

## Применение поглощающих пленок $a\text{-C:H}$ в жидкокристаллических модуляторах света отражательного типа

© Е.А. Коншина, А.П. Онохов

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

(Поступила в Редакцию 15 мая 1998 г.)

Исследована эффективность использования пленок  $a\text{-C:H}$  в качестве светоблокирующих слоев в ЖК модуляторах света отражательного типа с фотополупроводниковыми слоями  $a\text{-Si:H}$  и  $a\text{-Si:C:H}$ . Показана возможность ослабления потока света, проникающего в фотополупроводник в 100 раз, с помощью пленки  $a\text{-C:H}$  толщиной  $1\ \mu\text{м}$  и коэффициентом поглощения  $5 \cdot 10^4\ \text{см}^{-1}$  на длине волны  $632.8\ \text{нм}$ .

Сложной технической задачей при разработке светоправляемых модуляторов света отражательного типа на жидких кристаллах (ЖК) является обеспечение оптической развязки между записывающим и считывающим излучениями. Используемые для этого диэлектрические и металлические мозаичные зеркала реально не могут дать полного отражения считывающего света. Световое поле видимого диапазона длин волн, проникающее в граничащий с зеркалом слой полупроводника, поглощается в нем, воздействуя на модуляцию света. Это снижает динамический диапазон интенсивностей регистрируемых изображений, отношения сигнал–шум и чувствительность ЖК модулятора отражательного типа [1]. Более эффективное разделение записывающего и считывающего потоков света можно получить при размещении между зеркалом и фотополупроводником слоя, поглощающего считывающее излучение. В качестве такого слоя ЖК модулятора с фотополупроводником CdS был использован более узкозонный полупроводник CdTe толщиной  $2\ \mu\text{м}$  с коэффициентом поглощения не менее  $10^5\ \text{см}^{-1}$  на длине волны  $525\ \text{нм}$  и поверхностным сопротивлением около  $10^{11}\ \Omega$  [2]. В то же время известно, что "черный" монослой алмазоподобного углерода толщиной  $1\ \mu\text{м}$  с пропусканием в видимой области спектра менее 2% был использован для усиления контраста матричного дисплея путем осаждения его на участки между элементами матрицы [3].

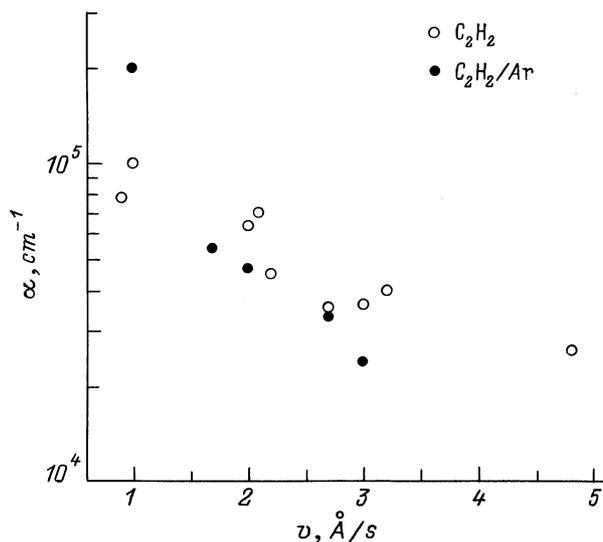
В этой работе впервые проведено исследование эффективности светоблокировки от излучения с длиной волны  $632.8\ \text{нм}$  фотополупроводниковых слоев  $a\text{-Si:H}$  и  $a\text{-Si:C:H}$  с помощью поглощающей пленки аморфного гидрогенизированного углерода ( $a\text{-C:H}$ ).

Пленки  $a\text{-C:H}$  получали по методу химического осаждения паров углеводородов в плазме тлеющего разряда на постоянном токе. Проведенные ранее исследования оптических постоянных пленок, полученных из различных углеводородов, показали, что наибольший коэффициент поглощения на длине волны  $632.8\ \text{нм}$  имели пленки, полученные этим методом из паров ацетилена [4,5]. Поэтому в этой работе мы использовали последний для получения поглощающих пленок. Пленки осаждали при температуре окружающей среды на стеклянные

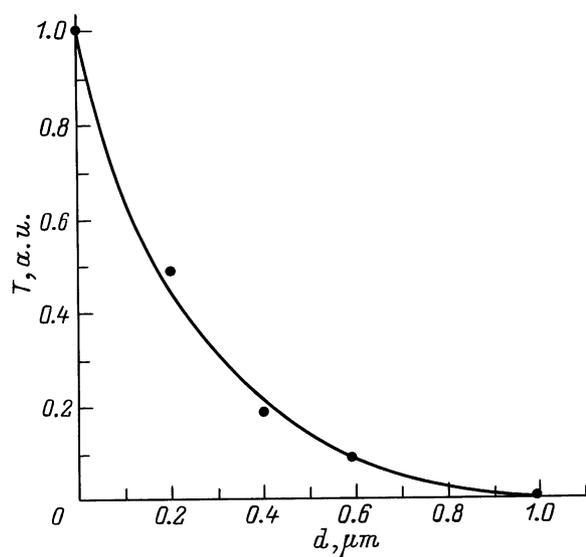
подложки с предварительно нанесенными на нее слоями прозрачного проводящего электрода на основе окислов индия и олова ( $\text{In}_2\text{SnO}_3$ ) и фотополупроводника  $a\text{-Si:H}$  или  $a\text{-Si:C:H}$ . Последние были получены методом химического осаждения из паров силана и смеси силана с метаном в ВЧ разряде [6].

Оптические постоянные пленок  $a\text{-C:H}$  зависят от кинетики процесса осаждения в плазме тлеющего разряда, и их коэффициент поглощения можно повысить путем снижения скорости осаждения [4,5]. В этой работе скорость осаждения варьировали, изменяя давление ацетилена в вакуумной камере в интервале от 0.1 до 0.01 Па или концентрацию ацетилена в смеси его с аргоном при постоянном межэлектродном напряжении 900 В. Для измерений пропускания света на длине волны  $632.8\ \text{нм}$  использовали He–Ne лазер. Толщину пленок  $a\text{-C:H}$  определяли с помощью микроинтерферометра МИИ-4М с относительной ошибкой измерения менее 10%. Натуральный коэффициент поглощения рассчитывали согласно закону Ламберта–Бера. Экспериментальные значения коэффициента поглощения ( $\alpha$ ) в зависимости от скорости осаждения ( $v$ ) пленок  $a\text{-C:H}$  на поверхность структуры стекло/ $\text{In}_2\text{SnO}_3/a\text{-Si:H}$  (или  $a\text{-Si:C:H}$ ) приведены на рис. 1. При изменении скорости в интервале от 1 до  $5\ \text{Å/s}$  значения  $\alpha$  на длине волны  $632.8\ \text{нм}$  изменялись на порядок величины в интервале от  $2 \cdot 10^5$  до  $2.5 \cdot 10^4\ \text{см}^{-1}$ .

Эффективность ослабления пропускания ( $T$ ) слоя  $a\text{-Si:H}$  с помощью поглощающей пленки  $a\text{-C:H}$  в зависимости от ее толщины ( $d$ ) иллюстрирует рис. 2. При увеличении толщины пленки  $a\text{-C:H}$  с  $\alpha = 5 \cdot 10^4\ \text{см}^{-1}$  до  $1\ \mu\text{м}$  пропускание структуры на длине волны  $632.8\ \text{нм}$  уменьшалось более чем на два порядка относительно начальной его величины. Для пленок  $a\text{-C:H}$ , имеющих величину  $\alpha \leq 5 \cdot 10^4\ \text{см}^{-1}$  на длине волны  $632.8\ \text{нм}$ , характерно удельное сопротивление порядка  $\sim 10^{11} - 10^{12}\ \Omega \cdot \text{см}$ . Использование пленок  $a\text{-C:H}$  с величиной  $\alpha > 5 \cdot 10^4\ \text{см}^{-1}$  позволяет более эффективно ослаблять интенсивность падающего света. Так, пленка с  $\alpha = 1 \cdot 10^5\ \text{см}^{-1}$ , полученная при скорости осаждения  $1\ \text{Å/s}$ , ослабляла пропускание слоя  $a\text{-Si:H}$  в  $\sim 500$  раз уже при толщине  $\sim 0.5\ \mu\text{м}$ . Однако при использовании структуры  $\text{In}_2\text{SnO}_3/a\text{-Si:H}/a\text{-C:H}/\text{Al}$  (мозаичное зер-



**Рис. 1.** Зависимость коэффициента поглощения ( $\alpha$ ) на длине волны 632.8 nm от скорости осаждения ( $v$ ) пленок  $a\text{-C:H}$  на стеклянные подложки с нанесенными на них слоями прозрачного проводящего электрода  $\text{In}_2\text{SnO}_3$  и фотополупроводника.



**Рис. 2.** Зависимость относительного пропускания света ( $T$ ) тонкопленочной структурой  $\text{In}_2\text{SnO}_3/a\text{-Si:H}/a\text{-C:H}$  от толщины ( $d$ ) поглощающей пленки с  $\alpha = 5 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$ .

кало) с такой пленкой в ЖК модуляторе нам не удалось получить пространственную модуляцию света. Как показало сравнение I-V-характеристик структуры  $\text{In}_2\text{SnO}_3/a\text{-Si:H}$  до и после осаждения пленки  $a\text{-C:H}$ , это может быть вызвано значительным возрастанием величины темнового тока и потерей разрешающей способности. Изменения поглощения в видимой области спектра сопровождаются изменениями электронной структуры и ширины оптической щели пленок  $a\text{-C:H}$  [7]. В этой работе было установлено, что повышение коэффициента

поглощения на длине волны 632.8 nm ( $\alpha > 5 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ) сопровождалось уменьшением ширины оптической щели до величины  $\sim 1 \text{ eV}$  и удельного сопротивления пленок  $a\text{-C:H}$  до значений порядка  $\sim 10^7 \Omega\cdot\text{cm}$ .

В результате проведенных исследований показано, что коэффициент поглощения пленок  $a\text{-C:H}$  на длине волны 632.8 nm можно изменять в интервале от  $2 \cdot 10^5$  до  $2.5 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$  путем вариации скорости их осаждения из ацетиленовой и ацетилен-аргоновой плазмы тлеющего разряда на постоянном токе от 1 до 5 Å/s. С помощью пленки толщиной 1  $\mu\text{m}$  с коэффициентом поглощения  $\sim 5 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$  можно получить стократное ослабление интенсивности света, проходящего через структуру стекло/ $\text{In}_2\text{SnO}_3/a\text{-Si:H}$ , используемую в ЖК модуляторах.

Применение поглощающих пленок  $a\text{-C:H}$  для светоблокировки от света видимого диапазона длин волн фотополупроводниковых слоев  $a\text{-Si:H}$  и  $a\text{-Si:C:H}$  является новым техническим решением проблемы оптической развязки между записывающим и считывающим светом и открывает перспективы для разработки новых светоправляемых ЖК модуляторов отражательного типа. Вместе с тем для достижения высокого пространственного разрешения ЖК модуляторов на основе исследованных тонкопленочных структур наряду с оптимизацией оптического поглощения и толщины светоблокирующего слоя  $a\text{-C:H}$  необходима оптимизация его электрических свойств и согласование их со свойствами фотополупроводника.

## Список литературы

- [1] Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В. Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987. 320 с.
- [2] Bleha W.P., Lipton L.P., Wiener E. // Opt. Eng. 1978. Vol. 17. P. 371–384.
- [3] Singh B., McClelland S., Tams F. et al. // Appl. Phys. Lett. 1990. Vol. 57. P. 2288–2290.
- [4] Коншина Е.А., Толмачев В.А. // ЖТФ. 1995. Т. 65. Вып. 1. С. 175–178.
- [5] Tolmachev V.A., Konshina E.A. // Diamond & Related Materials. 1996. Vol. 5. P. 1397–1401.
- [6] Amorphous Semiconductor Technologies and Devices / Ed. Y. Hamakawa. Ohmsha; Amsterdam: North Holland. 1981.
- [7] Коншина Е.А. // ФТТ. 1995. Т. 37. С. 1120–1125.