

Рис. 3. Видеосигналы от поверхности первой (1) и второй (2) грани режущей кромки

пучком электронов в том же направлении X (режим Y -модуляции) [5]. Установлено, что для первой грани типичной оказывается сильная шероховатость поверхности с размерами порядка λ или более. Поперек грани идут бороздки — глубокие, с крутыми склонами, сильно сужающиеся у дна и нерегулярные по линейным размерам. Они чередуются с такими же нерегулярными гребнями без какой-либо периодичности. Шероховатость же поверхности второй грани намного меньше, чем первой. Наблюдается сглаживание и скругление формы вершины и дна гребней и бороздок, образование более пологих склонов и даже отдельных плоских участков поверхности второй грани.

Сильная шероховатость поверхности первой грани приводит к подавлению регулярной дифракционной картины, возникающей при отражении излучения от нее, в то время как слабая шероховатость второй грани не может этому воспрепятствовать, и в результате только одна спекл-структура из двух на рис. 2 пересекается в поперечном направлении характерной дифракционной полосой. Она идет симметрично в обе стороны от центра спекл-структуры в горизонтальном направлении и постепенно сужается (на рис. 2 показана только правая часть этой полосы). Вторая особенность

анизотропных спекл-структур состоит в анизотропии спекл-полей, порождаемых анизотропно-шероховатой поверхностью граней. Это проявляется в том, что анизотропные спеклы вдоль обеих спекл-структур (по вертикали на рис. 2) ведут себя как типично рэлеевские, которые при нормальной экспозиции фотоматериала приводят к предельно контрастной картине. В то же время отдельные анизотропные спеклы в самой структуре проявляют типично райсовские черты: в горизонтальном направлении происходит непериодическая модуляция их интенсивности. Нелинейность характеристической кривой фотоматериала позволяет при подходящем выборе экспозиции наблюдать «разрыв» анизотропного спекла вдоль его длины на отдельные малые фрагменты, линейные размеры которых не соответствуют классическим размерам рэлеевских спеклов, строго определяемых законами дифракции [2]. При этом райсовские свойства вдоль анизотропного спекла становятся более выраженными при уменьшении шероховатости соответствующей грани кромки лезвия.

Обнаруженная в эксперименте анизотропия анизотропных спекл-структур может быть использована для оценки шероховатости микротекстур в современных технических приложениях.

Литература

1. Иванов А.Ю. // Письма в ЖТФ. 1999. 25, № 16. С. 29.
2. Франсон М. Оптика спеклов. М.: Мир, 1980.
3. Ульянов С.С. // Соросовский образовательный журн. 1999. № 6. С. 112.
4. Герчиков А.Б. // Химия и жизнь. 1982. № 6. С. 87.
5. Новиков Ю.А., Раков А.В., Стеколин И.Ю. // Механизмы вторичной электронной эмиссии рельефной поверхности твердого тела. М., 1998 (Тр. ИОФАН. Т. 55). С. 109.

Поступила в редакцию
09.02.00

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 546.18

ОБРАЗОВАНИЕ НАНОКЛАСТЕРОВ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ

А. А. Новакова, Т. Ю. Киселева, И. В. Ковалева

(кафедра физики твердого тела)

Проведено мёсбауэровское исследование стекол состава $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ с малым содержанием (до 1%) Fe, обогащенного по изотопу ^{57}Fe . Проанализировано структурное и валентное состояния ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} . Обнаруженная компонента спектров с характерной магнитно-релаксационной формой свидетельствует об образовании в стеклах ультрамалых кластеров оксида Fe^{3+} .

Интерес, проявляемый к изучению закономерностей положения ионов железа в стеклах различного состава, обусловлен резкой зависимостью свойств стекла как от концентрации ионов железа, так и от их валентно-координационного состояния. Определяющую роль здесь играет существование ионов железа

в двух валентных состояниях: Fe^{2+} и Fe^{3+} . Кроме того, существует вероятность, что эти разновалентные ионы занимают два различных структурных положения в структурной сетке октаэдрической (o) и тетраэдрической (t) координации. Отношение количества двухвалентного железа к количеству трехвалентного

($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) отражает степень окисленности стекла и является одной из важнейших его характеристик. Одним из самых эффективных методов при исследовании зависимостей этого соотношения от общего количества железа в стекле является мёссбауэровская спектроскопия. Мёссбауэровские спектры ядер ^{57}Fe в многокомпонентных стеклах, как показано в работах [1–5], представляют собой суперпозицию широких квадрупольных дублетов разной интенсивности, соответствующих *o*- и *t*-координационным положениям ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} в сетке стекла. При этом уширение и асимметрия компонент спектра обусловлены [6] существованием квазинепрерывных распределений сверхтонких параметров спектра около их средних значений.

Однако определенное мёссбауэровским методом отношение $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ хорошо согласуется с результатом классического химического анализа при концентрации Fe в стекле больше 2 ат.%, но существенно выше последнего при меньшей концентрации Fe. Кроме того, при таких малых концентрациях железа наблюдались необъяснимые скачки в значениях изомерного сдвига и квадрупольного расщепления [1].

В настоящей работе методом мёссбауэровской спектроскопии на изотопе ^{57}Fe исследовались многокомпонентные силикатные стекла*) состава 16% Na_2O , 10% CaO , ~74% SiO_2 с малым (меньше 1%) содержанием железа. Для получения качественных спектров образцы были обогащены по изотопу ^{57}Fe (таблица).

Характеристики исследуемых образцов

Образец	Общее количество Fe, %	Степень обогащения по ^{57}Fe , %	Удельная плотность $^{56}\text{Fe} + ^{57}\text{Fe}$ в образце, мг/см ²	Удельная плотность ^{57}Fe в образце, мг/см ²
S_1	1	0	1,49	0,03
S_2	1	0,250	1,49	0,38
S_3	0,3	0,201	0,45	0,30
S_4	0,1	0,100	0,15	0,15

Мёссбауэровские исследования проводились при температурах 300 и 80 К в геометрии поглощения с использованием источника γ -излучения $^{57}\text{Co}(\text{Rh})$ активностью 50 мКи. Моделирование спектров суперпозицией подспектров с лоренцевской формой линии проводилось при использовании программ обработки мёссбауэровских спектров Univem фирмы MOSTEK.

Мёссбауэровские спектры исследуемых образцов, полученные при комнатной температуре, представлены на рис. 1. Спектр образца S_1 с естественным содержанием железа 1% содержит только центральный широкий асимметричный дублет очень малой интенсивности (величина эффекта в спектре составляет $\varepsilon = 1\%$). В спектрах образцов, обогащенных по

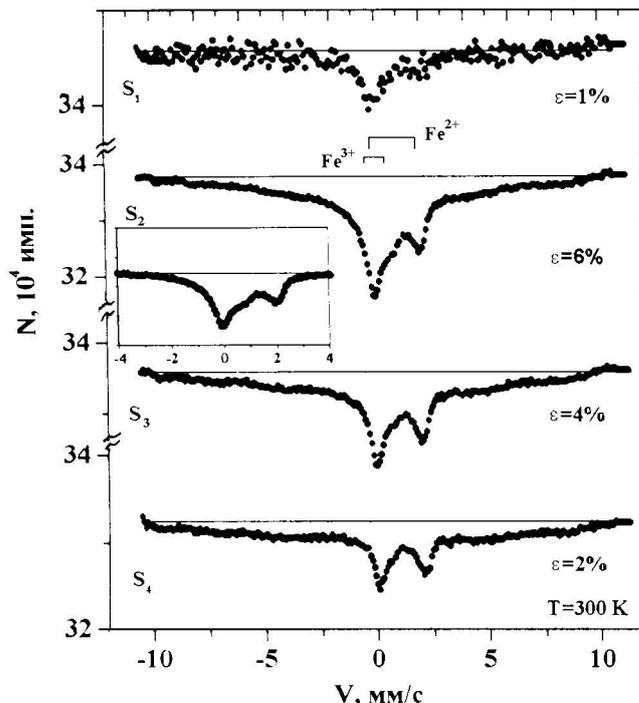


Рис. 1. Мёссбауэровские спектры образцов стекол (S_1 – S_4), полученные при $T = 300$ К. На вставке для образца S_2 приведен спектр, снятый в меньшем диапазоне скоростей

изотопу ^{57}Fe (S_2 , S_3 , S_4), величина эффекта значительно возрастает. Анализ сверхтонких параметров дублетной составляющей спектров (см. рис. 1) показывает, что в нее дают вклад подспектры с величинами квадрупольных расщеплений и изомерных сдвигов, соответствующих спектрам ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} в матрице стекла. При этом количество ионов Fe^{2+} , большей частью октаэдрически координированных, преобладает над количеством Fe^{3+} . С уменьшением общего количества железа в образце асимметрия в спектре уменьшается, что свидетельствует об уменьшении доли ионов Fe^{3+} в сетке стекла. Следует заметить, что помимо широкого центрального асимметричного дублета в спектрах наблюдается «искажение» базисной линии фона в интервале относительных скоростей (–8, +8 мм/с), которое можно объяснить существованием в этих спектрах плохо разрешенного магнитно-расщепленного подспектра, имеющего релаксационную форму. Этот подспектр вносит свой вклад в общую интенсивность парамагнитного дублета. На вставке к рис. 1 для образца S_2 в уменьшенном размере приведен тот же самый спектр, снятый в диапазоне скоростей (–4, +4 мм/с), в котором обычно проводятся съемки спектров стекол. Как видно из рис. 1, в этом случае магнитно-расщепленная компонента не фиксируется.

Обычно при мёссбауэровских исследованиях природы релаксационных явлений понижение температуры съемки вызывает уменьшение скорости релаксации спиновой подсистемы в образце и как следствие — стабилизацию сверхтонкой магнитной структуры спектра. Именно это явление и наблюдается

*) Образцы были приготовлены и любезно предоставлены нам Немецким государственным институтом материаловедения (Берлин).

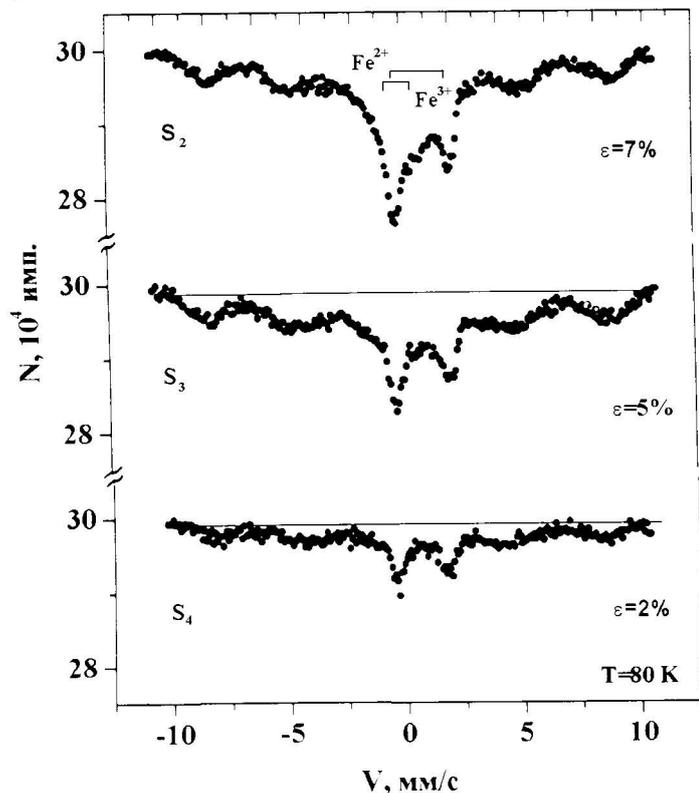


Рис. 2. Мёссбауэровские спектры стекол, полученные при $T = 80$ К

в спектрах исследуемых стекол, полученных при температуре 80 К (рис. 2). В каждом спектре хорошо виден магнитный подспектр с уширенными линиями и величиной эффективного магнитного поля $H_{\text{eff}} = 512$ кЭ. Такое температурное изменение формы мёссбауэровского спектра характерно для нанокластеров оксида трехвалентного железа [7]. Количество ионов Fe^{3+} , существующих в кластерной форме, в исследуемых нами стеклах довольно значи-

тельно и для всех исследуемых образцов приблизительно одинаково: $\sim 75\%$ от общего количества железа, содержащегося в образцах. По-видимому, при формировании стекла из расплава окислов эти кластеры заполняют все имеющиеся в сетке стекла поры, а остальные ионы железа в двух- и трехвалентном состояниях встраиваются в положения с t - и o -координацией в сетке стекла. Именно незамеченный подспектр от кластерной компоненты Fe^{3+} в мёссбауэровских спектрах стекол с низкой концентрацией железа и привел к завышенной оценке отношения $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$. При увеличении концентрации железа в стекле относительная интенсивность этой кластерной компоненты уменьшается, и соответственно уменьшается ее вклад в оценку отношения количества ионов Fe^{2+} к количеству ионов Fe^{3+} .

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 00-02-16603).

Литература

1. Белостин А.А., Остаевич Ю.М., Писаревский А.М. и др. // ФТТ. 1965. 7, № 5. С. 144.
2. Virgo D., Mysen B.O. // Phys. Chem. Minerals. 1985. 12. P. 65.
3. Zhou Zhongshen, Yuan Yisong, Hu Zhimin et al. // J. Non-Cryst. Sol. 1986. 84. P. 34.
4. Levi R.A., Lupis C.H., Flinn P.A. // Physics and Chemistry of Glasses. 1976. 17, No. 4. P. 94.
5. Iwamoto N., Tsunawaki Y., Nakagawa H. et al. // J. Non-Cryst. Sol. 1978. 29. P. 347.
6. Русаков В.С., Котельникова А.А., Бычков А.М. // Физика и химия стекла. 1999. 25. № 4. С. 465.
7. Суздаев И.П. Динамические эффекты в γ -резонансной спектроскопии М.: Атомиздат, 1979.

Поступила в редакцию
10.05.00

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.362

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ФОНОННОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В БИНАРНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Г. И. Петрунин, И. А. Илин

(кафедра физики Земли)

На примере изоморфных серий плагиоклазов и синтетических гранатов изучен характер нелинейной зависимости решеточной теплопроводности многоатомных бинарных твердых растворов от их компонентного состава. Предложен вариант теоретического соотношения, удовлетворительно описывающий экспериментальные данные.

Большинство основных породообразующих минералов, входящих в состав вещества оболочки Земли, — многоатомные кристаллические диэлектрики, представляющие собой, как правило, твердые растворы изо- и гетеровалентного замещения. Это обуславливает существенные особенности поведения их

решеточной теплопроводности по сравнению с простыми идеальными кристаллами [1, 2]. Изучение теплофизических характеристик таких структур, важное для прогнозирования тепловых свойств глубинных частей оболочки Земли, позволяет также продвинуться и в развитии теоретических представлений об осо-