

04;05;07

## Корреляция электрических и оптических свойств пленок $a\text{-C:H}$

© Е.А. Коншина

Всероссийский научный центр "ГОИ им. С.И. Вавилова"  
199034 Санкт-Петербург, Россия

(Поступило в Редакцию 6 октября 1998 г.)

Исследованы пленки  $a\text{-C:H}$ , осажденные из паров чистого ацетилена в плазме тлеющего разряда на постоянном токе. Получены зависимости плотности тока от прикладываемого напряжения в структурах прозрачный проводящий электрод/ $a\text{-C:H}$ /ртутный контакт. Установлена зависимость удельного сопротивления пленок  $a\text{-C:H}$  от скорости их осаждения. Проанализировано соотношение удельного сопротивления с коэффициентом поглощения на длине волны 632.8 nm и шириной оптической щели пленок  $a\text{-C:H}$ .

Использование пленок аморфного гидрогенизированного углерода ( $a\text{-C:H}$ ), поглощающих свет видимого диапазона длин волн, в качестве светоблокирующих слоев в светоправляемых модуляторах на жидких кристаллах (ЖК) отражательного типа [1], является новым решением технической задачи обеспечения оптической развязки между записывающим и считывающим излучениями. Оптические и электрические свойства  $a\text{-C:H}$  определяются особенностями их структуры и могут изменяться при вариации условий получения пленок [2]. Для разработки технологии получения светоблокирующего слоя на основе  $a\text{-C:H}$  с оптимальными свойствами необходимо определить область параметров процесса их конденсации в плазме тлеющего разряда. Это требует дополнительных исследований соотношения электрических и оптических свойств пленок  $a\text{-C:H}$ .

В этой работе изучаются зависимости плотности тока от прикладываемого напряжения для структур прозрачный проводящий электрод/ $a\text{-C:H}$ /металл. Сравняются зависимости удельного сопротивления, коэффициента поглощения на длине волны 632.8 nm и ширины оптической щели пленок  $a\text{-C:H}$  от скорости осаждения.

Исследуемые в работе пленки  $a\text{-C:H}$  были приготовлены по методу химического осаждения паров в плазме тлеющего разряда на постоянном токе, которую создавали с помощью магнетрона планарной конструкции [3]. Такая система в отличие от обычных диодных схем обеспечивает высокую степень ионизации газа и работает при более низком давлении в вакуумной камере. Напряжение ( $U$ ) между катодом-держателем подложек, расположенным на расстоянии 50 mm от анода, варьировали в интервале 700–900. Система электродов и стеклянный цилиндрический изолятор между ними образовывали квазизамкнутый объем, внутрь которого подается рабочий газ. Для получения пленок  $a\text{-C:H}$  использовали чистый ацетилен, давление ( $P$ ) которого в вакуумной камере изменяли от 0.02 до 0.08 Pa. Пленки осаждали на поверхность стеклянных подложек, покрытых прозрачным проводящим электродом на основе оксидов индия и олова (ITO) при комнатной температуре. Для измерений толщины использовали микроинтерферометр МИИ-4М. Относительная ошибка измерения составляла

10%. Толщина исследуемых пленок была 0.1–0.3  $\mu\text{m}$ . Скорость осаждения пленок определяли как отношение толщины пленки к времени ее осаждения.

В качестве металлического контакта при измерении зависимостей плотности тока ( $I$ ) от прикладываемого напряжения ( $V$ ) использовали каплю ртути (рис. 1, *a*). Площадь Hg контакта была  $\sim 10^{-2} \text{ cm}^2$ . На рис. 1, *b* приведена темновая  $I-V$  зависимость для пленки  $a\text{-C:H}$ , удельное сопротивление которой  $\rho = 2 \cdot 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ . Симметрия  $I-V$  зависимостей структур ИТО/ $a\text{-C:H}$ /Hg контакт была характерна для всех пленок  $a\text{-C:H}$ , имеющих  $\rho$  в интервале от  $7 \cdot 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$  до  $1 \cdot 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ . Симметричные  $I-V$  зависимости для положительных и отрицательных приложенных напряжений наблюдались для структур металл/ $a\text{-C:H}$ /металл с верхними контактами из Al и Cr в работе [4]. Это указывает на то, что ток в

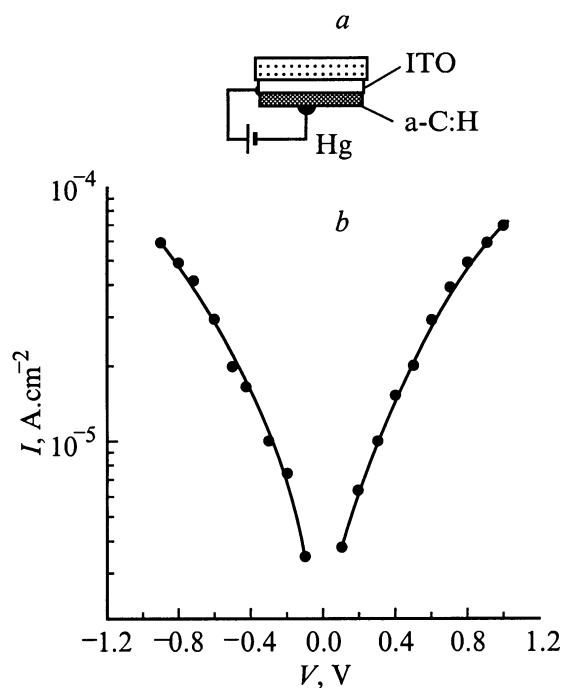
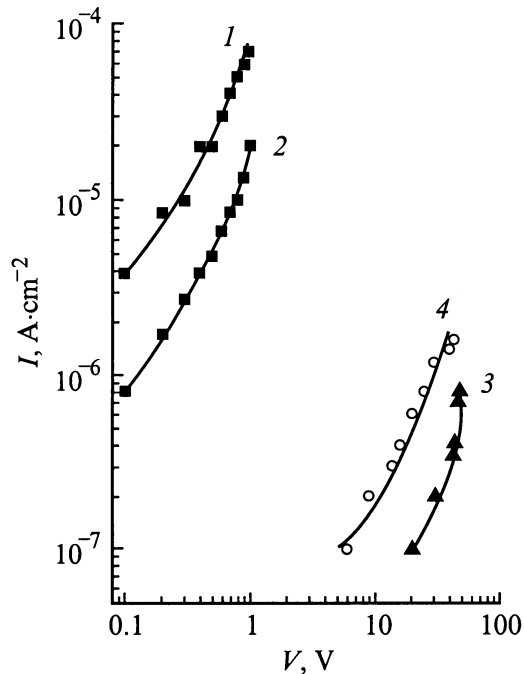


Рис. 1. Схема сэндвич-структуры подложка/ИТО/ $a\text{-C:H}$ /Hg контакт (*a*) и зависимость плотности тока  $I$  от приложенного напряжения  $U$  для пленки  $a\text{-C:H}$  с  $\rho = 2 \cdot 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$  (*b*).



**Рис. 2.** Темновые  $I-V$  характеристики для структур ПТО/ $a$ -C:H/Hg контакт, пленки  $a$ -C:H которых получены из ацетиленовой плазмы при постоянной мощности разряда  $N = 3 \pm 0.2$  W и давлении  $P = 0.03$  (1), 0.05 (2), 0.05 Pa (3); при  $N = 5.4$  W и  $P = 0.08$  Pa (4).

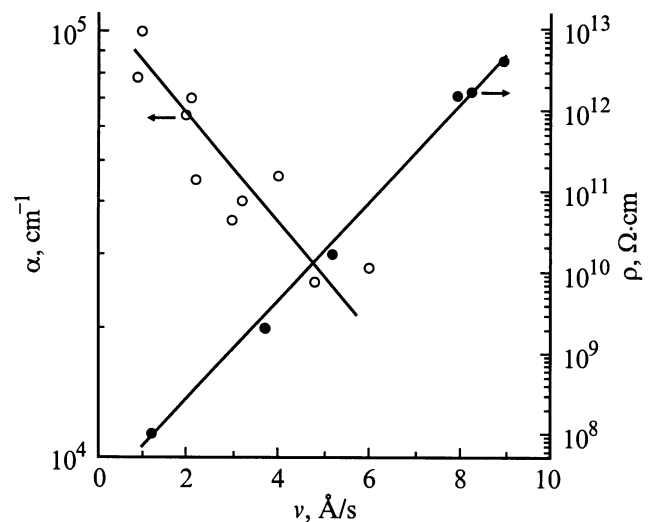
этих структурах не зависит от электроотрицательности контакта и определяется электронной структурой  $a$ -C:H.

На рис. 2 приведены темновые  $I-V$  зависимости структур ПТО/ $a$ -C:H/Hg контакт при положительных приложенных напряжениях для пленок  $a$ -C:H, полученных в разных условиях. Изменение давления в вакуумной камере от 0.03 (кривая 1) до 0.05 Pa (кривая 2) при постоянной мощности разряда ( $N = 3 \pm 0.2$  W) приводит к уменьшению плотности тока при тех же самых прикладываемых положительных напряжениях. Повышение  $P$  до 0.08 Pa при той же мощности вызывает существенный рост порогового напряжения (кривая 3). К подобным же изменениям приводит увеличение мощности разряда до 5.4 W в результате повышения напряжения при  $P = 0.05$  Pa (кривая 4). Изменение параметров процесса конденсации пленок  $a$ -C:H этой технологией в ацетиленовой плазме приводит к вариации ширины оптической щели Тауса ( $E_T$ ), определяемой экстраполяцией зависимости  $(\alpha E)^{1/2}$  от  $E$ , от 0.8 до 2.3 eV [5].

Увеличение скорости осаждения ( $v$ ) пленок  $a$ -C:H вызывает понижение коэффициента поглощения ( $\alpha$ ) на длине волны 632.8 nm от  $1 \cdot 10^5$  до  $\sim 1 \cdot 10^4$   $\text{cm}^{-1}$  (рис. 3), что снижает эффективность светоблокировки фотопроводникового слоя  $a$ -Si:C:H [1]. Это обусловлено существенным влиянием скорости осаждения на оптические постоянные пленок  $a$ -C:H [6,7]. В этой работе была получена зависимость удельного сопротивления пленок  $a$ -C:H от скорости осаждения. С увеличением

$v$  в интервале от 1 до 10  $\text{\AA}/\text{s}$   $\rho$  экспоненциально возрастает на шесть порядков от величины  $\sim 10^7$   $\Omega \cdot \text{cm}$ . При  $10^8 < \rho < 10^{10}$   $\Omega \cdot \text{cm}$  пленки  $a$ -C:H являются проводящими и имеют ширину щели  $\sim 1$  eV. Прозрачные в видимой области спектра изолирующие пленки  $a$ -C:H, полученные при  $v > 5$   $\text{\AA}/\text{s}$ , имеют  $E_T \sim 1.6-2$  eV. Из зависимостей на рис. 3 видно, что для пленки  $a$ -C:H, удовлетворяющей условиям светоблокировки и имеющей коэффициент поглощения  $\sim 5 \cdot 10^4$   $\text{cm}^{-1}$ ,  $\rho$  соответствует  $\sim 10^{10}$   $\Omega \cdot \text{cm}$ . Последнее согласуется с проводимостью ЖК слоя и обеспечивает получение высокого пространственного разрешения ЖК модулятора. Светоблокирующие слои с такими свойствами могут быть получены при конденсации паров ацетилена в плазме со скоростью 3–5  $\text{\AA}/\text{s}$ .

В результате проведенных исследований показано, что темновые  $I-V$  зависимости пленок  $a$ -C:H, полученных из ацетиленовой плазмы, существенно изменяются при вариации давления в вакуумной камере и мощности тлеющего разряда на постоянном токе. Установлена зависимость удельного сопротивления пленок  $a$ -C:H от скорости их осаждения в интервале 1–10  $\text{\AA}/\text{s}$ . Показано, что с увеличением скорости  $\rho$  возрастает в интервале от  $\sim 10^7$  до  $\sim 10^{13}$   $\Omega \cdot \text{cm}$  и одновременно увеличивается прозрачность пленок на длине волны 632.8 nm. Поглощающие пленки  $a$ -C:H с  $\alpha \sim 5 \cdot 10^4$   $\text{cm}^{-1}$ , используемые как светоблокирующие в ЖК модуляторах, имеют удельное сопротивление  $\sim 10^{10}$   $\Omega \cdot \text{cm}$  и ширину оптической щели  $\sim 1$  eV. Полученные результаты имеют практическое значение для создания новых ЖК модуляторов света, используемых в оптических схемах передачи, преобразования, регистрации и обработки оптической информации.



**Рис. 3.** Зависимости коэффициента поглощения  $\alpha$  на длине волны 632 nm и удельного сопротивления  $\rho$  от скорости осаждения  $v$  для пленок  $a$ -C:H, полученных из ацетиленовой плазмы.

## Список литературы

- [1] *Коншина Е.А., Онохов А.П.* // ЖТФ. 1999. Т. 69. Вып. 3. С. 80–81.
- [2] *Robertson J.* // Thin Solid Films. 1997. Vol. 296. P. 61–65.
- [3] *Балаков А.В., Коншина Е.А.* // ЖТФ. 1982. Т. 52. Вып. 4. С. 810–811.
- [4] *Egret S., Robertson J., Milne W.I., Clough F.J.* // Diamond & Related Materials. 1997. Vol. 6. P. 879–883.
- [5] *Коншина Е.А.* // ФТТ. 1995. Т. 37. Вып. 4. С. 1120–1125.
- [6] *Коншина Е.А., Толмачев В.А.* // ЖТФ. 1995. Т. 65. Вып. 1. С. 175–178.
- [7] *Tolmachev V.A., Konshina E.A.* // Diamond & Related Materials. 1996. Vol. 5. N 12. P. 1397–1401.