

3. Любушин Н.П., Лещева В.Б., Дьякова В.Г. Анализ финансово-экономической деятельности предприятия. – М.: Юнити-Дана, 2000. – С. 98.
4. Пястолов С.М. Анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятия. – М.: Мастерство, 2012. – 256 с.
5. Зорина М.А. Планируй, управляй и контролируй / М.А. Зорина // Рюкряй БИЗНЕС, 2010. – С. 32-35.
6. Шуляк П.Н. Финансы предприятия: Учебник. – М.: Издательский Дом «Дашков и К°», 2002. – 978 с.
7. Международные автомобильные перевозки, Ч.1. Организационные и правовые аспекты: Учебное пособие / под. ред. Ю.С. Сухина, В.С. Лукинского. – СПб.: СПбГИЭА, 2010. – 170 с.

УДК 004.2/004.31/538.975/535.3

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Н.М. Толкач, Н.В. Вишняков, П.С. Провоторов

Рязанский государственный радиотехнический университет

Программная индустрия производит все более продвинутые и ресурсоёмкие продукты, что предъявляет все более серьезные требования к вычислительным ресурсам выпускаемой техники. До недавнего времени рост вычислительных ресурсов происходил по закону Мура, в соответствии с которым число компонентов на чипе удваивается каждые 2 года при стабильной цене изготовления такого чипа. В настоящее время данный закон перестает действовать, рост вычислительных мощностей приближается к пределу возможностей электронной техники, невозможно бесконечно уменьшать размеры электронных схем, существуют естественные ограничения, связанные с атомарной природой вещества. В ближайшее десятилетие рост вычислительных мощностей техники станет возможным только за счет увеличения количества активных вычислительных элементов и слоев интегральных схем, что непременно будет вести к увеличению размеров, цене изготовления и уровню потребляемой электроэнергии такой техники. В виду этого необходимо создание новой технологии производства вычислительных компонентов. Возможным решением из данной ситуации является переход с электронных технологий обработки сигналов на оптические.

Замена электронных компонентов на оптические позволит в десятки раз сократить потребляемую вычислительными устройствами электроэнергию и в идеале позволит передавать информацию со скоростью близкой к скорости света.

При приобретении товара, как правило, для потребителя немаловажным параметром является энергопотребление, цена и время работы. Снижение потребляемой вычислительной техникой электроэнергии является положительным фактором, как для потребителей вычислительной техники (понижение расходов на электроэнергию, потребляемую стационарными устройства-

ми, повышение времени работы мобильных устройств от встроенной батареи), так и для разработчиков (снижение требований к системам охлаждения, размерам конструкции, объемам энергоресурсов, например, емкости аккумулятора), т.к. влияет на снижение себестоимости, что в свою очередь повысит спрос на вычислительную технику.

В настоящее время мировым научным сообществом ведутся активные работы по поиску новых материалов для создания полностью оптически управляемого элемента, позволяющего посредством светового воздействия эффективно управлять световыми сигналами, по аналогии с электронным транзистором. К одному из видов подобных материалов относятся халькогенидные стеклообразные полупроводниковые (ХСП) структуры на основе системы соединений $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (аббревиатура GST) (рис. 1).

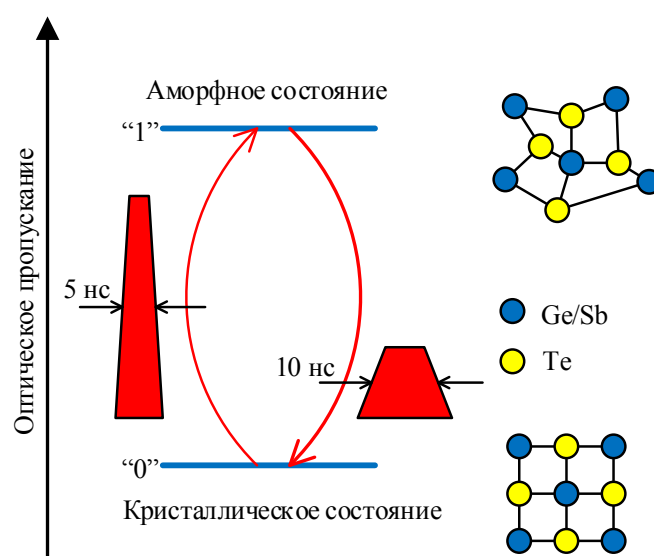


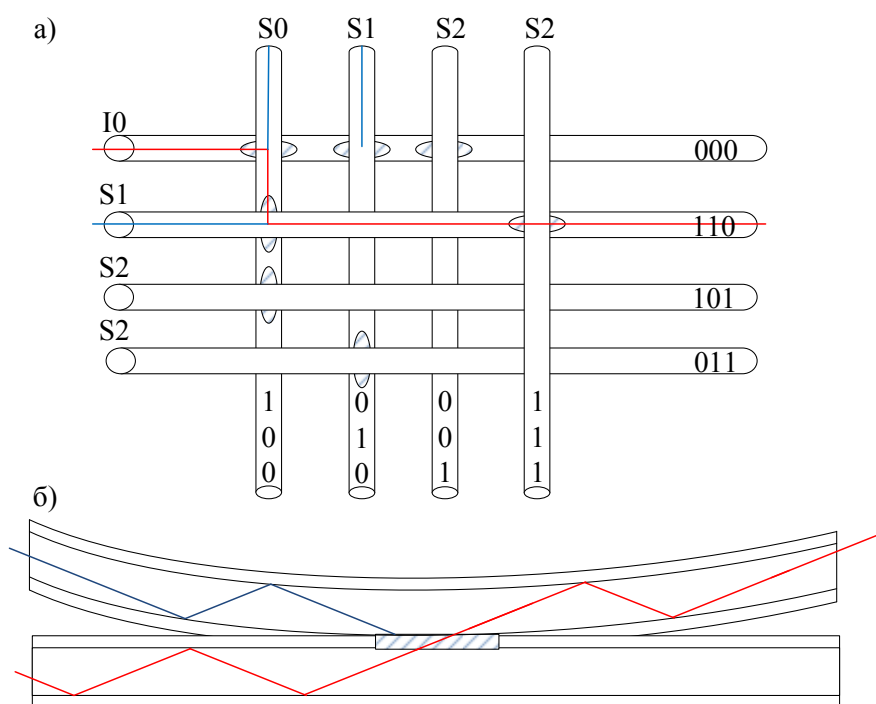
Рисунок 1 – Иллюстрация свойств GST при изменении фазовой структуры

Главным свойством, позволяющим применять данный материал в качестве активного элемента, является способность находиться в двух устойчивых фазовых состояниях кристаллической решетки: аморфном и кристаллическом [1]. Изменение фазового состояния можно осуществлять, например, низкоэнергетическими воздействиями светового импульса. Структурное отличие аморфной и кристаллической фазы приводит к значительным различиям в оптических свойствах, что можно использовать на практике для бинаризации оптического сигнала.

Кроме того, материалы на основе GST обладают стабильностью их фазового состояния при комнатной температуре, сверхмалым временем переключения в наноразмерных структурах (2-150 нс), низкой потребляемой мощностью (500 фДж на одно переключение вычислительного компонента) [2, 3]. У современных электронных вычислительных компонентов энергозатраты составляют около – 100 пДж на одно переключение, что в 200 раз больше, чем у оптических компонентов.

Создание на основе материалов GST полностью оптического активно-го элемента открывает широкие возможности применения в вычислительных устройствах. Например, для управления оптическими сигналами нет необходимости в двойном преобразовании сигналов: сначала из оптической формы в электрическую, и затем, после их модификации, вновь в электрическую. Управление сигналами производится сразу на оптическом уровне путем изменения траектории оптических лучей, перенаправляемых с одного оптического элемента на другой.

Во многих работах приводят разные способы реализации простейших оптических вычислительных устройств, выполняющих функцию переключателя, элемента памяти. Наиболее актуальные на основе материалов GST приведены в работах [4-6]. В работе [4] продемонстрирован способ коммутации каналов путем вариации направлением распространения отраженного от пленки GST луча. Варьировать направлением хода луча можно благодаря свойству GST материала, связанному с изменением его показателя преломления, в результате смены аморфного фазового состояния на кристаллическое. Также в связи с изменением фазового состояния изменяется коэффициент пропускания пленки, что позволяет использовать слой материала GST, как активный затвор [5, 6].




Условные обозначения:

I0 - информационный вход; S0-S2 – входы управления;

000-111 – выходы;

 - область контакта из пленки GST;

 - траектория информационного луча;


 - траектория управляющего луча.

Рисунок 2 – Архитектура оптоволоконного коммутатора 4x8: а – оптоволоконное построение; б – передача оптического сигнала в месте контакта двух оптоволоконных линий

На рис. 2а показан пример, разработанной нашим коллективом, архитектуры оптоволоконного коммутатора 4x8, имеющего 3 управляющих входа – S0-S2, один информационный вход – I0 и 8 выходов 001-111. Рис. 2б демонстрирует общий принцип передачи оптического сигнала в месте контакта двух оптоволоконных линий. В месте контакта расположена пленка GST, при прохождении управляющего светового импульса через которую, изменяются отражающие и пропускающие свойства материала пленки. Таким образом, при подаче соответствующего оптического импульса по верхнему оптоволокну пленка меняет свое состояние и либо пропускает и направляет распространение информационного сигнала по верхнему оптоволокну, либо отражает сигнал и направляет его распространение дальше по нижнему оптоволокну. Например, как видно на рис. 3, а, при подаче на входы S0, S1 оптического импульса сигнал со входа I0 перенаправляется на выход 110.

Заключение. Таким образом, в данной работе проведены разработки полностью оптических вычислительных устройств на основе материалов, состоящих из халькогенидных стеклообразных полупроводниковых тонкопленочных структур системы соединений $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$. Разработана и продемонстрирована схема построения архитектуры коммутатора переключения сигнала с одного входа на один из выходов для оптоволоконной системы. Данная конфигурация устройства вполне пригодна для выполнения простейших вычислительных операций, что в совокупности с преимуществами от ее полностью оптического построения, позволит обрабатывать информацию при сверхмалых энергозатратах и со скоростями близкими к световым. Данная работа имеет фундаментальный характер, ее дальнейший путь развития направлен на создание экспериментального макета и первых прототипов полностью оптических вычислительных устройств, коммерциализацию технологии создания этих устройств и их внедрение в массовое производство.

В заключение стоит отметить, что российская микроэлектронная промышленность достаточно сильно отстала и уже вряд ли сможет нагнать передовые страны. Достигнутая на данный момент технология производства микроэлектронных компонентов у лидеров в данной области составляет – 5 нм (по данным из публикаций Intel, IBM [7]), в России составляет – 65 нм (по данным с сайта ПАО «Микрон» [8]). С учетом несформировавшегося у передовых производителей электронной техники решения проблемы по замене технологии создания вычислительных компонентов, альтернатива в виде оптических технологий является актуальной, российской микроэлектронной промышленности имеет смысл обратить внимание на это и активизировать исследовательский потенциал в данную область. Возможно, тогда российская промышленность и наш продукт смогут занять более значительную долю в будущем мировом рынке вычислительной техники.

Для справки объем рынка полупроводниковой электроники в мире в 2017 году [9] составил около 378 миллиардов долларов и в дальнейшем

прогноз предполагает его рост. Доля России в данном рынке составляет всего 2.6 миллиарда [10], что меньше 1%.

Список использованных источников

1. Kozyukhin S., Kudoyarova Vю, Huy Phuc Nguyen, Smirnov A., Lebedev V. Influence of doping on the structure and optical characteristics of Ge₂Sb₂Te₅ amorphous films // *Physica Status Solidi C*, 2011. – Vol. 8. – No.9. – Pp. 2688-2691. doi:10.1002/pssc.201084060.

2. Yamada N. Rapid phase transitions of GeTe-Sb₂Te₃ pseudobinary amorphous thin films for an optical disk memory / N. Yamada, E. Ohno, K. Nishiuchi et al. // *J. Appl. Phys*, 1991. – Vol. 69. – P. 2849.

3. Meinders, E. R. Optical Data Storage Phase-Change Media and Recording / E. R. Meinders, A. V. Mijiritskii, L. van Pieterse et al. // *Philips Research Book Series*. – Berlin: Springer-Verlag, 2006. – V.4.

4. Zou L., Cryan M., Klemm M. Phase change material based tunable reflectarray for free-space optical inter/intra chip interconnects // *Optics Express*, 2014. – Vol. 22. – Issue 20. – Pp. 24142-24148. Doi: 10.1364/OE.22.024142.

5. Ríos C., Stegmaier M., Hosseini P., Wang D., Scherer T., Wright C.D., Bhaskaran H., Pernice W. Integrated all-photonics non-volatile multi-level memory // *Nature Photonics*, 2015. – V. 9. – Pp. 725–732. Doi:10.1038/nphoton.2015.182.

6. Gholipour B., Zhang J., MacDonald K.F., Hewak D.W., Zheludev N.I. An All-Optical, Non-volatile, Bidirectional, Phase-Change Meta-Switch // *Advanced materials*, 2013. – Vol. 25. – Issue 22. – Pp. 3050–3054. Doi: 10.1002/adma.201300588.

7. IBM unveils world's first 5nm chip. [Электронный ресурс] // *Ars Technica UK*. URL: <https://arstechnica.co.uk/gadgets/2017/06/ibm-5nm-chip/> (дата обращения: 10.10.2017).

8. О компании Микрон. [Электронный ресурс] // Сайт компании Микрон. URL: <http://mikron.ru/company/> (дата обращения: 10.10.2017).

9. Semiconductor industry sales worldwide 1987-2019. [Электронный ресурс] // *The Statistics Portal*. URL: <https://www.statista.com/statistics/266973/global-semiconductor-sales-since-1988/> (дата обращения: 10.10.2017).

10. Состояние и перспективы мирового и российского рынков микроэлектроники. [Электронный ресурс] // *Frost & Sullivan: International Data Corporation*. URL: <https://ww2.frost.com/news/press-releases/sostoyanie-i-perspektivy-mirovogo-i-rossijskogo-rynkov-mikroelektroniki/> (дата обращения: 10.10.2017).