

УДК 53.085.3:621.318.51

ПЛЕНОЧНЫЕ ЕМКОСТНЫЕ СТРУКТУРЫ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ
ПРИВОДОМ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ И
МОДУЛЯЦИИ СВЕТА

В.В.Коняшкин, М.К.Луцет, В.С.Потапов

Идея использования механического перемещения подвижного электрода конденсатора (в виде консоли, пластины, натянутой мембраны) под действием электростатических сил, для целей модуляции светового пучка или индикации, возникла еще на заре развития телевидения. Однако реализация подобных структур в то время не была успешной из-за отсутствия развитой технологии производства тонких пленок и точных представлений о происходящих в этих структурах электрофизических процессах. Только в последнее время наблюдается прогресс в разработке и использовании таких элементов [1,2]. Согласно литературным данным [3], за рубежом ведутся интенсивные работы по созданию пленочных электростатических модуляторов и использованию их в качестве процессоров оптических данных, телевизионных световых вентилей, управляемых транспарантов в устройствах оптической обработки информации, проекционных телевизионных установках и устройствах для записи голограмм. Для изготовления матриц модуляторов используются методы нанесения тонких пленок в вакууме, фотолитографии, технологии, применяемой для изготовления твердотельных микроэлектронных приборов [4].

Ниже описан ряд пленочных электростатических модуляторов светового пучка и индикаторов, разработанных и изготовленных в лаборатории пленочной электромеханики Института математики СО АН СССР*).

- *) Действующие макеты пленочных электростатических модуляторов и индикаторов демонстрировались на выставках при проведении:
1. Всесоюзной конференции "Развитие производительных сил Сибири", Новосибирск, июнь 1980 г.
 2. Региональной конференции "Обработка изображения и дистанционные исследования", Новосибирск, апрель 1981 г.
 3. Научно-практического семинара "Промышленные роботы и их применение", Новосибирск, апрель 1981 г.

1. Пленочные микромеханические модуляторы света

Микромеханические модуляторы света представляют собой устройства (рис.1), состоящие из основания 1 и пленочных лепестков 2. На основание (подложку) нанесен электрод 3, покрытый пленкой диэлектрика 4. Лепесток прогнут по дуге окружности и одним концом закреплен на диэлектрике над электродом.

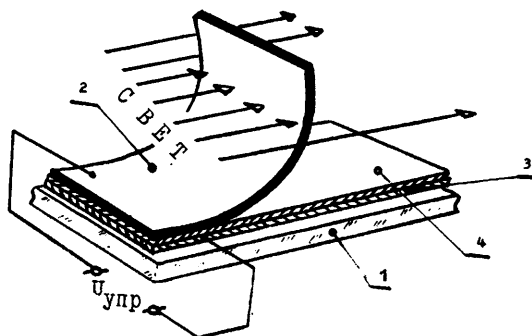


Рис. 1

При приложении управляющего напряжения $U_{упр}$ к электроду и лепестку последний прижимается к электроду электростатическими силами, а после снятия напряжения возвращается в исходное состояние под действием изгибающего момента упругой деформации.

Все элементы микромеханического модулятора света изготавливаются термическим напылением в вакууме; изгиб лепестка получается вследствие термических напряжений в пленке, возникающих при конденсации паров испаряемого металла. Толщина лепестка составляет величину порядка 0,001 мм (1 мкм), длина — 0,7 мм, ширина — 0,3 мм. Незакрепленный конец лепестка поднимается над основанием на 0,3 мм. Для напыления применяется сплав Cu-Be (бериллиевой бронзы). Получающиеся лепестки обладают чрезвычайно высокими механическими свойствами. По литературным данным [5], механические свойства пленок не ограничивают работоспособность подобных устройств.

Модуляция света лепестком заключается в прерывании или отклонении падающего светового потока.

Изготовлен пленочный микромеханический модулятор света, содержащий 32 лепестка на одной подложке с общим тянущим электродом. Лепестки расположены в два ряда навстречу друг другу поднятыми концами. Напряжение управления составляет величину 40–50 в и обеспечивает 100%-ную модуляцию амплитуды светового луча вплоть до частоты 10^3 гц. Количество срабатываний может достигать 10^{12} циклов (см. [4]).

2. Пленочные электромеханические модуляторы света

Пленочный электростатический модулятор света предназначен для модуляции светового потока в однократном или циклическом режимах и представляет собой конденсатор, одна из обкладок которого подвижна и под действием электростатических сил перемещается в пространстве. Модуляция света осуществляется подвижной обкладкой (шторкой модулятора), выполненной в виде гибкой ленты. Такие модуляторы являются электромеханическими устройствами, обеспечивающими 100%-ную модуляцию амплитуды светового луча.

Конструкция пленочного электромеханического модулятора света [6,7] показана на рис.2. Модулятор состоит из корпуса (камеры) и

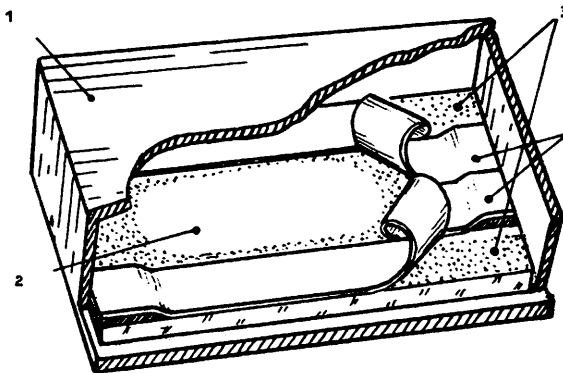


Рис. 2

расположенных в нем управляющих электродов и подвижной шторки. Камера I выполнена с непрозрачными боковыми стенками, торцы - из стекла, на одно из которых нанесен прозрачный проводящий слой 2, являющийся одним из управляющих электродов. Вто-

рой управляющий электрод 3 может быть расположен в той же плоскости, что и первый или (по конструктивным соображениям) под углом (например, 90°) к нему. Подвижная шторка-электрод 4 выполнена в виде гибкой ленты и закреплена своими концами на разных управляющих электродах таким образом, что всегда обращена одной своей поверхностью к управляющим электродам.

Для гибкой ленты удобно использовать односторонне металлизированную полимерную пленку. Это позволяет отказаться от изоляции поверхностей управляющих электродов, так как лента всегда обращена к ним своим диэлектрическим слоем.

Модулятор работает следующим образом. При включении напряжения между управляющим электродом 3 и металлизацией (слоем напы-

ленного на полимер металла) гибкой ленты 4 возникают силы электростатического притяжения, под действием которых лента покатится вправо и займет крайнее положение. При этом световое отверстие (прозрачный проводящий слой 2) будет открыто. Если переключить напряжение на управляющий электрод 2, сняв при этом напряжение с электрода 3, то лента-шторка переместится влево и перекроет световое отверстие.

При циклическом режиме модуляции света частота работы модулятора определяется суммарным временем открывания и закрывания светового отверстия и достигает для пятимиллиметрового отверстия частоты 100 гц. Для пятидесятимиллиметрового отверстия рабочая частота не превышает 5-10 гц.

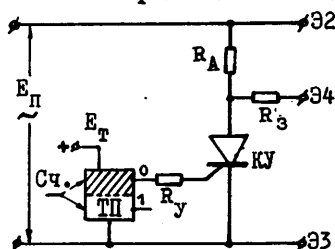


Рис. 3

В однократном режиме модуляции светового потока модулятор может быть превращен в световой затвор (фотозатвор) введением функции запоминания местоположения шторки. С целью увеличения надежности (обеспечения стабильности и неизменности времени срабатывания в режиме однократной модуляции) питание модулятора должно осуществляться пе-

ременным напряжением (рис.3). На рис.3 электроды Э2 и Э3 модулятора подключены к клеммам источника переменного напряжения, а электрод Э4 (шторка модулятора) через защитное сопротивление R_3 к анодной цепи тиристора. Тиристор управляется через сопротивление R_y от триггера состояния ПП. При запертом тиристоре шторка модулятора будет находиться на электроде 3. При изменении состояния триггера тиристор отпирается, и шторка перебрасывается на электрод 2.

Применение переменного напряжения позволяет избежать накопления заряда на границе раздела твердый диэлектрик - газ. Потребление тока при перезарядке рабочих емкостей модулятора незначительно и при напряжении 150 в промышленной частоты не превышает $5 \cdot 10^{-6} - 10^{-5}$ а на 1 см^2 площади электродов.

На рис.4 приведена зависимость времени срабатывания модулятора в зависимости от напряжения питания для различных размеров светового окна. Время срабатывания определялось от момента подачи сигнала на вход триггера в схеме рис.3 до момента перекрытия

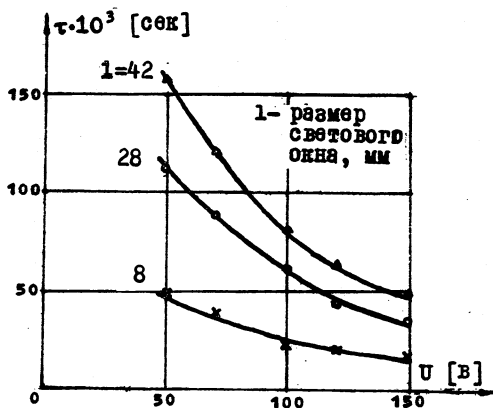


Рис. 4

чении напряженности поля $E = 5 \cdot 10^7$ В/м. Теоретическое значение скорости при данной напряженности электрического поля составляет $\sim 3,5$ м/сек.

3. Пленочные электростатические индикаторы

Пленочный электростатический индикатор является индикатором пассивного типа и может использоваться для изготовления знаковинтезирующих элементов, табло, больших экранов как черно-белого, так и цветного изображения, в отраженном или проходящем свете, а также для модуляции света и индикации статических надписей с улучшенными техническими и эргономическими характеристиками [6-8]. Аналогичные разработки подобных элементов за рубежом авторам неизвестны.

Индикатор статических надписей, схематически изображенный на рис. 5, имеет световое окно 1, перекрываемое накатывающейся пленкой 2. На пленке нанесена подлежащая индикации надпись 3. Последнюю можно нанести и на поле окна в виде светопропускающих букв, знаков. В последнем варианте для индикации надписи на пленку наносит светотражающее покрытие (металлизацию) 4.

Световое окно экрана (поле надписи) покрывается прозрачным проводящим слоем, образующим включающий электрод индикатора. Выключающий электрод 5 выполняют или аналогично выключающему, или в виде отдельной пластины. Электрод можно располагать либо параллельно световому окну, либо перпендикулярно.

шторкой глазка фотодиода ФД-3. Поэтому оно включает в себя и время трогания шторки. При выбранном напряжении питания скорость перемещения приблизительно постоянна, а ее величина зависит от режима работы коммутатора и состояния поверхности электродов. При испытании экспериментальных макетов со шторкой из полиэтилентерфталата скорость не превышала 1 м/сек при среднем значении

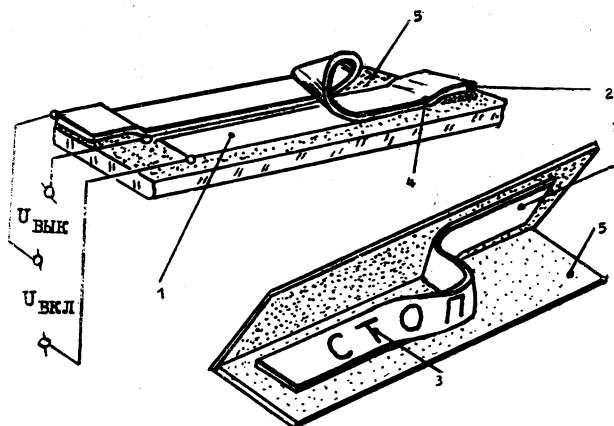


Рис. 5

Индикаторная лента сворачивается соответственно расположению включающего электрода и крепится на их противоположных концах.

При подаче напряжения на металлизацию пленки и один из электродов происходит накатывание пленки на соответствующий электрод, в частности, при подаче напряжения на включающий электрод пленка накатывается на световое окно.

Изготовленные индикаторы имеют ленту из металлизированного лавсана толщиной 0,12 - 0,003 мм, шириной 10 мм, металлизация - пленка алюминия толщиной 1000Å. Индикаторы имеют световое окно до 120 мм, управляются напряжением 220-120 в, частотой 50 гц. Надпись на ленте обладает контрастностью 20:1, при изменении внешнего освещения от 4 лк до непрямого солнечного света. Время включения равно или меньше 0,1 сек.

В отличие от индикатора статических надписей экран знаковсинтезирующего индикатора имеет $m \times n$ световых окон, образующих знаковсинтезирующую матрицу из $m \times n$ информационных точек. Каждое из окон закрывается накатывающейся пленкой со светоотражающим покрытием [8]. Определенная совокупность отражающих свет окон образует некоторый знак, символ (рис.6).

В знаковсинтезирующем элементе включающий электрод является общим и выполняется путем нанесения на экран или прозрачного токопроводящего покрытия, или тонкой металлической сетки. Выключающие электроды каждого из окон экрана располагаются перпендикуляр-

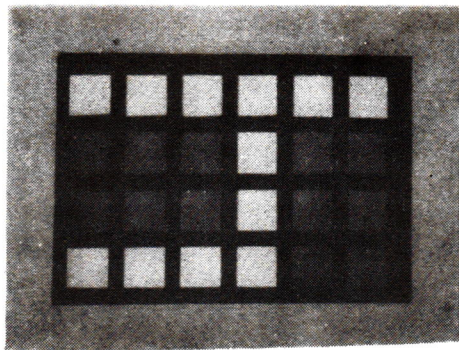
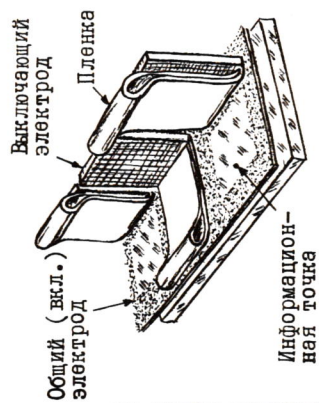
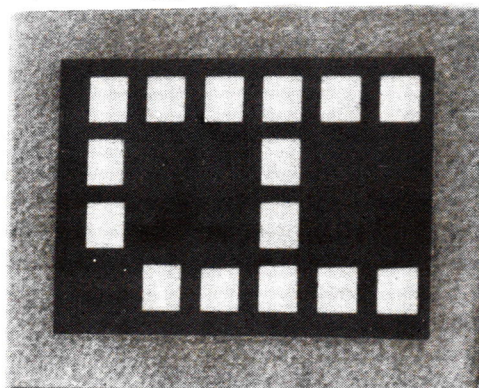


Рис. 6. Алфавитно-цифровой синтезирующий индикатор на 4x6 информационных точек.

но ему. Индикаторные металлизированные пленочные ленты, свернутые кольцом, закреплены в местах крепления выключающих электродов.

Когда подается напряжение на металлизацию ленты и выключающие электроды, на последние происходит накат лент и световые окна открываются. Ленты остаются в этом состоянии и после подачи напряжения на включающий электрод, и световые окна закрываются только после снятия напряжения с выключающих электродов. При этом пленочная лента перекачивается с выключающих электродов на включающий.

Если вокруг световых отверстий установить по 4 выключающих электрода с пленками разных цветов, то появляется возможность индикации знаков различного цвета. Ниже приведены технические характеристики знаков синтезирующего элемента, выполненного в виде матрицы точек (рис.6).

Информационный размер - 4×6 точек.

Размер световых окон - 15×15 мм².

Напряжение управления - 120-150 в, $f = 50$ гц.

Потребляемый ток - $10 \cdot 10^{-6}$ А/см².

Время включения (выключения) - 0,03-0,06 сек.

Работоспособны в диапазоне температур от -60 до +60°C.

Матричное управление - возможно.

Память при отключении питания - возможна.

Изображение различных цветов на одном знакоместе - возможно.

Контрастность - 20:1.

Число срабатываний $> 10^8$.

Пленка - металлизированная полиэтилентерефталатная толщиной от 0,003 мм и более - производится серийно промышленностью и широко используется при изготовлении конденсаторов.

Среди пассивных индикаторов пленочные электростатические индикаторы можно сравнить с электромагнитными бленкерами, или жидкокристаллическими индикаторами. От последних электростатические индикаторы отличаются простотой изготовления, широким диапазоном рабочих температур, а в отличие от электромагнитных бленкеров - не требуют магнитных материалов и цветного металла, и, следовательно, имеют меньший вес и стоимость.

Электростатические индикаторы по сравнению с электромагнитными при размерах информационной точки 1 см² дают снижение веса в 5-10 раз, энергопотребления в 100-150 раз. Информационная площадь составляет 60-70% общей площади экрана. Светотехнические характеристики индикаторов показаны на рис.7 в сопоставлении с характе-

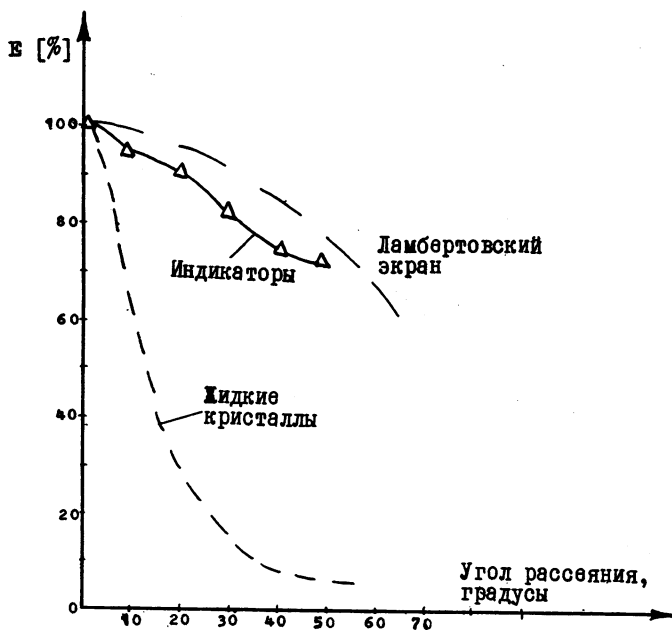


Рис. 7

ристикami ламбертовского экрана и индикаторов на жидких кристаллах [9]. Из рисунка видно, что интенсивность рассеяния падающего света E в допустимом угле обзора [10] изменяется лишь на 25%, что не намного больше, чем для идеально рассеивающего ламбертовского экрана при тех же углах наблюдения. Поэтому можно утверждать, что зрительное восприятие индикаторов будет хорошим. Величина E нормирована так, чтобы на нормали к освещаемой поверхности величина интенсивности рассеянного света была равна единице.

Л и т е р а т у р а

1. ДЯТЛОВ В.Л., ФАДЕЕВ С.И. Пленочная электромеханика. - В кн.: Вычислительные системы. Вып. 58 (Вычислительные системы и проблемы обработки информации), Новосибирск, 1974, с.100-110.
2. Исследование пленочных консольных структур /Дятлов В.Л., Кирилюк А.Г., Коняшкин В.В., Потапов В.С., Фадеев С.И.- В кн.: Техника индикации. Киев, Наукова думка, 1976, с.39-46.
3. НАТАНСОН Х.С., ГОЛЬБЕРГ Я. Тонкие пленки с топологической структурой в полупроводниковых устройствах. - В кн.: Физика тонких пленок. М., 1978, т. 8, с. 331-356.

4. PETERSEN K.E. Dynamic Micromechanics on Silicon: Techniques and Devices.- IEEE Transactions on Electron Devices, 1978, v.ED-25, N 10, October, p.1241-1250.

5. ЗИЛИНГ К.К. Прочностные свойства пленок и пленочная электромеханика.- В кн.: Моделирование в пленочной электромеханике (Вычислительные системы, вып. 66). Новосибирск, 1975, с.21-32.

6. Индикатор /Дятлов В.Л., Коняшкин В.В., Потапов Б.С., Луцет М.К., Солдатенков И.С. Положительное решение по заявке № 2699698/18-24 (172480) от 20 июля 1979 г.

7. Индикатор /Дятлов В.Л., Коняшкин В.В., Луцет М.К., Потапов Б.С. Положительное решение по заявке № 2765398/18-24 (071940) от 22 июля 1980 г.

8. Индикатор /Дятлов В.Л., Коняшкин В.В., Луцет М.К., Потапов Б.С. Положительное решение по заявке № 2902160/18-24 (016828) от 2 сентября 1980 г.

9. ДЭЛИЦА, СЕЙМУР. Модель рассеяния на керамических сегнотополупроводниках и других материалах, используемых в устройствах отображения информации. -Труды ин-та инж. радиоэлектроники. 1973, т.61, № 7, с.232.

10. ЗГУРСКИЙ В.С., ЛИСИЦЫН Б.Л. Элементы индикации.-М.: Энергия, 1974. - 224 с.

Поступила в ред.-изд.отд.

6 июня 1981 года