

- [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.

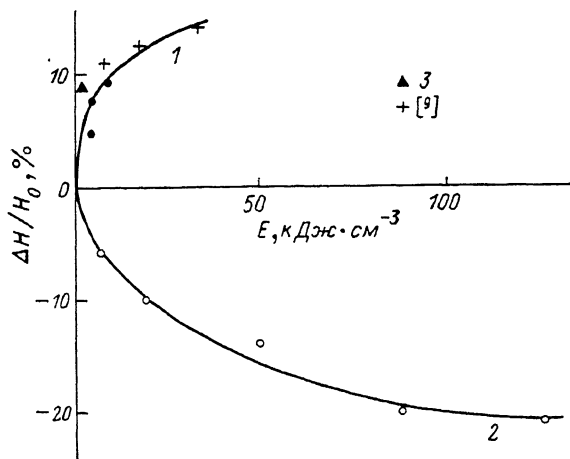
В настоящей работе проведено сравнение изменений микротвердости стеклообразного  $As_2S_3$  при воздействии излучений лазера ( $h\nu=2.41$  эВ,  $I=0.66$  Вт/см<sup>2</sup>) и  $^{60}Co$   $\gamma$ -источника ( $h\nu=1.17\div 1.33$  МэВ,  $I=4$  Гр/с). Использовались полированные пластины  $As_2S_3$  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  $10^{-2}-1$  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-

ными сетками. В кристаллическом  $As_2S_3$  между слоями в основном действуют только слабые межмолекулярные силы Ван-дер-Ваальса, что обуславливает сравнительно низкую микротвердость  $H=0.6$  ГПа. В случае стеклообразного  $As_2S_3$  микротвердость составляет 1.4 ГПа [6], что может быть вызвано искажением полимерных сеток, а также образованием прочных химических связей между слоями. Следовательно, воздействие света, которое в стеклообразном  $As_2S_3$  вызывает уменьшение микротвердости и увеличение геометрических размеров образцов, можно объяснить возбуждением и разрушением межслоевых химических связей.

Гамма-облучение противоположно воздействию света вызывает возрастание микротвердости и плотности стеклообразного  $As_2S_3$ , что предположительно вызвано образованием дополнительного количества межслоевых



связей. Известно, что свойства ХСП сильно зависят от термического режима их получения [7]. При этом чем выше скорость охлаждения системы из расплава в твердое состояние, тем сильнее замораживается неупорядоченная струк-

Изменения микротвердости  $As_2S_3$  в зависимости от дозы поглощенной энергии при воздействии  $\gamma$ -квантов (1), света непрерывного Ar (2) и импульсного Nd (3) лазеров.

тура, которая характерна для расплава и выражается как нарушение химического и структурного порядков системы. Согласно [7], чем больше скорость охлаждения халькогенидов мышьяка, тем выше их микротвердость как результат «спивания» полимерных сеток  $As_2S_3$ . Таким образом, воздействие  $\gamma$ -квантов на стеклообразное  $As_2S_3$  приводит к таким же эффектам, как резкая термическая закалка. Предполагается, что поглощение  $\gamma$ -кванта с энергией  $\sim 1.2$  МэВ вызывает возбуждение некоторого объема  $As_2S_3$ , что в конечном итоге приводит к резкому повышению температуры этой области. По нашим расчетам, поглощение одного кванта с энергией 1.2 МэВ может вызвать повышение температуры на 300 К, т. е. выше температуры плавления  $As_2S_3$ , в объеме  $\sim 5 \cdot 10^{-16}$   $см^3$ . Последующее резкое охлаждение этой области замораживает в нем неупорядоченную структуру. Подтверждением такого предположения является факт, что короткие мощные световые импульсы, воздействие которых обусловлено нагревом и резкой закалкой стеклообразного  $As_2S_3$ , вызывают такой же эффект, как  $\gamma$ -облучение. Так, световые импульсы Nd лазера ( $\lambda=0.53$   $\mu м$ ,  $\tau=15 \cdot 10^{-9}$  с,  $I=2 \cdot 10^6$  Вт/ $см^2$ ) повышают микротвердость  $As_2S_3$  на 9 % (см. рисунок).

Таким образом, совокупность экспериментальных результатов дает основание предполагать, что воздействие световых и высокоэнергетических  $\gamma$ -квантов в стеклообразном  $As_2S_3$  существенно различается. Световые кванты вызывают разрыв, а  $\gamma$ -кванты — образование дополнительных химических связей между полимерными сетками  $As_2S_3$ . Такой подход объясняет также эффект радиационной сенсбилизации ФСИ, о котором сообщается в [8].

#### Список литературы

- [1] Краснов В. Ф., Ремесник В. Г. // Автометрия. 1980. № 6. С. 101—105.
- [2] Шпотюк О. И. // ЖПС. 1987. Т. 46. № 1. С. 122—126.
- [3] Берлин Е. В., Коломиец Б. Т. и др. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. № 24. С. 1526—1529.

- [4] Tanaka K. // J. Non-Coyst. Sol. 1980. V. 35/36. P. 1023—1034.  
 [5] Доморяд И. А., Коломиец Б. Т. // Изв. АН СССР, матер. 1971. Т. 7. № 9. С. 1620—1627.  
 [6] Manika I., Teteris J. // J. Non-Cryst. Sol. 1987. V. 90. P. 505—508.  
 [7] Боросова З. У. Химия стеклообразных полупроводников. Л., 1972. 248 с.  
 [8] Шпотюк О. И., Савицкий И. В. // УФЖ. 1989. Т. 34. № 6. С. 894—898.  
 [9] Матковский А. О., Шпотюк О. И. // ЖПС. 1989. Т. 50. № 3. С. 448—453.

Институт физики АН ЛатвССР  
Саласпилс

Поступило в Редакцию  
6 февраля 1990 г.

УДК 537

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАМАГНИЧЕННОСТИ МОНОКРИСТАЛЛА ГОЛЬМИЯ В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Г. С. Бурханов, А. В. Волкозуб, О. В. Снигирев,  
А. М. Тишин, О. Д. Чистяков

Проведенные в последнее время эксперименты с использованием дифракции нейтронов и синхротронного излучения по изучению магнитной структуры гольмия существенно трансформируют представления о его низкотемпературном магнитном фазовом переходе геликоидальный антиферромагнетизм — ферромагнетизм при  $T = \Theta_1$  [1-4]. Ранее в работах [5, 6] было установлено, что температура  $\Theta_1$  является точкой фазового перехода первого рода. Геликоидальная антиферромагнитная структура разрушается в гольмии при температуре  $\Theta_2 = 132$  К. В области  $T < 50$  К при нейтронографическом исследовании [5] наблюдались магнитные спутелиты 5-го и 7-го порядков, что свидетельствует о сильном отклонении магнитных моментов в направлении осей легкого намагничивания в базисной плоскости. В области температур ниже 20 К в гольмии имеет место коническое ферромагнитное упорядочение. При 4.2 К составляющие магнитного момента в базисной плоскости и вдоль гексагональной оси  $c$  равны 9.5 и 1.7  $\mu_B$  соответственно [5, 6]. Нейтронографическое изучение показало, что приложение поля в базисной плоскости приводит к трансформации конического упорядочения в ферромагнитную структуру [6]. При  $T = 4.2$  К схлопывание конуса происходит в поле  $H \approx 4 \cdot 10^5$  А/м. Сведения о величине волнового вектора этой структуры существенным образом отличаются [3-5]. В данном диапазоне температур наблюдается также фазовый переход первого рода между двумя неизмеримыми значениями величины волнового вектора  $2/11$  и  $1/6$  в единицах  $c^*$  [1].

Таким образом, представляет интерес провести детальное исследование магнитного поведения гольмия в низкотемпературной ( $< 50$  К) области в слабых магнитных полях, не приводящих к заметной трансформации магнитного упорядочения.

Измерения магнитного момента проводились с помощью универсального сквид-магнитометра [7, 8], автоматизированного на основе микроЭВМ IBM-РС/XT. Образец в виде нити длиной  $\approx 2$  мм и массой 9.5 мг наклеивался на кварцевый держатель и помещался в ампулу магнитометра. Магнитный момент измерялся при медленном охлаждении и отогреве образца в постоянном магнитном поле  $H \parallel b$ . Абсолютная погрешность измерений момента не превышала 10 %. Чувствительность установок по магнитному моменту составляла  $5 \cdot 10^{-12}$  А·м<sup>2</sup>/Гп<sup>1/2</sup>.

Поскольку совершенство структуры и чистота образца могут существенно влиять на результаты исследований, в работе использовалась монокристаллическая нить гольмия, полученная методом вакуумной сублима-