

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 окислов 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 μm . 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 ρ 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

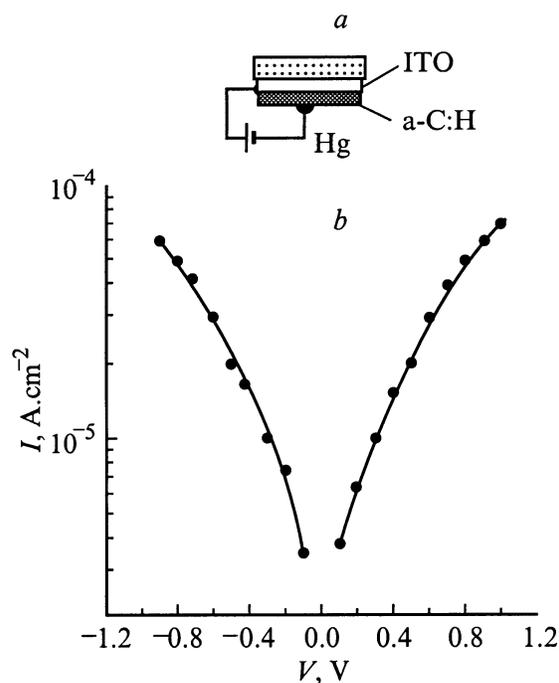


Рис. 1. Схема сэндвич-структуры подложка/ИТО/ $a\text{-C:H}$ /Hg контакт (*a*) и зависимость плотности тока I от приложенного напряжения U для пленки $a\text{-C:H}$ с $\rho = 2 \cdot 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ (*b*).

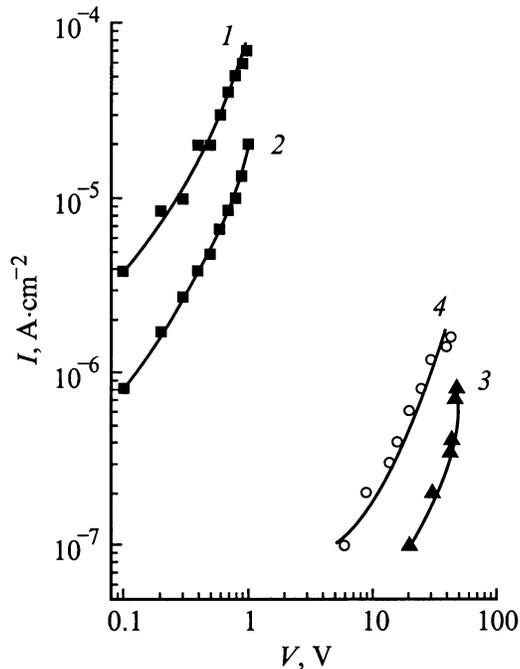


Рис. 2. Темновые $I-V$ характеристики для структур ПТО/ $a-C:H$ /Hg контакт, пленки $a-C:H$ которых получены из ацетиленовой плазмы при постоянной мощности разряда $N = 3 \pm 0.2$ W и давлении $P = 0.03$ (1), 0.05 (2), 0.05 Pa (3); при $N = 5.4$ W и $P = 0.08$ Pa (4).

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 (α) на длине волны 632.8 nm от $1 \cdot 10^5$ до $\sim 1 \cdot 10^4$ 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 $\text{\AA}/s$ ρ 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 ~ 1 eV. Прозрачные в видимой области спектра изолирующие пленки $a-C:H$, полученные при $v > 5$ $\text{\AA}/s$, 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 $\sim 5 \cdot 10^4$ cm^{-1} , ρ 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 $\text{\AA}/s$.

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 $\text{\AA}/s$. Показано, что с увеличением скорости ρ 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 $\alpha \sim 5 \cdot 10^4$ cm^{-1} , используемые как светоблокирующие в ЖК модуляторах, имеют удельное сопротивление $\sim 10^{10}$ $\Omega \cdot \text{cm}$ и ширину оптической щели ~ 1 eV. Полученные результаты имеют практическое значение для создания новых ЖК модуляторов света, используемых в оптических схемах передачи, преобразования, регистрации и обработки оптической информации.

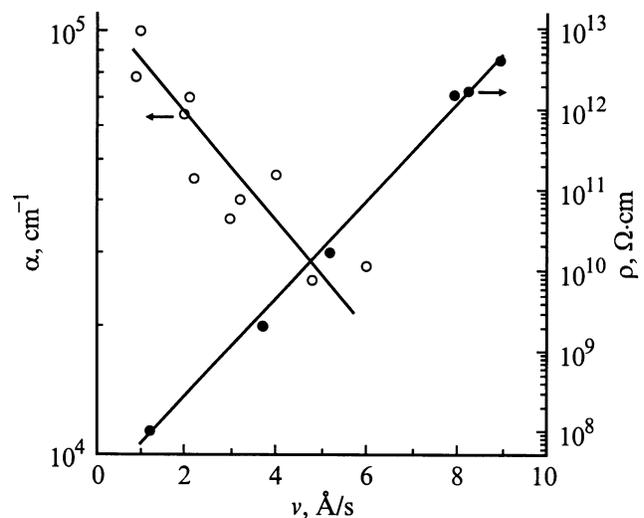


Рис. 3. Зависимости коэффициента поглощения α на длине волны 632 nm и удельного сопротивления ρ от скорости осаждения v для пленок $a-C:H$, полученных из ацетиленовой плазмы.

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.