

УДК 004.3

© М. А. Аллес, С. В. Соколов

## ОПТИЧЕСКИЙ СЕЛЕКТОР МИНИМАЛЬНОГО СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ НАНОТРУБОК

Статья посвящена проблеме создания оптических устройств обработки информации в наноразмерном исполнении. Показана возможность применения достижений в области получения и манипулирования многослойными углеродными нанотрубками для синтеза оптических наноустройств обработки информации на примере оптического наноселектора минимального сигнала.

*Кл. сл.:* нанотехнология, оптические методы обработки информации, многослойная углеродная нанотрубка, давление света, оптический наноселектор минимального сигнала

### ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день все существующие оптические методы обработки информации реализуются в основном устройствами, выполненными в виде интегрально-оптических микросхем. Размеры компонентов этих микросхем имеют микронный порядок, площади — единицы квадратных сантиметров, а потребляемая мощность их активных компонентов (полупроводниковых лазеров, оптопар и пр.) составляет единицы ватт [1, 2].

Растущие требования к уменьшению потребляемой мощности и дальнейшей миниатюризации устройств обработки информации приводят к необходимости создания принципиально нового класса оптических вычислительных устройств, выполняемых в наноразмерном масштабе и обладающих при этом быстродействием не ниже "микронных" оптических процессорных устройств, а также простых в конструктивном исполнении.

Значительные достижения в теории и практике оптики наноструктур [3], в получении углеродных нанотрубок для построения наноэлектромеханических систем [4–6] и манипуляции ими позволяют реализовать эти требования на принципиально новой элементной базе — многослойных телескопических нанотрубках. Для иллюстрации этой возможности рассмотрим ниже конструкцию и принцип действия оптического наноселектора минимального сигнала, показанного на рисунке.

### ОПТИЧЕСКИЙ НАНОСЕЛЕКТОР МИНИМАЛЬНОГО СИГНАЛА

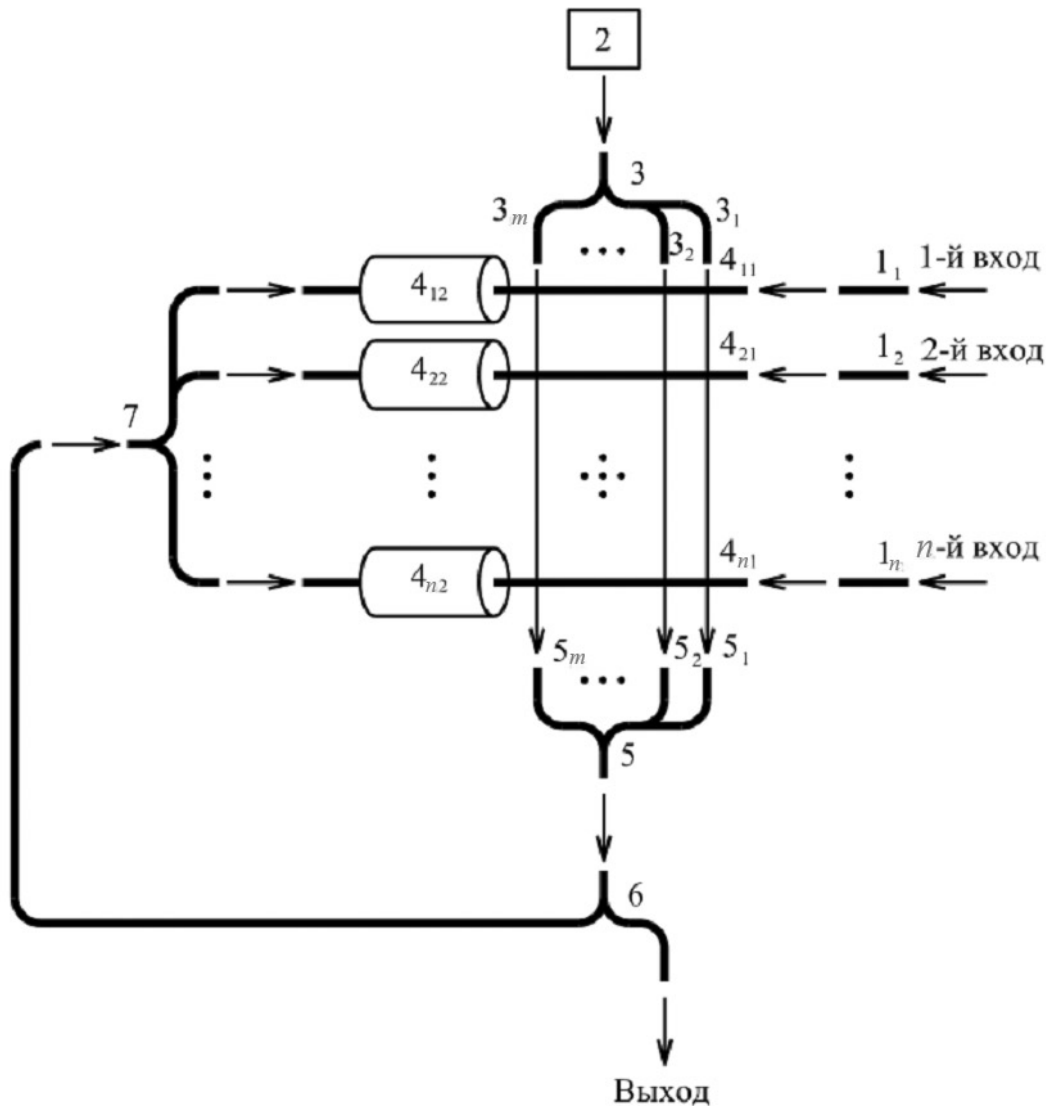
Оптический наноселектор минимального сигнала предназначен для определения минимального сигнала  $X_{\min}$  в совокупности оптических сигналов

$\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ , подаваемых на его вход, и формирования на своем выходе оптического потока с интенсивностью излучения  $I$ , пропорциональной этому минимальному сигналу:  $I \sim X_{\min} = \min\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ . (Подобная задача традиционна для областей нечеткого моделирования и управления при выполнении операций над нечеткими множествами, например операции нечеткого включения [7], где выбор элемента нечеткого множества с наименьшим значением функции принадлежности по всей базовой шкале осуществляется, как правило, методом простого перебора с существенными вычислительными затратами).

Функциональная схема оптического наноселектора показана на рисунке. Оптический наноселектор минимального сигнала содержит:

- $1_1, 1_2, \dots, 1_n$  —  $n$  входных оптических нановолокнообразов;
- 2 — источник постоянного излучения (ИИ) с интенсивностью  $2 \times m \times n$  усл. ед.;
- 3 — оптический нановолокнообразовый  $m$ -выходной разветвитель;
- $4_{11}, 4_{12}, 4_{21}, 4_{22}, \dots, 4_{n1}, 4_{n2}$  —  $n$  пар телескопических нанотрубок;
- 5 — оптический нановолокнообразовый  $m$ -входной объединитель;
- 6 — оптический нановолокнообразовый Y-разветвитель;
- 7 — оптический нановолокнообразовый  $n$ -выходной разветвитель.

При этом следует отметить, что реализация рассматриваемых далее соединений оптических нановолокон — как оптических нановолоконных объединителей, так и оптических нановолоконных Y-разветвителей — в настоящее время может быть осуществлена на основе наноструктурированных



Оптический наноселектор минимального сигнала. Пояснения см. в тексте

пористых стекол [8, 9] или на основе фотонно-кристаллических световодов [10].

Работа оптического наноселектора минимального сигнала происходит следующим образом. С выхода ИИ 2 оптический поток с интенсивностью  $2 \times m \times n \times K$  усл. ед. поступает на вход оптического нановолноводного разветвителя (ОНВР) 3, с каждого  $j$ -го выхода которого формируется оптический поток с интенсивностью  $2 \times n \times K$  усл. ед. ( $j = 1, 2, \dots, m$ ).

В исходном состоянии (когда на входы оптического наноселектора сигналы не подаются) оптические потоки с выходов ОНВР 3 не пройдут на входы оптического нановолноводного объединителя (ОНВО) 5 (будут поглощаться), т. к. все внутренние нанотрубки  $4_{11}, 4_{21}, \dots, 4_{n1}$  во всех телеско-

пических нанотрубках находятся в крайних правых положениях.

Пусть далее совокупность  $n$  оптических сигналов  $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ , интенсивность минимального из которых  $X_{\min}$  равна  $k$  усл. ед., подается на входы оптических нановолноводов  $1_1, 1_2, \dots, 1_n$  и далее — на соответствующие внутренние нанотрубки  $4_{11}, 4_{21}, \dots, 4_{n1}$  всех телескопических нанотрубок. Допустим, что оптический поток  $X_{\min}$  с минимальной интенсивностью  $k$  усл. ед. поступает на  $i$ -й вход оптического наноселектора минимального сигнала ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Под воздействием разности сил, обусловленных давлениями световых потоков [11] (разность оптических мощностей 1–5 ватт создает разность

сил 5–15 нН), внутренняя нанотрубка  $4_{i1}$   $i$ -й пары телескопических нанотрубок ( $4_{i1}, 4_{i2}$ ) ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) будет перемещаться в сторону оптического потока с меньшей интенсивностью — в начальный момент нулевого (при этом необходимо иметь в виду, что минимально необходимая сила для перемещения нанотрубки составляет аттоньютон [5]).

Следовательно, под действием сил давлений входных оптических потоков  $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$  внутренние нанотрубки  $4_{11}, 4_{21}, \dots, 4_{n1}$  начнут перемещаться влево на соответствующие величины  $\{L_1, L_2, L_3, \dots, L_n\}$ . По мере их перемещения влево будет появляться оптическая связь между выходами ОНВР 3 и соответствующими входами ОНВО 5.

Т. к. длины внутренних нанотрубок составляют единицы микрометров, а диаметр оптических нановолокон — единицы нанометров, то изменение величины перемещения  $L_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  для ясности последующего изложения можно считать непрерывным (дискретный характер изменения  $L_i$  не вносит никаких принципиальных ограничений в принцип действия устройства).

При появлении оптической связи между 1, 2, ...,  $j$ -м выходами ОНВР 3 и 1, 2, ...,  $j$ -м входами ОНВО 5 на выходе последнего формируется оптический поток с интенсивностью, пропорциональной величине перемещения  $L_i$  той внутренней нанотрубки  $4_{i1}$   $i$ -й пары телескопических нанотрубок ( $4_{i1}, 4_{i2}$ ), на которую, как будет показано ниже, поступает минимальный по интенсивности оптический поток  $X_{\min}$ . Величина возникающего при этом оптического потока на выходе ОНВО 5 равна  $2 \times n \times K \times L_i$ , где  $K$  — коэффициент пропорциональности, определяемый мощностью ИИ. Далее этот оптический поток поступает на вход оптического нановолоконного Y-разветвителя 6, на выходах которого формируются оптические потоки с интенсивностью  $2 \times n \times K \times L_i / 2$  усл. ед., поступающие на вход ОНВР 7 и на выход устройства.

На каждом выходе ОНВР 7 формируются оптические потоки обратной связи с интенсивностью  $K \times L_i$  усл. ед., которые поступают на внутренние нанотрубки  $4_{11}, 4_{21}, \dots, 4_{n1}$  всех телескопических нанотрубок. Так как на  $i$ -м входе оптического наноселектора присутствует оптический поток с наименьшей интенсивностью  $k$  усл. ед., то внутренняя нанотрубка  $4_{i1}$   $i$ -й пары телескопических нанотрубок ( $4_{i1}, 4_{i2}$ ) — единственная из всех внутренних нанотрубок по окончании переходного процесса ( $\approx 10^{-7}$  с) [5] прекратит свое движение влево и остановится, т. к. с двух сторон на нее будут действовать два одинаковых по интенсивности оптических потока — входной с интенсивностью  $k$  усл. ед. и обратной связи с интенсивностью  $K \times L_i$ . В момент остановки внутренней нанотрубки  $4_{i1}$  при условии  $K \times L_i = k$  величина перемещения  $L_i$  будет равна  $L_i = k/K$ , а интенсивность оптиче-

ского потока на выходе оптического наноселектора (равная  $K \times L_i / 2$  усл. ед.) будет определяться, как  $k / 2$ , т. е. будет пропорциональна величине интенсивности минимального оптического сигнала  $X_{\min}$ .

Внутренние нанотрубки  $4_{11}, 4_{21}, \dots, 4_{i-1,1}, 4_{i+1,1}, \dots, 4_{n1}$  всех остальных телескопических нанотрубок займут при этом крайнее левое положение, т. к. интенсивности входных оптических потоков на 1, 2, ...,  $(i-1)$ ,  $(i+1)$ , ...,  $n$ -м входах оптического наноселектора будут больше интенсивности оптического потока обратной связи ( $k$  усл. ед.).

После прекращения подачи на вход оптического наноселектора оптических сигналов внутренние нанотрубки  $4_{11}, 4_{21}, \dots, 4_{n1}$  всех телескопических нанотрубок займут крайнее правое (исходное) положение за счет давления оптических потоков обратной связи с интенсивностью  $k$  усл. ед. с выходов ОНВР 7. Оптический наноселектор минимального сигнала вернется в исходное состояние.

Таким образом, оптический наноселектор минимального сигнала определяет минимальный сигнал из совокупности оптических сигналов, подаваемых на его вход, и формирует на своем выходе оптический поток с интенсивностью, пропорциональной интенсивности этого минимального сигнала.

Быстродействие предложенного оптического наноселектора определяется массой внутренней нанотрубки ( $\approx 10^{-15}$ – $10^{-16}$  г), силой трения при ее движении ( $\approx 10^{-10}$  н), разностью интенсивностей оптических сигналов и составляет  $\approx 10^{-7}$  с [5].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение методов синтеза оптических устройств обработки информации, подобных вышеизложенному, позволяет конструировать вычислительные системы и устройства в наноразмерном исполнении. Это решает задачу дальнейшей миниатюризации вычислительных средств и, в свою очередь, позволяет создавать компактные вычислительные системы и комплексы, обладающие малым энергопотреблением и быстродействием не хуже, чем у "микронных" устройств в оптоинтегральном исполнении, с сохранением точности вычисления на произвольном интервале времени обработки информации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клэр Ж.-Ж. Введение в интегральную оптику / Пер. с франц. под ред. В.К. Соколова. М.: Сов. радио, 1980. 104 с.
2. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. М.: Радио и связь, 1989. 360 с.
3. Оптика наноструктур / Под ред. А.В. Федорова.

- СПб.: Недра, 2005. 326 с.
4. Лозовик Ю.Е., Попов А.М. Свойства и нанотехнологические применения нанотрубок // Успехи физических наук. 2007. Т 177, № 7. С. 786–798.
  5. Zheng Q., Jiang Q. Multiwalled carbon nanotubes as gigahertz oscillators // Phys. Rev. Lett. 2002. V. 88. 045503.
  6. Соколов С.В., Каменский В.В. Оптическое умножающее наноустройство. Пат. 2370800 РФ, опубл. 20.10.2009.
  7. Мелихов А.Н., Баронец В.Д. Проектирование микропроцессорных средств обработки нечеткой информации. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1990.
  8. Antropova T.V., Petrov D., Yakovlev E. Porous glasses as basic matrixes of the microoptical devices: Effect of composition and leaching conditions of the initial phase-separated glass // Phys. Chem. Glasses: Eur. J. Glass Sci. Technol. B. 2007. V. 48, N 5. P. 324–327.
  9. Petrov D.V., Yakovlev E.B., Antropova T.V. Laser based processing of porous glass for micro optical devices // International Conference "Fundamentals of Laser Assisted Micro- and Nanotechnologies" (FLAMN-07), Workshop "Laser Cleaning and Artworks Conversation" (LCAC). St. Petersburg (ITMO), June 25–28, 2007. Abstract. St. Petersburg: ITMO, 2007. P. 44.
  10. Желтиков А.М. Развитие технологии фотонно-кристаллических световодов в России // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2, № 1-2.
  11. Ландсберг Г.С. Оптика М.: Наука, 1976. 928 с.
- Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону*
- Контакты: Аллес Михаил Александрович,  
alles@nextmail.ru
- Материал поступил в редакцию 4.07.2011.

## OPTICAL MINIMAL SIGNAL SELECTOR ON THE BASIS OF TELESCOPICAL NANOTUBES

**M. A. Alles, S. V. Sokolov**

*Rostov State Transport University, Rostov-on-Don*

The article is devoted to the problem of optic processing information devices development and systems in nano execution. Application perspectives of up-to-day achievements in the field of development and manipulation of multiwalled carbon nanotubes for producing optic processing information nano devices, the example — optic minimal signal nanoselector is considered.

*Keywords:* nanotechnology, optic methods of information processing, multiwalled carbon nanotube, pressure of light, optic minimal signal nanoselector