

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 двончных 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-считывающая 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 ( $0,44\text{--}1,00\text{ мкм}$ ) [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  $0,4\text{--}1,4\text{ мкм}$ , 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  $500 \times 1000\text{ мкм}$ , сформированные в эпитаксиальных пленках  $n$ -типа толщиной  $0,8$  (ФД1) и  $1,9\text{ мкм}$  (ФД2), выращенных на сапфировой подложке (рис. 1). Удельное сопротивление пленок  $8\text{ Ом} \cdot \text{см}$ , глубина залегания  $p-n$ -перехода  $0,5\text{ мкм}$ . Металлизация выполнялась на основе алюминия, омические контакты располагались на планарной поверхности фотоприемников. Измерения проводились в фотогальваническом режиме. Характеристики спектральной чувствительности фотодиодов на

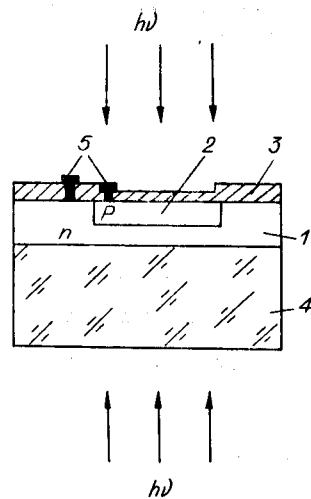


Рис. 1. Фотоприемник на КНС-структуре:  
 1 — эпитаксиальная пленка *n*-типа; 2 — область кремния *p*-типа; 3 — пленка окисла кремния; 4 — сапфировая подложка; 5 — электроды фотоприемника

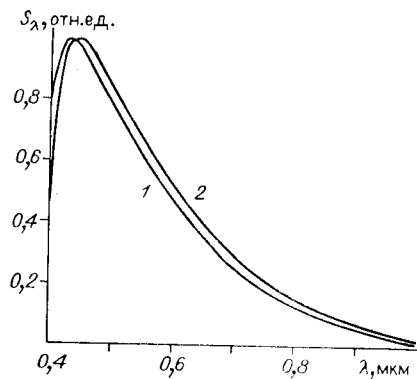


Рис. 2. Спектральная характеристика чувствительности фотоприемника на КНС-структуре, сформированного в кремнии толщиной 0,8 мкм, при освещении с планарной (1) и тыльной (2) сторон

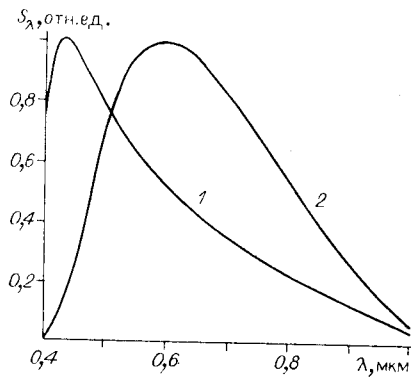


Рис. 3. Спектральная характеристика чувствительности фотоприемника на КНС-структуре, сформированного в кремнии толщиной 1,9 мкм, при освещении с планарной (1) и тыльной (2) сторон

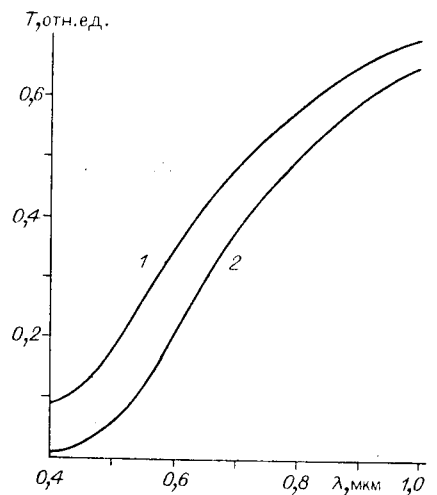


Рис. 4. Спектральная характеристика пропускания КНС-структуры при толщине кремния 0,8 (1) и 1,9 мкм (2)

КНС-структурах с различной толщиной эпитаксиальной пленки приведены на рис. 2, 3.

Рассмотрим результаты измерений для случая освещения планарной поверхности фотоприемников (со стороны эпитаксиального слоя кремния). Фотодиоды обладают высокой чувствительностью в коротковолновой области спектра. Максимальная ее величина независимо от толщины кремния имеет значение не менее 0,1 А/Вт и соответствует длине волны  $\lambda = 0,44$  мкм (кривые 1 на рис. 2, 3). На коротковолновом крае спектра характеристики практически не отличаются. Чувствительность фотодиодов начинает различаться при приеме излучения с длиной волны, превышающей 0,55 мкм. Длинноволновая граница fotocувствительности ФД1 составляет 0,85 мкм, а ФД2 — 0,93 мкм (по уровню 0,1).

При освещении *p-n*-переходов с тыльной стороны (со стороны сапфировой подложки) вид спектральной характеристики *p-n*-переходов, сформированных в более тонком слое кремния (кривые 1, 2 на рис. 2), практически не изменяется. При этом характерно увеличение крутизны спада чувствительности в коротковолновой области спектра (кривая 2, рис. 2). Однако для *p-n*-переходов, сформиро-

ванных в кремнии толщиной 1,9 мкм, изменение способа освещения приводит к существенному сдвигу максимума спектральной чувствительности в длинноволновую область спектра (до 0,6 мкм).

Рассмотрим особенности полученных спектральных характеристик. При освещении фотоприемника с планарной стороны необычное положение максимума спектральной чувствительности (в коротковолновой области спектра) обусловлено малой диффузионной длиной неосновных носителей заряда в эпитаксиальной пленке. По проведенным оценкам, ее величина не превышает 0,5—0,8 мкм, т. е. меньше толщины более тонкой пленки кремния. Это обстоятельство объясняет отсутствие зависимости чувствительности фотодиодов от толщины эпитаксиальной пленки при освещении с планарной стороны и сдвиг максимума спектральной характеристики фотодиодов при изменении способа их освещения.

Уменьшение чувствительности в коротковолновой области спектра при освещении фотоприемников с тыльной стороны с учетом прозрачности сапфировой подложки в рассматриваемом спектральном диапазоне обусловлено тем, что из-за большой дефектности переходного слоя кремния у границы кремний—сапфир велика скорость поверхностной рекомбинации.

Глубина поглощения света в кремнии с ростом длины волны излучения уменьшается по пелинейному закону [7]. Соответственно увеличивается пропускание излучения пленкой кремния (рис. 4). Это обстоятельство приводит к низкой спектральной чувствительности  $p-n$ -переходов в инфракрасной области спектра и объясняет различное положение длинноволновой границы чувствительности фотодиодов. Темновой ток фотодиодов при напряжении смещения 5 В не превышал 2—3 нА. Напряжение пробоя 15—20 В. Емкость перехода (при напряжении  $V = 0$ ) 2 пФ.

Быстродействие фотодиодов в основном ограничивается двумя факторами: параметром  $\tau_1 = RC$  и временем собирания генерируемых светом неосновных носителей заряда  $\tau_2 = W^2/2D$  (где  $W$  — глубина фоточувствительной области;  $D$  — коэффициент диффузии неосновных носителей заряда). Оценка времени нарастания фотоотока (учитывая значение емкости перехода и полагая  $W = 1$  мкм) дает даже в фотогальваническом режиме величину не хуже  $10^{-8}$ — $10^{-9}$  с.

Таким образом, исследования показали, что фотоприемники на КНС-структурах имеют величину спектральной чувствительности в видимой области спектра не хуже 0,1 А/Вт. Малая диффузионная длина неосновных носителей заряда в тонкой эпитаксиальной пленке (< 0,5—0,8 мкм) и прозрачность сапфировой подложки в диапазоне собственного поглощения кремния обусловили ряд специфических особенностей спектральных характеристик фотоприемников на КНС-структурах в фотогальваническом режиме работы:

максимум спектральной чувствительности лежит на границе синего и фиолетового света ( $\lambda \sim 0,44$  мкм);

положение максимума спектральной чувствительности и его величина практически не зависят от толщины эпитаксиальной пленки;

при толщине эпитаксиальной пленки кремния < 1 мкм изменение способа освещения фотоприемника (с планарной или тыльной стороны) незначительно влияет на положение максимума спектральной чувствительности, а при большей толщине пленки кремния, равной 1,9 мкм, в случае освещения со стороны подложки максимум спектральной чувствительности сдвигается в длинноволновую область спектра, достигая значения  $\lambda = 0,6$  мкм.

Возможность освещения фотоприемников на КНС-структуре как с планарной, так и с тыльной стороны позволит реализовать на их основе оптические логические элементы с расширенными функциональными возможностями.

Авторы выражают благодарность В. Р. Пан за помощь в изготовлении образцов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косцов Э. Г., Мишин А. И. Особенности построения оптических цифровых вычислительных машин // Микроэлектроника.— 1977.— № 2.
2. Егоров В. М., Косцов Э. Г. Перспективы создания оптических цифровых высокопроизводительных вычислительных устройств // Автотметрия.— 1985.— № 1.
3. Armand R., Tanguay Jr. Materials requirements for optical processing and computing devices // Opt. Eng.— 1985.— 24, N 1.— P. 3.
4. Косцов Э. Г., Малиновский В. К., Нестерхин Ю. Е., Потапов А. П. Особенности физической реализации оперативной оптической памяти // Автотметрия.— 1976.— № 4.
5. Иванов В. И., Аксенов А. И., Юшин А. М. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник.— М.: Энергоиздат, 1988.
6. Акустические кристаллы: Справочник/Под ред. М. П. Шаскольского.— М.: Наука, 1982.
7. Dash W. S., Neumann R. Intrinsic optical absorption in a single crystal germanium and silicon of 77 K and 300 K // Phys. Rev.— 1955.— 99, N 8.— P. 1151.

Поступило в редакцию 3 января 1989 г.