УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

#### ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

621.397.13

# БЕЗВАКУУМНЫЕ СПОСОБЫ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Преобразование изображений в серию электрических сигналов производится путем разложения (как правило условно) приемника изображения на элементы ФЭ (рис. 1) и последующей их коммутации в цепь нагрузки  $R_{\rm H}$  с помощью коммутатора K. Для преобразования энергии светового потока в энергию электрического тока

используется внутренний фотоэффект. Функциональные способности твердотельногоспособа коммутации определяют-

ся характеристиками физического процесса, положенного в его основу. Коммутатор К при этом может обеспечить установление омического тока через элемент ФЭ за время коммутации, либо вызовет лишь зарядку его емкости до напряжения источника питания. В первом случае ток в нагрузочной цепи отражает величину освещенности элементов ФЭ в момент их коммутации. Преобразователи «мгновенного» типа характерны малой инерционностью. Во втором случае световой поток изображения вызывает стекание зарядов с емкостей элементов ФЭ за время между их коммутациями (т. е. за время преобразования кадра изображения). Энергия светового потока изображения, следовательно, аккумулируется, а ток в цепи на-грузки отражает усредненную за



Рис. 1. Принципиальная схема твердотельного преобразователя изображения.

время передачи кадра изображения освещенность. В таких преобразователях используется принцип накопления заряда, что приводит к существенному увеличению чувствительности.

## 1. СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ БЕЗ НАКОПЛЕНИЯ ЗАРЯДА

В таких способах используется как неподвижная апертура (когда выводы элементов ФЭ подводятся к выводу преобразователя), так и перемещающаяся апертура (когда выход преобразователя последовательно подводится к выходам элементов ФЭ).

В качестве *неподвижной апертуры* используется электронно-дырочный переход, коллектирующий неосновные носители заряда. Соединение выходов элементов ФЭ осуществляется с помощью дрейфа неравновесных носителей заряда в электрическом поле. Существование рекомбинации неравновесных носителей заряда в процессе их дрейфа приводит к зависимости сигнала от местоположения деталей изображения на чувствительной поверхности преобразователя.

Отклонение линий тока неравновесных носителей заряда, приводящее к коммутации элементов ФЭ при неподвижной апертуре, осуществляется с помощью скрещенных магнитного и электрического полей<sup>1</sup> (используется эффект Суля), скрещенных электрических полей в кристалле<sup>2</sup> (твердотельный аналог диссектора); либо

используется вытягивание рельефа неравновесных носителей заряда электрическим полем 3

Эти способы реализуются следующими путями.

При использовании для разложения изображения эффекта Суля (рис. 2) рельеф неравновесных носителей заряда у поверхности А полупроводниковой пластинки 1,



Рис. 2. Схематический разрез вдоль строки преобразователя на основе

возникающий при поглощении светового потока изображения, переносится к поверхности В под действием тянущего напряжения Um и напряжения Холла под углом, равным сумме  $\theta_1 + \theta_2$  холловских углов основных и не-основных носителей. При этом часть неосновных носителей заряда попадает в поле р — *п*-перехода 2, создавая ток видеосигнала в цени нагрузки R<sub>H</sub>. Этот ток пропорционален локальной интенсивности светового потока изображения. При изменении напряженности И магнитного поля рельеф носителей заряда сдвигается вдоль поверхности В, что вызывает появление тока видеосигнала в цепи нагрузки. Разложение изображения однострочное.

При отклонении линий тока скрещенными электрическими полями в кристалле 1 (рис. 3) рельеф неравновесных носителей заряда от светопроницаемого электрода 2 переносится к грани 3 под действием тянущего напряжения U<sub>T</sub>. Часть носителей заряда попадает в поле перехода 5 в центре выреза 4 электрода 3, создавая ток сигнала в нагрузочной цепи R<sub>н</sub>. Под действием поперечных полей, создаваемых напряжениями на электродах 6, 7 и 8, 9 боковых граней кристалла, рельеф оффекта Суля. эффекта Суля. неравновесных посителей заряда сдвигается вдоль электрода 3. В нагрузочной цепи при этом возникает ток видеосигнала. Проекция линий тока на боковую грань кристалла показана на рис. 4<sup>5</sup>.

При разложении изображения путем вытягивания рельефа неравновесных носителей заряда преобразователь состоит из пластинки полупроводника с омическими контактами на торцах 1, 2 с серией коллекторных p - n-переходов 3 (по числу строк



Рис. 3. Схематическая конструкция твердотельного аналога диссектора.

разложения изображения) вдоль одного из омических контактов (рис. 5). Рельеф неравновесных носителей заряда, возникающий при проектировании импульсного изображения, вытягивается импульсным элекгрическим полем к переходу 3, в цепи которого возникает ток видеосигнала. Способ относительно сложен, так как требует для реализации коммутатора строк и обтюратора изображения. В качестве перемещающейся апертуры в безвакуумных способах преобразования

изображения без накопления заряда используется либо граница нулевого напряжения в триодной структуре <sup>7,8</sup> (сканистор), либо сканирующий источник питания <sup>9,10</sup>. Граница нулевого напряжения в полупроводниковой триодной структуре (рис. 6) формируется путем баланса постоянного напряжения 6, распределенного вдоль



Рис. 4. Проекция линий тока на боковую грань развертывающего электрода аналога диссектора.

d — толщина кристалла. Кривая 1 — при отношении тянущего поля к развертывающему полю, равном 10, 2 — при отношении 5, 3 — 2, 9; 4-2,8, 5-2,6, 6-1.

слоя 2, и напряжения пилообразной формы 8 противоположной полярности, приложенного поперек структуры 1. По мере роста пилообразного напряжения граница нулевого напряжения, передвигаясь, увеличивает площадь фотодиода, включенного



Рис. 5. Схематический разрез вдоль строки преобразователя на основе вытягивания рельефа неравновесных носителей заряда.

в цепь нагрузки 7. Скорость роста тока при этом отражает распределение интенсивности светового потока изображения вдоль слоя 3. Разложение изображения однострочное. Изготовлением базы триодной структуры 1 в дискретном исполнении <sup>8</sup> возможно изодинить розвольности спорт сизикатора

увеличить разрешающую способность сканистора примерно в три раза при той же длине<sup>11</sup>. Недостатком сканистора является необходимость дифференцирования выходного сигнала для выявления видеосигнала.

В качестве сканирующего источника питания в работе <sup>9</sup> предложено использовать фотоэ. д. с., возникающую в полоске полупроводника под действием сканирующего оптического луча. Представляет интерес использование АФН-эффекта. Однако этому препятствует его высокая емкостная инерционность.

Более перспективным является использование домена сильного поля в полупроводниковом кристалле<sup>10</sup>. Преобразователь изображения в этом случае представляет собой полоску полупроводника 1 с отрицательной объемной проводимостью



Рис. 6. Схематический 🖡 разрез вдоль сканистора.

(рис. 7), расположенную на подложке 2. На полоску 1 нанесен фотопроводящий слой 3. К полоске 1 через нагрузочное сопротивление  $R_{\rm H}$  подведено напряжение питания V. Домены сильного поля возникают в полупроводнике у одного из электродов за счет падения

1/2 10 УФН, том 104, вып. 1

подвижности носителей заряда в сильном электрическом поле, приводящего к стягиванию электрического поля в локальную область. Больший интерес для твердотельного сканирования представляют электроакустические домены, двигающиеся с относительно малой скоростью по сравнению с доменами Ганна. Разрушение домена у протпвопо-ложного электрода автоматически вызывает появление нового домена. Поэтому такие



Рис. 7. Схематический разрез вдоль строки преобразователя с разверткой доменами сильного поля.

слоя 3, возможно увеличение видеосигнала за счет высокого внутреннего усиления фототока. Это приводит к увеличению чувствительности преобразования. С помощью



Рис. 8. Зависимости чувствительности Е (сплошные кривые) и частоты преобразования строк (штриховые кривые) от числа N элементов разложения изображения, определенных по 20%-ному провалу между импульсами видеосигнала для кривых С и равных числу апертур вдоль строки для других кривых.

C — преобразование на основе эффекта Суля; CCи CJ — сканистор со сплошной и дискретной база-ми; M — моноэлементный способ разложения;  $\Gamma$  — сканирование доменами сильного поля.

преобразователи не требуют для функционирования блоков разверток, что существенно упрощает аппаратуру.

Под действием поля домена в локальной области фотопроводящего слоя 3 возникает ток, отражающий его осве-щенность. В процессе движения домена на нагрузочном сопротивлении R<sub>н</sub> выделяется напряжение видеосигнала. Благодаря высокому полю домена амплитуда видеосигнала может достигать единиц вольт <sup>16</sup>. Так как формирование домена не зависит от свойств фотопроводящего



Рис. 9. Зависимости чувствительности Е (сплошные кривые) и частоты преобразования кадров (штриховые кривые) растровых способов преобразования изображения без накопления заряда от числа строк n, определенных по числу элементов в строке при 20%-ном провале между импульсами видеосигнала от светлых деталей изображения для кривых Др и Дс и равных числу апертур в строке для остальных кривых.

Дp — разложение вытятиванием рельефа не-равновесных носителей заряда;  $\mathcal{L}c$  — твердо-тельный аналог диссектора;  $\Gamma$  — разложение доменами сильного поля; M — моноэлемент-ный способ разложения изображения в видеосигнал.

этого способа возможно осуществить также растровое разложение изображения благодаря тому, что домены сильного поля существуют при полях ниже пороговых (но выше удерживающих). В этом случае зарождение домена осуществляется с помощью импульса на электроде 4. Передача домена между строками осуществляется с помощью электрического импульса, возникающего на электроде 5 в момент прохождения мимо него домена сильного поля (через емкость, образуемую слоем диэлектрика 6)<sup>17</sup>. Как отме-чается в работе <sup>17</sup>, домен сильного поля обладает свойствами нервного импульса. При растровом разложении изображения, однако, резко возрастает рассеиваемая мощность, ограничивая развертку несколькими десятками строк. Более перспективным для растрового разложения изображения является использование скрещенных электрических полей (аналог диссектора).

Представляет интерес для разложения изображения без накопления заряда также моноэлементный способ <sup>18</sup>, использующий для сканирования оптический луч и накопление сигнала на основе фотохромных свойств стекол.

Рассчитанные путем анализа особенностей физических процессов чувствительности E (люкс) и частоты преобразования кадров (строк) изображений (герц) приведены на рис. 8 для способов однострочного разложения без накопления заряда. Как можно видеть из рис. 8, наибольшей чувствительностью (минимальная освещенность со стороны изображения, необходимая для получения отношения сигнал/шум = 30) при высокой разрешающей способности обладает способ однострочного разложения изображения на основе доменов сильного поля (кривые  $\Gamma$ ). Предельные разрешающие способности твердотельных способов преобразования ограничиваются при развертке: a) скрещенными электрическим и магнитным полями — максимальным и минимальным холловскими углами (максимальный холловский угол определяется напряженностью основных носителей заряда, приводящей к растеканцю поперек линий тока 4); 6) скрещенными электрическими полями — конфигурацией спловых линий в кристалле 5; e) вытягиванием рельефа неравновесных носителей заряда — величиной тянущего поля в кристалле 6.

Чувствительности и частоты преобразования с помощью растровых твердотельных датчиков видеосигнала приведены на рис. 9. Из рис. 9 видно, что лучшей чувствительностью также обладает способ разложения на основе доменов сильного поля в кристалле. Однако его трудно использовать из-за высокой рассеиваемой мощности. Более перспективным для растрового разложения без накопления заряда является аналог диссектора (кривые  $\mathcal{I}c$ ). Предельные разрешающие способности растровых способов ограничиваются при развертке: доменами сильного поля — уровнем рассеиваемой мощности <sup>16</sup>; границей нулевого напряжения — пробивным напряжением коллекторного перехода триодной структуры <sup>11</sup>.

Экспериментальные результаты исследования способов разложения изображения без накопления заряда в литературе описаны только по сканисторам <sup>12-14</sup>. Достигнута разрешающая способность 100 линий при использовании в качестве основы триодной структици компонструктов состать участи в качестве основы триодной

структуры компенсированного золотом кремпия. Удельная разрешающая способность 10 линий/мм. Аналогичные результаты получены при использовании германия <sup>15</sup>.

#### 2. СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ С НАКОПЛЕНИЕМ ЗАРЯДА

При использовании пакопления заряда преобразование изображения осуществляется с помощью проводящих каналов в высокоомной полупроводниковой структуре, через которые происходит зарядка емкостей ФЭ.

Формирование проводящего канала осуществляется с помощью оптического луча  $^{19-22}$ , имиульса ударной волны  $^{23}$ , нейристорного импульса  $^{24}$ и электрических тактовых импульсов  $^{25}$ . Преобразователи изображения в этом случае (рпс. 10) представляют собой конденсаторы, образованые двумя полупроводниковыми слоями 1, 2 между электродами 3, 4. К электродам через нагрузочное сопротивление  $R_{\rm H}$  подведено напряжение питания V. Один из полупроводниковых слоев 1 с примыкающим к иему светопроницаемым электродом 3 является присемником изображения, обладая фотопроводимостью.

Второй слой 2 полупроводника используется для создания проводящего канала, через который осуществляется зарядка емкости слоя 1. Этот проводящий канал сканирует по площа, и слоя 2. В его отсутствие в каком-либо локальном месте напряжение питания сосредотачивается на слое 2, что создает условия разрядки емкости слоя 1. Скорость разрядки стимулируется освещенностью со стороны слоя 1. В результате через некоторое время на границе слоев 1, 2 возникает рельеф потенциала, отражающий рельеф освещенности по площади слоя 1, т. е. распределение светового потока в плображении. Повторный приход проводящего канала приводит к восстановлению заряда на слое 1. Ток дозарядки емкости слоя 1 выделяет на нагрузочном сопротивлении  $R_{\rm H}$  напряжение видеосигнала.



Рис. 10. Схематическая конструкция преобразователя с оптической коммутацией.

При использовании для формирования проводящего канала светового потоко сканирующего оптического луча 5 коммутационный слой 2 обладает фотопроводимостью и примыкающий к нему электрод 4 светопроницаем <sup>19</sup>. Преобразователи по работам <sup>20,21</sup> отличаются тем, что между слонми 1, 2 расположены диэлектрическая или металлическая мозаики для оптической развязки. Практически наличие мозаики несущественно и лишь усложняет конструкцию преобразователя.



Рис. 11. Схематическая конструкция однослойного преобразователя с оптической коммутацией.

Конструкция преобразователя с оптической коммутацией существенно упрощается при использовании фотоэлектретных свойств полупроводников <sup>22</sup>. В этом случае преобразователь изображения состоит из одного слоя *3* (рис. 11), обладающего фото-



Рис. 12. Вольт-амперная характеристика полупроводникового прибора с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

Рис. 13. Схематический разрез вдоль строки нейрокона на основе тиристоров.

Деполяризация фотоэлектрета происходит в отсутствие проводящего канала под действием светового потока изображения. Повторное экспонирование оптическим лучом вызывает восстановление фотополяризации слоя 3, а ток при этом создает на нагрузочном сопротивлении  $\hat{R}_{ii}$  напряжение видеосигнала.

на нагрузочном сопротивлении  $R_{\rm H}$  напряжение видеосигнала. При использовании для формирования проводящего канала давления в импульсе упругой волны слой 2 (рис. 10) должен иметь запорный контакт, например электроннодырочный переход. Под действием импульса напряжения уменьшается ширина запретной зоны, что и вызывает появление проводящего канала в обратносмещенном p - n-переходе. Способ разложения изображения конструктивно сложен из-за трудностей осуществления изоляции между строками, передачи упругото импульса с конца одной строки на начало другой, а также гашения отраженных упругих волн <sup>30</sup>.

При использовании для коммутации элементов фотопроводящего слоя нейристорного импульса слой 2 (рис. 10) должен обладать отрицательным дифференциальным сопротивлением <sup>24</sup> (рис. 12). Напряжение питания выбирается ниже напряжения срыва V<sub>ср1</sub>, так что слой 2 в нормальном состоянии имеет высокое сопротивление. Разрез вдоль строки преобразователя на примере использования в качестве слоя 2 (рис. 10) планарных тиристоров, образованных слоями 3, 4, 5, 6 чередующегося типа проводимости на подложке 8, создающими области 11 с отрицательным дифференциальным сопротивлением, разделенными областями 12 без отрицательного сопротивления, приведен на рис. 13. 10 — слой диолектрика, 13 — генератор синхроимпульсов. При подаче запускающего электрического импульса на торец строки, например на слой 3 или 4 тиристора, крайний каскад тиристора переходит в состояние низкого сопротивления, что и приводит к зарядке емкости фотопроводящего слоя 1. По мере зарядки этой емкости ток через тиристор уменьшается, и при достижении величины удерживающего напряжения тиристор переключается в состояние высокого сопротивления. Однако благодаря наличию разности потенциалов вдоль слоя 5, возникающей за счет высокого тока в момент нахождения каскада теристора в низкоомном состоянии, в сосседний высокоомный каскад тиристора происходит проток неосновных носителей



Рис. 14. Схематическая конструкция матричного преобразователя.

заряда, что вызывает его включение и т. д. Таким образом, вдоль строки распространяется участок поперечного тока, приводящий к последовательной коммутации элементов слоя 1. При этом в цепи нагрузочного сопротивления 9 возникает ток видеосигнала 14. Такой преобразователь получил название нейрокона. Описанную нейристорную линию можно сделать замкнутой. Тогда для возбуждения развертки достаточно запуска нейристорного импульса только в момент включения напряжения питания. Таким образом, нейроконы не нуждаются в блоках разверток, что существенно упрощает аппаратуру. Нейристорный импульс способен «перескакивать» через технологически несовершенные каскады тиристоров. Это ослабляет требования к технологическому выходу элементов микросхемы при реализации нейрокона.

При использовании для преобразования изображения электрических тактовых импульсов (рис. 14) переключение фотосопротивлений  $R_{\Phi}C_{\Phi}$  через блокирующие дноды D, расположенные в местах перекрестий взаимно перпендикулярных шин, осуществляется с помощью ключевых триодов T, управляемых электрическими импульсами от генераторов разверток. Особенностью преобразователей матричного типа является наличие паразитного тока от окружающих коммутируемый элементов. Для отвода паразитного тока от нагрузочного сопротивления  $R_{\rm H}$  необходимо заземлять нерабочие шины, что приводит к появлению признаков преобразователя конденсаторного типа. Удачная конструкция генератора развертки, выдающего импульсы напряжения последовательно на шины матрицы и автоматически заземляющего нерабочие шины, описана в работе  $3^3$ . Недостатком матричного преобразователя являются весьма жесткие требования к технологическому выходу элементов микросхемы. Результаты оценки ожидаемых параметров стандартов разложения изображения,

Результаты оценки ожидаемых параметров стандартов разложения изображения, выполненной путем анализа переходных процессов в схеме преобразователей, и особенностей физических процессов, положенных в основу коммутации, приведены на рис. 15. Как видно из рисунка, наибольшей разрешающей способностью (число элементов разложения равно квадрату строк) обладают способы преобразования на основе электрических тактовых импульсов (кривые 1) и нейристорных импульсов (кривые 5). Как уже отмечалось, нейроконы обладают существенными преимуществами, не нуждаясь в блоках разверток и предъявляя облегченные требования к технологическому выходу активных элементов микросхем, составляющих их основу.

Предельная разрешающая способность ограничивается при развертке: оптическим лучем и нейристорными импульсами — шунтирующим действием обкладок кон-



Рис. 15. Зависимости чувствительности *E* (сплошные кривые) и частоты преобразования кадров (штриховые кривые) от числа строк *n* разложения изображения с накоплением заряда.

1 — матричный преобразователь; 2 — коммутация импульсом упругой волны; 3, 4 — оптическая коммутация при формировании потенциального рельефа в фотопроводящем слое и в слое фотоэлектрета соответственно; 5 — коммутация нейристорным импульсом. денсатора преобразователя <sup>27-29</sup>; импульсом упругой волны шунтированием фотопроводящего слоя низкоомной обкладкой *р* — *n*-перехода <sup>30</sup>; электрическими тактовыми импульсами — технологическими возможностями изготовления больших интегральных мик-

росхем<sup>34</sup>. Результаты экспериментальных исследований по оптической коммутации и коммутации электрическими тактовыми импульсами описаны в литературе. В работе <sup>22</sup> описаны результаты экспериментальных разработок преобразователя с оптической коммутацией при использовании фотоэлектретных свойств аморфного селена. Достигнуто раз-ложение изображения на 100 строк при разрешающей способности вдоль строки 120 линий и удельной резрешаю-щей способности 25 линий/мм. Освешенность на слое фотоэлектрета (чувствительность) составляла 100 лк. С помощью этого преобразователя впервые в мировой практике передано изображение с растровым раз-

ложением при использовании физических явлений в твердом теле. Более высокие результаты достигнуты в разработке преобразователей матричного типа <sup>35,36</sup>. Сконструированы и изготовлены полностью твердотельные передающие камеры на основе как монолитных, так и пленочных микросхем, имеющие размеры узкопленочного фотоаппарата и потребляющие мощность 1—3 ет. Наибольшее число строк (256) получено на основе тонкопленочных микросхем, хотя пока трудно сделать окончательные выводы об их перспективности по сравнению с использованием монолитных интегральных микросхем <sup>35</sup>.

### 3. СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ХРАНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИИ

Существование потенциального рельефа изображения при использовании накопления заряда допускает создание преобразователей с промежуточным хранением информации между записью и считыванием изображения. Для хранения информации используется рельеф сегнетоэлектрической или фотоэлектретной поляризации <sup>37-40</sup>. Считывание информации осуществляется с помощью оптического сканирующего луча, который вызывает разрушение рельефа поляризации и подготавливает преобразователь для записи очередного кадра изображения. Конструктивно преобразователи совпадают с изображенными на рис. 10, но в качестве слоя 2 используется прозрачный сегнетоэлектрик или фотоэлектрет.

При использований для хранения информации сегнетоэлектрических свойств путем подачи на электроды 3, 4 импульса напряжения производится предварительная поляризация сегнетоэлектрического слоя. В процессе записи прикладывается импульс противоположной полярности. Под действием этого импульса происходит зарядка емкости сегнетоэлектрика, вызывающая появление в нем частичной переполяризации. Величина переполяризации определяется локальным сопротивлением фотопроводящего слоя 1, т. е. отражает распределение освещенности в изображении. Сохранение возникшего рельефа поляризации осуществляется при отсутствии напряжения питания. При считывании проектируется оптический луч, вызывающий появление фотопроводящего канала в слое 1. Через этот канал осуществляется восстановление равномерной сегнетоэлектрической поляризации слоя 2. В работе <sup>38</sup> для записи, хранения и воспроизведения информации предложено использовать фотоэлектретные свойства полупроводников, расположенных между электродами. Под действием светового потока изображения и напряжения питания в слое возникает рельеф фотоэлектретной поляризации, который сохраняется при

закороченных электродах до 150 часов. При считывании информации оптический луч в отсутствие напряжения имтания вызывает фотодеполяризацию, ток которой создает на нагрузочном сопротивлении напряжение видеосигнала.

Фотоэлектреты с длительным хранением поляризации, как правило, малочувствительны. В работе <sup>39</sup> предложено для увеличения фоточувствительности процесса записи изображения использовать двухслойный вариант преобразователя (рис. 10). Увеличение чувствительности происходит за счет высокой фоточувствительности фотопроводящего слоя 1.

Оригинальная конструкция преобразователя предложена в работе <sup>40</sup> (рис. 16). Фотопроводящий (1) и фотоэлектретный (2) слои нанесены на гибкую ленту 3 с прозрачным электродом. При записи изображения используется



Рис. 16. Схематическая конструкция преобразователя изображения с ленточным носителем информации.

коронирующий электрод 4', при считывании — проводящая полоска 4", расположенная на некотором расстоянии l от поверхности слоя 2. На полоске 4" под действием поверхностного поля электретного рельефа слоя 2 индуцируются заряды. Оптический луч 5,



Рис. 17. Зависимости чувствительности *E* (сплошные кривые) и времени t<sub>3</sub> записи кадра изображения (штрих-пунктирные кривые) от числа строк разложения изображения с промежуточным хранением информации. 1 — преобразователь с ленточным носителем информации; 2 — запись информации в слое сегнетовлектрика; 3 — запись изображения в фотоллектретном слое. 1, 1' при удельном сопротивлении фотопроводящего слоя 10<sup>11</sup> ом.см., 3, 1'а — при 10<sup>9</sup> ом.см. 3, 3' — 10<sup>9</sup> ом.см. 3a, 3'a — 10<sup>10</sup> ом.см. 3'6 — 10<sup>11</sup> ом.см.

вызывая фотодеполяризацию слоя 2, освобождает часть зарядов, которые, стекая с полоски 4", образуют ток видеосигнала в цепи нагрузочного сопротивления  $R_{\rm H}$ . Таким образом, в преобразователе при считывании информации используется ток смещения. Использование ленточного носителя информации приводит к увеличению объема памяти до 10<sup>8</sup> бит и более. Помимо этого преобразователь можно использовать в режиме непрерывной передачи информации с незначительной задержкой (на время защиси кадра изображения), если ленту-носитель сделать замкнутой (бесконечной). Существенно, что развертка оптическим лучом требуется только в одном измерении.

На рис. 17 приведены результаты оценок параметров разложения изображения с промежуточным хранением информации. Отметим, что время записи кадра  $t_3$  означает длительность импульса питания. Время экспозиции существенно выше и равно инерционности фототока слоя 1 (рис. 10). Как видно из рис. 17, лучшей чувствительностью при высокой разрешающей способности обладает способ преобразования с помощью фотоэлектретных свойств при использовании ленточного носителя информации.

#### 4. ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ВИЛЕОСИГНАЛ

Физический анализ способов твердотельного сканирования дает возможность выявить их предельные функциональные способности и выполнить сравнительный анализ эффективности с точки зрения теории информации.

Поступающая на вход датчика видеосигнала информация может быть оценена по соотношению

$$I_{BX} = f_{K} N_{BX} \log_2 \left( \frac{\psi}{2\sqrt{2}} + 1 \right), \quad \partial e.e \partial / c e \kappa, \tag{1}$$

где  $f_{\rm H}$ — частота преобразования кадров изображения (строк),  $N_{\rm BX}$ — число элементов разложения в кадре (строке),  $\psi$ — отношение сигнал/шум светового потока изображения.

$$N_{\rm BX} = n N_{\rm C},\tag{2}$$

где *п* — число строк, N<sub>c</sub> — разрешающая способность вдоль строки, определяемая максимальным числом деталей изображения вдоль строки, видеосигнал от которых несет информацию об одной градации яркости <sup>43</sup>.

Отношение сигнал/шум определяется числом поступивших фотонов на чувствительную поверхность элемента S<sub>а</sub> приемника изображения за время наблюдения <sup>44</sup>:

$$\psi = \sqrt{FS_{9}/f_{\rm R}};\tag{3}$$

F — поток фотонов, определяемый по чувствительности E преобразователя.

В процессе преобразования изображения происходят потери информации, выражающиеся в уменьшении частоты различимых изображений до  $f_{\partial \Phi \Phi}$  (временные потери), числа различимых элементов изображений до  $N_{\partial \Phi \Phi}$  (геометрические потери) и числа различимых градаций яркости в воспроизведенном изображении (градационные потери). Так как оценка параметров стандартов разложения изображения произведена при отношении сигнал/шум  $\psi = 30$ , информация на выходе датчика сигнала, равная его производительности, выразится соотношением

$$I_{\rm BMX} = f_{\partial \phi \phi} N_{\partial \phi \phi} \log_2 \left( \frac{30}{2\sqrt{2}} + 1 \right), \ \partial \theta. e \partial / c e \kappa. \tag{4}$$

Значения  $N_{\partial \Phi \Phi}$  и  $N_c$ , полученные путем расчета апертурных характеристик твердотельных датчиков видеосигнала <sup>45</sup>, приведены в таблице.

Список разложения	N <sub>ƏΦΦ</sub>	N <sub>e</sub>
He errore ottoure Curr	0.93	O CN
на основе эффекта Суля Вытягивание рельефа носителей	0,2N 0,95n <sup>2</sup>	1.28n
Отклонение линий тока скрещен-	0.50.8	1.07
ными электрическими полями Перемешающаяся ацертура без	$0,78n^2$	1,05n
накопления заряда	$1, 2n^2$	1,7n
Перемещающаяся апертура с на- коплением заряда	$1, 2n^2$	1, 8n

N — число элементов разложения, n — число строк (равно числу элементов вдоль строки), определенные по 20%-ному провалу между импульсами видеосигнала от соседних светлых деталей изображения при неподвижной апертуре и равные числу апертур в строке при перемещающейся апертуре

Эффективная частота преобразования изображений определяется числом n<sub>1</sub> утерянных кадров из-за фотоэлектрической и коммутационной инерционностей способов преобразования 30:

$$f_{\partial \Phi \Phi} = f_{\rm R}/n_{\rm I}.\tag{5}$$

При преобразовании изображения с промежуточным хранением время наблюдения входной информации равно времени t<sub>а</sub> записи кадра изображения:

$$t_{\rm B} = 1/f_{\rm K}.$$
 (6)

Эффективная частота преобразования кадров изображения определится временем экспозиции ta:

$$f_{\partial\Phi\Phi} = \frac{1}{t_{\partial}} = \frac{1}{t_{\partial} + \tau},$$
(7)

где т — инерционность фототока фотопроводящего слоя. Наиболее важной характеристикой преобразования является информационная чувствительность, отражающая затраты энергии светового потока изображения на передачу одного бита информации:

$$g = \frac{I_{\rm BLIX}}{W}, \ \partial s.e\partial/\partial \mathcal{W}, \tag{8}$$

где W — мощность светового потока изображения в ваттах, определяемая по чувствительности Е датчика видеосигнала.

Степень отклонения способа преобразования от идеальности характеризуется процентом пропускания информации:

$$\theta = \frac{I_{\rm BLX}}{I_{\rm BX}}.$$
(9)

Информационные характеристики способов телевизионного преобразования изображений, вычисленные по приведенным соотношениям на основании данных рис. 8, 9, 15, 17, иллюстрируются рис. 18-20.



Рис. 18. Производительность І<sub>вых</sub> (сплошные кривые а), информационная чувствительность (штриховые кривые а) и относительная чувствительность (б) твердотельных способов однострочного преобразования изображения без накопления заряда. Обозначения те же, что и на рис. 8.

Как видно из рис. 18, наибольшей информационной чувствительностью при низкой разрешающей способности обладает способ на основе эффекта Суля (кривые С), при средней разрешающей способности — способ со сканированием границей нулевого напряжения в триодной структуре (кривые СС), при высокой разрешающей способности — способ преобразования путем сканирования доменами сильного поля (кри-вые Г). При этом, как упоминалось выше, последний наиболее прост конструктивно, что позволяет признать за ним наибольшую перспективность для однострочного разложения без накопления заряда.

Из растровых способов разложения без накопления заряда (рис. 19) наибольшими информационными чувствительностями обладает моноэлементный способ (кривые Мл) и способ на основе доменов сильного поля (кривые Г). Моноэлементный способ

11 УФН, том 104, вып. 1

с использованием оптического луча трудно применим для внестудийных передач. Сканирование доменами сильного поля трудно реализуется при высоких разрешающих способностях из-за большой рассеивающей мощности питания. Более перспективным пля растрового разложения изображения без накопления заряда является твердо-тельный аналог диссектора (кривые Дс). Наибольшей информационной чувствительностью при использовании накопления

заряда (рис. 20) обладают способы преобразования, использующие для коммутации



Рис. 19. Производительность  $I_{BMX}$  (сплошные кривые *a*), информационная чувстви-тельность (штриховые кривые *a*) и относительная чувствительность (6) способов растрового разложения без накопления заряда.

Мл — моноэлементный способ разложения с применением оптического луча. Остальные обозначе-ния те же, что и на рис. 9.



Рис. 20. Производительность І<sub>вых</sub> (сплошные кривые а), информационная чувствительность (штриховые кривые а) и относительная чувствительность (б) твердотельных способов разложения изображения с накоплением заряда.

1 — матричный преобразователь; 2 — коммутация импульсом упругой волны; 3, 4 — оптическая коммутация при формировании потенциального рельефа изображения с помощью фотопроводимости и фотоэлектретных свойств соответственно; 5 — запись информации в виде рельефа фотоэлектсти и фотоэлектретных своиств соответственно, 5 — защос информации в виде рельсфа фотоэлектретной поляризации в соестании с ленточным носителем при удельном сопротивлении фотопроводя-щего слоя 10<sup>11</sup> ом.см (5, 5') и 10<sup>9</sup> ом.см (5a, 5'a); 6 — защись и хранение информации в слое сегнето-электрика; 7 — запись и хранение информации в слое фотоэлектрета при удельном сопротивлении фотопроводящего слоя 10<sup>9</sup> ом.см (7, 7'), 10<sup>10</sup> ом.см (7a, 7'a) и 10<sup>11</sup> ом.см (7'6); 8 — сканирование нейристорным импульсом.

оптический луч (кривые 3), электрические тактовые импульсы (кривые 1) и нейристор-ные импульсы (кривые 8). При этом нейроконы имеют существенные преимущества, так как не нуждаются в блоках разверток и предъявляют слабые требования к технологическому выходу элементов микросхем при их реализации. Это позволяет сделать вывод в их пользу о перспективности для разложения изображения с накоплением заряда. Из способов преобразования с промежуточным хранением информации (рис. 20) наибольшую информационную чувствительность обеспечивает способ записи, хранения и воспроизведения информации с использованием фотоэлектретных свойств в сочетании с ленточным носителем (кривые 5). Он обеспечивает также наибольшие объемы памяти и время хранения информации.

В. Ф. Зблотарев

#### ШИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1. Г. П. Катыс, В. Д. Зотов, Авт. свид. № 212384, 20.12.66. 2. Г. П. Катыс, В. Д. Зотов, В. Б. Широков, Авт. свид. № 213988, 20.12.66. 3. J. Knoll, Pat. USA № 3111556, 19.09.63.
- 4. Г. Н. Замфир. В. Ф. Золотарев, Автоматика и телемеханика, № 8, 159 (1970).
- 5. Г. Н. Замфир, В. Ф. Золотарев, ФТП, № 3, 536 (1971). 6. Г. Н. Замфир, В. Ф. Золотарев, Техника кино и телевидения, № 9, 67 (1970).
- 7. С. И. Кочергин, Авт. свид. № 131375, 21.12.59.
- 8. J. W. Horton, Pat. USA № 3317733, 10.05.63. 9. В. М. Любин, И. К. Малахов-Камартан, Авт. свид. № 128492, 24.09.59
- 10. В. И. Клеменсон, ТИИЭР 55, 105 (1967). 11. Г. Н. Замфир, В. Ф. Золотарев, ФТП 3 (8), 1273 (1969).
- 12. К. Ф. Берковская, В. Л. Крейцер, В. Б. Шуман, ФТП 1 (1), 128 (1967).
- 13. К. Ф. Берковская, в сборнике «Полупроводниковые приборы и их приме-
- нение», № 20, 3 (1968). 14. В. Ф. Золотарев, В. П. Каверзнев, Г. А. Кузьмин, В. П. Ни-китин, Вопросы радиоэлектроники, сер. 9, № 4, 76 (1968). 15. К. Ф. Берковская, Ф. М. Берковский, Радиотехн. и электроника,
- № 8, 1530 (1966). 16. Г. Н. Замфир, В. Ф. Золотарев, ФТП 4 (9), 1714 (1970). 17. Т. Сурета, Т. Икома, Х. Янан, ТИИЭР 56 (2), 115 (1968).

- 18. Х. Янан, Японский патент № 10357, кл. 97/5/Д1, 3.06.67.

- 10. И. И. И. и невич, Авт. свид. № 146757, 3.04.59. 20. R. C. Palmer, Pat. USA № 3011019, 28.11.61. 21. J. A. Rado, Pat. USA № 2732469, 24.01.56. 22. Л. В. Беляков, В. Ф. Золотарев, Вопросы радиоэлектроники, сер. 9, № 4, 97 (1966).
- 23. Л. Э. Цырлин, М. Б. Гринбаум, Авт. свид. № 138952, 29.09.60. 24. В. Ф. Золотарев, В. И. Стафеев, Авт. свид. № 258374, 2.02.66., В. Ф. Золотарев, В. И. Стафеев, А. П. Буденный, Французский В. Ф. Золотарев,
- в. Ф. Золотарев, Б. И. Стафеев, А. П. Буденный, Французский патент № 1589709, 6.04.70.
  25. А. Nicolson, Pat. USA, № 1779748, 28.10.1930.
  26. А. Е. Гершберг, Передающие телевизионные трубки, использующие внутренний фотоэффект, М. Л., «Энергия», 1964.
  27. В. П. Головихина, В. Ф. Золотарев, Уч. зап. УГПИ (Ульяновск) 24 (2). т. 4. 250 (4070).
- (3), ч. 1, 259 (1970).
  28. В. П. Головихина, В. Ф. Золотарев, Уч. зап. УГПИ (Ульяновск),
- 24 (3), ч. 1, 227 (1970).
  29. В. П. Головихина, В. Ф. Золотарев, Техника кино и телевидения, № 2, 54 (1970).
  30. В. П. Головихина, Канд. диссертация (Ульяновск, УГПИ, 1969).
  31. В. Ф. Золотарев, Б. Б. Шамшев, Изв. вузов (Радиотехника), № 9, (4070).
- 121 (1970).
- 32. А. М. Бешанов, В. Ф. Золотарев, К. Ф. Комар И. Г. Шкуропат, Радиотехн. и электроника, № 2, 399 (1971). Комаровских,
- И. Г. Шкуропат, Радиотехн. и электроника, № 2, 399 (1971). 33. Р. К. Weimer et al., Ргос. IEEE 54 (3), 21 (1966). 34. В. П. Головихина, В. Ф. Золотарев, С. Суханов, Изв. АН TCCP, сер. ФТХиГН, № 2, 84 (1970). 35. Special Issue on Solid-state Imaging, IEEE Trans. Electr. Dev., ЕД-15, № 4 (1968). 36. Р. К. Weimer, IEEE Spectrum 6 (3), 52 (1969). 37. J. M. N. Hanlet, Pat. USA, № 3083262, 26.03.63. 38. Н. Р. Каllman, J. Rennert, Electronics 32 (35), 39 (1959). 39. Е. И. Головин, И. С. Желудев, Н. Т. Кашукеев, И. Н. Орлов, В. М. Фридкин, ДАН СССР 125 (5), 1043 (1959). 40. О. П. Андреев, Авт. свид. № 215257, 16.01.64 41. В. П. Головихина, В. Ф. Золотарев. Уч. зан. УГПИ (Ульяновск), 24 (3), ч. 1, 214 (1970).

- 24 (3), ч. 1, 214 (1970). 42. В. П. Головихина, В. Ф. Золотарев, в сборнике «Физические основы
- электрофотографий», Вильнюс, 1969. 43. С. Б. Гуревич, Эффективность и чувствительность телевизионных систем, М.-Л., «Энергия», 1964.
- 44. А. Роуз, Основы теории фотопроводимости, М., «Мир», 1966.
  45. В. П. Головихина, Г. Н. Замфир, В. Ф. Золотарев, С. Суханов, Изв. АН ТССР, сер. ФТХиГН, № 5, 30 (1970).