

ОПТИЧЕСКАЯ БИСТАБИЛЬНОСТЬ И КРИТИЧЕСКОЕ ЗАМЕДЛЕНИЕ В АМОРФНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ GeS_2

В.М.Любин, В.К.Тихомиров

*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе
194021, Санкт-Петербург.*

Поступила в редакцию 4 октября 1991 г.

После переработки 12 ноября 1991 г.

Обнаружено явление оптической бистабильности в монолитных стеклообразных полупроводниках системы Ge-S при подзонном возбуждении ($h\nu < E_g$), сопровождаемое скачкообразным изменением показателя преломления. Динамика переключения пропускания в районе петли гистерезиса проявляет критическое замедление с характерным временем $\sim 1 \div 10$ с. Механизм явления связывается с фотоиндуцированным кооперативным взаимодействием "нативных дефектов" аморфного полупроводника, приводящем к скачкообразному изменению структуры вещества.

В халькогенидных стеклообразных полупроводниках (ХСП) наблюдается ряд фотоиндуцированных явлений, и, в частности, фотоиндуцированные анизотропия, гиротропия и рассеяние света, которые значительно усиливаются при переходе от межзонного возбуждения пленочных образцов ($h\nu > E_g$)¹ к подзонному возбуждению объемных образцов ($h\nu < E_g$)². В работе³ сообщалось об обнаружении оптической бистабильности пропускания в свободных пленках GeSe_2 на длине волны слабопоглощаемого излучения. В качестве возможных механизмов оптической бистабильности в³ были указаны чисто электронный, чисто тепловой и фотоструктурный механизмы.

В настоящей работе сообщается об обнаружении оптической бистабильности в объемных ХСП системы Ge-S при подзонном возбуждении ($h\nu < E_g$) и о гигантском критическом замедлении динамики переключения в районе петли гистерезиса. В отличие от³ прямо показано, что оптическая бистабильность сопровождается скачкообразным изменением показателя преломления и образованием волноводного канала в толще аморфного полупроводника. Исследования динамики переключения (критического замедления) показали, что главную роль в механизме оптической бистабильности играют фотоструктурные превращения (возможные в аморфном полупроводнике), которые и определяют гигантские времена критического замедления.

Актуальность исследования оптической бистабильности в аморфных полупроводниках определяется тем, что она является неравновесным фазовым переходом в открытой системе и позволяет изучать общие закономерности развития неупорядоченных нелинейных систем⁴; с другой стороны, бистабильные оптические устройства имеют важные технические применения⁵. Особое внимание привлекает динамика переключения, поскольку она определяется механизмом и характерными временами образования "центров конденсации" (структурных элементов), приводящих к фазовому переходу⁶.

Исследовались образцы монолитных стекол, приготовленных охлаждением расплава, с двумя полированными гранями, расстояние между которыми варьировалось в диапазоне 0,1 - 1,0 см. Применялось излучение Ar^+ -лазера ($h\nu_1 = 2,41$ эВ; $h\nu_2 = 2,54$ эВ), удовлетворяющее условию $h\nu < E_g$ (для GeS_2 $E_g = 2,7$ эВ⁷), сфокусированное на входной грани образца с помощью длиннофокусной линзы в пятно диаметром 100 мкм. Коэффициент поглощения

составлял $\sim 10 \text{ см}^{-1}$. Прошедшее через образец излучение регистрировалось с помощью фотоприемника и запоминающего осциллографа.

На рис. 1 представлена кинетика пропускания света при четырех различных и постоянных во времени плотностях мощности P подающего на образец излучения ($h\nu_1 = 2,41 \text{ эВ}$). Видно, что при малых плотностях мощности (P_1) интенсивность прошедшего света практически не меняется. При увеличении плотности мощности (P_2) наблюдается эффект скачкообразного изменения пропускания. При дальнейшем нарастании P переключение происходит за все более короткие времена (P_3). При очень больших P наблюдалось разрушение поверхности образца, сопровождаемое испарением материала.

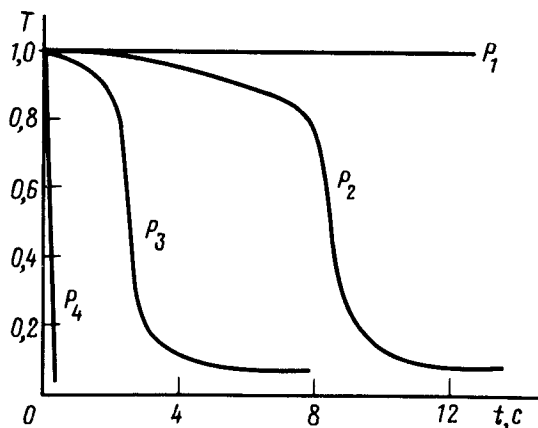


Рис. 1. Кинетика пропускания при различных плотностях мощности падающего излучения ($P_1 = 50 \text{ Вт/см}^2$; $P_2 = 55 \text{ Вт/см}^2$; $P_3 = 57 \text{ Вт/см}^2$; $P_4 = 70 \text{ Вт/см}^2$). Кинетика зарегистрирована с помощью фотоприемника с диаметром входного окна 1 см, расположенным на расстоянии 10 см от образца. Толщина образца 0,5 см, состав - GeS_2

Эффект переключения пропускания при средних P ($55 \text{ Вт/см}^2 < P < 65 \text{ Вт/см}^2$) оказался реверсивным, т.е. после выключения падающего света и его повторном включении происходило повторное переключение пропускания. При этом кинетика переключения хорошо воспроизводилась при $P = P_3$ и воспроизводилась только в общих чертах при $P = P_2$ (рис. 1).

Переключение интенсивности прошедшего света сопровождалось скачкообразным увеличением диаметра прошедшего через образец лазерного пучка и уменьшением интенсивности рассеянного света, также носящих реверсивный характер (рис.2). Очевидно, что в данном случае оптическая бистабильность сопровождается скачкообразным изменением показателя преломления - фоторефракцией - т.к. изменение хода лучей наблюдается даже визуально. При этом в толще образца в зоне прохождения лазерного пучка образуется волноводный канал, который может приводить к уменьшению интенсивности рассеянного света. Образование волноводного канала подтверждается тем, что изображение на рис. 2б имеет кольцевую форму.

При использовании другой линии Ag^+ -лазера ($h\nu_2 = 2,54 \text{ эВ}$) переключение не наблюдалось.

Наблюдение эффектов переключения и критического замедления привело нас к предположению, что в зависимости $I_{out} = f(P_{in})$ должен наблюдаться гистерезис, (P_{in} - плотность мощности падающего на образец излучения, I_{out} - интенсивность прошедшего через образец и попавшего на фотоприемник излучения). Такой гистерезис действительно наблюдался (рис.3). Плавная развертка P_{in} осуществлялась с помощью четвертьволновой пластинки и призмы Глана со скоростью в районе петли гистерезиса $0,01 \text{ мВт}$ за 1 мин., т.е. почти на два порядка медленнее, чем в ³. Это представляется нам необходимым ввиду необычно больших времен переключения.

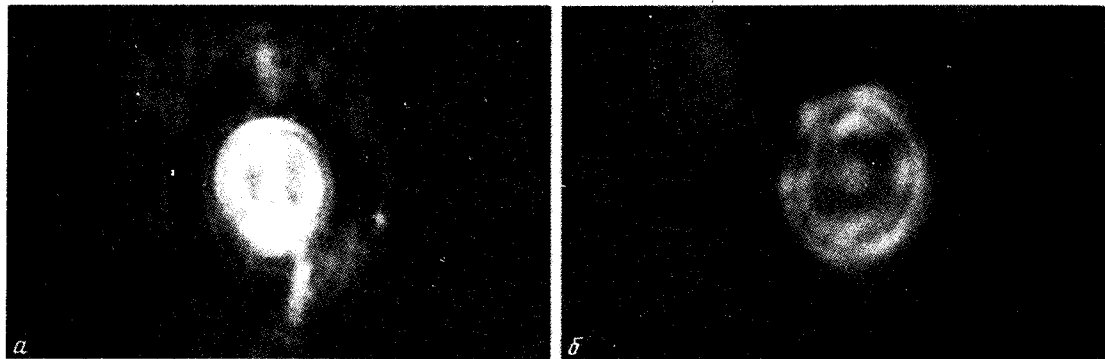


Рис. 2. Изображение на экране, поставленном вместо фотоприемника, прошедшего через образец толщиной 0,5 см пучка света до (а) и после (б) переключения

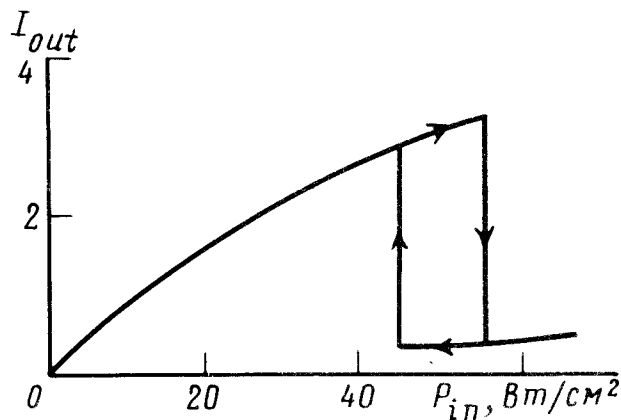


Рис. 3. Гистерезис зависимости $I_{out} = f(P_{in})$

В отдельных случаях в районе петли гистерезиса наблюдались осцилляции пропускания, как регулярные с характерным периодом ~ 1 с, так и хаотические. Пороги переключения в случае оптической бистабильности, а также характер осцилляций зависели от поляризации падающего излучения. Напомним, что поляризационная зависимость фотоиндуцированных явлений в халькогенидных стеклах - свойство этих материалов ^{1,2}.

Приведенные результаты показывают, что в исследованном случае оптической бистабильности в аморфном полупроводнике нелинейный механизм взаимодействия света и вещества не может быть чисто тепловым или электронным, т.к. в первом случае характерная постоянная взаимодействия порядка 1 мс, а во втором еще меньше. Наблюдаемые времена критического замедления указывают на то, что следует искать другой механизм с характерной постоянной взаимодействия $1 \div 10$ нс. Таковым может быть механизм фотоструктурных превращений, весьма свойственных аморфным полупроводникам ^{1,2}. Эти превращения происходят особенно эффективно при подзонном возбуждении ($h\nu < E_g$), когда свет взаимодействует с нативными дефектами аморфного полупроводника - структурными элементами, свойственными именно

аморфному состоянию и определяющими его существование ⁸.

Положительная обратная связь, необходимая для существования оптической бистабильности возникает как результат кооперативного взаимодействия нативных дефектов, составляющих 1÷10% от общего числа атомов ^{8,9}. При этом естественно предположить, что фотоиндуцированное рождение (или переориентация) одного дефекта создает более благоприятные условия для рождения (или переориентации) других, соседних с ним, дефектов, приводя к разрыхлению (или упорядочению) структуры аморфного вещества.

Очевидно, что описанные явления происходят в условиях разогрева образцов, и это может навести на мысль о чисто тепловом механизме оптической бистабильности, который исследуется в настоящее время в кристаллических полупроводниках ^{10,11}. Однако описанные эксперименты, а также данные работы ³ показывают, что наиболее характерные черты наблюдаемой оптической бистабильности в аморфных полупроводниках могут быть объяснены только на основе метастабильности (бистабильности) структуры аморфного состояния (атомных конфигураций) ^{8,9}.

В заключение авторы приносят благодарность М.И.Дьяконову, С.А.Дембовскому, Б.С.Рывкину и В.Х.Шпунту - за полезное обсуждение работы.

-
1. Lyubin V.M., Tikhomirov V.K., *J. Non-Cryst*, 1989, 114, 133.
 2. Любин В.М., Тихомиров В.К., Письма в ЖЭТФ, 51, 518; 1990, 52, 722.
 3. Hajto J., Janossy I., *Philos. Mag. B*, 1983, 47, 347.
 4. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980, 404с.
 5. Gibbs H.M., *Optical Bistability: Controlling light with light*. New-York. Academic Press, 1985, 410 p.
 6. Ашкинадзе Б.М., Тихомиров В.К., Письма в ЖТФ, 1988, 14, 1280.
 7. Фельц А., Аморфные и стеклообразные неорганические твердые тела. М.: Мир, 1986, 313.
 8. Дембовский С.А., Чечеткина Е.А., *Стеклообразование*. М.: Наука, 1990, гл. 5.
 9. Клиндер М.И., Карпов В.Г., ЖЭТФ, 1982, 82, 1687; *Klinger M.I., Phys. Rep.*, 1988, 165, 275.
 10. Rosanov N.N., Fedorov A.V., Shashkin V.V., *J. Opt. Soc. Am. B*, 1991, 8, 1471.
 11. Стадник В.А., ФТТ, 1987, 29, 3594.