

Наблюдалась также зависимость величины изменения оптических констант от состава пленок ХСП. Измерения показали, что наиболее чувствительными являются пленки составов $As_{40}S_{60}$ и $As_{44}S_{56}$. Это, по-видимому, объясняется тем, что связи типа As—As создают локализованные аптисвязывающие состояния в запрещенной зоне халькогенов [5]. В ХСП с избытком мышьяка вклад таких локализованных состояний увеличивается. Это приводит к возрастанию числа актов локализации носителей при их возбуждении электронным облучением из валентной зоны, что обуславливает проявление электронно-стимулированных изменений оптических свойств в пленках с более высоким содержанием мышьяка.

В результате проведенных исследований:

обнаружен эффект подобия механизмов фото- и электронно-стимулированных воздействий;

изучены зависимости величины изменений оптических констант от дозы электронного облучения и состава образцов.

Полученные результаты позволяют прогнозировать поведение элементов ИО-схем, сформированных в пленках ХСП, в радиационных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сарсембинов Ш. Ш., Абдулгафаров Е. Е. Электронно-стимулированное изменение оптических свойств халькогенидных стеклообразных полупроводников // Изв. АН КазССР. Сер. физ.-мат.— 1980.— № 6.
2. Гуральник Р. М., Мамонтова Т. И., Муканов Х. К., Сарсембинов Ш. Ш. Электронно-стимулированные изменения фотolumинесценции в стеклообразном As_2S_3 // Автометрия.— 1987.— № 1.
3. Сарсембинов Ш. Ш., Мамонтова Т. И., Гуральник Р. М., Муканов Х. К. Электронно-стимулированные изменения спектров фотolumинесценции стеклообразных полупроводниковых систем As—S, As—Se // ФТТ.— 1984.— Т. 26, вып. 12.
4. Phillips J. C. Topological model for non-radiative carrier decay in chalcogenide alloy glasses // J. Non-Cryst. Sol.— 1980.— V. 41, N 1.— P. 179.
5. Бродски М. Аморфные полупроводники.— М.: Мир, 1982.

Поступила в редакцию 20 ноября 1987 г.

УДК 535.8.666.189.2.666.11 : 621.039.533

**А. Я. ВИНОКУРОВ, А. Н. ГАРКАВЕНКО, Л. И. ЛИТИНСКАЯ,
А. В. МИРОНОС, А. М. РОДИН**

(Москва)

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХСП-ВОЛОКОН

В последнее время возросло количество работ, посвященных исследованию волоконных световодов среднего ИК-диапазона на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП). Интерес к ним обусловлен принципиальной возможностью получения световодов с потерями 10^{-1} — 10^{-2} дБ/км [1]. К тому же в этой области спектра имеются перспективные лазеры (СО, CO_2 , химические), причем плотности мощности излучения, передаваемого по ХСП-световодам, может достигать 2 кВт/см^2 [2].

В связи с открывающимися перспективами использования ХСП-волокон в системах передачи и обработки информации возникает необходимость изучения их устойчивости по отношению к различного рода внешним воздействиям, в том числе ионизирующему излучению. К настоящему времени сведения о радиационной стойкости ХСП-волокон носят отрывочный характер, практически не изучалось влияние на их оп-

тические свойства воздействия быстрых электронов. Исследования паведенного поглощения ХСП-световодов при облучении тепловыми нейтронами [3, 4] не позволяют оценить диапазон доз, в котором пропускание световодов находится в допустимых (для работоспособности систем на их основе) пределах.

Данная работа посвящена изучению воздействия различных видов ионизирующего излучения на оптические свойства ХСП-волокон. Исследовались образцы волоконных световодов двух типов: из As_2S_3 и $As_{40}S_{52}Se_8$, изготавливаемых методом вытягивания из расплава в атмосфере аргона. Диаметр образцов 120 мкм, оболочка отсутствовала.

Изучение морфологии поверхности этих образцов с использованием метода растровой электронной микроскопии показало, что они обладали однородной поверхностью с редкими одиночными дефектами технологического происхождения (раковины, полости).

Облучение нейтронами образцов волоконных световодов из As_2S_3 и $As_{40}S_{52}Se_8$ проводилось на ИРТ-2000 МИФИ при плотности потока, равной $3 \cdot 10^{11}$ нейтрон/см²·с. При этом интегральный поток, воздействию которого подвергались исследуемые образцы ХСП-волокон, варьировался от 10^{15} до 10^{18} нейтрон/см². Измерения пропускания образцов проводились спустя 3—8 мес после облучения по достижении ими допустимого уровня наведенной активности. Облучение электронами волоконных световодов из As_2S_3 осуществлялось на линейном ускорителе РЭЛУС МИФИ. Энергия электронов 3,5 МэВ, плотность потока $5 \cdot 10^{11}$ электрон/см²·с. Поглощенная исследуемыми образцами доза изменялась от $1 \cdot 10^7$ до $5 \cdot 10^{11}$ рад. Измерения проводились спустя 20 мин после окончания облучения. С помощью монохроматора МДР-3 в диапазоне длин волн 0,6—2,0 мкм измерялись методом различных длин волокна потери оптического излучения, проходящего через образцы. Эти потери сопоставлялись с характером разрушения поверхности образцов после воздействия ионизирующего излучения.

Спектры потерь необлученных оптических волокон представлены на рис. 1. Минимальные потери для As_2S_3 составляют 9 дБ/м в области 0,9—1,5 мкм, для $As_{40}S_{52}Se_8$ — 30 дБ/м в области 1,2—1,8 мкм. Второй образец при $\lambda \sim 1,0$ мкм имеет незвязанный пик потерь, по-видимому, связанный с присутствием Se. Увеличение потерь в длинноволновой области спектра обусловлено наличием полос поглощения примесями переходных металлов [5].

После воздействия ионизирующего излучения на световоды измерялись наведенные оптические потери в указанном выше спектральном интервале и определялись край поглощения и состояние поверхности образца.

С ростом дозы облучения наблюдалось уменьшение наклона «хвоста Урбаха» и сдвиг края поглощения в красную область спектра. Край поглощения определялся линейной экстраполяцией «хвоста Урбаха» до уровня оптических потерь 80 дБ/м. Зависимость сдвига от дозы облучения представлена на рис. 2. Видно, что облучение нейтронами приводит к большему сдвигу, чем облучение электронами. Это свидетельствует о том, что нейтроны создают большее число дефектных состояний в запрещенной зоне материала световода, чем электроны. При облучении образцов электронами дозой до 10^7 рад и потоком нейтронов до 10^{15} нейтрон/см² наведенные потери практически отсутствуют. С ростом дозы облучения увеличиваются наведенные оптические потери в образцах (рис. 3 и 4) примерно с одинаковой скоростью при облучении нейтронами и электронами (при увеличении дозы в 10 раз наведенные потери возрастают в 2—3 раза для обоих типов образцов). При облучении нейтронами возникают два максимума потерь: для As_2S_3 на 1,1 и 1,8 мкм, для $As_{40}S_{52}Se_8$ на 1,2 и 1,7 мкм. При облучении электронами рост наведенных потерь наиболее высок в области 0,8—1,6 мкм. Сильный рост наведенных потерь наблюдается в обоих типах образцов при облучении электронами дозой свыше $5 \cdot 10^{11}$ рад и потоком нейтронов свыше 10^{18} нейтрон/см².

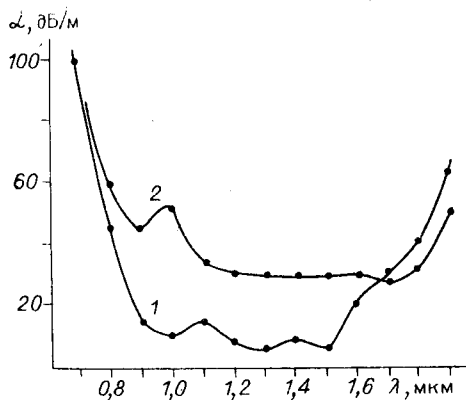


Рис. 1. Спектральная зависимость затухания излучения в необлученных оптических волокнах As_2S_3 (кривая 1) и $As_{40}S_{52}Se_8$ (2)

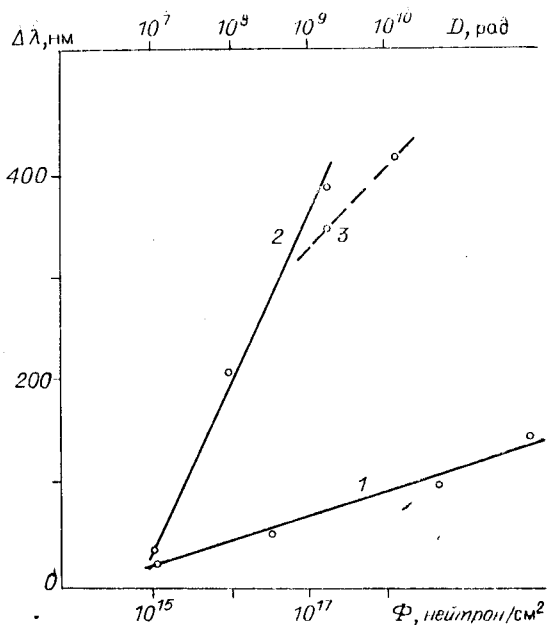


Рис. 2. Сдвиг края поглощения оптических волокон As_2S_3 , облученных электронами (1) и нейтронами (2), и $As_{40}S_{52}Se_8$, облученных нейтронами (3)

Исследование характера повреждений поверхности образцов показало, что при дозах облучения электронами до 10^{10} рад и облучении потоками нейтронов до 10^{16} нейтрон/см² поверхностных повреждений волокон не наблюдалось.

Увеличение дозы и потока облучения в 10 раз приводило к появлению повреждений эрозионного характера размерами порядка 1 мкм и плотностью $0,3 \text{ мкм}^{-2}$.

Дальнейшее увеличение дозы электронов до $5 \cdot 10^{11}$ рад способствует возрастанию поверхностной плотности дефектов. Поток нейтронов 10^{18} нейтрон/см² вызывал еще более сильное повреждение материала — разрыхление поверхности. Наряду с многочисленными эрозионными кратерами, появились «вырванные» с поверхности фрагменты материала образца.

Таким образом, проведенные исследования показали высокую радиационную стойкость указанных выше образцов ХСП-волокон. Наведенные оптические потери пренебрежимо малы при облучении электронами дозой

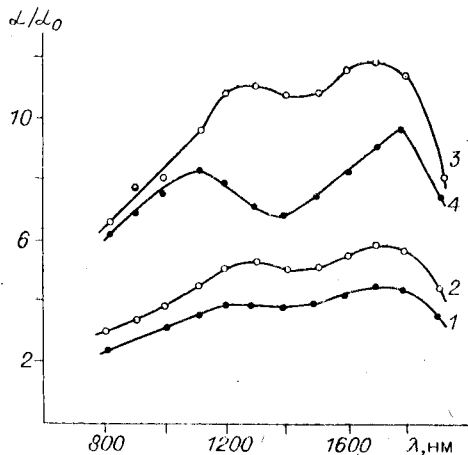


Рис. 3. Наведенные потери в оптических волокнах:
 $As_{40}S_{52}Se_8$: 1 — 10^{15} , 2 — 10^{16} , 3 — 10^{17} нейтрон/см²; As_2S_3 : 4 — 10^{17} нейтрон/см²

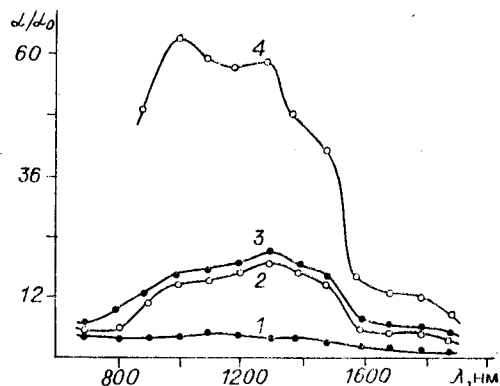


Рис. 4. Наведенные потери в оптических волокнах из As_2S_3 , облученных электронами:
1 — 10^8 , 2 — 10^{10} , 3 — 10^{11} , 4 — $5 \cdot 10^{11}$ рад

до 10^7 рад и потоком нейтронов до 10^{16} нейтрон/см² и возрастали во всем исследуемом спектральном интервале при облучении электронами дозой 10^{11} рад и потоком нейтронов 10^{17} нейтрон/см². Эти значения являются, видимо, предельными, при которых работа устройств, использующих ХСП-волокна данного типа, возможна.

После облучения световодов электронами дозой $5 \cdot 10^{11}$ рад и потоком нейтронов 10^{18} нейтрон/см² был зафиксирован резкий рост наведенных потерь, обусловленный значительными, вплоть до разрушения поверхности, радиационными повреждениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дианов Е. М., Петров М. Ю., Плотниченко В. Г., Сысоев В. К. Оценка минимальных оптических потерь в халькогенидных стеклах // Квантовая электрон.— 1982.— Т. 9, № 4.
2. Дианов Е. М. Волоконные световоды среднего ИК-диапазона // Изв. вузов. Радиоэлектроника.— 1983.— Т. 26, № 5.
3. Андриеш А. М., Быковский Ю. А., Бородакий Ю. В. и др. Стабильность ОБ на основе ХСП в условиях облучения большими дозами нейтронов // Письма в ЖТФ.— 1984.— Т. 10, вып. 9.
4. Андриеш А. М., Кулаков Е. В., Куляк И. П. и др. Оптические потери в волокнах из As—S в области 0,8—1,6 мкм // Квантовая электрон.— 1985.— Т. 12, № 9.
5. Kanamori T., Terayama Y., Takahashi S., Miyashita T. Transmission loss characteristics of As₄₀S₆₀ and As₃₈Ge₅Se₅₇ glass clad fibers // J. Non-Cryst. Sol.— 1985.— V. 65.— P. 231.

Поступила в редакцию 27 ноября 1987 г.

УДК 537.314.1

В. А. ГУСЕВ, С. И. ДЕМЕНКО, С. А. ПЕТРОВ

(Красноярск — Новосибирск)

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$

Ортогерманат висмута (германозелитин $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO)) используется в качестве сцинтиллятора жестких γ -излучений. В настоящее время физические свойства BGO исследованы недостаточно, в частности, не изучена фоточувствительность материала. Известно, что наличие фотопроводимости (ФП) у люминесцирующих соединений является важным фактором, который необходимо учитывать при определении природы свечения. Вопрос о механизме возбуждения и излучения в сцинтилляторах BGO является открытым. В данной работе исследована фоточувствительность германозелитина вблизи края фундаментального поглощения и высказано предположение, что она связана с переносом носителей по зоне проводимости.

Исследуемые материалы выращивались методом Чохральского, образцы кристаллов BGO вырезались из буль размером $15 \times 15 \times 1$ мм, поверхность полировалась. Измерение ФП проводилось как с водяными, так и с прозрачными электродами $\text{SnO}_2 + \text{In}_2\text{O}_3$. Электроды наносились методом вакуумного ВЧ-распыления окислов. Для исключения токов утечки по поверхности образца использовались охранные кольца, выполненные также из $\text{SnO}_2 + \text{In}_2\text{O}_3$. В качестве источника света применялась лампа ДКСШ-500, из спектра излучения которой монохроматором МДР-2 и набором стеклянных светофильтров выделялся необходимый спектр излучения. Источником напряжения служил выпрямитель Б5-24, фототок регистрировался электрометром ВК2-16, сигнал с которого записывался на самописец. Полученные спектры ФП нормировались относительно спектрального распределения мощности падающего на образец излучения, измеряемого радиационным термоэлементом РТН-30С.