

Д. И. БИЛЕНКО, В. А. ЛОДГАУЗ, И. И. ЛЯСКОВСКИЙ
(Саратов)

ЧАСТОТНО-КОНТРАСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТРОЙСТВА ТИПА PROM

Среди различных реверсивных сред, используемых для создания пространственно-временных модуляторов света, внимание привлекают материалы, сочетающие фотопроводимость с линейным электрооптическим эффектом [1—4]. Устройства на их основе, получившие название PROM, обладают сравнительно низкими пороговыми мощностями, высокой разрешающей способностью, большой контрастностью, реверсивной памятью.

Отличительной особенностью этого устройства на основе фотоэлектрооптического материала и двух слоев диэлектрика является симметричное расположение зарядов на границах фотоэлектрооптический материал — диэлектрик, связанное с разделением в электрическом поле фотовозбужденных носителей заряда и захватом их на ловушки. Этим определяется высокая разрешающая способность PROM по сравнению, например, с двухслойным фотоэлектрооптическим преобразователем, в котором одна из границ электрооптического слоя эквипотенциальная.

Принято считать [1, 2], что разрешающая способность PROM определяется величиной, обратной толщине диэлектрического слоя. При этом не учитывается влияние толщины фотоэлектрооптического слоя и диэлектрических проницаемостей обоих слоев, кроме того, понятие разрешающей способности не имеет смысла без указания контрастности.

Наилучшим образом разрешающую способность устройства характеризует его частотно-контрастная характеристика (ЧКХ), которая позволяет определить контрастность при заданной пространственной частоте и заданных параметрах устройства.

Рассчитывалась ЧКХ набега фаз Γ — параметра, линейно-связанного с зарядовым рельефом.

Для этого вначале находилось распределение потенциала в структуре в принятом режиме [3] хранения и считывания информации, т. е. при закороченных электродах. При этом предполагалось, что интенсивность записывающего излучения в направлении оси y менялась по косинусоидальному закону с пространственной частотой ν и неравновесные носители заряда, осевшие на ловушки, создали зарядовый рельеф с поверхностной плотностью

$$\sigma = (\sigma_0/2) (1 + \cos 2\pi\nu y).$$

Для нахождения распределения потенциала использовалось решение уравнения Лапласа для трехслойной структуры [5] с новыми граничными условиями; наружные поверхности диэлектриков находятся под одним потенциалом; потенциалы на границах диэлектрик — фотоэлектрооптический слой непрерывны; потенциал на одной из этих границ равен потенциалу на другой границе с обратным знаком, а изменения нормальной составляющей вектора электростатической индукции на этих границах равны соответствующим плотностям поверхностного заряда $(\sigma_0/2) (1 + \cos 2\pi\nu y)$ и $-(\sigma_0/2) (1 + \cos 2\pi\nu y)$.

Выражения для потенциала в слоях диэлектрика $-(m+l) \leq z \leq -m$ и $m \leq z \leq m+l$ соответственно имеют вид

$$V_a = A + A_0 z + (A_1 e^{pz} + A_2 e^{-pz}) \cos py;$$

$$V_c = C + C_0 z + (C_1 e^{pz} + C_2 e^{-pz}) \cos py,$$

где $p = 2\pi\nu$.

Решение систем уравнений, составленных на основании граничных условий, показало, что $A = A_0(m+l)$; $C = -C_0(m+l)$; $A_1 e^{-p(m+l)} = -A_2 e^{p(m+l)}$; $C_1 e^{p(m+l)} = -C_2 e^{-p(m+l)}$. Это означает равенство нулю потенциалов на наружных поверхностях диэлектриков, что находится в согласии с независимостью потенциала от координаты y на электродах.

Выражение для потенциала в фотоэлектрооптическом слое $(-m < z < m)$ имеет следующий вид:

$$V_b = B_0 z (1 + 2B_1 \operatorname{sh} pz \cos py / (B_0 z)), \quad (1)$$

где

$$B_0 = -(\sigma_0/2) [\epsilon_b (1 + am/l)]^{-1};$$

$$B_1 = -(\sigma_0/4p\epsilon_b) [\operatorname{ch} pm + a \operatorname{cth} pl \operatorname{sh} pm]^{-1};$$

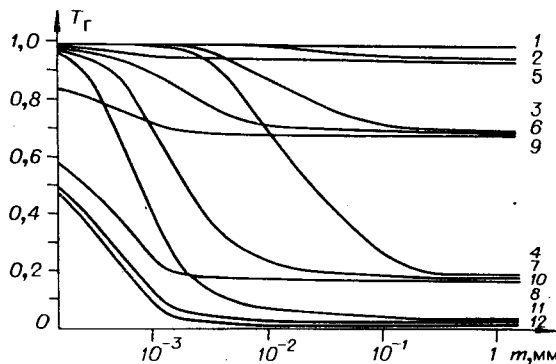


Рис. 1. Зависимость ЧКХ набега фаз от параметров устройства ($\epsilon_b = 56$, $\epsilon_d = 3,1$).

Кривые 1-4 соответствуют $\nu = 20$; 5-8 — $\nu = 200$; 9-12 — $\nu = 2000$ лнн/мм: для кривых 4, 8, 12 значение $l = 2$; 3, 7, 11 — $l = 0,2$; 2, 6, 10 — $l = 0,02$; 1, 5, 9 — $l = 0,002$ мкм.

a — отношение диэлектрических проницаемостей диэлектрика ϵ_d и фотоэлектрооптического материала ϵ_b ; m и l — полутолщина фотоэлектрооптического и толщина диэлектрического слоя; z — координата в направлении распространения света.

Распределение потенциала позволило получить выражение для нормальной составляющей поля (вдоль оси z) в фотоэлектрооптическом материале $E_z(y, z)$, а затем интегрирование величины $d\Gamma \sim E_z(y, z)dz$ найти выражение для Γ . Так как задача линейная, индуцированный набег фаз так же, как и зарядовый рельеф, оказался косинусоидально зависящим от координаты y с той же пространственной частотой ν .

Из выражения для Γ была найдена ЧКХ набега фаз

$$T_{\Gamma} = \frac{1 + a \frac{m}{l}}{\operatorname{cth} pm + a \operatorname{cth} pl} \frac{1}{pm} \quad (2)$$

Величина T_{Γ} меняется от 1 до 0 с ростом пространственной частоты от 0 до ∞ и показывает, какую часть от глубины пространственной модуляции зарядового рельефа составляет глубина пространственной модуляции индуцированного набега фаз. С контрастностью ЧКХ связана следующим образом:

$$k_{\Gamma} = (1 + T_{\Gamma}) / (1 - T_{\Gamma}). \quad (3)$$

Был проведен расчет T_{Γ} для ряда толщин диэлектрического и фотоэлектрооптического слоев и набора пространственных частот при фиксированном значении a (для пары $\text{Ві}_2\text{SiO}_{20}$ — паралин). На рис. 1 приведены соответствующие зависимости. Как видно из рисунка, зависимость T_{Γ} от толщины фотоэлектрического слоя вначале сильная, но, начиная с некоторого m , зависящего от l и ν , T_{Γ} от m практически не зависит и для одинаковых ν/l значения T_{Γ} совпадают.

Следует заметить, что для больших m и малых l (удовлетворяющих соотношениям $m \gg l/a$; $\operatorname{cth} pm \approx 1$; $\operatorname{cth} pl \approx 1/pl$) из выражения (2) можно получить следующую приближенную формулу для определения разрешающей способности устройства:

$$\nu = a / [\pi l (k_{\Gamma} - 1)]. \quad (4)$$

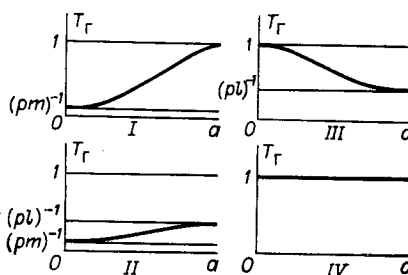
В соответствии с этой формулой приближенная оценка разрешающей способности [1, 2], о которой сообщалось выше, приобретает более четкий смысл. Разрешающая способность действительно при определенных условиях определяется величиной l , но при этом также зависит от соотношения диэлектрических проницаемостей слоев и от заданной контрастности в набегах фаз.

На рис. 2 представлены качественные зависимости ЧКХ от соотношения диэлектрических проницаемостей слоев в разных интервалах изменения их толщин. Количественно они могут быть выражены следующим образом для случаев I—IV соответственно:

$$T_{\Gamma} = \begin{cases} \frac{l + am}{m(a + pl)}; \\ \frac{l + am}{pml(1 + a)}; \\ \frac{l + am}{l(1 + apt)}; \\ 1. \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, при больших pm (аргумент считаем большим или малым в зависимости от того, равен гиперболический тангенс от него единице или аргументу)

Рис. 2. Зависимость ЧКХ набега фаз от соотношения диэлектрических проницаемостей диэлектрического и фотоэлектрооптического слоев: I — для больших pt и малых pl ; II — для больших pt и больших pl ; III — для малых pt и больших pl ; IV — для малых pt и малых pl .



контрастность тем выше, чем больше ϵ диэлектрика и меньше ϵ фотоэлектрооптического материала. При малых pt наблюдается обратная зависимость. Если pt и pl малы, ЧКХ близка к единице и от a практически не зависит.

Найденное выражение для ЧКХ набега фаз является предельным, так как в расчете предполагалось, что контраст в зарядовом рельефе равен контрасту во входном изображении. Это справедливо в том случае, если входное излучение равномерно поглощается по глубине, а концентрация ловушек и их сечение захвата достаточно велики, чтобы носители заряда были захвачены прежде, чем они растекутся вследствие диффузии и под действием поперечной составляющей $E_y(y, z)$. Это поле имеет синусоидальную зависимость от y (рис. 3) и направлено от областей с максимальной плотностью поверхностного заряда к областям с минимальной плотностью. Истинное значение ЧКХ набега фаз должно определяться произведением найденной ЧКХ растекания неравновесных носителей заряда с учетом поверхностных состояний и поперечного поля.

Рассмотрим, как контрастность выходного сигнала связана с ЧКХ набега фаз и, следовательно, с толщинами и диэлектрическими проницаемостями слоев.

На нелинейных участках квадратичной синусоиды $\sin^2(\Gamma/2)$ понятие контрастности выходного сигнала не имеет смысла. Однако контрастность выходного сигнала может быть определена через контрастность в набеге фаз. Так, например, на начальном участке квадратичной синусоиды, где функция равна квадрату аргумента, контрастность выходного сигнала

$$k_I = k_T^2 = \left(\frac{1 + T_\Gamma}{1 - T_\Gamma} \right)^2. \quad (6)$$

Это справедливо для малых абсолютных значений набега фаз и любых его контрастностей.

Как видно из (6), на этом участке контрастность выходного сигнала резко возрастает по сравнению с контрастностью Γ , но КПД по свету, как известно, здесь низок (не более 15—20% без учета всех потерь на отражение, поглощение, рассеяние).

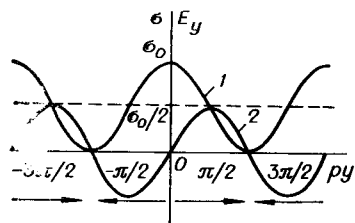


Рис. 3. Поверхностная плотность заряда 1 и поперечное поле 2 в направлении оси y . Стрелками указано направление поперечного поля.

ходной сигнал и на этой основе индуцированного набега фаз:

$$T_I = \pi T_\Gamma / 2.$$

Если амплитуда изменений Γ превышает область линейности выходного сигнала, то как и в первых двух случаях, можно определить контрастность выходного сигнала через T_Γ .

ЛИТЕРАТУРА

1. Хоменко А. В., Ковалев Н. Н., Петров М. П. Оптическая запись информации в PROM-структуре на основе $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$. — «Письма в ЖТФ», 1976, т. 2, вып. 23, с. 1095—1098.
2. Feinleib J., Oliver D. S. Reusable optical image storage and processing device. — "Appl. Opt.", 1972, vol. 11, N 12, p. 2752—2759.
3. Hou S. L., Oliver D. S. Pockels readout optical memory using $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$. — "Appl. Phys. Lett.", 1971, vol. 18, N 8, p. 325—328.
4. Клико А. Т., Котляр П. Е., Нежевенко Е. С., Фельдбуш В. И., Шибанов В. С. Пространственно-временные модуляторы света на монокристаллах $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$. — «Автоматрия», 1976, № 4, с. 34—43.
5. Шафферт Р. Электрофотография. М., «Мир», 1968.

Поступило в редакцию 4 июля 1977 г.;
окончательный вариант — 6 марта 1978 г.

УДК 531.383 : 621.378.325.2

В. В. КАРНАКОВ, Д. К. МЫНБАЁВ

(Ленинград)

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ГИРОМЕТРА

Применение лазерного гиromетра (ЛГ) в навигационных системах — один из путей повышения точности этих систем (естественно, при условии высокоточной работы самого ЛГ). Основной источник ошибок ЛГ — зависимость его оператора преобразования от вектора параметров, который меняется под действием влияющих факторов в реальных условиях эксплуатации. Уменьшение этих ошибок ЛГ возможно путем автоматической стабилизации параметров прибора около их номинального (оптимального) значения. Этот путь хорошо изучен (см., например, [1, 2]), предложено и реализовано множество типов систем автоматической стабилизации расстройки (периметра) и мощности (накачки) излучения. Принципиальными недостатками этого пути являются, во-первых, ограниченные возможности применения (например, в существенно нестационарных условиях эксплуатации препятствием является ограниченность хода исполнительного элемента системы стабилизации расстройки, кроме того, перемещение этого элемента — само источник ошибок), во-вторых, возможность построения таких систем не для всех параметров ЛГ (практически реализованы только системы стабилизации расстройки и мощности излучения). Поэтому автоматическая стабилизация параметров ЛГ не является универсальным и исчерпывающим методом повышения точности ЛГ.

Другим методом повышения точности ЛГ может служить автоматическая коррекция его показаний. Этот метод, насколько нам известно, практически не исследовался, в то время как он универсален, применим в любых условиях эксплуатации, достаточно прост в технической реализации. В настоящей работе рассматриваются сущность метода коррекции показаний и возможность его применения для уменьшения ошибок ЛГ из-за неустойчивости разности потерь встречных волн.

В общем случае уравнение измерительного преобразования, полученное в результате решения уравнений движения измерительного преобразователя (ИП), имеет вид

$$y = H(P, x)x, \quad (1)$$

где y и x — выходной и входной сигналы соответственно, H — оператор преобразования, P — вектор параметров ИП. Уравнение оптимального преобразования имеет вид

$$y_0 = H_0(P_0, x_0)x_0. \quad (2)$$

где индекс 0 означает, что берется оптимальное значение объекта исследования.

Погрешность измерения Δy представляет собой функционал «расстояния» между сигналами y и y_0 :

$$\Delta y = F(y, y_0). \quad (3)$$