

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ IN SITU ВЛИЯНИЯ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ НА ПАРАМЕТРЫ МЕССБАУЭРОВСКИХ СПЕКТРОВ ^{57}Fe -СОДЕРЖАЩИХ МИШЕНЕЙ

И.Ю. Романов¹⁾, В.А. Семенкин^{1,2)}, В.В. Овчинников^{1,2)}

¹⁾Институт электрофизики УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106, (343)267-87-74, ivan@ier.uran.ru

²⁾Уральский федеральный университет, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, viae05@rambler.ru

Описано оборудование для наблюдения эффекта Мессбауэра на ^{57}Fe -содержащих мишенях непосредственно в ходе их ионной бомбардировки в камере ионного имплантера (in situ). Отмечены конструктивные особенности установки, позволяющие работать на повышенных плотностях ионного тока (до 100 мкА/см^2 и выше), обеспечивающие защиту от вибраций и наводок, возникающих при работе ионного источника.

Введение

При определенных режимах ионно-лучевой обработки во многих материалах наблюдаются эффекты, получившие название эффектов дальнего действия. Как выяснено к настоящему времени, это целая группа эффектов, имеющих различную физическую природу [1-3]. Они проявляются в изменении структуры и свойств конденсированных сред далеко за пределами зоны проникновения ускоренных ионов. При типичных энергиях тяжелых ионов, используемых для ионно-лучевой модификации свойств материалов (обычно в диапазоне 10^4 - 10^6 эВ), протяженность легируемой зоны не превышает нескольких сотен нанометров. В силу этого факты протекания структурных перестроек при ионном облучении на многократно большей глубине (вплоть до нескольких мм [3]), не могут быть объяснены в рамках учета прямого взаимодействия налетающих ионов с атомами среды. Природа процессов, определяющих максимальные масштабы дальнего действия, связывается с накоплением высоких *статистических напряжений* в ходе ионного внедрения [2], а также с формированием и распространением в веществе *послекаскадных ударных волн* [3,4]. Высказана гипотеза о возможной роли обусловленных торможением ускоренных ионов возбуждений, распространяющихся по электронной подсистеме и способных влиять на характер распределения внешних электронов атомов (т.е. на параметры химической связи и, как следствие, на подвижность атомов решетки) [5].

Основная часть

Обычно в ходе исследований состояние облученных материалов сравнивается с исходным, что, однако, позволяет обнаружить только необратимые изменения структуры и свойств. Возможные же динамические изменения (возбуждения), исчезающие с прекращением облучения, остаются вне области рассмотрения. Для установления факта наличия либо отсутствия таких поддерживаемых облучением возбуждений необходим бесконтактный (не вызывающий ощутимых возмущений среды) способ анализа состояния облучаемых образцов, имеющий высокую разрешающую способность для прямого наблюдения возможных решеточных и электронных возбуждений. Данным требованиям при выполнении

соответствующих соотношений интенсивности внешних воздействий (скорости «накачки») и времен релаксации этих возбуждений удовлетворяет метод ядерного γ -резонанса (эффект Мессбауэра).

Уникальная чувствительность эффекта Мессбауэра как метода изучения строения конденсированных сред обусловлена тем, что ширина составляющих мессбауэровский спектр индивидуальных резонансных линий меньше энергий магнитного и электрического взаимодействий резонансного ядра с окружающими его электронами. Эффект Мессбауэра – эффективный метод исследования широкого круга явлений, влияющих на эти взаимодействия [4].

Была поставлена задача регистрации мессбауэровского спектра фольги армко-железа непосредственно в ходе ее облучения пучком ускоренных ионов с целью возможного обнаружения электронных и решеточных (фононных) возбуждений, инициируемых ионной бомбардировкой. Схема эксперимента такова (рис.1а), что радиоактивный изотоп, энергия γ -квантов которого модулируется при помощи эффекта Доплера, исследуемый образец и детектор располагаются на одной оси. Под углом в 45° к ней размещается ионный источник, и коллиматор вырезает из широкого пучка ионов пучок необходимого диаметра, падающий на мишень.

Эксперимент, проведенный в работе [5] при плотности ионного тока 5 мкА/см^2 и энергии ионов 18 кэВ, обнаружил влияние облучения на форму мессбауэровского спектра ^{57}Fe . Увеличение плотности ионного тока оказалось невозможным из-за перегрузки детектора γ -квантов тормозным излучением, возникающим при работе источника. В связи с этим была проведена модернизация значительной части контрольно-измерительной аппаратуры.

Установленный на имплантере [7] ионный источник «Пульсар-1М» [6] способен генерировать пучки ионов с энергией до 40 кэВ при плотностях ионного тока в диапазоне 100 - 500 мкА/см^2 . Основой мессбауэровской части оборудования является мессбауэровский спектрометр СМ-2201 (с возможностью набора спектра в 4096 каналах), имеющий существенно повышенную разрешающую способность, линейность и временную стабильность по

сравнению с большинством российских и зарубежных аналогов. Была усовершенствована система детектирования: с целью избавления от перегрузок применен резонансный детектор со специальным сцинтиллирующим материалом ($K_2Mg^{57}Fe(CN)_6$), имеющий избирательную чувствительность к резонансному излучению ^{57}Fe с энергией 14.4 кэВ. Кроме того, за счет использования источника активностью 100 мКи, была увеличена скорость набора спектра, что весьма существенно для эксперимента, поскольку время непрерывной работы источника не превышает 30-60 минут (в зависимости от режима).

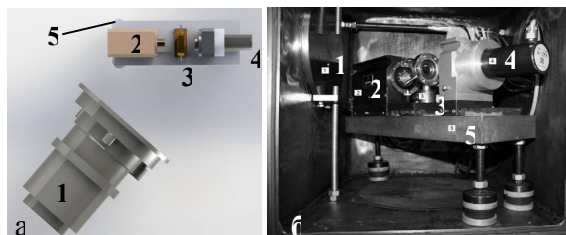


Рис. 1. Схема эксперимента (а) и общий вид оборудования (б): 1 – ионный источник "Пульсар-1М" [6] с коллиматором пучка, 2 – доплеровский модулятор с источником ^{57}Co , 3 – камера-держатель образца ^{57}Fe , 4 – детектор γ -излучения, 5 – направляющая станина

Поскольку в мессбауэровском эксперименте используется доплеровский модулятор для прецизионного задания скорости (в нашем случае источника), эксперимент крайне чувствителен к вибрациям, вызываемым работой окружающего оборудования, в первую очередь вакуумных насосов. Для снижения уровня внешних механических колебаний до приемлемого уровня, применялась система развязывающих сильфонных переходов и массивная виброизолированная направляющая.

В качестве мишени использовалась фольга армо-железа, толщиной ~10 мкм, содержащая изотоп ^{57}Fe . Источником γ -квантов являлся изотоп ^{57}Co в матрице Cr. Для того, чтобы отделить эффекты, вызванные радиационно-динамическим воздействием от тех, что могут быть вызваны разогревом мишени при ионном облучении, необ-

ходимо контролировать ее температуру. Для этого использовалась хромель-алюмелевая термopара и система мониторинга, защищенная от наводок со стороны ионной пушки и позволяющая вести наблюдение в режиме реального времени. Применение специальной герметичной водоохлаждаемой камеры-держателя позволяет ограничить нагрев мишени и свести к минимуму температурные градиенты.

При установившемся режиме работы ионного источника температура образца поддерживается постоянной.

Заключение

В настоящее время ведутся эксперименты по изучению воздействия пучков ускоренных ионов (при вариации режимов облучения) на параметры мессбауэровских спектров чистого железа и других железосодержащих мишеней при плотностях ионного тока до 100 мкА/см² и выше, с целью возможного обнаружения обсуждавшихся выше эффектов.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-Т-2-1013.

Список литературы

1. Гусева М.И. // Поверхность. Физика, химия, механика. - 1982. - № 4. - С. 22.
2. Диденко А.Н., Шаркеев Ю.Н., Козлов Э.В., Рябчиков А.И. Эффекты дальнего действия в ионно-имплантированных металлических материалах. - Томск: Изд-во НТЛ, 2004. - 328 с.
3. Овчинников В.В. // Успехи физических наук. - 2008. - Т. 178. - № 9. - С. 991-1001.
4. Овчинников В.В. Мессбауэровские методы анализа атомной и магнитной структуры сплавов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 256 с.
5. Овчинников В.В., Семенкин В.А., Голобородский Б.Ю. // Известия высших учебных заведений. - №1/3. - 2011. - С.131-136.
6. Gavrilov N. V., Mesyats G.A., Nikulin S.P. et al. // J. Vac. Sci. Technol. - 1996. - A14. - P. 1050-1055
7. Романов И.Ю. // Труды XX Международного совещания «Радиационная физика твердого тела» (г. Севастополь, 5-10 июля 2010 г.). - С. 455-462.

EQUIPMENT FOR IN SITU RESEARCH OF ION BOMBARDMENT INFLUENCE ON PARAMETERS OF MÖSSBAUER SPECTRA OF ^{57}Fe -CONTAINING TARGETS

I.Yu. Romanov¹⁾, V.A. Semenkin^{1,2)}, V.V. Ovchinnikov^{1,2)}

¹⁾ Institute of Electrophysics, UB RAS, ul. Amundsena 106, Yekaterinburg, 620016 Russia, (343)267-87-12, ivan@iep.uran.ru

²⁾ Ural Federal University, ul. Mira 19, Yekaterinburg, 620002, Russia, viae05@rambler.ru

The equipment designed for observing the Mossbauer effect on ^{57}Fe -containing targets directly under ion bombardment is described. A Mossbauer source, a sample-target, and a special resonance detector (sensitive to a resonance irradiation of 14.4 keV and cutting off deceleration gamma-ray irradiation) are located in a chamber of the ion implanter. The application of the resonant detector makes it possible to operate at higher ion current densities up to 100 $\mu A/cm^2$ and above. The equipment is resistant to vibrations and electromagnetic interference from the ion source. The construction of the water-cooled chamber-holder of a sample restricts the heating of the sample and minimizes temperature gradients.