

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 (In_2SnO_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 (α) 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 α 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 ~ 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-

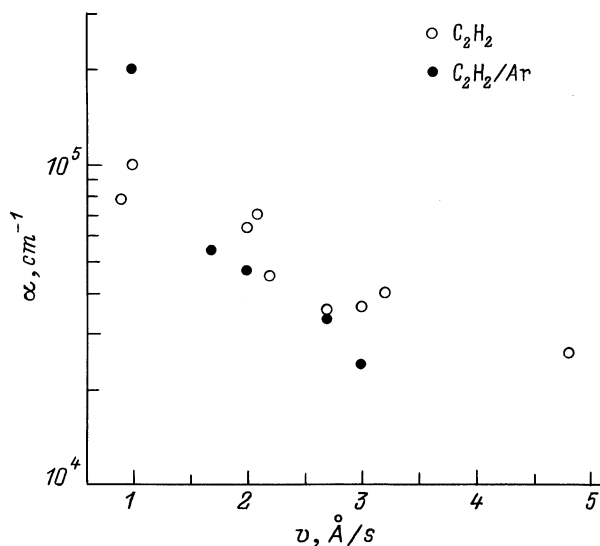


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения (α) на длине волны 632.8 nm от скорости осаждения (v) пленок $a\text{-C:H}$ на стеклянные подложки с нанесенными на них слоями прозрачного проводящего электрода In_2SnO_3 и фотополупроводника.

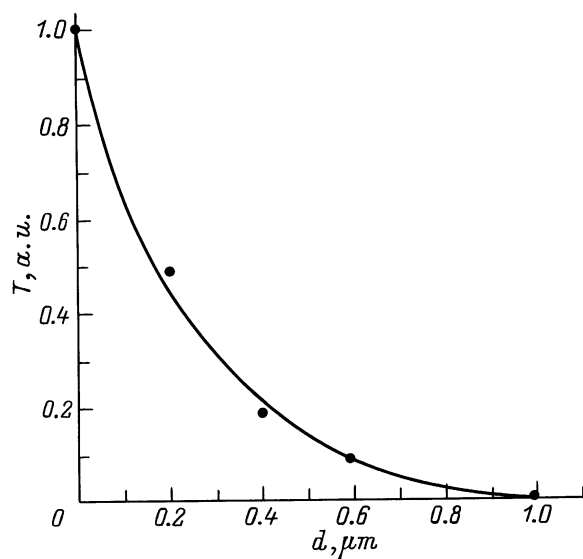


Рис. 2. Зависимость относительного пропускания света (T) тонкопленочной структурой $\text{In}_2\text{SnO}_3/a\text{-Si:H}/a\text{-C:H}$ от толщины (d) поглощающей пленки с $\alpha = 5 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-1}$.

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 $\sim 10^7 \Omega\text{-cm}$.

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 μm 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.