



Современные конструктивно-технологические методы создания интегральных оптических логических элементов

А. В. Якухина, В. В. Платонов, Д. В. Горелов, В. В. Амеличев, В. В. Светухин
ФГБНУ «Научно-производственный комплекс «Технологический центр», г. Зеленоград, Москва, Россия

Представлены основные конструктивно-технологические методы создания интегрально-оптических элементов. Показано, что современные базовые оптические логические элементы («И», «ИЛИ», «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ») могут быть реализованы двумя основными методами: на интегрально-оптических структурах, содержащих в своем составе интерферометры Маха-Цендера и микрорезонаторы, и на двумерных фотонных кристаллах. Перечислены основные преимущества и конструктивно-технологические особенности каждого из методов создания интегрально-оптических логических элементов (ИОЛЭ) для создания перспективных фотонных интегральных схем (ФИС).

Ключевые слова: оптические логические элементы, фотонный кристалл, интегральная оптика, фотонная интегральная схема

Статья получена: 08.11.2022

Статья принята: 29.11.2022

ВВЕДЕНИЕ

Развитие конструктивно-технологических методов создания элементной базы фотонных интегральных схем (ФИС) позволило получить ряд основных преимуществ перед СБИС по скорости

Contemporary Structural and Technological Methods for Creating Integrated Optical Logic Elements

A. V. Yakuhina, V. V. Platonov, D. V. Gorelov, V. V. Amelichev, V. V. Svetukhin
Scientific-Manufacturing Complex "Technological Centre", Zelenograd, Moscow, Russia

The main constructive-technological methods for creating integrated optical elements are presented. It is shown that modern basic optical logic elements ("AND", "OR", "AND-NOT", "OR-NOT") can be implemented by two main methods: on integrated optical structures containing Mach-Zehnder interferometers and microresonators, and on two-dimensional photonic crystals. The main advantages and design and technological features of each of the methods for creating integrated optical logic elements (IOLE) for creating promising photonic integrated circuits (PIC) are listed.

Key words: optical logic elements, photonic crystal, integrated optics, photonic integrated circuit

Received on: 08.11.2022

Accepted on: 29.11.2022

INTRODUCTION

The development of constructive and technological methods in the field of creating the PIC element base made it possible to obtain a number of main advantages over very large integrated circuits (VLIC) in terms of the speed of information signal transmission, power dissipation and resistance to external influencing factors [1-3]. The decisive role in this belongs to modern methods of creating basic optical logic elements ("AND", "OR", "AND-NOT", "OR-NOT"), which can be implemented by two main methods: on integrated optical structures containing in its composition, Mach-Zehnder interferometers and microresonators, and on two-dimensional photonic crystals. Thanks to advances in the field of

передачи информационных сигналов, рассеиваемой мощности и устойчивости к внешним воздействующим факторам [1-3]. Решающая роль в этом принадлежит современным методам создания базовых оптических логических элементов («И», «ИЛИ», «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ»), которые могут быть реализованы двумя основными методами: на интегрально-оптических структурах, содержащих в своем составе интерферометры Маха-Цендера и микрорезонаторы, и на двумерных фотонных кристаллах. Благодаря достижениям в области интегральных оптических волноводов и волноводных структур стал возможен переход к реализации высоко-

эффективных электронно-фотонных цифровых вычислений (ЭФЦВ) с использованием излучения лазера, интегрально-оптических логических элементов (ИОЛЭ) и СБИС [4]. Относительно обычных логических элементов СБИС, ИОЛЭ позволят значительно повысить скорость вычислений и снизить энергопотребление ФИС [5-9]. На определенном этапе развития устройств ЭФЦВ конвергенция СБИС и ФИС может быть реализована путем многокристальных микросборок [10]. Оставив за границами краткого обзора вопросы создания межэлементных соединений в устройствах ЭФЦВ, сфокусируем внимание на основных конструктивно-технологических методах создания интегрально-оптических элементов, которые активно развиваются в настоящее время для создания перспективных ФИС.

ИОЛЭ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ СТРУКТУР

На рис. 1 приведена схема ИОЛЭ, выполняющая логическую функцию «И», на интерферометрах Маха-Цендера (ИМЦ), сформированных на волноводах из $Ti:LiNbO_3$ [11]. Электрооптические свойства $Ti:LiNbO_3$ позволяют использовать его для реализации оптических переключений в волноводной структуре ИМЦ. Для реализации функции «И» используется каскадное включение интерферометров. Оптический сигнал подается на входной порт 2 (Optical Signal) ИМЦ1 (MZI1). Выходной порт 2 ИМЦ1 (MZI1) подключен к входному порту 1 ИМЦ2 (MZI2). На центральные электроды (управ-

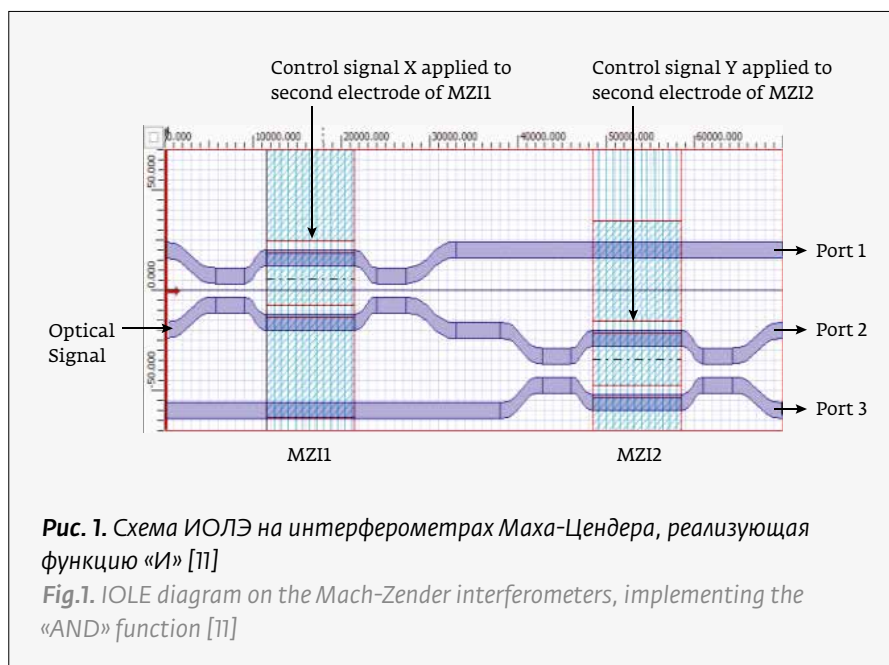


Рис. 1. Схема ИОЛЭ на интерферометрах Маха-Цендера, реализующая функцию «И» [11]

Fig.1. IOLE diagram on the Mach-Zehnder interferometers, implementing the «AND» function [11]

integrated optical waveguides and waveguide structures, the transition to the implementation of high-performance electron-photon digital computing (EPDC) using laser radiation, IOLE and VLIC has become possible [4]. Relative to conventional VLIC logical elements, IOLE will significantly increase the computation speed and reduce the power consumption of PIC [5-9]. At a certain stage in the development of EPDC devices, the convergence of VLIC and PIC can be implemented by means of multi-chip microassemblies [10]. Leaving out of brief review the issues of creating interelement connections in EPDC devices outside the boundaries of a brief review, we will focus on the main structural and technological methods for creating integrated optical elements that are actively being developed at the present time to create promising PIC.

IOLE BASED ON INTEGRAL OPTICAL STRUCTURES

Figure 1 shows the IOLE diagram performing the logical function “AND” on Mach-Zehnder interferometers (IMC) formed on waveguides from $Ti:LiNbO_3$ [11]. The electro-optical properties of the $Ti:LiNbO_3$ allow it to be used to implement optical switching in the waveguide structure of the IMC. The AND function is implemented by cascading the interferometers. The optical signal is applied to the IMTs1 input port 2. Output port 2 is IMTs1 connected to input port 1 IMTs2. Potentials are supplied to the central electrodes (control electrodes) of both IMCs. The voltages on the electrodes correspond to the control signals X

ляющие электроды) обоих ИМЦ подаются потенциалы. Напряжения на электродах соответствуют управляющим сигналами X и Y на ИМЦ1 (MZI1) и ИМЦ2 (MZI2). Логическая «1» соответствует высокому потенциалу, а логический «0» – его отсутствию. На рис. 2 приведено распределение оптических полей и таблица истинности, описывающие работы ИОЛЭ.

Представленные на рис. 2 распределения оптических полей для различных комбинаций управляющих сигналов X и Y показывают, что оптическая мощность присутствует на выходном порте 2 только при X=Y=1. В других случаях выходной сигнал равен нулю. Таким образом, выходной порт 2 (Port 3) ИМЦ2 (MZI2) в ИОЛЭ выполняет функцию логического «И» для различных комбинаций управляющих входов.

В работе [12] представлена конструкция сверхмалого многомодового интерферометра, реализованного на кремниевой интегрально-оптической структуре (вентиль Ψ), имеющей малые потери и высокую скорость выполнения логических операций. С использованием такого вентиля можно реализовывать булевы логические операции на длине волны 1535–1565 нм со сверхмалой задержкой ~30 фс и высокой скоростью передачи (до 20 Гбит/с). Вентиль состоит из простых сумматоров 3×1 (значение близкое к теоретическому пределу), имеющих 3 входа и 1 выход.

Конструкция Ψ -вентиля (рис. 3) состоит из одного Y-объединителя длиной 3 мкм с одним коническим волноводом для входного сигнала

and Y on the IMTs1 and IMTs2. Logical “1” corresponds to a high potential, and logical “0” corresponds to its absence. Figure 2 shows the distribution of optical fields and the truth table describing the operation of the IOLE.

The optical field distributions for the various combinations of control signals X and Y shown in Figure 2 show that optical power is present on output port 2 only at X = Y = 1. In other cases, the output signal is zero. Thus, the IMTs2 output port 2 in the IEID performs the logical AND function for various combinations of control inputs. [12] shows the design of an ultra-small multimode interferometer implemented on a silicon integral-optical structure (valve Ψ) having low losses and high speed of logic operations. Using such a valve, Boolean logic operations at a wavelength of 1535–1565 nm can be implemented with an ultra-low delay of ~ 30 fs and a high transmission rate (up to 20 Gbps). The valve consists of simple adders 3×1 (a value close to the theoretical limit) with 3 inputs and 1 output.

The design of the Ψ valve (Figure 3) consists of one 3 μm Y combiner with one conical waveguide for the input bias signal. Ψ valve is made on silicon-on-insulator (SOI) substrate with thickness of working layer of silicon 220 nm. The structure was obtained by electron beam lithography followed by a plasma chemical etching step.

IOLE ON MICRORESONATORS

Figure 4 shows the IOLE implementing the logic function “AND/AND-NOT,” consisting of two microring resonators (MRR) with parallel input waveguides. The device is made on a SOI substrate [13]. The MRR radius is 10 μm . The gap between the MRR and the waveguide is 325 nm. To modulate the signal, PIN diodes are formed around the MCR, over which titanium heaters are made. IOLE “AND/AND-NOT,” has four ports Input, Through, Drop and Add. The high and low level of electrical pulses (EPs) supplied to the MRR correspond to logical “1” and “0.” The Drop (Y2) and Through (Y1) ports are logical outputs. The logical “1” corresponds to high optical power, and the logical “0” corresponds to low optical power.

MRR is in resonance mode at wavelength λ_w at EPS, and in non-





Распределение оптического поля	Конт. сиг. X	Конт. сиг. Y	Порт 1	Порт 2 (X&Y)	Порт 3
	0	0	1	0	0
	0	1	1	0	0
	1	0	0	0	1
	1	1	0	1	0

Рис. 2. Распределение оптического поля и таблица истинности для ИОЛЭ, реализующего функцию «И» [11]

Fig.2. Optical field distribution and truth table for IOLE implementing the «AND» function [11]

смещения. Ψ -вентиль изготовлен на подложке кремний-на-изоляторе (КНИ) с толщиной рабочего слоя кремния 220 нм. Структура получена методом электронно-лучевой литографии с последующим этапом плазмохимического травления.

ИОЛЭ НА МИКРОРЕЗОНАТОРАХ

На рис. 4 приведен ИОЛЭ, реализующий логическую функцию «И/И-НЕ», состоящий из двух микрокольцевых резонаторов (МКР) с параллельными подводящими волноводами. Устройство изготовлено на подложке КНИ [13]. Радиус МКР составляет 10 мкм. Зазор между МКР и волноводом 325 нм. Для модулирования сигнала вокруг МКР сформированы PIN-диоды, поверх которых изготовлены титановые нагреватели. ИОЛЭ «И/И-НЕ», имеет четыре порта Input, Through, Drop и Add. Высокий и низкий уровень электрических импульсов (EPS), подаваемых на МКР, соответствуют логическим «1» и «0». Порты Drop (Y_2) и Through (Y_1) являются логическими выходами. Логической «1» соответствует высокая оптическая мощность, а логическому «0» – низкая оптическая мощность.

МКР находится в режиме резонанса на длине волны λ_w при EPS и в нерезонансном режиме на λ_w , при подаче EPS. При EPS=«0» ($X=0, Y=0$) оба МКР находятся в резонансе на λ_w , при этом излучение направляется на порт Drop (Y_2) ($Y_2=1, Y_1=0$). При EPS=«1» на одном из МКР ($X=0, Y=1$ или $X=1, Y=0$) излучение также направляется на порт Drop (Y_2) ($Y_2=1, Y_1=0$). При EPS=«1» на двух МКР ($X=1, Y=1$) излучение направляется на порт Through (Y_1) ($Y_2=0, Y_1=1$). Таким образом, представленный ИОЛЭ может одновременно выполнять две функции «И/И-НЕ». Таблица истинности ИОЛЭ показана на рис. 4с.

ИОЛЭ НА ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ (ФК)

Сильная локализация излучения в фотонных кристаллах (ФК) обусловлена наличием фотонной запрещенной зоны в таких структурах, что позволяет использовать их для создания оптических линий, микрорезонаторов, переключателей и других сверхбыстродействующих оптических систем с микронными размерами и минимальным оптическим затуханием. Основными элементами ИОЛЭ на ФК, как и для ИОЛЭ на планарных волноводных структурах, являются интерферометры или микрорезонаторы [14].

На основе фотонно-кристаллических кольцевых резонаторов (ФКР) реализовано боль-

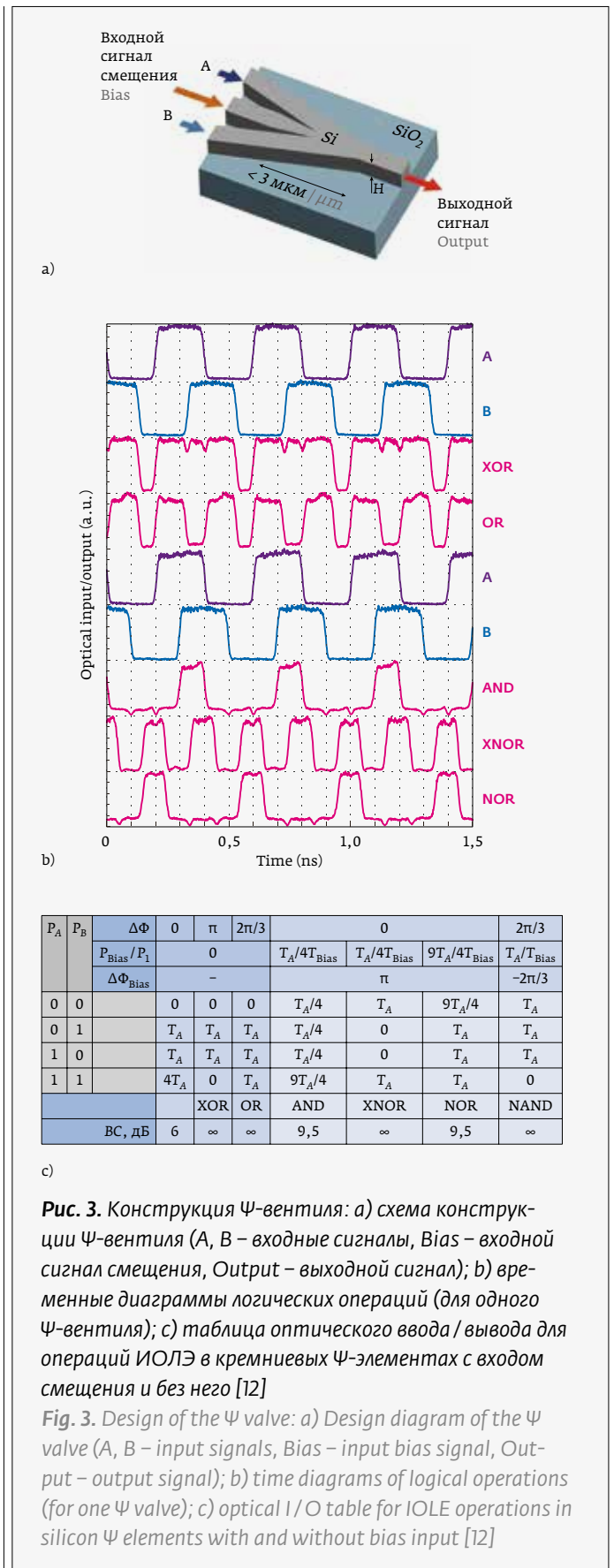


Рис. 3. Конструкция Ψ -вентиль: а) схема конструкции Ψ -вентиль (A, B – входные сигналы, Bias – входной сигнал смещения, Output – выходной сигнал); б) временные диаграммы логических операций (для одного Ψ -вентиль); в) таблица оптического ввода / вывода для операций ИОЛЭ в кремниевых Ψ -элементах с входом смещения и без него [12]

Fig. 3. Design of the Ψ valve: a) Design diagram of the Ψ valve (A, B – input signals, Bias – input bias signal, Output – output signal); b) time diagrams of logical operations (for one Ψ valve); c) optical I/O table for IOLE operations in silicon Ψ elements with and without bias input [12]

шое количество конструкций ИОЛЭ. В работе [15] представлена конструкция ИОЛЭ на ФККР (рис. 5), состоящий из массива кремниевых столбиков ($n_{Si-3,4}$), сформированных на слое с низким показателем преломления (SiN_x , SiO_x , полимеры). Для формирования ФК-волноводов ($L1$, $L2$, $L3$) часть столбиков удаляется. Радиус столбиков $R=0,21a$, где $a=630$ нм – постоянная решетки ФККР. Структура ФККР обеспечивает резонанс на длине волны 1550 нм. Для исключения обратного рассеяния в углах всех ФККР и волновода $L2$ формируются дополнительные столбики, смещенные в сторону угла на $0,707a$.

Представленный на рис. 5 ИОЛЭ реализует логическую функцию «НЕ». Структура ФККР образована тремя волноводами ($L1$, $L2$, $L3$), четырьмя портами (A, B, C, D) и управляющим портом (S). Оптическая структура возбуждается через входной порт A оптическим сигналом смещения на длине волны $\lambda = 1550$ нм. В зависимости от управляющего сигнала, поступающего в порт S, сигнал смещения направляется в один из выходных портов (B, C, D) (рис. 5). Переключения сигнала осуществляются за счет повышения интенсивности излучения в кольце, приводящего к изменению эффективного показателя преломления из-за нелинейного эффекта Керра. Когда сигнал управляющего порта $S=0$ (0 мВт), входной оптический сигнал из порта A через кольцо перетекает в порт C. При $S=1$ (100 мВт) интенсивность поля в кольце увеличивается, что препятствует перетеканию входного сигнала из порта A в кольцо, направляя его в выходной порт B.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для реализации ФИС наиболее перспективными ИОЛЭ являются элементы на интегрально-оптических структурах и двумерных ФК. Однако эффективная реализация ИОЛЭ на ФК заключается в формировании малоразмерных (топологические размеры элементов порядка 100 нм) структур (столбиков/отверстий) с высоким аспектным соотношением. ИОЛЭ, реализованные на базе ФК, могут стать альтернативой традиционным СБИС для проведения высокоэффективных вычислений, а ИОЛЭ, реализованные на базе интегрально-оптических структур, могут стать альтернативой быстродействующим схемам малой интеграции. Дальнейшие разработки конструктивно-технологических методов создания ИОЛЭ на базе результатов проведенных исследований станут залогом успешного создания ФИС и устройств ЭФЦВ.

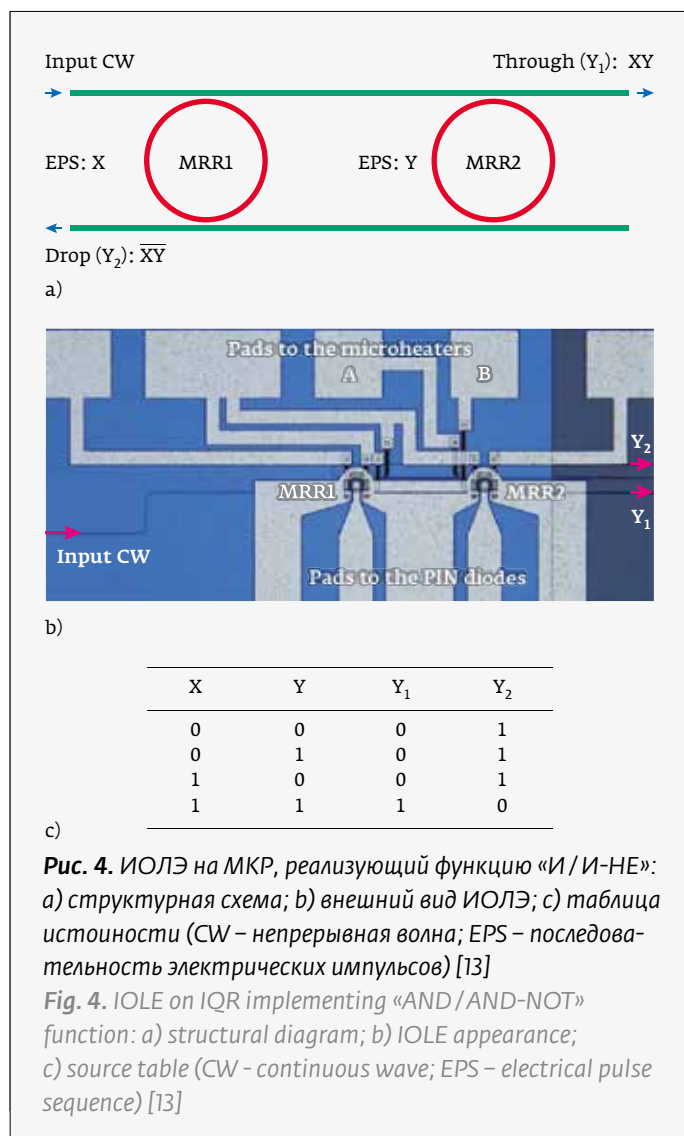


Рис. 4. ИОЛЭ на МКР, реализующий функцию «И/И-НЕ»: а) структурная схема; б) внешний вид ИОЛЭ; в) таблица истинности (CW – непрерывная волна; EPS – последовательность электрических импульсов) [13]

Fig. 4. IOLE on IQR implementing «AND/AND-NOT» function: a) structural diagram; b) IOLE appearance; c) source table (CW - continuous wave; EPS – electrical pulse sequence) [13]

resonant mode at λ_w , at EPS supply. At EPS="0" ($X=0$, $Y=0$), both IQRs are in resonance on the λ_w , with radiation directed to the Drop port (Y_2) ($Y_2 = 1$, $Y_1 = 0$). At EPS="1" on one of the IQRs ($X=0$, $Y=1$ or $X=1$, $Y=0$), radiation is also directed to the Drop port (Y_2) ($Y_2 = 1$, $Y_1 = 0$). At EPS="1" on two IQRs ($X=1$, $Y=1$), the radiation is directed to the Through port (Y_1) ($Y_2 = 0$, $Y_1 = 1$). Thus, the presented IOLE can simultaneously perform two AND/AND-NOT functions. The IOLE truth table is shown in Figure 4c.

IOLE ON PHOTONIC CRYSTALS (PCS)

The strong localization of radiation in photonic crystals (PCs) is due to the presence of a photonic band gap in such structures, which makes it possible to use them to create optical lines, microcavities, switches, and other ultrafast optical systems with micron dimensions and minimal optical attenuation. The main

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа проведена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания на 2022 год (проект № FNRМ-2022-0007) «Теоретические и экспериментальные исследования основных закономерностей функционирования интегральных оптических логических элементов, сформированных с использованием отечественной производственной базы и конструктивно-технологических методов разработки кремниевых микросхем».

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

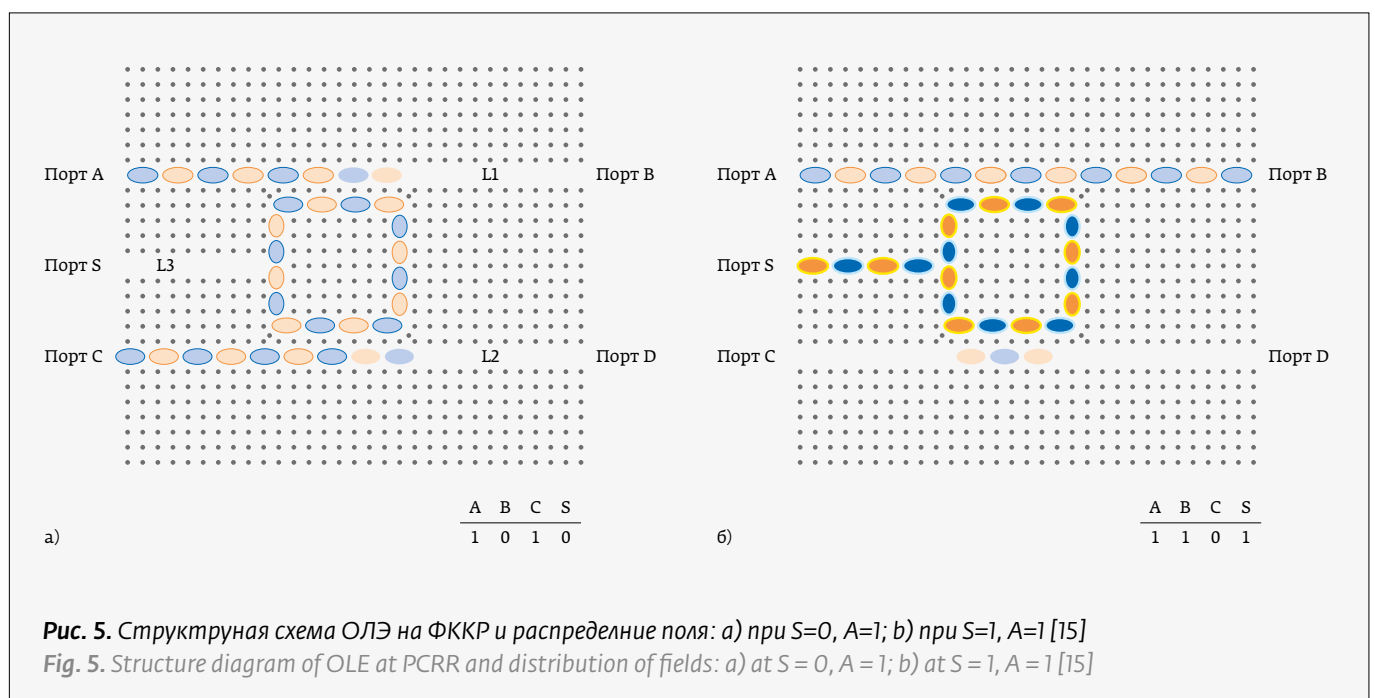
- А.В. Якухина, научный сотрудник НПК «Технологический центр»,
A. Yakuhina@tscen.ru, Москва, Зеленоград, Россия.
ORCID: 0000-0002-0729-9653
- В. В. Платонов, к. т. н. старший научный сотрудник НПК «Технологический центр», Москва, Зеленоград, Россия.
ORCID: 0000-0001-9350-5013
- Д. В. Горелов, начальник НИЛ ОИМС НПК «Технологический центр», Москва, Зеленоград, Россия.
ORCID: 0000-0002-0887-9406
- В. В. Амеличев, к. т. н., начальник отдела МСТ НПК «Технологический центр», Москва, Зеленоград, Россия.
ORCID: 0000-0002-4204-2626
- В. В. Светухин, д. ф.-м. н., профессор, директор НПК «Технологический центр», Москва, Зеленоград, Россия.
ORCID: 0000-0003-0831-9254

ВКЛАД АВТОРОВ

Статья подготовлена на основе работы всех членов авторского коллектива: А. В. Якухина – поиск и перевод иностранных источников, анализ собранных данных, обработка и обсуждение результатов; В. В. Платонов – поиск и перевод иностранных источников, анализ собранных данных; Д. В. Горелов –

elements of IOLE on PC, as well as for IOLE on planar waveguide structures, are interferometers or microresonators [14]. On the basis of photonic-crystal ring resonators (PCRR), a large number of IOLE designs are implemented. The paper [15] presents the design of an IOLE based on a PCRR (Figure 5), consisting of an array of silicon columns ($n_{Si} \sim 3.4$) formed on a layer with a low refractive index (SiN_x , SiO_x , polymers). To form PC waveguides (L1, L2, L3), some of the columns are removed. The column radius is $R=0.21a$, where $a=630$ nm is the PCRR lattice constant. The PCRR structure provides resonance at a wavelength of 1550 nm. To prevent backscattering, additional columns are formed in the corners of all the PCRR and waveguide L2, which are shifted towards the angle by $0.707a$.

The IOLE shown in Figure 5 implements the logical function “NOT”. The PCRR structure is formed by three waveguides (L1, L2, L3), four ports (A, B, C, D) and a control port (S). The optical structure is excited through input port A with an optical bias signal at a wavelength of $\lambda = 1550$ nm. Depending on the control signal entering port S, the bias signal is sent to one of the output ports (B, C, D) (Figure 5). Signal switching is carried out by increasing the radiation intensity in the ring, which leads to a change in the effective refractive index due to the nonlinear Kerr effect. When the control port signal $S=0$ (0 mW), the input optical signal from port A flows through the ring to port C. At $S=1$ (100 mW), the field intensity in the ring increases, which prevents the input signal





организация работы, поиск и перевод иностранных источников, анализ собранных данных, обработка и обсуждение результатов; В. В. Амеличев – организация работы, обсуждение результатов; В. В. Светухин – организация работы, обсуждение результатов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Все авторы приняли участие в написании рукописи в части вклада каждого из них в работу и согласны с полным текстом рукописи

REFERENCES

1. **Chen R. T. et al.** Fully embedded board-level guided-wave optoelectronic interconnects. *Proceedings of the IEEE*. 2000; 88(6): 780–793. DOI: 10.1109/5.867692.
2. **Zhang L. et al.** Demonstration of directed XOR/XNOR logic gates using two cascaded microring resonators. *Optics letters*. 2010; 35(10):1620–1622. DOI: 10.1364/OL.35.001620.
3. **Tian Y. et al.** Proof of concept of directed OR/NOR and AND/NAND logic circuit consisting of two parallel microring resonators. *Optics letters*. 2011; 36(9):1650–1652. DOI:10.1364/OL.36.001650.
4. **Stepanenko S. A.** Photonic Computer. Element Base. *Photonics Russia*. 2020; 14(8): 696–707. DOI: 10.22184/1993–7296.FRos.2020.14.8.696.707.
5. **Ying Z. et al.** Sequential logic and pipelining in chip-based electronic-photonic digital computing. *IEEE Photonics Journal*. 2020;12(6):1–11. DOI: 10.1109/JPHOT.2020.3031641.
6. **Ying Z., Feng C., Zhao Z., Dhar S., Dalir H., Gu J., Soref R., Pan D. Z., Chen R. T.** Electronic-photonic arithmetic logic unit for high-speed computing. *Nat. Commun.* 2020;11(1): 2154–2159. DOI:10.1038/s41467–020–160527–3.
7. **Ying Z., Wang Z., Zhao Z., Dhar S., Pan D. Z., Soref R., Chen R. T.** Silicon microdisk-based full adders for optical computing. *Opt. Lett.* 2018; 43(5): 983–986. DOI: 10.1364/OL.43.000983.
8. **Shen Y., Harris N. C., Skirlo S., Englund D., Soljačić M.** Deep learning with coherent nanophotonic circuits. *Nat. Photonics*. 2017; 11(7): 441–446. DOI: 10.1038/NPHOTON.2017.93.
9. **Vandoorne K., Mechet P., T. Van Vaerenbergh, Fiers M. et al.** Experimental demonstration of reservoir computing on a silicon photonics chip. *Nat. Commun.* 2014; 5(1): 3541–3546. DOI: 10.1038/ncomms4541.
10. **Atabaki A. H. et al.** Integrating photonics with silicon nanoelectronics for the next generation of systems on a chip. *Nature*. 2018; 556(7701): 349–354. DOI:10.1038/s41586–018–0028–z.
11. **Kaur S. et al.** Performance comparison of all-optical logic gates using electro-optic effect in MZI-based waveguide switch at 1.46 μm . *Journal of Optical Communications*. 2020. DOI:10.1515/joc-2020-0125.
12. **Kita S., Nozaki K., Takata K., Shinya A., Notomi M.** Ultralow Latency Optical Logic Operations with an Ultrasmall Silicon Wire Ψ Gate. *NTT Technical Review*. Oct. 2020;18(10).
13. **Tian Y., Zhang L., Yang L.** Electro-optic directed AND/NAND logic circuit based on two parallel microring resonators. *Optics Express*. 2012; 20(15): 16794–16800. DOI: 10.1364/OE.20.016794.
14. **Jot Singh, Divya Dhawan, Neena Gupta.** All-optical photonic crystal logic gates for optical computing: an extensive review. *Optical Engineering*. 2020; 59(11):110901. DOI: 10.1117/1.OE.59.11.110901
15. **Tamer A. Moniem.** All-optical XNOR gate based on 2D photonic-crystal ring resonators. *Quantum Electronics*. 2017;47(2):169–172. DOI:10.1070/QEL16279.

from flowing from port A to the ring, directing it to the output port B.

CONCLUSION

To implement PIC, the most promising IOLEs are elements on integral-optical structures and two-dimensional PCs. However, an effective implementation of IOLE on PK is to form small (topological element sizes of the order of 100 nm) structures (columns/holes) with a high aspect ratio. Based on the analysis of information sources, it can be concluded that, for the implementation of high-performance calculations using IOECs, implemented on the basis of a PC, they can become an alternative to traditional VLSI, while IOECs, implemented on the basis of integrated optical structures, can become an alternative to high-speed small circuits integration. In this regard, a comprehensive study and development of constructive and technological methods for creating an IOLE is the key to the successful creation of a FIS and an EFCV device.

ACKNOWLEDGMENTS

This article was prepared with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the state assignment for 2022 (project No. FNRM-2022-0007) “Theoretical and experimental studies of the main regularities of the functioning of integrated optical logic elements formed using the domestic production base and structural and technological methods for the development of silicon chips.”

CONTRIBUTION OF AUTHORS

The article was prepared on the basis of the work of all members of the author’s team: A. V. Yakukhin – search and translation of foreign sources, analysis of the collected data, processing and discussion of results; V. V. Platonov – search and translation of foreign sources, analysis of collected data; D. V. Gorelov – organization of work, search and translation of foreign sources, analysis of collected data, processing and discussion of results; V. V. Amelichev – organization of work, discussion of results; V. V. Svetukhin – organization of work, discussion of results.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest. All authors participated in the writing of the manuscript in terms of the contribution of each of them to the work and agree with the full text of the manuscript

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ:

- Правительство Омской области
- Администрация города Омска
- ОРО ООО «Союз машиностроителей России»
- Омская Ассоциация промышленников и предпринимателей Омской области
- Представительство ГК «Ростех» в Омской области
- Союз «Омская Торгово-промышленная палата»



21-22 марта
ОМСК
2023

XXII СИБИРСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ПРОМТЕХЭКСПО

МАШИНОСТРОЕНИЕ

СВЯЗЬ • IT - ТЕХНОЛОГИИ

АВТОМАТИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

ИЗМЕРЕНИЯ • СВАРКА • ОМСКГАЗНЕФТЕХИМ

ВАКУУМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ • ИНЭКСПО ЭНЕРГОСИБ, СИБМАШТЭК



(3812) 23-23-30



e-mail: expoomsk@yandex.ru, gd.intersib@yandex.ru