

Научно-исследовательский институт
ядерной физики
при Московском государственном
университете им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
16 октября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 15

12 августа 1988 г.

ЯДЕРНЫЙ ГАММА-РЕЗОНАНС В ОБЛУЧЕННОМ НЕЙТРОНАМИ АМОРФНОМ СПЛАВЕ $Fe_{80}B_{20}$

С.М. Черемисин, А.Ю. Дудкин

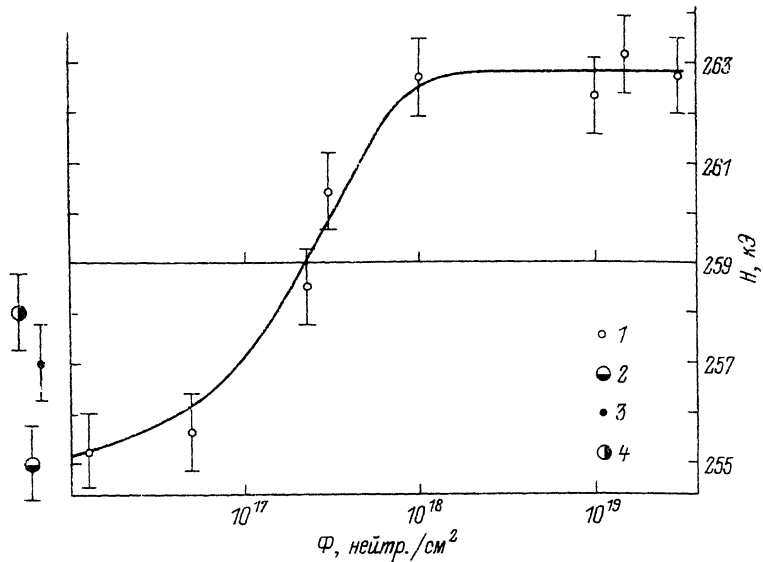
Один из путей исследования аморфных металлических сплавов (АС) – сопоставление структурно-чувствительных характеристик материалов, полученных различными способами (закалка из расплава, вакуумное осаждение, ионная имплантация и др.), а также модифицированных механическими, термическими и радиационными воздействиями [1, 2]. Радиационные свойства АС представляют самостоятельный интерес и в настоящее время интенсивно изучаются [3, 4].

В настоящей работе измерены спектры ядерного гамма-резонанса (ЯГР) ^{57}Fe образцов АС $Fe_{80}B_{20}$, облученных в канале реактора при температуре ≤ 80 °С флюенсами $\Phi = 1.3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{19}$ нейтр./см² (тепловых), и таких же образцов, подвергнутых отжигу при различных температурах. Все образцы были вырезаны из одного однородного отрезка (150x10x0.025 мм) ленты, полученной закалкой из расплава.

Результаты измерений представлены на рисунке. В процессе облучения среднее магнитное поле H на ядрах ^{57}Fe возрастает на $\approx 3\%$, ширина и асимметрия [5] линий спектра ЯГР практически не изменяются. Такое возрастание H обычно свидетельствует о релаксации аморфной структуры, переходе ее в состояние с меньшей свободной энергией [6, 7]. Признаков кристаллизации сплава на спектрах ЯГР облученных образцов не наблюдалось.

Поскольку процесс термической структурной релаксации сильно зависит от условий закалки и исходного состояния АС [8], результаты можно сопоставлять только в пределах одной партии, а лучше одного отрезка ленты. Это обстоятельство заставило провести измерения, аналогичные [6, 7], с целью определения максимального возрастания H в процессе термической структурной релаксации.

Отжиг образцов проводился в различных сочетаниях времени и температуры, при этом максимальное возрастание H не превышало 1.2%. Данные рис. 1 соответствуют началу ($\approx 5\%$) кристаллизации



Среднее магнитное поле на ядрах ^{57}Fe : 1 - облученные образцы; 2 - исходный материал; 3 - отжиг 470°C , 5с; 4 - отжиг 370°C , 1 ч.

$\alpha\text{-Fe}$, очень близкие результаты получаются, аналогично [7], и при вдвое меньшем времени отжига. Увеличение времени отжига приводит к снижению H в результате изменения химического состава аморфной матрицы вследствие кристаллизации $\alpha\text{-Fe}$ [6].

Таким образом, облучение приводит к состоянию релаксации аморфной структуры, недостижимому при термической обработке. Основным механизмом воздействия реакторного излучения на сплав $\text{Fe}_{90}\text{B}_{10}$ - деление ядер изотопа ^{10}B тепловыми нейтронами и внутреннее облучение материала ионами He (1.8 МэВ) и Li (0.6 МэВ), сечение этой реакции в ~ 50 раз превосходит сечение других радиационных процессов в этом сплаве. Поглощение одного нейтрона приводит к каскадным смещениям ≈ 200 атомов [9], а с учетом замещающих соударений это число может возрасти в 3-10 раз.

Дозовая зависимость H хорошо аппроксимируется выражением $H = H_0 + H_1 (1 - \exp(-\Phi/\Phi_0))$, где $H = 255$ кЭ, $H_1 = 7.8$ кЭ, $\Phi_0 = 3.16 \cdot 10^{17}$ нейтр./см² (кривая на рисунке) и оценка по известному сечению реакции деления показывает, что область, модифицируемая в результате деления одного ядра ^{10}B , содержит $2 \cdot 10^4$ атомов. Это по крайней мере на порядок превышает максимальную оценку числа атомов, которые могут участвовать в каскаде смещений (с учетом возможных замещающих соударений). Поэтому естественно связать наблюдаемое явление с термическими пиками вокруг каскадов смещений по аналогии с радиационным отжигом механических напряжений в уране [10]. Предположения о локальном разогреве материала привлекались при обсуждении изменений температуры Кюри АС при облучении нейтронами [3] и протонами [4].

Представляется, однако, что воздействие облучения в данном случае нельзя считать чисто термическим. Действительно, в процессе изготовления АС был закален от температуры плавления за время 10^{-3} с и проведение дополнительных отжигов длительностью 10^{-10} с (длительность термического пика), по-видимому, не должно существенно повлиять на те процессы релаксации, которые проходят в твердой фазе за время закалки. Изменение времени отжига в пределах трех порядков величины (см. рисунок) не привело к существенному различию результатов. Трудно ожидать, что его дальнейшее уменьшение приведет к возрастанию N . Наоборот, по многочисленным данным (см. [11]), чем ниже температура отжига (при соответствующем увеличении его длительности), тем выше степень химического ближнего упорядочения. Поэтому, вероятно, основную роль в процессе релаксации под облучением играют не термостимулированные, а радиационностимулированные процессы перестройки, обусловленные повышением концентрации дефектов в области каскада смещений [12]. Такие процессы могут привести к ускоренному установлению химического ближнего порядка, отвечающего температуре, близкой к температуре облучения, т.е. такому состоянию релаксации, которое может быть достигнуто при этой температуре без облучения только за очень большое время. Кроме того, такие процессы, как „радиационный наклеп“ материала механическими напряжениями, возникающими в термических пиках [13], могут изменять не только скорость, но и предельное состояние релаксации структуры АС.

Авторы благодарны В.А. Суетину за предоставление аморфной ленты, И.В. Матвееву и Ю.Н. Смирскому за помощь в проведении облучений.

Л и т е р а т у р а

- [1] Liou S., Chen C. - Phys. Rev. B, 1987, v. 35, N 5, p. 2443-2446.
- [2] Thome L., Benyagoub A., Audouard A., Chaumont J. - J. Phys. F: Met. Phys., 1985, v. 15, N 6, p. 1229-1236.
- [3] Grundy P., Parker S., Jones G. - Nucl. Instr. Meth., 1983, v. 209/210, p. 421-426.
- [4] Fisher D., Murray R., Swann C. - J. Appl. Phys., 1984, v. 56, N 4, p. 1055-1058.
- [5] Eibschutz M., Lines M., Chen H., Masumoto T. - J. Phys. F: Met. Phys., 1984, v. 14, N 2, p. 505-520.
- [6] Ok H.N., Morrish A. - Phys. Rev., 1980, v. 22, N 7, p. 3471-3480.
- [7] Koshimura M., Takahashi M. - Proc. 4-th Int. Conf. of Rapidly Quenched Metals. - Sendai, 1981, p. 539-542.

- [8] Greer A. - J. Mater. Science, 1982, v. 17, p. 1117-1124.
- [9] Gerling R., Shimansky F., Wagner R. - J. Non-Cryst. Solids, 1984, v. 61/62, p. 919-924.
- [10] Конобеевский С.Т. В кн.: Действие ядерных излучений на материалы, М.: АН СССР, 1962, с. 1-33.
- [11] Gibbs M., Hugate G. - J. Phys. F: Met. Phys., 1986, v. 16, N 7, p. 809-821.
- [12] Жетбаева М.П., Инденбом В.Л., Кирсанов В.В., Чернов В.М. - Письма в ЖТФ, 1979, т. 5, № 19, с. 1157-1161.
- [13] Лифшиц И.М., Каганов М.И., Танатаров Л.В. - Атомная энергия, 1959, т. 6, № 4, с. 391-402.

Поступило в Редакцию
27 августа 1987 г.
В окончательной редакции
16 февраля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 15 12 августа 1988 г.

ХАОТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ НЕАВТОНОМНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА СО ЗНАКОПЕРЕМЕННЫМ „ТРЕНИЕМ“

Р. Мицкявичюс, А. Намаюнас,
Ю. Пожела, А. Тамашявичюс

Ряд нелинейных динамических систем с малым числом степеней свободы при внешнем периодическом воздействии проявляет хаотические свойства. Известные неавтономные системы с хаотическим поведением можно объединить в две основные группы: автогенераторы и нелинейные осцилляторы с затуханием. К первой группе относятся, например, „Брюсселятор“ (модель Пригожина-Лефевра-Николиса), воздействуемый гармоническим возмущением [1], а также неавтономные радиогенераторы Ван-дер-Поля [2, 3]. К второй - самые различные по физической природе осцилляторы, описываемые неавтономным уравнением Дуффинга [4-9].

Недавно обнаружена хаотизация колебаний в системах [10, 11], которые нельзя однозначно отнести к выше упомянутым группам. Такие системы в отсутствие внешней периодической „силы“ являются устойчивыми, т.е. подобны осцилляторам с затуханием, но при внешнем воздействии входят в область неустойчивости и проявляют автоколебательный характер. Эти системы можно назвать потенциально активными осцилляторами. Исследованные в [10, 11] осцил-