

А. М. Гончаренко, Г. В. Синицын, С. П. Апанасевич, А. В. Ляхнович,
А. С. Ясюкевич, М. А. Ходасевич, Ю. А. Варакея

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИХ ПЛАНАРНЫХ УСТРОЙСТВ КОММУТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ ФАБРИ - ПЕРО НА ОСНОВЕ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Поперечные эффекты оптической бистабильности в нелинейных интерферометрах Фабри-Перо (ИФП) [1, 2] представляют интерес для разработки новых методов обработки оптических информационных сигналов. Такие методы используют запись информации в световых пикселях, сформированных на поверхности интерферометра посредством сфокусированного лазерного пучка [3]. Бистабильный характер поведения ИФП позволяет представлять информацию в двоичном виде, в зависимости от того, в каком – включенном или выключенном состоянии – находится конкретный световой пиксель, несущий один бит информации.

Обработка информации реализуется в ходе взаимодействия соседних световых пикселей, причем основой такого взаимодействия являются поперечные волны переключения. В [4] сообщалось об экспериментальной реализации линейного регистра сдвига на основе нелинейных полупроводниковых тонкопленочных интерферометров с термооптическим механизмом нелинейности и давалось описание «lock-and-clock» архитектуры, обеспечивающей поперечный информационный сдвиг между световыми пикселями. Волны переключения в полностью эпитаксиальном интерферометре Фабри-Перо на основе GaAs [5] впервые наблюдались в работе [6].

Целью настоящей работы являлась экспериментальная реализация прототипа линейного сдвигового регистра, который переносит включенное/выключенное состояние локальной области (светового пикселя) на поверхности интерферометра на основе GaAs вдоль линейной матрицы таких пикселей, примыкающих друг к другу

В качестве источника излучения использовался лазер на N_2^+ – центрах окраски (ЦО), генерирующий импульсы микросекундной длительности, по форме близкие к прямоугольным. Длина волны излучения составляла 890 нм, ширина спектра – около 0,1 нм. Система регистрации включала быстродействующие фотодиоды, электронный осциллограф и ПЗС-камеру. Пространственное разрешение, достигаемое

с помощью камеры, в данном случае составляло 30 мкм, временное разрешение, ограниченное быстродействием фотодиодов и осциллографа - 2 нс

В наших экспериментах интерферометр работал на отражение и его состоянию с высоким коэффициентом отражения ставился в соответствие логический ноль («0»), состоянию с низким отражением - логическая единица («1»).

Типичные зависимости интенсивности от времени падающего на ИФП и отраженного от него излучения, полученные нами, приведены на рис. 1. Минимальная плотность световой мощности, достаточная для достижения бистабильного переключения используемого ИФП, составляет менее 10 кВт/см².

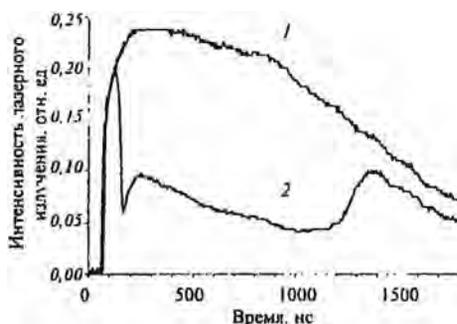


Рис. 1. Типичные зависимости интенсивности падающего на интерферометр и отраженного от него излучения от времени при возбуждении лазером на центрах окраски

1 — интегральная по мощности кинетика падающего на ИФП излучения.
2 — локальная кинетика отраженного от ИФП излучения

Матрица примыкающих друг к другу пикселей моделировалась световой "полоской" (2000×50 мкм²) которая была сформирована на поверхности нелинейного интерферометра при фокусировке пучка лазера на ЦО посредством цилиндрической линзы с фокусным расстоянием 50 мм (рис. 2). Регистрация временных зависимостей световой мощности, отраженной от соседних областей световой полоски, давала возможность наблюдения работы сдвигового регистра.

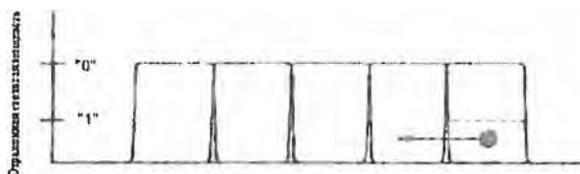


Рис. 2. Схема цепочки пикселей, образующих регистр сдвига

На рис. 3 – 5 представлены результаты экспериментов, демонстрирующих процесс сдвига информационного сигнала фронтом волны переключения. Сначала интенсивность возбуждения в цепочке пикселей была выбрана такой, чтобы нелинейный интерферометр находился в состоянии, близком к порогу бистабильного перехода. При этом бистабильное переключение не происходит и в «полоске» распределение световой интенсивности близко к плоскому (рис. 3)

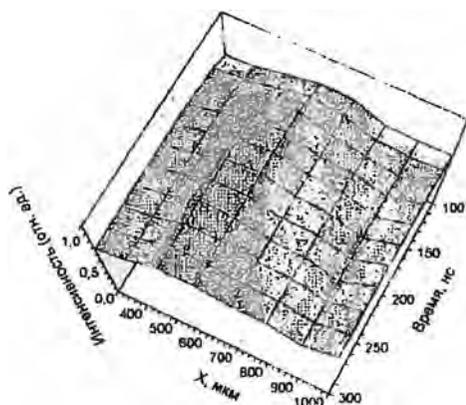


Рис. 3. Эволюция профиля интенсивности вдоль линейной цепочки пикселей в плоскости интерферометра на основе GaAs при отсутствии сигнального светового пучка

Затем в зоне крайнего пикселя интенсивность светового сигнала повышалась выше порога включения. При этом в области с более вы-

сокой световой интенсивностью происходит бистабильное переключение из нулевого в единичное состояние. Далее, соседний световой пиксель с уровнем возбуждения ниже порога также переходит во включенное состояние вследствие распространения волны переключения. Таким образом, состояние логической единицы крайнего пикселя распространяется вдоль линейной матрицы световых пикселей (рис. 4). Наиболее отчетливо это проявляется при рассмотрении продольных профилей интенсивностей в различные моменты времени (рис. 5).

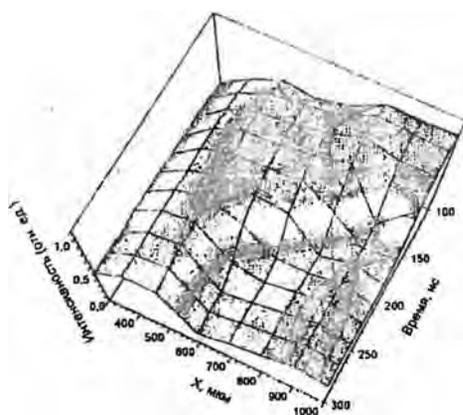


Рис. 4. Эволюция профиля интенсивности вдоль линейной цепочки пикселей в плоскости интерферометра на основе GaAs при переводе крайнего пикселя матрицы в состояние логической единицы (локальном увеличении подаваемой мощности в области края матрицы)

Из рис. 5 можно оценить, что скорость волны переключения достигает 5 мкм/нс. Таким образом, нами экспериментально промоделирован процесс переноса бита вдоль линейной цепочки световых пикселей. Средняя плотность мощности возбуждения в цепочке приблизительно равна 15 мкВт/мкм².

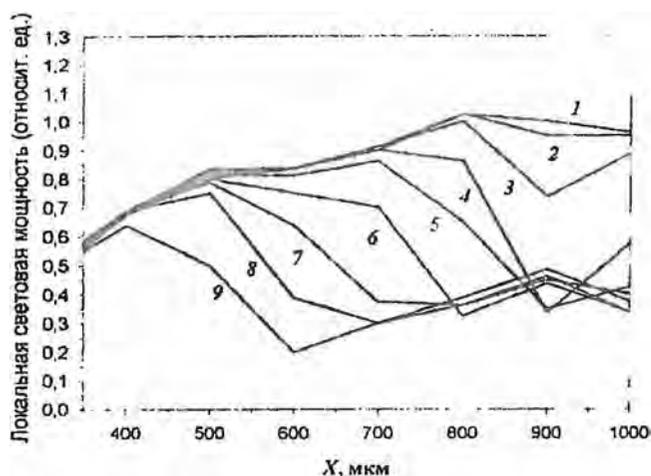


Рис. 5. Профили интенсивности вдоль линейной цепочки пикселей в плоскости интерферометра на основе GaAs в различные моменты времени после подачи сигнального светового импульса: 1 — 130 нс, 2 — 140 нс, 3 — 150 нс, 4 — 170 нс, 5 — 180 нс, 6 — 200 нс, 7 — 220 нс, 8 — 240 нс, 9 — 340 нс

Для практических применений представляет интерес, во-первых, уменьшение размеров световых пикселей (что должно привести к уменьшению длительности цикла сдвига сигнала в регистре) и, во-вторых, использование источников излучения, которые являются компактными и обеспечивают работу информационных систем в частотном режиме. Такими источниками могут быть, например, узкополосные лазерные диоды

Используя в качестве источника возбуждения мощный узкополосный лазерный диод (891 нм DFB Laser System, фирма RPMC, США), мы получили бистабильное переключение [7] в отдельном световом пикселе, сформированном на поверхности ИФП. Размер пикселя составлял приблизительно $13 \times 12 \text{ мкм}^2$, пороговая интенсивность бистабильного переключения составляла около 20 мкВт/мкм^2 .

Таким образом, можно оценить время передачи бита в линейном регистре, состоящем из четырех пикселей длиной по 10 мкм и реализованном на бистабильном полностью эпитаксиальном интерферометре с промежуточным слоем на основе GaAs при возбуждении излучением с длиной волны в окрестности 890 нм [При скорости волны

переключения 5 мкм/пс сигнал в четвертом пикселе регистра появится через 6 нс

Это время может быть существенно уменьшено при использовании бистабильных устройств с промежуточным слоем из GaAs/GaAlAs с множественными квантовыми ямами или из полимерных материалов, обладающих более короткими временами релаксации [8].

Работа выполнена при частичной поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Ф01-277).

Литература

1. *Розанов Н.Н.* Оптическая бистабильность и гистерезис в распределенных нелинейных системах. М.: Наука. Физматлит. 1997. 336 с.
2. *Apanasevich S.P., Lyakhovich A.V.* Transverse effects in optical bistability for transportation of light information // *Phys Stat Solidi B* 1988 Vol. 150. P. 507-512.
3. Planar - free space optical circuits based on the "transverse lock - and - clock" architecture / G.V. Sinitsyn, F.V. Karpushko, S.P. Apanasevich et al. Optical Computing. Inst. of Phys Conf. Ser. № 139. Inst. of Phys. Publish. P. 105-108
4. All-optical implementation of information shift on the base of transverse effects in optical bistability / G.V. Sinitsyn, S.P. Apanasevich, A.V. Lyakhovich, F.V. Karpushko // *Proc. SPIE*. 1993. Vol. 1806. P. 559-565.
5. True-CW operation of GaAs bistable etalon with electronic optical nonlinearity / D.J. Goodwill, A.C. Walker, A.H. Kean, C.R. Stanley // *Electronics Letters*. 1992. Vol. 28, № 17 P. 1599-1600
6. Transverse switching waves in optically bistable GaAs/GaAlAs etalon with electronic nonlinearity for 2D optical processing / G.V. Sinitsyn, F.V. Karpushko, A.M. Goncharenko et al. / 1996 International Topical Meeting on Optical Computing. Techn. Digest. Sendai 1996. P. 214-215
7. Dynamics of switching waves and realization of shift register in optically bistable GaAs/GaAlAs interferometer / G.V. Sinitsyn, S.P. Apanasevich, A.V. Lyakhovich et al. // *Proc. SPIE*. 2002. Vol. 4750. P. 323-326.
8. *Stegeman G.J., Torruellas W.E.* Nonlinear materials for information processing and communications // *Phil. Trans Roy. Soc. Lond. Ser. A*. 1996 Vol. 354, № 1708. P. 745-756.