

Таким образом, в работе показана принципиальная возможность создания методом жидкофазной эпитаксии изопериодических p -гетероструктур четверных твердых растворов $Pb_{1-x}Sn_xTe_{1-y}Se_y$ на подложках KCl с параметрами, представляющими интерес для приборов ИК оптоэлектроники.

Список литературы

- [1] Гуреев Д. М., Даварашвили О. И., Засавицкий И. И. и др. // Квантовая электроника. 1978. № 5. С. 2630—2633.
- [2] Шотов А. П., Даварашвили О. И., Бабушкин А. В. // Письма в ЖТФ. 1981. Вып. 7. С. 1444—1449.
- [3] Horikoshi J., Kawashima M., Saito H. // Jap. J. Appl. Phys. 1982. Vol. 22. P. 77—79.
- [4] Даварашвили О. И., Зломанов В. П., Криалашвили И. В. и др. // ДАН СССР. 1983. Т. 272. С. 1371—1374.
- [5] Равич Ю. И. и др. Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца. М.: Наука, 1968. 383 с.
- [6] Домбругов М. Р., Жовнир Г. И. // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1988. Т. 24. С. 332—336.

Кировоградский государственный педагогический институт им. А. С. Пушкина

Поступило в Редакцию
17 мая 1988 г.

07; 08

Журнал технической физики, т. 59, в. 9, 1989

АКУСТООПТИЧЕСКИЙ ЦИФРОВОЙ ПРОЦЕССОР-УМНОЖИТЕЛЬ

В. Ю. Раковский, А. С. Щербakov

Необходимость оперировать в реальном масштабе времени со сверхбольшими массивами данных, возникающая при решении многих современных физических проблем, требует от вычислительных устройств быстродействия, недостижимого при использовании традиционных радиоэлектронных систем, что делает целесообразным обращение к альтернативному методу обработки информации — оптическому. Широкие возможности оптического метода

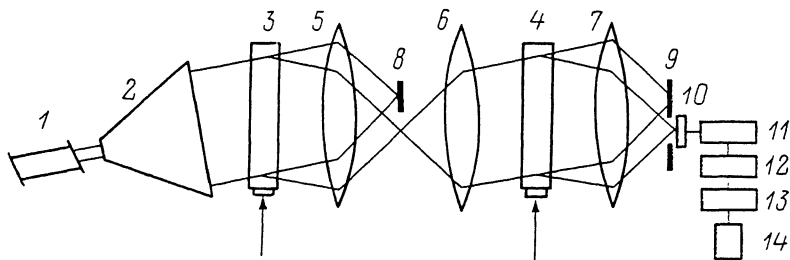


Рис. 1. Оптическая схема АОЦП-умножителя.

1 — источник когерентного света; 2 — призмный расширитель; 3, 4 — акустооптические ячейки; 5, 6, 7 — цилиндрические линзы; 8, 9 — диафрагмы; 10 — фотодетектор; 11 — усилительно-согласующий каскад; 12 — АЦП; 13 — сдвигающий сумматор; 14 — осциллограф.

подтверждаются успехами аналоговых оптических процессоров, например для корреляционного и спектрального анализа [1]. Тем не менее аналоговые методы оптической обработки информации не могут обеспечить необходимую при решении многих задач точность вычислений, в связи с чем в последнее время возрос интерес к цифровым оптическим вычислительным методам, которые в будущем, вероятно, составят конкуренцию двум имеющимся методам — аналоговому оптическому и цифровому электронному [2]. Работы по цифровой оптической вычислительной технике делятся на ряд направлений, одно из которых, отчасти используя методы аналоговой обработки информации, применяет цифровое представление данных в целях создания высокоскоростных прецизионных процессоров для выполнения операций линейной алгебры. При построении многофункциональной элементной базы алгебраических оптических процессоров в большой степени используются акустооптические устройства.

К таким процессорам, в частности, относятся систолические акустооптические цифровые процессоры (АОЦП) на основе операции дискретной свертки [3].

С целью проведения экспериментального исследования возможности практической реализации АОЦП для перемножения двоичных чисел и оценки его рабочих характеристик была собрана схема, представленная на рис. 1. Встречное направление распространения сигналов в приведенной схеме обеспечивает вычисление свертки их огибающих за счет проставленного интегрирования. Когда входные акустические высокочастотные сигналы кодируются цифровыми двоичными последовательностями, на выходе фотодетектора возникает их дискретная свертка в виде треугольных импульсов различной амплитуды. Операцию цифрового перемножения двоичных чисел с помощью дискретной свертки можно показать на следующем примере. Нижняя строка представляет собой произведение в двоичной форме, а предпоследняя строка — произведение, записанное в смешанной двоичной форме. Именно смешанная двоичная форма произведения получается в результате свертки, осуществляемой при использовании процессора, содержащего акустооптические устройства. Для представления результата в стандартном двоичном коде треугольные импульсы необходимо дискретизировать по модулю 2 аналого-цифровым преобразователем (АЦП), а полученные двоичные числа затем сложить по модулю 2 со сдвигом.

111 (7)
111 (7)
111
111
111
12321
110001 (49)

Максимальные разрядности N_1 и N_2 сомножителей АОЦП-умножителя могут быть определены выражениями

$$N_1 = \frac{D + vt}{2v\tau}, \quad N_2 = \frac{D - vt}{2v\tau}, \quad \tau = \frac{5 \dots 10}{f}, \quad (1)$$

где D — апертура акустооптических ячеек; τ — длительность импульса, содержащего 5...10 периодов несущей частоты f ; v — скорость ультразвука; t — рассогласование времен посылки двоичных чисел, $|t| < Dv^{-1}$.

АОЦП-умножитель функционирует на основе двукратного акустооптического взаимодействия при дискретном распределении акустической мощности, поэтому в каждый момент времени выходная относительная интенсивность I определяется выражением

$$I = \frac{g}{N_1 + N_2} \sin^4 \frac{\psi}{2}, \quad (2)$$

где g — число совпадений единичных импульсов в двух ячейках, ψ — индекс фазовой модуляции.

Из (2) видно, что даже в случае 100%-ной эффективности рассеяния света ($\psi = \pi$) использование светового потока не превышает 50%. Время на выполнение одной операции в таком АОЦП-умножителе равно удвоенному времени прохождения акустическим импульсом апертуры D звукопровода

$$T = \frac{2D}{v} = \frac{20(N_1 + N_2)}{f}. \quad (3)$$

Для получения высокой эффективности рассеяния света с длиной волны $\lambda = 0.633$ мкм в лабораторном макете (рис. 1) использовались акустооптические ячейки на этаноле ($v = 1.15 \cdot 10^5$ см/с, коэффициент качества $M_2 = 543$, постоянная затухания $\Gamma = 5420$ дБ/ГГц²·см [4] с рабочей частотой 11 МГц и апертурой 30 мм. При этом полные акустические потери не превышали 2 дБ на апертуру, что практически не оказывало влияния на качество функционирования устройства. Длина взаимодействия составляла 10 мм, а ширина ламели пьезопреобразователя, равная 2.3 мм, приводила к расходимости акустического столба 2.5°, приемлемой при указанной апертуре ячеек. Как следует из (1), (3), макет способен перемножать двоичные числа суммарной разрядности $N_1 + N_2 \sim 25$ за время $T \sim 50$ мкс. На рис. 2 пред-

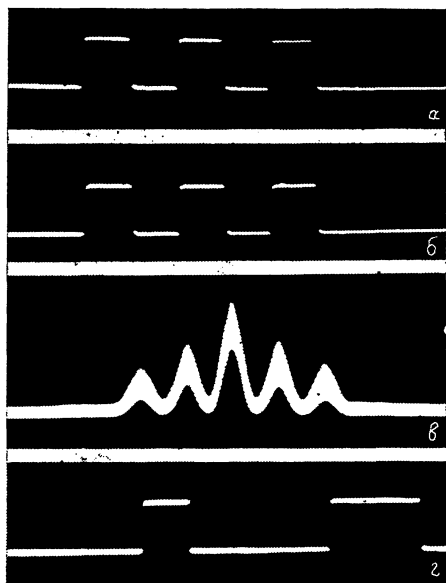


Рис. 2. Входные и выходные сигналы АОЦП-умножителя.

ставлены осциллограммы входных двоячных последовательностей a , b , сигнала дискретной свертки e и окончательного результата перемножения в NRZ коде на выходе электронного блока g для обсуждавшегося выше примера $111 \times 111 = 110001$ ($7 \times 7 = 49$). Младшие разряды следуют по времени раньше старших, длительность импульса разряда каждого из чисел 2 мкс.

Таким образом, проведенные исследования показали возможность практической реализации АОЦП-умножителя на основе дискретной свертки. Одноканальное устройство описанного типа потенциально способно перемножать 32-разрядные числа каждые 100 нс при несущей частоте 1 ГГц. В то же время использование естественных в оптике двумерных световых пучков и пространственно многоканальных акустооптических ячеек может повысить производительность процессора еще в 10...100 раз. Работы по созданию оптических цифровых процессоров для задач линейной алгебры находятся в настоящее время на начальной стадии. Многие вопросы проектирования и реализации АОЦП требуют скорейшей проработки, и материал данного сообщения можно рассматривать как один из первых шагов в указанном направлении. Представляется, в частности, перспективным использование различного рода нелинейных явлений в АОЦП для увеличения их функциональных возможностей и развития элементной базы оптических цифровых вычислителей.

Список литературы

- [1] Есепкина Н. А., Рыжков И. Ф., Прусс-Жуковский С. В. и др. Препринт САО АН СССР. № 11 Л. Л., 1984. 36 с.
- [2] Сочук А. А., Стренд Т. С. // ТИИЭР. 1984. Т. 72. № 7. С. 8—33.
- [3] Guilfoyle P. S. // Opt. Eng., 1984. Vol. 23. N 1. P. 20—25.
- [4] Утида Н., Нидзэки Н. // ТИИЭР. 1973. Т. 61. № 8. С. 21—43.

Ленинградский политехнический институт
им. М. И. Калинина

Поступило в Редакцию
20 июня 1988 г.

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ S-ТИПА В СУПЕРИОННОМ Cu_{2-x}Se

М. А. Коржув

Нестехиометрический селенид меди Cu_{2-x}Se представляет собой самолегирующееся вырожденное полупроводниковое соединение со смешанной электронной (p -типа, по дыркам) и ионной (по меди) проводимостью ($\sigma_p \sim 100 \text{ с; } \sim 10\text{—}1000 \text{ См/см}$, температура суперионного фазового перехода $T_c = 291\text{—}413 \text{ К}$) [1].

Движение дырок и ионов меди в Cu_{2-x}Se под действием электрического поля происходит независимо друг от друга, эффект увлечения ионов дыркам отсутствует [2]. Вместе с тем в Cu_{2-x}Se наблюдается огромный термодиффузионный эффект (ТДЭ) с максимумом при температуре $T \sim T_c$ [3], который может приводить к значительному перераспределению подвижной меди при неоднородном нагреве образца теплом Джоуля [4].

В настоящей работе показано, что взаимодействие дырок и ионов меди посредством ТДЭ позволяет наблюдать нелинейные вольт-амперные характеристики S -типа и автоколебания напряжения с частотой $f \sim 0.02\text{—}0.5 \text{ Гц}$ на образцах Cu_{2-x}Se с точечными токовыми контактами.

Для исследований использовались цилиндрические прессованные поликристаллические образцы Cu_{2-x}Se ($x = 0.01$) толщиной $h = 1 \text{ мм}$, диаметром $D = 2\text{—}7 \text{ мм}$ (концентрация дырок $p = 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, удельная электропроводность $\sigma = 625 \text{ См/см}$, термоэдс $\alpha = 108 \text{ мкВ/К}$). К центру образцов (рис. 1, 1) под давлением $P \sim 2 \text{ МПа}$ прижимали латунные токовые контакты (2) ($\varnothing 0.5 \text{ мм}$), луженные оловом для исключения химического взаимодействия с материалом. Через контакты (рис. 1, 2) пропускался постоянный электрический ток $I = 0\text{—}30 \text{ А}$ от стабилизированного источника П-138, в образце при этом выделялась мощность до 3—10 Вт, для охлаждения образец с контактами погружался в воду.

Температуру на поверхности образцов измеряли термопарами медь—константан ($\varnothing 0.02 \text{ мм}$) с точностью $\pm 1 \text{ К}$, напряжение U на контактах образца регистрировалось с помощью