# МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

# 01, январь 2016

### УДК 537.622.4

## Исследование локальной атомной и магнитной структуры аморфных и нанокристаллических сплавов на основе Fe-B-T (T=Cr)

**Терезанова К.В.**, студент Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «Физика»

Научные руководителя: Винтайкин Б.Е., д.ф.м.н., профессор Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «Физика»

> Покатилов В.С., д.ф.м.н., профессор Россия, 119454, г. Москва, МГТУ МИРЭА, <u>pokatilov@mirea.ru</u> bauman@bmstu.ru

#### Введение

Локальная структура и ближний порядок в аморфных сплавах являются определяющими для получения необходимых физических, в том числе и магнитных. Локальная структура аморфных сплавов Fe-B исследовалась достаточно широко, и было установлено, что добавление в сплав на основе Fe-B примеси переходных 3d-атомов приводит к изменению его магнитных свойств. Такое замещение атомов железа на 3d-атомы привело к разработке новых магнитомягких аморфных сплавов для радиотехники, электроники и получило большое применений в промышленности.[1,2]

В данной статье описаны результаты изучения локальной магнитной структуры аморфных сплавов Fe<sub>70</sub>Cr<sub>15</sub>B<sub>15</sub>. Методом эффекта Мёссбауэра на ядрах <sup>57</sup>Fe в области температур 16-293 К исследовались ленточки аморфных сплавов толщиной 20 мкм и шириной 10 мм, которые были получены методом сверхбыстрой закалки расплавов на вращающийся металлический диск.

#### Результаты

В парамагнитном состоянии ширина мессбауэровского спектра не зависит от температуры, однако при переходе через температуру Кюри Т<sub>к</sub> ширина спектра начинает увеличиваться за счет роста магнитной составляющей спектра. Как показано на рис. 1.а

аморфный сплав  $Fe_{70}Cr_{15}B_{15}$ , переходит в магнитное состояние при 215К (±2). Как видно из рис.1 в области  $T_K$  имеются также особенности в температурной зависимости средних и максимальных значениях сверхтонких полей H, средних и максимальных изомерных  $\delta$  и квадрупольных  $\varepsilon$  сдвигов.

Как видно из рис. 1.б, максимумы распределений P(H) лежат при более низких значениях, чем средние значения в широкой области температур. Только при температуре 90К максимальные значения сверхтонких полей  $H_{M}$  приближаются к средним значениям сверхтонких полей  $H_{cp}$ , а при T=16K значения сверхтонких полей  $H_{M}$ , отвечающие максимуму в распределении P(H), больше  $H_{cp}$ . В области низких температур значения  $H_{M}$  становятся больше  $H_{cp}$ . Это означает, что в распределение сверхтонких полей наиболее вероятные состояния атомов железа при T=16K приходятся на атомы железа с наибольшими локальными магнитными моментами. Такая зависимость полей H может быть обусловлена флуктуациями обменных параметров в данном сплаве. Замещение атомов железа на атомы хрома усиливает влияние антиферромагнитного взаимодействия, снижает температуру Кюри сплава. Заметим также, что состояния атомов железа с большим числом атомов хрома в ближайшей сфере могут быть ответственны за более низкие значения сверхтонких полей при 16К.

Из рис.1.в и 1.г видно, что кривые температурных зависимостей  $\varepsilon_{\rm M}$  и  $\varepsilon_{\rm cp}$ ,  $\delta_{\rm M}$  и  $\delta_{\rm cp}$  также имеют особенности в области магнитного перехода при температуре Кюри  $T_{\rm K} = 215$ К. Это значение  $T_{\rm K}$  согласуется с данными работы.[4]

Температура магнитного перехода в магнитных аморфных сплавах на основе Fe-B обычно лежит выше температуры кристаллизации  $T_{kp}$  и поэтому практически не удается измерить мессбауэровский спектр в парамагнитном состоянии образца. В аморфном сплаве  $Fe_{70}Cr_{15}B_{15}$   $T_K = 215$ K и значительно ниже  $T_{kp} = 773$ K [5]. Это позволяет измерить сверхтонкие взаимодействия на ядрах <sup>57</sup>Fe в парамагнитном состоянии ниже температуры кристаллизации и выше температуры Кюри и определить квадрупольное расщепление. Расщепление очень чувствительно к изменению атомного локального строения. Рассматриваемый сплав  $Fe_{70}Cr_{15}B_{15}$  находится в парамагнитном состоянии при комнатной температуре и эта позволяет определить локальные состояния атомов железа в аморфных сплавах на основе железа и в частности в исследуемом аморфном сплаве  $Fe_{70}Cr_{15}B_{15}$ .



Рис. 1. Температурная зависимость ширины  $\Delta P(I)$  (а) мессбауэровского спектра, максимальных  $H_{M}$  (1) и средних  $H_{cp}$  (2) сверхтонких полей (б), максимальных  $\delta_{M}$  (1) и средних  $\delta_{cp}$  (2) изомерных сдвигов (в), максимальных  $\varepsilon_{M}$  (1) и средних  $\varepsilon_{cp}$  (2) квадрупольных сдвигов (г) аморфного сплава Fe<sub>70</sub>Cr<sub>15</sub>B<sub>15</sub>.

Спектр данного образца имеет асимметричный дублет. Как следует из рисунка 2, наблюдается распределение изомерных сдвигов, причем изомерные пики в  $P(\delta)$  принадлежат соответствующим квадрупольным дублетам и показаны на рисунке. Расстояние между соответствующей парой изомерных сдвигов в распределении  $P(\delta)$  определяет значение квадрупольного сдвига дублета, а центры тяжести каждой пары - соответствующий изомерный сдвиг этого дублета. Как видно из рисунка 2 наиболее вероятное число таких пар не менее четырех.[4]

Из рис. З непосредственно следует, что аморфный сплав Fe<sub>70</sub>Cr<sub>15</sub>B<sub>15</sub> состоит из четырех наиболее вероятных локально («кристаллографически») различных состояний атомов железа, различающихся значениями как квадрупольных, так и изомерных сдвигов.



Рис. 2. Мессбауэровский спектр (а) на ядрах  ${}^{57}$ Fe и восстановленное распределение изомерных сдвигов (б) в аморфном сплаве Fe<sub>70</sub>Cr<sub>15</sub>B<sub>15</sub> при комнатной температуре.



Рис. 3. Мессбауэровский спектр аморфного сплава Fe<sub>70</sub>Cr<sub>15</sub>B<sub>15</sub> при комнатной температуре, модельный спектр и разность между экспериментальным и модельным спектром (а); восстановленное распределение квадрупольных P(ε) сдвигов (б).

Основываясь на этих прямых экспериментальных данных можно утверждать, что аморфный сплав Fe<sub>70</sub>Cr<sub>15</sub>B<sub>15</sub> состоит из микрообластей (кластеров), в которых существует

четыре локально («кристаллографически») различных состояний атомов железа (с различными ближними порядками).

Из рис. 4 следует, что распределения P(H) сильно зависят от температуры опыта. Спектр содержат распределения сверхтонких полей P(H). Распределения P(H) при низких температурах широкие, но имеется ряд разрешенных линий. Число наиболее вероятных магнитных состояний железа равно 4, хотя со стороны низких и высоких полей имеются дополнительные слабые вклады, обусловленные, вероятно, поверхностными эффектами.

При T=200К наблюдается узкое распределение сверхтонких полей P(H) с четырьмя наиболее вероятными состояниями железа. При этой температуре наиболее вероятные состояния атомов железа (максимумы в P(H)) имеют сверхтонкие поля в области значений 20-40 кЭ. Максимум P(H) при 16К приходится на область полей 150-200 кЭ. Область сверхтонких полей для низко полевых пиков в распределении P(H) практически не изменились по сравнению с их значениями вблизи  $T_K$ . При низких температурах наибольший вклад в распределение P(H) дают состояния атомов железа с высокими значениями сверхтонких полей. На рис.4 также показаны разложения распределений P(H) на парциальные составляющие Гаусса.





Рис. 4. Мессбауэровские спектры на ядрах  ${}^{57}$ Fe сплава Fe<sub>70</sub>Cr<sub>15</sub>B<sub>15</sub> и разложения распределений P(H) на парциальные составляющие Гаусса при 200 K, 90 K и 16 K

Из рисунка 5,а видно, что состояния железа, имеющие низкие значения полей (~50кЭ) практически не зависят от температуры. Вероятно, эти сверхтонкие поля обусловлены атомами железа, которые находятся либо в слабомагнитном, либо в парамагнитном состоянии. Сверхтонкие поля для трех других состояний железа сильно зависят от температуры [3].



Рис. 5. Температурные зависимости парциальных компонент сверхтонких полей H<sub>i</sub>(T) и квадрупольных ε<sub>i</sub>(T) сдвигов аморфного сплава Fe<sub>70</sub>Cr<sub>15</sub>B<sub>15</sub>

Сверхтонкое поле на ядре <sup>57</sup>Fe пропорционально локальному магнитному моменту атома железа, поэтому четыре различных сверхтонких поля, показанные на рис. 5,

обусловлены четырьмя парциальными состояниями железа, локальные магнитные моменты которых сильно различаются. Можно предположить, что рассматриваемые локальные магнитные состояния обусловлены атомами железа с ближайшими окружениями, аналогичные состояниям атомов железа в микрообластях, с ближними порядками типа α–Fe, содержащих в ближайшей сфере атомы бора и хрома и (Fe,Cr)<sub>3</sub>B, в котором содержится три локально различных состояния атомов железа, отличающихся числом атомов железа и хрома в ближайших координационных сферах. Из рисунка 5,6 видно, что четыре квадрупольных значения, соответствующие четырем локальным состояниям железа резко уменьшаются при переходе через T<sub>к</sub> и лежат в области нулевых значений, что характерно для аморфного состояния.

#### Заключение

Исследования аморфного сплава  $Fe_{70}Cr_{15}B_{15}$  показали, что: температура Кюри сплава  $Fe_{70}Cr_{15}B_{15}$  Тк = 215 (±2) К; локальная структура аморфных сплавов может быть описана четырьмя состояниями атомов железа, которые отличаются количеством атомов хрома в ближайшем окружении атомов железа; предполагается, что эти состояния обусловлены эффектами ближнего порядка в микрообластях аморфных сплавов, характерных для состояний атомов железа в кристаллических фазах  $\alpha$ -Fe(Cr) и (Fe,Cr)<sub>3</sub>B.

#### Список литературы

- [1] Покатилов В.С. Исследования быстрозакаленных кристаллических и аморфных сплавов FeB методом ядерного магнитного резонанса // ФТТ. 2007. Т. 49, вып.12 С. 2113-2117.
- [2] Покатилов В.С., Покатилов В.В., Дьякова Н.Б. Локальная структура аморфных и микрокристаллических сплавов Fe-В // Изв. РАН. 2007. № 11, Т. 71. С. 1589-1591.
- [3] Дроздова М.А., Батырев И.Г., Прокошин А.Ф., Махоткин В.Е., Корытов В.В. Магнитная и электронная структура аморфных сплавов Fe-M-B (M=V, Cr, Mn) // ФТТ. 1986. № 8, т. 28. С. 2486-2491.
- [4] Chien C.L., Musser D., Gyorgy E.M., Sherwood R.C., Chien H.S., Luborsky F.E., Walter J.L. Magnetic properties of amorphous Fe<sub>x</sub>B<sub>100-x</sub> and crystalline Fe<sub>3</sub>B // Phys. Rev. B. 1979. V. 20, № 1. P. 283-295.
- [5] Пустов Ю.А., Балдохин Ю.В., Опара Б.К., Колотыркин П.Я., Овчаров В.П., Кислогубов И.А. О термической стабильности аморфного сплава Fe-Cr-В // ФММ. 1988. Т. 65, вып. 1. С. 159-167.