

06;07

Деполяризация света в слоях $\text{SnO}_2:\text{In}_2\text{O}_3$

© Н.А. Давиденко, Н.Н. Куранда, В.А. Павлов,
А.Н. Попенака, Н.Г. Чуприна

Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Украина
E-mail: daviden@ukrpack.net

Поступило в Редакцию 7 сентября 2005 г.

При пропускании импульсов электрического тока через электропроводящие слои $\text{SnO}_2:\text{In}_2\text{O}_3$, которые нанесены на плоскопараллельные стеклянные подложки и используются в качестве электродов оптоэлектронных устройств, обнаружены эффекты деполяризации проходящего света. Эти эффекты могут быть связаны с изменением структуры слоев $\text{SnO}_2:\text{In}_2\text{O}_3$ при их нагреве джоулевым теплом и вызывать искажение информационного поля при передаче оптической информации.

PACS: 85.60.-q

Слои $\text{SnO}_2:\text{In}_2\text{O}_3$ (ITO), нанесенные на стеклянные или лавсановые основы, используются в качестве электродов жидкокристаллических [1] и электролюминесцентных дисплеев [2], фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии [3], фоторефрактивных устройств оптоэлектроники [4], голографических регистрирующих сред [5]. Для голографической интерферометрии и неразрушающего контроля качества металлических конструкций и деталей машин применяется фототермопластический способ записи голограмм на полимерных пленках [5,6], обладающих низкой электропроводностью, высокой фотопроводимостью на длине волны света используемого лазерного излучения, пластичностью. Для записи голограмм голографическую регистрирующую среду (HRM) готовят в виде тонкой пленки, нанесенной на электропроводящий подслой ITO с твердой или гибкой подложкой [6]. Перед экспонированием фоточувствительную полимерную пленку заряжают в коронном разряде, а после экспонирования через электропроводящий подслой ITO пропускают импульс электрического тока, что приводит к разогреву полимерной пленки и проявлению скрытого электростатического изображения в виде геометрического рельефа поверхности полимерной

пленки. С целью повторного использования HRM для записи голограмм стирание голограммы осуществляют посредством пропускания через слой ИТО импульса тока большей длительности для нагрева полимерной пленки до температуры, которая выше температуры ее плавления и при которой происходит полное выравнивание (залечивание) геометрического рельефа. В случае использования HRMs с гибкой (например, лавсановой основой) для скоростной записи голограмм (с частотой смены кадров $> 5 \text{ Hz}$) гибкую основу также подогревают пропусканием импульсов электрического тока через другой слой ИТО, но нанесенный на прозрачную стеклянную пластину, по которой происходит перемещение гибкой основы HRM. При записи или восстановлении голограммы лазерный луч проходит через подложку с разогреваемым слоем ИТО и слой ИТО в составе HRM. Так как лазерный луч когерентен (и линейно поляризован), то для передачи информационного поля без искажений, HRM не должна влиять на параметры этого поля. Однако нами обнаружено, что слои ИТО способны вносить искажения информационного поля, что связано с их деполяризующими свойствами, характерными для фазово-неоднородных слоев (PIL) [7].

Для исследований использовали образцы в виде плоских стеклянных подложек размером $50 \times 40 \text{ mm}$ и толщиной 1.2, 2.2, 3.2 mm с нанесенными на их плоские поверхности слоями ИТО. Вдоль узких краев подложек на поверхность слоев ИТО наносили серебряные электрические контакты для подключения к прижимным контактам при пропускании импульсов электрического тока, соответствующих импульсам стирания голограмм в фототермопластическом способе записи. Слои ИТО получены методом магнетронного напыления (Институт физики полупроводников НАН Украины, г. Киев) и термического распыления (АО „ЛЗОС“, Россия, г. Лыткарино). Толщина слоев ИТО была от 700 до 3000 Å, и их поверхностное сопротивление составляло $10\text{--}50 \Omega/\square$. Для пропускания импульсов электрического тока использовали устройство управления работой HRM [6,8], применяемое вместе с исследуемыми образцами стеклянных подложек со слоями ИТО для регистрации голограмм фототермопластическим способом. Длительность одного импульса тока была 90 ms, при которой в слое ИТО выделялась энергия $\sim 10\text{--}110 \text{ J}$. Эксперименты проводили посредством измерения интенсивности света (I), прошедшего через стеклянную подложку со слоем ИТО и поляризатор (P_2) (анализатор). В качестве источника света использовали либо диодный лазер с

мощностью излучения 7 мВт и рабочей длиной волны света излучения $\lambda = 650$ нм, либо лампу накаливания с монохроматором МДР-23 (производитель ЛОМО, Россия) и поляризатором (P_1). Направление распространения светового луча было перпендикулярно плоскости стеклянной пластины исследуемого образца. Величину интенсивности (I_0) излучения, попадающего на поверхность образцов, изменяли с помощью нейтральных светофильтров в пределах от 1 до 10^3 Вт/м². С помощью спектрально-вычислительного комплекса КСВИП-23 определяли зависимость $I/I_{N=0}$, где I — интенсивность света, прошедшего через стеклянную подложку со слоем ИТО после пропускания электрического тока и анализатор, $I_{N=0}$ — интенсивность света для тех же условий, но при температуре $T = 293$ К до пропускания импульсов электрического тока, от времени (t) после пропускания импульсов электрического тока в слое ИТО и с временным интервалом 1 с, числа (N) этих импульсов, угла (θ) между плоскостями поляризации P_1 и P_2 , длины волны света λ в диапазоне от 400 до 900 нм. Кроме того в диапазоне температуры $T = 290$ – 395 К и длины волны света $\lambda = 400$ – 900 нм определяли степень поляризации $P = |(I_{\parallel} - I_{\perp}) / (I_{\parallel} + I_{\perp})|$ света [9], прошедшего через подложку со слоем ИТО, где $I_{\parallel} = I_{N=0}$ при $\theta = 0$, $I_{\perp} = I_{N=0}$ при $\theta = \pi/2$. В последнем случае использовали термостат с оптическими окнами, а температуру подложки контролировали с помощью термопары, имеющей контакт с поверхностью подложки.

В случае регистрации неполяризованного света, прошедшего через исследуемые образцы со слоями ИТО, пропускание импульсов электрического тока не приводит к заметному изменению I . При использовании лазерного излучения или источника света с поляризатором P_1 наблюдается изменение интенсивности света, прошедшего через образец и анализатор P_2 . На рис. 1 представлены типичные графики зависимости $I/I_{N=0}$ от t для разных значений N и θ . После пропускания импульсов электрического тока через слой ИТО величина I при $\theta = \pi/2$ вначале уменьшается, а затем увеличивается и с ростом N это увеличение может достигать более порядка первоначальной величины. При уменьшении угла θ наблюдается обратный характер зависимости $I/I_{N=0}$ от t . Эти эффекты обратимы и после релаксации I до своего начального значения пропускание импульсов тока вызывает те же изменения прошедшего света. Релаксация I после выключения импульсов электрического тока и достижения максимума изменения происходит по экспоненциальному

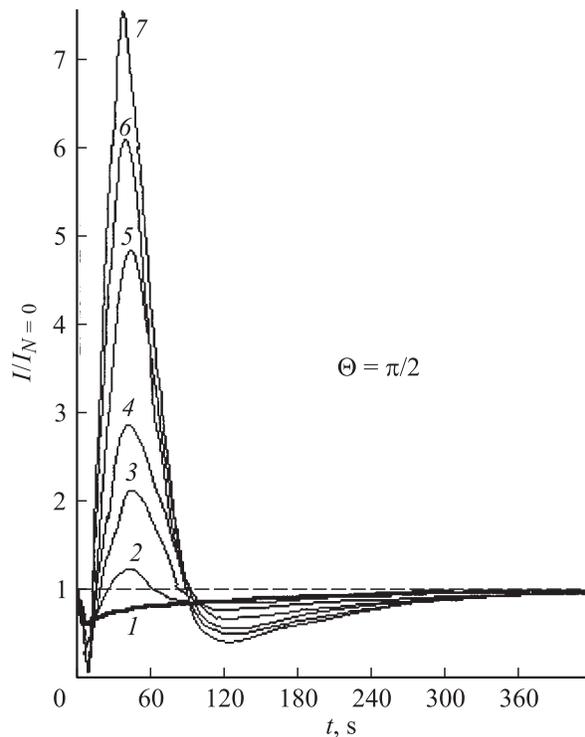


Рис. 1. Графики зависимости $I/I_{N=0}$ от t для разных значений θ и $N = 1$ (1), 3 (2), 5 (3), 10 (4), 15 (5), 20 (6), 25 (7) при $\lambda = 650 \text{ nm}$ в образце с толщиной стеклянной подложки 2.2 mm и слоем ИТО с поверхностным электрическим сопротивлением $20 \Omega/\square$. Энергия, выделяемая в слое ИТО, при пропускании одного импульса электрического тока $\sim 55 \text{ J}$.

закону с постоянной времени $200\text{--}300 \text{ s}$, которая больше для образцов с толстой стеклянной подложкой и по-видимому определяется естественным отводом тепла от слоев ИТО. Эффекты изменения $I/I_{N=0}$ не зависят от ориентации плоскости поляризации падающего света относительно направления распространения электрического тока в слое ИТО (от угла поворота плоскости образца относительно направления распространения падающего света). Характер этих эффектов отмечен для образцов

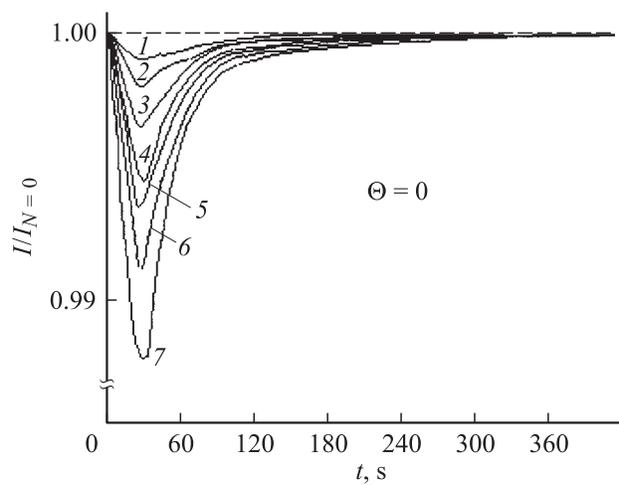
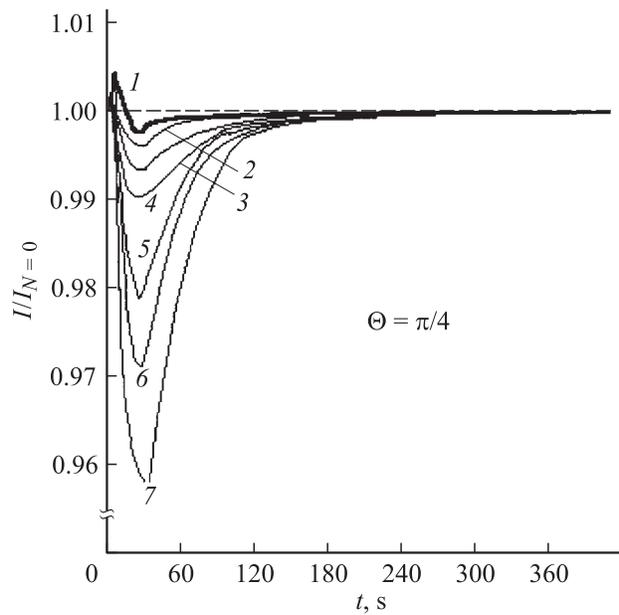


Рис. 1 (продолжение).

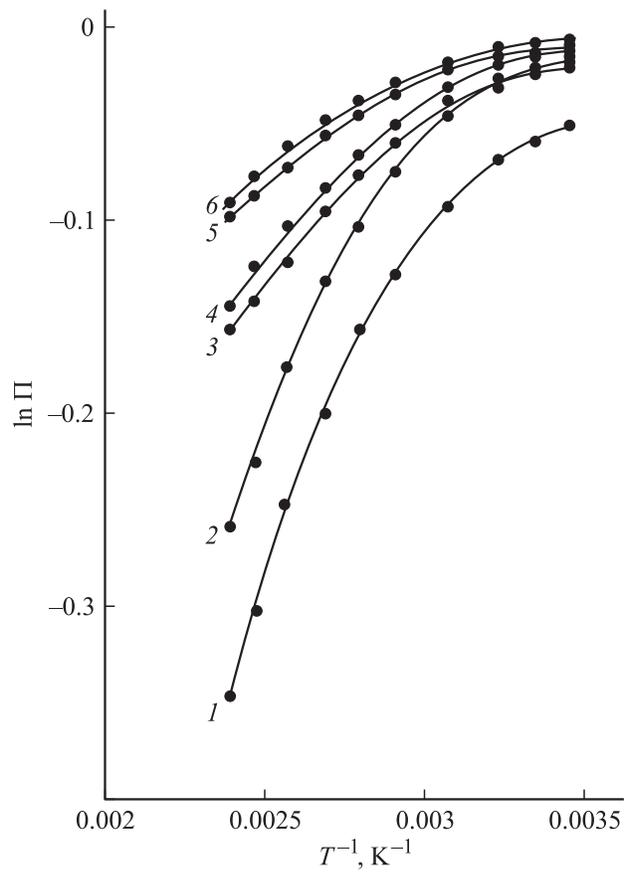


Рис. 2. Графики зависимости $\ln \Pi$ от T^{-1} в образце с толщиной стеклянной подложки 2.2 mm и слоем ИТО с поверхностным электрическим сопротивлением $20 \Omega/\square$ для $\lambda = 404$ (1), 434 (2), 534 (3), 604 (4), 704 (5), 804 (6) nm.

с различной толщиной слоев ИТО, полученных разными методами, во всем исследованном диапазоне I_0 и λ .

Так как деполяризирующее действие слоев ИТО не зависит от направления распространения электрического тока, то можно считать, что оно не связано с одномерным движением электронов при прохождении

импульсов электрического тока или с особенностями зонного строения полупроводника ПТО. Можно предположить, что наблюдаемые эффекты деполяризации света связаны с обратимыми структурными перестройками слоев ПТО, происходящими при выделении в них джоулевого тепла. Дополнительным основанием для такого предположения являются результаты измерений зависимости \ln от T^{-1} с использованием света различной длины волны (рис. 2). Сразу отметим, что для стеклянных подложек без слоев ПТО не обнаружено влияние T во всем исследуемом диапазоне λ .

Известно [7,10–14], что оптико-геометрические параметры РП являются суперпозицией внешней (шероховатой) и внутренней (растрескивание, электрические домены, дислокации и др.) составляющих. Так как графики зависимости \ln от T^{-1} нелинейны (рис. 2), то уменьшение при увеличении T нельзя пояснить увеличением концентрации моноэнергетических и равновеликих доменов или дислокаций структуры слоя ПТО [13,14]. С другой стороны, увеличение значений и усиление зависимости от T при уменьшении λ (рис. 2), указывают на увеличение с ростом T концентрации наночастиц деполяризации света, находящихся преимущественно на поверхности раздела слоя ПТО [7,11,12].

Корреляция зависимостей $I/I_{N=0}$ от t (рис. 1) и зависимостей от T (рис. 2) позволяют считать, что деполяризация света происходит в слоях ПТО в основном на их поверхности и это явление в большей степени проявляется при увеличении N и T . Ввиду того что слои ПТО широко применяются в современных оптоэлектронных устройствах, представляется необходимым учет обнаруженных деполяризующих свойств и более детальное исследование физических причин, их вызывающих. Последнее нами планируется в дальнейших исследованиях особенностей изменения наноразмерной структуры поверхности слоев ПТО под действием электрического поля и температуры.

Список литературы

- [1] *Кельх С.* Молекулярная нелинейная оптика / Пер. с польского. М.: Наука, 1981. 671 с.
- [2] *Давиденко Н.А., Ищенко А.А.* // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. В. 11. С. 84–90.
- [3] *Nunzi J.-M.* // C. R. Physique. 2002. V. 3. N 1. P. 1–20.
- [4] *Гришина А.Д., Шапиро Б.И., Перешивко Л.Я.* и др. // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. 2005. Т. 47. № 2. С. 285–295.

- [5] *Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л.* Оптическая голография / Пер. с англ. М.: Мир, 1973. 686 с.
- [6] *Кувшинский Н.Г., Давиденко Н.А., Комко В.М.* Физика аморфных молекулярных полупроводников. Киев: Лыбидь, 1994. 176 с.
- [7] *Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б.* // Укр. физ. журн. 1989. Т. 34. № 7. С. 1013–1019.
- [8] *Давиденко Н.А., Ищенко А.А., Костенко Л.И.* и др. // Химия высоких энергий. 2005. Т. 39. № 4. С. 297–306.
- [9] *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. М.: Наука, 1970. 856 с.
- [10] *Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б.* // Укр. физ. журн. 1991. Т. 36. № 1. С. 33–39.
- [11] *Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б.* // Поверхность. Физика, химия, механика. 1991. № 12. С. 30–35.
- [12] *Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б., Недужко М.А.* // Дефектоскопия. 1991. № 6. С. 83–88.
- [13] *Киттель Ч.* Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978. 791 с.
- [14] *Судзуки Т., Есиага Х., Такеути С.* Динамика дислокаций и пластичность. М.: Мир, 1989. 294 с.