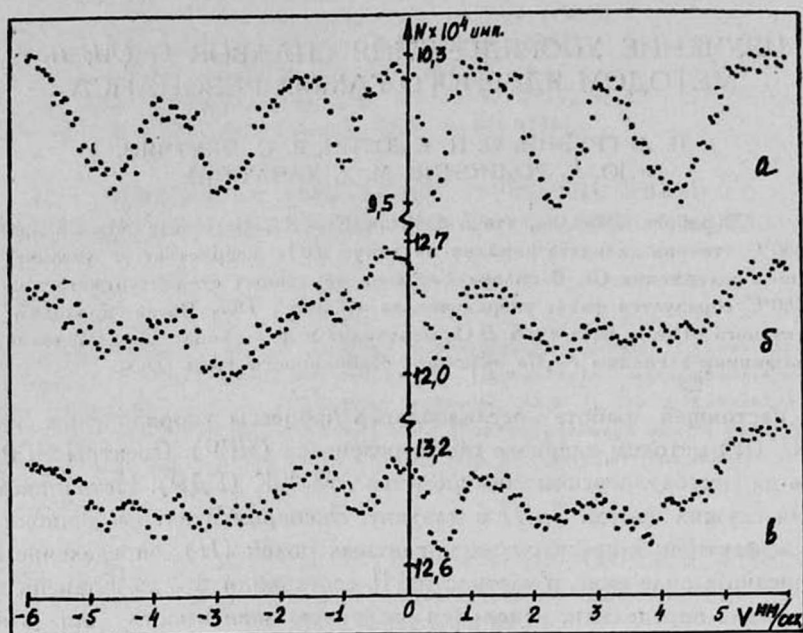


Рис. 1. Спектры резонансного поглощения гамма-квантов для сплавов $Fe_3(Al, Ge)$, закаленных от $1050^\circ C$ в воду: а) сплав Fe_3Al , б) сплав $Fe_3(12,5\% Al, 12,5\% Ge)$, в) сплав Fe_3Ge .

железа, находящиеся в подрешетке D и A сверхструктуры DO_3 , рис. 3а). В то же время в спектре (рис. 2а) наряду с присутствием двух систем линий магнитной структуры ($H_1=300$ кэ, $H_2=215$ кэ) наблюдаются пики спектров с другими значениями сверхтонкого магнитного поля. Такие пики связаны с атомами железа, имеющими в первой координационной сфере 5, 6, 7 атомов железа [2]. Такой вид спектра свидетельствует о том, что сплав Fe_3Al после отжига при $480^\circ C$ в течение 10 минут находится в не полностью упорядоченном состоянии. Сверхтонкое магнитное поле, действующее на ядра железа, имеющие в первой координационной сфере 8 атомов железа в сплаве Fe_3Al с низкой величиной параметра дальнего порядка, составляет $H_1=325$ кэ, что на 25 кэ больше, чем в сплавах с высокой степенью дальнего порядка ($H_1=300$ кэ) [4]. Такое отличие в величинах магнитных полей, действующих на ядра атомов железа в окружении 8 атомов железа, связано с тем, что величина H_1 зависит не только от числа атомов железа, находящихся в первой координационной сфере, а в значительной степени зависит от числа атомов железа и алюминия во второй координационной сфере. С увеличением степени дальнего порядка во второй координационной сфере увеличивается число атомов алюминия в окружении железа (при $s=1,0$ атомы железа имеют во второй координационной сфере 6 атомов алюминия), что приводит к уменьшению величины H_1 .

При отжиге сплавов $Fe_3(Al, Ge)$ при $480^\circ C$ в течение 10 минут интенсивность пиков спектров, связанных с атомами железа, имеющими в пер-

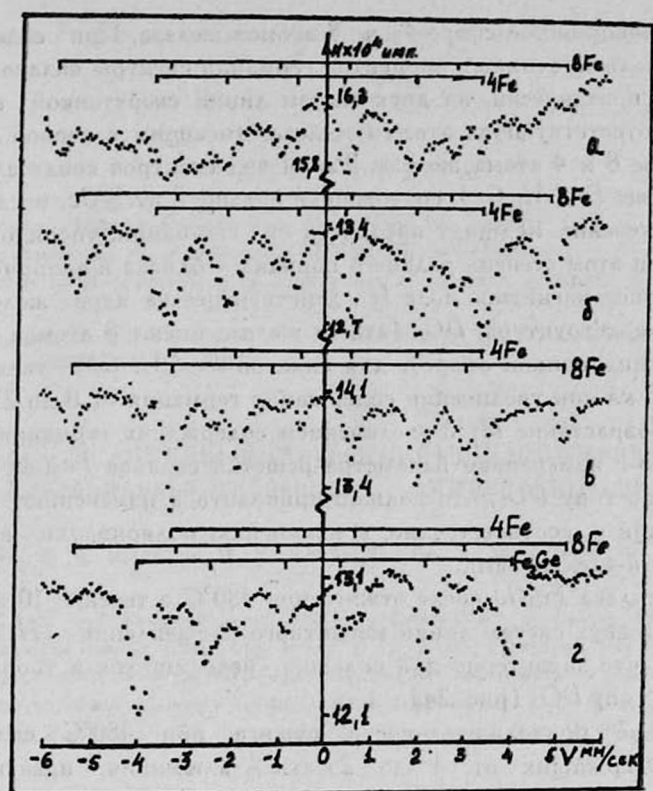


Рис. 2. Резонансные спектры для сплавов $Fe_3(Al, Ge)$ после закалки от $1050^\circ C$ и последующих отжигов при $480^\circ C$ с разными выдержками: а) Fe_3Al — 10 мин, б) Fe_3 ($17\% Al$, $8\% Ge$) — 10 мин, в) Fe_3Ge — 10 мин, 2) Fe_3Ge — 1 час.

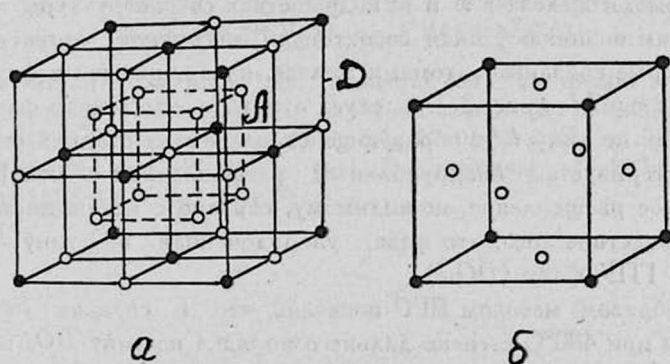


Рис. 3. а) Структура $D0_3$ -упорядоченного сплава Fe_3Al : (● — атомы Al , ○ — атомы Fe); б) структура $L1_2$ -упорядоченного сплава Fe_3Ge : (● — атомы Ge , ○ — атомы Fe).

вой координационной сфере 5, 6 и 7 атомов железа, уменьшается с увеличением содержания германия. В то же время возрастает интенсивность пиков сверхтонкой структуры, связанных с атомами железа, имеющими в

первой координационной сфере 4 и 8 атомов железа. При содержании в сплавах 8 и больше атомных процентов германия спектры сплавов $Fe_3(Al, Ge)$ состоят, практически, из двух систем линий сверхтонкой структуры (рис. 26), соответствующих атомам железа, имеющим в первой координационной сфере 8 и 4 атома железа. Такой вид спектров свидетельствует о том, что сплавы $Fe_3(Al, Ge)$, содержащие больше 8 ат. % Ge , после отжига при $480^\circ C$ в течение 10 минут находятся в состоянии, упорядоченном по типу DO_3 , при этом степень дальнего порядка S близка к единице.

Сверхтонкое магнитное поле H_1 , действующее на ядро железа в подрешетке D сверхструктуры DO_3 (атомы железа имеют 8 атомов железа в первой координационной сфере), для сплавов $Fe_3(Al, Ge)$ увеличивается от 300 до 325 кэ при увеличении содержания германия от 0 до 25 атомных процентов. Возрастание H_1 с увеличением содержания германия, по-видимому, связано с изменением параметра решетки сплавов $Fe_3(Al, Ge)$, упорядоченных по типу DO_3 , что должно приводить к изменению обменного взаимодействия и, соответственно, к изменению поляризации внутренних s -электронов d -электронами.

Спектр сплава Fe_3Ge после отжига при $480^\circ C$ в течение 10 минут также состоит из двух систем линий магнитного расщепления ($H_1=325$ кэ и $H_2=205$ кэ), что характерно для сплавов, находящихся в упорядоченном состоянии по типу DO_3 (рис. 2в).

Увеличение продолжительности отжига при $480^\circ C$ сплавов $Fe_3(Al, Ge)$, содержащих от 4 до 25 ат. % алюминия, практически не приводит к изменению резонансных спектров. Это связано с тем, что стабильная структура типа DO_3 при $480^\circ C$ формируется на ранних стадиях отжига (до 10 мин). В то же время для сплава Fe_3Ge спектр существенно изменяется. В частности, увеличение продолжительности отжига приводит к уменьшению интенсивности пиков спектров, связанных с атомами железа в A и D подрешетках сверхструктуры типа DO_3 . Наряду с этим возникают пики сверхтонкой магнитной структуры ($H=250$ кэ), которые связаны с атомами железа, находящимися в фазе, упорядоченной по типу $L1_2$ (рис. 2г). Следует отметить, что спектр фазы Fe_3Ge , упорядоченной по типу $L1_2$, образующейся на ранних стадиях отжига при $480^\circ C$, характеризуется квадрупольным расщеплением $\Delta=0,15$ мм/сек. Квадрупольное расщепление, по-видимому, связано с искажением решетки фазы $L1_2$ вследствие того, что фаза, упорядоченная по типу $L1_2$, образуется через ГПУ фазу (DO_{19}).

Таким образом, методом ЯГР показано, что в сплавах $Fe_3(Al, Ge)$ после отжига при $480^\circ C$ степень дальнего порядка по типу DO_3 возрастает с увеличением содержания германия. Увеличение степени дальнего порядка типа DO_3 для сплавов $Fe_3(Al, Ge)$ с добавлением германия связано с повышением температуры перехода порядок-беспорядок. В сплаве Fe_3Ge на начальных стадиях отжига при $480^\circ C$ образуется фаза, упорядоченная по типу DO_3 . После продолжительного отжига фаза, упорядоченная по типу DO_3 , переходит в фазу, упорядоченную по типу $L1_2$. Введение алюми-

ния в сплавы Fe_3Ge повышает стабильность фазы, упорядоченной по типу DO_3 .

Поступила 5.VII.1973

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Вертхейм. Эффект Мессбауэра. Изд. Мир, М., 1966.
2. Р. Н. Кузьмин, С. А. Лосиевская. ФММ, 29, 569 (1970).
3. L. Brossard, G. A. Fatseas, J. L. Dormann, P. Lecocq. J. Appl. Phys., 42, 1306 (1971).
4. П. А. Грузин, В. С. Мкртчян, Ю. А. Родионов, Я. П. Селицкий, М. Х. Хачатрян. ФММ, 34, 316 (1972).

$Fe_3(Al, Ge)$ ՀԱՄԱՁՈՒԿԱՄՔՆԵՐԻ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ ԳԱՄՄԱ-ՌԵՆՁՈՆԱՆՍԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

Պ. Ա. ԳՐՈՒՆԻՆ, Օ. Պ. ԵԼՅՈՒՏԻՆ, Վ. Ս. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, ՅԱ. Լ. ՌՈԴԻՈՆՈՎ, Մ. Խ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

$Fe_3(Al, Ge)$ համաձուլվածքներում 480°C շիկամշակման ժամանակ DO_3 ստրուկտուրային ձևի հեռավոր կարգի աստիճանը աճում է Ge -ի բաղադրության մեծացումով: Fe_3Ge համաձուլվածքում 480°C -ում շիկամշակման սկզբնական ստադիաներում առաջանում է DO_3 ձևի կարգավորված ֆազ: Հետագա շիկամշակման ընթացքում այդ ֆազը անցնում է $L1_2$ ձևի ֆազի: Al -ի մտցնելը Fe_3Ge համաձուլվածքի մեջ բարձրացնում է DO_3 ֆազի կայունությունը:

THE INVESTIGATION OF THE REGULATING PROCESSES OF $Fe_3(Al, Ge)$ ALLOYS BY THE METHOD OF NUCLEAR GAMMA-RESONANCE

P. A. GRUZIN, O. P. YELYUTIN, V. S. MKRTCHYAN,
U. L. RODIONOV, M. Kh. KHACHATRYAN

When $Fe_3(Al, Ge)$ alloys are heated at 480°C the distant order degree of the type DO_3 grows with the increase of the Ge content. At initial stages of heating a phase of DO_3 type is formed in Fe_3Ge alloy. After a continuous heating the DO_3 phase changes to $L1_2$ type. The admixture of Al to Fe_3Ge alloy increases the stability of the DO_3 phase.