

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гофман М. А., Нежевенко Е. С., Фельдбуш В. И. Оптико-электронные сигнальные процессоры // Автометрия.— 1989.— № 3.
2. Кривенков Б. Е., Михляев С. В., Твердохлеб П. Е., Чугуй Ю. В. Некогерентная оптическая система для выполнения матричных преобразований // Автометрия.— 1975.— № 3.
3. Кейссент Д. Акустооптические процессоры для операций линейной алгебры. Архитектура, алгоритмы, применения // ТИИЭР.— 1984.— 72, № 7.
4. Li J., Eichmann G., Aleano R. Fast parallel optical digital multiplication // Opt. Commun.— 1987.— 64, N 2.

*Поступило в редакцию 8 декабря 1988 г.*

УДК 535.241.13 : 534

В системах лазерной записи цифровой информации для увеличения скорости записи применяются акустооптические модуляторы (АОМ) с многочастотным управлением, выполняющие параллельную модуляцию множества лазерных световых пучков [1]. В режиме многочастотного управления в АОМ наблюдается ряд нелинейных эффектов многократной дифракции и взаимного влияния световых волн, возникающих при взаимодействии света с совокупностью  $N$  акустических волн с разными частотами [2]. Теоретический анализ этих эффектов, учитывающий особенности анизотропных АОМ с широкополосной дифракцией света, выполнен в [3].

В данном сообщении приведены результаты разработки и исследования анизотропных АОМ на кристаллах паратеелурита ( $\text{TeO}_2$ ) с многочастотным режимом управления [4]. АОМ предназначены для применения в скоростном голографическом регистраторе (СГР) цифровой информации на оптическом диске [5]. Впервые проведено экспериментальное исследование влияния нелинейных эффектов дифракции света на множестве акустических волн с разными частотами на характеристики АОМ.

**Основные параметры АОМ.** Созданные АОМ на  $\text{TeO}_2$  предназначены для работы с излучением полупроводниковых лазеров с длинами волн  $\lambda = 0,85\text{--}0,89$  мкм или  $\lambda = 0,68$  мкм. В АОМ реализована геометрия аномальной широкополосной дифракции на сдвиговых акустических волнах [6] со средней частотой  $\sim 96$  МГц. При  $\lambda = 0,85\text{--}0,89$  мкм падающая световая волна в АОМ направлена под углом  $\Theta_1 = 8,6^\circ$  к оси [001]  $\text{TeO}_2$ , а акустические волны распространяются под углом  $\Theta_a = 11,4^\circ$  к оси [110]. При  $\lambda = 0,68$  мкм углы распространения волн в АОМ равны  $\Theta_1 = 6,9^\circ$ ,  $\Theta_a = 9,3^\circ$ . Длина взаимодействия света и звука в АОМ (длина пьезопреобразователя) равна  $\sim 1$  мм для  $\lambda = 0,85\text{--}0,89$  мкм и 1,5 мм для  $\lambda = 0,68$  мкм. АОМ имеют рабочую полосу частот  $\Delta f = 64$  МГц в диапазоне 64—128 МГц при неравномерности дифракционной эффективности в полосе частот не более 20%. При управляющей электрической мощности, не превышающей 1 Вт, в АОМ достигается эффективность дифракции света порядка 70%. При апертурном времени  $\tau = 1$  мкс АОМ обеспечивает разрешение по критерию Рэля  $N = \tau \Delta f = 64$ . В СГР модулируемые световые пучки должны размещаться с двойным критерием Рэля. В этом случае АОМ на  $\text{TeO}_2$  обеспечивает параллельную модуляцию 32 световых пучков при времени переключения  $\tau = 1$  мкс.

**Характеристики АОМ в режиме многочастотного управления.** В экспериментах на АОМ подавался управляющий сигнал от параллельного синтезатора частот [5] в виде суммы 16 гармоник с различными частотами, одинаковыми амплитудами и случайными взаимными фазами. Частоты гармоник расположены эквидистантно с шагом 2 МГц в диапазоне 70—100 МГц. Распределение интенсивности световых пучков, наблюдаемое в частотной плоскости АОМ, схематически показано на рис. 1. В 1-м порядке дифракции образуются основные (сигнальные) световые пучки, в окрестности 0-го порядка расположены интермодуляционные (ИМ) световые пучки 2-го порядка, в области 1-го порядка возникают ИМ световые пучки 3-го порядка. Измерение интенсивностей основных и ИМ-пучков позволило определить характеристики АОМ: дифракционную эффективность  $\eta$ , коэффициент кроссмодуляции  $K$ , отношения сигнал/ИМ-фон 2-го и 3-го порядков  $S/F_2$  и  $S/F_3$ . Эти характеристики показаны на рис. 2—4 в зависимости от величины средней фазовой модуляции среды  $\xi$ . Величина  $\xi$  пропорциональна амплитуде отдельных гармоник в управляю-

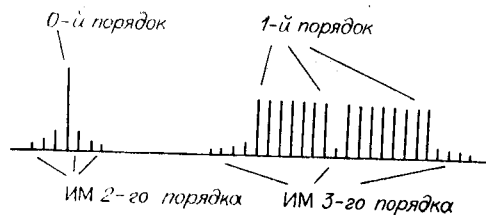


Рис. 1

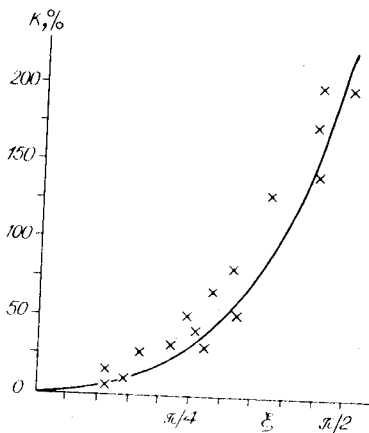


Рис. 3

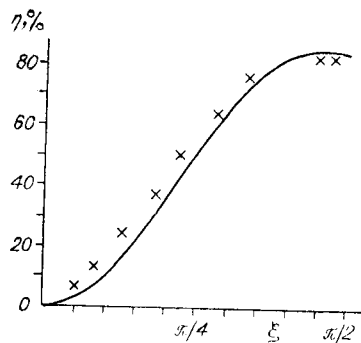


Рис. 2

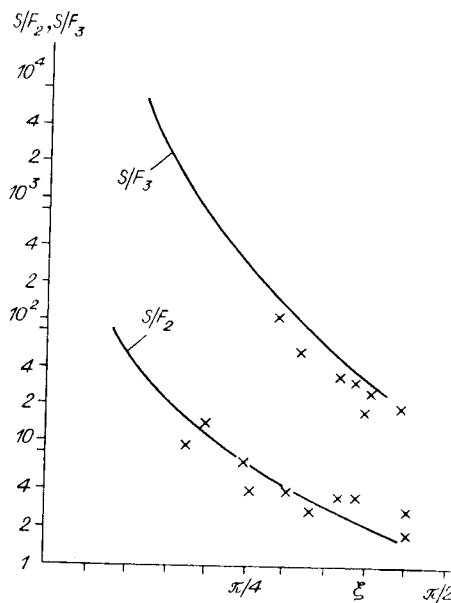


Рис. 4

щем сигнале, которая измерялась с помощью анализатора спектра СК4-59. Сплошной линией на рис. 2—4 показаны теоретические зависимости, вычисленные для АОМ с параметром фазового рассогласования  $t = 30$  [3], а крестиками — экспериментальные данные.

1. Дифракционная эффективность  $\eta$  (см. рис. 2). Величина  $\eta$  определялась как доля световой энергии, относящейся к сигнальным световым волнам. Максимальное значение  $\eta$  не превышает 85 %, что объясняется перекачкой части световой энергии в ИМ световые пучки.

2. Коэффициент кроссмодуляции  $K$  (см. рис. 3). За величину коэффициента кроссмодуляции  $K$  принималась величина возрастания интенсивности отдельного сигнального светового пучка в процентах при уменьшении числа частот управляющего сигнала от  $N = 16$  до  $N = 1$  при постоянной амплитуде отдельной частоты. Коэффициент  $K$  резко возрастает с увеличением фазовой модуляции  $\xi$  и, следовательно, с ростом дифракционной эффективности  $\eta$  (на рис. 3 величина  $\xi$  соответствует случаю  $N = 16$ ). При  $\xi = 0,15\pi$  ( $\eta = 20\%$  из рис. 2)  $K = 10\%$ , а при  $\xi = 0,3\pi$  ( $\eta = 65\%$ )  $K = 50\%$ .

3. Отношение сигнал/ИМ-фон 2-го порядка  $S/F_2$  (см. рис. 4). Величина  $S/F_2$  определялась отношением средней интенсивности сигнального светового пучка к средней интенсивности ИМ-пучка 2-го порядка, ближайшего по отношению к пучку 0-го порядка. Отношение  $S/F_2$  падает с увеличением фазовой модуляции  $\xi$ . Для  $\xi = 0,2\pi$  ( $\eta = 35\%$ ) имеем  $S/F_2 \approx 10$ , а при  $\xi = 0,375\pi$  ( $\eta = 80\%$ )  $S/F_2 = 2-4$ .

4. Отношение сигнал/ИМ-фон 3-го порядка  $S/F_3$  (см. рис. 4). Величина  $S/F_3$  определялась отношением средних интенсивностей одного из сигнальных световых пучков и ИМ-пучка 3-го порядка, расположенного в центре 1-го порядка дифракции. Отношение  $S/F_3$  также резко уменьшается с увеличением  $\xi$ . Для  $\xi = 0,19\pi$  ( $\eta = 30\%$ ) расчетное значение  $S/F_3 = 10^3$ , а при  $\xi = 0,375\pi$  ( $\eta = 80\%$ ) расчетное и экспериментальное значения  $S/F_3 = 20-40$ . Измерение  $S/F_3$  затруднено из-за влияния фона, вызванного паразитными гармониками на интермодуляционных частотах в спектре выходного сигнала синтезатора частот. В результате этого не удастся измерить величины  $S/F_3$ , большие чем  $150:1$ .

### ВЫВОДЫ

В анизотропном АОМ на  $\text{TeO}_2$  в режиме многочастотного управления получена параллельная модуляция 16 световых пучков. Полоса частот АОМ, равная 64 МГц, позволяет обеспечить независимую параллельную модуляцию 32 световых пучков с разрешением по двойному критерию Рэлея при времени переключения 1 мкс.

Для исключения влияния эффекта кроссмодуляции при параллельной амплитудной модуляции световых пучков необходимо выбирать уровень дифракционной эффективности АОМ на  $\text{TeO}_2$ , не превышающий  $\sim 20\text{--}30\%$ .

Многочастотные АОМ на  $\text{TeO}_2$  обеспечивают высокое отношение сигнал/шум-модуляционный фон 3-го порядка, превышающее  $100:1$ , при относительно высоких уровнях дифракционной эффективности, достигающих  $\sim 50\text{--}60\%$ .

Экспериментальные характеристики многочастотных АОМ на  $\text{TeO}_2$  согласуются с данными теоретических расчетов [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вовк Ю. В., Твердохлеб П. Е., Щепеткин Ю. А. Методы быстрой оптической записи двочных данных // Автометрия.— 1984.— № 3.
2. Necht D. L. Multifrequency acoustooptic diffraction // IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics.— 1977.— SU-24, N 1.
3. Трубецкой А. В. Многочастотное акустооптическое взаимодействие в анизотропной среде // Автометрия.— 1987.— № 2.
4. Трубецкой А. В., Шипов П. М. Исследование акустооптических дефлекторов-модуляторов на кристаллах парателлурита в режиме многочастотного управления // III Всесоюз. конф. по вычислительной оптоэлектронике // Тез. докл.— Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1987.
5. Вовк Ю. В., Выдрин Л. В., Твердохлеб П. Е. и др. Малогабаритная головка записи-считывания для накопителя на пакете оптических дисков // Там же.
6. Тищенко Ю. Н., Трубецкой А. В. Некоторые вопросы создания и исследования акустооптического дефлектора на монокристаллах  $\text{TeO}_2$  // Автометрия.— 1979.— № 1.

Поступило в редакцию 11 ноября 1988 г.

УДК 621.3.049.774.3.001.2

В. И. БЛЫНСКИЙ, С. А. МАЛЫШЕВ, С. Ю. РАХЛЕЙ, В. Д. ЧУМАК  
(Минск — Москва)

#### ФОТОПРИЕМНИК НА КНС-СТРУКТУРЕ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА

Новым подходом к реализации вычислительных операций в ЭВМ современного поколения является широкое использование оптического излучения как носителя информационного сигнала [1—3]. В этом случае представляется возможность производить обработку информации по параллельным каналам, что открывает широкую перспективу в построении нового класса оптических вычислительных машин, т. е. таких ЭВМ, в которых, наряду с электрическими, в процессе обработки информации используются и оптические сигналы. В [1, 2, 4] рассмотрен базовый оптический логический элемент, функционирование которого основано на следующих физических эффектах: модуляции светового потока электрическим полем, фотоэлектрического преобразования энергии и ее электростатического накопления. В схеме такого логического элемента к фотоприемнику предъявляются весьма серьезные требования, одно из которых — прозрачная для оптического излучения подложка. Спектральный диапазон чувствительности фотоприемника должен быть согласован с диапазоном длин волн, характерных для излучения современных полупроводниковых светодиодов и лазеров ( $0,44\text{--}1,00\ \mu\text{м}$ ) [5]. В этой связи представляется весьма интересным изучить возможности создания фотоприемников на КНС-структурах, т. е. в эпитаксиальных монокристаллических пленках кремния, выращенных на сапфировых подложках. Спектральный диапазон чувствительности кремния лежит в пределах  $0,4\text{--}1,4\ \mu\text{м}$ , а сапфировая подложка обладает в этом спектральном диапазоне высоким коэффициентом пропускания [6].  $P-n$ -переход является основным компонентом практически всех фотоприемников и определяет их спектральные характеристики. Цель данной работы — изучение спектральных характеристик  $p-n$ -переходов в тонкопленочном кремнии, выращенном на сапфировой подложке.

Исследуемые фотоприемники представляли собой  $p-n$ -переходы размерами  $500 \times 1000\ \mu\text{м}$ , сформированные в эпитаксиальных пленках  $n$ -типа толщиной  $0,8$  (ФД1) и  $1,9\ \mu\text{м}$  (ФД2), выращенных на сапфировой подложке (рис. 1). Удельное сопротивление пленок  $8\ \text{Ом} \cdot \text{см}$ , глубина залегания  $p-n$ -перехода  $0,5\ \mu\text{м}$ . Металлизация выполнялась на основе алюминия, омические контакты располагались на планарной поверхности фотоприемников. Измерения проводились в фотогальваническом режиме. Характеристики спектральной чувствительности фотодиодов на