

05;06;07;12

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛОЕВ АМОРФНОГО ГИДРИРОВАННОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ ($a\text{-Si} : \text{C} : \text{H}$) В ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ МОДУЛЯТОРАХ СВЕТА

© Н.Л.Иванова, Л.Е.Морозова, А.П.Онохов,
А.Б.Певцов, Н.А.Феоктистов

Оптические модуляторы (ОМ) на основе жидких кристаллов (ЖК) применяются для обработки оптической информации [1-4]. Использование в качестве фоточувствительного слоя аморфного гидрированного кремния ($a\text{-Si:H}$) и $p\text{-i-n}$ -структур на его основе позволяет получать максимальное быстродействие ~ 0.1 мс (ограниченное временем релаксации в ЖК) при высокой разрешающей способности (40 лин/мм), контрастности (20:1) [2]. Для получения оптимальных характеристик ОМ требуется согласование проводимости слоев $p\text{-i-n}$ -структуры и ЖК. В первую очередь необходимо обеспечить низкую темновую проводимость i -слоя для предотвращения расплывания изображения. Решению этой задачи способствует применение более широкозонных пленок $a\text{-Si:C:H}$ [3].

Кроме того, применение таких ОМ для задач, связанных со считыванием в видимой области спектра, наталкивается на ряд сложностей, которые вызваны проникновением считывающего света в фоточувствительный слой. Чтобы устранить влияние считывающего света, используют особые режимы работы ОМ [4], а также отражающие зеркала [1].

В настоящей работе описаны ОМ, в которых использованы $p\text{-i-n}$ -структуры на основе $a\text{-Si:C:H}$, что позволяет облегчить решение вышеуказанных проблем. Действительно, используя пленки $a\text{-Si:C:H}$ с разной концентрацией в них углерода, можно варьировать их проводимость в широких пределах [5] и добиться необходимой слоевой проводимости. К тому же пленки $a\text{-Si:C:H}$ обладают меньшим коэффициентом поглощения в красной области, что позволяет использовать красный свет большей интенсивности для считывания.

Последовательность слоев в изготовленных ОМ изображена на рис. 1. На две стеклянные шайбы диаметром 20-30 мм наносился слой прозрачного проводящего окисла

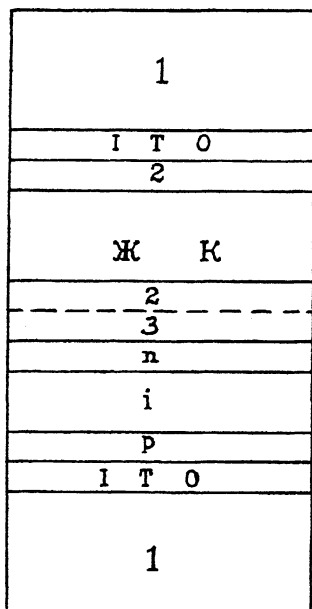


Рис. 1. Последовательность слоев оптического модулятора с $p-i-n$ -структурой на основе $a-Si:C:H$: 1 — стеклянные или кварцевые шайбы, 2 — слой ориентанта, 3 — мозаичный слой Al.

(110). После чего на одну из шайб напылялся слой ориентанта с подобранной проводимостью a , на другую шайбу последовательно наносились слои легированного бором (p), нелегированного (i), легированного фосфором (n) $a-Si:C:H$, мозаичный слой Al с коэффициентом отражения 90%, а затем напылялся слой ориентанта.

После этого между двумя стеклянными шайбами с напыленными на них слоями вводился слой нематического ЖК-1282 ($\delta\epsilon = 9.9$, $\delta n = 0.164$). Толщина слоя ЖК задавалась диэлектрическими прокладками и составляла 2–3 мкм. Ориентант SeO_2 толщиной 400 Å наносился методом косого лазерного напыления.

Слои $a-Si:C:H$ напылялись методом высокочастотного разложения силана в многокамерной установке. Толщина p -слоя была 200 Å, n -слоя 100–150 Å, i -слоя 1–2 мкм. Концентрация углерода в пленках варьировалась изменением потоков метаносодержащей и силаносодержащей газовых смесей. Отношение $K-CH_4/(SiH_4+CH_4)$ варьировалось в пределах 0–45%. В легированные слои углерод вводился как для увеличения пропускания в коротковолновой области спектра (p -слой), так и для уменьшения проводимости

n -слоя. Последнее необходимо для повышения слоевого сопротивления пленок n -типа, чтобы избежать их закорачивающего влияния. Слоеое сопротивление этих пленок было $> 10^{10}$ Ом/квадрат.

Для получения необходимых характеристик $p-i-n$ -структур было исследовано влияние состава газовой смеси на их темновые вольт-амперные и спектральные характеристики. В работе [6] были представлены результаты влияния состава газовой смеси на проводимость и оптические характеристики полученных пленок $a\text{-Si:C:H}$. По мере увеличения содержания метана в газовой смеси проводимость уменьшалась до величин $< 10^{-12}$ Ом $^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ ($K > 30\%$) для нелегированных пленок, а для легированных фосфором до значений $\sim 10^{-9}$ Ом $^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. При этом пленки становились более широкозонными, вследствие чего уменьшалось поглощение в красной области спектра. Были исследованы $p-i-n$ -структуры с толстым i -слоем (1–2 мкм), полученным при разных значениях K . Показано, что увеличение относительного содержания метана в газовой смеси до величин $K = 40\%$ позволяет получать $p-i-n$ -структуры с удовлетворительными световыми и темновыми характеристиками: отношение фототока к темновому при засветке “белым” светом 200 лк и обратном смещении 5–10 В составляло $> 10^5$, величины обратных темновых токов этих структур были менее 10^{-8} А/см 2 ($U = -10$ В).

На рис. 2 для сравнения представлены спектральные зависимости $p-i-n$ -структур, содержащих углерод в i -слое и без углерода. Приведена кривая для $K = 30\%$ (кривая 2). В этом случае слои $a\text{-Si:C:H}$ обладали проводимостью $10^{-11} - 10^{-12}$ Ом $^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и все еще не ограничивали быстроедействие ЖК. Как видно из рисунка, максимум спектральной зависимости $p-i-n$ -структуры на основе $a\text{-Si:C:H}$ смещен в более коротковолновую область спектра и немного меньше по величине, чем для $p-i-n$ -структур на основе $a\text{-Si:H}$. Однако это понижение абсолютной чувствительности структур на основе $a\text{-Si:C:H}$ компенсируется более низким значением темновых обратных токов этих структур, вследствие чего относительная чувствительность в максимуме спектральной зависимости таких структур оказывается даже выше, чем у $p-i-n$ -структур без углерода в i -слое. В области длинных волн ($\lambda > 0.6$ мкм) чувствительность $a\text{-Si:C:H}$ $p-i-n$ -структур была значительно меньше, чем для $a\text{-Si:H}$ $p-i-n$ -структур.

Для уменьшения влияния считывающего света (освещение со стороны n -слоя $p-i-n$ -структуры) применялись металлические мозаичные зеркала, напыляемые поверх $p-i-n$ -структуры, а также проводящие зеркала на основе

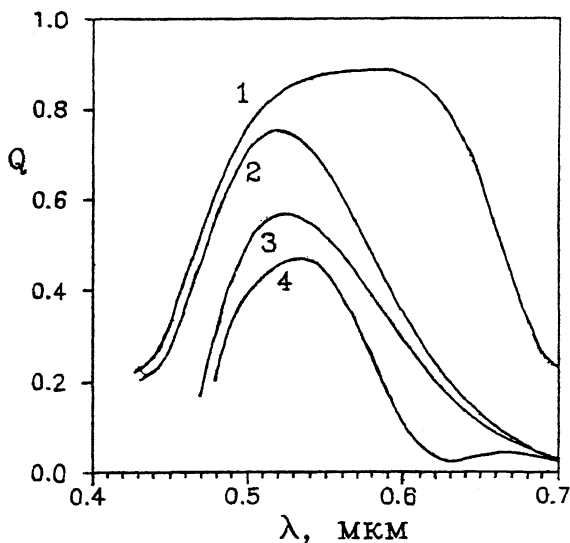


Рис. 2. Спектральные зависимости коэффициента сбора (Q) $p-i-n$ -структур на основе $a-Si:H$ и $a-Si:C:H$ при обратном смещении -5 В. Кривые 1, 2 — фронтальное освещение (со стороны p -слоя); кривая 1 — i -слой из $a-Si:H$, кривая 2 — i -слой из $a-Si:C:H$; 3, 4 — тыльное освещение (со стороны n -слоя); кривая 3 — $p-i-n$ -структура на основе $a-Si:C:H$, кривая 4 — $p-i-n$ -структура на основе $a-Si:C:H$, содержащая 5-слойное зеркало.

пленок $a-Si:C:H$ [6]. Такие отражательные системы изготавливались напылением слоев толщиной $\lambda/4n$ при вариациях содержания метана в рабочей смеси. Имелась возможность изготавливать такие зеркала в едином цикле напыления всей $p-i-n$ -структуры, причем отражательная структура могла представлять собой как часть i -слоя, так и n -слой.

На рис. 2 кривыми 3 и 4 представлены спектральные зависимости коэффициента сбора при тыльном освещении (со стороны n -слоя) $p-i-n$ -структур без (кривая 3) и с отражательной системой из 5 слоев $a-Si:C:H$. Как видно из рисунка, введение такого зеркала уменьшает тыльную чувствительность в области $\lambda = 0.63$ мкм. При этом фронтальная (освещение со стороны p -слоя) фоточувствительность не изменяется.

Оптические модуляторы, использующие $a-Si:C:H$ $p-i-n$ -структуры, обладали следующими характеристиками: рабочая частота до 50 Гц, контраст до 30:1, разрешающая способность 50–55 лин/мм. Эти данные были получены по проекционной методике. Стандартная телевизионная тест-таблица проецировалась на границу ФП-ЖК. Запись проводилась белым светом, считывание — светом He-Ne лазе-

ра. Приведенные данные не являются предельными для данных модуляторов, а представляют собой результаты оценочных измерений. В настоящее время проводятся исследования модуляторов по голографической методике и данные измерений будут представлены в отдельной публикации.

Таким образом, использование слоев $a\text{-Si:C:H}$ и отражательных систем на их основе позволяет облегчить согласование $p-i-n$ -структуры и ЖК в оптическом модуляторе и уменьшить тыльную фоточувствительность $p-i-n$ -структур в красной области спектра, что позволяет повысить интенсивность считывающего света в диапазоне длин волн > 0.6 мкм.

Список литературы

- [1] *Takahashi N.S., Asada H., Miyahara M., Kurita S.* // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. N 16. P. 1233.
- [2] *Moddel G., Johnson K.M., Li W., Rice R.A., Payano-Stauffer L.A., Handschy M.A.* // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 55. N 6. P. 537.
- [3] *Akiyama K., Takimoto A., Ogiwara A., Ogawa H.* // Jpn. J. Appl. Phys. 1993. 32(parti). N B. P. 590.
- [4] *Abdulhalim I., Moddel G., Johnson K.M.* // Appl. Phys. Lett. V. 1989. V. 55. N16. P. 1603.
- [5] *Аморфные полупроводники и приборы на их основе / Под ред И. Хамакавы. Металлургия, 1986. 376 с.*
- [6] *Феохтистов Н.А., Морозова Л.Е.* // Письма ЖТФ. 1994. V. 20. В. 5. P. 12.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе РАН
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
23 мая 1995 г.