

- [7] Булгаков А. А., Ковтун В. В. // Опт. и спектр., 1984. Т. 56. Вып. 5. С. 769—771.  
 [8] Шияновский С. В. // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 7. С. 1448—1450.  
 [9] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. 620 с.  
 [10] Силин А. П. // УФН. 1985. Т. 147. Вып. 3. С. 485—522.  
 [11] Дэвисон С., Левин Дж. Поверхностные (таммовские) состояния. М.: Мир, 1973. 232 с.

Институт ядерных исследований  
 АН УССР  
 Киев

Поступило в Редакцию  
 16 февраля 1988 г.

06; 07

Журнал технической физики, т. 59, в. 5, 1989

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ КРЕМНИЕВЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПОЛЕВОЙ ФОТОТРАНЗИСТОР БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ

А. И. Малик

Кремниевые МДП фототранзисторы в области практически реализуемых в системах оптоэлектроники уровней возбуждения обладают достаточно высоким значением добротности  $\sim 10^7$ . Уменьшение длины канала позволяет повысить добротность прибора, однако для сохранения достаточной площади светочувствительной поверхности требуется увеличение ширины канала. Вертикальная структура полевого транзистора позволяет наиболее просто управлять размерами активной области. Структура вертикального полевого транзистора (ВПТ) со встроенной сеткой известна давно [1], они нашли широкое применение для изготовления мощных транзисторов на основе кремния. Однако использование их в качестве фотоприемников до сих пор в литературе не рассматривалось. Имеются лишь результаты исследований по применению высокоомных арсенид-галлиевых эпитаксиальных структур в конструкции ВПТ [2].

Кремниевые ВПТ изготавливались на однослойных эпитаксиальных структурах с толщиной эпитаксиального слоя 40—50 мкм и концентрацией основных носителей заряда в слое не более  $10^{13} \text{ см}^{-3}$ . Диаметр фотоактивной части структуры составлял 2 мм. Для создания областей истока в эпитаксиальный слой проводилась локальная диффузия фосфора через окна в слое диэлектрика. Поперечное сечение областей истока не превышало  $4 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2$ . Областью стока служила подложка. Прозрачный затвор выполнялся из проводящего прозрачного слоя широкозонного полупроводникового соединения  $\text{In}_2\text{O}_3$ . Тонкая пленка данного материала осуществляла электрическое соединение затворных и истоковых областей.

При приложении к структуре внешнего смещения область канала между истоком и стоком ограничивалась областями объемного заряда под оксидом и поперечное сечение этих каналов представлялось возможным изменять как внешним смещением, так и засветкой. ВАХ структур представлены на рис. 1. Коэффициент фотоэлектрического усиления определялся по отношению к контрольным фотодиодам, имеющим такую же фотоактивную площадь и изготовленным на основе гетероструктур  $\text{In}_2\text{O}_3\text{—Si}$  с использованием в качестве подложки таких же эпитаксиальных кремниевых пластин. Исследованные ВПТ обладали высоким значением коэффициента усиления в широком спектральном диапазоне 0.2—1.0 мкм. Так, на длине волны 0.95 мкм при модуляции светового потока с частотой 10 кГц, падающей мощности  $2 \cdot 10^{-7} \text{ Вт}$  и сопротивлении нагрузки  $10^2 \text{ Ом}$  коэффициент усиления достигал величины  $4 \cdot 10^3$ , что соответствовало величине абсолютной монохроматической чувствительности  $2 \cdot 10^3 \text{ А/Вт}$ . Измеренная величина пороговой чувствительности при шумовой полосе 200 Гц составила величину порядка  $7 \cdot 10^{-13} \text{ Вт/Гц}\%$ . Коэффициент преобразования по току (что важно при использовании ВПТ в оптронах) составлял величину не менее 30 %, в то время как для контрольных фотодиодов данная величина была всего 0.02 %.

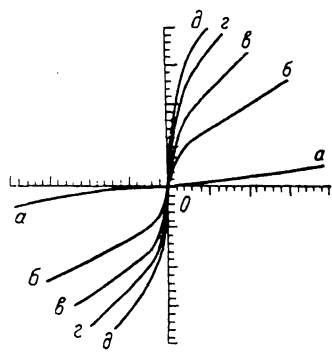


Рис. 1. ВАХ кремниевого ВПТ в темноте (а) и при освещении с  $\lambda = 0.95 \text{ мкм}$  (б—в).

Р, Вт: б —  $6 \cdot 10^{-5}$ , в —  $1.2 \cdot 10^{-4}$ ,  
 з —  $1.8 \cdot 10^{-4}$ , д —  $2.4 \cdot 10^{-4}$ . Масштаб по горизонтали 1 В/дел, по вертикали — 1 мА/дел.

На рис. 2 представлена кинетика фототовета исследованных ВПТ при различных напряжениях смещения и сопротивлении нагрузки 50 Ом. Длительность импульса излучения с длинной волны 0.85 мкм составляла величину 12 мкс. На рис. 2, б для сравнения приведена кинетика фототовета контрольного фотодиода. Для обоих случаев мощность излучения составляла величину  $2 \cdot 10^{-4}$  Вт.

При засветке ВПТ от источника типа «А» их интегральная чувствительность находилась на уровне 13 А/лм. Контрольные фотодиоды при этом имели чувствительность 5,5 мА/лм. Пороговая чувствительность к модулированному световому потоку от источника типа «А» составляла величину  $1.2 \cdot 10^{-10}$  лм·Гц<sup>-1/2</sup>. При частоте модуляции 400 Гц, напряжении смещения 10 В, нагрузочном сопротивлении  $10^3$  Ом и полосе шума 81.5 Гц отношение максимальной величины сигнала к среднеквадратичному значению шума в области линейности энергетической характеристики  $10^{-3}$ —10 лк составляло величину 200 дБ.

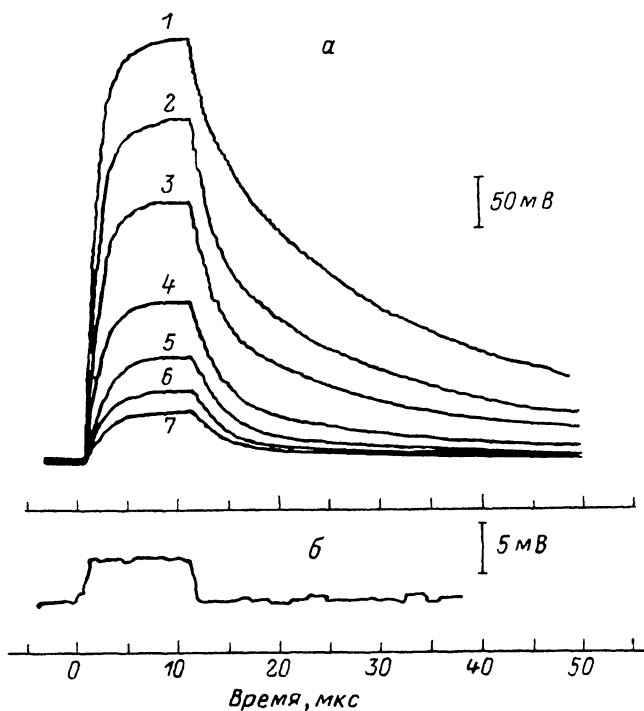


Рис. 2. Кинетика фототовета кремниевого ВПТ (а) и контрольного фотодиода (б).

Напряжение смещения, В: 1 — 10, 2 — 6, 3 — 4, 4 — 2, 5 — 1, 6 — 0.5, 7 — 0.25.

Исследованные ВПТ имели высокую чувствительность в УФ области спектра. Усредненная величина монохроматической чувствительности в области длин волн 0.2—0.32 мкм составляла 18—20 А/Вт. В спектрах фототовета наблюдались осцилляции, связанные с интерференционными эффектами в подзатворном диэлектрике. Значительное (по сравнению с видимой и ближней ИК областями) снижение чувствительности связано с достаточно сильным поглощением света в пленке затвора.

Таким образом, исследованные кремниевые вертикальные полевые фототранзисторы с затвором из проводящей прозрачной пленки трехоксида индия обладают хорошими пороговыми характеристиками, высоким значением коэффициента фотоэлектрического усиления и могут с успехом использоваться в различного рода оптоэлектронных устройствах, в том числе для обнаружения слабого излучения в диапазоне длин волн 0.2—1.0 мкм. Увеличение быстродействия описанных ВПТ возможно путем дальнейшей оптимизации их конструкции.

Автор благодарен В. А. Гречко и Н. Р. Тевсу за помощь при измерении параметров ВПТ и полезные замечания.

#### Литература

- [1] Nichizawa J. I., Terasaki T., Shibata J. // IEEE Trans Electron. Devices. 1975. Vol. ED-22. N 4. P. 185—187.
- [2] Корольков В. И., Рахимов Н. // Быстродействующие фотодетекторы на основе гетероструктур. Чтения памяти А. Ф. Иоффе. 1985. Л.: Наука, 1987. С. 50—62.

Поступило в Редакцию  
26 февраля 1983 г.