



ФОТОННЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

П.О.Якушенко, магистрант
НИУ "Московский физико-технический институт"

Вычислительная техника началась с машины Тьюринга. С тех пор она развивалась: большие ламповые ЭВМ, полупроводниковая транзисторная электроника, интегральные схемы. В настоящее время интегральная кремниевая электроника достигла своего предела (10 ГГц), и давно наступила пора переходить на фотонику. В статье с учетом достоинств фотонных интегральных схем рассматриваются уже существующие и перспективные схемы на их основе, а также некоторые варианты построения оптических транзисторов.

ВВЕДЕНИЕ

В устройствах современной фотоники носителем сигнала служит волна оптического или ИК-диапазона электромагнитного спектра. Процедуру ее модуляции можно производить с гораздо большей скоростью, чем в радиодиапазоне. Как и в традиционной радиоэлектронике, элементная база фотоники имеет такие же компоненты, как генератор (наиболее часто им является волоконный или полупроводниковый лазер), усилитель, соединительные линии, которыми могут служить волноводы, а также фотоприемники для преобразования оптического сигнала в электрический. Для построения оптической вычислительной техники необходимы логические элементы, обладающие возможностью реализовать такт (менять состояние по необходимости, например: записать 1, считать 1, стереть 1, записать 0, считать 0, стереть 0).

ПРЕИМУЩЕСТВА ФОТОНИКИ

Технология создания кремниевых интегральных вычислительных элементов и схем с очень малыми размерами и большими скоростями обработки информации приблизилась к определенному пределу. Отсюда понятен интерес к фотонным интегральным схемам, на основе которых возможно создать терагерцевую вычислительную технику [1, 2].

Целесообразно напомнить о причинах ограничения быстродействия современных электронных

PHOTONIC INTEGRATED CIRCUITS

P.O.Yakushenkov, graduate student of Moscow
Institute of Physics and Technics

Computers starts with Turing machines. Since then, it has evolved: large vacuum tube computers, semiconductor transistor's electronics, integrated circuits. Currently, integrated silicon electronics has reached its limit (10 GHz), and for a long time it is time to move on photonics. The report focuses on photonic integrated circuits, components of the photonics element base, already existing and future developing devices and shows the advantage of photonics. Also some variants of optical transistors are discussed.

INTRODUCTION

In devices related to modern photonics, the signal carrier is an electromagnetic wave of the optical range, which can be modulated at a much higher rate than in the radio range. As in traditional radio electronics, the photonic element base has components such as a generator (most often it is a fiber or semiconductor laser); amplifier; connection lines, which can be waveguides; also photo detectors for converting an optical signal into an electrical signal. For the construction of optical calculating machines we need a logical element, with the opportunity to realize a tact (to change the state, when necessary, for example, write 1, read 1, delete 1, write 0, read 0, delete 0).

ADVANTAGES OF PHOTONICS

The technology of creating silicon integrated calculating elements and circuits with very small dimensions and high information processing speeds has approached a certain limit. This explains the interest in photonic integrated circuits, on the basis of which it is possible to create THz calculating machines [1, 2].

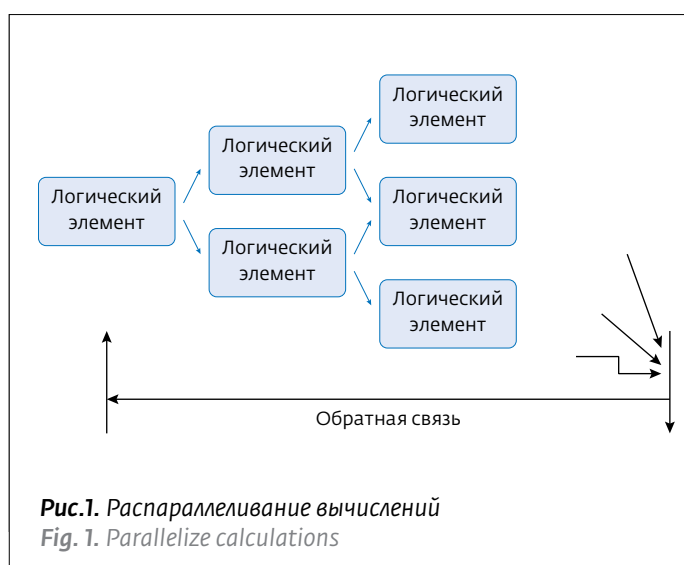
Let's tell about the processing speed limits of the modern electronics circuits, where the logical element is a semiconductor silicon transistor. The maximum operation frequency determined the minimum time, which transistor needs to pass from one state to another, for this, the gate capacitance per channel – C_{gc} must be recharged, but it is limited by the time, that an electron needs to go throw the gate dielectric, it means, that the maximum frequency is $\omega = v/L \approx 100$ GHz (v – electron's speed, L – length of gate

схем, где логическим элементом служит полупроводниковый транзистор. Максимальная тактовая частота определяется минимальным временем, необходимым для того, чтобы транзистор перешел из одного состояния в другое. То есть максимальная тактовая частота определяется как $\omega = v/L$, где v – скорость электрона, L – толщина подзатворного диэлектрика. При $v=10\,000$ м/с и $L=100$ нм на транзисторе можно получать значения не более 100 ГГц.

При использовании металлического волновода с учетом теплового и дробового шумов, величина которых пропорциональна частоте, для надежной передачи сигнала отношение сигнал/шум мощностей должно быть не меньше 20. Но тогда максимальная частота передачи составит ~10 ГГц. Даже если распараллелить вычисления по логическим цепочкам (рис.1) и параллельные каналы мультимплексировать в обратную связь, ее пропускная способность должна все равно превосходить сумму пропускных способностей параллельных каналов, чтобы эта связь успела отработать. Так например, в настоящее время модернизируют Интернет-соединения, мультимплексируя их в оптоволокно, которое позволяет передавать сигнал на длине волны ~1 мкм, что соответствует частотам ~1 ТГц и увеличивает количество передаваемой информации в секунду более чем в 1000 раз.

Замена металлических волноводов в вычислительной технике оптоволокном и использование в качестве логического элемента оптического транзистора, способного работать на терагерцевых частотах, несет в себе несколько преимуществ. Во-первых, позволяет достичь как минимум на три порядка большую скорость обработки и передачи данных. Во-вторых, обеспечивает помехозащищенность по отношению от внешних радиопомех. В-третьих, позволяет осуществить передачу по одному волокну одновременно нескольких мод. В-четвертых, дает преимущество в КПД и в количествах операций/джоуль.

В качестве волноводов многие предлагают использовать плазмонные волноводы из-за того, что поверхностные плазмоны могут передавать сигнал по волноводу с размером, меньшим длины волны. Однако такой сигнал имеет сильное затухание, и при передаче его на значительное расстояние необходимо применить усиление по всему каналу [3], что делает такую замену невыгодной. Поэтому рентабельными могут стать плазмонные межсоединения и разветвители. Также на плазмонах можно делать хорошие нанолазеры, совмещенные с КМОП-технологией.



dielectric), so it is the possible maximum of this transistor.

When using a metal waveguide thermal and shot noise, the magnitude of which is proportional to the frequency, the signal-to-noise ratio should be no less than 20 for reliable signal transmission, but then the maximum transmission frequency will be ~10 GHz. So, even we parallelize calculations to different logical chains (Fig. 1), the parallel channels must be multiplexed to the feedback, throughput of which must be more, than throughputs of the parallel channels, to make the feedback have time to work. Such way, for example, now the internet connections are being multiplexed to the optical fiber, which gives an opportunity for transmission signal on the wave near micron, which accords the frequency near THz. It increases the volume of the transmitted information per second more than 1000 times.

If we exchange metal waveguides to optical fiber in computers and use an optical transistor, which can work with THz frequency, so the photonics will give: 1) an opportunity to get as minimum, more than 3 order speed of data processing and transmission; 2) immunity against external radio interference; 3) an opportunity to transmit several modes through one fiber; 4) photonics can give an advantage in efficiency and the number of operations per joule.

As waveguides, many offer plasmonic waveguides, because surface plasmons can transmit a signal throw a channel, smaller wavelength. But because of much loss a channel need gain [8], which is not profitable. So, profitable could be plasmonic interconnects and splitters. Also good nanolasers could be done on plasmons, using Si-technology.

ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ТРАНЗИСТОРА

Специалисты разработали несколько вариантов реализации оптического транзистора для терагерцевой вычислительной техники:

- полупроводниковые транзисторы на квантовых точках, например на базе InP;
- одноатомные транзисторы;
- микрооптические интерференционные элементы, основанные на эффектах нелинейной оптики, например на эффекте Керра;
- основанные на магнитооптических эффектах;
- основанные на фотонных кристаллах с нанодобавками Ag и Au.

Недавно немецкие исследователи из института Макса Планка [4] поместили атом рубидия в конструкцию между двумя тонкими зеркалами, находящимися на расстоянии полмиллиметра друг от друга. Затем они направили лазер на данную конструкцию, настроив его так, чтобы атом начал отражать свет. Затем направили на атом второй управляющий луч лазера с иной частотой излучения под прямым углом к первому и настроили его так, чтобы создать условия прозрачности для прохождения излучения первого лазера через конструкцию (рис.2). Таким образом, система получила два состояния – прозрачное и непрозрачное, по аналогии с открытым и закрытым состоянием классического транзистора. Подобный квантово-механический транзистор (туннелированный транзистор с двойным электронным слоем, Double Electron Layer Tunneling Transistor, DELTT) был разработан командой Sandia в лаборатории Департамента энергии (DOE). По данным Sandia устройство в состоянии исполнять триллион операций в секунду, т.е. в 10 раз быстрее самых совершенных транзисторных схем, используемых в настоящее время.

Можно построить переключатель на волоконном или плазмонном усилителе, однако из-за инертности активной среды скорости переключения будут порядка МГц.

Другой вариант – это транзисторы на GaInPAs [5], (рис.3-5), которые производятся такими зарубежными компаниями, как Oclaro и aXenic, например модулятор типа Маха-Цендера, который делается также на ниобате лития или на Si:SiO₂ (рис.6-8) с кольцевым резонатором [6].

Перспективный вариант оптического транзистора может использовать переключение намагниченности в ферромагнетиках при взаимодействии различных структур с фемтосекундными импульсами лазерного излучения [7, 8] (рис.9). Ферромагнетиками могут быть MnFe, TmFeO₃, FeBO₃ или

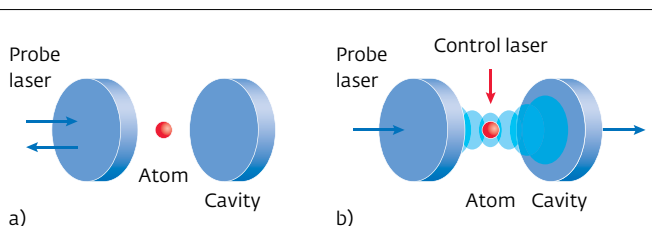


Рис.2. Одноатомный транзистор
Fig. 2. Single atom transistor

THE VARIANTS OF OPTICAL TRANSISTORS

There are several variants to realize the most important thing for THz computers – an optical transistor:

- semiconductor transistors on quantum dots, for example InP;
- single atom transistors;
- on the micro optical elements using interference or the Kerr effect;
- using magneto optical effects;
- photonic crystals with nanoadditives of Ag and Au.

For example, not a long time ago, German scientists from Max Plank institute [9] of quantum optics put the Rubidium atom between two thin mirrors located at a distance of half a millimeter of each other. Then they directed a laser beam on the construction, tuning it so that the atom began to reflect light. Then directed to the atom the second control laser beam another frequency at right angle to the first and tuned it so as to create transparent conditions for the passage through the construction the first laser beam (Fig. 2). So, the system started to have the two stages – transparent and opaque, like open and close stages of a classical transistor. The quantum mechanical transistor, like this (Tunneled transistor with a double electronic layer, Double Electron Layer Tunneling Transistor, DELTT) was developed by a team of Sandia Laboratory in Department of Energy

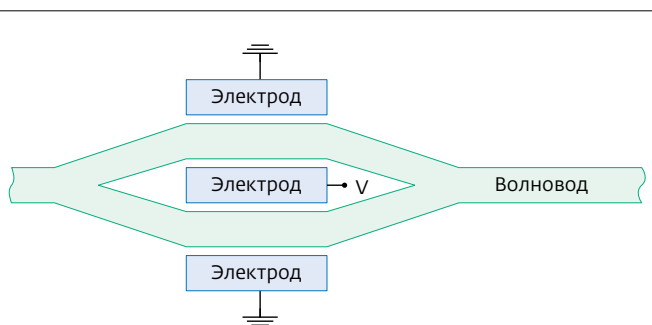
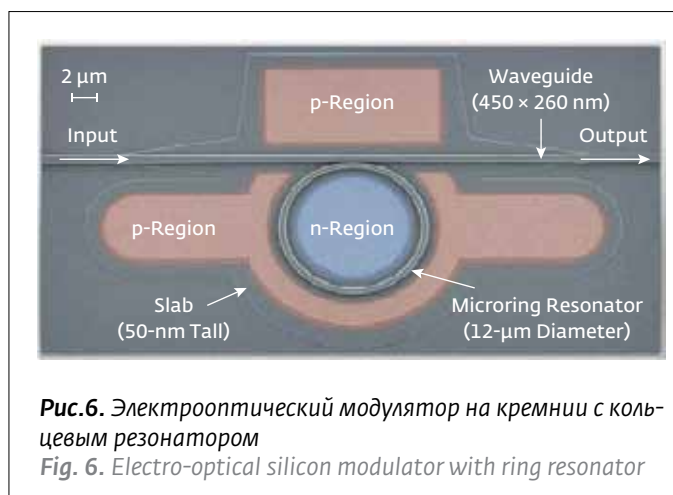
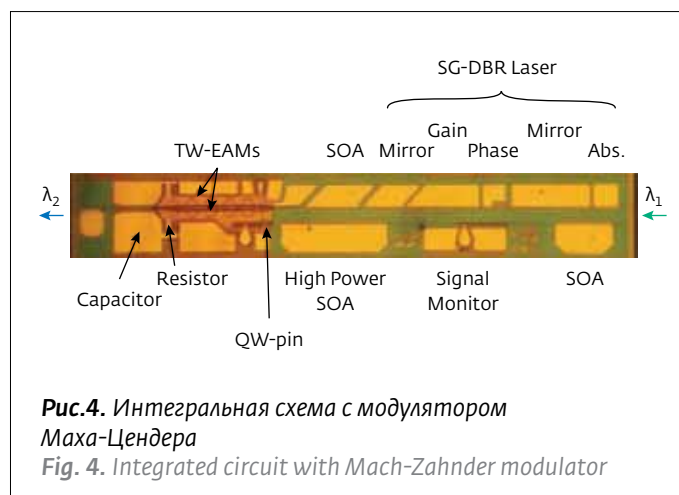


Рис.3. Электророптический модулятор типа Маха-Цендера
Fig. 3. Electro-optical Mach-Zahnder modulator

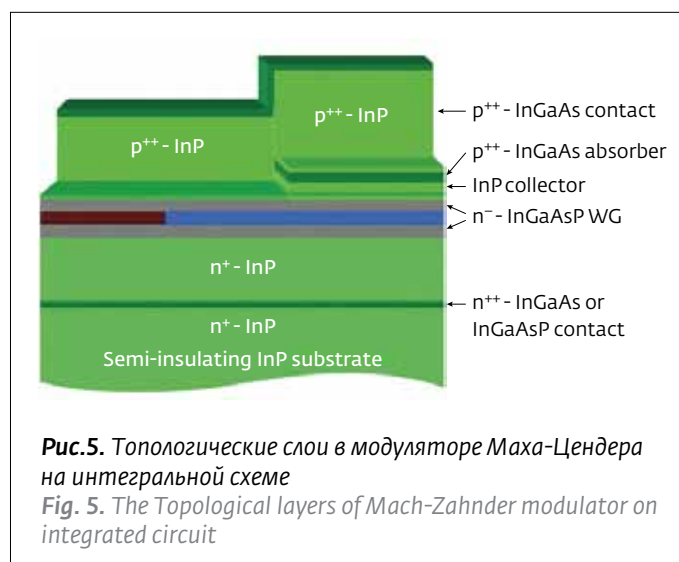


на GdFeCo (рис.10). Системы на этих материалах требуют большой мощности, поэтому в настоящее время ведутся разработки по маломощному переключению на феррите граната [9].

Этот эффект аналогичен эффекту переключения намагниченности в спин-вентильных структурах токком (рис.11), который описывается уравнением Ландау-Лившица-Гильберта с префактором спиновой эффективности передачи вращательного момента Слончевского-Берже [6]:

$$\frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t} = -\gamma [\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{\text{eff}}] + \frac{\alpha}{M} [\mathbf{M} \times \frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t}] + \gamma \text{IC} [\mathbf{M} \times [\mathbf{e}_z \times \mathbf{M}]],$$

где \mathbf{M} – намагниченность; ток $I = \frac{\hbar}{2e t_F M^2} J$; магнитное поле $\mathbf{H}_{\text{eff}} = -\frac{\delta E}{\delta \mathbf{M}} = \frac{2K}{M^2} \mathbf{e}_z (\mathbf{e}_z \mathbf{M})$; γ , α и G – константы.

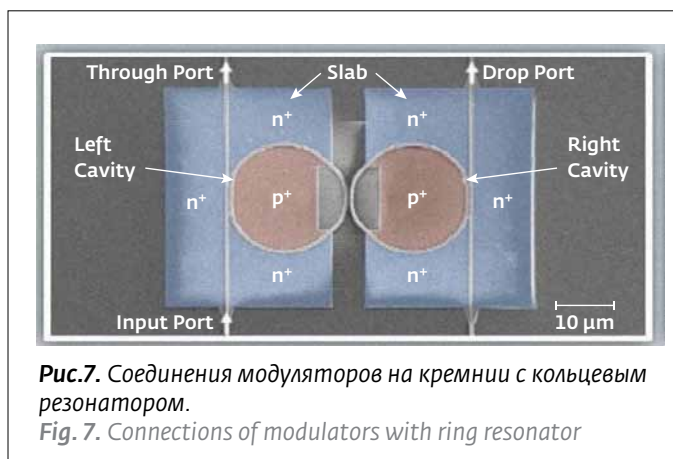


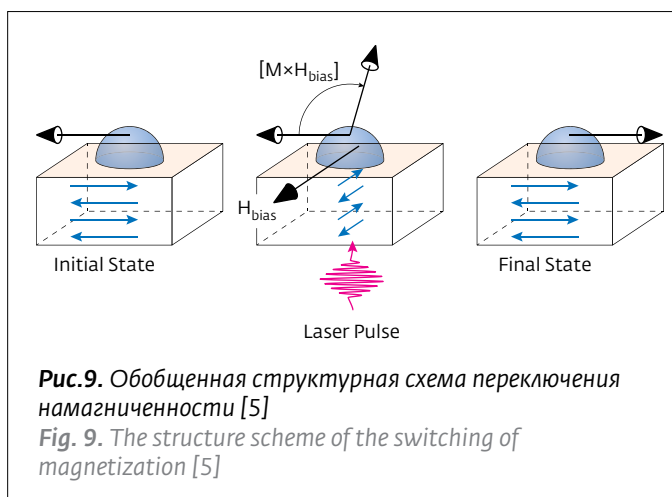
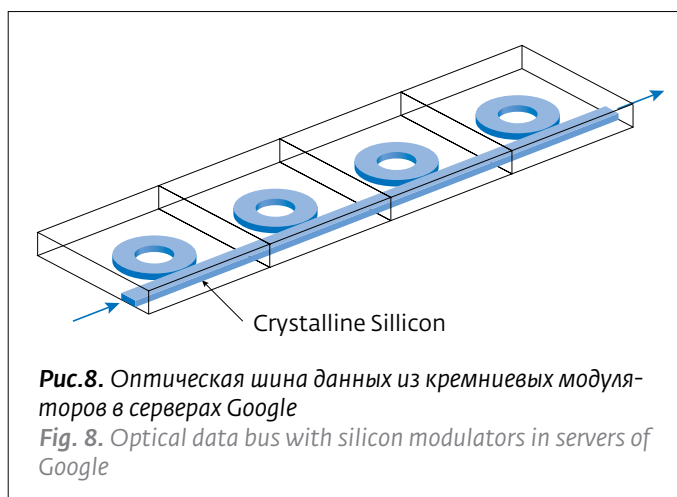
(DOE). According Sandia, the device is able to perform a trillion operations per second, that is 10 times faster than the most advanced transistor circuits currently in use.

It is possible to build a switching on fiber or plasmonic amplifier, but because of inertness of the active medium the speeds of switching would be ~MHz.

Another variant of optical transistors is transistors on GaInPAs [3], which are produced by such companies as Oclaro and aXenic, for example a Mach-Zahnder modulator (Fig. 3-5), which is produced also on lithium niobate. Or on Si: SiO₂ [4] with a ring resonator (Fig. 6-8).

The most perspective variant of an optical transistor is switching a magnetization in ferromagnetics by the interaction of different structures with femtosecond laser pulses (Fig.9). For example on MnFe, TmFeO₃, FeBO₃ or on GdFeCo (Fig. 10), however, these materials need high power, now is being developed low power switch on ferrite garnet [7].





При переключении намагниченности светом (рис.12) поле лазерного излучения δH_a поворачивает намагниченность M [9]:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\gamma [M \times (H_{\text{eff}} + H_a)] = -\gamma [M \times H_{\text{eff}}] + \frac{\alpha}{M} [M \times \frac{\partial M}{\partial t}].$$

Например, существует вариант, когда для реализации оптического переключателя используют эффект переключения намагниченности ферромагнетиков с помощью лазерных импульсов фемтосекундной длительности. Это может быть электрооптический модулятор типа Маха-Цендера, он работает, меняя оптический путь поля в волноводе, меняя показатель преломления в одной из ветвей волновода, из-за чего на выходе лучи с различными фазами интерферируют друг с другом. Вместо электродов можно нанести магнитные пленки и, переключая намагниченность в них излучением из другого волновода, моделировать показатель преломления внешним магнитным полем.

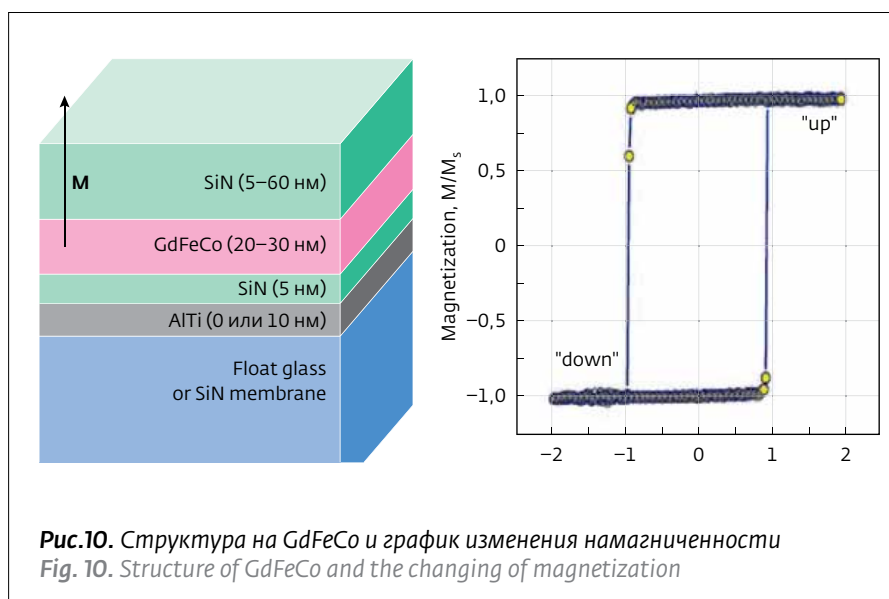
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРИБОРЫ

Компоненты элементной базы фотоники необходимы для реализации оптической вычислительной техники, для фотонных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) (рис.13) и для создания процессоров, способных умножать вектор на матрицу.

There is such effect, as reversing in a reproducible manner magnetization by single circularly polarized laser pulse, without any applied magnetic field. This is fully optical ultra fast switching. There is such memory on ferromagnetic domens of spin-switching structures (Fig. 11), which reverse their magnetization by current (by electron's spin). So the same effect we can use by photon's spin, it also is described by Landau-Livshitz-Hilbert equation [6]:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\gamma [M \times H_{\text{eff}}] + \frac{\alpha}{M} [M \times \frac{\partial M}{\partial t}] + \gamma IG [M \times [e_z \times M]],$$

where M - magnetization, current $I = \frac{\hbar}{2et_F M^2} J$, magnetic field $H_{\text{eff}} = -\frac{\delta E}{\delta M} = \frac{2K}{M^2} e_z (e_z M)$, γ , α and G - constants.



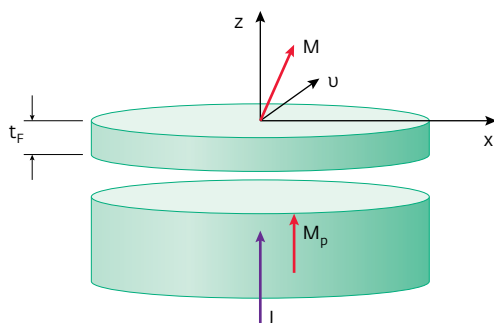


Рис.11. Спин-вентельная структура
Fig. 11. Spin-switching structure

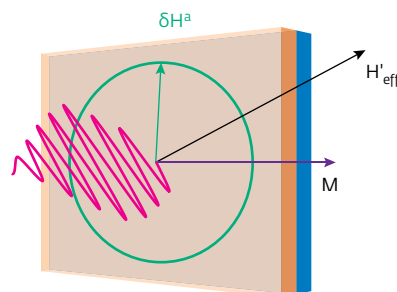


Рис.12. Переключение намагниченности светом
Fig. 12. Switching magnetization by light

В конце 90-х годов прошлого века велись работы по созданию интегрального модуля оптического компьютера с логической матрично-тензорной основой, названного НРОС (High Performance Optoelectronic Communication) [4], (рис.14). В устройстве планировалось использовать входную матрицу VCSEL-лазеров (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser), соединенную планарными волноводами и обычной оптикой с матрицами переключения на основе дифракционных оптических элементов. Выходная система должна состоять из матрицы лавинных фотодиодов, совмещенной с матрицей вертикально-излучающих диодов.

When we switch the magnetization using light (Fig. 12), the field of the laser pulse δH^a turns the magnetization M [7]:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\gamma [M \times (H_{\text{eff}} + H_a)] = -\gamma [M \times H_{\text{eff}}] + \frac{\alpha}{M} [M \times \frac{\partial M}{\partial t}].$$

For example, one variant of realizing the optical switching, using the magnetization switching by the femtosecond laser pulses in ferromagnetics can be an electro optical Mach-Zehnder modulator, it works, changing the optical path of the field in the waveguide, changing the refractive index in one of the branches of the waveguide by voltage,

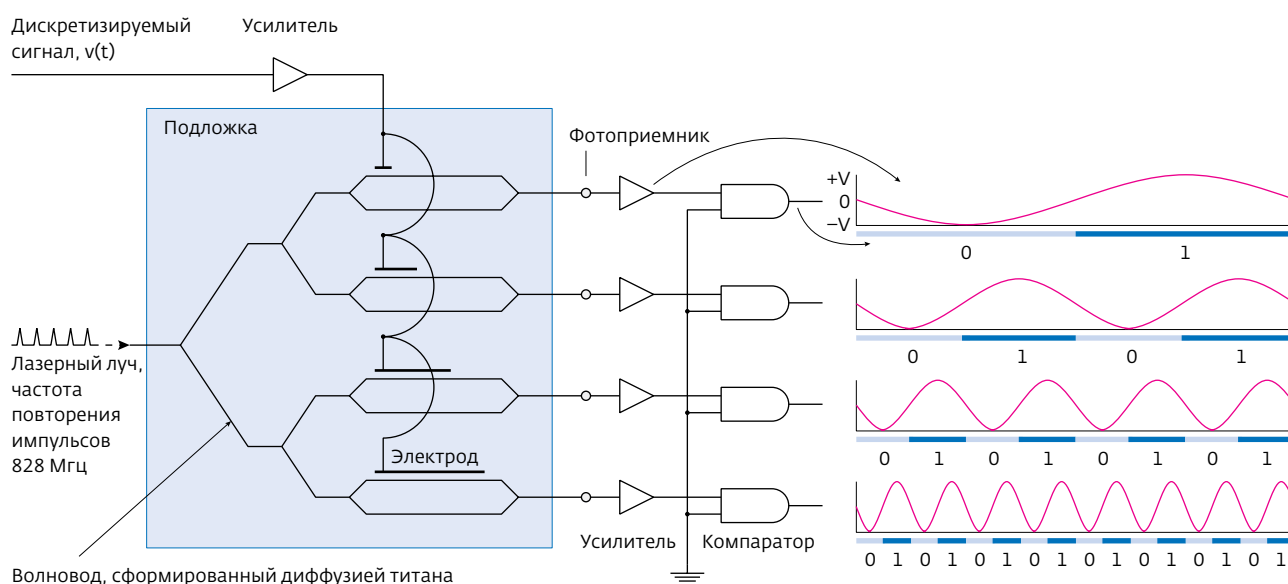


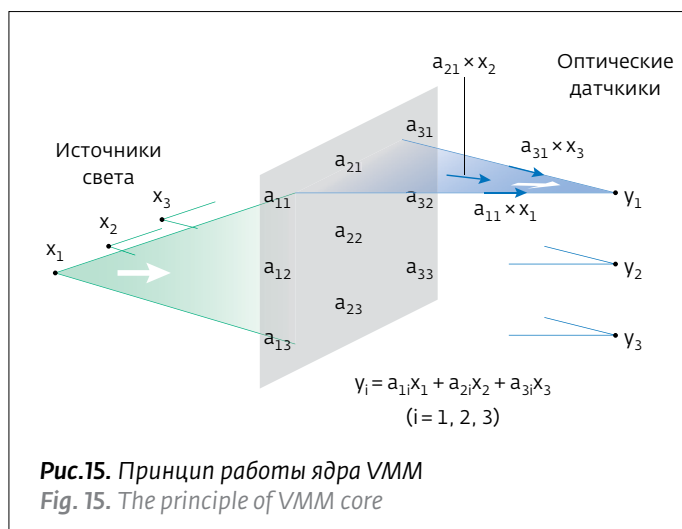
Рис.13. Фотонный АЦП
Fig. 13. Photonic ADC

Опытные образцы показали производительность $4.096 \text{ Тб} \cdot \text{с}^{-1}$, а предварительные оценки показывали, что данная система способна развить скорость 10^{15} операций в секунду с энергией менее 1 фДж на одно переключение. По ряду причин эти работы были прекращены. В настоящее время фирма Opticomp Corporation разработала новый интегральный оптический элемент, состоящий из матрицы VCSEL-лазеров и фотодетекторов, соединенных волноводом. В компании планируют использовать данные устройства как для обработки информации, так и для создания сверхбыстрых переключателей в сверхплотных волоконных линиях связи.

Оптический процессор Enlight256 (рис.16, 17) является гибридным: в нем меняется только ядро, а все остальные элементы остаются электрическими. По принципу действия Enlight256 является аналоговым оптическим вычислительным устройством. Аппаратно он представляет собой развитую гибридную цифро-аналоговую систему, содержащую как оптические узлы, так и необходимые в инженерной практике компьютерные узлы (например популярную в цифровой технике для встраиваемых применений реализацию внутрисистемной отладки).

Ядро процессора Enlight256 оптическое, а входная и выходная информация представляется в электронном виде. Ядро состоит из 256-ти VCSEL-лазеров, пространственного модулятора света, набора линз и приемников излучения, образующих оптическую матрицу VMM (Vector-Matrix Multiplication). Матрица конвертирует электрическую информацию в свет, затем производит необходимые преобразования этой информации, направляя свет через программируемую внутреннюю оптику. Выходное излучение регистрируется приемниками и преобразуется снова в электрический сигнал. На рис.15 приведена схема работы ядра этого процессора.

Внутри его "вычислительного ядра" находится параллельная счетная машина со специализированной архитектурой, оптимальной для выполнения задачи умножения матрицы на вектор. За один такт длительностью 8 нс процессор Enlight256 способен перемножить вектор из 256 элементов на матрицу размерностью 256×256 . Разработчики Lenslet ограничили диапазон значений элементов вектора и матрицы числом 256, соответствующим традиционным 8-битным целым числам. Таким образом, производительность процессора Enlight256 составляет $8 \cdot 10^{12}$ операций в секунду: за один такт (8 нс) процессор



so the output light interferes with different phases (or with the same phase without voltage). We can use magnetic films instead of electrodes, and use the magnetic field, instead of electric field, for the index of refraction modulation. So using the one optical fiber for index of refraction modulation by magnetic field, we can modulate the light field in the other optical fiber, which gives an optical-optic's modulation - fully optical switching.

PERSPECTIVE DEVICES

The components of the photonics element base are necessary for the realization of optical calculating machines, which can be built on the basis of lithium niobate (waveguides can be created by a femtosecond laser), for photon analog-to-digital converters (ADC,

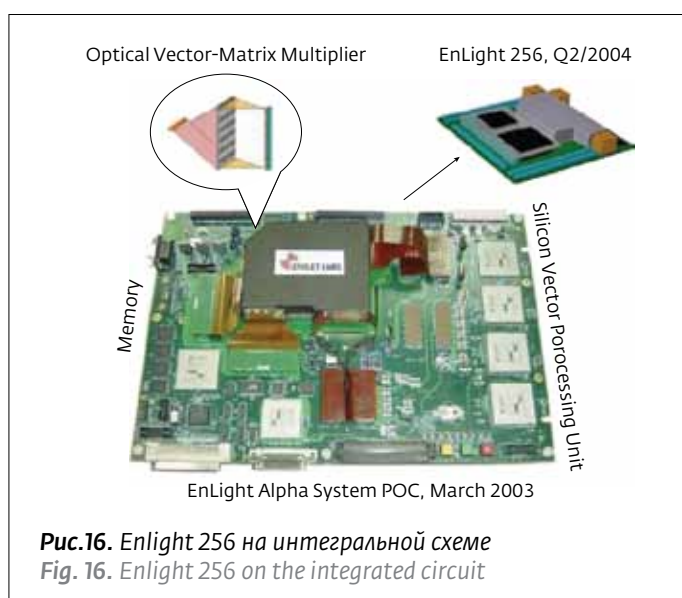




Рис.17. Процессор Enlight 256
Fig. 17. Processor Enlight 256

умножает 256-байтный вектор на 256×256 -байтную матрицу. Каждый элемент входного вектора проектируется на столбец матрицы. Каждый ряд матрицы проектируется на один детектор в векторе результата (вывода). Программирование оптического цифрового сигнального процессора заключается в изменении значений пропускания ячеек пространственного модулятора. Загрузка приложения (или данных внутри отдельного приложения) осуществляется путем замены значений матрицы в пространственном модуляторе (рис.18).

Оптическая матрица VMM состоит из трех основных элементов:

1. Линейки из 256 полупроводниковых VCSEL-лазеров, которые представляются как вектор, состоящий из 256 элементов, и являются одним из "регистров" оптического арифметического логического устройства, каждый элемент которого – это число разрядностью 8 бит.
2. Управляющее световым потоком интегрально-оптическое устройство на основе GaAs/GaAlAs полупроводниковых структур с квантовыми ямами (Multiple Quantum Well). Устройство состоит из матрицы 256×256 пространственных модуляторов, работающих на отражение.
3. Линейки из 256 фотоприемников излучения, которые интегрированы в массив аналогово-

Fig. 13), and for creating processors capable of multiplying a vector by a matrix.

In the late 90-es of the last century there were workings on the creation of an integral module of the optical computer with a logical matrix-tensor foundation called HPOC (High Performance Optoelectronic Communication) [9], (Fig. 14). The device would be used input matrix of VCSEL lasers (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser – Surface Emitting Laser Vertical Cavity) connected planar waveguides and conventional optics with switching matrixes based on diffractive optical elements, and an output system consisting of an array of avalanche photodiodes, combined with a matrix of vertically emitting diodes. Prototypes have shown productivity 4.096 TB/s, and estimates indicate that the system is able to develop a speed of 10^{15} operations per second with an energy of less than 1 fJ per switch. However, due to the several reasons work was stopped. Currently the company "Opticomp Corporation" has developed a new integrated optical element, consisting of a matrix of VCSEL lasers and photo detectors connected waveguide, and plans to use these devices, how to process information, and to create a super fast switches super dense fiber communication lines.

The optical processor Enlight256 (Fig. 16,17) is a hybrid. It only changes the core, and everything else remains electric. It is based on the principle of operation of an analog optical computing device, and it is a developed hybrid digital-analog system, which contains both optical nodes and computer nodes necessary in engineering practice (for example, the implementation of in-system debugging popular in digital technology for embedded applications).

The core of the Enlight256 processor is optical, and the input and output information is presented in electronic form. The core consists of 256 VCSEL lasers, a spatial light modulator, a set of lenses and radiation

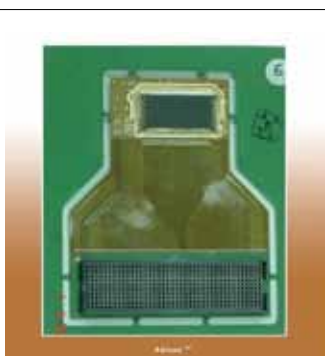


Рис.18. Пространственный модулятор Ablaze
Fig.18. The spatial modulator Ablaze

светового преобразования (Analog to Digital Converters).

EnLight256 уже сейчас используется для решения задач, требующих высокой производительности, в частности, один процессор такого типа способен в реальном времени обрабатывать до 15 видеоканалов стандарта HDTV. Он может использоваться для распознавания голоса, человеческих лиц, обработки изображений и т.д. Прибор идеально подходит для применения в военных радарх высокого разрешения, так как способен обрабатывать данные от массивов антенн. Кроме того, размеры EnLight256 ($15 \times 15 \times 7$ см³) позволяют размещать его на транспортных средствах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Помимо оптического транзистора, который сейчас находится на стадии разработки, для реализации оптической вычислительной техники можно использовать уже выпускаемые системы и элементы – полупроводниковые и волоконные лазеры, усилители – волоконные или металлические шарики-резонаторы, а также сконструировать волоконный конденсатор, который будет работать так, как и электронный для переменного сигнала. Эти приборы необходимы для создания новых систем – фотонных АЦП, процессоров, способных умножать вектор на матрицу, и перспективной цифровой вычислительной техники, следующим поколением которой должны стать фотонные интегральные схемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тамир Т. Волноводная оптоэлектроника. – М.: Мир, 1991.
2. Хансперджер Р. Интегральная оптика. – М.: Мир, 1985.
3. Федянин Д. Ю. Усиление поверхностных плазмон-поляритонов в наноразмерных волноводах. – М.: Изд-во МФТИ, 2012.

receivers that form the Vector-Matrix Multiplication (VMM) matrix, which converts electrical information into light, then makes the necessary transformations of this information, directing light through a programmable internal Optics. The output radiation is registered by the receivers and converted again into an electrical signal. In Fig. 15 is a diagram of the operation of the core of this processor.

Inside its "calculational core," there is a parallel counting machine with a specialized architecture, optimal for performing the task of multiplying the matrix by a vector. For one clock, 8 ns duration, the Enlight256 processor is able to multiply a vector of 256 elements into a 256×256 matrix. Lenslet developers have limited the range of values of vector and matrix elements to 256, corresponding to traditional 8-bit integers. Thus, the performance of the Enlight256 processor is $8 \cdot 10^{12}$ operations per second: for one clock cycle (8 ns) the processor multiplies the 256-byte vector by 256×256 -byte matrix. Each element of the input vector is projected onto the column of the matrix. Each row of the matrix is projected onto one detector in the result (output) vector. The programming of the optical digital signal processor consists in changing the transmission values of the cells of the spatial modulator. Loading an application (or data inside a separate application) is done by replacing the matrix values in the spatial modulator (Fig. 18).

The optical matrix of VMM consists of three main elements:

1. Line of the 256 semiconductor VCSEL lasers, which are represented as a vector, which consists of 256 members and is one of the "registers" of the optical arithmetic logic unit, each element of which – is the number of 8 bits.
2. Control the light flux integrated-optical device based on GaAs / GaAlAs semiconductor quantum well structures (Multiple Quantum Well), which consists of a matrix of 256×256 spatial modulator working in reflection.
3. Lines of light photodetectors 256, which are integrated in an array of analog-to-light conversion (Analog to Digital Converters).

EnLight256 is already used for applications requiring high performance, such as a processor of the type capable of real-time process up to 15 video channels HDTV standard. It can be used for voice recognition, human faces, and image processing, etc. The device is ideal for use in military radar high resolution, as is able to process the data from the array antennas. In addition, EnLight256 dimensions ($15 \times 15 \times 7$ см³) allow you to place it on the vehicle.



4. Белов П.А., Беспалов В.Г., Васильев В.Н., Козлов С.А., Павлов А.В., Симовский К.Р., Шполянский Ю.А. Оптические процессы: достижения и новые идеи, в кн.: Проблемы когерентной и нелинейной оптики/Под ред. И. П. Гурова и С.А. Козлова. – С-Пб.: НИУ ИТМО, 2006.
5. InP-Based Photonic Integrated Circuits, Goldren, 2008.
6. Bergman K., Rumley S., Ophir N., Nikolova D. et al. Silicon Photonics for Exascale Systems. – OFC2014.
7. A Kimel A., Kirilyuk A., Rasing T. Femtosecond photomagnetic switching of spins in ferromagnetic garnet films – Nature, 2005, № 45, 047402, p.1–4.
8. Попков А. Ф., Журавлев М. Н. Физические основы магнетизма и спинного транспорта в устройствах магнитной электроники – М.: ИПК МИЭТ, 2014, с. 189–212.
9. Kimel A., Kirilyuk A., Rasing T. Laser-induced magnetization dynamics and reversal in ferromagnetic alloys – IOP science, 2013, № 76026501, p.1–35.

CONCLUSION

Not only transistor, which is being developed, also it is possible to use the existing systems and elements for realizing optical computers: generators – semiconductor and fiber lasers, amplifiers (fiber or metal-balls resonators), it's also possible to construct a fiber capacitor, which will work as an electronics' one for an alternating signal. These devices are necessary for the creation of new systems – photonic ADCs, processors, which can multiply a vector by a matrix and for perspective digital calculating machines, the next generation of which should be photonic integrated circuits, which are developed faster every year and get more and more investors.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ДЕНЬ СВЕТА

Международный день света будет проходить ежегодно 16 мая, в годовщину первой успешной демонстрации лазера в 1960 году физиком и инженером Теодором Майманом. А начиналось все с инициативы ЮНЕСКО провести в 2015 году Международный год света и световых технологий. Мероприятия привлекли внимание значительной аудитории и прошли в 147 странах мира.

Успех Международного года света со всей очевидностью показал, что провозглашение Международного Дня света привело к повышению роли световых технологий в науке и технике, стимулировании образования и совершенствовании качества жизни во всем мире.

Именно поэтому 19 сентября 2016 года, на 200-й сессии ЮНЕСКО была принята резолюция, поддерживающая Международный день света. Резолюция была представлена Исполнительному совету ЮНЕСКО представителями Ганы, Мексики, Новой Зеландии и Российской

Федерации. Исполнительный совет ЮНЕСКО приветствовал предложение, одобрил намерение провозгласить Международный день света и рекомендовал Генеральной конференции ЮНЕСКО на 39-й сессии принять резолюцию о ее провозглашении. Резолюция Исполнительного совета ЮНЕСКО была одобрена Генеральной конференцией ЮНЕСКО на ее 39-й сессии 7 ноября 2017 года.

Основными целями Международного дня света являются:

- Формирование в обществе понимания того, как свет и световые технологии затрагивают повседневную жизнь каждого человека и играют центральную роль в развитии глобального общества.
- Нарращивание образовательного потенциала в светотехнической отрасли по всему миру посредством привлечения в профильные научные направления молодежи, с учетом гендерного баланса и особым вниманием к развивающимся странам и странам

с формирующимся рынком.

- Демонстрация неразрывной связи между светом, искусством и культурой, повышение роли световых технологий для сохранения культурного наследия.
- Расширение международного сотрудничества посредством использования единого информационного ресурса для координирования деятельности исследовательских сообществ, правительственных учреждений, учебных заведений, промышленных и других партнеров.

В состав Координационного комитета Международного дня света входят представители ЮНЕСКО, Американского физического института, Американского физического общества, Европейского физического общества, Международной ассоциации дизайнеров освещения, Международного центра теоретической физики и многие другие.

Сайт Международного дня света:
www.lightday.org