

ТЕРМООПТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ ПРИ ФОТОСТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ (ХСП)

*В.Л.Аверьянов, А.В.Колобов, Б.Т.Коломиец,
В.М.Любин*

Обнаружен температурный порог фотопросветления в пленках As_3Se_2 . Развита конфигурационная модель двух структурных состояний ХСП, между которыми осуществляются термооптические переходы. Модель позволяет объяснить как новые, так и ранее известные результаты исследования фотостимулированных процессов в ХСП.

Обратимые фотостимулированные изменения свойств ХСП давно привлекают внимание исследователей как весьма интересное физическое явление и как основа для создания оригинальных светорегистрирующих сред [1 – 3]. Большинство исследователей предполагает, что в основе фотостимулированных процессов лежат обратимые изменения структуры. Действие света, вызывая ослабление межатомных связей, приводит к структурному переходу ХСП из основного состояния в некоторое метастабильное, сопровождающееся потемнением образца. Нагрев до температур, близких к температуре размягчения, вызывает обратный переход (термопросветление).

Недавно было показано, что просветление предварительно потемненных образцов ХСП может быть осуществлено также и под действием света, вызвавшего потемнение [4 – 7]. Для этого облучение должно производиться при температурах, несколько превышающих температуру первичного светового воздействия (термостимулированное фотопросветление – ТФ).

Эти факты послужили для авторов работы [7] аргументом для отказа от идеи фотоструктурных превращений и создания модели "многозарядовых" центров. С другой стороны, в работе [8] предложена модель бесконечного числа структурных состояний ХСП, каждое из которых соответствует определенной температуре.

Нами при исследовании ТФ получены принципиально новые результаты, позволяющие применить для объяснения обратимых изменений свойств ХСП конфигурационную модель [9] двух устойчивых состояний атомных узлов ХСП; между которыми осуществляются термооптические переходы.

Опыты проводились с приготовленным испарением в вакууме пленками ХСП состава As_3Se_2 , облучаемыми при разных температурах светом He – Ne-лазера ($\lambda = 633$ нм). Пропускание пленок регистрировалось на той же длине волны.

Результаты исследования приведены на рис.1. Линия АВ отображает фотопотемнение при комнатной температуре. АС и ВЕDC воспроизводят соответственно изменение с температурой (при скорости нагрева-

ния ~ 3 град/мин) пропускания необлученного и облученного участков пленки. $H'F'$ и $H''F''$ (фотопотемнение) и $G'F'$ и $G''F''$ (фотопроектирование) соответствуют изменению пропускания необлученного и облученного участков пленки под действием света при температурах T' и T'' . $BEF'F''C$ показывает, таким образом, стационарные значения пропускания образца, устанавливающиеся под действием света при различных температурах. Видно, что эффект фотопроектирования увеличивается с температурой и, что очень важно, имеет температурный порог.

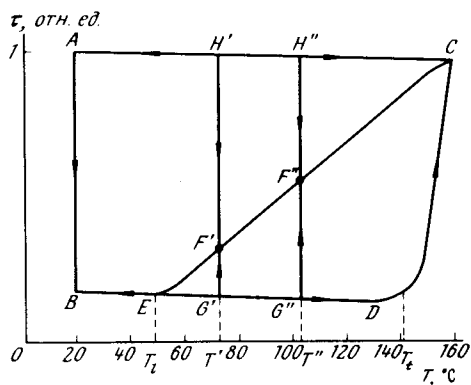


Рис. 1. Зависимость пропускания (τ) облученного и необлученного участков пленки стеклообразного As_3Se_2 от температуры

Интересным оказывается тот факт, что конечное значение пропускания пленки (точки на кривой $BEF'F''C$) определяется световым воздействием и температурой и не зависит от начального состояния (H или G) пленки. Этот результат находится в хорошем согласии с данными работы [6]. Участок DC характеризует термическое просветление пленки в темноте, резко ускоряющееся при температуре $T_t \approx 150^\circ C$.

Приведенные данные, и в первую очередь существование температурного порога ТФ, трудно интерпретировать в рамках представлений, изложенных в работах [7, 8]. Между тем, они могут быть поняты на основе конфигурационной модели двух устойчивых состояний атомных узлов: основного и метастабильного. Для исследованного нами материала As_3Se_2 под основным состоянием можно понимать структурное состояние, когда все атомы мышьяка химически связаны со своим окружением, а под метастабильным – состояние, когда избыточные (по сравнению со стехиометрическим составом) атомы мышьяка оказываются вырванными из основной сетки вещества.

Соотношение узлов в основном и метастабильном состоянии определяет, как в твердом растворе, реальную структуру вещества и его физико-химические параметры, в том числе оптическое пропускание.

Атомному узлу в основном состоянии соответствуют некоторые равновесные конфигурационная координата Q_1 и энергия E_{10} , а в метастабильном – соответственно Q_2 и E_{20} (рис.2).

Предположим, что Q_1 и Q_2 различаются достаточно сильно, как это показано на рис.2. Возможные между двумя состояниями термические и оптические переходы обозначены соответственно I_T и I_o .

В случае, если параболы, соответствующие основному и метастабильному состояниям существенно отличаются по крутизне (рис.2), возмож-

на ситуация, когда при низкой температуре энергия кванта света оказывается достаточной для перевода атомного узла из основного состояния в метастабильное и не достаточна для обратного перехода. При этом доминирует прямой процесс, приводящий к фотопотемнению.

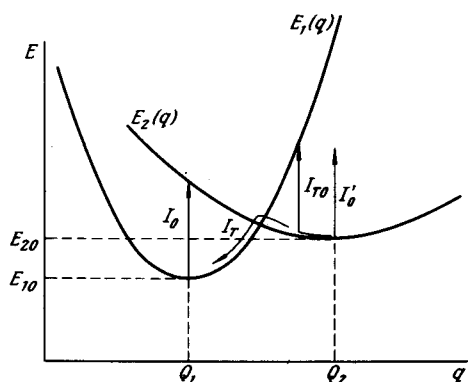


Рис. 2. Конфигурационная диаграмма основного и метастабильного состояний ХСП

Обратный оптический переход эффективно "включается" только при температуре T_l (порог ТФ), когда энергия кванта света поглощается атомным узлом, имеющим некоторое термическое возбуждение. Назовем такой переход термооптическим I_{TO} . При температуре $T_l < T < T_t$ заселенность метастабильного состояния определяется только соотношением вероятностей прямого и обратного термооптических переходов. При температуре T_t начинается эффективный термический переход атомных узлов в основное состояние (термосопротивление).

Таким образом, на основе развитой модели можно понять существование температурного порога ТФ, а также независимость стационарного значения пропускания пленки от ее начального состояния.

Из модели следует, что для обратного термооптического перехода должно выполняться условие (см. рис.2)

$$E_2(q) + \hbar \omega = E_1(q),$$

т.е., что при увеличении энергии кванта света ТФ должно начаться при меньших температурах. Проведенные нами контрольные эксперименты при облучении светом с $\lambda = 480$ нм подтвердили это предположение: порог ТФ смещается в данном случае в область более низких температур более, чем на 20 градусов.

Данная модель позволила предсказать и ряд других проверенных экспериментально фактов (влияние интенсивности света на конечное состояние образца, отклонение от закона взаимозаместимости интенсивности света и длительности его воздействия и др.).

Литература

- [1] J.P. de Neufville. Amorphous and Liquid Semiconductors (ed. by J.Stuke and W.Brenig) p.1351, Taylor & Fransis Ltd, London, 1974.
 - [2] K.Tanaka. Oyo Butsuri, 47, 2, 1978.
 - [3] B.T. Kolomiets, V.M.Lyubin. Mat. Res. Bull., 13, 1343, 1978.
 - [4] K.Tanaka. Solid State Comm., 15, 1521, 1974.
 - [5] E.Ruske. Phys. Stat. Sol. (a), 35, K113, 1976.
 - [6] В.И.Власов, А.А.Кикинеши, Д.Г.Семак, Д.В.Чепур. Укр. Физ. Ж., 22, 1199, 1977.
 - [7] В.И.Власов, Д.Г.Семак, Д.В.Чепур. Изв. высш. уч. зав., сер. физ., 12, 48, 1978.
 - [8] В.Г.Жданов, В.К.Малиновский. Модель фотоструктурных изменений в пленках ХСП, препринт №106 ИАЕ СО АН СССР, Новосибирск, 1979.
 - [9] R.Street. Phys. Rev., B17, 3984, 1978.
-