

3. Modestino J. W., Fries R. W., Vickers A. L. Stochastic images models generated by random tessellations of the plane // Comput. Graph. Image Proc.—1980.— V. 12, N 1.— P. 74—98.
4. Ahuja N., Dubitzki T., Rosenfeld A. Some experiments with mosaic models for images // IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics.—1980.— V. SMC-10, N 11.— P. 744—749.
5. Виттих В. А., Сергеев В. В., Соифер В. А. Обработка изображений в автоматизированных системах научных исследований.— М.: Наука, 1982.
6. Буймов А. Г. К статистике пальмовских полей // Автометрия.— 1981.— № 6.

Поступила в редакцию 13 июня 1985 г.

УДК 621.383

И. Ш. АЛКАРОВ, М. М. БАИЕВ, А. ЗАРНИПОВ,
В. Ю. ИБРАГИМОВ, В. М. РУБИНОВ
(Ташкент)

УПРАВЛЯЕМАЯ СВЕТОМ ЗАПОМИНАЮЩАЯ СТРУКТУРА НА ОСНОВЕ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИХСЯ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ ПЛЕНОК

Для многих задач обработки информации необходимы устройства, обеспечивающие оперативную запись оптических изображений, их длительное хранение, обработку, считывание и перезапись в масштабе реального времени [1].

В [2] был предложен принцип построения полупроводникового устройства с указанными функциями. Его основой служит полупроводниковая многослойная сэндвич-структура, содержащая слой халькогенидного стеклообразного полупроводника (ХСП) с бистабильным переключением и слой фоторезистивного полупроводника (ФР), которые заключены между пленочными электродами. Данная работа посвящена вопросам реализации такой структуры и возможностям ее использования, например, в качестве коррелятора изображений. На рис. 1, а представлена топология сэндвич-структуры. Стеклоподобная подложка 1 покрыта оптически прозрачным электродом из SnO_2 2, на котором выращивается в квазизамкнутом объеме и сенсibilизируется фоторезистивный слой толщиной ~ 10 мкм на основе CdS 3. Затем последовательно наносятся островковая металлическая пленка 4 и слой ХСП из As_2Se_3 5, на поверхность которого термически осаждается никелевый пленочный электрод 6.

Структура работает в трех последовательных режимах: а) запись — запоминается одно из изображений (опорное) в виде пространственного распределения проводящих и непроводящих участков слоя ХСП; б) счи-

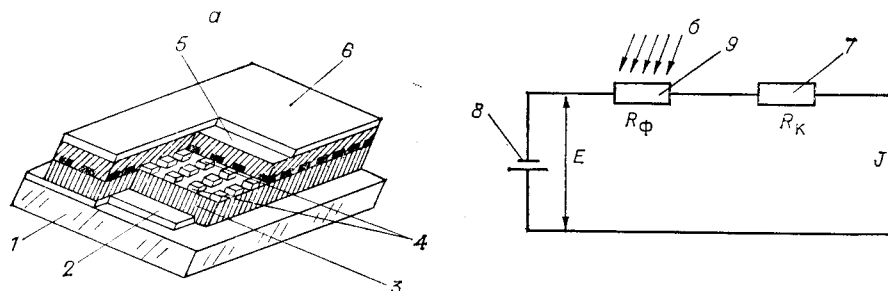


Рис. 1. Управляемая светом запоминающая структура (а) и эквивалентная электрическая схема одного элемента структуры (б):
1 — подложка; 2 — слой SnO_2 ; 3 — фоторезистивная пленка CdS ; 4 — проводящие островки из Ni ; 5 — слой As_2Se_3 ; 6 — электрод из Ni ; 7 — сопротивление слоя As_2Se_3 ; 8 — источник напряжения; 9 — сопротивление фоторезистивного слоя

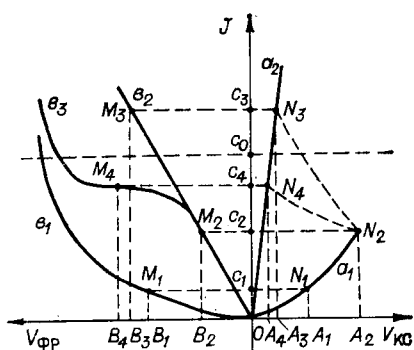


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики структуры

от разрушающего действия высокотемпературного канала, возникающего в слое ХСП при записи и стирании.

На рис. 1, б приведена эквивалентная электрическая схема отдельного элемента структуры, площадь которого ограничена размерами металлического островка.

Работу структуры поясняет рис. 2, где a_1 — ВАХ ХСП-слоя в высокоомном (ВО) состоянии; a_2 — ВАХ ХСП-слоя в низкоомном состоянии (НО); b_1, b_2 — ВАХ фоторезистивного слоя в темноте и при освещении. В режиме записи к затемненной структуре предварительно прикладывается напряжение A_1B_1 , которое делится в каждом элементе между слоями ХСП и ФР согласно их сопротивлениям $R_{\text{к}}$ и $R_{\text{ф}}$ (см. рис. 1, б). При проекции на структуру запоминаемого изображения в освещенных островках-элементах в результате перехода от кривой b_1 к кривой b_2 происходит перераспределение напряжения между слоями ХСП и ФР (см. A_2B_2 на рис. 2). При этом в освещенных элементах осуществляется переход ХСП-слоя из ВО-состояния в НО-состояние (кривая N_2N_3). Таким образом, запоминаемое изображение записывается в ХСП-слое в виде пространственного распределения проводящих и непроводящих элементов. Напряжение на структуре подбирается при записи таким, чтобы на затемненных элементах падение напряжения на ХСП-слое не превышало напряжения переключения этого слоя (см. OA_1 на рис. 2), а в освещенных участках было либо равно, либо превышало его (OA_2).

Для перехода в режим считывания и обработки напряжение на структуре уменьшается до величины, при которой не происходит запись светового сигнала при любом уровне освещенности. Затем на фоторезистивный слой структуры проецируется анализируемое изображение. При этом ток через каждый элемент структуры будет определяться локальными значениями фотопроводимости ФР-слоя и падением напряжения на нем, которое регулируется состоянием слоя ХСП. Отношение сопротивлений в проводящем и высокоомном состояниях слоя ХСП достигает пяти и более порядков, т. е. этот слой в темноте играет роль ключа, коммутирующего напряжение на ФР-слое при считывании. Поэтому можно с большой точностью утверждать, что при считывании ток структуры, состоящий из суммы токов только тех элементов, ФР-слои которых освещены, а слои ХСП находятся в НО-состоянии, будет равен пространственному интегралу свертки двух изображений — запомненного в бинарной форме в слое ХСП при записи и проецируемого на слой ФР при считывании.

Высокоомное или низкоомное состояние ХСП-слоя элемента сохраняется неограниченно долго вне зависимости от того, приложено к нему напряжение или нет. Переход в первоначальное ВО-состояние ХСП осуществляется путем подачи на структуру импульса напряжения амплитудой $\sim 30-60$ В и длительностью ~ 1 мкс.

В процессе записи опорного изображения в освещаемых элементах возникают резкие броски тока большой амплитуды, которые вызывают локальный высокотемпературный разогрев слоев, приводящий к выходу

их из строя. Фоторезистивный слой теряет свою фоточувствительность в области пробоя из-за образования большой концентрации мелких донорных уровней, обусловленных термодфектами, а в ХСП-слое в указанной области происходит частичное испарение материала и выпадение металлической фазы.

Возникновение указанных бросков тока поясняет рис. 2. Поданное на структуру напряжение A_1B_1 поделится между КС и ФР и будет характеризоваться в условиях состояния структурами Q_{A_1} и Q_{B_1} . ФР-этом суперлинейна за счет инжекции носителей из контактов, поэтому уровень тока (OC_3) очень высок и существенно превышает максимально допустимый (OC_0). Эксперименты показали, что в момент возрастания тока в канале выделяется мощность около 50 Вт/см^2 , в то время как предельно допустимая мощность рассеяния не должна превышать $0,5 \text{ Вт/см}^2$.

Рассмотрена возможность уменьшения напряжения переключения КС для того, чтобы скачок напряжения на ФР не попадал в область резкого роста тока. Для этого делалась попытка использовать для ХСП другие материалы (многокомпонентные системы типа состава Овшинского). Однако оказалось, что с уменьшением напряжения переключения ХСП падает и его сопротивление в ВО-состоянии. Уменьшение сопротивления ХСП в ВО-состоянии приводит к необходимости уменьшать темновое сопротивление ФР-слоя для того, чтобы не нарушалось необходимое для работы структуры соотношение сопротивлений ХСП и ФР. Однако природа ФР-слоев на основе CdS такова, что уменьшение их темнового сопротивления приводит к резкой потере фоточувствительности. Поэтому и такой путь оказался непродуктивным.

В результате экспериментального поиска установлено, что полученная сэндвич-структура может производить весь комплекс циклов запись — считывание — стирание лишь в том случае, когда в цепь структуры включено балластное сопротивление, которое, не мешая процессу переключения, ограничивает ток после переключения на допустимом уровне. Экспериментальные исследования показали, что это балластное сопротивление должно быть в ~ 10 раз меньше сопротивления ключевого слоя в области напряжений, близких к напряжению переключения, и больше сопротивления ХСП-слоя в НО-состоянии также в $10-20$ раз. В этом случае отдельный элемент структуры работает в оптимальном режиме. Однако включение соответствующего балластного сопротивления во внешнюю цепь структуры не привело к ожидаемым результатам. Оказалось, что в процессе записи из-за разброса величин напряжения переключения ХСП-слоя отдельных элементов и конечной скорости нарастания фотопроецируемости ФР-слоя запоминание отдельных элементов изображения происходит не одновременно. Поэтому при наличии во внешней цепи структуры балластного сопротивления переключается только один элемент (первый по очередности). После чего напряжение между структурой и балластным сопротивлением перераспределяется таким образом, что падение напряжения на структуре становится недостаточным для записи. Возникла необходимость в создании такой структуры, в которой каждый ее элемент имел бы свое отдельное нелинейное балластное сопротивление, ограничивающее ток записи и не связанное с другими элементами. Необходимые для этого характеристики ФР с выраженным участком насыщения тока (рис. 3) были получены путем формирования на его поверхности гетеробарьера $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$. Насыщение тока структуры наступало при полярности напряжения, соответствующей обратно включенному гетеропереходу. Однако, несмотря на

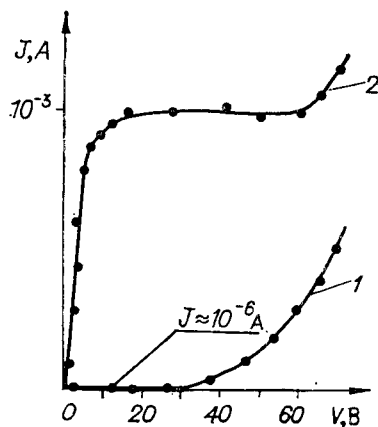


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика фоторезистивного слоя структуры:
1 — в темноте, 2 — при освещении

то, что гетеробарьер хорошо обеспечивал необходимый ход ВАХ, не всегда можно использовать такую структуру из-за высокой вероятности пробоя барьера и, как следствие этого, невысокой надежности прибора.

Другой использованный нами способ ограничения тока структуры основан на явлении эксклюзии в ФР-слоях. В этом случае насыщение фототока наступало в результате обеднения всей толщи фоторезистора, из-за чего напряженность поля в ФР в момент записи не достигала

величины пробоя. Однако в этом случае при эксплуатации структуры накладывались дополнительные требования к спектральному составу света в записываемом изображении, так как примесный свет существенно уменьшал интенсивность эксклюзии вплоть до ее полного уничтожения. Поэтому в зависимости от условий эксплуатации структуры необходимо выбирать ту или иную технологию создания ФР-слоя.

Получаемые нами структуры с эксклюзирующим фоторезистивным слоем показали хорошие результаты при освещении их светом, прошедшим через стеклянный светофильтр СЗС-22, который, отсекая ИК-часть спектра изображения, практически не влиял на интегральную фоточувствительность. При размерах элементов $0,3 \times 0,3$ мм были получены следующие параметры: напряжение записи 15 В, ток записи 50 мкА; ток считывания при освещенности ФР-слоя ≈ 250 лк в случае предварительно записанного сигнала на ХСП-слое составил 70 мкА, а в отсутствие записи — 0,5 мкА. Такие параметры обеспечивают формирование автокорреляционного максимума, близкого к теоретическому, если в обоих изображениях не содержатся высокие пространственные частоты (более ≤ 3 мм⁻¹). Допустимая скорость сканирования при этом ограничивается релаксацией фотопроводимости, зависящей от яркости изображения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рубинов В. М., Цибулин Э. В. Пространственно-временная обработка информации оптико-электронными системами.— Ташкент: ФАН, 1977.
2. А. с. 943725 (СССР). Оптикоэлектронный коррелятор изображения/В. М. Рубинов, В. Ю. Ибрагимов.— Оpubл. в БИ, 1982, № 26.

Поступила в редакцию 5 декабря 1985 г.

УДК 621.377.243

В. Г. ДЕСЯТКОВ, С. В. МАГДЕНКО, Л. В. ФИНОГЕНОВ
(Новосибирск)

РАБОТА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЛИНЕЙКИ ФОТОПРИЕМНИКОВ В КАЧЕСТВЕ УСТРОЙСТВА ЗАДЕРЖКИ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Приборы задержки электрических аналоговых сигналов широко используются в различных устройствах обработки информации. В настоящее время наилучшими параметрами среди устройств задержки аналого-