

Коэффициент связи для результатов рис. 2 меньше критического, что подтверждается уменьшением измеряемого значения  $2\Delta f$  при росте к. с. в. Собственная добротность вычисляется по формуле [7]

$$Q = \frac{f}{2\Delta f} \left( 1 + \frac{1}{\text{к. с. в.}} \right)$$

и составляет  $(0.8 \div 1.14) \cdot 10^5$  единиц, что по порядку величины согласуется с теоретическими оценками, следующими из результатов [6].

Продольный и поперечный индексы данной моды можно оценить, анализируя крутизну перестроенной характеристики (зависимости резонансной частоты от длины резонатора). Измерения показывают, что для высокодобротных мод  $n \approx 15 \div 25$ ,  $m = 1 \div 2$ , что соответствует оговоренным выше условиям малого поглощения, следующим из теоретического анализа.

Отметим, что кривые рис. 2 сняты при фиксированном положении возбуждающего штыря. За пределами диапазонов частот, в которых измерены  $2\Delta f$  для каждой из мод, к. с. в. существенно возрастает и следует производить подрегулировку связи перемещением штыря.

Согласование в широком диапазоне частот без подрегулировки связи может быть достигнуто путем перехода с моды на моду аналогично тому, как это сделано в [8] применительно к обычным полым резонаторам. Данный резонатор может быть использован в экспериментальной физике (спектроскопия электронного парамагнитного резонанса, измерение материальных параметров твердых тел и т. д.), электронике СВЧ (релятивистские генераторы дифракционного излучения), измерительной технике (волномеры). Дальнейшее повышение  $Q$  возможно при увеличении  $n$ , улучшении качества обработки поверхности либо использовании средств криогенной техники.

### Литература

- [1] Вайнштейн Л. А. Открытые волноводы и открытые резонаторы. М.: Сов. радио, 1966, 474 с.
- [2] Шестопалов В. П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Киев: Наукова думка, 1985, т. 1. 216 с.
- [3] Штейншлейгер В. Б. Явления взаимодействия волн в электромагнитных резонаторах. М.: Оборонгиз, 1955. 112 с.
- [4] Clarricoats P. J. B., Olver A. D., Chong S. L. Proc. IEE, 1975, v. 122, N 11, p. 1173—1186.
- [5] Альховский Э. А., Ильинский А. С. и др. Гибкие волноводы в технике СВЧ. М.: Радио и связь, 1986. 127 с.
- [6] Ильинский А. С., Слепян Г. Я. Колебания и волны в электродинамических системах с потерями. М.: МГУ, 1983. 231 с.
- [7] Валитов Р. А. Радиотехнические измерения. М.: Сов. радио, 1963. 632 с.
- [8] Родионова В. Н., Нехаев А. К. Исследование возможности создания высокодобротных объемных резонаторов — техника средств связи. Радионизмерительная техника. 1981, в. 5, с. 39—44.

Поступило в Редакцию  
28 ноября 1986 г.

Журнал технической физики, т. 58, в. 3, 1988

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМАЯ ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ НА ФОТОРЕФРАКТИВНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

В. М. Петров, А. В. Хоменко, М. В. Красинькова

К настоящему времени предложено несколько типов оптически управляемых пространственно-временных модуляторов света (ПВМС), в которых в качестве модулирующей среды используются различные электрооптические материалы. Это ПВМС типа ПРИЗ, ПРОМ, ЭПОС, ФОТОТИТУС, структуры МДП—ЖК [1—3]. Их основное назначение — ввод информации в тракт когерентной оптической обработки [1]. Запись информации на таких ПВМС осуществляется в виде пространственно-неоднородной плотности заряда  $\rho(x, y, z)$ , которая формируется вблизи поверхности электрооптического кристалла под действием двух факторов: а) засветки рабочей поверхности модулятора записывающим светом, интенсивность которого определенным образом промодулирована записываемым сигналом; б) приложением

к структуре модулятора рабочего напряжения. В случае указанных ПВМС рабочие напряжения составляют десятки вольт для структур МДП—ЖК, 100—200 В для модулятора ФОТОТИТУС и 1—2 кВ для модуляторов ПРИЗ, ПРОМ.

В ряде задач необходимо ввести в тракт когерентно-оптической обработки информацию, которая исходно представлена в виде электрических сигналов.

В данной работе показана возможность электрически управляемой записи информации с помощью светочувствительных структур на основе фоторефрактивных кристаллов типа  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ , которые ранее использовались в оптически управляемых ПВМС типа ПРИЗ и ПРОМ. Исследовались структуры модуляторов, предназначенные для электрически управляемой записи одно- и многоканальных электрических сигналов.

Для пояснения принципа электрически управляемой записи рассмотрим неоднородную плотность заряда  $\rho(x, y)$  в кристаллической пластине, которую в линейном приближении можно записать в виде

$$\rho(x, y) = A \int_0^{\tau} I(x, y, t) U(x, y, t) dt. \quad (1)$$

Здесь  $I(x, y, t)$  — функция засветки модулятора записываемым светом;  $U(x, y, t)$  — напряжение, прикладываемое к модулятору; интервал времени  $[0, \tau]$  определяет длительность

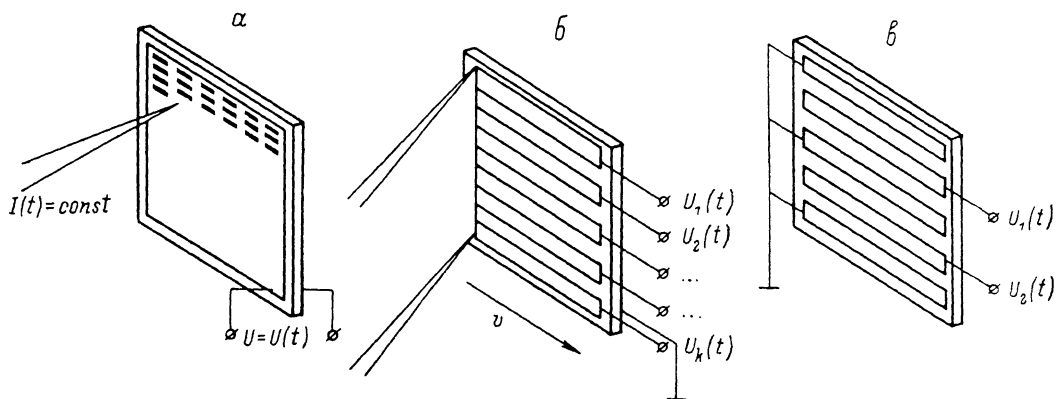


Рис. 1. Исследованные структуры модуляторов для электрически управляемой записи: одноканальная запись двумерного сигнала (ПВМС типа ПРИЗ) (а) и многоканальная запись при поперечном (б) и продольном (в) управляющем поле.

экспозиции модулятора; коэффициент  $A$  — эффективность формирования заряда. Зависимость  $\rho$  от координаты  $z$  связана с механизмом формирования заряда и в данном случае не рассматривается.

Выражение (1) позволяет с функциональной точки зрения рассмотреть различные варианты записи информации на ПВМС. Например, при оптически управляемой записи  $U(x, y, t)$  постоянно и однородно во время экспозиции. Имеются два основных варианта оптической записи: 1) параллельный, когда на ПВМС записывается весь входной двумерный массив информации (изображение); 2) последовательный (растровый), когда запись информации на ПВМС происходит последовательно, точка за точкой. При оптически управляемой параллельной записи  $I(x, y, t)$  не зависит от времени в процессе записи. В случае последовательной (растровой) записи  $I(x, y, t)$  представляет бегущее по апертуре модулятора световое пятно, промодулированное записываемым сигналом по времени, что и позволяет делать последовательную одноканальную оптическую запись изображения.

Однако, как видно из формулы (1), неоднородная плотность заряда  $\rho(x, y)$  интегрально зависит от произведения двух функций:  $I(x, y, t)$  и  $U(x, y, t)$ . Следовательно,  $\rho(x, y)$  может быть сформирована не только за счет модуляции интенсивности записываемого света  $I(x, y, t)$ , но и путем вариаций прикладываемого напряжения  $U(x, y, t)$ . Это и позволило в данной работе осуществить электрически управляемую запись.

Пример одноканальной электрически управляемой записи двумерного массива на ПВМС ПРИЗ показан на рис. 1, а. В этом случае по рабочей поверхности модулятора движется пятно света из сине-зеленой области спектра, интенсивность которого постоянна, а к электродам модулятора прикладывается напряжение, соответствующее амплитуде электрического

сигнала. Движущееся световое пятно производит локальное «очувствление» модулятора к управляющему электрическому сигналу. При этом если в момент прохождения заданной точки  $(x_0, y_0)$  к электродам было приложено напряжение  $U(t)$ , то, согласно (1), плотность заряда  $\rho(x_0, y_0)$  будет пропорциональна величине  $U(t)$ .

На рис. 1, б, в показаны конструкции модуляторов, позволяющих производить запись нескольких электрических сигналов одновременно. В первом варианте (рис. 1, б) модулятор представляет собой пластину фоторефрактивного кристалла, с одной стороны которой нанесены электроды в виде прозрачных проводящих полосок, а с другой стороны пластины нанесен один сплошной электрод. При такой конструкции модулятора управляющие напряжения прикладываются между соответствующими полосковыми электродами и общим электродом, напряжения  $U$  оказывается зависящими от  $x$  и  $y$ . Количество одновременно вводимых сигналов соответствует количеству полосковых электродов. Электроды создают в основном продольное электрическое поле, т. е. направленное вдоль распространения считывающего света. Области кристалла, в которых создается электрическое поле, одновременно

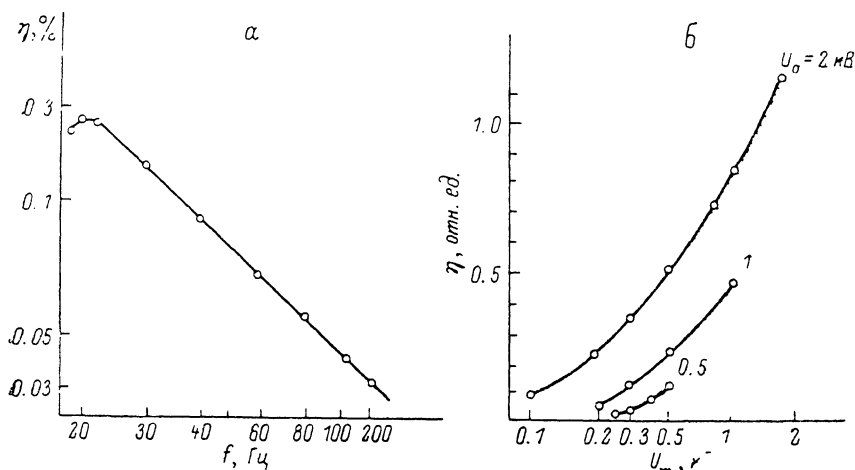


Рис. 2.

сканируются узкими световыми полосками. После записи под каждым электродом формируется пространственно-неоднородное распределение заряда. Поперечные компоненты электрического поля осуществляют модуляцию считывающего света за счет поперечного электрооптического эффекта.

Во втором варианте многоканального модулятора (рис. 1, в) полосковые электроды нанесены с одной стороны кристаллической пластины, а напряжения прикладываются между парами электродов, создающими в основном поперечные поля; модуляция считывающего света происходит, как и в первом варианте, за счет поперечного электрооптического эффекта.

Рассмотренные выше структуры многоканальных электрически управляемых модуляторов обладают, на наш взгляд, рядом функциональных преимуществ. Геометрия записи, т. е. расположение записанных сигналов в плоскости модулятора, определяется конфигурацией и расположением электродов на поверхности кристалла и может быть задана с большой точностью при изготовлении электродов фотолитографическим способом. Например, если электроды изготовляют в виде эквидистантных прямолинейных полосок (рис. 1, в), то обеспечивается высокая геометрическая линейность записи информации в плоскости модулятора.

Дополнительную гибкость рассматриваемому способу записи многоканальных сигналов предоставляет возможность независимого выбора скорости и момента начала сканирования в каждом канале модулятора.

Для экспериментального исследования электрически управляемой записи на фоторефрактивные кристаллы использовалась структура типа ПВМС ПРИЗ (пластина  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  в этом модуляторе имела срез [110] и толщину 500 мкм). К электродам структуры прикладывалось напряжение, промодулированное гармоническим сигналом частоты  $f$

$$U(t) = U_0 + U_m \sin 2\pi ft. \quad (2)$$

В плоскости модулятора формировалось движущееся ( $v=10$  мм/с) изображение световой полоски шириной  $l \approx 10$  мкм ( $\lambda=441$  нм). Таким образом, в модуляторе записывалось изображение одномерной синусоидальной решетки пространственной частоты  $\nu = fv^{-1}$ . Например,

при частоте электрического сигнала  $f=200$  Гц пространственная частота записанной решетки  $\nu=20$  лин./мм. Считывание осуществлялось параллельным пучком линейно-поляризованного света He—Ne лазера ( $\lambda=0.63$  мкм). Измерялась интенсивность 1-го дифракционного порядка. На рис. 2, а представлена зависимость дифракционной эффективности  $\eta$  от частоты  $f$  электрического сигнала ( $\nu=10$  мм/с). Видно, что рабочая полоса частот (по спаду дифракционной эффективности в 10 раз) лежит в пределах от 20 до 200 Гц, что соответствует пространственным частотам от 2 до 20 лин./мм. Рис. 2, б показывает, что при фиксированной амплитуде управляющего напряжения  $U_m$  амплитуда модуляции считывающего света возрастает с увеличением напряжения смещения  $U_0$ .

В случае многоканальных ПВМС со структурой, показанной на рис. 1, в, электроды изготавливались фотолитографическим способом. Период электродов 250 мкм, что позволяло

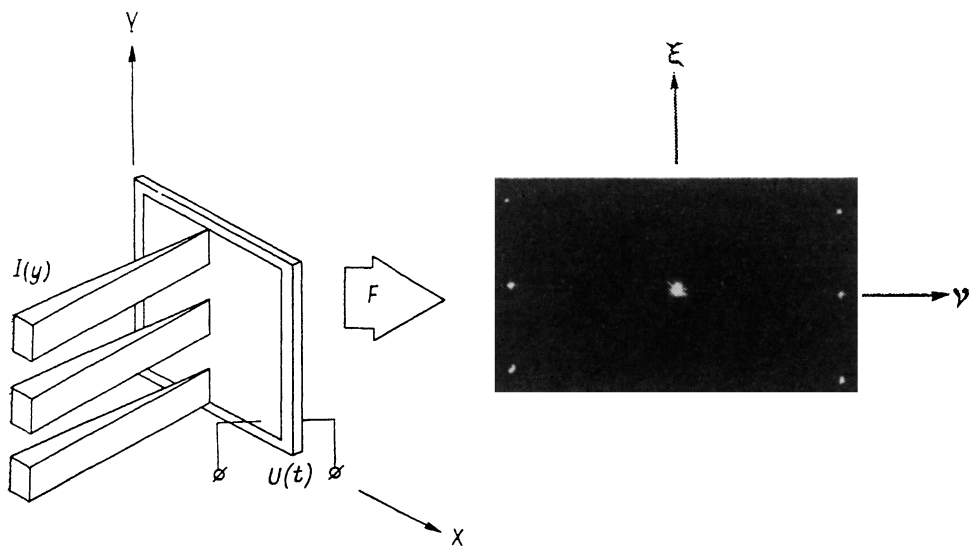


Рис. 3. Комбинированная оптико-электрическая запись:  $U(t)=U_0+U_m \sin 2\pi ft$ ,  $f=200$  Гц,  $\nu=200$  лин./мм;  $I(y)=I_0+I_m \sin \xi y$ ,  $\xi=10$  лин./мм.

располагать 40 электродов на 1 см при расстоянии между электродами 125 мкм. В этом случае величина управляющего напряжения ограничивалась пробоем по воздуху и не превышала 200 В, что в свою очередь ограничивало максимально достижимую дифракционную эффективность.

Электрически управляемая запись не исключает возможности одновременно осуществить и оптически управляемую запись на фоторефрактивные кристаллы. В работе реализована комбинированная оптико-электрическая запись информации. Для такой записи модулировалось прикладываемое к электродам напряжение  $U(t)$  и одновременно модулировалась интенсивность сканирующего светового пучка. В этом случае записанное изображение представляет произведение электрического и оптического сигналов. На рис. 3 показан пример картины дифракции на изображении, полученном при перемножении двух гармонических сигналов с пространственными частотами 20 и 10 лин./мм. Сигналы записывались как ортогональные синусоидальные решетки. За счет анизотропии электрооптического эффекта

Параметры	Значения
Полоса рабочих частот (по спаду $\eta$ в 10 раз)	2—20 лин./мм или 2—200 Гц при $\nu=10$ мм/с
Управляющие напряжения:	
переменное	100 В
постоянное смещение	1—2 кВ
Энергия «очувствляющего» света, $\lambda=0.44$ мкм	0.5 мД/см <sup>2</sup>
Время памяти	10 с

в срезе [110] удается подавить дифракцию в направлении оси  $\xi$  [1]. При этом наблюдается отклик на сигнал, сформировавший решетку, волновой вектор  $k$  которой направлен вдоль оси  $\nu$ , а также дифракция на комбинационных пространственных частотах.

Таким образом, в работе продемонстрированы возможности электрически управляемой и комбинированной оптико-электрической записи на светочувствительные электрооптические ПВМС. Показано, что предложенные структуры модуляторов обладают новыми функциональными возможностями.

В таблице приведены основные параметры электрически управляемого модулятора со структурой ПВМС ПРИЗ на основе фоторефрактивного кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ . Как видно из таблицы, ПВМС на основе  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  требовал достаточно высоких управляющих напряжений. Однако управляющие напряжения могут быть существенно снижены, если предложенные способы записи реализовать на структурах оптически управляемых ПВМС типа ФОТО-ТИТУС, МДП—ЖК, которые требуют меньших рабочих напряжений.

### Литература

- [1] Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации. Л.: Наука, 1983. 270 с.
- [2] Бережной А. А., Бужинский А. А., Брыксина И. В., Попов Ю. В. Тез. докл. II Всес. научно-техн. конф. «Проблемы развития радиооптики». М., 1985, ч. 2, с. 177.
- [3] Vasiliev A. A., Komranets I. N., Parfenov A. V. Optik, 1984, v. 67, N 3, p. 223—236.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
16 декабря 1986 г.

УДК 621.384.6

Журнал технической физики, т. 58, в. 3, 1988

## ФОРМИРОВАНИЕ ОДНОКРАТНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ПИКОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Ю. Д. Черноусов, И. В. Шеболаев, В. М. Григорянц, В. В. Лозовой,  
О. А. Анисимов

В [1] предложено формировать прореженные последовательности импульсов тока пикосекундного диапазона из ускоренного электронного пучка путем отклонения коротких сгуст-

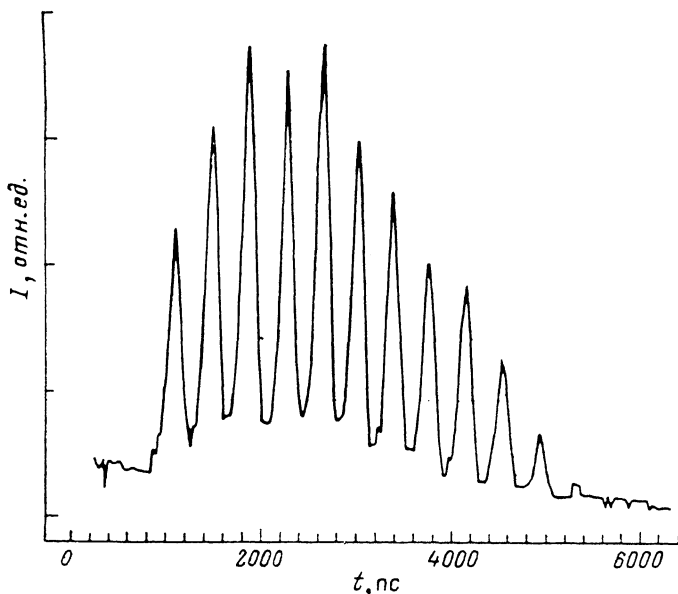


Рис. 1. Форма импульса тока на выходе ЛУЭ с выключенным дефлектором.

ков СВЧ дефлектором на частоте, отличной от частоты их следования. При использовании этого метода возможно формирование также и однократных импульсов пикосекундной длительности.