

жений Дебая-Валлера L_H [4]. Его получают из измерений зависимости интенсивности динамического пика ТРС-кривой от γ [3]. Результаты приведены в таблице, из которой видно, что степень разупорядочения решетки кристалла 2 выше, чем кристалла 1.

Детальная рентгендифрактометрическая оценка структурного совершенства исследованных кристаллов $CdTe$ свидетельствует о том, что их кристаллическая структура находится на уровне, характерном для соединений $A_{III}B_{IV}$. Из них могут быть изготовлены подложки размером $\geq 5 \text{ см}^2$, не содержащие таких дефектов, как малоугловые границы, двойники, макронапряжения. На лучших образцах количественные характеристики кривых качания (ω , ρ , R_i^2) близки к теоретическим значениям для динамической теории рассеяния рентгеновских лучей. Таким образом, трудности с использованием теллурида кадмия в качестве подложечного материала [5] имеют причины исключительно технологического характера.

Л и т е р а т у р а

- [1] D i n a n J.H., Q a d r i S.B. - J. Vac. Sci. Technol., 1986, v. A4, N4, p. 2158-61.
- [2] S a s s e n b e r g U., B e r g e r H., E n g e l A. - Cryst. Res. Technol., 1987, v. 22, N 5, p. K86-87.
- [3] К о в ь е в Э.К., Р а т н и к о в В.В., С о р о к и н Л.М. ФТТ, 1981, т. 23, № 6, с. 1626-1629.
- [4] К р и в о г л а з М.А. Дифракция рентгеновских лучей и нейтронов в неидеальных кристаллах, Киев: Наукова думка, 1983. 408 с.
- [5] F a r r o w R.F.C. - J. Vac. Sci. Technol., 1985, v. A3, N 1, p. 60-66.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
17 мая 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 15

12 августа 1988 г.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ВОЗБУЖДАЕМОГО ПРОТОНАМИ В УСЛОВИЯХ ОСЕВОГО КАНАЛИРОВАНИЯ

В.П. П е т у х о в, А.М. Б о р и с о в,
Н.Г. Г о р я г а, Е.А. Р о м а н о в с к и й

Исследование поляризации характеристического рентгеновского излучения, возбуждаемого ускоренными ионами в монокристаллах,

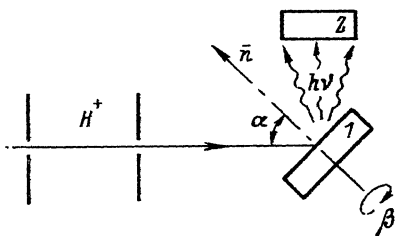


Рис. 1. Схема эксперимента. 1 - мишень, 2 - спектрометр-поляриметр.

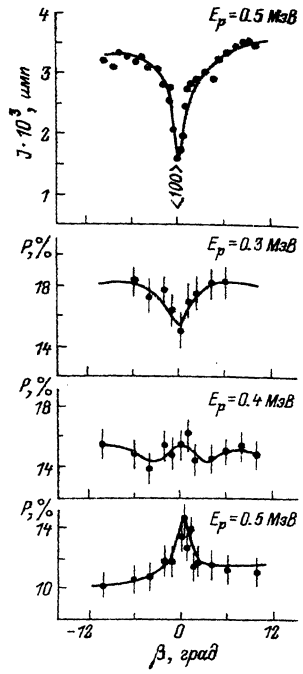


Рис. 2. Зависимость интенсивности J и степени поляризации P излучения L_γ -линии атома серебра, возбуждаемого протонами от азимутального угла β поворота мишени. Линия дана для наглядности.

представляет интерес в связи с тем, что особенности поведения степени поляризации отдельных линий рентгеновского спектра в зависимости от ориентации монокристалла и энергии ионов могут нести богатую информацию о закономерностях движения ионов в монокристалле, которую не всегда можно извлечь из экспериментов, в которых регистрируются либо обратное рассеяние частиц, либо выход рентгеновского излучения [1]. Теоретические оценки [2] показывают, что поляризация излучения, возбуждаемого протонами в условиях каналирования, может отличаться от значений поляризации при случайной ориентации монокристалла относительно пучка ионов, однако экспериментальные исследования в этом направлении пока отсутствуют. В данной работе впервые экспериментально обнаружена ориентационная и энергетическая зависимость поляризации характеристического рентгеновского излучения, возбуждаемого протонами в условиях осевого каналирования в монокристалле серебра.

На установке, состоящей из дифракционного спектрометра-поляриметра, выполненного по схеме Соллера, и двухосного гониометра мишени, проведены измерения зависимости поляризации излучения L_γ -линии серебра от ориентации монокристалла относительно оси пучка протонов. Энергия протонов изменялась в диапазоне от 0.3 до 0.5 МэВ. Угловое расхождение пучка протонов не превышало 0.2° . Рентгеновский спектрометр имеет разрешение ~ 30 эВ при энергии квантов 3 кэВ. Мишенью служил монокристалл серебра

(диаметр ~ 10 мм, толщина ~ 5 мм) с плоскостью среза близкой к кристаллографической плоскости (110). Кристалл ориентирован так, что при угле падения протонов на мишень $\alpha = 52^\circ$, отсчитываемом от нормали к ее поверхности, и азимутальном угле поворота мишени $\beta = 0^\circ$, ось протонного пучка параллельна кристаллографической оси $\langle 100 \rangle$. Рентгеновское излучение регистрировалось под углом 90° к протонному пучку в плоскости его падения на мишень (рис. 1). Для исключения систематической ошибки в измерениях поляризации, обусловленной погрешностями в юстировке прибора, одновременно с измерением интенсивности L_2 -линии измерялась интенсивность L_{β_1} -линии, излучение которой неполяризовано. При определении степени поляризации L_2 -линии ее интенсивность нормировалась на интенсивность L_{β_1} -линии.

Результаты измерений зависимости интенсивности L_2 -линии J и ее степени поляризации P от азимутального угла β поворота монокристалла приведены на рисунке 2. Во всем диапазоне исследованных энергий протонов зависимость $J(\beta)$ имеет вид „лунки“ с минимумом при $\beta = 0^\circ$, когда ось пучка и кристаллографическая ось $\langle 100 \rangle$ совпадают. Этот минимум выхода объясняется тем, что при такой ориентации часть протонного пучка, движущаяся в монокристалле близко к оси цепочки атомов и испытывающая меньшие тормозные потери, возбуждает рентгеновское излучение на больших расстояниях от поверхности, что приводит к уменьшению выхода излучения из монокристалла за счет самопоглощения в материале мишени. Кроме того, при движении протонов в условиях каналирования уменьшается вероятность ионизации внутренних оболочек, т.к. столкновения происходят при больших параметрах удара, что также приводит к уменьшению выхода рентгеновского излучения. В то же время, как можно видеть из рисунка, степень поляризации L_2 -излучения атомов серебра в зависимости от азимутального угла при разных энергиях протонов ведет себя существенно по-разному. По-видимому, в зависимости от энергии меняется вклад в излучение от разных процессов, определяющих столкновения, сопровождающиеся ионизацией внутренней оболочки атомов цепочки, вдоль которой движется поток протонов и, следовательно, поляризация излучения. Степень поляризации L_2 -линии атомов серебра зависит от энергии протонов и уменьшается от 29 до 8% при изменении энергии от 0.15 до 0.5 МэВ [3]. Поэтому при измерениях на толстой мишени регистрируемая степень поляризации возрастает по сравнению с тонкой мишенью, т.к. при этом поляризация определяется не только излучением от протонов с начальной энергией падающего пучка, но и от протонов с меньшей энергией, заторможенных внутри мишени. При возбуждении рентгеновского излучения протонами, двигающимися в монокристалле в условиях каналирования, вклад в измеряемую поляризацию вносят как каналированные, так и деканалированные частицы. Возрастание степени поляризации L_2 -линии при $\beta = 0^\circ$ по сравнению со случайной ориентацией кристалла ($\alpha = 4.5^\circ$) в случае, когда энергия протонов $E_p = 0.5$ МэВ, может быть, обусловлено излучением, возбуждаемым деканалирован-

ными частицами, т.к. каналированные протоны, движущиеся вблизи оси (что соответствует большим значениям прицельного параметра), с меньшей вероятностью ионизируют внутренние оболочки, и их вклад в общее излучение мал. После того, как эти протоны теряют часть энергии и выходят из канала, они уже возбуждают излучение с поляризацией, соответствующей этой меньшей энергии протонов, а с уменьшением энергии частиц поляризация возрастает. В случае $E_p = 0.3 \text{ МэВ}$, уменьшение поляризации при $\beta = 0^\circ$ связано, возможно, с тем, что основной вклад в излучение дают именно каналированные частицы, для которых реализуются столкновения с большими прицельными параметрами. А из расчетов [4] следует, что степень поляризации L_γ -линий должна уменьшаться с увеличением прицельного параметра. Поведение степени поляризации в зависимости от ориентации монокристалла при энергии протонов 0.4 МэВ , видимо, соответствует промежуточному случаю, когда работают оба механизма.

На данном этапе мы вынуждены ограничиться только лишь качественными соображениями по поводу наблюдаемого явления, т.к. полное понимание процессов, сопровождающих ионизацию и выстраивание вакансий во внутренних оболочках атома в условиях каналирования, возможно только после проведения детальных расчетов и дополнительных экспериментов. Однако сейчас уже понятно, что поляризация излучения, возбуждаемого в ионно-атомных столкновениях, чувствительна к динамике установления режима каналирования ионов в кристаллах и к распределению потока частиц, движущихся в кристалле. А эта информация важна, в частности, для понимания процессов ионного легирования и при разработке методов пучковой диагностики кристаллов.

Авторы благодарят Н.В. Личкову и С.Ф. Мусихину за изготовление монокристалла серебра, В.С. Куликаускаса за помощь в работе с кристаллами, а также Н.М. Кабачника за полезное обсуждение полученных результатов.

Л и т е р а т у р а

- [1] K a b a c h n i k N.M. et al. - Phys. St. Sol., 1987, В139, p. 17-57.
- [2] V o r o b j e v N.F., P e t u k h o v V.P., K a b a c h n i k N.M. - Nucl. Instrum. and Meth., 1984, v. 32, p. 316-317.
- [3] П е т у х о в В.П., Р о м а н о в с к и й Е.А., Е р м а к о в С.В. - Письма в ЖЭТФ, 1979, т. 29, с. 385-387.
- [4] Е р е м и н Н.В., К а б а ч н и к Н.М., К о н д р а т ь е в В.Н. - Материалы ХУ1 Всесоюзного совещания по взаимо-

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