

## О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ МАТРИЧНЫХ ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЙ И ФОТОПЕНСИОМЕТРОВ

*В.М. Квасов, С.В. Свечников*

(Киев)

Интерес, который проявляется в настоящее время разработчиками вычислительных систем к проблеме использования светового луча для передачи и обработки информации, объясняется тем, что оптоэлектронные схемы обладают целым рядом существенных преимуществ по сравнению с их электрическими аналогами: высокая степень развязки цепей входа и выхода, взаимная независимость оптических сигналов, малогабаритность и высокая надежность оптоэлектронных логических схем, возможность мгновенного выполнения математических операций в процессе оптической передачи информации и т.д.

В основе любой оптоэлектронной схемы лежат два основных элемента — излучатель света и фотоприемник, осуществляющий преобразование светового излучения в электрический сигнал. В оптоэлектронных вычислительных устройствах наиболее перспективным является применение полупроводниковых излучателей и приемников света, к которым при этом предъявляется ряд специфических требований, что обуславливает необходимость создания для этих целей новых типов полупроводниковых приборов. Вместе с тем следует указать на возможность использования уже сейчас малогабаритных индикаторных лампочек, которые в сочетании с

фотоприемниками на материалах типа  $A^{II} B^{VI}$  дают следующие параметры оптронов: отношение сопротивлений темнового к световому  $\approx 10^7 - 10^8$ , инерционность  $10 - 40$  мсек, срок службы  $\approx 10^4$  часов.

Нами были рассмотрены возможности построения матричных наборов из фотосопротивлений и фотопотенциометров, в основу которых положено явление фотопроводимости, т.е. изменение проводимости вещества под действием света. Это явление наблюдается в самых разнообразных по удельному сопротивлению материалах: от диэлектриков до металлов. Однако его использование пока ограничивается в основном только фотоприемниками на базе однородных полупроводников, среди которых особое место занимают материалы типа  $A^{II} B^{VI}$  представляющие собой соединения второй и шестой групп периодической системы. Исключительно высокая фоточувствительность этих материалов позволяет создавать на их основе фотоприемники с коэффициентом усиления в сравнимым с коэффициентом усиления многокаскадного фотомножителя ( $G \approx 10^4$ ). Большое значение имеет и тот факт, что материалы типа  $A^{II} B^{VI}$  обладают высокой технологичностью. Например, известными методами пленочной технологии (вакуумное напыление, пульверизация, шелкование, электроосаждение и т.д.) в настоящее время получают фоточувствительные слои на основе сульфида и селенида кадмия, которые можно успешно использовать для изготовления как отдельных фотосопротивлений и фотопотенциометров, так и их матричных наборов.

Матричные наборы фотосопротивлений в свою очередь, могут иметь разнообразное применение в вычислительной технике: для построения полупостоянных запоминающих устройств [1], в преобразователях графической информации [2], для корреляции данных [3] и т.д.

Изготовление матриц, каждое фотосопротивление которой имеет индивидуальные выводы, связано с определенными технологическими трудностями. Поэтому представляют интерес фотоматрицы, изготавливаемые в виде взаимноперпендикулярных а горизонтальных и б вертикальных шин, в узлах пересечения которых функции элементов связи выполняют фотосопротивления  $R_{\Phi}$  (рис.1). Различают [4] продольные и поперечные фотосопротивления в зависимости от того, как действуют возбуждающий свет  $I$  и электрическое поле  $E_{\Phi}$  соответственно в одном или взаимноперпендикулярных направлениях.

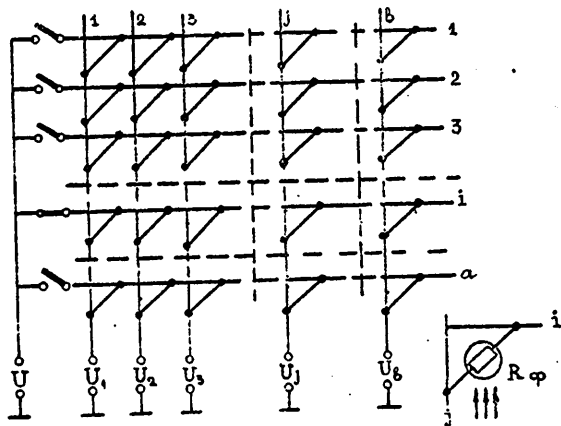


Рис. I

Матрицы продольных сопротивлений просты конструктивно, но вызывают определенные трудности при изготовлении:

1) Трудно получить на значительных площадях тонкие фотослои, равномерные по рельефу и без дырок. Наиболее дешевыми методами порошковой технологии нанести слои, удовлетворяющие этим требованиям, вообще пока не представляется возможным;

2) В таких матрицах хотя бы одни из электродов (горизонтальные или вертикальные) должны быть прозрачными и в то же время обеспечивающими оптический контакт с фотослоем. Получение же таких электродов связано с определенными затруднениями.

Кроме того, матрицы продольных фотосопротивлений обладают целым рядом недостатков:

1) Ввиду малых толщин фотослоев (порядка нескольких мн) в узлах пересечения горизонтальных и вертикальных шин образуются значительные емкости. С ростом плотности упаковки фотосопротивлений в матрице увеличивается и емкость между соседними горизонтальными или вертикальными шинами. Наличие этих емкостей уменьшает отношение сигнал/помеха при возрастании скорости опроса элементов фотоматрицы;

2) Для уменьшения влияния соседних фотосопротивлений друг на друга их фотослои необходимо разделять высококачественным диэлектриком, что связано с усложнениями конструкций и технологии изготовления фотоматриц;

3) Не представляется возможным строить на базе продольных фотосопротивлений матрицы с взаимным перекрытием элементов [5]. Это затрудняет использование таких матриц в преобразователях графиков из-за того, что имеется опасность нечеткости считывания.

В матрицах поперечных фотосопротивлений выше перечисленные технологические трудности и конструктивные недостатки удастся либо полностью устранить, либо значительно уменьшить. Однако у таких матриц по сравнению с матрицами продольных фотосопротивлений предельная плотность упаковки по горизонтали, по крайней мере, в два раза меньше.

Поскольку матрица фотосопротивлений фактически представляет собой новый прибор, предназначенный для решения специфических конкретных задач, она должна обладать определенными фотоэлектрическими характеристиками. Количественной мерой фотопроводимости является фототок, определяемый как [4]

$$i_{\Phi} = A_0 L^{\alpha} U_{\Phi}^{\gamma} \quad (I)$$

В этом выражении  $L$  - интенсивность падающего на фотопроводник света,  $U_{\Phi}$  - приложенное к нему напряжение,  $A_0$  - постоянный для данного образца коэффициент, величина которого определяется собственными параметрами фотопроводника (квантовым выходом, подвижностью и дрейфовой скоростью носителей тока), а также расстоянием между электродами  $d$ . Коэффициенты  $\alpha$  и  $\gamma$  ( $\gamma \geq 1$ ) являются соответственно коэффициентами нелинейности люкс-амперной (входной) и вольт-амперной (выходной) характеристик фотосопротивления.

Наиболее простой и в то же время чувствительной по току является схема последовательного включения фотосопротивления и нагрузки (рис. 2-а). Схема замещения фотосопротивления, как эквивалентного генератора тока, развивающего независимый от параметров схемы ток  $\Delta i_{\Phi_0} = k_1 \Delta L$  и имеющего внутреннее сопротивление

$$R_1 = \frac{1}{\left( \frac{\partial i_{\Phi}}{\partial U_{\Phi}} \right)_{L=\text{const}}} = \frac{1}{\gamma A_0 L^{\alpha} U_{\Phi}^{\gamma-1}} \quad (2)$$

показана для этого случая на рис. 2-б. Из рассмотрения этой

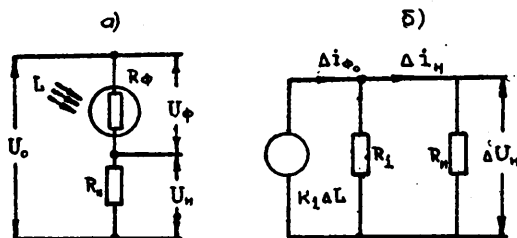


Рис. 2

схемы следует, что изменение интенсивности излучения на величину  $\Delta L$  вызывает в нагрузке  $R_H$  изменение тока

$$\Delta i_H = k_1 \cdot \Delta L \cdot \frac{R_1}{R_H + R_1}, \quad (3)$$

где  $k_1$  - дифференциальная чувствительность фотосопротивления, определяемая как

$$k_1 = \left( \frac{\partial i_\phi}{\partial L} \right)_{U_\phi = \text{const}} = A_0 \cdot L^{\alpha-1} \cdot U_\phi^\gamma. \quad (4)$$

Очевидно, что для сверхлинейных люкс-амперных характеристик ( $\alpha > 1$ )  $k_1$  возрастает при увеличении  $L$ , а для сублинейных ( $\alpha < 1$ )  $k_1$  максимальна в области малых  $L$ . Поэтому выбор фотопроводника для матриц фотосопротивлений необходимо производить по  $\alpha$  с учетом рабочего уровня возбуждения  $L$ . Что касается напряжения  $U_\phi$ , увеличение которого согласно (4) вызывает рост  $k_1$ , то его максимальное значение ограничивается допустимой мощностью рассеивания фотосопротивления:

$$P_{\phi \text{ max}} = i_\phi \cdot U_{\phi \text{ max}} = A_0 \cdot L^\alpha \cdot U_{\phi \text{ max}}^{\gamma-1} \quad (5)$$

Воспользовавшись выражениями (2), (3), (4), (5), и задавшись  $\gamma = 1$ , что соответствует фотосопротивлениям с омическими контактами и совершенной структурой фотослоя, получим формулу для максимального приращения тока в  $R_H$

$$\Delta i_{H\max} = \sqrt{2\epsilon_{\max}} \cdot \frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{\alpha \cdot \sqrt{L}^\alpha}{\Lambda_0 \cdot R_H \cdot L^\alpha + 1} \quad (6)$$

Считая в этом выражении все величины, кроме  $\alpha$ , наперед заданными, проанализируем его на максимум по  $\alpha$ . В результате получим приближенную формулу для оптимального значения  $\alpha_0$  обеспечивающего максимальное приращение  $\Delta i_H$ :

$$\alpha_0 \approx \frac{2}{\ln L} \cdot \frac{\frac{3L}{2} \ln L + \Lambda_0 \cdot R_H \cdot e^2 + 3}{L \cdot \ln L + \Lambda_0 \cdot R_H \cdot e^2 + 2} \quad (7)$$

где  $e$  — основание натурального логарифма.

В случае использования матриц фотосопротивлений в устройствах с двухпозиционной записью информации, где информации "0" соответствует большое сопротивление  $R$  элемента связи, а записи информации "1" — малое сопротивление  $r$  элемента связи, определяющим параметром фотосопротивления, как элемента электрической цепи, является отношение  $k = \frac{R}{r}$ . Как было показано в [1], для полупостоянного запоминающего устройства на две тысячи тридцатидвухразрядных слов, считывание информации с которого осуществляется согласно схеме, показанной на рис. 1, величина отношения сигнала к помехе не меньше пяти при  $k = (20 + 50)$ . Получение таких значений  $k$  из фотосопротивлений на основе материалов типа  $Al_2S_3$  достигается при небольших уровнях возбуждения  $L$  (порядка десятков лк) и напряжениях  $U_\Phi \approx 10$  в.

В аналоговых устройствах вычислительных машин перспективно применение еще одного фотоэлектрического прибора — фотопотенциометра, принцип действия которого поясняется на рис. 3. Между резистивным слоем  $\sigma$  и коллектором  $k$  нанесен фотопроводящий слой шириной  $U_\Phi$ , у которого в области светового зонда шириной  $l$  проводимость —  $\sigma_\Phi$ , а в шунтирующих его областях  $\sigma_\Phi$ .  $\left(\frac{\sigma_\Phi}{\sigma_\Phi} = u > 1\right)$ . В результате линии тока, проходящего в нагрузку  $R$  из резистивного слоя  $\sigma$  под действием напряжения  $U$ , стягиваются в области  $l$ . Поэтому при перемещении свето-

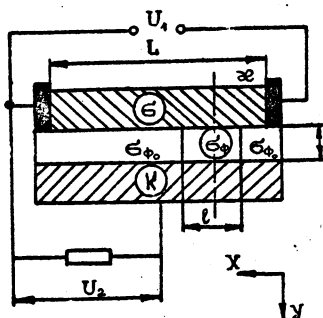


Рис. 3

вого зонда по длине  $L$  фотослоя величина выходного напряжения  $U_2$  будет зависеть от местоположения светового зонда  $x$ :

$$U_2 = U_1 \cdot f(x). \quad (8)$$

Характер этой зависимости (линейный или нелинейный) определяется конфигурациями резистивного слоя или фотослоя, а также режимом работы фотопотенциометра. Это позволяет создавать на базе

фотопотенциометров разнообразные приборы и устройства: фотоэлектрические усилители с большим коэффициентом усиления, функциональные преобразователи, преобразователи графиков и т.д.

Используя в фотопотенциометрических преобразователях графиков каскадное включение фотопотенциометров, располагаемых вдоль оси абсцисс в соответствии с шагом корреляции  $\tau$ , можно определять корреляционные зависимости случайных процессов, записанных в виде графиков.

Проведенный анализ показывает, что в выше рассмотренных системах могут быть получены параметры, близкие к оптимальным в пределах приемлемых значений освещенности, напряжения и быстродействия.

## Л и т е р а т у р а

- И. В.М. Квасов, Ю.Я. Ледянкин, Б.Н. Малиновский, В.В. Петров, С.В. Свечников. О применении полупроводниковых соединений  $A^III B^V$  для создания полупостоянных запоминающих устройств. Всесоюзное совещание по полупроводниковым соединениям  $A^III B^V$  и их применению (тезисы докладов), Киев, 1966 г.

2. В.М. Квасов, Б.Н. Малиновский, В.П. Скуридин. Считывание информации с экрана осциллографа пленочными фотопреобразователями, УП Всесоюзная конференция по автоматическому контролю и методам электрических измерений (тезисы докладов), Новосибирск, 1966 г.
3. R.D.Stewart, Storing data with light, Electronics, v.39, N 4, 1966, pp. 82-86.
4. С.В. Свечников. Фотодвухполупроводники, Изд-во "Техника", Киев, 1965.
5. В.М. Квасов, С.В. Свечников, В.П. Скуридин. Фотоматрица, авторское свидетельство № 190062, "Изобретения, промышленные образцы, товарные знаки" № I, 1967, стр.86-87.