

А. В. ГУК, П. И. КОЛЕННИКОВ, В. Р. МАЛАХОВСКИЙ,
В. А. ПИЛИПОВИЧ

(Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОМПЕНСАЦИИ РАЗНОСТИ ФАЗ В ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩЕЙ КЕРАМИКЕ ЦТСЛ 9/65/35

Прозрачная электрооптическая керамика цирконата-титаната свинца, легированного лантаном (ЦТСЛ), как перспективный светомодулирующий материал отличается хорошим быстродействием (полоса частот $\omega \geq 1$ МГц), высокой (близкой к 100%) эффективностью преобразования светового сигнала, технологичностью и низкой стоимостью изготовления образцов с большой рабочей апертурой, хорошим оптическим контрастом, широким диапазоном рабочих температур [1—4]. Большой практический интерес представляет использование керамических двулучепреломляющих ЦТСЛ-элементов в схемах с компенсацией анизотропных свойств, что позволяет в значительной степени корректировать их светомодуляционные характеристики.

В настоящей работе рассматриваются особенности фазовой компенсации в оптических системах на основе керамики ЦТСЛ 9/65/35, исследуется влияние компенсации искусственной анизотропии на электрооптические параметры таких систем.

Параэлектрическая керамика ЦТСЛ 9/65/35 обладает поперечным квадратичным эффектом электрически управляемого двулучепреломления. Приложение электрического поля переводит оптически изотропный керамический образец в состояние с наведенной анизотропией, превращая его в аналог одноосного кристалла, ось которого направлена вдоль электрического поля, а величина разности хода пропорциональна квадрату напряженности этого поля. Два керамических ЦТСЛ-элемента, установленных последовательно вдоль направления распространения света и повернутых на 90° друг относительно друга так, чтобы электрические поля в их апертурах были взаимно ортогональны, образуют оптическую систему с компенсацией анизотропных свойств. При переходе из одного элемента в другой обыкновенная компонента световой волны становится необыкновенной и наоборот. В первом элементе одна компонента опережает по фазе другую, во втором — отстает. В результате, если разность хода в первом и втором элементах одинакова, суммарный фазовый сдвиг системы должен быть нулевым, т. е. второй элемент (компенсатор) компенсирует влияние первого [5].

Экспериментальная зависимость разности фаз, возникающей между обыкновенной и необыкновенной компонентами светового пучка после прохождения рассматриваемой системы, от амплитуды электрических сигналов, прикладываемых к первому керамическому ЦТСЛ-элементу при нулевом напряжении на втором ($U_2 = 0$), показана на рис. 1 (кривая 1). Поскольку при этом второй элемент оптически изотропен, данная зависимость характеризует фактически и систему без компенсатора с одним двулучепреломляющим элементом. Кривая снята для света с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм при частоте электрических импульсов 1 кГц. Каждый электрооптический элемент представлял собой изготовленную из ЦТСЛ-керамики полированную пластину толщиной 100 мкм, на которой была сформирована двухсторонняя совмещенная система планарных встречно-штыревых электродов [4, 6]. Величина межэлектродного промежутка составляла 100 мкм. Светопропускание I/I_0 такой системы, помещенной в скрещенных поляроидах, оси которых образуют угол 45° с направлениями электрических полей в апертурах керамических элементов, связано с фазовым сдвигом $\Delta\varphi$ формулой Малюса $I/I_0 = \sin^2 0,5\Delta\varphi$ и для данного случая ($U_2 = 0$) представлено кривой 2 на рис. 1. Максимум све-

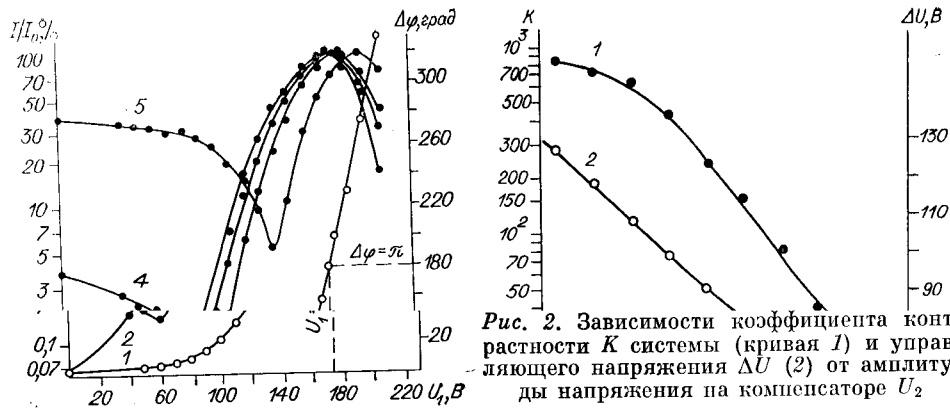


Рис. 1. Зависимость разности фаз $\Delta\varphi$ между компонентами светового пучка от амплитуды напряжения U_1 на первом элементе из ЦТСЛ-керамики при нулевом напряжении на втором элементе (1); нормированные зависимости светопропускания I/I_0 системы от амплитуды напряжения U_1 на первом элементе при напряжении U_2 на втором элементе: кривая 2 — 0; 3 — 60; 4 — 100; 5 — 140 В

Рис. 2. Зависимости коэффициента контрастности K системы (кривая 1) и управляющего напряжения ΔU (2) от амплитуды напряжения на компенсаторе U_2

топропускания, характеризующийся полуволновой разностью фаз ($\Delta\varphi = 180^\circ$), наступал при напряжении $U_{\lambda/2} = 175$ В.

Кривые 3—5 на этом же рисунке описывают нормированные экспериментальные зависимости оптического пропускания системы от напряжения U_1 на первом элементе при различных, отличных от нуля, фиксированных величинах напряжения U_2 . В отсутствие напряжения на первом элементе ($U_1 = 0$) светопропускание системы полностью определяется состоянием второго керамического элемента, компенсатора, и возрастает при увеличении напряжения U_2 . При фиксированном напряжении на компенсаторе ($0 \neq U_2 < U_{\lambda/2}$) начальный рост величины напряжения U_1 снижает общую разность фаз, и соответственно с этим уменьшается светопропускание, что и наблюдается на экспериментальных кривых. Когда напряжения на первом и втором керамических ЦТСЛ-элементах становятся равны ($U_1 = U_2$), пропускание системы достигает локального минимума. В дальнейшем с ростом напряжения U_1 разность фаз $\Delta\varphi_1$, вносимая первым элементом, превышает разность фаз компенсатора $\Delta\varphi_2$. Суммарный фазовый сдвиг $\Delta\varphi = \Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2$, обеспечиваемый обоими элементами, начинает быстро расти, вследствие чего возрастает и оптическое пропускание системы.

Следует заметить, что для идеальной системы с компенсатором уровень локального минимума на каждой из рассматриваемых кривых должен опускаться практически до нуля и определяться лишь экстинкцией поляризаторов (в данном случае — сотые доли процента). Но, как видно из приведенных графиков, остаточный световой поток в точках минимума заметно превышает эту величину, возрастая с увеличением напряжения на компенсаторе U_2 . Данное явление объясняется недостаточной однородностью двулучепреломляющих свойств по апертуре керамических ЦТСЛ-элементов и неидеальностью характеристик электрооптической керамики. Первый фактор связан с использованием планарных электродных систем, которые являются технологически наиболее простой конструкцией, но не обеспечивают полностью однородного электрического поля в апертуре элемента. Это приводит к тому, что световые потоки, проходящие через различные точки апертуры, приобретают неодинако-

вые фазовые сдвиги. В результате полной компенсации разности фаз во всей апертуре не происходит. На выходе системы в световом пучке всегда присутствует некомпенсированная по фазе составляющая, которая и дает вклад в увеличение остаточного светового потока. Неидеальность характеристик электрооптического материала обусловлена сложной поликристаллической структурой керамики ЦТСЛ 9/65/35. Особенностью ее является присутствие, наряду с двулучепреломлением, эффекта электрически управляемого рассеяния света [7]. В оптических схемах без компенсаторов светорассеяние, которое выражено значительно слабее, маскируется электрически управляемым двулучепреломлением. В этих случаях деполяризованная компонента светового пучка, появляющаяся вследствие управляемого рассеяния, фактически не влияет на характеристики прибора. Но в системах с компенсацией анизотропных свойств некомпенсируемая деполяризованная компонента вносит свой вклад в увеличение остаточного светового потока.

Важным параметром рассматриваемой электрооптической системы является коэффициент контрастности, определяемый как отношение максимальной и минимальной величин оптического пропускания. Максимальное пропускание характеризует состояние системы при полуволновом общем фазовом сдвиге ($\Delta\varphi = 180^\circ$). Минимальное описывается точками локальных минимумов на модуляционных кривых 3—5 (см. рис. 1). Отмеченное выше влияние амплитуды напряжения U_2 на минимальный уровень оптического пропускания приводит к тому, что коэффициент контрастности K падает с ростом напряжения на компенсаторе U_2 . Данная зависимость показана на рис. 2 (кривая 1).

Поскольку компенсатор снижает общий фазовый сдвиг, для достижения полуволновой суммарной разности фаз к первому ЦТСЛ-керамическому элементу надо прикладывать напряжение $U'_{\lambda/2}$, зависящее от напряжения U_2 на втором элементе и превышающее полуволновое напряжение $U_{\lambda/2}$ системы без компенсатора. Вследствие характерной для керамики ЦТСЛ 9/65/35 нелинейной зависимости $\Delta\varphi(U)$ это превышение имеет небольшую величину, которая, как показывает анализ кривых 2—5 на рис. 1, примерно на порядок меньше соответствующего значения напряжения U_2 . Перевод системы из состояния с минимальным в состояние с максимальным пропусканием требует при фиксированном напряжении на компенсаторе U_2 изменения разности потенциалов на первом керамическом элементе от U_2 до $U'_{\lambda/2}$. Величина $\Delta U = U'_{\lambda/2} - U_2$ является фактически управляющим переключающим напряжением, так как наличие либо отсутствие сигнала ΔU определяет предельные состояния оптического пропускания системы. Зависимость управляющего напряжения ΔU от амплитуды сигнала на компенсаторе U_2 показана на рис. 2 (кривая 2). Видно, что при напряжениях U_2 , лежащих в пределах, например, от 100 до 85 В, диапазон величин управляющего сигнала ΔU составляет 82—95 В. При этом обеспечивается коэффициент контрастности K от 150 до 330.

Таким образом, двулучепреломляющие элементы на основе керамики ЦТСЛ 9/65/35 могут эффективно использоваться в электрооптических системах с компенсацией анизотропных свойств. Варьирование амплитуды напряжения на компенсаторе позволяет управлять параметрами систем, в частности, величиной переключающего электрического сигнала, коэффициентом контрастности. Достижимые при этом абсолютные значения электрооптических параметров удовлетворяют требованиям к различным применениям подобных систем [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Компанец И. Н., Семочкин П. Н., Соболев А. Г. Электрически управляемая модуляция света в ЦТСЛ-керамике // Управляемые транспаранты и реверсивная запись оптических сигналов.— М.: Наука, 1981.— (Тр. Физ. ин-та АН СССР; Т. 126).
2. Климов И. И., Компанец И. Н., Левичев А. С. и др. Исследования по созданию матрично-адресуемого управляемого транспаранта на основе ЦТСЛ-керамики // Квантовая электрон.— 1977.— Т. 4, № 11.

3. Бакунова Т. И., Компанец И. Н., Левичев А. С. и др. Поперечный электрооптический эффект в матрично-адресуемом транспаранте на основе ЦТСЛ-керамики // Квантовая электроника.— 1978.— Т. 5, № 5.
4. Гук А. В., Коленников П. И., Малаховский В. Р. и др. Линейные управляемые транспаранты на основе ЦТСЛ-сегнетокерамики // Автометрия.— 1981.— № 5.
5. Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Методы модуляции и сканирования света.— М.: Наука, 1970.
6. Пилипович В. А., Гук А. В., Малаховский В. Р., Коленников П. И. Использование липнейных ЦТСЛ-керамических управляемых транспарантов для вывода фотографических изображений из ЭВМ // Проблемы развития радиооптики: Тез. докл. 2-й Всесоюз. научно-технической конф. (Тбилиси, 1985).— М.: Наука, 1985.
7. Штенберг А. Р. Современное состояние в технологии получения, в исследовании и применении электрооптической сегнетокерамики // Электрооптическая сегнетокерамика.— Рига: Латв. ГУ, 1977.
8. Компанец И. Н. Управляемые транспаранты // Зарубеж. радиоэлектрон.— 1977.— № 4.

Поступила в редакцию 30 июля 1986 г.

УДК 681.327.68 : 621.387

В. В. МОИСЕЕВ, С. И. НАЙМАРК
(Новосибирск)

ПРИЕМ ПОЛУТОНОВОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ Пороговым многоэлементным фотодиодным преобразователем

Введение. В последнее время в оптико-электронной аппаратуре различного назначения широко применяются многоэлементные интегральные фотоприемные устройства. Данные приборы, как правило, представляют собой линейки или матрицы с последовательным сканированием — твердотельные аналоги телевизионной приемной трубки, обеспечивающие выдачу последовательности электрических сигналов, амплитуда которых несет информацию о соответствующих элементах оптического изображения. Согласование устройств данного типа с цифровым каналом вычислительной системы осуществляется с помощью АЦП.

Известен другой тип устройств — пороговые многоэлементные интегральные фотодиодные преобразователи (ПМИФП) [1], например, ПМИФП на фототриггерных ячейках [2]. Преимущество этого типа устройств по сравнению с предыдущим заключается в том, что имеется два фиксированных уровня амплитуды выходного сигнала. Это позволяет согласовать ПМИФП с цифровым каналом без применения АЦП. Кроме того, в ПМИФП путем микропрограммной регулировки порога переключения для всех ячеек одновременно изображение регистрируется по «слоям» яркости или, другими словами, реализуется квантование изображения непосредственно во время его экспозиции в фотоприемной плоскости, что обеспечивает получение цифрового кода изображения.

Одним из существенных недостатков ПМИФП является технологический разброс порогов переключения (РПП) ячеек, искажающий топологию «слоев» принимаемого изображения.

Известно, что компенсировать РПП можно с помощью фильтра [3], реализация которого требует значительных аппаратно-программных средств. Для практического применения ПМИФП важно знать, в какой степени РПП влияет на искажение пространственного распределения оптического поля и с каким спектром мощностей излучения может работать ПМИФП без применения компенсирующих фильтров.

В настоящей работе приводится алгоритм приема и восстановления полутонового изображения и определяется зависимость числа «слоев»