

К. т. н. А. Ю. ЛИПИНСКИЙ, к. т. н. А. Н. РУДЯКОВА,
И. Ю. РУДЯКОВ, д. т. н. В. В. ДАНИЛОВ

Украина, Донецкий национальный университет, СКБ НПП «АМИ»
e-mail: krf@dongu.donetsk.ua

Дата поступления в редакцию
17.02.2010 г.

Оппонент к. т. н. Т. И. ВОРОНЯК
(Физико-механический институт, г. Львов)

УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

Предложен макет экспериментальной установки, позволяющей сформировать элементы оптоэлектронной акустооптической вычислительной среды. Результаты проведенных исследований подтверждают корректность моделей, разработанных ранее авторами.

Оптоэлектронные (фотонные) вычислительные устройства с дискретным представлением обрабатываемой информации характеризуются высокой точностью вычислений при сохранении высокой производительности [1]. Структура таких устройств может быть как одномерной, так и двумерной [2], что позволяет в одномерном случае выполнять математические операции при обработке потока данных, а в двумерном случае — реализовывать принципы параллельной обработки потоков данных.

Проводя аналогию с современными электронными вычислительными системами, можно отметить принципиальное сходство процесса выполнения математических операций оптоэлектронными акустооптическими устройствами и электронными однородными вычислительными средами с точки зрения структурной организации вычислительного устройства [3].

Описание процесса выполнения математических операций оптоэлектронными акустооптическими процессорами с дискретным представлением данных связано с решением электродинамической задачи о дифракции света в акустооптической ячейке конечных размеров [4] и функциональным моделированием разрядно-цифрового кодирования сигналов в апертуре акустооптического модулятора [5].

Важной частью исследования процесса преобразования дискретной информации в акустооптической среде является экспериментальная проверка достоверности предложенных моделей и результатов моделирования.

Модель элемента оптоэлектронной акустооптической вычислительной среды

В [3, 6] была предложена математическая модель элемента оптоэлектронной акустооптической вычислительной среды (ОАВС), построена функциональная модель процесса формирования элементов ОАВС, проведено моделирование элементов для различных случаев их локализации.

В случае формирования в акустооптической среде последовательности акустических импульсов происходит дифракция световых импульсов, благодаря чему становится возможным выполнение математической обработки данных или информации, представленных акустическим $\hat{s}_1(t, x)$ или оптическим сигналом $\hat{s}_2(t, z)$. При этом выходной оптический сигнал $\hat{s}_{\text{вых}}(t, x, z)$, представляющий собой произведение сигналов $\hat{s}_1(t, x)$ и $\hat{s}_2(t, z)$, равен [3]

$$\begin{aligned} \hat{s}_{\text{вых}}(t, x, z) = & \sum_k \sum_n s_1(k\tau_1) s_2(n\tau_2) \times \\ & \times \left[\theta\left(t - k\tau_1 + \frac{\epsilon_1}{2} - \frac{x}{V}\right) \theta\left(t - n\tau_2 + \frac{\epsilon_2}{2} - \frac{z}{c}\right) - \right. \\ & - \theta\left(t - k\tau_1 + \frac{\epsilon_1}{2} - \frac{x}{V}\right) \theta\left(t - n\tau_2 - \frac{\epsilon_2}{2} - \frac{z}{c}\right) - \\ & - \theta\left(t - k\tau_1 - \frac{\epsilon_1}{2} - \frac{x}{V}\right) \theta\left(t - n\tau_2 + \frac{\epsilon_2}{2} - \frac{z}{c}\right) + \\ & \left. + \theta\left(t - k\tau_1 - \frac{\epsilon_1}{2} - \frac{x}{V}\right) \theta\left(t - n\tau_2 - \frac{\epsilon_2}{2} - \frac{z}{c}\right) \right]. \end{aligned}$$

Выходной сигнал $\hat{s}_{\text{вых}}(t, x, z)$ можно трактовать как сигнал, заданный для x и t и движущийся вдоль оси z со скоростью c . В приведенном выражении каждый из членов суммы описывает элемент вычислительной среды, положение которого в пространстве и времени задается набором произведений функций Хевисайда, а амплитуда определяется произведением соответствующих дискретных отсчетов сигналов $s_1(k\tau_1)$ и $s_2(n\tau_2)$.

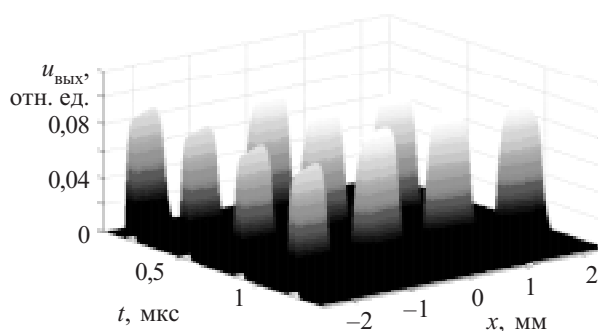


Рис. 1. Модель элементов ОАВС

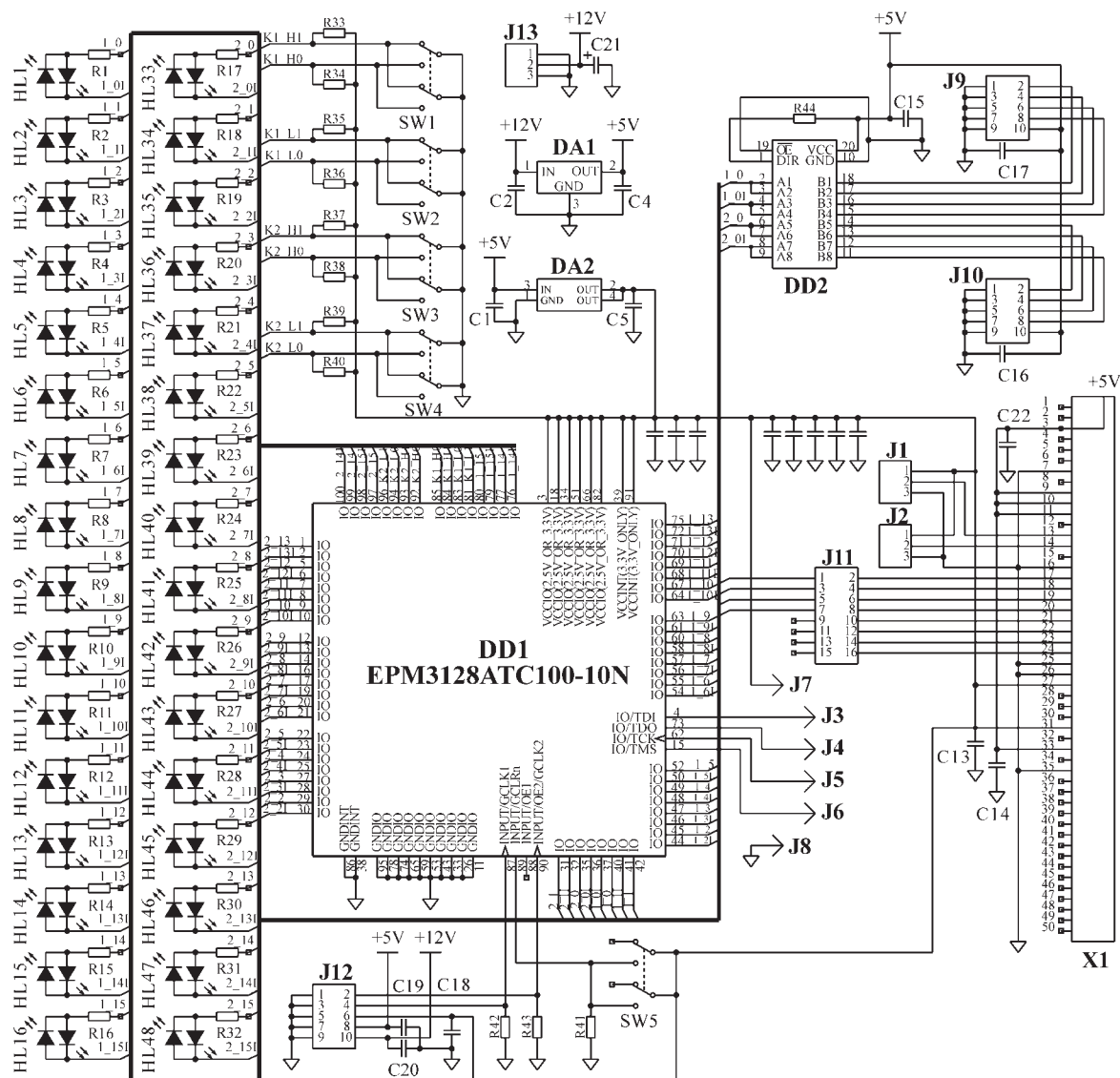


Рис. 3. Схема устройства формирования битовых последовательностей

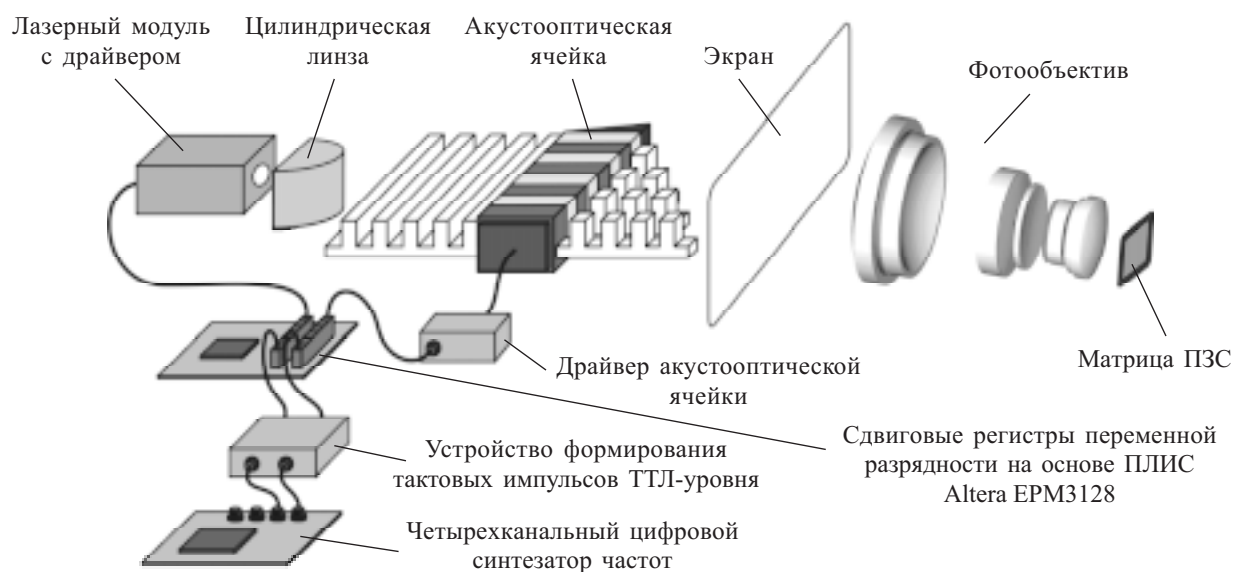


Рис. 2. Структурная схема макета экспериментальной установки

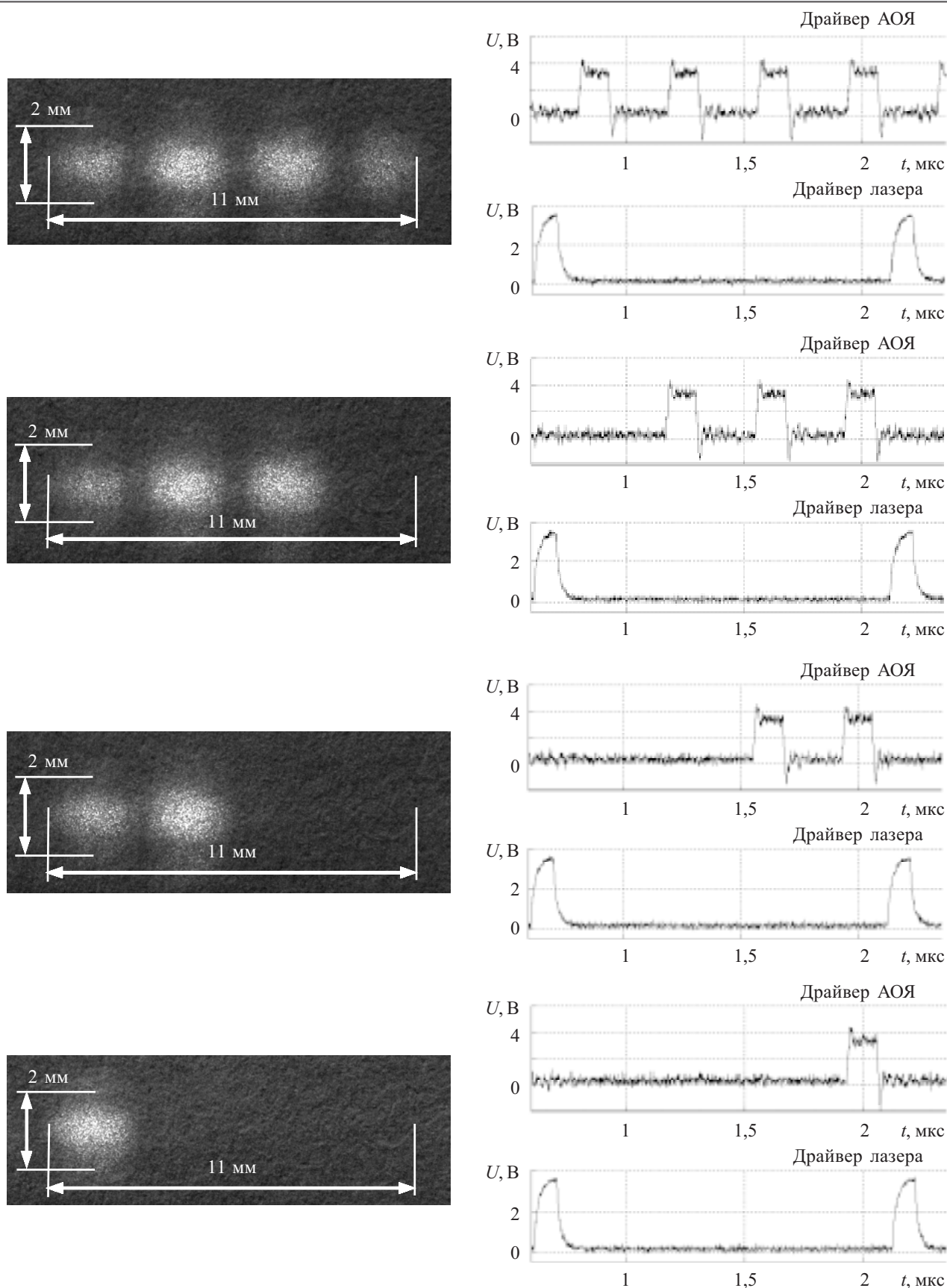


Рис. 4. Фотоснимки (слева) апертуры АОЯ для первого дифракционного порядка и осциллограммы (справа) сигналов, подаваемых на драйверы лазера и АОЯ для комбинаций цифрового кода {1111}, {1110}, {1100} и {1000}, соответственно

Рис. 1 отражает процесс формирования элементов ОАВС для входных четырехбитных комбинаций {1111} оптического и акустического сигналов [6]. Каждый из элементов среды образуется в результате выполнения операции побитового умножения соответствующих разрядов.

Макет экспериментальной установки

Для исследования пространственно-временного представления сигналов в ОАВС, приведенного в [3, 5], предложен макет экспериментальной установки (**рис. 2**). Важной составной частью установки является устройство формирования оптической импульсной последовательности на полупроводниковом лазере [7].

В предлагаемом макете используется полупроводниковый Al-Ga-InP лазерный диод ML101J21 (длина волны 658 нм, мощность непрерывного излучения 80 мВт, мощность в импульсном режиме до 160 мВт [8]), выпускаемый фирмой Mitsubishi для применения в оптических информационных системах, с драйвером на основе контроллера Intersil EL6835, позволяющего модулировать интенсивность излучения с частотой до 600 МГц (при времени нарастания и спада импульса 0,8 нс).

Четырехканальный цифровой синтезатор частот представляет собой отладочный модуль на основе микросхемы Analog Devices AD9959 [9]. Двухканальное устройство формирования тактовых импульсов ТТЛ-уровня из двухполярных гармонических сигналов с выходов цифрового синтезатора частот выполнено на микросхеме 74НС14 (инверторы Шмидта).

Разработанная схема устройства формирования битовых последовательностей, подаваемых на входы драйверов лазера и акустооптической ячейки (АОЯ), на основе ПЛИС Altera EPM3128, приведена на **рис. 3**. Здесь J_1, J_2 — потенциометры, используемые для регулирования уровней мощности лазера; $J_3—J_8$ — интерфейс (JTAG) программирования микросхемы ПЛИС EPM3128ATC100-10N; J_9, J_{10} — буферизированные выходы регистров (микросхема DD2-74F245); J_{11} — набор переключателей, коммутирующих сигналы от ПЛИС к драйверу лазера; J_{12} — входной разъем (подключаются сигналы с формирователей тактовых импульсов, подается питающее напряжение); J_{13} — внешний источник питания (8—12 В), X_1 — разъем для подключения драйвера лазера.

В качестве среды акустооптического взаимодействия выбрана АОЯ Isomet 1205C-1 [10] с драйвером Isomet 222E-1.

Результаты экспериментальных исследований

На **рис. 4** приведены примеры формирования элементов ОАВС в направлении распространения акустической волны. Для выбранных условий эксперимента (брэгговский режим дифракции, апертура АОЯ 5,5 мм, частота следования акустических импульсов 2,64 МГц, частота следования оптических импульсов 0,66 МГц) возможно формирование четырех или менее элементов среды.

Технические характеристики АОЯ Isomet 1205C-1 (геометрические размеры апертуры 5,5 мм и центральная несущая частота 80 МГц для режима Брэгга) делают возможным одновременное формирование восьми и более элементов ОАВС только за счет уве-

личения частоты следования акустических импульсов до 5,28 МГц. Современные акустооптические устройства способны работать на гиперзвуковых частотах до 10 ГГц и выше [11], что перспективно с точки зрения повышения количества одновременно формируемых элементов, и, соответственно, производительности всего устройства [6].

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований процесса формирования элементов ОАВС была подтверждена корректность разработанных авторами моделей. Установлено, что предложенный источник оптической импульсной последовательности позволяет получить импульсы с однородными вдоль пространственной координаты передним и задним фронтами и осуществить визуализацию сформированных акустооптической ячейкой элементов ОАВС.

Преимуществом рассмотренного устройства является то, что количество сформированных элементов определяется только частотами следования акустических и оптических импульсов, и увеличение этого количества не приводит к значительному усложнению структуры. Это делает возможным разработку новых оптоэлектронных устройств потоковой обработки информации, вычислительная точность которых соответствует 128 и более разрядам.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Белов П. А., Беспалов В. Г., Васильев В. Н. и др. Оптические процессоры: достижения и новые идеи // В кн.: Проблемы когерентной и нелинейной оптики. Под ред. И. П. Гурова, С. А. Козлова. — СПб: СПбГУ ИТМО, 2006.
2. Гуляев Ю. В., Проклов В. В., Соколовский С. В., Сотников В. Н. Акустооптические устройства обработки аналоговой и цифровой информации // Радиотехника и электроника. — 1987. — Вып. 1. — С. 169—181.
3. Липинский А. Ю. Пространственно-временное представление сигналов в акустооптических устройствах дискретной обработки информации // Реестрация, зберігання і обробка даних. — 2009. — Т. 11, № 1. — С. 74—86.
4. Липинский А. Ю., Рудякова А. Н., Данилов В. В. Моделирование слабого акустооптического взаимодействия методом конечных элементов во временной области // Реестрация, зберігання і обробка даних. — 2006. — Т. 8, № 2. — С. 25—37.
5. Lipinski A. Y., Rudakova A. N., Danilov V. V. Acoustooptic binary coding based on space-time integration and its application to ultrafast high-resolution digital-analog conversion // IEEE Photonics Technology Letters. — 2008. — Vol. 20, N 24. — P. 2087—2089.
6. Липинский А. Ю., Рудякова А. Н. Моделирование процесса формирования элементов оптоэлектронной акустооптической вычислительной среды // Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. «Радиотехніка». — 2009. — Вып. 157. — С. 89—94.
7. Липинский А. Ю., Рудякова А. Н., Данилов В. В. Формирователь оптической импульсной последовательности на полупроводниковом лазере // Тр. ХМНПК «Современные информационные и электронные технологии». — Украина, г. Одесса. — 2009. — С. 227.
8. www.mitsubishielectric-mesh.com/products/pdf/ml1xx21.pdf
9. Рудякова А. Н., Липинский А. Ю., Данилов В. В. Макет экспериментальной установки для исследования пространственно-временного интегрирования в акустооптической среде // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2008. — № 5 (77). — С. 50—55.
10. http://www.isomet.com/FinalWebSite/PDFDocs/AO_Sheets/1205C-x.pdf
11. Нефедов И. С., Петров В. В. Многоэлементные гиперзвуковые пьезопреобразователи с медленно меняющимися параметрами для акустооптических устройств // Письма в ЖТФ. — 1999. — Т. 25, № 5. — С. 70—75.