

## ОБРАЗОВАНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СИСТЕМЕ НИОБИЙ – ЖЕЛЕЗО ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ, ВЫЗВАННОЙ ЛАЗЕРНЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

*И. Я. Дехтяр, Л. И. Иванов, Н. В. Карлов,  
Ю. Н. Никифоров, М. М. Ищенко,  
А. М. Прохоров, В. А. Янушкевич*

Неравновесная плотность точечных дефектов, генерируемых в системе ниобий – железо под действием ударной волны, вызванной импульсным лазерным облучением, привела к образованию интерметаллических соединений, обнаруженных методом мессбауэровской спектроскопии.

Импульсное лазерное воздействие, генерируя в твердом теле точечные дефекты, может существенно изменять свойства облучаемого образца. Так, при лазерном облучении сверхпроводящих материалов наблюдалось [1] остающееся стационарным повышение  $T_K$ , вызванное образованием точечных дефектов при прохождении ударных волн через облучаемый образец.

Диффузия дефектов из объема образца на его поверхность и их неравновесность могут существенно изменять химическую активность поверхности, вызывая в приповерхностном слое неравновесные химические процессы.

В этой работе сообщается о первом наблюдении образования интерметаллических соединений при прохождении через массивный металлический образец ударных волн, вызванных импульсным лазерным облучением образца.

Исследована система ниобий – железо. Так как в [2] при облучении поверхности Nb с нанесенным на нее слоем  $Fe^{37}$  лазерными импульсами длительностью  $\sim 10^{-3}$  сек наблюдалось, по-видимому в силу теплового воздействия, проникновение атомов Fe в ниобиевую матрицу и образование гексагональной структуры  $NbFe_2$ , были приняты меры по возможно более полному исключению термических эффектов. Лазерному облучению подвергалась поверхность образца, противоположная той, на которую был нанесен слой железа. Длительность импульса облучения была выбрана равной  $2,5 \cdot 10^{-8}$  сек. При этом для ниобия согласно [3] нагрев на температуру, составляющую 5% от температуры поверхности, проникает за время импульса на глубину в 1,5 мкм. Следовательно, для образцов толщиной свыше 10 мкм термическое воздействие на необлучаемую поверхность практически исключено. Вместе с тем, согласно [4] при длительности воздействия  $2,5 \cdot 10^{-8}$  сек и при облучении металла излучением рубинового лазера условие образования ударной волны легко выполняется при энергии свыше 0,3 Дж, причем упругая волна становится ударной на глубине 5 мкм.

Облучение образцов осуществлялось через прозрачную конденсированную среду (дистиллированную воду) последовательно по всей поверхности со стороны ниобия излучением рубинового лазера в режиме мо-

дулированной добротности (энергия в импульсе  $0,5 \text{ Дж}$  длительность импульса  $2,5 \cdot 10^{-8} \text{ сек}$ , интенсивность  $2 \cdot 10^9 \text{ Вт/сек}^2$ ). Давление на фронте ударной волны составляет при этом согласно [5]  $3,3 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$ . Для улучшения однородности воздействия, исключения пластической деформации образца, усиления давления ударной волны и получения заданной формы облученной области на образец накладывалась медная пластина с конусообразной вытяжкой, заполненной водой. Облучение производилось при комнатной температуре. Схема опыта представлена на рис.1.

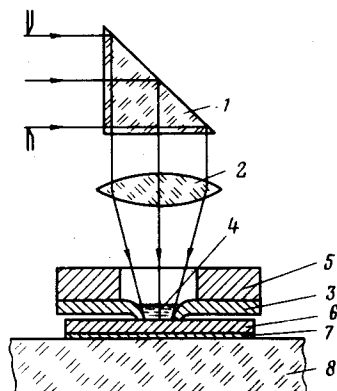


Рис.1. Методика эксперимента: 1 - стеклянная призма; 2 - фокусирующая линза; 3 - медная пластина; 4 - прозрачная конденсированная среда (вода); 5 - прижимное кольцо; 6 - ниобиевая фольга; 7 - слой железа; 8 - подложка

Исследованы образцы толщиной  $25 - 26 \text{ мкм}$ . На ниобиевую подложку нанесена путем термического испарения в вакууме  $2 \cdot 10^{-8} \text{ мм рт. ст.}$  пленка Fe толщиной  $6000 \pm 250 \text{ \AA}$ . Для анализа результатов воздействия, как и в [2] применена мессбауэровская спектроскопическая методика.

Исследование мессбауэровских спектров производилось с помощью резонансного спектрометра ЯГРС-4 с источником  $\text{Co}^{57}$  в матрице хрома. Источник и поглотитель во время измерений находились при комнатной температуре.

На рис.2. приведены внутренние линии, соответствующие переходам между магнитными подуровнями  $+1/2 \rightarrow -1/2$  и  $-1/2 \rightarrow +1/2$  образца до облучения (А) и после облучения (Б). В центре спектра облученного образца наблюдается парамагнитная линия слабой интенсивности с изомерным сдвигом  $\delta E = \pm 0,06 \pm 0,02 \text{ мм/сек}$ . Отношение площади парамагнитного пика к площади под кривой исходного  $\text{Fe}^{57}$ , нанесенного на ниобий, составляет примерно 2%.

Вид спектра свидетельствует о перераспределении атомов Fe и Nb вблизи первоначальной границы раздела с их взаимным проникновением и образованием интерметаллических соединений  $\text{NbFe}_2$  и  $\text{NbFe}$  [2].  $\text{NbFe}_2$  - это соединение со структурой фазы Лавеса переменного состава [6] с областью гомогенности  $58 - 78 \text{ \% Fe}$  и образуется обычно при температуре  $1770^\circ\text{C}$  [7].

По-видимому, при облучении возникает также фаза NbFe с областью гомогенности  $50 - 54 \text{ ат.\% Fe}$ . По структуре и межатомным расстояниям она аналогична соединению  $\text{NbFe}_2$ , а их мессбауэровские спектры при комнатной температуре практически совпадают. Оценка сред-

ней толщины слоя образовавшихся интерметаллических соединений производилась из отношения площадей сверхтонкой ( $Fe^{57}$ ) и нерасщепленной компонент спектра и составляет около  $100 \text{ \AA}$ .

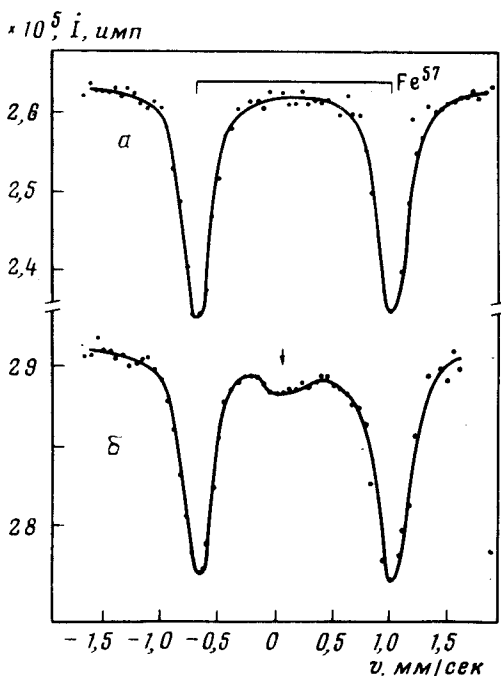


Рис.2. Мессбауэровский спектр образца до облучения лазером (а) и после облучения (б)

Асимметрия парамагнитного пика из-за наплыва с правой стороны обусловлена, по-видимому, наложением линии твердого раствора  $Fe$  в  $Nb$  с окислом  $FeO$  [2].

Для диффузионного образования слоя  $100 \text{ \AA}$   $NbFe_2$  необходимо, чтобы концентрация вакансий в фольге  $Nb$  составляла  $0,6 \text{ ат.}\%$ , т.е. больше, чем их равновесная концентрация при температуре плавления.

Таким образом, образование высокой неравновесной концентрации точечных дефектов при ударном лазерном воздействии, их сток на свободную поверхность металлического образца и встречная диффузия адсорбированных примесных атомов с поверхности в объем приводит к образованию в приповерхностном слое интерметаллических соединений.

По-видимому, лазерное генерирование точечных дефектов может рассматриваться как метод инициирования химических реакций в твердых телах — лазерная химия твердого тела.

Физический институт им.П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
16 декабря 1980 г.

### Литература

- [1] В.Н.Грибов, И.Я.Дехтяр, Л.И.Иванов, Н.В.Карлов, Г.П.Кузьмин, М.М.Ищенко, А.М.Прохоров, Н.Н.Рыкалин, В.Я.Янушкевич. Пись-

ма в ЖЭТФ, 18, 258, 1973; И.Я.Дехтяр, Л.И.Иванов, Н.В.Карлов, Г.П.Кузьмин, М.М.Ищенко, А.М.Проخورов, Н.Н.Рыкалин, В.А.Янушкевич. Квантовая электроника, 3, 844, 1976.

- [2] И.Я.Дехтяр, М.М.Ищенко, В.В.Бухаленко, С.Я.Харитонский. Физика металлов и металловедение, 47, 887, 1979.
- [3] В.П.Зейко, А.Н.Кокора, М.Н.Либенсон. Доклады АН СССР, 179, 68, 1967.
- [4] Л.И.Иванов, Н.А.Литвинова, В.А.Янушкевич. Квантовая электроника, 4, №1, 1977.
- [5] Л.И.Иванов, Ю.Н.Никифоров, В.А.Янушкевич. ЖЭТФ, 67, 147, 1974.
- [6] Б.С.Бокштейн, Ю.Б.Витковский, Е.Г.Латаш, А.Ю.Наджафов, Г.С.Никольский. МИТОМ, №6, 64, 1974.
- [7] В.Н.Свечников, В.В.Немошкаленко, Ю.А.Кочержинский, А.П.Насенюк, В.П.Кривицкий, В.В.Петьков, В.Я.Маркив, М.А.Миндлина, А.П.Шпак, А.В.Поленур. Сб. "Электронная структура переходных металлов, их сплавов и соединений". Киев, "Наукова думка", 1974, стр. 328.
-