

УДК 621.315.534

© 1990 г.

И. В. Савицкий, О. И. Шпотюк

ГАММА-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
АКУСТООПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕКЛООБРАЗНОГО
ТРИСУЛЬФИДА МЫШЬЯКА

Исследованы изменения акустических и акустооптических свойств (скорость звука, частотно-нормированный коэффициент затухания ультразвука, акустооптическая добротность) стеклообразного трисульфида мышьяка, вызванные гамма-облучением от источника Co^{60} .

Халькогенидные стеклообразные полупроводники (ХСП) отличаются высокой эффективностью упругооптического взаимодействия, что в сочетании с хорошей технологичностью и прозрачностью в ближнем и среднем ИК-диапазонах спектра позволяет рассматривать их одними из наиболее перспективных материалов для практического изготовления рабочих элементов акустооптики [1, 2]. В литературе имеются обширные сведения о воздействии лазерного излучения на акустооптические свойства ХСП, в частности стеклообразного трисульфида мышьяка [3, 4]. Однако влияние проникающей радиации, например гамма-квантов, на параметры светозвукового взаимодействия в As_2S_3 ранее не исследовалось. Вместе с тем известно, что коэффициент затухания ультразвуковой волны (УЗВ) хорошо коррелирует с температурой размягчения и микротвердостью халькогенидных стекол [5]. Поэтому следует ожидать, что ионизирующие облучения, существенно изменяющие микротвердость As_2S_3 [6, 7], приведут к закономерным изменениям его акустических и акустооптических характеристик.

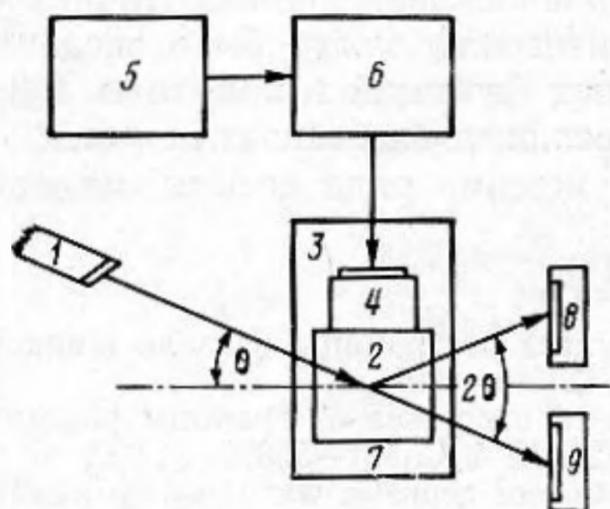


Схема установки для исследования акустооптических свойств

акустооптического качества (акустооптическую добротность) M_2 стеклообразного трисульфида мышьяка.

Образцы халькогенидного стекла As_2S_3 получали прямым сплавлением исходных химических компонентов в вакуированной кварцевой ампуле. Из полученного слитка вырезали кубик с длиной ребра 15 мм, который впоследствии шлифовали и полировали до высокого класса чистоты.

Для исследования параметров упругооптического взаимодействия в стеклообразном трисульфиде мышьяка использовали установку, схема которой показана на рисунке. Монохроматический поток светового излучения от гелий-неонового лазера направлялся под углом Брэгга на боковую поверхность исследуемого образца 2. Для возбуждения УЗВ применяли модулятор, представляющий собой пластину кристалла ниобата лития 3 (пьезоэлектрический преобразователь) и параллелепипед из плавленого кварца 4, контакт между которыми осуществлялся при помощи эпоксидной смолы. Такой модулятор характеризовался полосой рабочих частот 50 МГц с центральной частотой 70 МГц. Исследуемый образец 2 крепили

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния гамма-квантов от источника Co^{60} (средняя энергия — 1,25 МэВ, мощность поглощенной дозы — 25 Гр/с) на скорость продольного звука V , частотно-нормированный коэффициент затухания УЗВ α/f^2 и коэффициент

Изменения акустооптических свойств стеклообразного трисульфида мышьяка при многократных циклах гамма-облучения и отжига

Характер обработки стекла	V , 10^3 м/с	α/f^2 , 10^{-3} дБ/см·МГц ²	D
До обработки	2,58	0,84	0,46
Гамма-облучение	2,69	0,56	0,71
Отжиг	2,60	0,76	0,57
Гамма-облучение	2,66	0,40	0,76
Отжиг	2,61	0,68	0,60
Гамма-облучение	2,63	0,56	0,74
Отжиг	2,62	0,72	0,61
Гамма-облучение	2,63	0,60	0,75
Отжиг	2,63	0,64	0,62

к модулятору при помощи салола. Необходимый для возбуждения УЗВ сигнал поступал на модулятор с генератора 5 через усилитель 6. Модулятор и исследуемый образец помещали на металлическом основании 7, неподвижно установленном на рабочем столике гониометра. Это позволило производить отсчет угла между падающим и дифрагированным излучением. Для измерения интенсивностей световых потоков использовались фотодиоды 8 и 9.

Скорость продольных УЗВ V рассчитывалась на основании измеренного угла 2θ между падающим и дифрагированным световыми пучками [8]: $V = \lambda f / 2Q$, где λ — длина волны света (632,8 нм), f — частота УЗВ. Абсолютная погрешность измерений скорости V зависела от точности регистрации угла 2θ и в нашем случае не превышала $\pm 0,01 \times 10^3$ м/с. Такая точность была вполне достаточна для исследования индуцированных изменений скорости УЗВ в ХСП.

Для измерения частотно-нормированного коэффициента затухания ультразвука α/f^2 исследуемый образец 2 использовался в качестве акустического резонатора, а частота УЗВ изменялась в небольших пределах в СВЧ-диапазоне. При этих условиях наблюдалось сложение и вычитание интерферирующих волн, что позволило с учетом расходимости акустического пучка, а также потерь УЗВ на клеящей прослойке рассчитать величину α [8, 9]. Хорошая корреляция полученных результатов для свежеприготовленных образцов стеклообразного трисульфида мышьяка с известными литературными данными [1], а также с данными измерений α по регистрации интенсивностей дифракционных порядков в различных точках светозвукопровода [9] свидетельствует о возможности использования метода акустической интерференции в конкретном случае вышеописанного составного резонатора. Коэффициент акустооптического качества M_2 определяли с помощью вышеописанной установки экспериментальным методом [8].

До облучения акустическая скорость в стеклообразном трисульфиде мышьяка составляла $2,58 \cdot 10^3$ м/с, что хорошо согласуется с известными экспериментальными данными [1, 10]. Термоотжиг при 423 К на протяжении 2 ч приводил к незначительному увеличению этого значения на 0,5–1,0%. В то же время коэффициент α/f^2 при этом уменьшался от 0,84 до 0,80 дБ/см·МГц². Такие изменения коррелируют с известным термоиндуцированным уплотнением структуры стекла, проявляющимся в увеличении на 5–6% их микротвердости [11].

Гамма-облучение дозой 10^6 Гр способствовало дальнейшему уплотнению стекла и, как следствие, скорость продольных УЗВ еще больше возрастала, а частотно-нормированный коэффициент потерь α/f^2 уменьшался (см. таблицу). Этот факт зависел от величины поглощенной дозы радиации таким же образом, как и микротвердость As_2S_3 [6, 7]. Так, при облучении дозой 10^6 Гр относительное увеличение акустической скорости почти в 2 раза превышало аналогичную величину при дозе $5 \cdot 10^6$ Гр. Последующий термоотжиг частично восстанавливал акустооптические свойства стекла, однако при многократных циклах гамма-облучения и отжига неревверсивная составляющая процесса существенно увеличивалась. Пред-

полагаем, что увеличение акустических потерь при этом связано с образованием примесных продуктов радиационно-химических превращений, в частности молекулярного As_4O_6 [11].

Необходимо отметить, что оптическая плотность As_2S_3 в области края фундаментального поглощения D обнаруживала еще заметные изменения в последующих пятом и шестом циклах облучения и отжига, в то время как акустооптические свойства уже практически не изменялись (см. таблицу). Это подтверждает высказанное ранее в работах [6, 13] предположение о связи реверсивной составляющей радиационно-оптических свойств ХСП с процессами индуцированного дефектообразования. Акустооптические характеристики стеклообразного трисульфида мышьяка более чувствительны к необратимым радиационно-стимулированным превращениям структуры, среди которых следует выделить сложные деструкционно-полимеризационные преобразования неорганических полимерных цепей, сопровождающиеся увеличением относительного содержания гетерополярных химических связей типа мышьяк — сера [6], а также упомянутые выше процессы взаимодействия примесных и собственных фрагментов халькогенидного стекла [12].

Гамма-стимулированные изменения коэффициента акустооптического качества M_2 стеклообразного As_2S_3 менее значительны. Удалось установить, что максимальное уменьшение этой величины не превышает 7–8% при облучении дозой 10^6 Гр, причем это значение, по всей видимости, является результатом совместного радиационно-стимулированного изменения показателя преломления n и акустической скорости V . Действительно, учитывая, что максимальная величина длинноволнового сдвига края собственного поглощения в трисульфиде мышьяка составляет 0,04–0,05 эВ [6, 13], по формуле, связывающей ширину запрещенной щели и показатель преломления As_2S_3 [14], можно получить $\Delta n/n_0 = 0,6\%$, что, в свою очередь, обуславливает увеличение коэффициента M_2 на 5,0%. Уменьшение акустооптической добротности, вызванное увеличением скорости продольных УЗВ, не превышает 12–13%. Так как сокращение линейных размеров ХСП после радиационной обработки гамма-квантами равно 0,1–0,2% [7], что соответствует увеличению плотности и уменьшению коэффициента качества M_2 не более чем на 1%, то можно считать, что наблюдаемое гамма-стимулированное уменьшение M_2 в стеклообразном трисульфиде мышьяка на 7–8% обусловлено совместным вкладом изменений показателя преломления и акустической скорости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Утида Н., Ниидзэки Н. Материалы и методы акустооптического отклонения // Тр. Ин-та инженеров по электротехнике и электрон. 1973. Т. 61. № 8. С. 21.
2. Савицкий И. В., Шпотюк О. И., Матковский А. О., Фугей А. В. Эффективность упругооптического взаимодействия в халькогенидных стеклах // Физ. электрон. Львов: 1983. Вып. 27. С. 64.
3. Tanaka K., Ohtsuka I., Imai K., Abe I. The variation of sound wave velocity in amorphous As-S under photostructural transformation // Thin Solid Films. 1976. V. 31. № 3. P. L15.
4. Vancu A., Ghita L., Ghita C., Grigorovici R. Photostructural and elasto-optic investigation in bulk chalcogenide glasses // J. Non-Cryst. Solids. 1985. V. 77–78. Pt 2. P. 1211.
5. Поляков Ю. А., Маковская З. Г., Дембовский С. А., Дерюгин И. А., Талалаев М. А. Критерии отбора стеклообразных халькогенидных материалов для использования в акустооптических устройствах // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. 1981. Т. 17. № 7. С. 1166.
6. Шпотюк О. И. Влияние гамма-облучения на спектры оптического пропускания и микротвердость стеклообразного $As_2S_3-Sb_2S_3$ // Вест. Львов. ун-та. Сер. физ. 1985. Вып. 19. С. 25.
7. Стародубцев С. В., Доморяд И. А. Изменение некоторых механических характеристик облученного трисульфида мышьяка // С. В. Стародубцев. Полное собрание научных тр. Т. 4. Ташкент: Фан, 1974. С. 267.
8. Физическая акустика. Т. 7/Под ред. Мэзона У. М.: Мир, 1974. С. 336.
9. Гусев О. Б., Клюдзин В. В. Акустооптические измерения. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 150 с.
10. Claytor T. N., Sladek R. J. Ultrasonic velocities in amorphous As_2S_3 and As_2Se_3 between 1.5 and 296 K // Phys. Rev. B. 1978. V. 18. № 10. P. 5842.

11. *Матковский А. О., Шпотюк О. И., Савицкий И. В., Каюшкин В. А., Краевская Л. В.* Микротвердость халькогенидных стекол системы $(As_2Se_3)_x(Bi_2Se_3)_{1-x}$ // Докл. АН УССР. Сер. А. 1983. № 1. С. 84.
12. *Шпотюк О. И.* Спектроскопические исследования влияния проникающей радиации на поверхность стеклообразных халькогенидов мышьяка в ИК-области // Укр. физ. журн. 1987. Т. 32. № 4. С. 509.
13. *Шпотюк О. И.* Температурная стабильность индуцированных гамма-облучением эффектов в стеклообразном трисульфиде мышьяка // Журн. прикл. спектроскопии. 1987. Т. 46. № 1. С. 122.
14. *Борец А. Н.* Соотношение между шириной псевдощели и показателем преломления неметаллических веществ // Укр. физ. журн. 1980. Т. 25. № 4. С. 680.

Львовский государственный университет
им. И. Франко

Поступила в редакцию
12.07.88
после исправления
18.08.89

I. V. Savitskii, O. I. Shpotyuk

GAMMA-STIMULATED CHANGES OF ACOUSTOOPTICAL PROPERTIES IN A VITREOUS ARSENIC TRISULPHIDE

The changes of acoustooptical properties (a sound velocity, an acoustic loss coefficient and coefficient of acoustooptical quality) in vitreous As_2S_3 induced by gamma-irradiation are investigated. The possible mechanism of observed processes is discussed.