

06;07

Исследование влияния электрического поля на фотоиндуцированные изменения оптических свойств халькогенидных стеклообразных полупроводников

© А.М. Настас, А.М. Андриеш, В.В. Бивол,
А.М. Присакар, Г.М. Тридух

Центр оптоэлектроники Института прикладной физики
АН Республики Молдова
E-mail: ceopto@as.md.

Поступило в Редакцию 26 июля 2005 г.

Исследованы фотоиндуцированные изменения оптических свойств в полупроводниковых слоях системы $(As_2S_3)_x (As_2Se_3)_{1-x}$ в условиях приложения к исследуемым тонкослойным структурам электрического поля. Были исследованы структуры металл–полупроводник–металл, металл–полупроводник–диэлектрик–металл, металл–полупроводник–ионный электрод, металл–полупроводник–диэлектрик–ионный электрод. Ионный электрод создавался при использовании ксерографического режима. Обнаружено, что электрическое поле существенно влияет на фотоиндуцированные оптические параметры халькогенидных стеклообразных полупроводников. Приведены возможные механизмы и области применения данного эффекта.

PACS: 81.05.Gc

I. Введение. Халькогенидные стеклообразные полупроводники нашли широкое применение в системах регистрации, хранения и обработки оптической информации. Они также широко используются в электронике в качестве переключателей, датчиков и т.д. [1]. В последнее время они используются и при создании наноструктур методами электронной литографии [2,3]. В качестве регистрирующих структур аналогового и голографического изображений наибольшее распространение получили сульфиды и селениды мышьяка, их твердые растворы и гетеропереходы на их основе [1–6]. К их достоинствам, прежде всего, следует отнести высокое разрешение — $(8–10) \cdot 10^3 \text{ nm}^{-1}$ и отношение сигнал/шум, а также возможность химического усиления и трансформации изоб-

ражения в рельефно-фазовое, за счет селективного травления [1]. Эти факты позволяют создавать качественные матрицы для тиражирования голографического изображения.

Целью данной работы являлось исследование фотоиндуцированных изменений оптических свойств халькогенидных стеклообразных полупроводниковых слоев в электрическом поле.

II. Методика получения и исследования образцов. Образцы получали методом последовательного термического напыления в вакууме при остаточном давлении $2 \cdot 10^{-3}$ Па на оптически полированную стеклянную подложку никеля и сульфида мышьяка — As_2S_3 , а также твердых растворов халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) — $(As_2S_3)_x(As_2Se_3)_{1-x}$. Верхний металлический электрод, через который осуществлялось экспонирование структур металл–ХСП–металл, металл–ХСП–диэлектрик–металл, получали термическим напылением алюминия в вакууме. Толщина этого полупрозрачного металлического слоя, который служил одним из электродов при приложении постоянного электрического поля (в дальнейшем поля), составляла несколько сотен нанометров. Толщина полупроводниковых слоев была равна $1 \mu m$. В качестве подложек использовались также гибкие лавсановые ленты (длина 0.12 м, ширина 0.035 м), для металлизации которых использовался хром.

Образцы экспонировались при нормальном падении лазерного пучка ($\lambda = 0.488 \text{ nm}$, мощность — 0.3 мВт). Спектры пропускания были измерены при помощи спектрофотометра Specord UV VIS. Для измерения толщины образцов использовался интерференционный микроскоп МИИ-4.

III. Результаты исследования и их обсуждение. На рис. 1 приведены характерные для исследуемых структур на базе ХСП системы $(As_2S_3)_x(As_2Se_3)_{1-x}$ временные зависимости изменения коэффициента пропускания. Кривая 2 получена при экспонировании лазерным пучком ХСП структуры, а кривая 1 соответствует случаю еще и одновременного приложения электрического поля. Как видно из рисунка, приложение поля не изменяет характер процесса фотопотемнения, но процесс происходит с большей скоростью, чем в случае отсутствия поля. В связи с вышесказанным был исследован спектр пропускания слоев халькогенидных стеклообразных полупроводников в случае приложения к ним электрического поля и без него при использовании одинаковой мощности лазерного пучка (рис. 2).

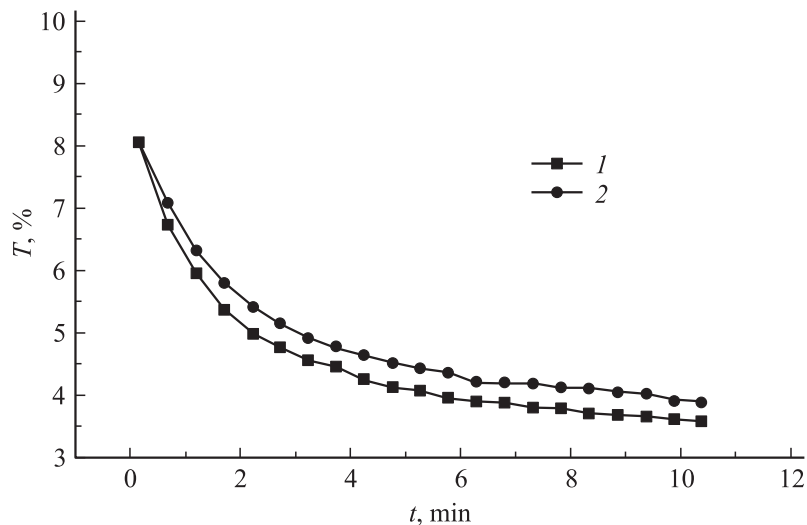


Рис. 1. Зависимость изменения пропускания в пленке As_2S_3 от времени экспонирования: 1 — экспонирование в электрическом поле, 2 — экспонирование при отсутствии поля.

Анализ этих кривых позволил определить степень изменения показателя преломления и прозрачности слоев под действием лазерного излучения. Как видно из рисунка, края поглощения засвеченных образцов смещаются в длинноволновую часть спектра на одинаковую величину, независимо от того, находился ли образец в поле или был засвечен в его отсутствие. Таким образом, как и следовало ожидать, с точки зрения положения края поглощения нет последствия, вызванного эффектом Франца–Келдыша.

Качественное объяснение приведенных результатов может быть дано в рамках электронной модели [7]. В результате освещения образцов в ХСП генерируются неравновесные носители заряда, часть из которых захватывается локализованными состояниями. Как известно, концентрация локализованных состояний в ХСП очень велика, что приводит, таким образом, к образованию остаточного пространственного заряда, способствующего возникновению явления фотоиндуцированного поглощения света в ХСП. В условиях приложения сильного электрического

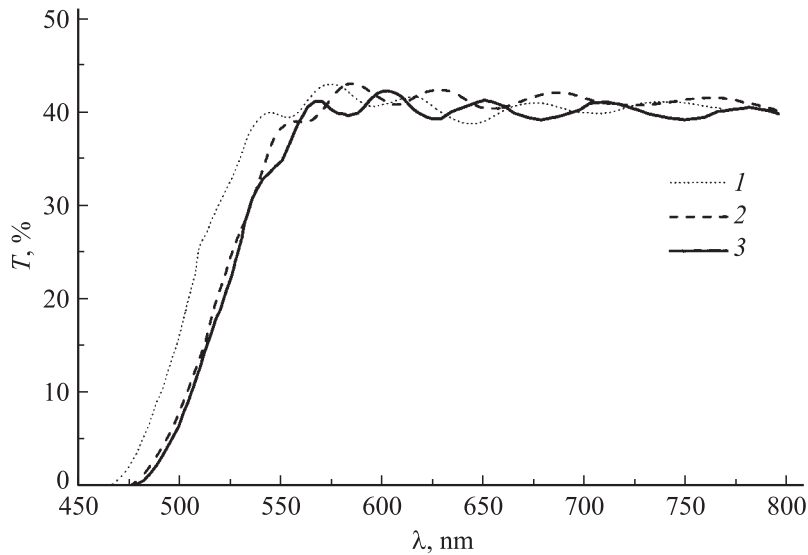


Рис. 2. Спектр пропускания As_2S_3 : 1 — свежеприготовленная пленка, 2 — после облучения, 3 — после облучения в электрическом поле.

поля 10^5 – 10^6 V/cm к исследуемым структурам может проявиться эффект Франца–Келдыша. Он приводит к смещению края поглощения в длинноволновую часть спектра, т.е. к увеличению поглощения при данной длине волны и к соответствующему увеличению концентрации неравновесных носителей заряда, внося вклад в увеличение показателя преломления.

По определению показатель преломления зависит от величины диэлектрической проницаемости, определяющей диэлектрические свойства материалов, которые в свою очередь зависят от сдвига заряженных частиц внутри атомов, молекул или других структурных единиц. Факт более сильного изменения показателя преломления в образцах, находящихся во время засветки в электрическом поле, свидетельствует, на наш взгляд, о том, что в таких условиях образцы испытывают большую поляризацию в направлении приложенного электрического поля.

Как известно, авторами [8] были обнаружены в стеклообразных полупроводниках явления фотоиндуцированного дихроизма и фотоин-

дуцированного двулучепреломления. По мнению авторов, эти явления объясняются тем, что при освещении стеклообразных полупроводников имеет место взаимодействие поляризованного излучения лазера со структурными оптическими анизотропными элементами, чьи оптические оси ориентированы случайно. Приложение электрического поля приводит к ориентации указанных структурных элементов более упорядоченно вдоль поля. Таким образом, в нашем случае, скорее всего, происходит одновременное влияние двух факторов: влияния электромагнитного поля поляризованного лазерного излучения и приложенного электрического поля на ориентацию упомянутых структурных элементов. Последняя должна проявляться в явлениях, связанных с поляризацией образца. При прекращении освещения и снятия электрического поля пространственно ориентированные оптически структурные анизотропные элементы возвращаются в равновесное (хаотическое) состояние в течение длительного интервала времени, что должно проявиться в увеличенном значении показателя преломления и в остаточной поляризации образца не только во время освещения, но и после его прекращения. Таким образом, после прекращения освещения и снятия электрического поля должна появиться анизотропия показателя преломления, которой не чувствуется при измерении оптического пропускания в естественном свете. Действительно, если приложение электрического поля приводит к значительно большей модуляции показателя преломления, достигая значения в 2.6 раза больше, чем в образцах, к которым не было приложено электрическое поле, то коэффициент пропускания в обоих случаях отличается лишь на несколько процентов.

Качественное объяснение данного электрофотоиндуцированного эффекта может быть дано с учетом трех факторов: 1) темп генерации неравновесных носителей повышается благодаря эффекту Франца–Келдыша и повышенным значениям квантового выхода при высоких полях; 2) интенсивность фотоструктурных превращений увеличивается за счет дополнительной энергии электрического поля; 3) уменьшение диффузионного размытия неравновесных носителей обусловлено наличием поперечного (нормального к поверхности ХСП) электрического поля. По-видимому, первый фактор должен обеспечивать увеличение светочувствительности ХСП структур, второй — улучшение светомодуляционных характеристик, третий — увеличение контраста и глубины селективно-протравленных дифракционных структур.

IV. Выводы.

1. Исследовано фотоиндуцированное изменение оптических свойств при наличии одновременно приложенного электрического поля в многослойных структурах на базе ХСП. Показано, что при этом происходит дополнительное увеличение амплитуды модуляции коэффициента пропускания и показателя преломления.

2. Исследование спектральных характеристик пропускания исследуемых ХСП структур позволяет предположить, что наличие электрического поля не приводит к значительным качественным изменениям механизма фотоиндуцированных изменений физических свойств ХСП.

3. По-видимому, увеличение темпа генерации неравновесных носителей в полупроводнике, уменьшение их диффузионного размытия и увеличение интенсивности фотоструктурных превращений являются доминирующими причинами наблюдаемого электрофотоиндуцированного эффекта в ХСП.

4. Проведенный комплекс исследований позволяет предположить, что приложение электрического поля при регистрации оптической информации будет способствовать увеличению светочувствительности, улучшению светомодуляционных характеристик структур на базе ХСП.

Список литературы

- [1] *Несеребряные* фотографические процессы / Под ред. А.Л. Картужанского Л.: Химия, 1984. С. 376.
- [2] *Микаэлян А.Н., Палагушкин А.Н., Прокопенко С.А.* // Доклады РАН. 2002. № 5. С. 621.
- [3] *Andrei Andriesh, Valeriu Bivol, Okan Ersoy et al.* // SPIE Proceeding V. 5581. P. 531–545.
- [4] *Перспективы* и возможности несеребряной фотографии / Под ред А.Л. Картужанского Л.: Химия, 1988.
- [5] *Панасюк Л.М.* Биобиблиография. Кишинев: Госуниверситет Р.М., 1999. С. 96.
- [6] *Свойства* светочувствительных материалов и их применение в голографии / Отв. ред. В.А. Барачевский. Л.: Наука, 1987. С. 100–105.
- [7] *Bahaа E.A. Saleh, Malvin CarlTeich.* N. Y., 1991. V. 2. P. 947.
- [8] *Lyubin V.M., Kltbanov M.L.* // Journal of Optoelectronics and Advanced Materials. 2002. V. 4. N 3. P. 649–664.
- [9] *Мотт Н., Дэвис Э.* Электронные процессы в некристаллических веществах. М.: Мир, 1982. Т. 2. С. 658.