

В заключение отметим, что в отсутствие модуляции решетки ( $\Delta a=0$ ) результаты данной теории согласуются с работой [5].

Автор выражает благодарность В. А. Бушуеву, В. М. Каганеру и Ф. Н. Чуховскому за обсуждение общих вопросов статистической динамической теории дифракции.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ассур К. П., Энтин И. Р. // ФТТ. 1982. Т. 24. № 7. С. 2122—2129.
- [2] Засимчук В. И., Тихонова Е. А. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 5. С. 1306—1312.
- [3] Kato N. // Acta Cryst. A. 1980. V. 36. N 5. P. 763—769.
- [4] Петрашень П. В. // Металлофизика. 1986. Т. 8. № 1. С. 35—43.
- [5] Бушуев В. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 11. С. 70—78.
- [6] Пунегов В. И. // III совещ. по всесоюз. межвузовской программе «Рентген». Ереван, 1989. С. 22, 38.
- [7] Кютт Р. Н. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 8. С. 270—273.

Сыктывкарский  
государственный университет  
им. 50-летия СССР

Поступило в Редакцию  
5 февраля 1990 г.

УДК 537.622 : 539.12.04

© Физика твердого тела, том 32, № 8, 1990  
Solid State Physics, vol. 32, N 8, 1990

## ИЗМЕНЕНИЕ НАМАГНИЧЕННОСТИ БИОТИТА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А. Б. Грановский, Л. В. Навалихин, В. Е. Роде,  
Ж. Саидмурадов, М. Х. Усманов, М. И. Эпов

В данной работе приводятся результаты исследования влияния радиационного воздействия нейтронов на намагниченность биотита  $K(MgFe)_3[AlSi_3O_{10}](OHF)_2$ . Ранее проведенные исследования воздействия на биотит интенсивного потока протонов [1] и высокотемпературного отжига [1–3] показали, что как при радиационном воздействии, так и при отжиге происходят увеличение процентного содержания ионов  $Fe^{3+}$  и соответствующее уменьшение ионов  $Fe^{2+}$ . Так как процессы соударения высокоэнергетических частиц с ионами кристаллической решетки могут приводить к образованию «тепловых пиков» [4], то указанные данные позволяют связать радиационное воздействие на биотит с термически активационным окислением ионов железа ( $Fe_3O_4 \rightarrow Fe_2O_3$ ) в «тепловых пиках» [1, 4]. Магнитный момент ионов  $Fe^{3+}$  превышает магнитный момент ионов  $Fe^{2+}$  [5], поэтому в результате облучения высокоэнергетическими частицами или отжига следовало бы ожидать увеличения намагниченности биотита. Однако нами получены данные, указывающие на принципиально отличное этих типов воздействий на намагниченность биотита.

Биотит<sup>1</sup> разделили на семь групп по десять образцов в каждой. Для всех образцов методом Вейсса—Форера на установке [6] при 4.2 К измерили полевую зависимость намагниченности. Затем первую группу образцов прогрели при 1000 °С в течение 15 мин в муфельной печи. Четыре группы подвергли облучению на нейтронном генераторе НГ-160 нейтронами энергией 14 МэВ с плотностью потока в месте облучения  $10^8$  нейтр./см<sup>2</sup>·с. Время облучения варьировалось от 1 до 30 ч, причем в процессе облучения нейтронами температура образцов практически не отличалась от комнатной.

<sup>1</sup> Тонкозернистый биотит, полученный из гранодиоритов Кайтезекского массива, был предоставлен для наших экспериментов сотрудниками Института геологии ТаджССР А. Г. Норматовым и Т. Д. Джураевым.

Одна группа была облучена на циклотроне протонами с энергией 3 МэВ общей дозой  $2.2 \cdot 10^{14}$  протон/см<sup>2</sup>, последняя группа образцов облучалась  $\gamma$ -квантами со средней энергией 0.5 МэВ в течение 8 ч и получила интегральную дозу 750 Р.

Судя по уменьшению намагниченности после отжига (рис. 1), процесс термически активационного окисления ионов железа сопровождается ферримагнитным упорядочением некоторой их части. Это подтверждается также резким необратимым возрастанием после отжига магнитной восприимчивости биотита, измеренной при комнатной температуре [2].

Воздействие нейтронов (рис. 1, 2) привело к значительному увеличению намагниченности биотита, достигшего при дозе  $3.5 \cdot 10^{13}$  нейтр./см<sup>2</sup> примерно 50 %, причем эффект увеличивается при повышении интегральной дозы облучения (рис. 2). Это указывает, во-первых, на то, что механизм

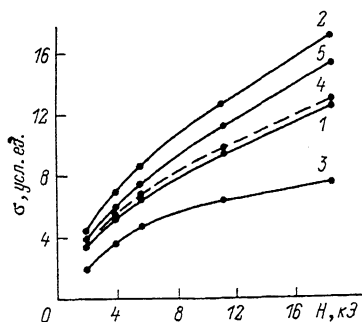


Рис. 1. Полевая зависимость намагниченности  $\sigma$  биотита при 4.2 К.

1 — в исходном состоянии, 2 — после воздействия нейтронного излучения  $I = 1.2 \cdot 10^{13}$  нейтрон/см<sup>2</sup>, 3 — после отжига при 1000 °С в течение 15 мин, 4 — после воздействия  $\gamma$ -излучения дозой 750 Р, 5 — после воздействия потока протонов энергией 3 МэВ и дозой  $2.2 \cdot 10^{14}$  протон/см<sup>2</sup>.

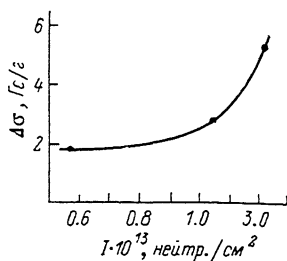


Рис. 2. Зависимость изменения намагниченности биотита  $\Delta\sigma$  в поле 18 кЭ при 4.2 К от дозы нейтронного излучения  $I$  (нейтрон/см<sup>2</sup>).

радиационного воздействия на магнитные свойства биотита не сводится просто к термически активационному окислению ионов железа в «тепловых пиках», и, во-вторых, столь большая величина эффекта не может быть объяснена только отличием магнитных моментов ионов двухвалентного (5.4  $\mu_B$ ) и трехвалентного (5.9  $\mu_B$ ) железа.

Увеличение намагниченности биотита под воздействием нейтронов можно объяснить разрушением ферри- или антиферримагнитного упорядочения магнитных моментов ионов железа, имевшем место до облучения и характерном для железосодержащих минералов. Облучение высокоэнергетичными нейтронами приводит к дефектообразованию и трекам в биотите, по-видимому, изменяя тем самым среднее расстояние между ионами железа, а следовательно, и обменное взаимодействие между их магнитными моментами. Подтверждением этому можно считать следующее. Облучение  $\gamma$ -квантами (рис. 1) с энергией, достаточной для ионизации ионов двухвалентного железа и сравнимой с энергией вторичных  $\gamma$ -квантов, образующихся при радиационном воздействии, привело к ожидаемому незначительному увеличению намагниченности биотита (не более 3 %). В то же время эффект облучения протонами, также приводящий к дефектообразованию, как и при облучении нейтронами, привел к аналогичным изменениям намагниченности (рис. 1).

#### Список литературы

- [1] Kotlicki A., Olgen N. B. // Rad. Effects. 1976. V. 28. N 1. P. 1—4.
- [2] Амшинов А. А., Данилов А. В., Скачкова Л. А., Усманов М. Х., Югай В. П. // ДАН УССР. 1988. № 8. С. 31—32.
- [3] Цветков А. И., Вальяшихина Е. П. // Тр. ИГЕМ АН СССР. 1956. В. 4. С. 1—32.

- [4] Келли Б. Радиационное повреждение твердых тел. М., 1970. 302 с.  
 [5] Кринчик Г. С. Физика магнитных явлений. М., 1985. 336 с.  
 [6] Роде В. Е., Герман Р. // ПТЭ. 1964. № 1. С. 173—175.

Московский  
 государственный университет  
 им. М. В. Ломоносова  
 НИИ оптико-физических измерений  
 Москва  
 Институт ядерной физики  
 АН УзССР  
 Ташкент  
 Высшая инженерная  
 пожарно-техническая школа  
 Ташкент

Поступило в Редакцию  
 29 декабря 1988 г.  
 В окончательной редакции  
 6 февраля 1990 г.

УДК 539.166.2

© Физика твердого тела, том 32, № 8, 1990  
 Solid State Physics, vol. 32, N 8, 1990

## ФОТО- И РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ $As_2S_3$

Я. А. Тетерис, И. П. Маника

Воздействие света или высокоэнергетической проникающей радиации в халькогенидных стеклообразных полупроводниках (ХСП) вызывает изменения ряда физико-химических свойств [1-3]. Обнаружено, что фото- и радиационно-стимулированные изменения (ФСИ и РСИ) в стеклообразном  $As_2S_3$  характеризуются некоторыми общими чертами, например наличием длинноволнового сдвига края оптического поглощения [1, 2]. Однако, согласно [3], имеются и существенные различия между ФСИ и РСИ, что требует дальнейшего исследования.

В настоящей работе проведено сравнение изменений микротвердости стеклообразного  $As_2S_3$  при воздействии излучений лазера ( $h\nu=2.41$  эВ,  $I=0.66$  Вт/см<sup>2</sup>) и  $^{60}Co$   $\gamma$ -источника ( $h\nu=1.17\div 1.33$  МэВ,  $I=4$  Гр/с). Использовались полированные пластины  $As_2S_3$  или напыленные в вакууме пленки. Облучение предварительно отожженных при  $T_g=185$  °С образцов проводилось в эвакуированных ампулах. Микротвердость определялась методом прецизионного микровдавливания при нагрузках  $10^{-2}\text{--}1$  Н.

Для сравнения эффекта воздействия световых и  $\gamma$ -квантов была определена доза поглощенной энергии в  $As_2S_3$  с учетом соответствующих коэффициентов поглощения этих видов излучений. Полученные результаты приведены на рисунке. Видно, что имеются противоположные эффекты: свет вызывает уменьшение, а  $\gamma$ -кванты, наоборот, — возрастание микротвердости. Термический отжиг образцов при температуре  $T_g$  восстанавливает исходное состояние, т. е. рассматриваемый процесс является реверсивным. Из литературы известно, что подобная ситуация имеется также в изменениях удельной плотности  $As_2S_3$ . Согласно [4], свет вызывает возрастание, а  $\gamma$ -облучение — сокращение объема изученных образцов [5]. Наблюдаются также различия в термической стабильности записи. Определенная нами энергия активации процесса термического отжига фотопотемненных пленок  $As_2S_3$  составляет 1.0 эВ, что удовлетворительно согласуется с данными работы [1] — 1.1 эВ. В случае  $\gamma$ -облученных образцов энергия активации процесса термического отжига составляет 0.5 эВ [2]. Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют о наличии существенных различий между ФСИ и РСИ.

Халькогениды мышьяка являются высокомолекулярными неорганическими соединениями со слоистой структурой, и их механические свойства во многом определяются характером сил взаимодействия между полимер-